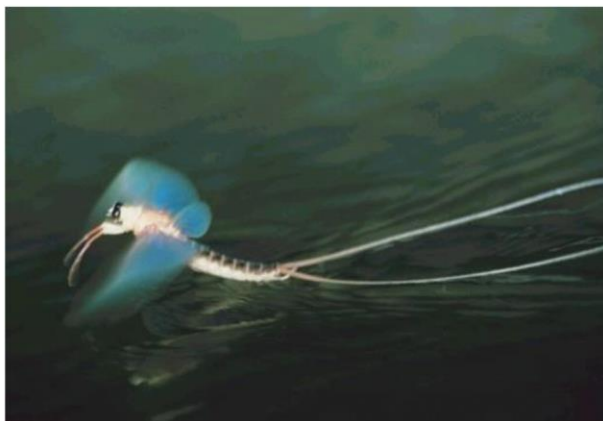


# HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 98. ÉVF. 2. SZÁM • 2018  
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 98. NO 2. • 2018





## 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, Vágás István, Vekerdy Zoltán

### Kiadó:

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

### Hirdetés:

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

### Indexed in:

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

## Tartalomjegyzék

Fehér János: Előszó .....	3
<b>TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP</b>	
Fejér László: A Bogdánfy Ödön emlékérem alapításáról .....	4
<b>SZAKCIKKEK</b>	
Somlyódy László: vízminőség-szabályozás: Fejlődéstörténelem	5
Somlyódy László: vízminőségi modellek és a mérnök .....	13
Nagy László: Az árvízvédelem szerkezeti módszerei .....	23
Kozák Miklós: Egy vasgyári kikötő építésének különleges tanulságai .....	30
Kardos Máté Krisztián, Koncsos László: Klímaváltozás és vízpótlás hatásainak vizsgálata a WateRisk integrált hidrológiai modellel egy Duna-Tisza közti mintaterületen ...	36
Kerékgyártó Tamás, Gál Nóra, Szöcs Teodóra, Tóth Anikó Nóra, Szűcs Péter: Hódmezővásárhelyi geotermikus rendszer üzemelése során fellépő ásványkiválás-potenciál előzetes vizsgálata .....	47
Gyenes István, Szanyi János: Egy kutas függőleges interferenciamérés (Prats módszer) .....	53
Karches Tamás: Kaszkádolás szerepe a rögzített biofilm hordozót alkalmazó szennyvíztisztítási technológiákban .....	57
<b>FÓRUM</b>	
Juhász József: Életem a Magyar Hidrológiai Társaságban .....	64
Nagy István: Tévúton a magyar árvízvédelem? .....	67
<b>KÖNYVISMERTETÉS</b>	
Somlyódy László: Felszíni vizek minősége – Modellezés és szabályozás .....	75



## Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society  
Published quarterly

### Editor-in-Chief:

János FEHÉR

### Assistant Editors:

Éva ÁCS

Károly KONECSNY

László NAGY

### Editorial Board Chairman:

András SZÖLLŐSI-NAGY

### Editorial Board Members:

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

### Publisher:

Hungarian Hydrological Society  
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary  
Tel: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;

Email: [titkarsag@hidrologia.hu](mailto:titkarsag@hidrologia.hu)

Web: [www.hidrologia.hu](http://www.hidrologia.hu)

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

Email: [titkarsag@hidrologia.hu](mailto: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](mailto:fotitkar@hidrologia.hu)

### Indexed in:

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

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

## Contents

János FEHÉR: Foreword .....3

### HISTORICAL SNAPSHOT

László FEJÉR: About the foundation of the Ödön Bogdánfy  
memorial medal ..... 4

### SCIENTIFIC PAPERS

László SOMLYÓDY: Water quality control: Development  
history ..... 5

László SOMLYÓDY: Water quality models and the engineer.. 13

László NAGY: Structural methods of flood protection ..... 23

Miklós KOZÁK: Special lessons from the construction of an  
ironworks harbour ..... 30

Máté Krisztián KARDOS, László KONCSOS: Assessing climate  
change and water supply impacts on the Danube-Tisza  
Interfluve by the WateRisk Integrated Hydrologic Model ... 36

Tamás KERÉKGYÁRTÓ, Nóra GÁL, Teodóra SZÓCS, Anikó  
Nóra TÓTH, Péter SZÜCS: Preliminary evaluation of scaling-  
potential in the operational geothermal system of  
Hódmezővásárhely .....47

István GYENESE, János SZANYI: Determining vertical  
interference in one well (Prats method) .....53

Tamás KARCHES: Separation of reactor volumes in fixed  
biofilm systems in wastewater treatment ..... 57

### FÓRUM

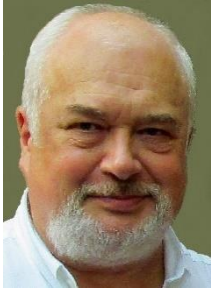
József JUHÁSZ: My life in the Hungarian Hydrological  
Society..... 64

István NAGY: Is the Hungarian flood protection misguided? .. 67

### BOOK REVIEW

László SOMLYÓDY: Surface water quality - Modelling and  
regulation ..... 75

## Előszó



A Hidrológiai Közöny 98. évfolyamának (2018) 2. száma ismét több szakterületről közöl figyelemre méltó cikkeket.

A hagyományainkhoz híven *Fejér László* rovatvezetőnk tollából ismét közlünk egy rövid történelmi pillanatképet – mert valljuk, múlt nélkül nincs jövő – amiben bemutatja a Magyar Hidrológiai Társaság alapította Bogdánfy Ödön emlékérem alapításának történelmi háttérét. Bár az eddigi kutatások nem tudták egyértelműen kideríteni a díj alapításának indokát, ma a díjat a Társaság érdekében végzett szervezőmunka, illetve kiemelkedő szakirodalmi tevékenység elismeréseként adományozza az MHT.

Egy szakmai terület – felszíni vizek vízminőségi modellezése, szabályozása – napjainkig tartó fejlődési korszakát mutatja be *Somlyódy László* akadémikus néhány hónapja megjelent, szakmai pályáját is részben összegző könyve, melyet Könyvismertetés rovatunkban mutatunk be. Ugyanakkor örömmel írom, hogy jelen számunkban – a szerző engedélyével – a Hidrológiai Közöny közreadja a könyv harmadik fejezetét *Vízminőségsszabályozás: Fejlődéstörténelem* címmel, valamint az ötödik fejezetét – *Vízminőségi modellek és a mérnök címmel* – melyek önmagukban is értékes tudományos cikket képviselnek, és fontos összegzését adják a vízminőségi modellezés és vízminőségsszabályozás fejlődéstörténetének. A most megjelenő két cikket követi majd egy harmadik is, amely a könyv hetedik fejezetéből készült cikk *Vízminőségi modellek és csapdák* címmel.

A vízgazdálkodás egyik kiemelkedően fontos területe az árvízvédelem. *Nagy László* cikkében az árvízvédelem fontos elemeit, a szerkezeti intézkedéseket tekinti át, amelyek elsődlegesen az emberi egészség és biztonság, továbbá az értékes javak és tulajdonok védelmét szolgálják.

*Kozák Miklós* professzor, a BME nyugalmazott tanácsvezető egyetemi tanára az építőmérnökök generációját tanította a hidraulika tudománya és vízepítés szakma részleteire. Mostani cikkében a dunajvárosi vasgyári kikötő építésének tanulságait mutatja be figyelemre méltó pontossággal és alaposággal. Az esettanulmány összegzése a mai döntéshozók, tervezők és kivitelező mérnökök számára is igen tanulságosak és megfontolandók.

*Kardos Máté Krisztián és Koncsos László* a Duna-Tisza köze klímaváltozás okozta szárazodását és alternatív vízpótlási megoldások (új hajózó- és öntözőcsatorna-rendszer kialakítása) hatását vizsgálta saját fejlesztésű modelljükkel és objektív módon mutatják be az egyes változatok előnyeit, hátrányait.

A geotermikus energia felhasználása a környezetkímélő megoldások egyik lehetséges útja, amely azonban a használt hévíz visszasajtolását igényli. *Kerékgyártó Tamás és szerzőtársai* a hódmezővásárhelyi geotermikus

rendszer üzemelése során történő ásványkiválást vizsgálta, modellezte és javaslatokat tettek a kiválás mérséklésének módjára.

*Gyenes István és Szanyi János* az ivóvízbázisok védőidomainak tervezésénél alkalmazható mérési módszert mutatnak be, melynek alkalmazásával csökkenthető a víz-bázis beruházások kockázata.

*Karches Tamás* áttekintő cikkében bemutatja, hogy a biológiai szennyvíztisztítási fokozatban, fix hordozót alkalmazó fixfilmes rendszerekben anyagforgalmi (biokinetikai) modellt alkalmazva a kaszkádolás miként változtatja az oxigénellátottságot, az izsapszerkezetet és izsaphozamot.

Fórum rovatunkban Juhász József professzor, a Magyar Hidrológiai Társaság korábbi elnöke adott visszaemlékező interjút *Fejér László* rovatvezetőnknek. A két cikluson át elnök Juhász professzor élvezetes, anekdotázó stílusban beszél a Társaságban több évtizeden át végzett munkájáról: a Társaságba való belépéséről, Mosonyi professzor mellett titkárként, majd a Tudományos Bizottság elnökeként miként segítette a területi szervezetek létrejöttét. Felidézi egyes korábbi vándorgyűlések hangulatát, a Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottságában végzett alelnöki, majd társelnöki munkáját, majd mind a Társaság megválasztott elnöke miként kívánta növelni a Társaság elismertségét, rendezettségét (társaság jelvénye, zászlaja, elektronikus adminisztráció, emlékszobrok állítása, köz-társasági elnöki látogatások).

Fórum rovatunk céljainak egyike, hogy lehetőséget adjon szakmailag megalapozott egyéni nézetek, vélemények megjelenítésének, a tudományos cikkírás kötöttebb szerkezeti előírásaitól eltérő, szabadabb formában. *Nagy István*, a KÖTIVIZIG nyugalmazott igazgatója, több évtizedes tapasztalatai alapján fejt ki álláspontját – rövid történelmi kitekintést követően – a magyar árvízvédelem feladatáról, mértékadó árvízszintek meghatározásának hibájáról, az árvízi biztonság kérdéséről, majd végül javaslatot tesz az árvízvédelem javításához szükséges lépések megtételére.

Könyvismertetéssel zárul jelen lapszámunk. 2018. évi Víz Világnapra jelent meg *Somlyódy László* akadémikus tollából a *Felszíni vizek minősége – Modellezés és szabályozás* című könyv. A könyvben a szerző kivételes szakmai pályafutásának összefoglalóját adja, melyben nem csupán áttekinti öt évtizedes tudományos eredményeit, hanem bemutatja azok sorsát is. A könyvet *Gayer József*, a kötet szerkesztője mutatja be, a jobb megismerés érdekében megadva a könyv részletes tartalomjegyzékét is.

*Dr. Fehér János*  
címzetes egyetemi tanár  
a Hidrológiai Közöny főszerkesztője



## Történelmi pillanatkép

Fejér László, a Hidrológiai Közlöny rovatvezetője bemutatja a Magyar Hidrológiai Társaság által alapított Bogdánfy Ödön emlékérem alapításának hátterét.

### A Bogdánfy Ödön emlékérem alapításáról

Azt több forrásból is tudjuk, hogy az emlékérmét 1951-ben alapította Társaságunk. Általában egy ilyen aktusról a MHT elnöksége/választmánya hivatott dönteni, s azt a közgyűlési jegyzőkönyvekben is rögzítik, majd a Hidrológiai Közlönyben is megjelentetik. Érdekes módon a Bogdánfy emlékérem alapítására vonatkozó határozatról nem tudunk. Biztos megtörtént, csak nyomtatásban nem jelent meg.

Ennek az is lehet az oka, hogy – mint azt Vitális Sándor utóbb, a pótlólag 1971-ben, visszamenőlegesen kiadott lapszámban megírta (*Vitális 1951*) – „1951-ben a Közlöny megjelentetését – ismeretlen okból – betiltják, s ezt a határozatot nem sikerül megmásítani, s ezért a Közlöny XXXI. kötete nem jelent meg”. Azonban nem teljesen ez volt a helyzet, mint az a lap 1952. évfolyamában közölt „Szerkesztői jelentés az 1950. évről” c. cikkéből kiderül: „A szerkesztés munkáját nagyban zavarta a lap korábbi kiadójának, a Tudományos Folyóiratkiadó V.-nak (pontosabban a Magyar Tudományos Akadémia égisze alatt 1948-1950 között működő Tudományos Könyv- és Folyóiratkiadó Nemzeti Vállalatnak) júliusban történt megszűntetése, mert ezzel a lap kiadása gazdátlan maradt és július közepétől kb. októberig a szerkesztés munkája szünetelt. Ekkor az 1950. 9–10. és a 11–12. szám sajtó alá való gyors rendezésével néhány hétig újra működött a szerkesztés, viszont 1950 decemberével a szerkesztés munkájában ismét fennakadás állott be, mert 1951-re a lap megjelenése még nem volt biztosítva.”

A Bogdánfy Ödön emlékérem története szempontjából végül is az a lényeg, hogy jelenleg nem tudjuk milyen indokkal alapították az érmet, ki volt a tervező művész. Az 1952-ben kitüntetett Salamin Pál közgyűlési köszönő beszédében (*HK 1952*) így szólt: „Mély meghatottsággal tudom csak átvenni ezt a szép emlékérmét ... mert ennek az emlékéremnek kidolgozásában magam is részt vettem, és az érem alkotóművésze is soraink között jelen van.” Salamin professzor (ill. akkor még docens) meghatottságában ugyanakkor megfélekezett néven nevezni az alkotót, ezért azóta csak találgathatunk. Ami pedig az érem alapításának indokát jelenti, megint csak Vitális Sándor egykori elnökünkre tudunk hagyatkozni, aki Bogdánfyról megemlékező cikkében (*Vitális 1963*) a következőket írta: „Társaságunk Bogdánfy Ödönnek a Hidrológiai Szakosztály alapításánál kifejtett hervadhatatlan érdemeit halála után sem felejtette el, aminek egyik bizonyítéka, hogy Társaságunk vezetősége 1951-ben Bogdánfy Ödön emlékérmét alapított azoknak a tagtársainknak jutalmazására, akik a hidrológiai tudomány és gyakorlat fejlesztésében szakmunkásságukkal Bogdánfy Ödön szellemében kimagasló érdemeket szereztek.”



(A képeket a Bogdánfy emlékéremről Fejér László készítette)

### IRODALOM

*HK 1952.* Hidrológiai Közlöny, 5-6. sz. 225. p.

*Vitális S. 1951.* Előszó. Hidrológiai Közlöny

*Vitális S. 1963.* Bogdánfy Ödön és a Magyar Hidrológiai Társaság. Hidrológiai Közlöny 5. szám

## Vízminőség-szabályozás: Fejlődéstörténelem

Somlyódy László

Professor emeritus, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. Magyarország.  
(E-mail: somlyody.laszlo@epito.bme.hu)

### Kivonat

„A múlt a jövő bölcsője” mondjuk nem ritkán: tanulni és okulni érdemes, ennek szellemében íródott a jelen cikk (a „Somlyódy könyv” 3. fejezete, lásd a szám könyvismertetőjét), ami a vízminőség szabályozás történetével és a trendekkel foglalkozik. A 19. század közepéig, az ipari forradalom és a városiasodás idejéig megy vissza és a fejlett világ néhány fontos szennyezési (bal)esetét (kolerajárvány és a „Nagy Bűz” Londonban, lángoló folyó az USA-ban), azok kezelési módját és az innováció szerepét boncolgatja. A kiválasztott esetek: (1) a londoni kolerajárvány, az elővigyázatosság elvével és a csatornázással összefüggésben, (2) az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás fejlesztése a szerves anyag lebontására, (3) az úttörő Streeter-Phelps modell és (4) a szabályozást célzó, bontható szerves-anyag mennyiségét jellemző biokémiai oxigénigény (BOI) mérése. A cikk elemzi a napjainkig felmerülő, újabb és újabb problémákat, ezek bevonását a vízminőség-szabályozás meglévő rendszerébe, az előrelátást a fontosabb döntések előkészítésében. Meglepve tapasztaljuk, hogy a 19. század „hőskorszakában” nem ritkán erősebben érvényesültek az elővigyázatosság és a megelőzés elvei, mint napjainkban. A probléma felismerése többnyire megvolt, a megoldáshoz a kívánt technológia azonban még nem állt rendelkezésre.

### Kulcsszavak

Vízminőség szabályozás, kolera, városiasodás, szennyezési katasztrófák, elővigyázatosság, megelőzés, eleveniszapos szennyvíztisztítás, Streeter-Phelps modell, BOI.

## Water quality control: History of development

### Abstract

„The past is the cradle of the future” we often say: indeed it is worthwhile to learn lessons from the past experiences. The paper (Chapter 3 of “Somlyódy book”, see the review in this issue) was written in the spirit of this slogan, dealing with the history and trends of water quality control. It looks back to the middle of the 19<sup>th</sup> century, to the beginning of the industrial revolution and urbanization and analyses major pollution accidents of the developed world (the cholera epidemic and the “Great Stink” of London, River on Fire in the USA) including the approach on how to cope with them and the role of innovation. The paper discusses: (1) the handling of the London epidemic in connection with the evolution of the Precautionary Principle and the construction of sewerage system, (2) the development of activated sludge method for the decomposition of organic matters, (3) the pioneering Streeter-Phelps model and (4) the biochemical oxygen demand (BOD) characterising the decomposable organic matters and serving as a measure of the overall quality control. It also deals with the gradually emerging problems up today, their inclusion into the existing water quality control system and the necessary foresight when preparing crucial decisions. Surprisingly it is found that in the good old days of the 19<sup>th</sup> century the precautionary and prevention principles were prevailing more often than nowadays. The recognition of the problem was generally there, but for the solution the technology requested for was missing those days.

### Keywords

Water quality control, cholera, urbanization, pollution accidents, precaution, prevention, activated sludge method, Streeter-Phelps model, BOD.

### BEVEZETÉS

Miért vízminőség? Miért kell szabályozni? Melyek a főbb eszközök, amelyek rendelkezésre állnak? Hogyan alakultak ki ezek? Melyek voltak a fő hajtóerők? Ezek lehetnének az első kérdéseink. Választ múltbeli esetek elemzése, a kérdéses terület fejlődéstörténetének bemutatása és a trendek felvázolása révén kísérünk meg adni: „a múlt elemzése a jövő táptalaja” mottóval. A 19. század közepéig nyúlunk vissza, néhány vízszennyezési kérdésre összpontosítva (kolerajárvány, a londoni „Nagy Bűz”, a lángoló Cuyahoga folyó), azok megoldását és a szakterület főbb innovációit (eleveniszapos szennyvíztisztítás, BOI-mérés és a Streeter-Phelps-modell) elemezve. A példák Angliából és az Egyesült Államokból, az ipari forradalom élenjáró országaiból származnak, és mérföldkövet jelentenek a vízminőség-szabályozás évszázados kialakulásában.

A járványok és a vízszennyezések egyre súlyosbodó gondná az iparosodás és a városiasodás korában váltak. A felismerés egyik állomása 1854, a nagy londoni kolerajárvány. A másik 1858, amikor a szokatlanul forró nyár a pöcegödörökből és máshonnan bejutó, felhalmozódott szerves anyag lebontása révén anaerob, oxigénhiányos állapotot eredményezett a Temzében. Ez elviselhetetlen, rohadt tojás „illatú” kénhidrogén-gáz keletkezését idézte elő. A bűz Londonban olyan mértékű volt („Great Stink”), hogy a parlament épületét be kellett zárni, a működését fel kellett függeszteni.

Az ipari szennyezőkkel összefüggő állomás 1936, amikor az USA-ban Cleveland-nél kigyulladt a Cuyahoga, az Ohio egyik mellékfolyója. 1968-ban ismét masszív tüzeset jelentkezett, ami megrázta a közvéleményt. A média ekkor már hatékonyan kommunikálta az esetet, egyértelművé vált a társadalmi igény az azonnali intézkedésre.

Alaposan előreugorva, ez vezetett 1972-ben az USA-ban az első korszerű vízminőség-szabályozási törvényhez, közismert nevén a Clean Water Acthez, amit számos ország tekintett és tekint ma is követendő példának.

A gazdasági és ipari fejlődés, a városiasodás eredményeként megváltozott a környezetbe kibocsátott szennyezők mennyisége és összetétele (és változik napjainkban is, az újabb és újabb termelési hulladékok megjelenése miatt). A probléma abban jelentkezett, hogy a változással együtt a városi vízi infrastruktúra – melynek feladata a gondoskodás az egészséges vízellátásról, a záporvizek elvezetéséről és a szennyvizek (általánosabban szennyezések) biztonságos elhelyezéséről – még hiányzott, kezdetleges, túlterhelt vagy esetleges volt. Ily módon maga az infrastruktúra spontán fejlődése is bajok előidézőjévé vált: nagymértékben hozzájárult a járványok terjedéséhez. Cselekedni kellett; a részleteket az első „történet” meséli el a dr. John Snow és a londoni kolerajárvány fejezetben.

Fenti négy példánk kapcsolódik egymáshoz, mintegy egymásra épül. Sok a hasonlóság közöttük annyiban, hogy – szemben sok más esettel, mai szemmel – többnyire meglepően korán ismerték fel a problémákat, nemegyszer olyankor, amikor a megoldás eszközei még nem is álltak rendelkezésre. Kutatásra, fejlesztésre, innovációra és kiszámítható finanszírozásra volt szükség, ami esetenként évtizedeket is igénybe vehetett. Több példánk is esik ebbe a besorolásba, amelyek ma is világszerte (vagy „globálisan”) használt megoldáshoz vezettek. A tanulságokat levonni és okulni mindenképpen érdemes. A kreatív gondolkodás, az előrelátás, a nagy egyéniségek alkotó részvétele nélkülözhetetlen, ez történeteink egyik fontos tanulsága.

## DR. JOHN SNOW ÉS A LONDONI KOLERAJÁRVÁNY

(Steven Johnson (2006) elbeszélése nyomán.)

1854-et írunk, a két és fél millió, rohamosan szaporodó Londonban vagyunk (népessége 1800-ban 1 millió, 1900-ban pedig 6,5 millió). Mai értelemben vett vízi infrastruktúra nem létezik. Fekália önt el mindent, akár méteres vastagságban, a pöcegödörökön túl gyakran a pincét és az udvarokat is, ahová az ablakokból lötytyintik ki a bili tartalmát. 1852-től kezdve már léteznek csatornaszakaszok és alagutak, ezek azonban nem tervek alapján, hanem a város spontán fejlődését követve épülnek. Az eredmény a 200 000 pöcegödör többségének túlterhelése, a környezet és a Temze elárasztása fekáliával.

A túlterheltséghez nagyban hozzájárul az öblítéses vécé elterjedése. Az ókorig visszanyúló előzmények után a 16. században ezt a szerkezetet újra feltalálták – módosított formában. A kb. 250 évig tartó érdektelenség után, a 18. század végén két független szabadalom alapján gyártani, a jómódúak pedig beépíteni kezdték a készüléket házaikba. Akkoriban az emberiség egyik legnagyobb innovációjának tartották az öblítéses vécét, de mára a megítélés megváltozott, a megoldás pazarló és sokak szerint nem fenntartható. A gyártás növekedése húsz év alatt tízszeres volt. 1851-ben a londoni világkiállítás keretei között a Hyde Parkban felállított szerkentyűt 830 ezren látogatták meg. Az öblítéses vécé az életminőség óriási javulását eredményezte. Ugyan-

akkor azonban csatornarendszer hiányában a következő emésztőgödörök túlterhelése: a vízfogyasztás 1861 és 1866 között Londonban megduplázódik, és a fajlagos érték meghaladja a 1000 l/fő/év-et (ma, városi környezetben, Európában 150 l/fő/nap körüli).

Színhelyünk, a Soho, London korábban talán legnépszerűbb, elegáns és divatos negyede, ami a 18–19. században alapvető változásokon megy keresztül. Az előkelő családok kiköltöztek, helyüket szegények és ipari munkások foglalták el. A *népsűrűség* hihetetlenül megnőtt. 1854 forró augusztusában váratlanul megjelenik a „Kaszás”, a kolera formájában. Néhány hét alatt a lakosság több mint tízeze esik áldozatul, miközben a szomszédos környék furcsa módon érintetlen marad.

Történetünk középpontjában a Broad Street-i kút és szivattyú áll. Vízét mintegy 10 méter mélységből kavicságyon és agyagos rétegen áthaladva nyeri. A Broad Street-i víz híres volt jó ízéről, ami a környékbeli három másik forráshoz viszonyítva alacsonyabb hőmérsékletének és magasabb karbonáttartalmának volt köszönhető. Sokan hajlandók voltak extra gyalogutat megtenni, hogy finom vízhez jussanak. Anglia számára a kolerajárvány 1831-ig ismeretlen volt (pedig a középkorban az egész kontinensen irtott). Először a globális hajózási rendszerek működése eredményeként éri el az országot, és Ázsiát, Oroszországot és az USA-t is sújtja. Több tízezen haláloztak el. Hasonló volt a helyzet 1833-ban és 1848–49-ben. A félelem nőtt, de a jelenséget, következtetésként a megoldást sem ismerték.

A halálozás oka mai tudásunk szerint is meglehetősen bonyolult: leegyszerűsítve a *Vibrio cholerae* baktérium endotoxint termel, majd injektál a bélsejtbe, ami felborítja a test vízháztartását (a vékonybél sejtei hihetetlen sebességgel, sokkal több vizet ürítenek ki, mint amennyit abszorbeálnak). Dehidratáció jön létre, a keringő vér mennyisége csökken, töménysége nő. Előbbi gyorsítja a szív ritmusát, azért, hogy a vérnyomást, a vese és a szív funkcióját fenn tudja tartani. A folyamat és a szív működése felgyorsul, a vese egy darabig megkísérli konzerválni a növekvő folyadékmennyiséget. A fekália bejut az érrendszerbe (urémia), ájulás, kóma jön létre, végül a szervezet leáll, mindez néhány órán belül. Egyúttal trilliónyi baktérium „születik”, újabb áldozatokra várva.

Ma már tudjuk, hogy *V. cholerae* nem az influenzához hasonló ragályos betegség, sem nem gyilkos pára vagy mérreg (miazma), ami a légkörben vagy fizikai érintkezés révén terjed, ahogyan azt főhősünk, a kolerajárvány okát feltáró dr. Snow előtt (és sokan még utána is) hitték. Az előfeltétel: fertőzött ember fekáliája másik ember tápcsatornájába jusszon. A kolera hosszú ideig nem talált olyan „pályát”, ami a terjedését lehetővé tette volna, így maradt eredeti környezetében, a Gangesz deltájában, alga-, koszon? A városi környezetben kialakult, soha korábban nem látott népsűrűség (egy főre alig jutott 10 m<sup>2</sup>) azonban a terjedés feltételeit szinte ideálissá tették, amiképp fekália és ivóvíz könnyedén kapcsolatba kerülhetett egymással. Ez történt egyes tengerparti településeken is, amelyek a hajózási útvonalak mentén feküdtek.



### Dr. John Snow, a detektív

Dr. John Snow (1813–1858) sebész és altatóorvos az 1831-es járvány idején egy Newcastle környéki bányában vesz részt növendékként a kezelésben, és a higiénia teljes hiányát tapasztalja. Kutatásokat végez az éter és a kloroform altatásra történő használatára – ez az eredeti szakterülete. Az ötvenes években már London egyik legjobb „sztár” altatóorvosának tartják. Logikus és induktív gondolkodás jellemzi. A különböző tudományterületeket kiválóan ötvözi. Lakása egyúttal a laboratóriuma, ahol a legkülönbözőbb kísérleteket végzi. Snow detektívmunkája akkor kezdődik, amikor az 1848. évi járvány adatait hozzáférhetővé teszik. Az áldozatok száma meghaladta az 50 000-et. Ok-okozati összefüggés hiányában azonban a terjedés teljességgel érthetetlen, a korábbi hipotézisek (lásd az előzőekben) nem adnak kielégítő magyarázatot. Snow az adatokat elemezve ellentmondó eseteket figyel meg: (i) előfordult, hogy a haldoklóval azonos légterben tartózkodó személy sértetlenül távozott, (ii) másik esetben pedig ugyan semminemű fizikai kontaktus nem jött létre, az eredmény mégis végzetes volt.

Snow tapasztalataira alapozva építi fel és adja közre hipotézisét. Úgy véli, a kolera kiváltója egyelőre nem definiált ágens, amelyet az áldozat lenyel, mégpedig más ürülékével való közvetlen kapcsolatot követően, vagy többnyire az elfertőzött ivóvíz révén. Snow hihetetlen kitartással, helyi ismereteit hasznosítva – a Soho az otthona – újabb és újabb eseteket, házakat és negyedeket vizsgál. Fontos mozzanat, amikor a víz útján történő terjedés elméletét kísérli meg alátámasztani. Két, egymáshoz egészen közel eső (Thomas Street-i), hasonló épületblokkot talál, amelyek közül az egyikben élők egytől-egyig áldozatul estek a kolerának, a másiktól pedig mindössze egy halálesetet jelentettek. A különbség: az ivóvíz két különböző helyről érkezett, közülük az egyik folyamatos szennyezést kapott egy csatornából.

Behatóan vizsgálja egy-egy helyszínen a terjedés mintázatát és a higiéniai körülményeket. Ugyanakkor a városi statisztikára alapozva, madártávlatból is szemléli a történeteket. Sikerének egyik titka „interdiszciplináris” szemlélete: a különböző tudományterületek között hidakat építve, otthonosan mozog egyik *tér-idő léptékről* a másikra váltva, a baktérium mikrovilágától az emberen és a házakon át madártávlatig. Egyik feltevése, hogy a várostól délre lakók kitettebbek, hiszen sokkal nagyobb valószínűséggel fogyasztanak a városon áthaladó folyóból származó vizet. Az északon lakók különböző forrásokból kapják a vizet, ezzel szemben a déliek pontosan arról a Temze-szakaszról, ahova London csatornáinak nagy része ürít. A következtetés drámai: az 1848–1849. évi adatok elemzése délen nyolcszoros halálozási rátát mutatott északhoz viszonyítva.

Elmélete alátámasztása érdekében különböző eseteket elemez. A Thomas Street-i nyomozását az ivóvíz-szolgáltatók felmérésével folytatja. 1850-ben Londonban tizenhárom nagyobb vállalat szolgáltatott ivóvizet. A Temzétől délre két cég, a Southwark and Vauxhall (S&V), valamint a Lambeth tartotta kézben a területet. Mindkét vízkivételt a Temze-torkolatba telepítették, azaz szennyezett vizet szolgáltatottak. Ezt felismerve, 1850 elején a parlament szabályozta a vízkivétel elhelyezését. A Lambeth jogkövető magatartásával szemben azonban az S&V halogatta a döntés

végrehajtását. A felmérés rávilágított arra, hogy néhány kerület – mint Dél-London is – két szolgáltatótól kap vizet, ebben az esetben egy szennyezett és egy viszonylag tisztát. Most már másra nem is volt szükség, mint a halálozási adatok kisebb, a vízművek területeire történő felbontása révén annak megállapítására, hogy az S&V, illetve a Lambeth területeihez hány haláleset tartozott. Az eredmények igazolták Snow feltevését: amíg az S&V-területen 1:100 volt az arány, addig a másikon 15 000-ből egyet sem regisztráltak. A kísérlet azzal a területtel folytatódott, amelyen mindkét vállalat szolgáltatott vizet. A halálesetek helyéhez tartozó szolgáltató beazonosítása érdekében az interjúkészítéstől kezdve számos módszerrel próbálkoztak, siker nélkül. Itt mutatkozott meg ismételtén Snow zsenialitása. Házi laboratóriumában végzett kísérletei alapján ugyanis kimutatta, hogy az S&V-víz mintegy négyszer több sót tartalmazott, mint a Lambeth-é. Erre a megfigyelésre (nyomjelzőre) alapozva, mintákat véve és analizálva könnyen kijelölhető volt a „bűnös” vízmű.

Erőfeszítéseit – bizonyítandó hipotézisét – később híressé vált *térképsorozat* készítésével folytatta. Utcaterképen feltüntette a tizenhárom szolgáltatót, majd – házanként és házszámokként, az utcákra merőlegesen – fekete hasábok formájában a haláleseteket. Az eredmény drámai volt: a fekete hasábok a Broad Street-i kút környékén sokkal erősebben koncentráálódtak, mint más kút környékén.

Ezután a Broad Street-i kút köré azzal a feltevéssel rajzolt egyenesek által lehatárolt Thiessen-poligont, hogy: (i) a görbén belüli pontok közelebb esnek az elszennyezett kúthoz, mint bármelyik más forráshoz; (ii) a kívül lakók pedig bármelyik másik forrást választhatták a tizenhárom közül, ami közelebb volt, mint nevezetes kútunk. Így a halálesetek 60%-át sikerült azonosítani.

A szerkesztés geometriailag a kunktól mért távolság alapján történt, azaz a „falakon keresztül” is történhetett terjedés. Ezzel szemben Snow rájött, hogy hipotézise alapján ezt a távolságot az utcák menti gyalogosidővel kell helyettesíteni. Ezért utolsó lépésként végrehajtotta ezt a transzformációt, és most már zárt görbével definiálta a kút körüli cellát. A kapott szabálytalan, piskóta jellegű görbe szinte egybeesett a kolera kitörési határával, újabb bizonyítékot szolgáltatva. A művelet elvégzéséhez komoly te-repmunkára volt szükség: a címek begyűjtése, meglátogatása és az elérési idő meghatározása. Snow eredményei szerint a cellához mérten „külső” áldozatok mind kapcsolatban voltak a nevezetes kúttal, a belsők mintegy 90%-a valóban a legközelebbi kúthoz járt, utóbbi 90%-a pedig notórius Broad Street-i vízfogyasztó volt. Feltevése további megerősítését szolgálta egy 500 fős műhely és egy sörfőzde: mindkettő független kúttal rendelkezett, és áldozat nélkül úszta meg a járványt. Ezzel szemben egy másik sörfőzdében igen magas volt a halálozási ráta: mint kiderült, Broad Street-i vízzel dolgoztak.

Snow most már biztos volt igazában, és 1854. szeptember 7-én a kormányzótanács szükségállapot-ülésén meghallgatást kért. Vázolta elméletét. Javasolta a Broad Street-i kút lengőkarának eltávolítását: tette ezt oly módon, hogy a *hipotézis nem volt kételyek nélkül* bizonyítottnak tekinthető, hiszen a szennyezés és a kolera között csak



gyenge korrelációt sikerült felállítania (és a konkurens elméleteknek is voltak tudós hívei). Arra azonban elégséges volt, hogy Snow megtegye cselekvési javaslatát, amikor is a nem cselekvés potenciális költsége nagyságrendekkel meghaladta a cselekvés lehetséges költségét (ezt lényegében a vízellátás átmeneti biztosítása jelentette).

A Broad Street-i eset fenti interpretációja kiváló példa az *elővigyázatossági elv* alkalmazásának (EEA, 2001). Két megjegyzés: (i) az utólagos feltárás megállapította, hogy a járvány kiváltó oka egy, a kút közelében lévő, elhagyott emésztőtógódör volt; (ii) a vita lezárása harminc évvel később következik be, amikor Kochnak sikerül izolálnia a *V. cholerae*-t, és 1883-ban megkapja a Nobel-díjat. Gyakorlati igazolást 1866 jelent (Snow már nem él), amikor az utolsó londoni nagy kolerajárványt Snow módszerével küzdik le.

### Snow után

Snow munkássága és az 1854-es járvány leküzdése számos rövid és hosszú távú következménnyel jár London és a világ számára egyaránt. A brit főváros vezetői okulva a Broad Street és „Great Stink” eseteiből, a Temze szennyeződésszabályozásáról és csatornarendszer kiépítéséről döntenek. A koncepciót a kiváló mérnök, Joseph Bazalgette, a Metropolitan Board of Works főmérnöke – ismét egy nagy egyéniség – dolgozza ki és valósítja meg. Többszintű földalatti csatornarendszert tervez, ami a folyó két oldalán kivezeti az öbölbe Közép-London összegyűjtött, tisztítatlan szenny- és csapadékvizeit. Innen ezek felhígulva, az ár-ápály-mozgással mosódnak át az óceánba. (A Temzét szennyezés csak dagály idején éri.)

A megoldás nagy vita eredményeként alakul ki, sokan a szennyvíz mezőgazdasági elhelyezése mellett kardoskodnak. Hat év alatt hat darab, összesen 160 km hosszúságú főgyűjtőt, 720 km főcsatornát építenek meg, bekötik a meglévő, kisebb átmérőjű rendezetlen szakaszokat, így a teljes hálózat hossza 20 000 km, amit szivattyúk és egyéb műtárgyak egészítenek ki. Az elképzelés a 19. század egyik *legambiciózusabb projektje*. A hálózat nagy része már 1865-ben működik, a hivatalos befejezés éve 1878. A szennyvizek tisztításáról tehát még szó sincsen, a kezdeti vízműnőség-szabályozás jelszava: „*The solution to pollution is dilution* (A megoldás a szennyezésre a hígítás).

### A 20. században

A csatornázás hatása sokszorosa az eredeti elvárásoknak. Nem csupán a szennyvizeket gyűjtik össze, de megoldják a záporvíz és a bűz kérdését, nagy biztonsággal elhárítják a koleraveszélyt, megvédik a vízbázisokat: az ivóvíz és a Temze minősége (átmenetileg) javul. A rendszer később rugalmasan bővíthető a népesedésnek és a változó környezeti előírásoknak megfelelően. Így a huszadik század közepén és végén három, illetve hat szennyvíztisztító működik, követe a sokoldalú változásokat: az igények, a szemlélet, a Temze vízminősége stb. mind állandó mozgásban van. A felismerés általános és kulcsfontosságú: „*It was an illusion that dilution to pollution was the solution. (Illúzió volt, hogy a hígítás lenne a megoldás a szennyezésre.)*” 1962-ben bevezetik a fertőtlenítést, tíz évvel később pedig az algásodás (eutrofizálódás) miatt a foszforeltávolítást. 1975-re a Temze folyórendszer több szakaszán, nem először, meglepő oxigénproblémákat észlelnek.

A nitrifikáció érdekében megnövelik a levegőztetőmedencék tartózkodási idejét. 1992-ben a klórozást UV-kezeléssel helyettesítik, végül 2006-ban membrántechnológiával harmadlagos tisztítást valósítanak meg, és amit kevesen hittek volna, a *Temzén ismét megjelennek a lazacok*.

A viktoriánus London infrastruktúrafejlesztése a huszadik században modellként szolgált szinte a világ összes nagy városa számára. London példa arra is, hogy első alkalommal hoznak döntést valamely járvány megfékezésében tudományosan megalapozott elméletre támaszkodva. Mindez történik közintézményi információk felhasználásával. Első alkalommal áll szembe a kolera a tudással és nem a babonákkal. Megszületik a modern kori epidemiológia, amelynek egyik atyja, dr. Snow maradandót alkot az anesztézia területén is, az altatógázok dózisának meghatározásában. Elsőként alkalmazza a klórozást vizek fertőtlenítésére. Snow felismerése egyúttal az első példa arra, hogy létezik megoldás a nagyvárosokban az egészséges, biztonságos vízellátásra és a közegészségre. A *megoldás* az öblítéses toalett és a csatornázás párosítása, azaz a szennyezők felhígítása és azonnali elvezetése, a lakások, az utcák és a városok szintjén egyaránt.

Manapság a fejlődő világ óriási népsűrűséggel rendelkező, a régi Londonnál tízszer nagyobb megá városainak spontán fejlődését és sok torzulását látva a megvalósításban kérdések sokasága merül fel. Hogyan helyettesíthető a drága, pazarló, nyílt anyagforgalmat létrehozó, öblítéses vécén alapuló megoldás (Lüthi és társai 2011)? Nem kell-e „modern” járványok feltűnésével számolni? Mi a jövő fenntartható város- si infrastruktúrája? Melyek a teendők?

## SZÁZÉVES AZ ELEVENISZAPOS BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

A nagyvárosokban megindul az ivóvízellátás és a csatornázás fejlődése. A szennyvíztisztítás látszólag nem kap különösebb figyelmet: a megszokott „megoldást” az emésztőtógódör, a különböző fix ágyas elrendezések, később a csepegtetőtest (*trickling filter*), de mindenekelőtt a mezőgazdasági elhelyezés jelentik (a szerves anyag lebontása baktériumok által még nem ismert). Valójában azonban tudatosodik a probléma fontossága. 1865-ben létrehozzák az első Royal Commission on Water Pollutiont (RCWP – Vízszennyezésügyi Királyi Bizottság), és 1876-ban kibocsátják a folyókra vonatkozó, első szennyezésmegelőzési törvényt (*1. táblázat*). A végrehajtás azonban kudarcot vall: hiányoznak a technikai és technológiai feltételek. Előrelépést a Commission on Sewage Disposal (CSD – Csatornaügyi Bizottság) létrehozása jelenti (1898), amelynek célja a befogadók vízminőségi folyamatainak jobb megértése és új szennyvíz-technológiák kifejlesztése. A CSD egyik első fontos eredménye a szerves anyag oxigénigényét jellemző BOI<sub>5</sub>-teszt ajánlása 1908-ban, majd bevezetése nitrifikációt is előíró elfolyóvíz-határértékek formájában, 1912-ben. A technológia javítása érdekében számos vegyész, mikrobiológus és mérnök kezd el kutatni.

Az első aerob kísérletek nagyjából egy időben indulnak Angliában és az USA-ban, két kiválósági központban, a manchesteri egyetemen (MU), illetve a lawrence-i kísérleti állomáson (Massachusetts). Különböző elrendezéseket vizsgálnak, különös tekintettel a levegőztetés, az

iszap és a baktériumok szerepére. Angliában vassókat adagolnak és speciális vas-M-7 baktériummal oltják be a rendszert. A fejlesztéseknek nagy lökést ad a meghatározó szerepet játszó ötletgazdag *dr. Fowles* (MU) látogatása a Lawrence-i állomáson, ahol különböző elrendezések mellett alga és mikroorganizmusok jelenlétében végeznek levegőztetési kísérleteket. Hazatértevel hasonló kutatási programot javasol *E. Arden* és *W. T. Locket* részvételével. Ők felismerik a biológiai iszap aktív szerepét: visszaforgatása a levegőztetőmedencébe gyorsítja a lebontást (vagy fokozza annak mértékét), és lehetővé válik a (részleges) nitrifikáció is. A kísérletek szerint a nyers szennyvíz teljes

oxidációja nem igényel 24 órát sem. A keletkező biológiai iszapot – jobb híján, referenciaként – „activated sludge”-nek (AS) nevezik el (a magyar szakkefezés ropant találó: „eleveniszap”): megszületik a ma is legszélesebb körben alkalmazott biológiai szennyvíztisztítási eljárás, amit a szerzők 1914 áprilisában a Society of Chemical Industry konferenciáján ismertettek, majd három cikkből álló sorozatban foglalnak össze (*Arden és Locket 1914 a és b, 1915*). 2014 az AS-technológia éve, a századik születésnapot nemzetközi IWA-konferencia (International Water Association) keretében ünneplik (*Jenkins és Wanner 2014*).

1. táblázat. Mérőföldkövek a vízminőség-szabályozásban

(Forrás: RCWP–Royal Commission on Water Protection, Jenkins és Wanner 2014)

Table 1. Milestones in water quality control (Source: RCWP–Royal Commission on Water Protection, Jenkins and Wanner 2014)

Év	Események	Következmények	Megjegyzés
1596	Öblítéses vécé felfedezése	Nincsen kereslet	
1831	Egyesült Királyság: első kolerajárvány	Oka ismeretlen	Tudatlanság?
1851	Öblítéses vécé a londoni világiállításon	Nő a kereslet. Hozzájárul a járványhoz	Később globális elterjedés
1854	Londoni kolerajárvány	Felismerés: vízzel terjed	Megoldás: vécé + csatornázás
1858	„Great Stink” a Temzén	Nagy a baj. Döntés az RCWP létrehozásáról	Gyors reakció + előrelátás
1865	RCWP	Nincsen	Túl korai lépés
1866	Utolsó járvány Londonban	Snow gyakorlati igazolása	
1876	Szennyezésmegelőzési törvény	Nincsen	Túl korai
1878 (1866)	London új csatornarendszere üzemel	Pozitív hatások	Megoldás szennyvíztisztítás nélkül
1898	Royal Commission Sewage Disposal	Döntés: BOI5-módszer kifejlesztése	Szennyvíztisztítás kívánalmi 1970-ig
1908	BOI5: kész a módszer	Szennyvíztelepek	Jó döntés. Globális hatás
1912	Határértékek: 20mg BOI, 30 mg SS + teljes nitrifikáció	Jogi szabályozás, határértékek. Érvényben 1970-ig	Nincsen alkalmas technológia
1914	Eleveniszapos szennyvíztisztítás	Technológiai megoldás	Globális
1914/15	Ohio River: átfogó monitoring	Vízminőségmegértése	
1925	Streeter–Phelps-modell	Terhelhetőség	Folyó vízminősége
1936, 1968	Lángoló folyó az USA-ban – ipari szennyezés	Clean Water Act kidolgozásának kezdeményezése	Későn, gyors cselekvés
1972	CWA		Időben

A laboratóriumi kísérleteket üzemi mérések, majd a tényleges megvalósítás követi. A sikert szemlélteti, hogy már 1920-ban, csupán Angliában 10 eleveniszapos telep üzemel (*Jenkins és Wanner 2014*). Ezt alapos lassulás követi. Az egyik, magától értetődő ok a második világháború, a másik okot a nem mindig átlátható licenciaviszonyok, a perek és bírságok nagy száma jelentik – „az akadémiai kutatás jogi realitása” nemritkán ad fel nehéz leckéket.

Úgy tűnik, a változó igények és feltételek mellett az AS-technológia tartja népszerűségét. A klasszikus elrendezést továbbfejlesztik a nitrifikáció elvégzésére (kis terhelésű rendszerek), majd P és N eltávolítására, a helyigény csökkentésére, és kombinálják más eljárásokkal:

vegyszeradagolás, biofilm, membrán stb., miközben növekvő szerepet kap az energiahatékonyság növelése és az önfenntartó telepek megvalósítása.

#### A STREETER–PHELPS-MODELL

1914-ben a US Public Health Service (USPHS – az Egyesült Államok Közegészségügyi Szolgálat) programot indít az Ohio folyó szennyezésének és öntisztuló képességének jobb megértése érdekében. A folyó a nagy és gyorsan növekvő térség szinte egyetlen ivóvízkészlete. A hasznosítás előfeltétele a vízminőség szabályozása, specifikusan a megengedhető bakteriológiai és szervesanyag-terhelés előírása. Az elvárás az, hogy a folyó oldott oxigén (DO) szintje sehol se essen a telítési érték 70%-a alá. A valóságnak megfelelően sok kibocsátót, mel-

lékfolyót, létező és tervezett szennyvíztisztítót és költségeket feltételezve máris látszik a feladat bonyolultsága és szépsége. A fő kérdés – a vízminőség-szabályozás alakpérendése – hol és milyen mértékben kell a BOI-terhelést csökkenteni ahhoz, hogy a DO-ra előírt kritérium (költség-hatékonyan) tartható legyen. Azaz, hogyan alakul a DO a BOI-terhelés függvényében – ez lesz a Streeter–Phelps-modell (1. táblázat – 1925).

A szerzők szerint megfogalmazott cél: (i) az oxigén-háztartás jobb megértése; (ii) a fizikai-kémia, a bakteriológia akkori legfrissebb eredményeire támaszkodó, új „közegészségi tudomány” alkalmazása és általánosítása; (iii) a gyakran hibás koncepció alapuló empirikus eredményekkel szemben, tudományosan megalapozott, általánosítható következtetések levezetése (Streeter és Phelps 1925).

Az 1914–1915-ös mérési program lefedte az Ohio folyó teljes hosszát (több mint 1500 km), mintegy harminc kereszt-szelvényben. A mellékfolyók torkolati szelvényét is mintázták. A megfigyelési gyakoriság napi, illetve heti háromszori volt. Mérték a vízhozamot, a sebességet, a levonulási időt, a hőmérsékletet, a szervesanyag-tartalmat, az oldott oxigént és egyéb kémiai komponenseket. Az adatokból havi átlagokat képeztek, majd ezeket elemezték. Átfogó laboratóriumi program keretében vizsgálták a szervesanyag-lebontás kinetikáját.

Az eredményeket három egymást követő cikkben jelentették meg. A harmadik tartalmazza a szerzőkről elnevezett Streeter–Phelps-modellt, ami az oldott oxigén (DO) és a szervesanyag-oxigénigény (BOI<sub>5</sub>) folyásirányú változását írja le, oxigén-utánpótlás, heterotróf baktériumok és szerves anyag jelenlétében, feltételezve, hogy utóbbi oxidálódik és stabilizálódik. Megszületik az első, iskolateremtő vízminőségi modell, ami alapját képezi számos későbbi fejlesztésnek. Az egyik szerző, E. B. Phelps sokoldalú munkásságát a 2. táblázat szemlélteti, társa H. W. Streeter egészségügyi mérnök volt.

## A BOKÉMIAI OXIGÉNIÉNY: ÚJABB INNOVÁCIÓ

Az előzőekben érzékeltük, hogy mennyire fontos az empirikus tudás. Emlékezzünk a Streeter–Phelps-modellre: a lebomlás kinetikájára tett hipotézis-labormérések, az igazolás pedig szerteágazó és nagy kapacitást igénylő helyszíni megfigyelések alapján született. De, ahogy egy szennyvíztelep sem működtethető mérések nélkül, a modellfejlesztések is reménytelenek lennének nélkülük. A jogi előírások (például a határértékek, 3. táblázat) betartatása vagy a környezetterhelési és egyéb adók kivétele és behajtása sem lehetséges ellenőrző monitoring nélkül.

Röviden tehát mérni kell. De mit? – lehetett a kérdés a 19. század második felében. Az eleveniszapos szennyvíztisztításban és a természetes vizekben egyaránt a szerves anyag lebomlása játszódik le, ha vannak szorgalmas baktériumok (vannak), és van oxigén-utánpótlás. A kérdés az, hogyan is mérjük a szerves anyag jellemzőit. Az összetétel meghatározása alapján? Ez aligha járható út (bár ebbe az irányba tartunk, lásd az ASM- [eleveniszapo-

pos szennyvíztisztítás] modellek egyre finomodó frakcionálását, Henze és társai 1999). A kiutat minden bizonynyal az a gondolat jelenthette, hogy ha nem sikerül a közvetlen mérés, határozzuk meg magát az oxigénelvonásra gyakorolt hatást. A végeredmény a biokémiai oxigénigény, a BOI volt, mint a bontható szerves anyagok mennyiségére jellemző mutató (nem koncentráció, hanem a mikroorganizmusok által adott idő alatt elfogyasztott oxigén mennyisége térfogategységnyi vízben).

A BOI az előírt hőmérsékleten (általában 20°C-on), adott időtartam alatt literenként elfogyasztott O<sub>2</sub> mennyisége. Miért öt nap? Egyszerű a válasz: a rövid, angliai folyók levonulási ideje nem éri el ezt az időtartamot. Ezzel megszületett az a helyettesítő és integráló módszer, ami mindmáig a vízminőség-szabályozás egyik fontos eszközt jelent, aminek gyengeségeit – az angolvéchéhez hasonlóan – napjainkban kezdjük felismerni. Néhány jellemző BOI<sub>5</sub>-értéket a 3. táblázat tartalmaz.

2. táblázat. Earle Bernard Phelps, a sokoldalú, interdiszciplináris „mérnök”

Table 2. Earle Bernard Phelps, the versatile, interdisciplinary "engineer"

Earle Bernard Phelps (1876–1953)	
Tanulmányok	Kémia, biológia (MIT)
Dolgozott, mint	Kémikus, bakteriológus, mikrobiológus, vízmérnök, közegészségügyi szakértő
Munkakapcsolat	Lawrence Exp. Station, US Geological Survey, US Army Corp, US Public Health Service, MIT, Stanford, Columbia, Florida
Eredmények	Szennyvizek fertőtlenítése, klórozás, nagy szennyvíztelepek (NY, New Jersey, Toronto stb.)
Úttörő eredmények	New York Harbor vízminőségének jellemzése DO által, Streeter–Phelps-modell

3. táblázat. Különböző vizek jellemző BOI<sub>5</sub>-értékei

Table 3. Typical BOI<sub>5</sub> values for different waters

Vizek jellege	BOI <sub>5</sub> (mg/l)
Hegyvidéki patak	< 1
Közepesen szennyezett víz	2–8
Tisztított szennyvíz, harmadik fokozat	< 20
Részlegesen tisztított	~ 80
Nyers szennyvíz	200–600

A városi szennyvizek sokféle szennyező- és tápanyagot tartalmaznak. A szerves szennyezőanyagok viszonylag gyorsan lebontják, az oxigénelvonást a CBOI<sub>5</sub> jellemzi. Nemcsak a szerves szén lebontása, de a nitrifikáció is oxigénigényes reakció, amelyet két lépésben, a heterotrófokon elszaporodó (autotróf) nitrifikáló baktériumok lassabban végeznek el, ezért célszerű a mérést 20 napig folytatni. Ez lesz a teljes BOI<sub>20</sub>. A nitrogénhez kötődő ún. NBOI oly módon határozható meg, hogy a BOI-tesztet az autotróf baktériumokat lemérgezve is elvégezzük (CBOI), majd képezzük a különbséget (teljes BOI – CBOI). Ez az NBOI.



## A KOLERÁTÓL AZ EDS-ANYAGOKIG: 150 ÉV

Vizeink minősége befogadótól, helytől és időtől függően változó. Tömören fogalmazva: a fejlettnek minősített „pinciny” világunkban jó, javuló, de nem probléma nélküli (nem pontszerű szennyezések, tengervíz betörése talajvizekbe, toxikus anyagok és mikroszennyezők, vízhiány stb. A fejlődő világnak – fordított helyzetben – számos, egy időben jelentkező súlyos gondot kell megoldani, de nem csupán a pénz hiányzik, hanem a kapacitás, az adatok, a hatékony intézményi rendszer (kormányzás) és egyebek. Magyarországot a komoly infrastruktúrafejlesztések, a szélsőségek, a felszín alatti vizek fontossága, az osztott vízgyűjtők, a javuló, de az EU VKI előírásait még távolról sem kielégítő vízminőség jellemzi.

Szűkebb értelemben a vízminőség függvénye a terheléseknek. Utóbbiak azonban nem maguktól születnek, hanem a társadalmi-gazdasági fejlődés eredményeként jönnek létre. Ilyen tágabb értelemben, a hosszabb távú trendeket a *főbb hajtóerők* határozzák meg. Hajtóerő a népesség, a városiasodás, az ipar, a mezőgazdaság, az infrastruktúra fejlettsége, az EU-integráció, az éghajlatváltozás (külső hajtóerő) és ide sorolhatók a zöldmozgalmak is. *Chapra* (2008) szerint az USA-ban a hetvenes éveket a társadalom környezettudatosságának erősödése és a prosperáló gazdaság jellemezte, ami a „zérus kibocsátás” és „a gyors megoldást bármi áron” szemlélethez vezetett. A pénzbőségből adódóan a költséghatékonyság nem számított, az okos szabályozási eszközöket nem alkalmazták, pedig már sok közgazdasági, operáció- kutatási eszköz is rendelkezésre állt optimális stratégiák kidolgozására. Ezt a tendenciát azután az egymást követő energiakriziszek és gazdasági válságok billentik át az ellentétes irányba, ismét túlzott mértékben.

A fejezetet a kolerajárvánnyal kezdtük a 19. század közepén, és mintegy másfél évszázaddal később fejeztük be, amikor a fejlett világban a vízminőség-szabályozás szinte valamennyi fontos eszközt sikerült megteremteni. Az időszak főbb eseményeit időrendi sorrendben az *1. táblázatban* foglaltuk össze, azért, hogy néhány általánosabb következtetést levonhassunk. A mintegy 150 éves vizsgált időszak főbb történései azt mutatják, hogy a döntések meghozatala általában valamilyen drámai eseményhez kötődik (kolerajárvány, elviselhetetlen bűz, lángoló folyó), ami sokkolja az embereket és a politikusokat egyaránt (ilyen helyzet alakult ki a Balaton esetében is 1982-ben, amikor soha korábban nem tapasztalt, gusztustalan kék-alga- [cyanobaktérium-] invázió érte a tavat Keszthelytől Keneséig).

A táblázatban érdemes megfigyelni a *döntések előkészítését és ütemezését*. Ma gyakran panaszkodunk, hogy elhúzódik a döntéshozás, nem kielégítő az előrelátásunk és az elővigyázatosságunk. Ezzel szemben az *1. táblázat* eseményeinek jelentős részét pontosan a fordítottja jellemzi: előrelátás, meglepő módon időnként túl korai cselekvés, amikor a megvalósítás feltételei még nem adóttak. A megállapítás nem negatív, sőt fordítva: a döntések hihetetlen motivációt jelenthettek például a szennyvíztisztítás vagy a BOI-módszer kifejlesztése területén. Az előrelátás jelentkezik a kialakulóban lévő vízminőség-szabályozás szinte minden vonalán: a határértékek kitűzésében

(amelyek az 1970-es évekig érvényben maradnak), a jogalkotásban és az intézményi fejlesztésekben. Mindezeket a fejlesztéseket, közvetve vagy közvetlenül, az 1854. évi járvány és az arra adott Snow-féle válasz szinte lavinaként indította el.

A londoni példából érzékeljük, milyen fontos az elővigyázatosság és egyazon jelenség különböző léptékeken történő elemzése. A vízmérnöki szakma egyik érdemi célja nem más, mint a *jelenségek felderítése a rendkívül széles tér-idő skálán*. A baktérium- és algafajok mikronnyi, míg a vírusok néhány száz 10 nm méretűek, sok toxikus anyag molekulányi nagyságú, hatásuk azonban több száz vagy ezer km<sup>2</sup>-en érvényesülhet. Az eredő időlépték lehet éves, évtizedes nagyságrendű, miközben a részfolyamatok csupán néhány másodpercre vagy órára terjed ki.

Visszatérve a 20. század elejére, az 1925 utáni fejlődés is jól szemlélteti London példája. Az időszakot a szennyvíztisztító – elsősorban eleveniszapos – telepek kezdeti, majd az 1950-et követő, gyorsuló megvalósítása jellemezte Európában, Észak- Amerikában és a nagyvárosok többségében. Telepek azóta is nagy számban épülnek (lásd például Kínát, Közép-Európát és azon belül Magyarországot), miközben – a londoni példához hasonlóan – folyik a meglévő telepek intenzifikálása. A motivációt a kapacitás növelése, az újabb és újabb szennyezők megjelenése (például EDS-anyagok, mikroszennyezők sokasága, gyógyszermaradványok stb.), a környezeti előírások fokozatos szigorodása és az ökológiai szemlélet elterjedése jellemzi. Megjegyzendő, hogy az emberi patogén vírusok eltávolítási hatásfoka gyenge a szennyvíztelepeken, a szokásos fertőtlenítés kevésbé hatásos, ezért ezek a vírusok nagymértékben terhelik a felszíni vízkészleteket, egészségügyi kockázatot okozva. Eltávolításukra nincs kidolgozott technológia, sőt ezeknek a részecskéknek a koncentrációját a rendszeres monitoring keretében nem is mérik.

A változásokat a befogadók vízminőségi problémái és az ezekből származó szabályozási igény indokolta. Ezek világszerte hasonlóan, bár időbeli eltolásokkal jelentkeztek: az oxigénháztartás zavarai, a tavak, majd a beltengerek és folyók tápanyag-feldúsulása (eutrofizálódása), utána a toxikus szennyezők.

A fejlődő országok többsége, úgy tűnik (késleltetve), másolja a fejlett világ vízminőségi gondjainak kronológiáját, és sajnálatos módon a megoldások során elkövetett hibákat is. Az európai és a hazai helyzetet jelenleg a Víz Keretirányelv alkalmazása jellemzi.

## IRODALOM

- Arden, E. és Lockett, W. T.* (1914a). Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters. *J. Soc. Chem. Ind.*, 33, 523.
- Arden, E. és Lockett, W. T.* (1914b). Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters, Part II. *J. Soc. Chem. Ind.*, 33, 1122.
- Arden, E. és Lockett, W. T.* (1915). Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters, Part III. *J. Soc. Chem. Ind.*, 34, 937.
- Chapra, S. C.* (2008). *Water Quality Modelling*. Waveland Press, Long Grove, 844.



EEA (2001). Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000, Environmental issue report No 22/2001

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais G. V. R., van Loosdrecht, M. C. M. (1999). Activated Sludge Model No. 2d, ASM2D. *Water Sci. Technol.*, 39 (1), 165–182.

Jenkins, D. és Wanner, J. (2014). *Activated Sludge – 100 Years and Counting*, IWA Publishing, 464.

Johnson, S. (2006): *The Ghost Map*. Penguin Books Ltd., London

Lüthi, C., Panesar, A., Schütze, T. (eds.) (2011). *Sustainable sanitation in cities. A framework for action*. Papiroz Publishing House, The Netherlands

Streeter, H. W. és E. B. Phelps (1925). A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River, Vol. III, Factors Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration. *Public Health Bulletin* No. 146, U. S. Public Health Service, Washington, D.C.

U.S. Clean Water Act (1972). Federal Water Pollution Control Act, (33 U.S.C. 1251 et seq.) November 27, 2002

## A SZERZŐ



**SOMLYÓDY LÁSZLÓ** a BME professor emeritusa, az MTA rendes tagja. Jelentős eredményeket ért el szennyvizek vízfolyásokban történő elkeveredésének kutatásában; transzportfolyamatok és összetett környezeti rendszerek modellezésében; a vízminőség-szabályozás területén; az eutrofizálódás vizsgálatában; döntéstámogató rendszerek kifejlesztésében; a költség-hatékony szennyvíztisztítás területén. Foglalkozott a Balatonnal, a Dunával, a Tiszával, a Sajóval, a Rábával és más felszíni vizekkel itthon és a közép-európai országokban, Kanadában, Brazíliában, Szingapúrban és Kínában. Nemzetközi tudományos karrierje során volt az International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) vízzel, illetve környezettel foglalkozó programjának vezetője, az International Water Association (IWA) és az European Environmental Agency Scientific Committee elnöke. Munkáit külföldön mintegy 1500 alkalommal idézték. Jelenleg is több magas szintű nemzetközi tanácsadó testület tagja. Itthon is számos szakmai közéleti tisztséget töltött be: volt az MTA Műszaki Tudományok Osztálya elnöke; a MAB alelnöke; az Országos Környezetvédelmi Tanács tagja; a Tudomány és Technológiapolitikai Tanácsadó Testület elnöke. Közel 50 könyvet, illetve könyvfejezetet, több mint 100 tudományos cikket, 300 tudományos előadást jegyez. Elismerései közül a Gábor Dénes, a Széchenyi, a József Nádor, a Hazám és a Környezetvédelmi felsőoktatásért díjat emeljük ki. 2015-ben megkapta az European Water Association (EWA) nagydíját (Dunbar Medal). Szenvedélye okán egy írásban a „Balatonember” címkét akasztották rá, ami ellen nem tiltakozik.

## Vízminőségi modellek és a mérnök

Somlyódy László

Professor emeritus, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. (E-mail: somlyody.laszlo@epito.bme.hu)

### Kivonat

A cikk a vízminőségi modellezés néhány kérdésével foglalkozik és tartalma megegyezik a szerző most megjelent Felszíni vizek minősége – modellezés és szabályozás című könyvének 5. fejezetével (lásd még a Könyvismertetőt ebben a lapszámban). Elemzi a mérnök szerepét a modellalkotásban és fordítva, a modellezés mérnöki szemléletre gyakorolt hatását. Górcső alá veszi az ökológus kulcsfontosságú szerepét is, a felmerülő konfliktusokat és mindezek fejlődéstörténetét. Tárgyalja a modellek főbb célkitűzéseit, fajtáját és használatát, a vízminősítés és a stratégiaalkotás keretei között. A legegyszerűbb esetekre – oxigénháztartás folyókban és összes foszfor viselkedése tavakban - bemutatja az anyagmegmaradáson alapuló leíró egyenleteket és azok analitikus megoldását. Kiemelten foglalkozik a vízminőség-változás számításával, a külső, vízgyűjtőről származó terhelés függvényében, azaz a befogadó válaszfüggvényének meghatározásával. Bemutatja a szabályozás főbb gyakorlati eszközeit (indikátorok, kritériumok, határértékek, technológiák stb.), különös tekintettel a természeti folyamatok és a költségek relatív szerepére. Szemléltetésként egy tó regionális vízminőségi problémáját használja, két pontszerű szennyvízbevezetéssel és két ellenőrző szelvényvel.

### Kulcsszavak

Vízminőség-szabályozás, modellezés, mérnök, ökológus, célkitűzések, stratégiák, modellfajták, oxigénháztartás, Streeter-Phelps, összes foszfor, válaszfüggvény, regionális probléma.

## Water quality models and the engineer

### Abstract

The paper deals with a couple of aspects of water quality modelling and the text is identical with Chapter 5 of the Author's book: Surface water quality – modelling and regulation, which was published recently (see the Book Review of this issue). It analyses the role of engineer in model development and vice versa the effect of modelling on the engineering approach. It scrutinizes the key role of the ecologist, the conflicts arising, as well as the evolution of all these. In the framework of strategy making the paper discusses the major objectives of models, their types and utilization. For simple cases – oxygen household in rivers and behaviour of phosphorous in lakes – it demonstrates the governing equations based on the mass balance and their analytical solutions. It pays special attention to the calculation of water quality changes as a function of exterior load originated from the catchment, that is, to the determination of the response function of the recipient. The paper describes the major practical tools of the control (indicators, criteria, limit values, technologies etc.) with special regard to the relative roles of natural processes and costs. As illustration one can read about the problem of regional importance of a lake, with two point-like wastewater emissions and two control sections.

### Keywords

Water quality control, modelling, engineer, ecologist, objectives, strategies, types of model, oxygen household, Streeter-Phelps, total phosphorous, response function, regional issue

### BEVEZETÉS

A vízminőséggel számos szakma foglalkozik, közöttük a „civil engineer”, amit napjainkban magyarul építőmérnöknek vagy talán „általános mérnöknek” hívunk. De valójában milyen szerepet játszik az építőmérnök? Milyet az ökológus? Mikor alakult ki a jelenlegi gyakorlat? A cikkben ezekre a kérdésekre kísérelünk meg választ adni. Beszélünk arról is, mik a vízminőségi modellek és szerepük a mérnöki szemlélet megvalósításában. Egyszerű esetekre – összes foszfor- és oldottoxigén-igény – anyagmérleg-megfontolások alapján bemutatjuk a leíró egyenleteket és azt, hogyan állítható fel a terhelés és a befogadó közötti kapcsolat, és milyen az ún. válaszfüggvény. Az összes foszfor és a klasszikus Streeter–Phelps-modell a vízminőség-szabályozás alapesetét jelenti. Ezután egy folyó–tó-rendszert tekintünk két szennyvízbevezetéssel és több, a vízminőséget ellenőrző ponttal. Az így adódó regionális feladatra vázoljuk fel, hogyan fogalmazható meg az aktuális döntési (optimalizálási) probléma a költségek minimalizálásával. Ezzel egyúttal bevezetést is adunk a vízminőségi modellek alkalmazásához, ügyelve arra, hogy mindig az egyszerűtől a bonyolult felé haladjunk.

### A MÉRNÖK ÉS A VÍZMINŐSÉG

Korábbi ismereteink alapján azt várjuk, hogy elsősorban természettudósok – ökológusok, biológusok, kémikusok – foglalkoznak a vízminőség ügyes-bajos kérdéseivel. Ezzel szemben sokak meglepetésére azt tapasztaljuk, hogy gyakran a mérnökök viszik a vezérszálót. És azon belül nem a kémiai technológus vagy a biológusmérnök, aki leginkább birtokában van a vízminőségi és a környezeti diszciplínának, hanem az építőmérnök. Az angolszász világra legálábbis ez a jellemző.

A magyarázat az építőmérnök szoros bevonására a problémák történelmi fejlődésében keresendő: az igények a víz és a környezet vonalán jelentkeztek a legkorábban. Eredetileg kétféle mérnököt ismertünk: hadi- és építőmérnököt. Az első feladata értelemszerűen a háborúhoz kötődő technológiák kidolgozása volt, míg a „civil engineer” dolga az összes többi technológia, úgymint utak, épületek stb. megvalósítása volt.

Az ipari forradalom új eljárások megalkotását tette szükségessé és erős specializálódáshoz vezetett (*Chapra*

2008). Új mérnöki szakterületek születtek, mint a villamos-, a gépész- és a vegyészmérnök, a szakosodás azóta is tart. A korai 20. századra az építőmérnök fő tevékenységét a szerkezetek, a közlekedési rendszerek és a fő közművek (gátak, völgyzáró gátak stb.) képezték. Alapvető változást a víz által terjesztett járványok felismerése hozott: a vízminőség-szabályozás fejlődő keretei között az építőmérnökök egyre jobban részt vettek a városi ivóvíz- és szennyvízrendszerek létrehozásában, vízművek, szennyvíztelepek és különböző hálózatok építésében. A feladat jól definiált volt: adott mennyiségű ivóvíz eljuttatása a lakossághoz és a hulladékok biztonságos összegyűjtése, elvezetése. Ezzel szemben az a kérdés, hogy mi történjen a *szennyvezetésekkel*, a hulladékokkal, azaz a vizek minőségével, már jóval komolyabb kihívást jelentett.

A nyers szennyvizet először közvetlenül a befogadókba vezették – folyók, tavak és tengeröblök váltak szennyvízcsatornákká. Szükségessé vált szennyvíztelepek építése. Hamarosan kiderült azonban, hogy a technológiák növekvő spektruma áll rendelkezésre, a legegyszerűbb ülepítéstől kezdve a költséges kombinált fizikai-kémiai, majd később a fizikai-kémiai-biológiai kezelésig. Szélsőséges esetben utóbbi tisztább elfolyó vizet eredményezett, mint az eredeti befogadó vagy egy kristálytiszta hegyi pataké volt, de ugyanakkor a költségek irreálisan magasra nőttek. Nyilvánvaló, hogy egyik szélsőséges megoldás sem volt elfogadható. Szükség volt valamilyen tervezési célra, ami a környezet védelmét megbízhatóan, de gazdaságosan biztosítja. Ez a felismerés vezetett az elfolyóvíz-határértékek oly módon történő előírásához, ami mellett a befogadók vízminősége elfogadhatóan alakul. A kívánatos tisztítási szint meghatározása elkerülhetetlenül igényelte a vízminőség „előrejelzését”, a szennyezésterhelés függvényében. Azaz, szükség volt a terhelés (W) és a vízminőség (C) közötti kapcsolatra. Építő- és más mérnökök elkezdtek matematikai modelleket fejleszteni, amelyek célja a *C(W)-válaszfüggvény* meghatározása volt. Mára már tudjuk, hogy a feladat távolról sem egyszerű, a probléma jó esetben a tudás és a felismert nem tudás határán helyezkedik el, és kulcsfontosságú a *bizonytalanságok* felismerése és kezelése; ami nem feltétlenül tartozik a politikusok kedvenc témái közé. Önmagában a minőség fogalma sem definiálható könnyen és jól, csak a 20. század elején merült fel az igény – nem minden vita nélkül – hogy a vízminőséget az édesvizek mennyiségéhez hasonlóan számokkal jellemezzük. A folyamat azonban sokkal bonyolultabbnak bizonyult.

Napjainkban a vízminőség-szabályozás messze túlnyúlik a városi pontforrások kérdésén. Ipari szennyezők, városi és mezőgazdasági nem pontszerű terhelések, másodlagos szennyezések, több eltérő hatású szennyező együttes jelenléte, a befogadóra vonatkozó kritériumok színesedése, az ökológiai és morfológiai feltételek megjelenése mind együttesen jellemzi napjaink vízminőség-szabályozását. Egy dolog azonban nem változott: továbbra is a vízminőségi modellek jelentik az egyik fontos eszközt az állapotot jellemző koncentrációk előrejelzésére, a terhelések függvényében.

A vízminősítés meglehetősen összetett feladat, amelyet sok komponens és folyamat alapján, a tér- és időbeli változásokat, a vízjárás alakulását stb. is figyelembe véve kívánatos elvégezni. Naivitás lenne azt hinni, hogy ismereteink lehetővé tennék az egyre bonyolultabb jelenségek „pontos” leírását modellek segítségével, ugyan a rendelkezésre álló módszerek is sokat fejlődtek. A modellekkel célunk a jelenségek markáns vonásainak megragadása. Míg a mérések lehetővé teszik annak vizsgálatát, ami van, a modellekkel a jövő eseményeit is elemezhetjük. Így a modellek hozzáértő kezekben alkalmasak beavatkozási alternatívák és stratégiák kidolgozására, a relatív előnyök/hátrányok azonosítására, a változatok sok szempontú értékelésére. Ily módon a mérnök hatékony eszközzel rendelkezik a jövőre vonatkozó kérdések módszeres vizsgálatára. *A modellek megalkotásához* felhasználjuk elméleti ismereteinket, továbbá ahol utóbbiak nem elégségesek, empirikus tudásunkat. Itt jelennek meg a befogadókön elvégzett/elvégzendő helyszíni mérések és a különböző kísérletek. Ilyen értelemben minden modell valamilyen mértékben empirikus jellegű: a jól megtervezett mérési programok a modellalkotás, a paraméterbecslés és az igazolás fontos elemeit képezik.

A mérnök kitüntetett szerepét további tényezők is indokolják. A vízminőség-szabályozás feladatai meglehetősen bonyolultak. Elégséges itt arra utalni, hogy a Balaton vízgyűjtője mintegy 6 000 km<sup>2</sup>, a Dunáé pedig ennek több mint százszorosa. A különböző terhelések száma elérheti a több tízezret, és ezeket mind figyelembe véve kívánatos valamilyen rehabilitációs stratégia kialakítása. A mérnök az, aki okos modelljeivel, a *ma logarlécével* képes arra, hogy különböző adatbázisokra építve meg tudjon birkózni ilyen feladatokkal. A mérnök az, aki kreatív gondolkodásra építve képes a nagyságrendi becslésekre, a megfelelő és megengedett egyszerűsítésekre, oly módon, hogy a megoldás a kívánt határidőre elkészüljön.

A mérnököt, gyakran a tudóssal összehasonlításban, sokféleképpen definiálják. Kármán Tódor szerint a tudós próbálja megérteni, ami van, a mérnök létrehozza, ami korábban nem volt. Borbély Samu, a neves matematikus-mérnök szerint a mérnök az az ember, aki egy adott feladatot a rendelkezésre álló eszközökkel, adott időre elvégez. És ismét másként, a tudós feladata tudni, a mérnöké tenni. A mérnök tehát, például az ökológussal szemben, alapvetően cselekvő ember, aki a határidők betartásával mindig valamilyen jövőbeni célt kíván megvalósítani. Ő tehát a „mi emberünk” a vízminőség-szabályozás területén.

## A MÉRNÖK ÉS AZ ÖKOLÓGUS

A vízminőségi problémák másik főszereplője az ökológus. Kettejük kapcsolata nem mentes a konfliktusoktól. Valamilyen probléma esetében az ökológus feladata az okok feltárása, más szereplők tájékoztatása; a mérnöké a költséghatékony gyógymód megtalálása és a betegség kezelése. Kettőjüknek együtt kellene működniük; beállítottságuk, szakmai tradícióik, gondolkodás módjuk különbözősége és az, hogy az ökológus csak elvéve tud vagy mer számszerűsíteni, egyelőre gyakran emel gátat a kölcsönös megértés elé.

A mérnök számára az ökológiai korlát, egy a sok közül, amelyek sok szempontú elemzések ismert módszereivel elvileg kezelhetők lennének, ha tudnánk, melyek ezek. A mérnökkel szemben az ökológusok és természetvédők többsége hajlamos abszolutizálni ökológiai korlátainkat.

Mivel ez a szemléleti különbség alapvetően meghatározza a két tábor viszonyát, az okok elemzése a konfliktus feloldásának első feltétele. A két legfontosabb ok a szemléleti keretek tér-idő skáláinak különbözősége és a jövő kiszámíthatóságának eltérő megítélése (*lásd a keretes írást*).

#### **Szemléleti különbségek** (Istvánovics és Somlyódy 2000 alapján)

Az ökológiai rendszerek működésében a mértékadó időskála a társulást alkotó fajok duplázódási ideje, mikroorganizmusok esetében néhány nap, a fáknál akár néhány száz év. Minél hosszabb ez az idő, annál később válnak érzékelhetővé a vízgazdálkodási beavatkozások ökológiai következményei. Az ökológus látja a hosszú távú történések pillanatnyi relevanciáját, de felismerését nem képes a társadalomban tudatosítani, amelyet a rövid távú szemlélet jellemez. A kommunikációs probléma fő forrása a számszerűsíthetőség hiánya. A hosszú távú megoldások rendszerint a közvetlen haszon csökkenésével és többletköltséggel járnak, ezért a végső döntések rendre mellőzik a „jövő generációkkal” való törődés szándékát.

A mérnök számára fontos időskálák felső határát nem az előrelátás, hanem a konstrukciók maximális élettartama jelöli ki. A modern mérnök ökológiai korlátainkra tekintettel tudna lenni – ha a korlátokat ismernék, és ha a beavatkozások láncolata nem vezetne kiszámíthatatlan és nem kívánt következményekhez. A mérnöknek ki kell jelölnie a konkrét célt a ma jelentkező probléma megoldásához, a releváns ökológiai időskálához mérten igencsak szűk időhorizonton. Azt azonban csak utólag, a visszajelzések alapján tudhatja meg, vajon a kitűzött rövid távú cél valóban helyes volt-e. Még utólag sem könnyű ezt megítélni, mert gyakran nem világos, a rendszer működésének mely paramétereit kellene vizsgálnunk. Alapvető követelmény a rendszer választásának folyamatos nyomon követése, és a beavatkozások korrekciója a visszacsatolások alapján.

Az ökológus és a mérnök másként gondolkodik a jövő kiszámíthatóságáról. Az ökológiai rendszerek működése gyakran nem látható előre olyan mértékig, hogy a beavatkozások kockázatát felmérhessük, ugyanakkor tapasztalataink alapján viszonylag jól körülhatárolhatjuk a várható bizonytalanságok természetét. Az ökológiai rendszer választásainak előrelátásában a legnagyobb bizonytalanságot az jelenti, hogy meglepetések bármikor előfordulhatnak, hiszen a fajok és az ökológiai rendszer egésze a fizikai objektumoktól eltérően adaptívak, bármikor új tulajdonságokra tehetnek szert. A meglepetések leggyakoribb típusa olyan új faj hirtelen megjelenése vagy éppen valamely kulcsfaj eltávolítása, amely a rendszer teljes működését lényegesen megváltoztatja. A mérnök számára az ökológiai rendszerek működésébe épített inherens meglepetés lehetősége „emészthető” a legnehezebben, és biztosan ez a legkellemetlenebb vonás.

## **VÍZMINŐSÉG ÉS MODELLEZÉSE**

A vízminőség általában a víz térben és időben változó tulajdonságainak az összessége. Kezelése és részletesebb definiálása nehéz, mivel olyan sokféle, különböző jellegű és összetételű vizet ismerünk: desztillált víz, természetes felszíni és felszín alatti vizek, szennyvizek sokasága, édes- és tengervíz, ásványvíz, forrásvíz és így tovább, és egy adott víz összetétele is igen változatos lehet. Ezek különböznek fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaikban; a vizek minősítése monitorozáson és a főbb *indikátorokkal* kifejezett tulajdonság alapján, szubjektív megfontolásoktól sem mentesen történik. Ilyen indikátor lehet a hőmérséklet, az oldott oxigén, az alga-biomassza (például Chl-a-val jellemezve), a nitrátkoncentráció vagy a makroszkopikus gerinctelenek, a makrofiták, a halak stb. Fontosak a befogadó morfológiai jellemzői is, amelyek alapvetően befolyásolják a biológiai vízminőséget. A vízminőségi modellek, szemben a hidraulikával és a vízepítéssel, nem fizikai, hanem matematikai modelleket jelentenek, amelyek az elméleti és a kísérleti tudásra alapoznak. Valamely modell a valóság közelítő, általában kicsinyített leképezése, absztrakció, ami a vizsgált probléma szempontjából fontos elemekre és azok kapcsolatára alapoz. A részfolyamatok és azok összekapcsolása gyakran igényel módszeres kísérleteket és megfigyeléseket, amelyekre támaszkodva (alternatív) hipotézisekkel élünk. De magával a modellel is végezhetünk kísérleteket. A főbb elemeket és azok kapcsolódását a modell a matematika precíz nyelvén, általában számszerűsíthetően fogalmazza meg. Természetesen az így adódott modellt tesztelnünk kell. Ez magába foglalja az empirikus komponensek paramétereinek becslését (kalibráció), majd független megfigyelésekre alapozva a modell igazolását (validáció). *A modellek leggyakoribb célja a*

felfedező kutatás, a vizsgált jelenség jobb megértése, illetve döntések meghozatalának támogatása: milyen mértékű terheléscsökkentés vezet a kérdéses befogadó megkívánt állapotának eléréséhez? Döntéshozók két helyzetet szeretnének elkerülni (*Thoman és Mueller 1987*): (i) valamely befogadó terhelését számottevően csökkentik, de a vízminőség nem javul és (ii) olyan döntés meghozatalát, ami utólag túl költségesnek bizonyul, és gyenge megtérüléssel párosul.

A vízminőségi modellek célkitűzései tehát sokrétűek lehetnek. Az egyik legalapvetőbb a bonyolult fizikai, kémiai és biológiai folyamatok jobb megértése, amelyeket külön-külön kutathatunk, de a rendszer egészének vizsgálata – részfolyamatokból, mint legőselemből összerakva – matematikai modellek nélkül aligha végezhető el. Ennek megfelelően a modellek gyakran integráló szerepet játszanak, vagy konzisztens keretet biztosítanak ahhoz, hogy az érintett diszciplínákhoz tartozó részfolyamatokat együttesen vizsgáljuk.

Ezektől eltérő jellegűek az *előrejelzésre* alkalmas eljárások, amelyek például valamely árvíz, városi csapadékvíz-lefolyás vagy szennyezőanyag-hullám levonulásának számítására, korai riasztásra alkalmasak. Speciális területet jelentenek azok az on-line adatgyűjtéssel operáló, *real-time* modellek, amelyeket például szennyvíztelepek vagy tározók optimális üzemirányítására alkalmazunk. Amennyiben hosszabb időtávról beszélünk, az előrejelzést prognózisnak hívjuk, ami a legtöbbször stratégiai célokat szolgál, és forgatókönyvek készítésén, értékelésén alapul. A modellek fontos szerepet játszanak az adatgyűjtésben, monitoringrendszerek tervezésében, a K+F-ben, valamint az oktatásban.



A vízminőség-szabályozásban a leggyakrabban tervezési, stratégiai vagy „menedzsment”-feladatokkal találkozunk: valamely jelen állapotból kiindulva meghatározandó az intézkedések azon köre (pont- és nem pontszerű terhelések, vízgyűjtő tevékenységek stb. módosítása) és ütemezése, ami mellett a befogadó minősége a jövőben megfelel az *egészséges élővilágot* és a különböző vízhasználatokat biztosító kritériumoknak. Korábbi szóhasználatunkkal: keressük a  $C(W)$ -válaszfüggvényt és szeretnénk olyan megoldást kapni, ami közgazdasági értelemben is előnyös. Ez általában optimalizáláshoz vezet.

A vízminőségi modellek fejlesztését nagymértékben a jogi szabályozás igényei határozták meg. Így például az USA-ban az 1960-as évekre terjed el az oxigénháztartás modellezése. A hetvenes éveket a digitális számítógépek és a numerikus módszerek egyre gyakoribb használata jellemzi, ami lehetővé teszi a befogadó és a vízgyűjtő együttes, költséghatékonyságon alapuló elemzését. A hangsúly a *biológia irányába* tolódik el, a legelterjedtebben használt szimulációs eszköz az EPA QUAL2e modellje (*Brown és Barnwell 1987*), ami a DO-, C-, N- és P-háztartást írja le. A kiinduló alap az 1972-es Clean Water Act, ami a hajózható vizek fürdésre és horgászásra való alkalmasságát írta elő hosszú távú célként. A törvény kettős határértékrendszert írt elő: technológiai alapú elfolyóvíz-értékeket minimumkövetelményként, és amennyiben ez kisvízi körülmények (7Q10 – 7 napon át folyamatosan tartó, 10 évente egyszer előforduló) között nem vezet a befogadó kritériumok teljesítéséhez, további terheléscsökkentést költséghatékonysági alapon („waste load allocation”). Végezetül napjainkat a toxikus anyagok modellezése, a nem pontszerű szennyezések, az üledék bevonása, a hardver és a szoftver robbanásszerű fejlődése és a fejlődő országokban jelentkező problémák kezelése jellemzi.

A céloktól függően a matematikai modellek sok fajtáját használjuk: taktikai, stratégiai, döntéstámogató, vízjogi, leíró vagy optimalizációs, diszkrét vagy folytonos, lineáris vagy nemlineáris, determinisztikus vagy sztochasztikus stb. (*Kularathna és Somlyódy 1994*). A leggyakrabban szimulációs modellekkel dolgozunk (például a QUAL2, folyóvíz-minőségi és az ASM eleveniszapos modellcsaládok tartoznak ide, lásd pl. *Henze és társai 1999*). Az optimalizációs (többcélú, többkritériumú) modellek főként az összetett, sok szennyező forrással rendelkező, nagy rendszerek terheléscsökkentési stratégiájának kidolgozását szolgálják. A célfüggvény (és a korlátozó feltételek) sokféleképpen fogalmazhatók: a beruházási vagy összköltség minimalizálása, a nettó haszon vagy a vízminőség-javulás maximalizálása stb., ahogyan ez például a Balaton esetében is történt.

A gyakorlatban a *bizonytalanságok* és a döntési probléma „soft” jellege miatt általában nem egyetlen megoldásra, hanem az észszerű megoldások kijelölésére törekszünk. Megjegyezzük, hogy a szimulációs és optimalizációs modelleket esetenként iterációs jelleggel vagy egymásba ágyazva is alkalmazzák (utóbbira ismét a Balaton eutrofizálódása jelent példát).

## A BEFOGADÓ VÁLASZFÜGGVÉNYE ÉS A VÍZMINŐSÉGI MODELL

Ahogy utaltunk már rá, a vízminőség-szabályozás alapkérdése annak megállapítása, hogy a  $W$  külső terhelés  $[MT^{-1}]$  függvényében hogyan alakul a  $C$ -jellemző vízminőségi indikátor  $[ML^{-3}]$

$$C = F(W) \quad (1)$$

azaz mi a befogadó terhelésváltozásra adott válaszfüggvénye (*Chapra 2008*). Utóbbi ismeretében határozhatjuk meg, milyen mértékű terheléscsökkentés szükséges ahhoz, hogy a kívánatos jövőbeni célt elérhessük. Az (1) kifejezés a befogadó válaszfüggvénye, a vízminőségi modell.

Az (1) ok-okozati kapcsolatot fizikai, kémiai és biológiai folyamatok határozzák meg.

$$C = F(W, \text{fizika, kémia, biológia}) \quad (2)$$

vagy más felbontásban

$$C = F(W, \text{transzport [hidrodinamika], biokémia}) \quad (3)$$

ami világosan mutatja, hogy a modellalkotás egyik kulcsa az áramlástól függő fizikai transzport és a biokémiai reakció közötti egyensúly megtalálása. Természetesen a vízminőség függ a külső hidrológiai és meteorológiai tényezőktől is, így ismét formálisan

$$C = F(W, \text{hidrometeorológia, transzport [hidrodinamika], biokémia}) \quad (4)$$

Általános esetben  $F$  zárt alakban aligha fejezhető ki, azt esetről esetre a leíró differenciálegyenletek numerikus megoldása révén tudjuk előállítani. Mindazonáltal a függvény jellegét és a nagyságrendeket hasznos lenne ismerni. Ebből a célból a következőkben két egyszerű esetet fogunk áttekinteni.

A modellfejlesztés egyik egyszerű esete, amikor a válaszfüggvény lineáris (*Chapra 2008*):

$$C = aW \quad (5)$$

ahol az  $a$   $[TL^{-3}]$  átviteli tényező (az asszimilációs kapacitás reciproka), ami a fizikai, kémiai és biológiai hatásokat tartalmazza. Az (5) arányosságot fejez ki, ha  $W$  kétszereződik,  $C$  is kétszereződik, vagy ha feleződik,  $C$  is azt teszi.

Az (1) egyenlet háromféleképpen használható:

(i) Szimuláció

Az (5) egyenletet használjuk, hogy számítsuk a befogadó választ a terhelés és a rendszert jellemző átviteli tényező függvényében.

(ii) Tervezés I.

$$W = a^{-1}C \quad (6)$$

Ez a szennyvíztelepek tervezésének az alapja, a kérdés  $W$ , oly módon, hogy az előírt befogadó vízminőség elérhető legyen.

(iii) Tervezés II.

$$a = W^{-1}C \quad (7)$$

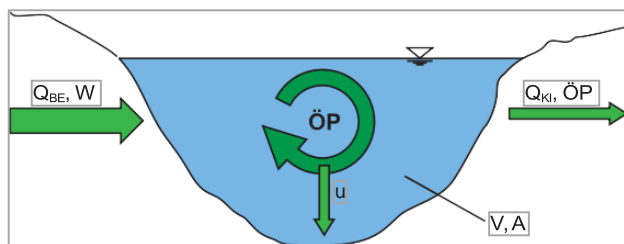
Ebben az esetben a rehabilitáció célja maga a környezet. A kérdés az, hogy adott  $W$  terhelés mellett a környezet módosítható-e olyan mértékben (kotrás, levegőztetés, hígítás stb. révén), hogy az előírt határérték betartható legyen.

A formálisan felvázolt (1) feladat látszólag egyszerű. Valójában azonban már a kezdet kezdetén bonyodalmakkal találkozunk: általános esetben többfajta szennyezővel ( $W_i$ ) és több koncentrációval ( $c_j$ ) van dolgunk,  $1 \leq i \leq I$  és  $1 \leq j \leq J$ . Itt  $I$  és  $J$  nem feltétlenül egyezik meg egymással, azaz vektormennyiségeket kell kezelnünk. Például az oxigénháztartás legegyszerűbb esetében  $I = 1$  (szervesanyag-terhelés) és  $J = 2$  (oldott-oxigén- és szervesanyag-koncentráció). További nehézséget jelent, hogy a terhelések ( $i$ ) és a monitorozás ( $j$ ) helyei is egymástól eltérőek lehetnek, azaz a modellfejlesztés során vektor-vektor kapcsolatokkal szembesülünk. Az igazi kihívást a mérnök számára ráadásul a modellparaméterek becslése és a bizonytalanságok kezelése jelenti. Ezt lentebb mutatjuk be (lásd. *Oxigénháztartás és a Streeter-Phelps-modell*).

### Két egyszerű modell és a válaszfüggvény

#### Összes foszfor

Tekintsünk  $V$  [ $L^3$ ] térfogatú,  $A$  [ $L^2$ ] felületű tavat vagy tározót, ami a vízgyűjtőről  $Q_{BE}$  vízhozamot [ $L^3T^{-1}$ ] és  $W$  [ $MT^{-1}$ ] összesfoszfor- (ÖP) terhelést kap (1. ábra). A probléma a tápanyag-feldúsulás vagy *eutrofizálódás*. Foszfor a vizekben különböző formákban lehet jelen: oldott, szilárd, szerves és szervesetlen P stb. Ezek külön-külön nem képezik érdeklődésünk tárgyát, célunk ugyanis az előzőekben tárgyalt válaszfüggvény meghatározása a tó egészére, a komponensek összegére, azaz ÖP-re. Erre a célra mérleg-egyenletet írunk fel az 1. ábra ellenőrző felületére. A modellalkotásnak mindig a „globális” kép kijelölése az első lépése, ezzel határoljuk le, mennyi foszfort kívánunk a tó egészére eltávolítani.



1. ábra. Tavi összesfoszfor-anyagmérleg  
Figure 1. Total-P balance of a lake

A rendszerbe lépő ÖP kétféleképpen távozhat: a kifolyón keresztül  $Q_{KI}$  hozammal, illetve ülepedés révén,  $u$  sebességgel [ $LT^{-1}$ ] az üledékbe. Az ülepedés itt nem fizikailag értelmezett, hanem azon a feltevésen alapul, hogy a tavak többsége a P-körforgás bonyolult folyamata során foszfort tart vissza (például a Sió-zsilip lezárása esetén a Balatonból foszfor nem távozik – hacsak a légkörön keresztül nem, ilyen folyamat viszont csak szélsőségesen redukzív körülmények között megy végbe, anyagforgalmi szerepe jelentéktelen). A tapasztalatok szerint az eredő hatás, a visszatartás arányos az ÖP-koncentrációval, az arányossági tényező pedig – aggregált paraméter – a látszóla-

gos ülepedési sebesség. (Ebből azt sejtethetjük, hogy sokszor az ülepedésre hajlamos partikulált P a domináns forma.)

Vizsgálatunk célja tehát a befogadóban kialakuló koncentráció [ $ML^{-3}$ ] meghatározása a terhelés függvényében, térbeli homogenitást feltételezve. Ekkor az ÖP-mérleg verbálisan a

$$\Delta T \text{ÁROLT ÖP} = \text{BEFOLYÓ ÖP} - \text{ELFOLYÓ ÖP} - \text{KIÜLEPEDŐ ÖP} \quad (8)$$

alakban írható, azaz

$$\frac{d(V\bar{ÖP})}{dt} = W - uA\bar{ÖP} - Q_{KI}\bar{ÖP} \quad (8a)$$

A kontinuitás egyenlete

$$\frac{dV}{dt} = Q_{BE} - Q_{KI} \quad (9)$$

és ezzel

$$V \frac{d\bar{ÖP}}{dt} = W - uA\bar{ÖP} - Q_{BE}\bar{ÖP} \quad (10)$$

Integrálva egy teljes évre, jó közelítéssel

$$0 \cong \bar{W} - uA\bar{ÖP} - Q_{BE}\bar{ÖP} \quad (11)$$

ahol felülvonással az évi összegeket/átlagokat jelöltük. Feltételezve, hogy az utolsó tagban a szorzat átlaga közelítően megegyezik az átlagok szorzatával (ez nagy tartózkodási idők esetére általában teljesül), átrendezve és a felülvonást elhagyva, az évi ÖP-átlagkoncentráció:

$$\bar{ÖP} = \frac{W}{uA + Q_{BE}} \quad (12)$$

Az összefüggés a keresett, *legegyszerűbb* „válaszfüggvény”, az átviteli tényező

$$a = 1/(uA + Q_{BE}) \quad (13)$$

$A$ -val átosztva és bevezetve a  $w$  egységnyi területre vetített fajlagos ÖP-terhelést [ $ML^{-2}T^{-1}$ ] és a  $q$  hidraulikai terhelést [ $L^3T^{-1}L^{-2} = LT^{-1}$ ]

$$\bar{ÖP} = \frac{w}{q(1 + \frac{u}{q})} \quad (14)$$

Az összefüggés szerint a koncentráció és a terhelés aránya állandó, amelyet az  $a$  átviteli tényező [ $TL^{-3}$ ] határoz meg. A kifejezés jól szemlélteti a *hígítás* szerepét ( $q$ ) és azt, hogy a P-visszatartás alapvetően az  $u/q$  arány függvénye.

A tápanyagfeldúsulás a tavak modern kori betegsége, amelyet sok átfogó program keretében vizsgáltak. Az *OECD (1982)* program adatai alapján *Vollenweider és Kerekes (1982)* statisztikai alapon az  $u/q = \sqrt{\tau}$  empirikus összefüggést javasolta, ahol  $\tau = V/Q$  a tartózkodási vagy feltöltődési idő. Sekély tavakra és tározókra a  $2\sqrt{\tau}$  kapcsolat vezetett valamivel szorosabb korrelációhoz. *Vollenweider (1976)* egy másik tanulmánya az  $u = 10$  m/év átlagértéket eredményezte, azonban a szórás igen nagy. Az USA-beli tavak adatai 3 m/év és 30 m/év között változnak a hidraulikai terhelés függvényében, míg a tározók három nagyságrendet is ingadozhatnak (*Thomann és Mueller 1987*).

A változékonyság oka az, hogy számos folyamatot elhanyagoltunk, és azok hatását egyetlen paraméterbe integráltuk. Így említhető a befolyó víz partikulált P-hányada, a lebegőanyag-tartalom, a felkeveredés, az oldott P diffúziója az üledékből és egyebek. Mindezek eredményeként az ülepedési sebesség vagy a visszatartási tényező esetenként akár negatív is lehet: ez jellemző a nagy belső P-terhelésű állóvizekre. A jelenség a helyszíni mérések fontosságára és részletesebb dinamikus modellek alkalmazására hívja fel a figyelmet. Első közelítésként az *OECD (1982)* és más nagy adatbázisok alapján levezetett statisztikai összefüggések használhatók, amelyek a fajlagos ÖP-terhelés és a Chl-a-koncentráció (vagy átlátszóság), mint érzékeny indikátor között állítanak fel kapcsolatot. Előírva a kívánatos jövőbeni szintet vagy szinteket, a bizonytalanságok figyelembevételével becsülhető a terheléscsökkentés kívánatos mértéke.

#### Oxigénháztartás és a Streeter–Phelps-modell

A probléma a folyók túlzott szervesanyag-terhelése és az oldottoxigén-háztartás sérülése. Leírására a klasszikus Streeter–Phelps-modellt (*Streeter és Phelps 1925*) mutatjuk be, és keressük valamely folyó BOI<sub>5</sub> és DO-válaszfüggvényét. Az eredeti modell két közönséges differenciálegyenletből áll, két folyamatot ír le, és két paramétert tartalmaz. Az *első folyamat* azt fejezi ki, hogy laboratóriumi körülmények között, „oxigén jelenlétében a szerves anyag oxidációja arányos a nem oxidált anyag maradék koncentrációjával”. A hipotézis a zárt reaktorokban (ledugózott BOI-üvegek) végzett laboratóriumi mérések eredménye, az igazolást az Ohio folyón végzett megfigyelések adják. Így születik meg a folyami körülményekre is érvényes, a levonulási idő függvényében elsőrendű kinetikával jellemezhető „törvényszerűség”. A sebességi állandó a  $K_d$  [T<sup>-1</sup>], anyag- és hőmérsékletfüggő lebomlási tényező. Értéke függ a szennyvíztisztítás mértékétől, minél nagyobb ez, annál ellenállóbb a lebontással szemben a maradék szerves anyag. Így például nyers szennyvízre  $K_d$  átlagosan 0,35/nap, eleveniszapos tisztításra pedig 0,1/nap alatti. Ezzel párhuzamosan a CBOIU/CBOI<sub>5</sub>-arány is nő, körülbelül 1,2-ről 3 felé (CBOIU – végső szén BOI; U= ultimate vagy végső).

A *második folyamat* ellentétes hatású, a légkörből a szabad felszínen, diffúzió révén történő oxigénbevitelt jelenti. A folyamat fizikai tényezőktől függ: morfológia, szél, hullámozás, műtárgyak stb., mindezek eredője, az áramlás és a turbulencia. A második differenciálegyenlet az oxigén-háztartási mérleg alapján azt mondja ki, hogy a telítési koncentrációhoz ( $c_s$ ) viszonyított deficit ( $D = c_s - c$ ) teljes megváltozása egyenlő a két független folyamat, a lebomlás és az oxigénbevitel rátájának különbségével. (A hőmérséklet függvényében csökkenő telítési koncentrációt a jól ismert Henry-törvény határozza meg.) Más szóval, a deficit a szerves anyag biokémiai oxigénigényével (BOI<sub>5</sub>) arányos sebességgel nő, az oxigénbevitel következtében pedig csökken. Utóbbi sebessége magával a deficittel arányos. Leírása a megszokott elsőrendű kinetikával történik. A  $K_a$  arányossági tényező [T<sup>-1</sup>] hasonló szerepet tölt be, mint korábban  $K_d$ , azzal a különbséggel, hogy nem az anyagtól, hanem a turbulenciától és a hőmérséklettől függ.

*Streeter és Phelps (1925)* elemzése szerint a folyamat az eljárás legbizonytalanabb elemét képezi. A sok mérés és empirikus összefüggés (amelyek többsége szerint  $K_a \sim U^{1/2}/H^{3/2}$ , ahol U az átlagsebesség és H az átlagmélység) ellenére a megállapítás ma is érvényes, ezért fontosabb esetekben a helyszíni mérések elkerülhetetlenek.

A két leíró egyenlet most már L-re és D-re (*Streeter és Phelps 1925*)

$$\frac{dL}{dt} = -K_d L \quad (15a)$$

$$\frac{dD}{dt} = K_d L - K_a D \quad (15b)$$

$$c = c_s - D \quad (15c)$$

A (15a) egyenlet közvetlenül integrálható:

$$L = L(0) \exp(-K_d t) \quad (16)$$

ahol L(0) a „kezdeti” BOI<sub>5</sub>-koncentráció (t = 0), amit a t idő vagy az x koordináta mentén exponenciális lecsengés követ. A (16) egyenletet behelyettesítve (15 b)-be, integrálás révén kapjuk a D deficitet (2. (b) ábra):

$$D = D(0) \exp(-K_d t) + \frac{K_d L(0)}{K_a - K_d} [\exp(-K_d t) - \exp(-K_a t)] \quad (17)$$

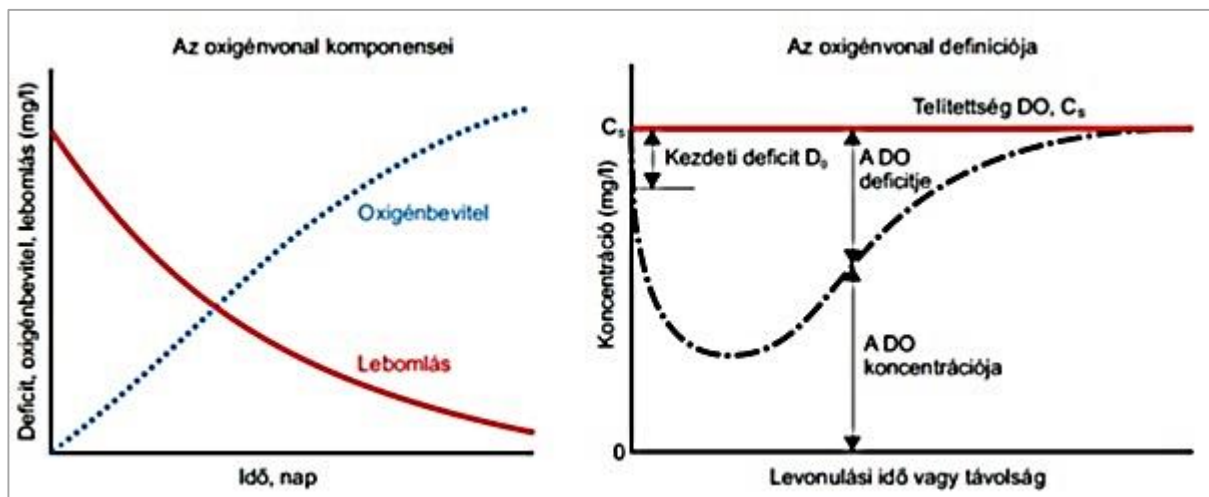
Az elmondottak azt jelentik, hogy valamely szennyvízbevezetés alatt a szerves-anyag-koncentráció és az oxigénelvonás nagy, de folyásirányban csökken, az oxigénbevitel sebessége pedig mindaddig fokozatosan nő, amíg a két reakció ki nem egyenlíti egymást. Ebből adódóan kell, hogy létezzen olyan kritikus hely/idő, ahol dD/dt = 0, és a deficit a legnagyobb (a DO-koncentráció pedig a legkisebb):

$$t_{kr} = \frac{1}{K_a - K_d} \ln \left[ \frac{K_a}{K_d} \left( 1 - \frac{D(0)(K_a - K_d)}{L(0)K_d} \right) \right] \quad (18)$$

$$D_{kr} = \frac{K_d}{K_a} L(0) \exp(-K_d t_{kr}) \quad (19)$$

A 2. (b) ábra oxigénvonala a DO-ra vonatkozó (17) megoldás, a nevezetes DO Sag görbe. A (17) egyenlet a D(0) és az L(0) koncentrációkra, azaz a terhelésekre nézve lineáris. Ugyanez csak közelítően érvényes a kritikus időre és a deficitre, a (18) és (19) egyenletek tartalmazzák egymás argumentumait (ámbár D(0) szerepe nem számottevő). Érdekes megfigyelni, hogy D<sub>min</sub> (többnyire) nem közvetlenül a bevezetés alatt, hanem viszonylag nagy, akár több száz kilométernyi távolságra alakulhat ki (lásd lejjebb). Ezt a tulajdonságot célszerű a monitoringprogramok tervezésénél figyelembe venni, feltéve, hogy van elegendő idő/távolság a D<sub>min</sub> kialakulására (például sok egyesült királyságbeli folyó túl rövid ehhez). Amennyiben t<sub>kr</sub> negatív, a kritikus hiány a bevezetés helyén jelentkezik. Megjegyezzük, hogy nagy szervesanyag-terhelés esetén oxigénmentes, *anaerob* körülmények alakulhatnak ki a vizsgált folyóban. Ilyenkor a lebontás lelassul, 1 mg/l DO-szint alatt pedig a *nitrifikáció leáll*. A számítás anaerob körülmények között a *Thomann és Mueller (1987)* munkájában leírt módon végezhető el.





2. ábra (a). A két ellentétes folyamat  
Figure 2(a). The two opposite processes

2. ábra (b). A DO Sag oxigénvonal  
Figure 2(b). The oxygen sag curve

Vizsgáljunk most egy egyszerű esetet, amikor az állandó keresztmetszetű vízfolyást permanens körülmények között egyetlen pontforrás terhel. Legyen a vízhozam  $Q$ , a bevezetés hozama  $q$ , a BOI<sub>5</sub> koncentrációja  $L_{szv}$ , a terhelés pedig  $W = qL_{szv}$ . Az  $L(0)$  kezdeti koncentrációt két eltérő minőségű víz – a folyóvíz és a szennyvíz – mederben történő keveredése határozza meg. Azonnali elkeveredést feltételezve a mérlegegyenlet:

$$QL_h + qL_{szv} = (Q + q)L_0 \quad (20)$$

ahol  $L_h$  a folyó BOI-háttér-koncentrációja. Ezzel most már

$$L(0) = \frac{QL_h + qL_{szv}}{Q + q} = \frac{QL_h}{Q + q} + \frac{W}{Q + q} \quad (21)$$

A megoldás

$$L = \frac{QL_h}{Q + q} \exp(-K_a t) + \frac{W}{Q + q} \exp(-K_a t) \quad (22)$$

A koncentrációnövekmény maximuma a  $t = x = 0$  helyen ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = \frac{qL_{szv}}{Q + q} = \frac{L_{szv}}{1 + \frac{Q}{q}} \quad (23)$$

Az (22) egyenlet második tagjában felismerhetjük a keresett átviteli tényezőt [TL<sub>-3</sub>]:

$$a = \frac{1}{Q + q} \exp(-K_a t) \quad (24)$$

ami most nem állandó, hanem  $t$  (vagy  $x$ ) függvénye. A kezdeti DO(0)-koncentráció meghatározása  $L(0)$ -hoz hasonlóan történik.

Vegyük észre a hasonlóságot a (13) és a (23) egyenletek között, aminek a magyarázatát az adja, hogy mindkét esetben teljes elkeveredést feltételeztünk. Az átviteli tényező azt mondja meg, hogy az  $x = 0$  pontban elhelyezett,  $L$ -bevezetés megváltozása az ( $x$ ) alvízi szelvényben milyen BOI-változást idéz elő. A kapcsolat továbbra is lineáris. A megállapítás érvényes minden elsőrendű kinetikával rendelkező folyamatra, így a DO-ra is (lásd a (17) egyenletet). Ily módon az oxigéndeficit

$$D = a_1(x)W_L + a_2(x)W_D \quad (25)$$

alakban írható, ahol  $W_L$  és  $W_D$  a két emisszió,  $a_1$  és  $a_2$  pedig a DO-ra vonatkozó átviteli tényezők. A linearitás következtében több szennyező forrás esetében a szuperpozíció elve érvényesül: valamely alvízi szelvényben a koncentráció a felette található kibocsátások és a hozzá tartozó átviteli tényezők szorzatának összegeként áll elő, hasonlóan a regionális légköri modellekhez. Ez lehetővé teszi azt, hogy valamely döntési problémánál, amikor az előírt *célállapotot optimálisan* kívánjuk elérni (például a költségek minimalizálása révén) a megoldást két irányból közelítsük: (i) szimulációval, az eltávolítási hatásfokok találgatásos megközelítése révén; (ii) optimalizációval, az átviteli tényezők gyors becslése révén, érzékenység-vizsgálat jelleggel. Természetesen célszerű a két eljárást iteratív módon alkalmazni. A hígulási tényező ( $Q/q$ , (23) egyenlet) meghatározó szerepet játszik a koncentráció alakulásában. A befolyó koncentráció  $Q/q = 1$  mellett a felére,  $Q/q = 4$  esetében az ötödére csökken. Az angliai szennyvíztelepek tervezésénél legalább nyolcszoros hígulást, azaz a koncentráció durván tizedére történő csökkenését feltételezték.  $Q/q$  értéke például a Duna és a főváros esetében 1000 körüli – ez három nagyságrendnyi mérséklődést jelent. Az arány a Tisza esetében kisebb, és sok, patakba ürítő város esetében közel lehet az 1-hez. A (23) egyenlet indokolja, hogy a múlt szabályozását miért alapozták nagymértékben a hígulásra és „öntisztulásra”. Mára azonban kiderült, ez az elv nem tartható: több probléma nem koncentráció-, hanem anyagáramfüggő (lásd például a beltengerek eutrofizálódását vagy az ún. belső terhelés szerepét).

A Streeter–Phelps-modell jelentősége elsősorban abban van, hogy első alkalommal írtak fel oxigénmérleget, és ennek révén sikerült a befogadó vízminőségét (BOI<sub>5</sub> és DO) a vízgyűjtőről érkező terhelés függvényében kifejezni, továbbá receptet nyerni integrált mérési programok kidolgozásához. Ugyanakkor a Streeter–Phelps-modell sok elhanyagolást tartalmaz, amelynek lépésenkénti felismerése vezetett a második világháború utáni évtizedek során a modell továbbfejlesztéséhez és finomításához. Ma az oxigén-háztartási modellek igyekeznek lefedni a források és a nyelők teljes körét:



$$Vdc/dt = \text{levegőztetés} - \text{CBOI oxidálása} - \text{üledék-oxigénigény} - \text{NBOI oxidálása} + (\text{fotoszintézis} - \text{légzés}) + \text{oxigénbevitel} +/\text{- oxigéntranszport} \quad (26)$$

itt  $c$  az oldottoxigén-koncentráció,  $V$  a vizsgált szegmens térfogata.

Időrendi sorrendben figyelembe veszik egy-egy többletparaméterrel az ülepedés és az üledék oxigénigény-hatását, majd felismerik a nitrogénvegyületek lebontásának fontosságát (NBOI, az ammónia-N és a szerves N összege, a Kjeldahl-nitrogén). Ezzel az állapotváltozók száma háromra nő. Később megszületik a nitrifikációt részletesebben is tartalmazó QUAL1 modell, ami a Kjeldahl-nitrogénen túl a nitrit N és nitrát N összegét is tartalmazza (három új állapotváltozó). Végezetül foszfor bevonásával a fotoszintézisre és a légzésre is kiterjesztik a módszert. Ez a QUAL2 modell, és megszületnek az eleveniszapos szennyvíztisztítás különböző bonyolultságú modelljei (ASM1–3), amelyeket napjainkban is világszerte alkalmaznak – korszerű informatikai keretek között – tervezési és üzemirányítási feladatok megoldására.

A fejlesztéseket és azok irányát az 1. táblázat foglalja össze, figyelembe véve a feltevéseket, a korlátokat és a hiányosságokat. Amennyiben feltételezéseink nem teljesülnek, a jelenség részletesebb leírása elkerülhetetlen. Erre példát jelentenek a széles, nagy folyók, amelyekben az elkeveredés száz kilométer nagyságrendű is lehet. Ilyenkor az 1D-feltevés nyilvánvalóan nem teljesül, és (legalább szakaszosan) át kell térni a 2D vagy 3D tárgyalásmódra. Ezzel is összefüggésben általános tendencia az egyre bonyolultabb reakciókinetikai modellek alkalmazása a hidrodinamikai transzportmodellekkel együtt.

1. táblázat. Streeter–Phelps-modell: feltevések, korlátok és hiányosságok  
Table 1. Streeter–Phelps-model: assumptions, limits and deficiencies

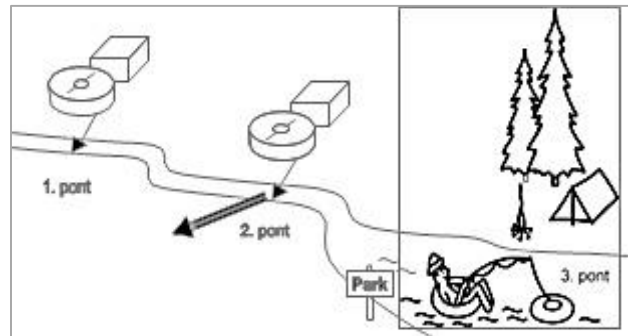
Feltevések	Korlátok	Hiányosságok
Dugattyús áramlás	Egy DO-nyelő	Ülepedés, SEDOI, NBOI, algalégzés, dif-fúz szennyezők
Azonnali elkeveredés	Egy DO-forrás	Algafotoszintézis
Konstans Q, U, Kd, Ka	Csak advекció	Diffúzió, diszperzió
Két folyamat	1D, permanens	Hidrodinamika

Q: vízhozam, U: sebesség, SEDOI: üledék-oxigénigény

#### Vízminőség-szabályozás és a mérnök

Befejezéséül egy egyszerű példa (Loucks és társai 1981) segítségével szeretnénk a vízminőség-szabályozás főbb elemeit, a modellezés és a mérnök szerepét áttekinteni. Vegyük ehhez az 3. (a) ábrán látható rendszert: egy tóba ömlő vízfolyást, ami két település [(1) és (2)] szennyvizének a befogadója. A (2) település felett vízkivétel található, ami a víztestre  $c_{kr2}$  oldottoxigén-kritérium előírását indokolja. A tavat fürdésre tervezik hasznosítani, így itt a kritérium ( $c_{kr3}$ ) szigorúbb. A jelenlegi állapot egyik feltételt sem teljesíti. Beavatkozni a két szennyvíztisztító telepen tudunk, amelyek BOI<sub>5</sub>-re vonatkozó hatásfoka  $X_1$  és  $X_2$ , folytonosnak feltételezett döntési (0,1) változók. A feladat a legkisebb költséggel rendelkező megoldás meghatározása. Feltevéseink a szokásosak: teljes elkeveredés, 1D

tárgyalásmód és lineáris befogadó modell, amit az  $a_{ij}$  átviteli tényezők jellemeznek (lásd a (24) és (25) egyenleteket).



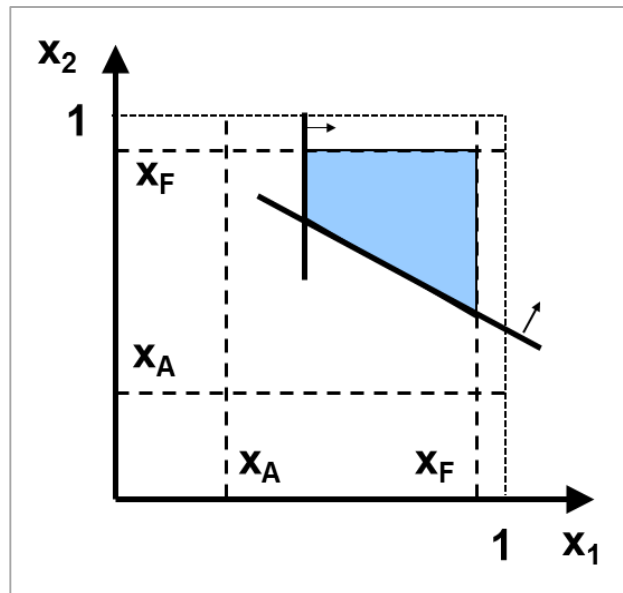
3. ábra (a). Két szennyvízbevezetés és folyó-tó befogadórendszer példája: a költségek minimalizálása  
Figure 3 (a). Example of two wastewater outlets and a river-lake recipient system: minimalization of costs

Az elmondottak matematikailag két egyenlőtlenséghez vezetnek:

$$c_2 + a_{12}X_1L_1 \geq c_{kr2}, \quad (27)$$

$$c_3 + a_{13}X_1L_1 + a_{23}X_2L_2 \geq c_{kr3}, \quad (28)$$

ami azt fejezi ki, hogy az ábrán a 2. és a 3. pontban az oldottoxigén-szint megváltozása arányos az átviteli tényezőkkel és az eltávolított szerves anyag mennyiségével:  $X_1$ -et és  $X_2$ -t úgy kell megválasztani, hogy az (27) és (28) feltételek teljesüljenek. A 3. pont annyiban más, mint 2., hogy ott két pontforrás is szerepet játszik ( $L_1$  hatása mérésklődik, hiszen  $a_{13} < a_{12}$ ).



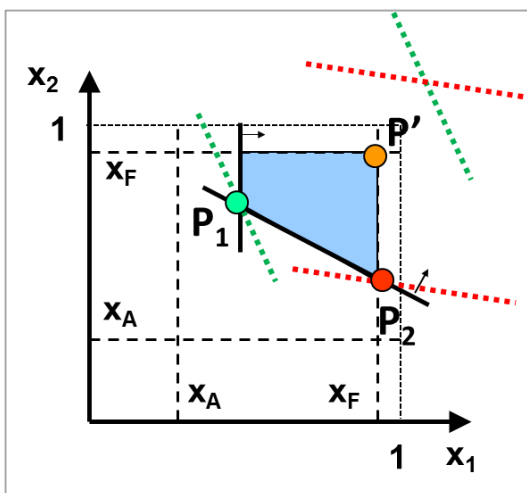
3. ábra (b). Korlátozó feltételek ( $X_A$  és  $X_F$  – alsó és felső technológiai korlát, a trapézot definiáló két vonal: (27) és (28) egyenlőtlenségek)

Figure 3 (b). Limiting conditions ( $X_A$  and  $X_F$  – lower and upper technological limits, the two line defining the trapeze: (27) and (28)

A feladat általánosan lineáris programozással (LP), vagy összetettebb esetben a sztochasztikus programozás valamely válfajával oldható meg (Somlyódy és Wets 1988). Itt a szemléltetés érdekében grafikus megoldást választunk: a két egyenlőtlenséget az ( $X_2$ ,  $X_1$ ) számsíkon ábrá-

zoljuk. Egyenlőség esetén (27) függőleges, (28) pedig negatív iránytangensű egyenest jelent (3. (b) ábra). A megoldás – figyelembe véve, hogy minden technológia rendelkezik  $X_A$  alsó és  $X_F$  felső korláttal (100%-os határfok nincsen) – a két egyenestől jobbra, felfelé elhelyezkedő kék trapéz határán, illetve azon belül keresendő.

Megjegyezzük, ha a jogszabály elfolyóvíz-határértéket ír elő, például a rendelkezésre álló „legjobb” technológiát (BAT: best available technology), a megoldás a költséges  $P'$  pont (3. (c) ábra) és optimalizálásnak nincsen helye (lásd később).



3. ábra (c). Az optimális alternatívák kiválasztása (zöld és piros egyenesek: lineáris költségfüggvények,  $P_1$  és  $P_2$ : optimális megoldások)

Figure 3(c). Selection of optimal alternatives (green and red lines: linear functions of costs;  $P_1$  and  $P_2$ : optimal solutions)

A feladat most már az optimális hely vagy helyek megtalálása, amihez a költségfüggvények ismerete szükséges:

$$\min [K_1(X_1) + K_2(X_2)] \quad (29)$$

Tegyük fel, hogy a költségek lineárisak

$$\min [K^*_1 X_1 + K^*_2 X_2] \quad (30)$$

ami szintén egyenest jelent a számsíkunkon (3. (c) ábra). Az optimumot a két egyenes azon közös pontja(i) jelenti(k), amelynek origótól mért távolsága a legkisebb. Az 1. költségfüggvény esetében ez a  $P_1$  pont. Ránézésre ehhez nagy terhelésű biológiai szennyvíztisztítás ( $X_2$ ), illetve vegyszeradagolással kiegészített mechanikai tisztítás tartozik ( $X_1$ ).

Megjegyezzük, hogy a költségek kezelése távolról sem olyan egyszerű, mint ahogyan bemutattuk. Kérdés: milyen költséggel számolunk? Az egyszeri kiadást jelentő beruházási költséggel (BK)? Az üzemeltetés, fenntartás és javítás évente visszatérő költségével (ÜK)? A kettő valamilyen kombinációjával? Ha igen, hogyan is tesszük azt, hiszen egyszeri és évi költséget – alma és körte – nehéz összevetni. A mérnök-közgazdaságtan két egyenértékű kiutat ajánl:

- A beruházási költséget a feltételezett élettartamra, mértékadó kamatláb felvételével éves szintre diszkontálják, majd képezik az évi összköltséget (ÉÖK).

- Közismert, hogy a pénz értéke a kamatos kamat elvének megfelelően időben változik, összeadni csak ugyanazon évre vonatkozó értékeket szabad. Ez nyújtja a második lehetőséget: képezzük a jövőbeni ÜK jelen értékét és BK-val együtt számoljuk az összes jelen értéket.

Mindkét eset tartalmaz szubjektív tényezőket: az élettartam és a kamatláb felvétele részben értékítélet kérdése. Ezért a módszerek elsősorban alternatívák összehasonlítására alkalmasak.

Visszatérve a megoldáshoz, vizsgáljuk meg annak érzékenységi különböző tényezők hibáira. Milyen hiba mellett marad meg a jelenlegi megoldás? Másképpen fogalmazva, mennyire érdemes a becsléseket pontosítani?

A költségek szempontjából a  $P_1$  pont mindaddig megoldás marad, amíg a költség-függvény iránytangense egybe nem esik az (28) egyenesével (3. (c) ábra). Ebben az esetben végtelen sok, egyenértékű megoldás adódik. További átfordulás hatására a megoldás átcúszik a  $P_2$  pontba. Ebből levezethető a költségbecslés megengedett hibája – hasznos információ a felelős mérnök számára.

Teljesen hasonló az okfejtés az 3. (b) egyenes helyzetére, ami az  $a_{13}$  és az  $a_{23}$  átviteli tényezők függvénye, de valójában a fenti két egyenes egymáshoz viszonyított relatív helyzete a meghatározó: a természettudományi és gazdasági tényezők szerepe szinte azonos.

A szabályozás jelenlegi hazai és nemzetközi gyakorlata többek között az *elfolyó- víz és befogadó határértékek kombinált előírásán* alapul. Az elképzelés az, hogy először szabályozzuk a BAT alkalmazását megszabva a pontforrásokot, ez a könnyebb feladat, és ha ez nem elégséges, akkor a nem pontszerű szennyezések csökkentése következik, az imént leírt módon, több szennyező esetében például szimuláció és lineáris programozás felhasználásával.

Az egyszerű példa jól mutatja a regionális probléma összetett voltát és a *mérnök szerepét*. A hidrológia, a hidraulika, a technológia, a térségi feladat megfogalmazása, az alternatívák kiválasztása, a modellezés és a mozaikok összerakása a legtöbbször a mérnök dolga. Eközben persze elengedhetetlen az együttműködés ökológusokkal, biológusokkal, vegyészekkel, közgazdászokkal és más szakmabeliekkel.

## IRODALOMJEGYZÉK

Brown, L. C. and Barnwell, T. O. (1987). The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual. Report EPA/600/3-87/007, US EPA, Athens, Ga.

Chapra, S. C. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*, Waveland Press, Long Grove, 844.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wetzel, M. C., Marais G. V. R. and van Loosdrecht, M. C. M. (1999). Activated Sludge Model No. 2d, ASM2D. *Water Sci. Technol.*, 39(1): 165–182.

Istvánovics Vera és Somlyódy László (2000). Ökológia és természetvédelem. In: Somlyódy L. (szerk.): *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. Magyarország az ezredfordulón*. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos

Akadémia, MTA, Budapest

*Kularathna, M. and Somlyódy, L. (1994). River Basin Water Quality Management Models: A State-of-the-Art Review, IIASA WP-94-3.*

*Loucks, D. P., Stedinger, J. R. and Haith, D. A. (1981). Water Resources Systems Planning and Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs*

*Somlyódy, L. and Wets, R. J.-B. (1988). Stochastic Optimization Models for Lake Eutrophication Management. Operations Research, Vol. 36, No. 5*

*Streeter, H. W. and Phelps, E. B. (1925). A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River, Vol. III, Factors Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration. Public Health Bulletin, No. 146, U.S.*

Public Health Service, Washington, D.C.

*Thomann, R. V. and Mueller, J. A. (1987). Principles of surface water quality modelling and control. Harper & Row, New York, 644.*

*U.S. Clean Water Act (1972). Federal Water Pollution Control Act, (33 U.S.C. 1251 et seq.) November 27, 2002*

*Vollenweider, R. A. (1976). Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mere. 1st Ital. Idrobiol. 33, 53–83.*

*Vollenweider, R. A. and Kerekes, J. (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication control). Environment Directorate, OECD. [Gyakran OECD (1982)-ként hivatkozott.]*

## A SZERZŐ



**SOMLYÓDY LÁSZLÓ** a BME professor emeritusa, az MTA rendes tagja. Jelentős eredményeket ért el szennyvizek vízfolyásokban történő elkeveredésének kutatásában; transzportfolyamatok és összetett környezeti rendszerek modellezésében; a vízminőség-szabályozás területén; az eutrofizálódás vizsgálatában; döntéstámogató rendszerek kifejlesztésében; a költség-hatékony szennyvíztisztítás területén. Foglalkozott a Balatonnal, a Dunával, a Tiszával, a Sajóval, a Rábával és más felszíni vizekkel itthon és a közép-európai országokban, Kanadában, Braziliában, Szingapúrban és Kínában. Nemzetközi tudományos karrierje során volt az International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) vízzel, illetve környezettel foglalkozó programjának vezetője, az International Water Association (IWA) és az European Environmental Agency Scientific Committee elnöke. Munkáit külföldön mintegy 1500 alkalommal idézték. Jelenleg is több magas szintű nemzetközi tanácsadó testület tagja. Itthon is számos szakmai közéleti tisztséget töltött be: volt az MTA Műszaki Tudományok Osztálya elnöke; a MAB alelnöke; az Országos Környezetvédelmi Tanács tagja; a Tudomány és Technológiapolitikai Tanácsadó Testület elnöke. Közel 50 könyvet, illetve könyvfejezetet, több mint 100 tudományos cikket, 300 tudományos elő-

adást jegyez. Elismerései közül a Gábor Dénes, a Széchenyi, a József Nádor, a Hazám és a Környezetvédelmi felsőoktatásért díjat emeljük ki. 2015-ben megkapta az European Water Association (EWA) nagydíját (Dunbar Medal). Szenvedélye okán egy írásban a „Balatonember” címkét akasztották rá, ami ellen nem tiltakozik.



## Az árvízvédelem szerkezeti módszerei

Nagy László

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

### Kivonat

A szerkezeti jellegű intézkedések (védművek) fontos elemi maradnak az árvízvédelemnek, és azoknak elsődlegesen az emberi egészség és biztonság, továbbá az értékes javak és tulajdonok védelmét kell szolgálniuk. Szem előtt kell tartanunk, hogy az árvízmentesítés soha sem abszolút mértékű, és hamis biztonságérzetet kelthet. Figyelembe kell ezért venni a megmaradó kockázat fogalmát, beleértve a lehetséges tönkremenetelt és meghibásodást. A szerkezeti módszerek áttekintése segíthet a döntéshozóknak, az árvízvédelem megfelelő kialakításának megtalálásában.

### Kulcsszavak

Árvízvédelem, szerkezeti módszerek, nagyvíz, árvízvédelmi fal, tározó, lokális védelem.

## Structural methods of flood protection

### Abstract

Structural measures (defense structures) will remain important elements of flood protection and should primarily focus on the protection of human health and safety, and valuable goods and property. We will have to keep in mind that flood protection is never absolute, and may generate a false sense of security. The concept of residual risk, including potential failure or breach, should therefore be taken into consideration. The overview of flood protection structural methods can help for the decision makers, to find the appropriate solution. The world-wide used solutions for structural methods show large variety depending on the local conditions and opportunities.

### Keywords

Flood control, structural methods, high water, flood wall, reservoir, and local flood control.

### BEVEZETÉS

A vízkárelhárítás stratégiája a megelőzés. Az árvízi stratégiának, az Európai Unió által kiadott „Árvízvédekezés legjobb gyakorlata” dokumentum szerint, ki kell terjednie az egész vízgyűjtőre és elő kell mozdítania a vízzel, a földterülettel és az ezekhez kapcsolódó erőforrásokkal kapcsolatos tevékenységek koordinált fejlesztését, kezelését és a természeti környezet megőrzését. Az árvizek fenntartható megelőzése az árvízmentesítés, és ez az árvízvédekezés legfontosabb szempontja. A megelőzés az árvízi biztonságpolitikára épül. A kor igényeinek, szellemének megfelelő biztonságpolitika nélkül a megelőzés nem lehet hatékony.

A vízrendszerbe történő emberi beavatkozásnak összhangban kell lennie a természeti tényezőkkel, a társadalmi elvárással és a gazdasági helyzettel. Ezek közül bármelyik figyelmen kívül hagyása súlyos konfliktusokat eredményez. Az emberi beavatkozások jogi és intézményi háttérrel történnek.

Az árvizek a folyó és állóvizek vízjárásainak előntést okozó szélsőséges eseményei. Esetleges jelentkezésük során változatos viselkedésükkel sokféle hatást gyakorolnak az ártér természeti állapotára, folyamataira és gazdasági jelenségeire. A kiömlött víz az áramlási sebességgel, a tartózkodás időtartamával és a víz mélységével veszélyezteteti az árteret, de ugyanakkor a víz és a hordaléka számottevően növelheti az ökoszisztéma teljességét, hasznosságát.

Jelenleg a Föld összes lakosságának mintegy 10 %-át veszélyeztetik rendszeresen az árvizek. Magyarország a területének 23 %-át kitevő folyóvölgyi, és a 10 %-át megközelítő kisvízfolyások menti árterületével a jelentős árvízi gondokkal küzdő országok közé tartozik.

A Kárpát-medence természet- és gazdaságföldrajzi adottságai következtében a vizek kártételei elleni védekezéshez évszázadok óta jelentős és folyamatosan növekvő társadalmi érdek fűződik. Magyarország vízkárveszélyeztetettségét alapvetően a topográfia határozza meg, a Kárpát-medence mély részén fekvő, zömében sík területű ország. Ezért a környező hegyvidéki vízgyűjtőkről, a Kárpátokból és az Alpokból hozzánk érkező, nálunk torlódó árhullámok; a hóolvadásból vagy nagy csapadékból keletkező, nagy kiterjedésű belvízi elöntések, illetve helyi vízkárok; valamint a környező országokban a hozzánk folyó vizekbe juttatott és a nálunk keletkezőkkel tetézt szennyezések ellen gyakran szükséges védekezni.

Magyarországon az árvízvédelmi művekkel határolt folyómedrekben és hullámtereken levonuló árvíz nem tekinthető természeti katasztrófának, még akkor sem, ha újabb és újabb szélsőséges paraméterű árhullámok fordulnak elő.

Az árvizek előfordulása a magyarországi folyókon nem rendkívüli esemény – ez a folyók vízjárásának természetes sajátossága. Árvíz katasztrófának a töltéses folyókon az tekinthető, ha a folyó átszakítja az árvízvédelmi töltéseket, elönti a mentesített árteret.

*A vízkárelhárítás a károsan sok, vagy éppen a károsan kevés víz kártételeinek elhárítását, a károk mérséklését célzó megelőző, valamint a tényleges védekezéssel járó szervezett tevékenységet jelenti. A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény (mely a vizekkel kapcsolatos alapvető jogokat és kötelezettségeket szabályozza) 28. § fogalom-meghatározása szerint.*

A vízkárelhárítás nem egyszerűen az árvizek és belvizek elleni védekezés, hanem a vízzel való gazdálkodás mérnöki beavatkozásokkal történő megvalósítása.

Magyarországon szervezett árvízvédekezés folyik törvényi felhatalmazás alapján. A szervezett védekezést segíti a kollektív tudás, a történelmi tapasztalat. Ez alapján lehetséges, hogy a már bekövetkezett káros árvízi eseményekre a legsürgősebben, a műszakilag megfelelő ellenintézkedéseket lehet tenni a károk fokozódása és a katasztrófa helyzet elkerülése érdekében. Az 1998 óta szerzett árvízi tapasztalatok azt mutatták, hogy súlyosbodik a helyzet, a vizek kártételei ellen átfogó, következetesen végrehajtott stratégia szükséges. Különösen akkor van erre szükség, ha a természeti és humán folyamatok tendenciái nem változnak. Az események azt mutatják, hogy nincs előnyünk a Tisza vízgyűjtőjében lejátszódó változásokkal kapcsolatban, így gyakorlatilag a jelenlegi védelmi szinten minden nagyobb árvíz egy potenciális katasztrófa.

### A TERMÉSZETI VESZÉLYEK ELLENI KÜZDELEM LEGFONTOSABB LÉPÉSEI

- veszélyek felmérése (erősség és terület),
- következmények értékelése,
- ellenintézkedések megtétele.



1. kép. Árvíz a településeken  
Photo 1. Urban flood

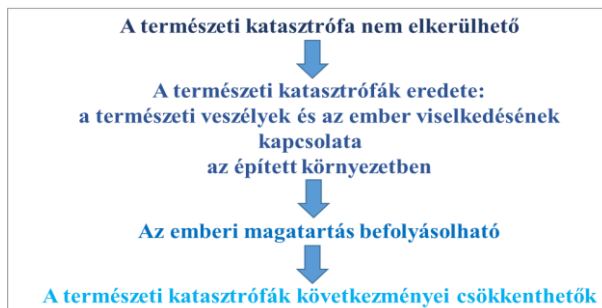
A településeken koncentrálódik az emberiség által létrehozott javak jelentős része, a városi árvizek (keletkezzenek azok helyben, vagy folyók megáradásából) elleni védekezésnek a jövőben nagyobb hangsúlyt kell kapnia (1. kép). A városban koncentrálódott népesség is arra hívja fel a figyelmet, hogy a városokban a humán veszélyeztetés nagyobb.

Az ENSZ az 1991-2000 közötti dekádöt a természeti katasztrófák elleni küzdelem tíz évévé nyilvánította, ugyanis a folyamatosan végrehajtott preventív intézkedések dacára a természeti veszélyforrásokból eredő veszteségek nem csökkentek még az olyan fejlett országokban sem, mint az USA, Japán vagy Franciaország. Sőt egy stabilan emelkedő tendenciát mutattak. Ez a tendencia, ami a XX. század második felében figyelhető meg, leginkább a következő okokra vezethető vissza:

- a világ népességének robbanásszerű növekedése a II. világháború után;
- korábban lakatlan területek meghódítása, benépesítése;
- emberi tevékenység által előidézett veszélyes folyamatok (pl. talajvízszint-emelkedés, tengeri erózió, szeizmikus aktivitás stb.) növekedése;

- rossz biztonsági koncepció, ami rendszerint a természeti katasztrófa hatásának semlegesítését célozza és nem a megelőzést.

Az IDNDR (a Természeti Katasztrófák Csökkentésének Nemzetközi Évtizede) filozófiájaként megfogalmazott egyutas folyamatábráját mutatja az 1. ábra.



1. ábra. A természeti katasztrófák csökkentésének egyutas folyamatábrája

Figure 1. The one-way flowchart of the reduction of natural disasters

Az ábra alapján megállapítható, hogy a várható károk az emberi magatartáson keresztül is csökkenthetők. Az emberi magatartásnak kell olyannak lennie, mely a károk megelőzésére irányul. A károk megelőzésének költsége (preventív árvízvédelem) töredéke a károknak, ezért a vízkárelhárítás stratégiája, a megelőzés.

Az árvizekre is érvényes, hogy teljes biztonság nem létezik, mindig marad esély a tönkremenetelre, mindig marad egy reziduális kockázat. A kérdés csak ennek mértéke. Abban pedig biztosak lehetünk, hogy nincs olyan nagy árvíz, amelyiknél nagyobb ne jöhetne, csak nem tudni mikor.

„Kivételes nagyságú árvizek mindaddig lesznek, míg a víz természetes körforgása meg nem szűnik! A folyó szüntelenül működő erői ellen csak folyamatos munkával lehet küzdeni. Végleges mű, végleges állapot nincsen. Jól sikerült műnek azt lehet tekinteni, amelyet aránylag kevés és könnyen elvégezhető munkával lehet egyformán jó állapotban fenntartani!”

Az ármentesítés olyan megelőző műszaki tevékenységek összessége, melynek célja egyrészt, hogy az emberi beavatkozások hatására az árvizek magassága ne növekedjék, másrészt az árterületnek az árvizektől való mentesítése, úgy hogy azon az emberi település, a közlekedés, a mezőgazdasági művelés, az ipari termelés és általában az élet lehetősége és fejlődése biztonságos legyen. Az ármentesítés feladata azonban nem határolható le az árvízvédelmi gátakra, azok magassági, keresztmetszeti, vagy vonalazási kérdéseire – ez átfogó, az egész vízgyűjtő területet magába foglaló komplex műszaki és gazdasági tevékenység.

### AZ ÁRVÍZVÉDELEM FELADATA

Az árvízvédelem feladata az emberek azon társadalmi igényének a kielégítése, hogy az ártéren biztonságban éljenek.

A biztonság megfogalmazása és mértéke politikai, gazdasági és társadalmi igények alapján történik. A társadalmi, közösségi és egyéni megközelítése az árvízi biztonságoknak különböző lehet, ezekből, csak néhányat említve a következő módon mutatható be röviden:

- Mindenféle védelmet elutasítanak, a vízzel, a folyóval történő együttélést fontosabbnak tartják annál, minthogy 3-8 évente a folyó kiönt, a felsőbb emeletre kell hurcolkodniuk, és az apadás utáni száradást követően újra kifesteni.

- A nyílászárók védelmével megelégednek a különben vízzáróra épített (waterproof) háznál.

- Kiemelve az épületet, vagyis a tervezett árvízszint felé építik a padlószintet.

- Az elérhető legnagyobb védelem kialakításáért küzdenek, az élet és vagyonbiztonság fokozásának érdekében.

Összefoglalóan azt kell mondani, hogy a vezérelvnek az árvízvédelemben is a *holisztikus szemléletet és a fenntartható fejlődést* kell tartani. Ezek együttesen biztosítják, hogy a mai ember részére, és a jövő nemzedékének is egy biztonságosabb, a hidrológiai katasztrófáktól kevésbé függő világot építsünk.

### AZ ÁRVÍZVÉDELEM MÓDSZEREI

Az utóbbi évek nagy árvizei, melyek a határokon túl életek elvesztéséhez, nagy károkhöz vezettek, sürgős reagálást kívánnak egész Európában. A veszélyes helyzetet az a tény is aláhúzza, hogy az éghajlatváltozás fenyegetésével szembeesülünk. Ezért csak az interdiszciplináris megközelítés elfogadása esetén lehet sikert elérni.

Sem a nagyon erős csapadékok, sem a szélsőséges árvíz nem lehet kezelni. A legutóbbi árvízi események üzenete a következő: „*Meg kell tanulnunk együtt élni ezekkel az eseményekkel.*” (European Union 2003)

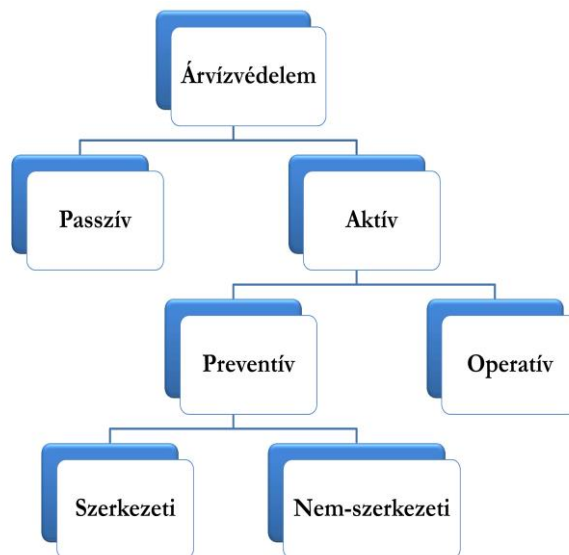
Mindent meg kell tenni azért, hogy elkerüljük az árvizek antropogén megnövelését. Úgy kell viselkednünk, hogy csökkentjük az embereket és az értékes javakat érő potenciális veszélyeket. Tudatosná kell tennünk az embereknek a potenciális és a tényleges kockázatokat, hogy ez kiváltsa elővigyázatos tevékenységüket. Ugyanakkor, az árvízkárok elleni küzdelemnek pozitív hatása lehet más politikai területekre is, pl. a természetvédelemre. (A „Best practices on flood prevention, protection and mitigation”, vagyis „Az árvíz megelőzés, az árvízmentesítés és az árvízvédekezés legjobb gyakorlata” (European Union 2003) dokumentum szerint.)

Nemzetközi vízgyűjtők esetében nemzetközi szinten kell a tevékenységet kialakítani. Minden vízgyűjtőre nézve árvízkezelési tervet kell készíteni. Egy ilyen terv felállításakor figyelmet kell fordítani a szolidaritásra a vízgyűjtőn belül, ami azt jelenti, hogy amennyire csak megvalósítható, meg kell akadályozni a problémák áthelyezését egyik földrajzi területről egy másikra.

Az árvízkezelési tervnek integrált közelítésmódon kell alapulnia, lefedve a vízgazdálkodás minden ide vonatkozó aspektusát, a területrendezést, a területhasználatot, a mezőgazdaságot, a közlekedést és a településfejlesztést, a természetvédelmet minden (nemzeti, regionális és helyi) szinten. Egy árvízkezelési terv kialakításába be kell vonni minden (helyi, regionális, nemzeti és nemzetközi) szinten levő döntéshozót éppúgy, mint az érdekelteket és a civil társadalmat. Ahol alkalmazható, ott az Európai Uniónak az árvízvédelem legjobb gyakorlatára vonatkozó do-

kumentumát kell figyelembe venni. Ezen célok megvalósításához az árvízvédelemnek számos módszer áll a rendelkezésére.

*Az árvízvédelem módszerei szerkezeti és nem-szerkezeti elemekből állnak.* Ezek tudományos alapon lefedik a hidrológiai katasztrófák csökkentésének, így az árvízvédelem minden területét, alkalmazásukkal az árvízvédelem stratégiai és taktikai elemei, a fejlesztések célkitűzései programszinten felépíthetőek.



2. ábra. A szerkezeti és nem szerkezeti módszerek helye az árvízvédelemben

Figure 2. Structural and non-structural methods in the flood control system

Az árvizek megelőzése, az árvízmentesítés és az árvízvédekezés érdekében a szerkezeti jellegű, a preventív és az operatív intézkedések egy jó kombinációjára van szükség: építési szabályzatokra és jogszabályokra az építményeknek az árvízveszélyes területektől történő távoltartásához, megfelelő területhasználatra, megfelelően megtervezett árterekre és az árvízvédelmi létesítmények megtervezésére, az árvízvédekezésre, a figyelmeztető rendszerekre, a kockázatok korrekt közlésére és a lakosság felkészítésére, hogy hogyan járjanak el árvizek idején. Egyes esetekben még a különösen fenyegetett tevékenységek és épületek végleges áthelyezése is tanácsolható.

A preventív árvízvédelem 170 éve tartó fejlesztése mellett a XX. század viszonylag kevés gátszakadása az operatív árvízvédelem fejlesztésének eredménye (2. ábra).

*A társadalom elvárja a költséghatékonyságot, az adófizetők pénzével történő takarékos gazdálkodást.* Gazdasági kérdések megjelennek az Európai Unió röviden csak „Az árvízvédelem legjobb gyakorlata”-nak nevezett kiadványában is. Az EU a kockázatszámítást javasolja alkalmazni, mint azt az összefoglaló és értékelő módszert, mely nem csak a szerkezeti módszerek biztonságát, de a védett humán és gazdasági értéket is figyelembe veszi.

A közelmúlt árvízi eseményei azt mutatták, még ha minden nem-szerkezeti jellegű intézkedést meg is tettek, a *fizikai védelmet* a szerkezeti módszerek jelentik. Az Eu-



rópai Unió „Az árvízvédelem legjobb gyakorlata” dokumentumban reális célként azt javasolja, hogy az elöntések kockázata *ne növekedjen* a jövőben.

## AZ ÁRVÍZVÉDELEM SZERKEZETI MÓDSZEREI

Az árvízvédelem szerkezeti módszerei a jövőben is az árvízvédelem meghatározó elemei lesznek és azoknak elsődlegesen az emberi egészség és biztonság, továbbá az értékes javak és tulajdonok védelmét kell szolgálniuk! A természetvédelem és a tájalakítás követelményeit ugyancsak tekintetbe kell venni.



2. kép. Üveg árvízvédelmi fal  
Photo 2. Glass flood wall

Az árvízvédelem szerkezeti módszerei közé tartoznak azok, melyek valamilyen építési-kivitelezési tevékenységhez köthetők. Ezek jelentős részét Magyarországon is alkalmazzuk:

- az árvízvédelem hagyományos szerkezeti módszere az árvízvédelmi gátak építése,
- tározók (száraz tározó - polder - valamint nagygátaknál üres tározó tér fenntartásának) kialakítása,
- árapasztó csatornák,
- túlfellett kanyarok ideiglenes vagy végleges átvágása,
- árvízvédelmi falak, melyeknél új építési lehetőség az „üveg” árvízvédelmi fal (2. kép) és
- vízálló építkezés (a hullámtéren olyan épületek építése, melyek szerkezetének alsó síkja a mértékadó árvízszint felett van).

Röviden külön kell szólni a szerkezeti módszerek új lehetőségéről a mobil árvízvédelmi falról (3. kép). Ez nem a legolcsóbb, de roppant praktikus megoldás amellyel, hogy a holisztikus szemléletet is és a fenntartható fejlődés eszméjét is kielégíti, szoros együttélést enged a folyóval és a vízparttal. A mobil árvízvédelmi fal nem tévesztendő össze a mobilgáttal!

Egyéb, az árvíz ellen védelmet nyújtó szerkezeti módszerek:

- vízálló építkezés (nem csak az épületek vízzáró kialakítása, de a különböző műveknek erózió mentes kialakítása),
- lokális árvízvédelem (a meglévő épületek nyílászáróinak vízhatlanná tétele) (5., 6., 7., 8. és 10. kép),
- felszín alatti tározók (kisebb vízgyűjtőn elsősorban belterületen alkalmazhatót, illet építettek Sao Paulóban (Brazília) vagy a 9. képen bemutatott tározó Hongkongban),
- területfeltöltés (gondoljunk csak Pest vagy Szeged példájára),

- vízgyűjtők közötti felszín alatti átvezetések (G-cans alagút Japánban, 4. kép),

• a folyó egy szűk szakaszának kiváltása: Kuala Lumpurban belül a Klang folyó szűk keresztmetszetének részbeni kiváltására épült a SMART alagút (4. ábra), amit 2007-ben adtak át. A Klang folyó különböző vízhozama esetén az alagút részben vagy teljesen az árvíz levezetését szolgálja (Nagy és társai 2015). Kis- és középvíz esetén a folyó medre szállítja a vizet.

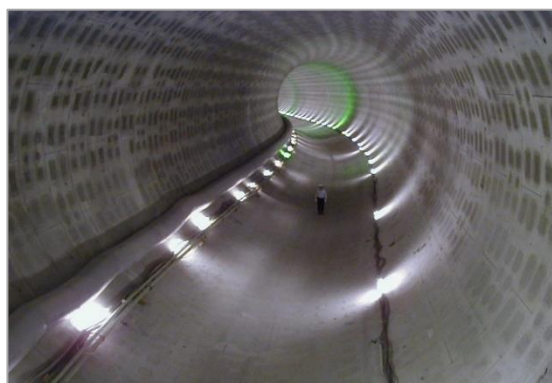
• A Csao Phraya árvízi vízhozamának részbeni kiváltásánál Bangkokot megkerülő alagút építésre is gondoltak (3. ábra). Árvíz idején a folyó vízhozamának egy részét a régi templomváros, Ayuttaya mellett egy alagúton keresztül vezetnék a tengerbe.



3. kép. Mobil árvízvédelmi fal Szentendrén  
Photo 3. Mobil flood wall in Szentendre (Hungary)



3. ábra. Bangkok árvízvédelmét szolgáló egy lehetséges megoldás  
Figure 3. One possible solution for Bangkok flood control solution

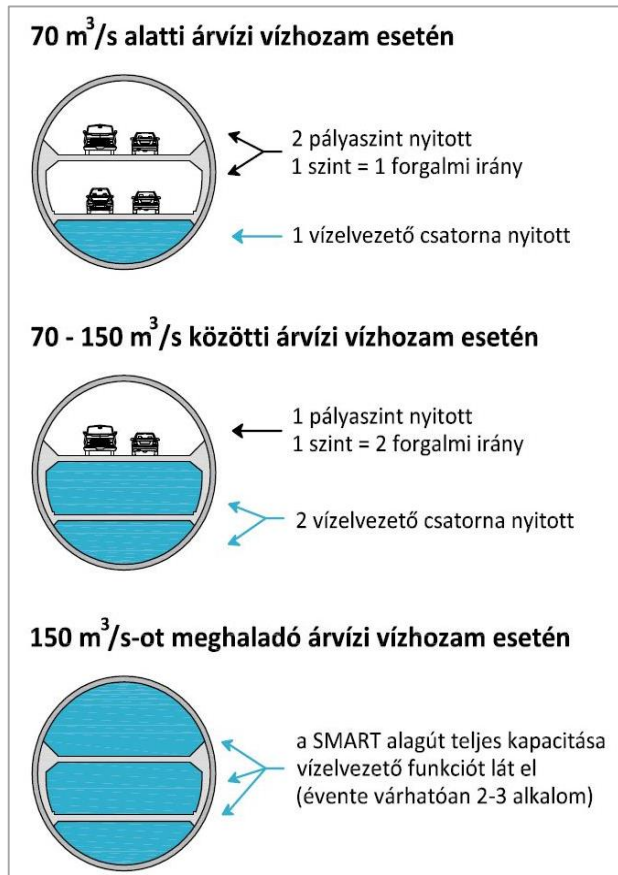


4. kép. Árvízcsúcs-csökkentő alagút kialakítása (G-cans projekt Tokyo-tól északra)  
Photo 4. Flood peak reduction tunnel in Tokyo (Japan) urban skirt

A lefolyás-szabályozási szerkezeti módszerek a következők:

- nagygátak és árvízi tározók kialakítása,

- föld és területhasználati módosítások (teraszosítás, fásítás stb.),
- hegyvidéki lefolyás-szabályozás (beszivárgás növelés, helyben tározás stb.).



4. ábra. Malaysia fővárosában, Kuala Lumpurban a SMART alagút keresztmetszete különböző vízhozamok esetén  
Figure 4. Operating the SMART tunnel in Kuala Lumpur (Malaysia) at different river discharge

A közelmúlt árvízi eseményeinél sok tapasztalat azt mutatta, hogy azokban az esetekben, amikor az árvízvédelmi műveket a 100 éves visszatérési idejű árvizek kivédésére kiépítették, elegendő időelőnyű előrejelzéssel és megfelelően képzett és felkészült szervezetekkel akár 300-500 éves visszatérési idejű árvizek ellen is meg tudták védeni a létesítményeket. A védművek védőképességét sikeresen fokozni lehet olyan megfelelő intézkedésekkel, mint az ideiglenes magasítások, a védművek megerősítése, megtámasztása, valamint a töltés stabilitásvesztése és az altalaj hidraulikus törése elleni árvízvédekezési módszerek alkalmazása.

Árvízcsúcs-csökkentő alagút kialakítására mutat példát a G-cans projekt (Tokiótól északra), ahol a sűrűn lakott területnél a terepszint alatt 50 m-el vezetett 6,3 km hosszú, 10,0 m belső átmérőjű alagút négy folyónak az árvízi csúcscsökkentését végzi el fix küszöbű bukókkal. Az alagút végén 200 m<sup>3</sup>/s szivattyútelep emeli a vizet az Edo folyóba, így tehermentesítve a Tokiót keresztező folyótól. (Nagy 2007a)

## AZ ÁRVÍZVÉDELEM LEGFONTOSABB MAGYARORSZÁGON ALKALMAZOTT SZERKEZETI MÓDSZEREI

### Az árvizek szétterülésének megakadályozása árvédelmi gátakkal

Árvízvédelmi gátak építése az árvízmentesítés legrégebb, legelterjedtebb és egyben legfontosabb módszere. Az árvízvédelmi gátak építése azonban legtöbbször az ártéren élő emberek kezdeményezése, kezdetleges önvédelme volt. A töltésekkel főleg a mély fekvésű veszélyeztetett településeket védték két magaslat összekötésével. Kisméretű töltésekkel is célt értek, mert nem befolyásolták lényegesen a vizek levonulását. Ilyen beruházások elsősorban belterületek megvédését célozta, nem volt jelentős töke más területek védelmére. Így alakult ki a szegedi körgát, Pesten a soroksári és váci gátak vagy a Maros aradi gátja. Erre az időre datálható a Mária Terézia császárnő által elrendelt Dráva bal parti gátépítés is (ez ma az ún. „Tanácsi” gát). Árvízvédelmi gátak közé kell sorolni a körgátakat, másodrendű gátakat, nyárigátakat, és lokalizációs töltéseket is.

Az árvíz kizárását, beeresztését vagy szabályozott ütemű levezetését szolgáló, az árvízvédelmi gát szerves részét képező szerkezeteket *árvízvédelmi műtárgyaknak* (árvízkapu, zsilip, kábelek, nyomócsövek stb.) nevezzük. A befogadó folyón levonuló árhullámok visszaduzzasztásának megakadályozása céljából a töltésezett folyók mellékvízfolyásának torkolatába épített záró műtárgy az *árvízkapu*.

### Az árvízhozam egy részének vagy egészének visszatartása tározással

Meg kell kísérelni a lefolyásra kerülő vízmennyiségek bizonyos határok közötti késleltetését, ill. részbeni visszatartását. A vízgyűjtő területről lefolyásra kerülő vízmennyiség késleltetésének, ill. részbeni visszatartásának egyik lehetősége a vízgyűjtő terület magasabban fekvő részein tározók létesítése. A *völgyzárógátas víztározás* általában többcélú vízgazdálkodási feladat megoldása (árvizek visszafogása, kisvizek idején vízpótlás, energiatermelés, üdülés, öntözés, hajózás, vízellátás stb.), mely elsősorban a természetes vízjárás szabályozása érdekében épül. Külön vizsgálat alapján kell meghatározni, hogy többcélú tározók milyen mértékben tudják az árvizek tetőző magasságát csökkenteni, továbbá hol gazdaságos csak az árvíz visszatartása érdekében tározót létesíteni. A völgyzárógátas árvíztározás világszerte elterjedt módszer. Hazai alkalmazását a természetföldrajzi lehetőségek korlátozzák.

A kifejezetten árvízcsökkentés érdekében épült tározóknak az árvíz kialakulása előtt megfelelő időben üreseknek kell lenniük. Feladatukat csak így tudják teljesíteni. Ellenkező esetben éppen ronthatják az árvíz helyzetet, hiszen a tározott vízmennyiséggel hozzájárulhatnak az árvízhozam növeléséhez. Többcélú tározók esetén az árvíz részére méretezett résznek kell szabadnak lennie. A tározók üzemeltetésének egyik legnagyobb gondja a folyó hordalékának lerakódásából származó feliszapolódás.



Az árvízhozamok csökkentése érdekében a hegy- és dombvidéki tározók mellett szóba jöhetnek a *síkvidéki tározási lehetőségek* is. A síkvidéki tározásnak két formája ismert: a folyómederben, hullámtéren történő ún. *medertározás* és a hullámtéren kívüli ún. *körtöltéses tározás*.

A vízgazdálkodás, a víz optimális felhasználása, a vízhasználatok egyre nagyobb igénye sok esetben megkívánja, hogy a folyómedreket és a hullámtereket tározóként használjuk fel. A *medertározás* segítségével általában az árvizek tetőző értéke nem csökkenthető, sőt pl. a mederben tárolt víznek az árvíz kialakulása előtt nem megfelelő időben való elengedése a duzzasztómű alatti szakaszon mederteltséget eredményezhet, ami viszont ezen a szakaszon a tetőző árvizek magasságát emelheti.

Az árvíz mérséklése szempontjából sok esetben kedvező az árvizek egy részének a holtágakba történő vezetése. A holtágakban tározott víz – szemben az élőmederben tározottal – nem vesz részt az árvíz további levezetésében. Ezzel szemben a legnagyobb hátrány, hogy a holtágakban csak nagyon kevés vizet lehet tározni.

A síkvidéki folyóknál az árvíz magasság csökkentésének egyik lehetősége, hogy az ártér előre meghatározott, mezőgazdaságilag kevésbé értékes, rendszerint gáttal körbevett területére ún. *szükség tározóba* (körtöltéses tározóba) a víznek egy részét kiengedik. A szükség tározót árvíz idején akkor is fel lehet használni, ha a védvonal olyan szakaszán fenyeget töltésszakadás, amely gazdaságilag értékes területet véd. Az árvízi szükség tározó műszaki létesítményekkel időszakos tározásra alkalmassá tett terület, amelynek igénybevételére csak rendkívüli helyzetben, a fővédvonal kritikus állapota esetén – nagyobb károk és árvíz katasztrófa elhárítása érdekében – kerülhet sor, egyébként a tározásra szolgáló terület alapvető rendeltetésének (mező-, vagy erdőgazdálkodásnak) megfelel. A szükség tározás célja az árhullám által szállított vízmenyiség egy részének átmeneti visszatartása és ezzel az árhullám tetőző magasságának csökkentése.

#### **Az árvízhozam egy részének (vagy egészének) elvezetése árapasztó csatornával**

A folyó egy-egy szakaszán az árvízvédelem biztonság növelését, egy-egy fontosabb lakó- vagy ipartelep védelmét sok esetben legcélszerűbben és leggazdaságosabban árapasztó csatornák építésével lehet megoldani. Árapasztó csatornák építése igen költséges, és ezért általában csak nagy értékű területek biztonsága érdekében létesülnek. Az árapasztó csatorna alkalmazása igen kedvelt módszer a Kaliforniai-medence északi részén. Annak ellenére szükség van az árapasztó csatornákra, hogy az Egyesült Államok egyik legnagyobb gátja az Oroville gát építésének célja az árvízi csúcs csökkentés volt. Ide sorolhatóak az alsó Mississippinek, a deltájának és New Orleansnek a védelmére kialakított árapasztó csatornák is.

Az árapasztó csatornáknak van egy olyan típusa is, amikor az egyik folyó vízgyűjtő területéről a vizeket egy másik vízgyűjtő területre vezetjük át. Ilyen átvezetés lehet kifejezetten az árvízvédelem érdekében épült átvezetéses árapasztó csatorna (Nagy 2007b). Létesítésének egyik fő előfeltétele, hogy a két folyó árvize azonos időben vonuljon le. Kialakításának gazdasági feltétele pedig, hogy a két

folyó nagyobb szintkülönbség nélkül, aránylag közel legyen egymáshoz.



5. kép. Üzlet lokális védelme az olaszországi Velencében  
Photo 5. Local flood protection of a shop in Venice (Italy)



6. kép. Lokális árvízvédelem magasítása a Duna mellett Ausztriában  
Photo 6. Emergency heightening at the bank of Danube in Austria



7. kép. Kapu védelme kis magasságú árvíz ellen  
Photo 7. Gate protection against low elevation flood water

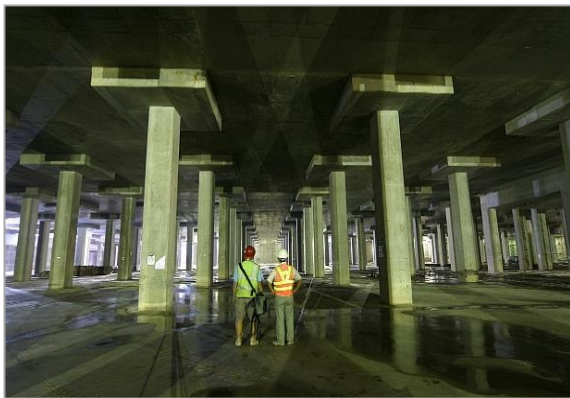
Az árvízvédelem szerkezeti módszerei között nagy jelentőségűek az árvízvédelmi falak, különösen az előző 15 évben – elsősorban belterületen terjedő – mobil árvízvédelmi falak (3. kép). Bár a mobil árvízvédelmi falak nem a legalacsonyabb költségűek, alkalmazásuk mégis kedvező tulajdonsága miatt belterületen előnyös.





8. kép. Hagyományos homokzsákos módszer  
Magdeburgban 2002-ben

Photo 8. The conventional method for emergency flood measurement with sand bags in Magdeburg in 2002



9. kép. Tai Hang Tung árvízcsúcs-csökkentő tározó  
(Hong Kong)

Photo 9. Tai Hang Tung flood peak reduction reservoir  
(Hong Kong)

## ÖSSZEFOGLALÁS

A közleményben elsősorban külföldi példák alapján összefoglalásra kerültek az árvízvédelem szerkezeti módszerei. Az árvízvédelem fizikai hátterét, a víz szétterülésének

megakadályozását az ártéren elsősorban ezektől a módszerektől várjuk. Az egyre bővülő lehetőségek tárházából a helyspecifikus megoldást kell választani. Továbbra is az árvízvédelem vezérelve a megelőzés kell, hogy legyen, de megfelelő operatív veszélyhelyzeti intézkedési tervekkel is kell rendelkezni az olyan ritkán előforduló árvizek esetére, melyek meghaladják a tervezési előírások mértékét.



10. kép. Lokális árvízvédelmi megoldás Angliában  
Photo 10. Local flood protection in England

## IRODALOMJEGYZÉK

European Union (2003). Best practices on flood prevention, protection and mitigation” (Az árvíz megelőzés, az árvízmentesítés és az árvízvédekezés legjobb gyakorlata).

Nagy G., Kádár I. és Bán Z. (2015). Malajzia "okos" alagútja: a SMART, Műszaki Ellenőr IV:(11) pp. 43-46.

Nagy L. (2007a). Japán árvízvédelme, Alagutak a metropolisban, Mélyépítő Tükörkép Magazin, 2007 december, pp. 40-41, ISSN 1589-2808.

Nagy L. (2007b). Vízkárelhárítás Japánban. Integrált árvízvédelem a Tone és az Ara folyók völgyében. Mélyépítő Tükör Magazin, 2007 október, pp. 40-42, ISSN 1589-2808.

## 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.

## Egy vasgyári kikötő építésének különleges tanulságai

Dr. Kozák Miklós

nyugalmazott egyetemi tanár, e-mail:kozak.miklos8@upcm.hu

### Kivonat

1951-ben Mohácsra egy vasgyár felépítése kezdődött el, de a Jugoszláviában bekövetkezett politikai változás miatt, az építkezést politikai döntéssel, Dunaújvárosba helyezték át. A döntést nem előzte meg szakszerű előtanulmány. A Kormány, a tervezőknek 1 évet adott az 560 m hosszú kikötő partfalának megépítésére, amit a Duna folyó medrében kellett megépíteni. A tervezők ezért előre gyártott, úszatható, helyben lesüllyeszthető, 10x10 m alapterületű és 13,4 m magasságú partfal kazettákat terveztek. A partfal 1,5 év alatt készült el. (1. ábra, 2. kép). A partfal építését a gyakori építőanyag (zúzott kő, soványbeton) és az építőipari gépek hiánya is akadályozta. A partfal háttérének feltöltésére kideponált 18 m magas kavicshegy megcsúszott és a partfalat 260 m hosszan kibillentette eredeti helyzetéből, aminek okai a következők: (a) a tervezőknek csak 3 hét állt rendelkezésre az előmunkálatokra, és csökkentették a beruházás költségeit; (b) a biztonságos építőanyag (zúzottkő) helyett csak kavicsot használtak, és az alaprétég kialakítására nem volt megfelelő géppark; (c) a partfalkazettákat nem tudták 2 cm pontosságra leültetni; (d) az árvíz után lerakódott iszapréteget nem tudták letakarítani; (e) a partfal melletti vezérrákot nem töltötték fel megbízhatóan.

1957-ben a gyár vezetősége engedélyezte, hogy a vasércet az áruakadón deponálják. Az engedélyezett 6 m helyett – a tervező tiltakozása ellenére – 18 m magasan deponálták. A túlterhelés miatt a tároló vasbetonlemez, és a darupálya is megsüllyedt és 150 m hosszan elcsúszott. 1957-re az elkészült sicalapú vasérc-tárolót is túlterhelték, ami 180 m hosszan összetört és megcsúszott. A tárolók túlterhelésénél elkövetett hibák ugyanazok, amiket a partfal építésénél elkövettek és a túlterhelések. A tárolókat pedig, a partfal mögötti csúszó föld térségére tervezték.

### Kulcsszavak

Előre gyártott kikötői partfal, partfal kazetta, sicalapú vasérc tároló, megcsúszás, hibás deponálás, tervezési és építési hibák.

## Special lessons from the construction of an ironworks harbour

### Abstract

In 1951, in Mohács City, Hungary, the construction of an ironworks began, but due to political change in Yugoslavia, construction was transferred to Dunaújváros City, Hungary by political decision. The decision was not preceded by a good preliminary study. The Government gave the designers 1 year for the construction of a 560 m long harbour embankment that had to be built in the bed of the Danube River. Therefore the designers designed prefabricated, floating, locally desiccated, 10x10 m floor area and 13.4 m high-embankment cassettes. The embankment was completed in 1.5 years. (Figure 1, Photo 2). The construction of the embankment wall was also hampered by frequent lack of building materials (crushed stone, skimmed concrete) and construction machineries. The 18 m high gravel deposit used to fill up the back side of the embankment wall slipped and moved out of its original position in 260 m distance because of the following reasons: (a) the designers only had three weeks of work and reduced the cost of the investment; (b) only gravel was used instead of the safe building material (crushed stone) and there was no adequate machine for the formation of the foundation layer; (c) they could not install the partition cassettes at 2 cm accuracy; (d) the sludge deposited after the flood they have not be cleansed; (e) the leader ditch next to the embankment wall has not been reliably filled.

In 1957, the management of the factory allowed that the iron ore to be deposited on the cargo rack. In spite of the protest made by the designer, it was deposited in 18 m height, instead of the authorized 6 m. Due to the overload, the tank's reinforced concrete slab and the crane track sank and slipped 150 m long. By 1957, the skewered iron storage tank was overloaded, which broke and slipped over 180 m long. Errors in overloading the containers are the same as those used to build the embankment wall and overloads. The repositories were designed for sliding land behind the embankment.

### Keywords

Prefabricated harbour embankment, embankment cassettes, flat foundation mine storage, slippage, incorrect depositing, design and construction errors.

### BEVEZETÉS

A magyar gazdaság fejlesztése céljából, 1950-ben, egy *Kohó-Vasmű* (továbbiakban *Vasmű*) megépítését tervezte a Duna folyó partján található Mohácsra. Az építkezést elkezdték, de a Jugoszláviában bekövetkezett politikai változás miatt annak felépítését-politikai döntéssel Dunaújvárosba helyezték át. A tervező MÉLYÉPTELV-nek 3 hetet adtak az előmunkálatokra, ami elképesztően kevés volt, mert a mérnökgeológiai és vízépítési adottságok és feladatok meghatározására legalább 6 hónap lett volna szükséges. Emellett a tervezés és az építés technológiai szintje, felszereltsége 1950-ben, hazánkban – ekkora műszaki feladat megoldására - jelentősen elmaradt a követelményektől. Ráadásul, az akkori politika, a szakszerűséget mellőzve, megalapozott előmunkálatok nélkül döntött a *Vasmű* fejlesztéséről. Ez a szellemiség rányomta

bélyegét a *Vasmű* építésének olyan különleges és igen tanulságos tervezési, építési és üzemeltetési történetére, melyekből korunk mérnökei is igen sokat tanulhatnak. A tanulmány célja, hogy összefoglalja a *Kikötő* létesítésének mindazokat a tapasztalatait, melyek számos esetben a vízépítési műtárgyak létesítésénél is hasznosíthatók.

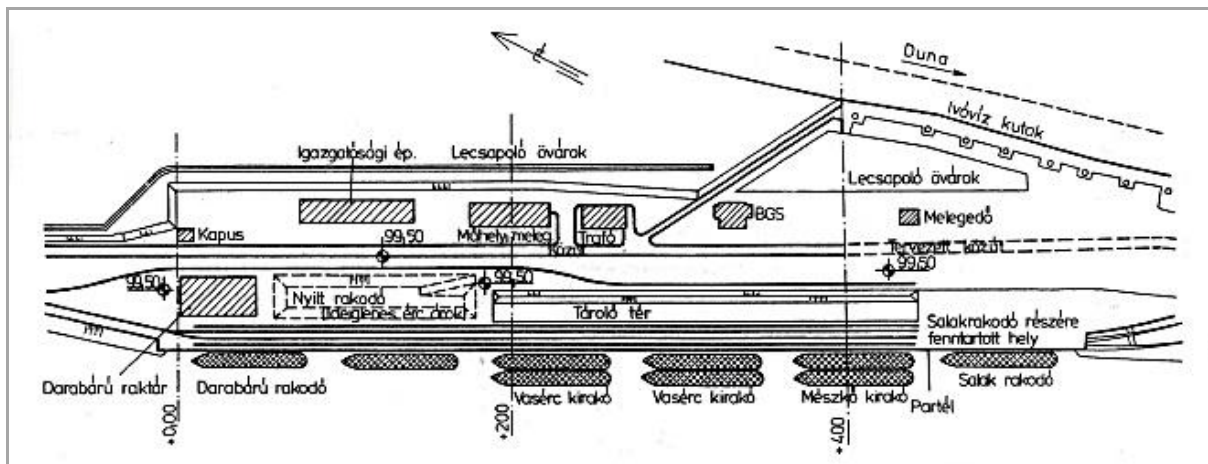
### A KIKÖTŐ RENDELTEZÉSE, ÉS AZ ADOTTSÁGOKNAK MEGFELELŐ TERVEZÉSI ÉS ÉPÍTÉSI ALAPELVEK

A *Vasmű* üzemeltetéséhez nagytömegű áru, nyersanyag darabáru oda és visszaszállítása szükséges, melyhez a legolcsóbb vízi szállításhoz egy ipari *Kikötő* építését irányozták elő. A *Kikötő* a Duna 1579 fkm-es szelvényében, a Szalkai-szigeten épült, a természet által adott szűkbejáratú öbölnek (holtágnak) kotrással kialakított

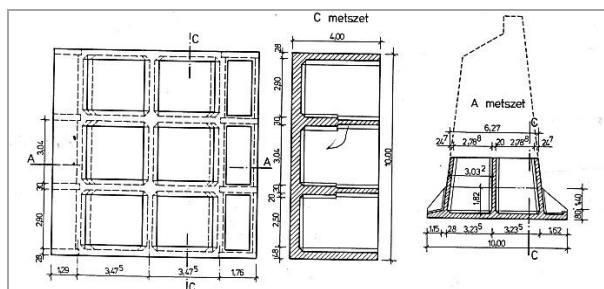
kikötőmedenceként való felhasználásával. Az öböl a sziget és a folyó jobb partja között helyezkedik el, és így az öböl bejárata folyásirány szerint alulról van. Ezt az öblöt téli kikötőként eddig is használták. A *Kikötő* bejáratát, a navigációs szempontból előnyös elrendezése miatt elfogadták.

A *Kikötő* rendeltetése a *Vasmű* üzemeltetéséhez szükséges, évi kb. 1,5 millió tonna tömegáru (vasérc, mész, kőáru, építési anyagok, kohósalak, bauxit, kész- és fél-

termékek, darabárúk) szállításához. A *Kikötőt* 6 *hajóállomásra* és 1000 tonnás hajók (uszályok) fogadására tervezték, melynek függőleges partfala van 560 m hosszúságban. (1. ábra). A partfalat, előre gyártott, több fokozatban megépített *vasbeton partfalkazettákból*, (2. ábra), és ezeknek egymás mellé helyezésével tervezték megépíteni. A lesüllyesztett *szekrények* egymástól való távolságát 2 cm pontosságra, a partfalak bekötésére, a vezérárókban fekvő 3.5 m mély részére, vegyes szemöszszetételű tömörített, *zúzottkő feltöltést* terveztek.



1. ábra. A kikötő alaprajza a tárolókkal  
Figure 1. Layout of the harbour with the storages



2. ábra. Az előre gyártott partfal kazetta első eleme (az első 4 m magas fallal)

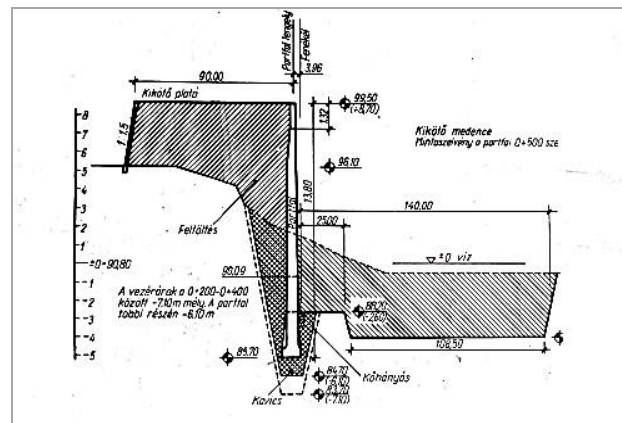
Figure 2. The first element of prefabricated ironed embankment cassette (the first 4 meter high wall)

A kikötőpartfal megépítésének nehézségeit számos kedvezőtlen hivatalnoki és helyszíni, döntési mechanizmus és körülmény növelte. Az időhiány és a kikötőhely mérnökgeológiai szempontú kedvezőtlen kiválasztása mellett, az építési területet a 2 m-es iszap réteg beborította, és a partfalat részben a Duna medrében kellett megépíteni. A gyenge altalajt előbb a partfal alapozási síkjáig el kellett távolítani, majd erre háromrétegű feltöltést kellett teríteni, legalulra 30 cm *vegyes kőszórást*, tetejére 30 cm *homokos kavicsot* és legfölülre pedig 20 cm vastagságú *zúzott kőterület* terveztek. Így alakult ki a 85.30 mA-f-i alapozási szint, melyre a vasbeton szekrényes, 10,3 m magasságig előre gyártott partfalelemeket, (kazettákat) ráültették. A partfalra 6 betonlépcsős műtárgyelemet is terveztek.

Tekintettel a szoros határidőkre (1952. 03. 31.), az 560 m hosszú, 10x10 méteres alapterületű partfal kazettákat száraz, de a leúztatáshoz szükséges elárasztható munkatérben, a Dunán lefelé úztatva, a helyszínre szállítható, előre gyártott vasbeton szerkezetűre tervezték. A

10,3 m magas, szekrények lesüllyesztéssel történő elhelyezésére 11,3 m széles *vezérárkot* kellett készíteni, melynek fenékszintjét 1 m-el mélyebbre kotorták. Erre került rá a már említett 3 rétegű *alappeltöltés*. Ezzel biztosították a partfal stabil és süllyedésmentes felfekvését (1. később).

Összesen 51 db 10 m hosszú és 2 db 22,69 m hosszú kazettát terveztek. A kikötőmedence fenékszintje 88,20 mA.f., a partfal teteje 99,50 mA. f., tehát a fal szabad magassága 11,30 m (3. ábra). A fal alapsíkja 2,5 m mélyen van a medence fenékszintje alatt, s így a fal teljes magassága 13,80 m. A fal alsó előregyártott része 4 m magas vasbeton szekrény, amelyre a felső rész vasbeton falként, több magasítási szakaszban, a *Kikötő* öblözetében épült meg, melyeket a *Kikötő* helyén süllyesztettek le.

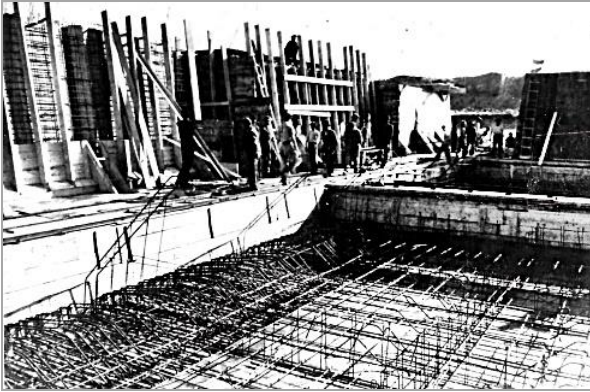


3. ábra. A kikötő partfala a vezérárókban (a szélesség, torzított méretarányú)

Figure 3. The harbour embankment in the leader ditch (the width scale is distorted)

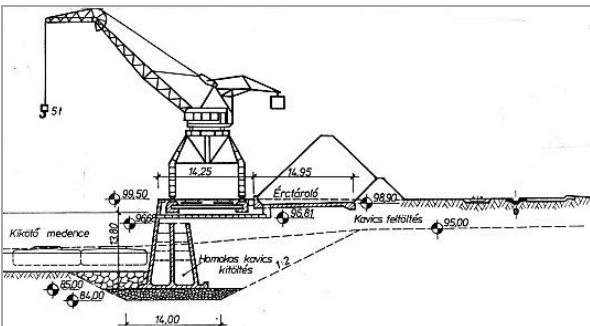


Egy-egy szekrény két kereszt- és egy hosszirányú *osztófallal* készült el. (2. ábra). A 38 cm vastag alaplemez, a partfal stabilitásának növelése érdekében, a föld felől 1,62 m-rel, a víz felől 1,15 m-rel túlnyúlik a szekrényen. A felmenő falak vastagságai 20-28 cm között változnak. Vasbeton szekrények egy részét a *Tassi vízerőmű hajózsilipjében* (1. kép), és a *Kikötő* magas parti vonalában tervezték megépíteni.



1. kép. A vasbeton partfal kazetta vasalása a hajózsilipben  
Photo 1. The ironing work for bottom plate of the reinforced concrete cassette in the ship lock

A nagy tömegű vasérc part menti tárolására egy 254 m hosszú és 15 m széles, síklapú vasbeton *éرتároló* terveztek (4. ábra). Sajnos a tároló a csúszólap térségébe került. Az uszályokba érkező teherárak ki- és berakására, a két sín pár közé, sinen mozgó 5 tonnaemelésű emelődarukat építettek, míg a termékek tovább szállítására, egy *daru pályát* is építettek a két vasúti sín pár közé (2. kép).



4. ábra. A vasbeton partfal metszete az éرتárolóval (sík alapfal), amit a csúszólap térségére terveztek

Figure 4. The cross-section of reinforced embankment with the iron ore storage area (with flat footwall), which was designed over the slipping area



2. kép. A kikötő partfala a darukkal (befejezett állapot)  
Photo 2. The harbour embankment with the cranes (in accomplished condition)

## KIKÖTŐ ÉPÍTÉSE ÉS A PARTFAL MEGCSÚSZÁSA

Az építés munkálatait munkanemekre bontották. Külön folytak az előre gyártott partfalelemek építése, valamint a partfal alapozási munkálatai (kotrás, rétegzett feltöltés stb.). A felettes Miniszteri (1951. 03. 31.) határozata arra kötelezte az építőket, hogy a *Kikötő* partfalát 1952. 03. 31.-re építsék meg. Ez az irreális 1 éves határidő tarthatatlan volt az 53 db, 10x10 m-es alapterületű, 13,8 m magasságú, nagyméretű és többlépcsős magasságban megépítendő vasbeton szekrények legyártásához, helyre úsztatásához és rendkívül bonyolult beillesztéséhez, melyhez hasonló feladatot hazánkban még sohasem végeztek. A Minisztérium a végleges határidőt, 1952. 08. 31.-re módosította.

A 35 db előre gyártott partfal elemet a ideális adottságú *Tassi vízerőmű hajózsilipjében* (1.kép), (melyet télen lefedtek), míg 18 db-ot a *Kikötő* partvonalának vízszint fölötti szakaszán építettek meg, *sólyapályás* (görgős alzatú) vízbe-eresztéssel. A partfal utolsó magasságát a már lesüllyesztett állapotban fejezték be, igazodva a vízszintes korona szinthez. A kotrási termékeket hidromechanizációs technológiával helyezték el a partfal mögötti feltöltésére (1. később).

A terv szerint kezdték meg a 11,3 m fenékszélességű *vezérárok* kikotrását. A vezérárokban a szekrények alá 1 m vastagságban kiegyenlítő réteget terveztek, az alábbi rétegezéssel: legalulra 50 cm *vegyes termésköböl*, *köterítést*, fölötté 30 cm *homokos kavicsot* és legfelül, a nagyobb sűrűdési tényezőjű 20 cm *útépítési zúzottkővet*.

Tekintettel a szoros határidőre (1952. 08. 20.), 1952. 08. 16.-án, feszített munkával, a már lesüllyesztett partfal szekrények betonozását is befejezték. A felettes hatóságok által kitűzött határidő teljesítése érdekében, nagy ütemben folytak a partfal mögötti feltöltési munkálatok előkészületei. A dokumentumok sajnos nem rögzítették a partfal alsó, a vezérárokba eső része lábazati kőfeltöltésének megtörténtét (1. később). A szekrények mögötti feltöltést úszó elevátor segítségével még augusztus 17-én, vasárnap is végezték. Késő délután a kotró a 47-48. sz. szekrények mögött a negyedik kavicshegyet deponálta. A frissen kielevált kavicshegy nagyon meredek rézsűben (kb. 43°-os szögben) állt meg, és a kavicshegy rézsűje a szekrények hátlapjáiig ért, magassága pedig elérte a 16 métert.

A vihar által okozott hullámverés a depónia rézsűlábát alámosta, ezért a meredek kavicsrézsű hirtelen megcsúszott, a partfal megmozdult, az elevátor hajója megbillent, a tartókötelek elszakadtak, a csörlők fogai kitörték. A partfal a 29-es számú szekrénytől az 53-as számú szekrényig (24 db) 278,82 m hosszban deformálódott, a *Kikötő* felé megcsúszott (3.kép), függőleges irányban pedig 59-62 cm-rel megsüllyedt (5. ábra). A szekrények részben hátra, részben előre billentek. A pillérek közötti távolságok 2-43 cm közöttire változtak. A partfal legnagyobb megcsúszása 5,83 m volt. (3. kép).

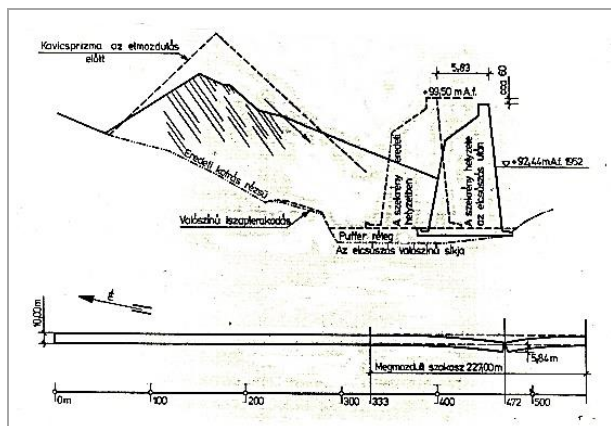
A partfal elmozdulásának okait a KPM, a Műszaki Egyetem és külföldi szakértő bevonásával bizottság vizsgálta meg, majd elrendelték a partfal helyreállítását Az

elcsúszott partfalszakaszt 1953-ban helyreállították, a feltöltési munkák teljes befejezése nélkül.



3. kép. A megcsúszott kikötő partfala (a partfal alsó részét nem töltötték fel zúzott kővel)

Photo 3. The slipped harbour embankment (the lower part of embankment, it was not filled up with crunched stones)



5. ábra. A kikötő megcsúszott partfala (felső ábra) és alaprajza (alsó ábra)

Figure 5. The slipped harbour embankment (upper figure) and its layout (lower figure)

### A partfal megcsúszásának okai

Az eddig történetek után is érthetőek a *Kikötő* partfala megcsúszásának és süllyedésének okai, mégis indokolt a hibákat kiváltó körülmények részletesebb elemzése.

A kikötő telepítését nem előzte meg tüzetes *geológiai, hidrogeológiai és mérnökgeológiai vizsgálat*. Az előmunkálatokra a 6-8 hónap helyett, csak 3 hét állt rendelkezésre. A telepítés átgondolatlan, gyors eldöntése miatt a kedvezőtlen geológiai viszonyokat (homokos lösztalaj), nem vették figyelembe.

A beruházási költségeknek az építkezés alatti csökkentése, a partfal elcsúszásának biztonságát növelő kőzetanyagok (terméskő, zúzott kő) hiánya miatt, mosatlan Duna kavics engedélyezése, és a kivitel meggyorsítása érdekében tett intézkedések, a kikötőpartfal állékonyságának rovására mentek. Ezek közül kiemelendők a következők:

a. Az építkezés határidejének irreális csökkentése, a létesítmény és az egyes munkanemek szakszerű és biztonságos, tervszerinti megvalósítását is veszélyeztették.

b. Az anyaghiányra hivatkozva, a mosott kavics egy része helyett csak közönséges homokos Duna-kavicsot építettek be.

c. A kazettáknak a tervben előírt 2 cm pontosságú biztonságos leültetéséhez a részletesebb technológia

hiányzott. A süllyedőben lévő szekrényeknek, a már lesüllyesztett kazettákhoz való szorosabb illesztésével is gondok voltak. A gépi berendezések elégtelensége a pillérek tervszerinti elhelyezését nem tette lehetővé.

d. A már leültetett kazetták stabilitásának egyik kulcskérdése, a több rétegű alapzat vastagsága, szerkezete és lesüllyesztéskori állapota. Az utólagos bűvár-ellenőrzések szerint, számos helyen nem találták a gát alapágyzatának felső rétegén a zúzott kőterítést, ami a szekrények elcsúszás elleni biztonságának fontos tényezője. Emellett a szekrények beillesztése előtt, az alapzat tetejét, vastag *iszapréteg* borította, amit süllyesztés előtt levonuló árvíz, hagyott maga után. Ezt a kivitelező próbálta eltávolítani, de az erre a célra fabrikált berendezés nem vált be.

e. Az anyagtakarékosságra, a kőhiányra, a szállítási nehézségekre és a szoros határidőre való tekintettel a vasbeton szekrényeknek a tervben előírt soványbeton részleges kitöltése helyett, homokos kavicskitöltést rendeltek el.

f. A partfalak megcsúszása elleni védekezés legfontosabb tényezője, hogy nem gondoskodtak arról, hogy a lesüllyesztett szekrényeknek a vezérárókban fekvő térséget azonnal kőszórással kellett volna feltölteni, ami hatékonyabb lehetett volna a partfal elcsúszásának korlátozásában. Emellett, a vezérárók kőhányással való teljes kitöltése a végleges tervben már nem volt előírva, csak a partfal mellé terveztek egy vékony réteget. Végül még ezt sem építették meg. A partfal ezért csúszhatott meg 5,83 m-t, valamint süllyedt meg, és dőlt meg.

g. A kikötő építéséhez a kivitelezőnek nem állt rendelkezésre a szükséges korszerű géppark. A vezérárók kotrásánál a legnagyobb mélységre dolgozó kotró (Hun-gária) elsüllyedt, ami 10 hetes munkakiesés okozott. A víz alatti kőágyzat felszínének egyengetésére sem állt rendelkezésre olyan korszerű berendezés, amivel víz alatti sík és vízszintes stabil alapot tudott volna készíteni. A megfelelő gépek hiány miatt a szekrények közötti távolság betartását nem tudták biztosítani.

A szekrények leültetésénél sem sikerült a tervben előirányzott 2 cm-es hézagokat biztosítani. A legnagyobb hézag elérte a 43 cm-t. A széles hézagokat általában nem zárták le, s ezeken a hézagokon keresztül nagy mennyiségű talaj sodródott ki a feltöltésből.

A kikötő 200 m szakaszának üzembe helyezése 1954 májusában, annak elkészülte és hivatalos átadása előtt megkezdődött. Az üzembe helyezésig csak részben készült el a partfal mögötti feltöltés, a rézsűburkolat, a vasúti vágányhálózat és a darupálya.

A megcsúszott partfalat tetemes súlya miatt már nem lehetett a tervezett helyére visszaállítani, az a mai napig is így üzemel. A hézagos és megdőlt pillérek helyreállítási kísérletei is számos gondot okoztak. Az elcsúszott partfalak közötti 2- 43 cm-ig változó hézagokat azonban le kellett zárni. Ezzel még 1954-ben is gond volt, mert a nyílások vízszint alatti részének elzárását csak keserves munkával sikerült elvégezni. Még 1957-ben is előfordult töltés anyag kifolyása.



### Az érc tároló, a darupálya és vasúti pálya rongálódása és ezek okai

A vasgyártás megkezdése, ill. a kohók üzembe helyezése a *Vasmű* számára 1955-ben sürgőssé vált. Mivel az érc tároló építése csak 1956-ban kezdődött el, de a darabáru *nyílt rakodója* már megépült (1. ábra), ezért a felettes hatóságok elrendelték, hogy átmenetileg a vasérc kirakását a nyílt rakodón is végezzék. A tárolt vasérc magassága azonban a megengedett 6 m helyett elérte a 10-12 m-t is, aminek következtében a partfal felső élvonala 8 cm-t elmozdult (behajlott). Az érc terhelés csökkentésének hatására azonban, a partél visszatért eredeti helyére.

1957 júliusában a nyílt rakodón a megengedettnél háromszor magasabb (18 m) érc tömeget tároltak, aminek hatására, a nyílt rakodó előtti partfal mintegy 150 m hosszban, vízszintes irányban 20-30 cm-t elmozdult (becsúszott). Hasonló mértékben mozdult el a partfal mögötti darupálya és a vasúti pálya is. A függőleges irányú süllyedés elérte a 20-30 cm-t. Ennek oka a túlterhelés mellett az is, hogy a partfal mögötti öblözet feltöltését nedves, hidromechanizációs eljárással és nem száraz, rétegezett feltöltéssel végezték, ami lehetővé tette volna a rétegenkénti tömörítést.

1957 augusztusában elkészült a 270 m hosszú *sík szerkezetű vasbeton érc tároló* is (4. ábra), amit – a tervező engedélye nélkül – az üzemeltető azonnal igénybe vett. A tálcák mérete és a terhelések változása miatt, az érc tárolókat mozgást korlátozó *munka-, ill. dilatációs hézagokkal* építették meg. A megengedettnél nagyobb érc terhelés hatására a partfal 180 m hosszúságú szakasza is elmozdult. A legnagyobb elmozdulás 70 m hosszúságú szakaszon történt. Különösen nagy volt az elmozdulás a +280 és +350 szelvények között, ahol a legnagyobb süllyedés a belső darupályán következett be. A legnagyobb vízszintes elmozdulás (megcsúszás) 63 cm volt. A nyílt rakodó megsüllyedt, térbe is deformálódott. A tálcák dillatációs hézagai 4-10 cm-re megnyitáltak. Az is hiba volt, hogy az érc tárolót a partfal mögötti csúszó rétegre tervezték.

A vasbeton érc tároló megrongálódásakor a helyszínen tartózkodó dolgozók robbanásszerű zajt hallottak, ami az érc tároló lemezének hirtelen átszakadásával függhetett össze. A tönkrement vasbetonlemez két része egymáshoz képest függőlegesen (mintegy 40 cm-t) eltolódott. A lemezrész technószerűen süllyedt le, legmélyebb része kb. 85-90 cm-rel mélyebbre került az eredeti helyzetéhez képest. Ezek a tények csak 1957 novemberében voltak megállapíthatók, amikor az érc től tehermentesítették a tárcát.

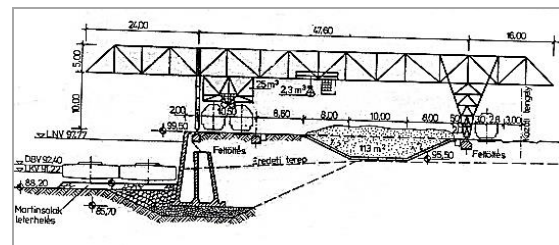
A MÉLYÉTERV a mozgások keletkezésének kezdeti stádiumában, már 1956. május - július hónapokban, többször szóban és írásban tiltakozott a rakodótér túlterhelése ellen, és sürgős intézkedéseket kért. A Központi Döntő Bizottság (KDB) 1957. 09. 20-án határozatot hozott, és november végén megindult az érc tálcán is a tehermentesítés. A mozgások megállítására érdekében csökkentették az érc depónia magasságát, és megtiltották a daruk üzemeltetését. A kikötő-rakodó 270 m hosszú szakaszán a darupá-

lyákat (2. kép) és vasúti vágányokat a *Vasmű* saját hatáskörében állította helyre.

A partfal elcsúszásának legdöntőbb oka volt, hogy a partfal szekrényeket nem helyezték el minden esetben kellő időben a zúzottkő ágyazatra, és az építkezés gyorsított üteme miatt a zúzottkő ágyazatot Duna kavicsal helyettesítették. Az 1957 júliusi partfalmozgásokat minden kétséget kizáróan az *érc tároló túlterhelése okozta, mert azt a partfal mögötti csúszó földtömegre tervezték*. A túlterhelés megszüntetésével a partfalmozgások is megálltak.

A Vasműnek Mohácsról való áttelepítéséhez, annak sürgős megépítéséhez olyan fontos népgazdasági érdekek fűződtek, hogy akkor nem volt lehetőség a több hónapos előmunkálatokkal annak telepítését hátráltatni. A meghibásodások lényeges körülményeit ismerve megállapíthatjuk, hogy rendellenességek legfőbb oka, a telepítés időszakában végzett gyors előmunkálatok voltak. A rendkívül kedvezőtlen geológiai viszonyok kiértékelésére, a rendelkezésre álló rövid kitelepítési és előkészítési idő nem volt elég. A részben elkészült partfalat és a tárolókat a tervező engedélye nélkül helyezték üzembe.

A részletes geológiai feltárások ismeretében utólagosan megállapítható volt, hogy a kikötő, az 1957-es partfalmozgások következtében mindkét tárolóterület tönkrement. A vasérc ideiglenes tárolására, a darabáru nyílt rakodó területét átalakították, a megrongálódott érc tárolókat elbontották és helyette 250 m hosszú, 4 m mély, 10 m fenékszélességű és 1:2 rézsűhajlású *süllyesztett érc tárolót* építettek a csúszófelületen kívülre (6. ábra). Az ideiglenes érc tároló helyére a nyílt darabáru-rakodót újból meg kellett építeni.



6. ábra. A partfal metszete a süllyesztett érc tárolóval, amit a csúszólapon kívülre terveztek

Figure 6. The cross-section of embankment with the sank iron ore storage, which was designed outside of slip surface

### ZÁRÓ GONDOLATOK

A Dunaújvárosi Kikötő építéstörténetének, tanulságainak tervezőnek és döntést hozónak is el kell gondolkodni. A *Kikötő* 260 m hosszú szakaszának 0-585 cm mély becslése (kibicsaklása), évekig tartó javíthatása még ma is látható és elgondolkodtató mementő. Sajnálatos, hogy az építkezés korszakát nem ismerő utódaink és az arra járó külföldiek ennek láttán, tévesen a tervezők és az építők szakszerűtlenségére, és nem a létesítmény megvalósítását irányító hivatalnokokra gondolnak. Ez méltánytalanság, mert a terveket és az építkezést a kor legtapasztaltabb építőmérnökei irányították, de a kivitelezést, és a még nem üzemeltethető létesítményeket – az illetékesek akaratára ellenére – illetéktelen hivatalnokok befolyásolták. A



hibák legfőbb felelősei az önmagukat tévedhetetlennek vélő döntést hozó hivatalnokok voltak.

Egy nagy beruházásnak, az akkori politikai légkörben történő sikeres megvalósításának azonban volt még két fontos tényezője: (a) milyen a létesítmény szakmai irányítójának hazai és nemzetközi elismertsége, tekintélye, vezetői képessége, és (b) milyen a beruházást finanszírozó Országos Tervhivatal (OTH) elnökével, Vass Zoltánnal való személyes kapcsolata. A *Kikötő* létesítésének irányítója a Minisztérium hivatalnokai voltak, míg *Tiszalöke*, Mosonyi Emil tanszékvezető professzor, a VIZITERV igazgatója, akiknek hazai és nemzetközi szakmai, tudományos elismertsége és Vass Zoltánnal való személyes kapcsolata, kifogástalan és diplomatikus volt. (Amikor személyesen kereste fel az OTH elnökét, az a következő szavakkal fogadta: *Na, mi van már megint Tiszalökkel professzorkám?* Mosonyi professzor nem csak *Tiszalök* tervezésének, de építésének is irányítója volt. A *Vízlepcső* megépítése összehasonlítva a *Kikötővel*, műszakilag, sokkal nagyobb feladat volt, amit a következő néhány adat is bizonyít: 5 millió m<sup>3</sup> földmunka a létesítmény vasbeton alaplemezének megépítése céljából; 20 000 m<sup>2</sup> területű száraz munkatér biztosítása éjjel-nappal 12 m-el a talajvízszint alatt, kétlépcsős, állandó talajvízszint süllyesztéssel. A *Vizerőtelep*, a *Duzzasztómű* és a *Hajózsilip* bonyolult, mozgatható gépi berendezéseinek megépítése, a beépített acélszerkezetek, gépek súlya kb. 6000 tonna! Mosonyi professzor kijárta, hogy a GANZ-MÁVAG is részt vehetett a vízlepcső Dortmund Union Brückenbau AG-val közösen az acélszerkezetek és gépek legyártásában, ahol éjszakába nyúló tárgyalásokon, személyesen tárgyalt az AG vezetőivel.

## A SZERZŐ



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

A *Tiszalöki Vízlepcső* már több mint 60 éve hibátlanul üzemel, aminek oka a létesítmény tervezésének, építésének szakszerű irányítása és a felelősségteljes gondos munka.

A *Kikötő* építése tanulságainak rövid összegzése, melyekkel a hasonló hibák elkerülhetők a következők:

- sürgetéstől mentes, alaposabb tervelőkészítés, ill. az igényeknek megfelelő adatfeltárás,
- a létesítmény üzemeltetési követelményeihez és az építés körülményeihez megfelelő szerkezetek megválasztása, melyhez elegendő tervezési idő kell,
- körültekintő kivitelezés, és az építés körülményeinek megfelelő géppark biztosítása, számolva az építkezés közbeni meghibásodásokkal is,
- a tervben előírt építőanyagoknak az építési ütemtervnek megfelelő mennyiségben való biztosítása,
- a létesítmény tervezésében, kivitelezésében és a létesítmény üzemeltethetőségében, mindig a felelős szakemberek véleménye legyen a meghatározó tényező,
- A tervezési és kivitelezés anomáliákat illetően – a fentiek mellett – figyelembe kell venni az emberek sorsát meghatározó egzisztenciális szempontokat is.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerző hálás köszönetét fejezi ki Dr. Bakonyi Péternek, a VITUKI egykori főigazgatójának, a kézirat gondos összeállításában nyújtott közreműködéséért.

## Klímaváltozás és vízpótlás hatásainak vizsgálata a WateRisk integrált hidrológiai modellel egy Duna-Tisza közti mintaterületen

Kardos Máté Krisztián\* és Koncsos László\*

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3. (Email: [kardos@vkkt.bme.hu](mailto:kardos@vkkt.bme.hu))

### Kivonat

A WateRisk Integrált Hidrológiai Modellt a Budapesti Műszaki és Vízi Közmű Tanszéke és a GeneralCom Mérnöki Kft. közösen fejlesztette ki. A modell kiválóan alkalmas nagy területek vízkészletváltozásainak számítására. Vizsgálataink során a Duna-Tisza köze egy 5 000 km<sup>2</sup> kiterjedésű területét építettük be a modellbe. A terület vízgazdálkodási problémái közismertek.

A beépítést követően egyrészt a klímaváltozásnak a terület vízkészleteire gyakorolt hatását, másrészt egy feltételezett Duna-Tisza csatorna és kapcsolódó öntözőcsatornának hasonló hatásait vizsgáltuk. A klímaváltozás következményei a nagyobb párolgás és párolgotatás, ennek következtében a kisebb beszivárgás és talajvízszintsüllyedés, a szárazodás.

A tervezett csatorna részeinek vagy egésze megépítésének hatásai összetettek. A magasvezetésű összekötő csatorna a völgyi részeken növeli a belvízkockázatot, a mélybevágású hátsági részen pedig akár 5-8 m-es talajvízszintsüllyedést okoz („megcsapoló hatás”). Az öntözőcsatorna önmagában csak kismértékű talajvízszintemelésre képes. Kiterjedt öntözőhálózat kiépítése is szükséges – ezek együttesével a talajvízszint több évtized alatt akár 1 méterrel is emelhető.

### Kulcsszavak

Duna-Tisza köze, integrált hidrológiai modell, klímaváltozás hatásai, Duna-Tisza csatorna, hatásvizsgálat.

## Assessing climate change and water supply impacts on the Danube-Tisza Interfluve by the WateRisk Integrated Hydrologic Model

### Abstract

The WateRisk Integrated Hydrologic model was developed jointly by the Budapest University of Technology and Economics, Department of Sanitary and Environmental Engineering and the GeneralCom Engineering Inc. The model is capable for modelling water resources changes of large areas. We developed the model of a 5000 km<sup>2</sup> area of the Danube-Tisza Interfluve. The area has been coping with aridity problems for decades.

Two main issues were studied. First, climate change impacts on the area. Second, impacts of a shortcut channel between Danube and Tisza, and a connected water supply and irrigation channel. Due to climate change, evapotranspiration is expected to increase, and consequently, infiltration is expected to decrease, which leads to sinking groundwater table and aridity.

Construction of parts or the whole channel system leads to complex effects. The high position of the channel in both valleys leads to increased excess water risk. On contrary, the deeply grabbed channel through the ridge could cause 5-8 m decrease of the groundwater level (locally). The irrigation channel in itself has only limited influence. By construction of an irrigation channel network the water table is expected to be increased by 1 meter in about 15 years.

### Keywords

Danube-Tisza interfluve, integrated hydrologic model, climate change impacts, Danube-Tisza channel, impact assessment.

### BEVEZETÉS

A Duna-Tisza köze vízhiányos volta, aszályosodása szakmai körökben általánosan ismert, és elismerten széles társadalmi rétegeket érintő több évtizedes probléma (*Major és Neppel 1988, Szilágyi és Vorosmarty 1993*). A csapadékhiány, a nagyobb vízigényű, mély gyökérzetű haszonnövények fokozott telepítése és termesztése, a legális és illegális vízkivételek megnövekedése miatt a talajvízszint a 90-es évek végére a korábban jellemző szintnél jellemzően 2-3 m-el mélyebben stabilizálódott (*Pálfai 1995, Szalai és társai 2008, Somlyódy 2011*). Hasonló vízszintsüllyedés játszódott le a rétegvizekben is. A sorozatban negatív éves vízmérlegek hatására a vizenyős területek és sekély tavak kiszáradtak, ami a szárazságtűrő növények irányába tolta el a fajösszetételt, és jelentős degradációt okozott a szárazföldi ökoszisztémák állapotában is (*Kohán 2014*). A mezőgazdasági termelés minden jel szerint meghaladja a terület agropotenciálját, azonban a földhasználat-váltást célzó, eddig indított programok – elégséges társadalmi támogatás hiányában – kudarcot vallottak. Ugyanis

csak társadalmilag elfogadott, politikailag erősen támogatott, és az éghajlatváltozás várható (egyelőre csak bizonytalanul ismert) hatásait kezelő megoldási javaslat(ok) lehet(nek) hosszú távon sikeres(ek).

A jelenség megoldására megfogalmazott javaslatokat és azok értékelését tekintve jelentősen eltérnek a vélemények. Az egyik – széles körben elterjedt – elképzelés több-célú csatornával kötné össze a Dunát a Tiszával. A csatorna hasznosításai között szerepel a hajózás (idegenforgalom, áruforgalom), az árvízmentesítés és az – elsősorban mezőgazdasági célú – vízpótlás a hátsági területeken. A több évszázados elképzelés az utóbbi években ismét nagyobb figyelmet kapott, így az eddigi tanulmánytervek (nyomvonaltervek, melyek darabszáma tízes nagyságrendű) mellé újabbak készültek (*Csizmazia és Pákh 2009*). Annak ellenére, hogy százmilliárdos költségvonzatú beruházásról van szó, nem készült átfogó hatásvizsgálat, így ismeretlenek az elképzelésnek a vízkészletekre gyakorolt hatásai. Az alternatív – vélhetően kisebb költséggel járó –

megoldási lehetőségek között szerepel a már említett földhasználatváltás és a Homokhátság felszíni vizeinek visszatartása, természetesen mindkettő a felszín alatti vízkivételek visszaszorításával kombinálva. A döntéshozatal előtt célszerű az összes lehetséges változatot alapos társadalmi és környezeti hatásvizsgálatnak, valamint kiterjedt költség-haszon elemzésnek alávetni.

Cikkünk elsőként röviden ismerteti a Duna-Tisza közti mintaterület WateRisk modelljét (bemenő adatok, kalibráció/validáció, érzékenységvizsgálat), majd rátér az elvégzett számításokra. A számítások első csoportjába két különböző klímaszcenárióra történt modellszámítások tartoznak. A vizsgálatok másik csoportját a Duna-Tisza-csatorna és a kapcsolódó öntözőcsatorna hatáselemzése képezi.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A WateRisk modell rövid ismertetése

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéke és GeneralCom Mérnöki Kft. által közösen fejlesztett WateRisk integrált vízkészlet-gazdálkodási modell a víz-háztartás vizsgálatára képes modellrendszer, amely több egy- és kétdimenziós modell összekapcsolásaként jött létre (Koncsos és társai 2011, Jolánkai és társai 2012). Előbbi csoportba tartozik például a folyókban, csatornában történő vízmozgást számító hidrodinamikai modell, míg utóbbiba a csapadékot, hóakkumulációt, párolgást és felszíni szétterülést leíró hidrológiai modellek, valamint a beszivárgást és a talajvízmozgást reprezentáló hidraulikai modellek. A koncepció alapja az osztott paraméterű csapadék-lefolyási modellszemlélet, amely szerint a vízgyűjtőt térben homogén fizikai tulajdonságokkal rendelkező elemekre (cellákra) bontjuk. A hidrológiai mérlegegyenleteket a cellákra felírva a lefolyás háromdimenziós leírása nyerhető. A modell a folyamatok tér- és időbeli leírásához a peremfeltétel adatait (például csapadék, léghőmérséklet) területi eloszlásuknak megfelelően veszi figyelembe (Kozma és társai 2012). A csapadék intercepció utáni maradékát – az esetleg keletkező olvadékvízzel együtt – beszivárgási modul segítségével felszínen lefolyó, illetve beszivárgó csapadéokra bontja (Kozma 2013). A felszínen összegyülekező víz mennyisége a párolgási modul és a beszivárgási modul által közvetített folyamatok hatására változik. A talajba került víz egy része a növényi párolgotatás (evapotranszpiráció) révén távozik, miközben a másik része alkotja a felszín alatti lefolyást. A beszivárgás egydimenziós modellje a talajcellákat rétegekre bontja, s a talaj telítettsége függvényében kiszámítja a talajvízbe áramló víz mennyiségét (Kozma 2013).

A talajvíz-modul közvetlen kapcsolatban van a folyómederrel: a kialakult potenciálkülönbségek hatására a mederbe befelé vagy onnan kifelé irányuló térfogatáram alakul ki. A felületi lefolyásból összegyülekező víz a folyómedrek partvonalai mentén felgyülemlik, és az ott kialakult vízmélységek függvényében a folyómedrekbe történő átbugás révén a folyóhálózatba kerül (Koncsos 2011).

A WateRisk modellel több hazai mintaterületen végeztek már számításokat. Példaként a Szamos-Kraszna közti belvízi öblözetet (Kozma 2013), a Nagykörűi öblözetet

(Jolánkai és társai 2011), a Béda-Karapancsa területet (Derts és Koncsos 2011) vagy a Tisza-Marosszögi területet (Jolánkai 2013, Jolánkai és Koncsos 2015) említjük. A Duna-Tisza közti területre végzett számításokat Koncsos (2012) kivonataként ismertetjük.

### A DTK WateRisk modellje

Mintaterületnek a Duna-Tisza köze egy mintegy 5000 km<sup>2</sup>-es szeletét választottuk (1. ábra). A terület É-D-i kiterjedése 60 km, K-Ny irányban pedig a Csepel-szigettől a Tiszáig nyúlik mintegy 110 km hosszban. A nyugati illetve keleti oldalon a Duna- illetve Tisza vízállások szolgálták peremfeltételként – a folyóbeli vízmozgás számítása a modell része. A nagy kiterjedés okán 500x500 m-es felbontású cellarácson végeztük a számításokat (~20 000 darab számítási cella).

A mintaterület – a számítási kapacitásokat figyelembe veendő – nem fedti le a teljes Duna-Tisza közét, azonban jellemző metszetet ad róla. Megtalálható a mintaterületen a Duna-völgyi, a hátsági és a Tisza-völgyi rész is. Nyugati és a keleti határát alapvetően a Duna/Ráckevei-Soroksári Duna illetve a Tisza adja. Tekintettel azonban arra, hogy a hidrológiai számításokkal párhuzamosan gazdasági és szociológiai vizsgálatok is készültek (lásd Koncsos 2012), kis mértékben átnyúlik a terület a Csepel-szigetre, illetve a Tiszántúlra is ott, ott ahol a települések közigazgatási határa ezt kijelölte.

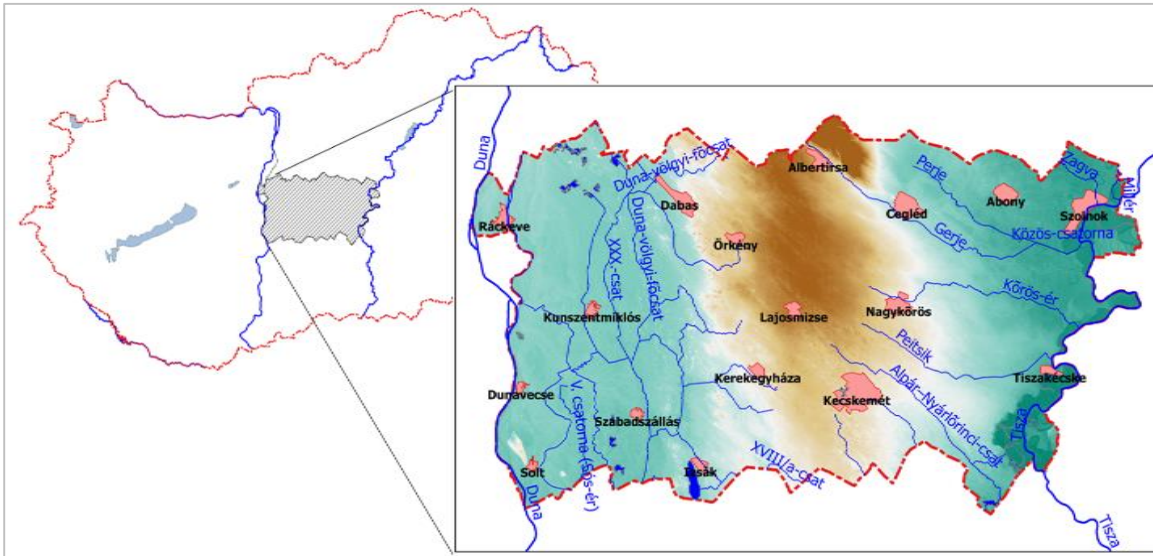
„Jelen” állapotban 39 meteorológiai megfigyelőállomást (csapadék- illetve hőmérsékletadatok) helyeztünk el a modellben. A klímaváltozás hatásainak vizsgálatához a PRUDENCE projektnek a Dán Meteorológiai Intézet által HIRHAM regionális éghajlatmodellel leskálázott forgatókönyveit használtuk fel (Räisänen 2004). A négy IPCC kibocsátási forgatókönyv közül az A2 és a B2 jelűeket vizsgálatunk (IPCC 2007). A klímaváltozás A2 és B2 forgatókönyvei esetében a 2071-2100 közötti időszakra, illetve az 1961-1990 közötti kontroll időszakra végzett futtatások esetén 6 virtuális meteorológiai állomás szerepelt a modellben (3. ábra).

A domborzati adatokat 5x5 m-es rácshálózat alapján a Földmérési és Távérzékelési Intézet bocsátotta rendelkezésünkre, melyből egyszerű cellánkénti átlagolással hoztuk létre az 500x500 m-es terepmodellt.

Fokozott körültekintést igényelt a talajfizikai adatbázis létrehozása. Alapadatként az MTA TAKI Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszere (Pásztor és társai 2010) valamint a Magyar Állami Földtani Intézet Sekélyfűrési Adatbázisa szolgált. Ezek harmonizációjával jött létre a háromdimenziós, felszínközeli 10 cm-es, 1 m alatt pedig 50 cm-es rétegekre bontott, 1 ha-os felbontású adatbázis (Koncsos 2012), melyet a számításaink céljára szintén 500 m-es cellákra vontunk össze.

A Duna-Tisza köze felszínközeli észlelő kutakkal bővebben ellátott terület. A modell kalibrációja és validációja során különböző részidőszakokra 116 pontban vetettük össze a megfigyelt és számított talajvízszinteket. Nehézséget okozott azonban, hogy az adatsorok rendkívül hiányosak.



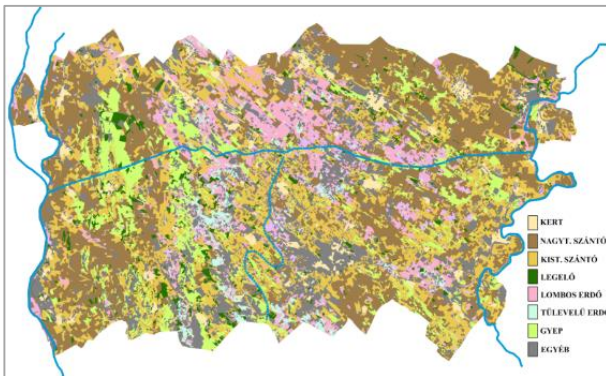


1. ábra. A mintaterület elhelyezkedése  
Figure 1. Location of the pilot area

A területhasználati adatok forrásául a CLC50 adatbázis szolgált (Büttner 2003). Az adatbázisban alkalmazott mintegy 80 db négy- vagy ötszámjegyű kategória (művelési ág) közül 65 fordul elő a mintaterületen, de csak 8-nak nagyobb a részaránya 1%-nál. Ezeket az 1. táblázatban mutatjuk be. Látható, hogy a 8 leggyakrabban előforduló művelési ág lefedi a mintaterület közel 85%-át (2. ábra).

1. táblázat. Területhasználatok a mintaterületen  
Table 1. Land use on the pilot area

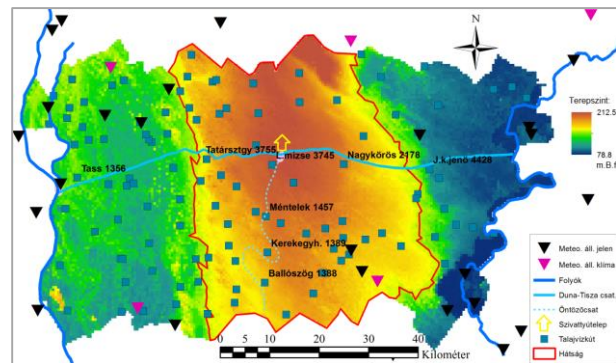
Művelési ág	Terület [km <sup>2</sup> ]	Terület [%]
Nagytáblás szántóföldek	1 502,8	30%
Kistáblás szántóföldek	1 272,8	25%
Természetes gyepek és cserjék nélkül	506,8	10%
Lombos erdő ültetvények	442,5	9%
Nem összefüggő, családi házas és kertek beépítés	186,5	4%
Intenzív legelők és erősen degradált gyepek, bokrok és fák nélkül	129,5	3%
Tülevélű ültetvények	102,0	2%
Fiatalos erdők és vágásterületek	87,8	2%
Egyéb itt nem részletezett, de adatokkal szintén ellátott terület	794,3	16%
<b>Összesen</b>	<b>5 024,8</b>	<b>100%</b>



2. ábra. Területhasználatok a mintaterületen  
Figure 2. Land use on the pilot area

A mintaterületi modell felépítését az elérhető adatforrások elhelyezkedése tekintetében a 3. ábra mutatja. A tervezett csatornától legfeljebb 1,5 km-re található kutaknak

az azonosítóját is feltüntettük. A kelet-nyugat irányú Duna-Tisza-csatornát, illetve az abból dél felé (szivattyúval) kiágazó öntözőcsatornát értelemszerűen csak az adott változat vizsgálatakor vettük figyelembe.

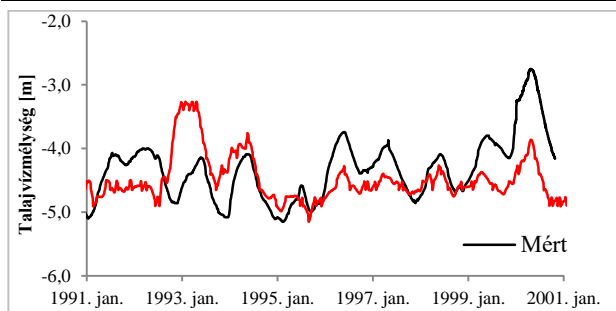


3. ábra. A mintaterületi modell felépítése csatorna és klímaszcenáriós számításokhoz használt meteorológiai állomásokkal  
Figure 3. Setup of the pilot area model with meteorological stations

### Kalibráció, validáció

Tekintettel a fizikai alapú megközelítésre, a paraméterek kalibrálása – elégséges adatellátottság esetén – az empirikus modellek esetében szokásosnál jóval egyszerűbb. Amennyiben jó kiinduló értékekkel rendelkezünk, úgy már csak finomhangolásra van szükség. A kalibráció a talajvízszint tekintetében elsősorban a sűrűn elhelyezett talajvízszint adatok alapján, múltbeli időszakra történő számításokkal történik. A talajvízszint sűrű elhelyezkedése ugyanis lehetővé teszi a térbeli különbségek követését, beállítását.

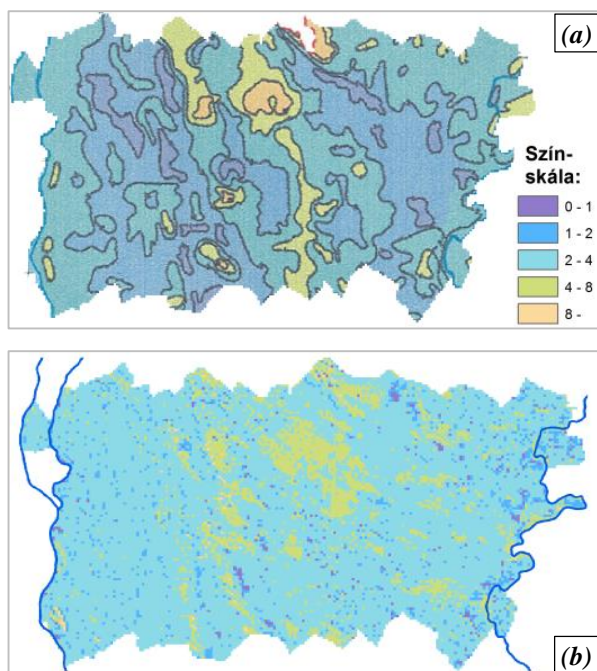
A kalibráció és validáció eredményeképpen a modellezett talajvízszint a monitoringkutak mintegy 75%-a esetében jól követi a mért adatok hosszú idejű trendjét, amplitúdóját és frekvenciáját. A maradék néhány kútnál az eltérés oka vélhetően adathiány vagy adathiába, illetve a mérési adatsor hibája, az eltérés esetleg további finomhangolással csökkenthető. Példaként bemutatjuk az 1389. számú, kerekegyházi felszínközeli észlelőkút mért és számított idősorát (4. ábra).



4. ábra. Az 1389. számú, kerekegyházi felszín közeli észlelőkút idősora a kalibrálást követően

Figure 4. Time series of groundwater well Nr 1389 (Kerekegyháza) after calibration (black: measured)

További kalibrációs lehetőségként a térképes állományok összehasonlítása kínálkozik. Ez esetben az összehasonlítás szubjektív meglátást is tükröz, viszont az eredmény jól szemléltethető. Az 5. ábra a számított talajvízmélység sokévi (1994–2007) átlagát mutatja be a MÁFI által kiadott azonos témájú térképpel (Kuti 2009) összehasonlítható módon.



5. ábra. Átlagos talajvízmélység a mintaterületen a kalibrálást követően

(a) irodalmi adat (Kuti 2009), (b) számítási eredmények  
Figure 5. Mean groundwater depth after calibration  
(a) according to literature (Kuti 2009), (b) calculation results

### Talajvíz modellezése

A modell felépítése során felmerült nehézségek közül kiemeljük az alsó perem kérdését. A Duna-Tisza közén egyaránt találhatók feláramlási és beszivárgási területek, és az első vízzáró réteg, amely ablakokkal és lencsékkel tagolt, helyenként nagyon mélyen található (Mádlné Szőnyi és Tóth 2009). Talajadatok azonban csak a felső 10 m-ről álltak rendelkezésünkre (ld. korábban), ami nem nyújtott elégséges információt. Simonffy (2015) szerint a teljes Duna-Tisza közén 2003–2013 időszakban a felszín alatt kiléptő vízmennyiség a Hátsági részen 27 mm/év, a Duna-

völgyben 0 mm/év, a Tisza-völgyben pedig 20 mm/év. Kohán (2014) Kiskunsági-homokhátra, 1981–2010 időszakra végzett számítása szerint a vízkészlet csökkenése 13 mm/év. Fentiekre támaszkodva számításaink során a mintaterületen egységesen 10 mm/év beszivárgást vetünk figyelembe.

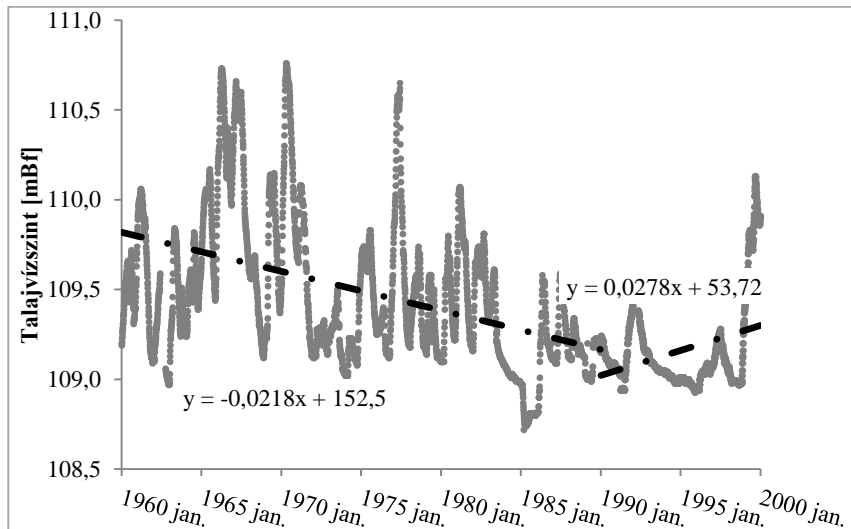
Pálfai (2010) szerint a regionális talajvízszint-süllyedést az éghajlati tényezők mellett az erdőterület növekedése, valamint a felszín alatti vizek kitermelése magyarázhatja. Szilágyi és Vorosmarty (1993) modellszámításai szerint a vízszintsüllyedésért 70%-ban a rétegvizekből történő vízkitermelés a felelős. Hasonló következtetésre jut Pálfai is (1995), aki szerint az antropogén hatások 50%-ban okolhatók a vízszintsüllyedésért, közülük pedig a legjelentősebb a rétegvizekből és talajvízből történő kitermelés. Kohán (2014) vizsgálatai szerint az 1970-es évek végéig elsősorban a klíma határozta meg a talajvízszintet, az egyéb (antropogén) okok csak ezután játszottak számottevő szerepet. Feltételezésünk szerint a vízszint változását okozó antropogén tényezők közül a legjelentősebb a mezőgazdasági célú legális és illegális öntözővíz-kivétel, elsősorban a legfelső vízáadó rétegből (talajvízből).

A fent említett 116 kút közül 76 tartalmazott elegendő mennyiségű (és számunkra megfelelő időszakhoz rendelhető) adatot a következő elemzés elvégzéséhez. Utóbbiakon végzett statisztikai elemzésünk szerint az 1960–89 közötti harminc év átlagában (az adatsorra illesztett lineáris trend szerint) az éves talajvízszint-változás -86 és 18 mm közötti, átlagosan -26 mm. Ezzel szemben az 1990 és 1999 közötti tíz évre illesztett lineáris trend hasonló adatai -90 és 106 mm/év közöttiek, átlaguk 38 mm/év, azaz a tendencia növekvő. A 76 talajvízkútból 69-ben az ezredforduló előtti tíz évben legalább 10 mm-el nagyobb az éves vízszintváltozás trendje, mint az azt megelőző 30 évben. Ugyanez a számítás hasonló eredményre vezet akkor is, ha csak a homokhátsági (100,0 mBf feletti) kutak adataival számolunk. Példaként az 1146. sz. újhartyáni felszínközeli észlelőkút idősorát mutatjuk be (1. ábra. ábra).

A vízkivételeket is figyelembe kívántuk venni a modellben, ezért célszerűnek láttuk volna a geológiai 10 mm/év érték növelését az 1990 előtti időszakra nézve. Azonban annak érdekében, hogy az 1961–90 közötti időszak összehasonlítható legyen a jövőbeli (2071–2100) szcenáriókkal, számításainkban egységesen a már említett alsó peremi vízforgalom értéket alkalmaztunk.

### Érzékenységvizsgálat a talajvíz alsó peremfeltételére

Tekintettel az alsó perem megadásának előző pontban részletezett bizonytalanságára, érzékenységvizsgálat keretében elemeztük a peremfeltétel hatását a modell működésére, elsősorban a gyakorlati szempontból lényeges indikátorok tekintetében (pl. talajvízmélység, tenyészidőszaki vízhiány). Az 1990-től 2007-ig tartó időszakot (18 év) négyszer szimuláltuk 0, 10, 20 illetve 30 mm/év-nyi leszivárgást feltételezve az alsó peremen keresztül a mélyebb rétegek felé. A többi peremfeltétel és bemeneti adat azonos volt a négy párhuzamos számításban.



6. ábra. Az 1146. számú, újhartyáni felszínközeli észlelőkút mérési adatai és a rájuk illesztett lineáris trend  
Figure 6. Measured time series of groundwater well No. 1146 (Újhartyán) with linear trendlines

A számítás eredményeként az alábbi mutatószámokat képeztük.

- (i) a 18 éves számítás végére kialakuló talajvízszintet, amely ugyan pillanatnyi érték, és abszolút értéke nem tekinthető mérvadónak, de – tekintettel arra, hogy az alsó perem kivételével minden számítási perem azonos – a pillanatnyi talajvízszint adatok közti különbség jól jellemzi az alsó perem által okozott bizonytalanságot;
- (ii) az utolsó 14 évre számított átlagos mintaterületi talajvízmélységet, és
- (iii) a tenyészidőszaki vízhiányt az 1993-tól 2007-ig tartó tizenöt év átlagában (mm/év).

A 2. táblázatban látható, hogy a talajvíz alsó peremének hatása kisebb a vártnál. 18 évnnyi – eltérő talajvíz peremek alkalmazásával végzett – számítás után a vízszintben, a transzspirációs hiányban és az egyéb jellemzőkben észlelhető különbségek a számítási hibahatáron belül maradnak.

2. táblázat. A talajvíz alsó peremre végzett érzékenységvizsgálat eredménye

Table 2. Results of groundwater lower boundary condition sensitivity analysis

Talajvíz alsó perem	0 mm/év	-10 mm/év	-20 mm/év	-30 mm/év
18 év elteltével kialakuló talajvízszint (mBf)	101,26	101,16	101,06	100,96
Átlagos talajvízmélység (m)	3,04	3,12	3,21	3,31
Tenyészidőszaki vízhiány (mm)	205	208	212	216

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### Az éghajlatváltozás várható hatásainak vizsgálata

A vizsgálat alapjául három párhuzamos scenárió számítása szolgált, melyek között különbség csak a – PRUDENCE projekt leskálázási eredményeiből származó – bemenő csapadék és hőmérséklet idősorok tekintetében volt. Az egyik számítás az 1961–1990 közötti, a közelmúlt reprezentációjának megfelelő kontroll időszakra, a másikat az A2 scenárió 2071–2100 közötti periódusára, a

harmadik futtatást pedig a B2 forgatókönyv 2071–2100 közötti időszakára végeztük el.

### A klímaváltozás hatásai a talajvízszintre

A három forgatókönyv adataival számított talajvízkút idősorokat összevetve azt láthatjuk, hogy a jövőben az éven belüli ingadozás, valamint általánosságban a szélsőségek nagyobbak, az átlag tekintetében pedig kismértékű talajvízszint-süllyedés tapasztalható. Az előszimuláció utáni teljes időszakra és a terület egészére átlagolt talajvízszint a referencia időszakhoz képest 30 cm-t süllyed az A2, és 40 cm-t a B2 scenárió esetében. Az eredményeket a 7. ábra mutatja be, amelyen a trendvonalakat is ábrázoltuk az átlagos talajvízszint szemléltetése érdekében. Megfigyelhető, hogy a talajvízszintet az első néhány évben erősen befolyásolja az indulószint, aminek a hatását az átlagszámításnál az első három év figyelmen kívül hagyásával ellensúlyoztuk.

### Növényi vízháztartás változása

A ritkábban előforduló, de nagyobb mennyiségű csapadékok és a magasabb hőmérséklet hatására a jövőben növekedni fog a növényi vízhiány. Az ariditás módosulására utaló különbséget jól szemlélteti a tenyészidőszaki vízhiány megváltozása. A 3. táblázat néhány talajvízháztartással kapcsolatos mutatószámának a hátsági területre, a mintaterület egyéb részeire (Duna-völgy, Tisza-völgy) és a teljes mintaterületre jellemző értékeit tartalmazza. (Ez esetben hátsági területnek vettük a mintaterület középső, 100,0 mBf magasságú vagy annál magasabb egybefüggő részét.)

A két klímaváltozási scenárió között nincs jelentős eltérés: a tenyészidőszaki vízhiány néhány százalékkal növekszik, a termőréteg telítettsége átlagosan 3%-kal csökken a jövőben. A telítettség csökkenése különösen szembevető a Duna-völgyi részen, amely jelenleg belvízvédelmi öblözet.

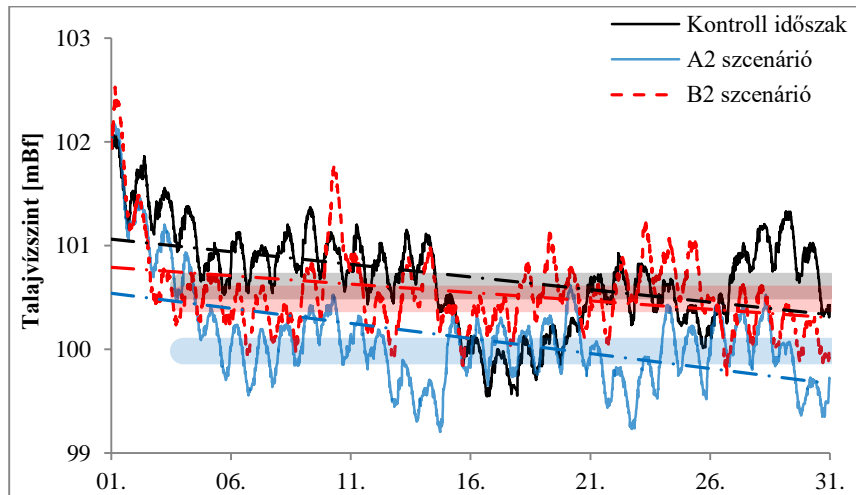
Utóbbi jelenséget a 8. ábra is szemlélteti, amely az előfutattatás nélküli teljes számítási időszakra (27 évre) átlagolt talajtelítettséget mutatja. Szembetűnő még, hogy a tenyészidőszaki vízhiány a hátsági területeken alacsonyabb.



Ennek oka a magasabb területek kiterjedt erdőségeiben keresendő.

A párolgás sokévi átlagára a jelenlegi területhasználatok feltételezésével és a csatornák figyelmen kívül hagyásával a Duna-völgyi és Szolnok-környéki részen 400–500 mm közötti, a Homokhátságon és a Tisza-völgyi részen pedig 600 mm körüli értéket kapunk (9. ábra).

Ezek az értékek a feltételezett klímaváltozás következtében mindegyik területen növekedhetnek, különösen a B2 scenárió esetén, amely megvalósulása következtében néhány kisebb területet leszámítva egységesen 500–600 mm közötti lehet a párolgás sokévi átlaga. Az A2 scenárió mentén egyébként a Duna-völgyi részen többnyire 500 mm/év alatt marad a párolgás értéke.



7. ábra. Tatárszentgyörgy 3040. sz. talajvízfigyelő kútjának időszora a kontroll (1961–1990) és a klímaváltozási (2071–2100) időszakokra (A vízszintes tengelyen „01.” a számítás első évének (1961 ill. 2071) elejét, „06.” a számítás hatodik évének elejét jelenti stb.)

Figure 7. Time series of groundwater well No. 3040 (Tatárszentgyörgy) in control (1961-1990) and climate change (2071-2100) scenarios. (On horizontal axis number of years from beginning of calculations (1961 and 2071, respectively) are shown)

3. táblázat. A talaj vízháztartásának a növények szempontjából jelentős elemei

Table 3. Elements of soil water regime important for vegetation

	Tenyész-időszaki vízhiány a hátsági területeken	Tenyész-időszaki vízhiány a völgyi területeken	Tenyész-időszaki vízhiány a teljes területen	Felső talajréteg telítettsége (Hát-ság)	Felső talajréteg telítettsége (völ-gyek)	Felső talajréteg telítettsége (teljes terület)
Kontroll időszak 1961–1990	120 mm	126 mm	123 mm	34%	38%	36%
A2 scenárió 2071–2100	120 mm	124 mm	123 mm	31%	35%	33%
B2 scenárió 2071–2100	121 mm	123 mm	123 mm	31%	35%	33%

4. táblázat. Vízmérlegek összesítése

Table 4. Summary of water balances

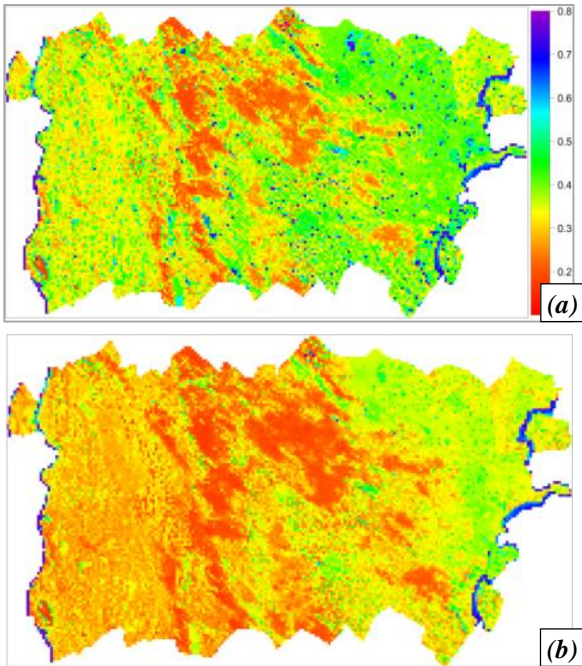
Forgatókönyvek	Modellezett mintaterület összesített vízmérlege						Felszínközeli vízkészlet indikátorai				
	CS [mm/év]	Mederbeli VK változás [mm/év]	ET [mm/év]	Alsó TV perem fel-/le-áramlás [mm/év]	Vízmérleg [mm/év]	Átlagos TV mélység* [m]	TV vízmérleg [mm/év]	HFZ vízmérleg [mm/év]	ET a talajból [mm/év]	Tenyész-időszaki vízhiány* [mm/év]	Termőréteg** telítettsége [-]
Jelen, tervezett csatornák nélkül	563	-15,7	544	10,0	-2,8	3,07	-14,3	8,3	6,5	154	0,46
Jelen, Duna-Tisza hajózó-csatornával	563	-22,2	541	10,0	-5,5	3,15	-17,9	9,4	11,3	153	0,46
Jelen, D-T hajózó- és öntözőcsatornával, öntözés nélkül	563	-25,4	539	10,0	-5,8	3,17	-17,7	9,0	11,2	153	0,46
Jelen, DTCs-vel, öntözőcs.-val, öntözéssel	563	-25,5	559	10,0	-3,8	3,15	-14,6	7,9	12,3	155	0,46
Kontroll időszak	513	2,1	511	10,0	-5,8	3,9	-15,9	8,0	2,3	123	0,36
A2 jövő	508	2,1	513	10,0	-11,7	4,2	-23,7	9,9	0,4	123	0,33
B2 jövő	524	2,1	533	10,0	-16,1	4,3	-30,0	11,7	2,4	123	0,33

Megjegyzések:

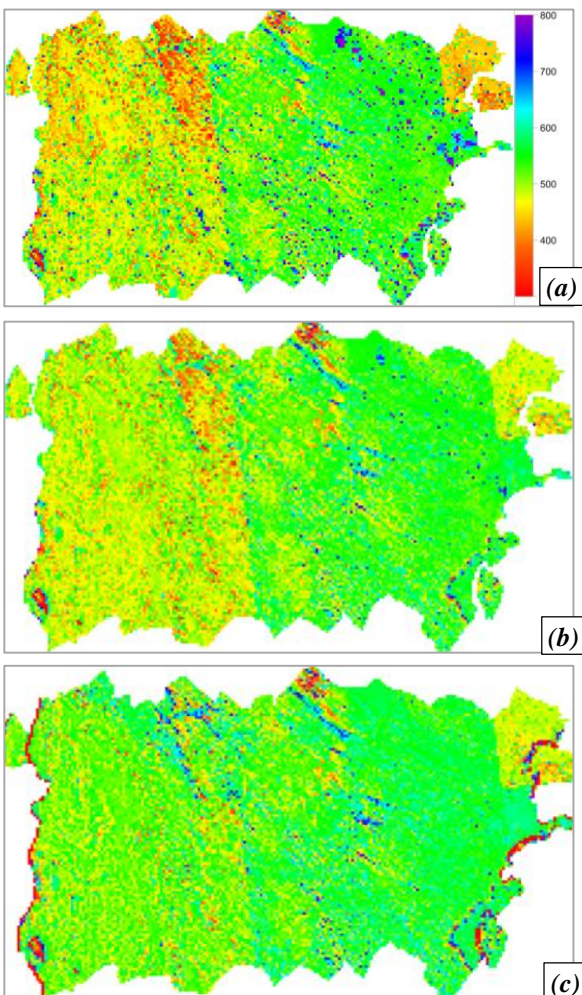
\* A futtatás előszimuláció nélküli időszakának időbeli és térbeli átlaga

\*\* Felső 1 méter telítettsége

Rövidítések: HFZ - Háromfázisú zóna; TV - Talajvíz; Cs - Csapadék; ET - Evapotranszpiráció; VK - Vízkészlet.



8. ábra. Átlagos termőréteg-telítettség a referencia-időszakban (a), ill. az A2 scenárióban (b)  
Figure 8. Mean saturation in upper soil layer in the reference period (a) and in scenario A2 (b)



9. ábra. Évi átlagos párolgás (mm) a referencia-időszakban (a), az A2 scenárió (b), illetve a B2 scenárió (c) esetén  
Figure 9. Mean evapotranspiration in reference period (a), A2 scenario (b) and B2 scenario (c)

#### A számítási eredmények értékelése

A klímaváltozás hatására megnő a növények párolgotatása, és mivel a lehulló csapadékból kevesebb éri el a talajvizet, a talajvíz szintje a korábbinál mélyebben stabilizálódhat. Ez hosszú távon nagyobb mértékű, illetve gyakoribb aszálykárhoz, a természetes élőhelyeken pedig a vegetációnak a szárazságkedvelő növények felé való fokozottabb eltolódásához, tehát a meglévő tendenciák felgyorsulásához vezethet. A klímaváltozás tehát a Duna-Tisza köze már egyébként is meglévő problémáit súlyosbítja. A számítási eredmények összefoglalása a 4. táblázatban látható.

#### A Duna-Tisza-csatorna hatásai

##### A Duna-Tisza-csatorna elképzelés története

Észak-dél irányú hajózó útjaink összekötése, a Homokhátság átszelése mesterséges csatornán keresztül 300 éves elképzelés és szándék, mely – a társadalmi igények, a gazdasági és politikai helyzet, és újabban az éghajlati jellemzők függvényében – időről időre új formában jelenik meg. A tervekben szereplő csatornák között alapvetően magasvezetésűeket (többszöri zsilipeléssel a hátsági magaslatokra felduzzasztottakat) és mélybevágásúakat különböztetünk meg. A magasvezetésű csatornák üzemeltetési költsége a szivattyúzás miatt magasabb a mélybevágásúaknál, viszont öntözésre és vízpótlásra is használhatók (Lampl és Hallóssy 1947). A Duna-Tisza-csatorna ötlete 1947-ben jutott eddig „pályája csúcsára”, amikor Dunaharaszti és Dabas között megépült egy 22 km-es szakasz, majd az építkezések gazdasági okok miatt félbemaradtak.

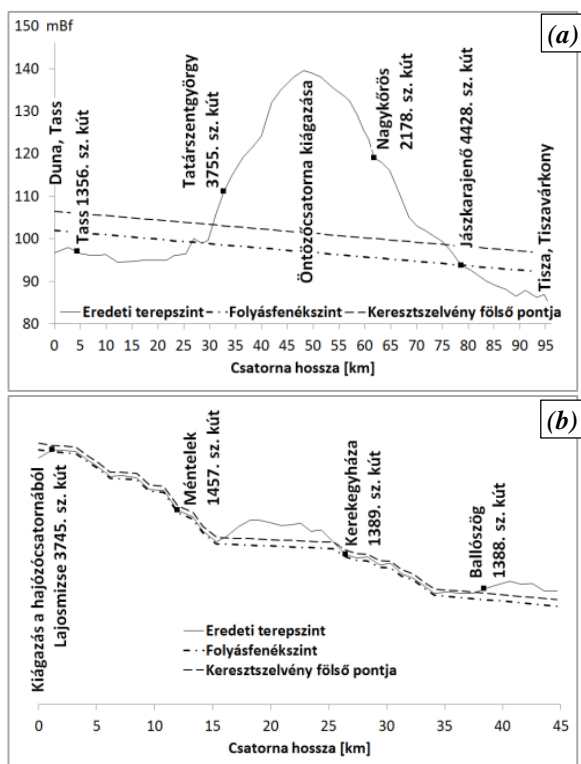
##### A legújabb elképzelések és azok beépítése a modellbe

A Duna-Tisza-csatornát a Duna-Tisza Csatorna Zrt. honlapján megtalálható „A” változatú tanulmányterv alapján modelleztük, négy változatban:

- „0” változat, jelenlegi helyzet: nincs csatorna
- az „A” változatú hajózócsatorna működése, illetve
- az „A” változatú hajózócsatorna és az öntözőcsatorna működése esetén (ld. később).

A XXI. században a Duna-Tisza-csatorna építését szorgalmazó kezdeményezések mellett szól a Homokhátság már ismertett szárazodása. A beruházás megvalósítása alapjául az Európai Unió forrásai szolgálhatnak. A legújabb elképzelések szerint a mélyvezetésű csatorna Tass és Szolnok között viszonylag egyenesen, 92 km hosszban épülne két darab zsilippel a két torkolatnál; a legnagyobb bevágás 40 m mély lenne. Összesen 40 m<sup>3</sup>/s-nyi vízhozama kétharmad részben a Dunából, egyharmad részben a Tiszából származna. A hajózócsatornából kiágazva a Homokhátság gerincén, 10 m<sup>3</sup>/s vízhozammal indulna dél felé egy ún. öntözőcsatorna, amely az országhatárig vagy akár még tovább is kiépülne (Csizmazia és Pákh 2009). Az eddigi tervek nagyon vázlatosak, és tartalmaznak ellentmondásokat, de – részletesebb tanulmány híján – a modellben végzett számításokhoz ezek szolgáltatták a kiindulási alapot. A számításokhoz a hajózócsatorna Duna-völgyi és Tisza-völgyi részein megemeltük a terepet, és csak a Duna felőli vízpótlással (szivattyúzással) számoltunk, ugyanis a csatorna a tervek szerint végig a Tisza felé lejt. A modellbe beépített csatornahálózatot a 3. ábra mutatja. A csatornák

hossz-szelvényén a csatornatengelytől legfeljebb 1,5 km-es távolságban található talajvízkutakat is feltüntettük (10. ábra).



10. ábra. A hajócsatorna (a) és az öntözőcsatorna (b) hossz-szelvénye

Figure 10. Longitudinal section of shipping canal (a) and irrigation channel (b)

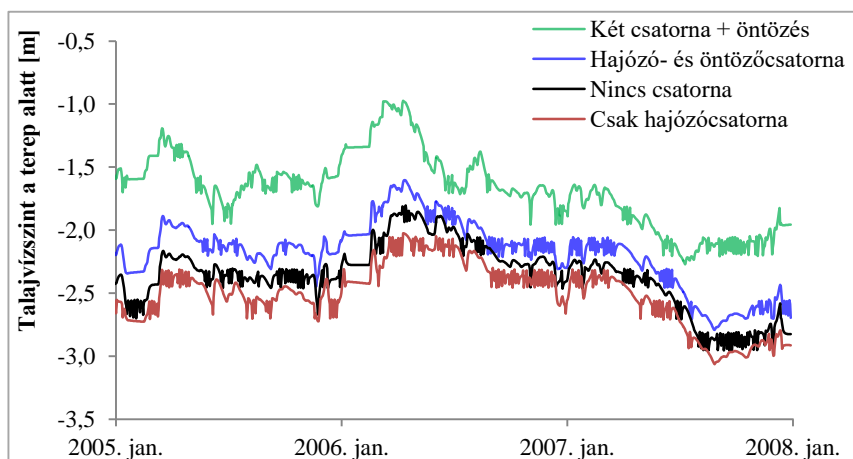
#### A Duna-Tisza-csatorna hatásai a vízkészletekre

A Duna-Tisza-csatorna jelenkori elképzeléseit négy párhuzamos számítás keretében vizsgáltuk: (i) kontrollként természetesen szimuláltuk a csatornák nélküli állapotot („0” változat); majd (ii) arra az esetre végeztünk számítás

ot („0” változat); majd (ii) arra az esetre végeztünk számításot, ha csak a hajócsatorna („A” változat) épülne meg; (iii) a harmadik esetben a hajócsatornából kiágazó öntözőcsatorna megépülését is feltételeztük („AÖ” változat); végül (iv) úgy végeztünk modellfuttatást, mintha az öntözőcsatornából kivett vízzel a mezőgazdasági területeket öntöznék („AÖö” változat). A számításokat az 1990–2007 közötti időszakra végeztük valós meteorológiai és hidrológiai adatokkal. A csatornahálózaton kívül tehát minden bemenő adat azonos volt a négy futtatás esetén. A talajvízmodell alsó peremfeltételeként mindegyik esetben 10 mm/év vízforgalmat alkalmaztunk a mélyebb rétegek felé.

A Duna-Tisza-csatorna tanulmányterve szerint a Homokhátság gerincén ún. öntözőcsatorna futna végig, amelyből az aszályosodó hátsági területeket lehetne öntözni, a tanulmány azonban nem jelöli meg, hogy mekkora terület ellátására nyílna így lehetőség. A „AÖö” változatban a hajócsatornától délre eső mezőgazdasági hasznosítású hátsági területek öntözését feltételeztük az alábbiak szerint. Amennyiben a cella terepmagassága 100,0 mBf feletti, és a területhasználat mezőgazdasági művelésre utal (nagyábrás és kistáblás szántóföldek, komplex művelési szerkezetű területek, illetve tanyák), akkor öntözés történik az adott cellán. A feltételeknek 776 km<sup>2</sup>-nyi terület felelt meg. Feltételezésünk szerint mintegy 120–160 mm-nyi víz pótlása célszerű, mégpedig a nyár második felében, az aratást megelőzően. Palotás (1985) szerint az egyszeri vízpótlás mennyisége célszerűen 25–30 és 70–80 mm közötti. Ez alapján július 10. és augusztus 14. között heti egyszeri, 30 mm mennyiségű öntözéssel számoltunk. Az eredményeket az alábbiakban foglaljuk össze: először a lokális, majd a teljes mintaterületre vonatkozó eredményeket mutatjuk be.

A 11. ábrán a 3745. sz. lajosmizsei talajvízkút idősorát láthatjuk, amely a Homokhátság középső részén, az öntözőcsatornának a hajócsatornából való kiágazásánál tervezett szivattyútelep közelében található.



11. ábra. Lajosmizse 3745. sz. kútjának vízszint idősora négy különböző számításból  
Figure 11. Time series of groundwater well No. 3745 from 4 different calculation scenarios

Az eredmények megfelelnek a várakozásainknak: a hajócsatorna egyedüli megépülése ezen a helyen deciméteres nagyságrendű talajvízszint-csökkenést eredményezne. Ezt a hatást az öntözőcsatorna kompenzálná, sőt, megépülése azonos nagyságrendű talajvízszint-emelkedéssel is járna. Ennél egy nagyságrenddel jelentősebb hatást fejtene ki ugyanitt az

– elemzésünkben viszonylag intenzív mértékűnek feltételezett – öntözés, mely eredményeink szerint 15–18 év elteltével közel 1 m-es talajvízszint-emelkedéshez vezetne. Kérdés persze, hogy a bemutatott hatások mekkora területen érvényesülnek. Az 5. táblázatban néhány fontos vízkészlet-mutató területi átlagát képeztük a különböző tervváltozatok esetére.



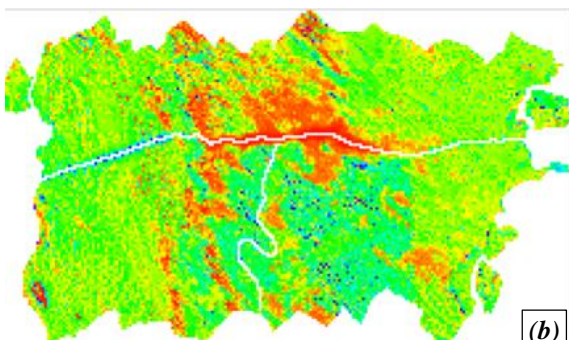
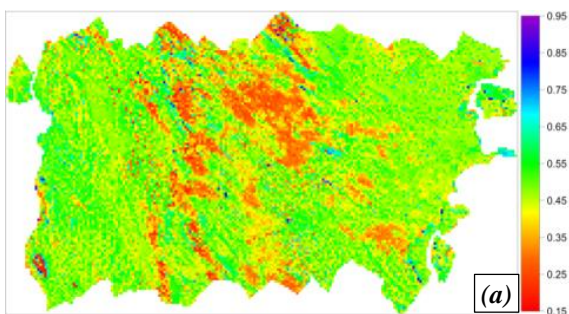
5. táblázat. A Duna-Tisza-csatorna hatásai a mintaterület vízkészleteire  
Table 5. Effect of Duna-Tisza channel on water resources of the pilot area

Vízkészlet-mutatók	„0” változat	„A” változat	„AÖ” változat	„AÖö” változat
Párolgás sokévi átlaga [mm/év]	544	543	541	546
Telítetlen zónából a talajvízbe átlépő víz mennyisége [cm/év]	2,8	2,8	2,8	2,8
Átlagos talajvízszint [m]	-3,07	-3,15	-3,17	-3,15
18 év elteltével kialakuló talajvízszint [mBf]	101,20	101,12	101,10	101,12
Gyökérszóna átlagos telítettsége [%]	45,7	45,6	45,5	46,0
Tenyészedőségi vízhány [mm/év]	154	153	153	155

Látható, hogy valamennyi mutató szerint mind a hajózócsatornának, mind az öntözőcsatornának viszonylag csekély a teljes mintaterületre gyakorolt hatása. Bár az eredmények gyakorlatilag hibahatáron belül vannak, a várakozásoknak megfelelő tendenciák így is kiolvashatók belőlük. A helyenként 40 méteres bevágással tervezett hajózócsatorna jelentősen süllyesztí a talajvízszintet. Sőt, az öntözőcsatorna két nagyobb bevágása miatt (lásd a hosszszelvényt, 10/b ábra) a leszívó hatás valamelyest az utóbinál is megjelenik. Az öntözőcsatorna a mintaterület teljes egészét tekintve tehát nem kompenzálja a hajózócsatorna talajvízszint-süllyesztő hatását. Amennyiben az öntözőcsatornából valóban öntöznek, az növelheti a gyökérszóna telítettségét, ami valamelyest javíthat a helyzeten, ugyanakkor a növények az öntözővíz jó részét elpárologtatják, így az csak részben fordítható talajvízszint-emelésre.

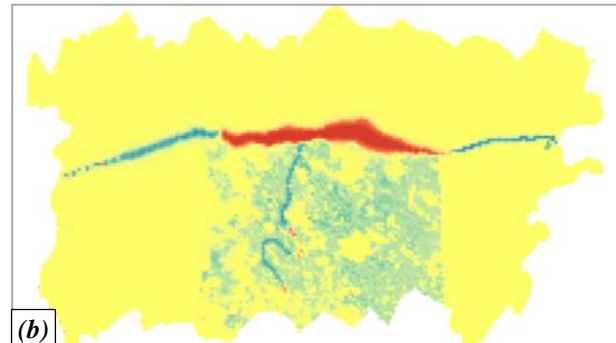
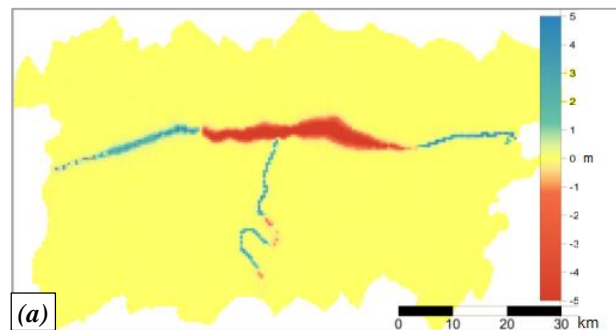
A homokhátsági mintaterületi kutatás esetében különös jelentőséggel bírnak a részletes modellezési eredmények, ezért az alábbiakban ezeket mutatjuk be.

A 12. ábrán megfigyelhetjük, hogy az öntözött területeken a felső talajréteg telítettsége 0,40 körüli értékről 0,70 körüli értékre növekszik, ami kedvezően hat a növények vízháztartására.



12. ábra. A felső talajréteg átlagos telítettsége alaphelyzetben (a), valamint a csatornák megépülése és öntözés esetén (b)  
Figure 12. Mean saturation in upper soil layer in present situation (a) and in case of construction of channels and irrigation (b)

A csatornák hatásterületének vizsgálatakor a 18 év elteltével kialakuló talajvízszintek különbségét képeztük két tervezett változat és a jelenlegi állapot fennmaradásának összehasonlítására: (i) a csatornahálózat megépülésének öntözés nélküli esete, illetve a jelenlegi helyzet megmaradása között (13/a ábra); valamint (ii) a csatornahálózat és az öntözés egyidejű megvalósulásának és a nullváltozat között (13/b ábra).



13. ábra. Talajvízszint-különbség térképek.

(a): „AÖ”-„0”, (b): „AÖö”-„0”

Figure 13. Groundwater difference maps.

(a): „AÖ”-„0”, (b): „AÖö”-„0”

A hajózócsatorna legerőteljesebb hatása a Homokhátságot átszelő szakaszon volna, ahol helyenként 5–8 km szélességben megcsapolná a talajvizet; ugyanakkor a jelenleg is belvíz által veszélyeztetett Duna-völgyi részen 3–4 km-en keresztül növelné a talajvízszintet. Az öntözőcsatorna ezzel szemben önmagában csak a saját nyomvonalán fejtené ki hatását. Megépítésének csak akkor lenne értelme, ha a belőle kivett vízzel ténylegesen öntöznének. Ebben az esetben az öntözött területeken 15-18 év alatt mintegy 1 m talajvízszint-növekedés várható. Az ábrával kapcsolatban megjegyezzük, hogy a depressziós görbe tulajdonságai szerint a Homokhátság gerincén, a hajózócsatorna közvetlen közelében a leszívás a jelölt 5 méternél lényegesen nagyobb lehet, a bevágás mértékének (max. 40 m) megfelelően.

### A számítási eredmények értékelése

Várható, hogy amennyiben a csatornát megépítik, az nem egy ütemben fog megtörténni. A rendelkezésre álló források miatt elképzelhető, hogy az öntözőcsatorna csak egy esetleges második ütemben épülne meg. A hajózási csatornának egyértelműek és erősek a talajvíz-háztartásra kifejtett negatív hatásai – még ha „csak” a csatorna menti 15–20 km-es sávot érintik is. Az aszályos Homokhátságon süllyesztené a talajvízszintet, a belvízveszélyes Duna-völgyi szakaszon pedig emelné azt. Ezeket a következményeket az öntözőcsatorna nem mérsékelné, ám másutt – feltételeken, mivel az öntözőcsatorna önmagában nem növeli a terület felszín alatti vízkészleteit – kedvező hatást fejthet ki az öntözés működtetése által. Ehhez azonban az öntözőcsatorna megépítésén kívül – vélhetően azzal azonos nagyságrendű költségvonzattal járó – elosztóhálózatra, szivattyútelepekre, öntözőrendszerekre van szükség. A hatásvizsgálat és költséghaszon elemzés során tehát mindezeket az elemeket figyelembe kell venni.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A Duna-Tisza köze Magyarország legnagyobb összefüggő, egységes környezeti problémával küszködő területe, mely kiválóan alkalmas a modell tesztelésére és eredményeinek bemutatására. A felépített modell – a vízkivételket leszámítva – jól körülhatároltnak, kellően kidolgozottak mondható, amint ezt a validált talajvízkút-idősorok is jelzik. Vizsgálatainkat két fő irány jellemezte: egyrészt számításokat végeztünk a klímaváltozás következményeire vonatkozóan, másrészt körüljártuk egy új hajózási és öntözőcsatorna-rendszer létesítésének körülményeit és hatásait.

A WateRisk modellrendszer a várakozásainknak megfelelő, számszerű eredményeket szolgáltatott a klímaváltozás hatásainak szimulációjakor. Számításaink szerint – amennyiben minden más körülmény változatlanul marad – a talajvíz a jelenleginél 30, illetve 40 cm-rel mélyebben stabilizálódhat az A2 illetve a B2 scenárió mentén. A felső talajréteg telítettsége forgatókönyvtől függetlenül várhatóan 3 százalékponttal csökken, a párolgás pedig jelentősen növekszik, különösen a B2 scenárió megvalósulásakor. Ezek a számszerűen kifejezhető változások egymást erősítve fejtik ki hatásukat, ami – pl. a mezőgazdasági károk növekedésén keresztül – súlyos következményekkel járhat a társadalomra nézve; ezért a vízkészletekben várható módosulásokra előre fel kell készülni.

A Duna-Tisza közi hajózási és öntözőcsatorna-rendszer több változatának a vizsgálata rámutatott, hogy pusztán a csatornarendszer kiépítése nem hátráltatja a Homokhátság folyamatban lévő szárazodását. Az üzemeltetési költség csökkentése érdekében mélyen vezetett hajózási csatorna mintegy 5–8 km széles sávban csapolja meg és vezeti el az egyébként is csökkenőben lévő talajvíz-készleteket. Azt gondolnánk, hogy a magas vezetőségű öntözőcsatorna kompenzálja ezt a hatást, azonban a jelenleg tervezett nyomvonalról (ha a teljes mintaterület vízmérlegét tekintjük) ez nem mondható el a két nagyobb bevágás és az összességében igen kis vízhozam miatt. A talajvízszintet, valamint egyéb, növénytermesztés szempontjából fontos vízgazdálkodási mutatókat javítaná, ha a Homokhátság gerincére tervezett öntöző gerinccsatornából kiterjedt elosztóhálózat

ágazna ki. A teljes hálózat megfelelő – ugyanakkor vélhetően számottevő költségvonzattal járó – működtetésével a hátsági talajvízszint jelentős emelkedése érhető el. A projekt részletes (környezeti) hatásvizsgálatakor szükséges mindezen beruházási és üzemeltetési költségek figyelembevétele annak érdekében, hogy megalapozott és hosszútávon vállalható döntést lehessen hozni.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A WateRisk projektet a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatta. Projektszám: TECH\_08\_A4/2-2008-0169.

### IRODALOMJEGYZÉK

Büttner Gy., Maucha G., Biró M. és Petrik O. (2003). Nagyfelbontású nemzeti felszínborítási adatbázis. [www.fomi.hu](http://www.fomi.hu)

[fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/corine/clc50\\_referencia\\_cikk.pdf](http://fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/corine/clc50_referencia_cikk.pdf). Letöltés időpontja: 2017.10.31.

Csizmazia P. és Pákh L. (2009). Egy európai kísérleti (minta) projekt megvalósítása a globális klímaváltozás hatásának megelőzésére, Magyarországon "Homokhátság" vízellátása. Duna-Tisza csatorna megvalósíthatósági előtanulmány. Kivonatos tájékoztató példány. Budapest

Derts Zs. and Koncsos L. (2011). Prediction of the Nutrient Retention Capacity of the Rehabilitated Gemenc-Béda-Karapancsa Floodplains. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5(1), 1084-1091.

IPCC (2000) IPCC Special Report on Emission Scenarios

Jolánkai Zs., Kozma Zs., Muzelák B. and Koncsos L. (2011). Alternatív tájgazdálkodási forgatókönyvek vizsgálata Nagykőrű térségében a WateRisk hidrodinamikai modellrendszer segítségével. In: Barancsi Á. és Hernyák G. (szerk.). *A magyar tudomány ünnepe „Összhang – Tudomány a gazdaságban és a társadalomban” VII. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Nap*, pp. 35-40., Szolnoki Főiskola, Szolnok.

Jolánkai Zs., Kardos M., Koncsos L., Kozma Zs. and Muzelák B. (2012). Pilot Area Studies in Hungary with a Novel Integrated Hydrologic Model – WateRisk. In: Magyar Vízi Közmű Szövetség (szerk.): *6th IWA International Conference for Young Water Professionals konferencia kiadvány*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.07.10-2012.10.13. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség (MaVíz). Paper 9840. 11 p. (ISBN:978-963-87507-8-5)

Jolánkai Zs. (2013). Model development in the Tisza-Marosszög pilot area with the WateRisk integrated hydrological model. In: Józsa J. (szerk.): *Proceedings of the Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering*, 17-18 June 2013, pp 228-234, Budapest

Jolánkai Zs. and Koncsos L. (2015). Application of an integrated hydrological model at the southern Trans-Tisza region of Hungary as part of a conceptual phosphorus transport model framework. *Pollack Periodica*, 10(2), 133–144.

Kohán B. (2014). *GIS-alapú vizsgálat a Duna-Tisza közi homokhátság szárazodásának témakörében. Doktori értekezés*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest

Koncsos L., Jolánkai Zs. és Kozma Zs. (2011). A WaterRisk integrált vízkészlet-gazdálkodási modellrendszer egydimenziós hidrodinamikai almodelljének összehasonlító tesztelése a HEC-RAS modellel. *Hidrológiai Közöny*, **91**(4), 50–56.

Koncsos L. (szerk.) (2011). Jövőképtől a vízkészletkockázatig – A WaterRisk kutatás-fejlesztési projekt eredményei. BME VKKT, Budapest

Kozma Zs., Koncsos L., Jolánkai Zs., Kardos M., Koncsos T., Muzelák B., Parditka G., Liska B. and Derts Zs. (2012). Overview of risk based water resources scenario analysis: the WaterRisk decision support system. In: Magyar Vízi Közmű Szövetség (szerk.): *6th IWA International Conference for Young Water Professionals konferencia kiadvány*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.07.10-2012.10.13. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség (MaVíz). Paper 9847. (ISBN:978-963-87507-8-5)

Kozma Zs. (2013). *Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése*. Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Kuti L. (szerk.) (2009). *Agrogeológia*. Magyar Állami Földtani Intézet Környezetföldtani Osztály, Budapest

Lampl H. és Hallóssy F. (1947). *A Duna-Tisza csatorna – A csatorna története és irodalma. Az idők folyamán készült fontosabb tervek leírása és kritikai összehasonlítása valamint a kivitelre elfogadott általános terv ismertetése*. Egyetemi nyomda, Budapest

Major P. és Neppel F. (1988). Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedések. *Vízügyi Közlemények*, **70**(4), 605–623.

Mádl-Szőnyi J. and Tóth J. (2009). A hydrogeological typesection for the Duna-Tisza Interfluve, Hungary. *Hydrogeology Journal*, **17**(4), 961–980.

Palotás L. (szerk.) (1985). *Mérnöki Kézikönyv. III. kötet*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Pálfai I. (1995). A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái és megoldásuk lehetséges útjai. *Vízügyi Közlemények* **77**(2) 145–165.

Pálfai I. (2010). A Duna-Tisza közti hátság vízháztartási sajátosságai. *Hidrológiai Közöny*, **90**(1), 40–44.

Pásztor L., Szabó J. and Bakacsi Zs. (2010). Application of Digital Kreybig Soil Information System for the delineation of naturally handicapped areas in Hungary. *Agrokémia és Talajtan*, **59**(1), 47–56. <http://dx.doi.org/10.1556/Agrokem.59.2010.1.6>

Räsänen J., Hansson U., Ullerstig A., Döscher R., Graham L. P., Jones C., Meier H. E. M., Samuelsson P., Willén U. (2004). European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, **22**(1), 13–31. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0365-x>

Simonffy Z. (2015). A Duna-Tisza köze vízháztartásának jellemzése, hasznosítható vízkészletek becslése. In: *Vízkészlet-gazdálkodási projekt előkészítése a Duna-Tisza Közi hátság vízhiányos ökológiai állapotának javítása érdekében*” Stratégiai koncepció, előzetes megvalósíthatósági tanulmány, továbbá elvi vízjogi engedélyes tervek készítése. Budapest, 2015.

Somlyódy L. (szerk.) (2011). Magyarország vízgazdálkodása – helyzetkép és stratégiai feladatok. MTA, Budapest. ISBN 978-963-508-608-5

Szalai J., Kovács J., Kovácsné Székely I., Lázár M. és Molnár M. (2008). A talajvízszint tér és időbeli alakulása a Duna-Tisza közén a XX század közepétől napjainkig, kilátások. In: *A Magyar Hidrológiai Társaság XXVI. országos vándorgyűlése, Miskolc, 2008. július 2.-4.*

Szilágyi J. és Vorosmarty, Ch. (1993). A Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, **75**(3), 280–294.

## A SZERZŐK



**KARDOS MÁTÉ KRISZTIÁN** építőmérnök, 2007-ben diplomázott a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéken. Néhány éves, szennyvíztelepek építésében eltöltött gyakorlatot követően PhD képzést kezdett. Kutatási témái a felszíni vizek minőségi kérdései, vízgyűjtőmodellek. Jelenleg doktori disszertációján dolgozik.

**KONCSOS LÁSZLÓ** egyetemi tanár, a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék vezetője. 1981-ben szerzett építőmérnöki diplomát, 1989-ben egyetemi doktori címet, 1997-ben PhD fokozatot és 2009-ben habilitált. Kutatási területei: hidrológiai, hidrodinamikai és vízminőségi folyamatok (utóbbin belül pedig különösen a nem-pontszerű szennyezések) modellezése;

döntéstámogató rendszerek és optimalizációs módszerek fejlesztése, valamint légszennyezések transzmissziója. Tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak és a Nemzetközi Vízsövetségnek (International Water Association).





## Hódmezővásárhelyi geotermikus rendszer üzemelése során fellépő ásványkiválás-potenciál előzetes vizsgálata

Kerékgyártó Tamás<sup>1,2</sup>, Gál Nóra<sup>1</sup>, Szócs Teodóra<sup>1</sup>, Tóth Anikó Nóra<sup>2</sup>, Szűcs Péter<sup>2,3</sup>

1: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 1145 Budapest, Columbus u. 17–23.

2: Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, 3515 Miskolc-Egyetemváros

3: MTA–ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

### Kivonat

A geotermikus energia felhasználása számos technikai és környezeti kihívással jár. A technikai nehézségeket egyrészt a víz kémiai összetétele (melynek következménye lehet vízkőképződés, bakteriális eltömődés és korrózió), másrészt a homokkőbe történő visszasajtolás gazdaságos fenntartása jelenti. A hosszú távú üzemelés fenntartásához szükség van a fluidum összetételének és ennek az üzemelés során fellépő változásainak (nyomás, hőmérséklet) megismerésére.

A vízkő lerakódások okának feltárásához először megismertük a geotermikus rendszer üzemelésének paramétereit, valamint víz, gáz és vízkő mintákat gyűjtöttünk és elemeztünk. A víz és gázvizelmzések eredményei a geokémiai modell bemenő adatait, míg a vízkő kiválás összetételének vizsgálata a modell ellenőrzését képezte.

A geotermikus rendszerben a visszasajtolás során végbemenő geokémiai reakciók modellezésére a PHREEQC szoftvert alkalmazzuk. Felhasználva a nyomás, hőmérséklet, pH, redox potenciál, valamint a víz (termelt és visszasajtoló) és környezete ásványos és kémiai összetételét a kidolgozott módszertan alkalmazhatóságát is teszteltük. Kiindulásként a visszasajtoló kút környezetére jellemző eredeti, intakt állapotot definiáltuk, melyet 10 lépésben a visszasajtoló vízzel reagáltattunk mindaddig, míg a kút környezete 100%-ban kicsérelődik a visszasajtoló vízre.

A modelleredmények azt mutatják, hogy a módszertan a vízkő kiválási hajlam vizsgálatára alkalmas, de a bemenő paraméterek további pontosításra és kiegészítésre szorulnak. Az első eredmények azt jelzik, hogy a PHREEQC szoftver alkalmas a visszasajtolás geokémiai szimulációjának elvégzésére, mely segítséget nyújthat a geotermikus rendszer hatékonyabb üzemelésének megtervezéséhez. A Hódmezővásárhely B–1103 visszasajtoló kút környezetében az első modelleredmények alapján a kalcit és kvarc kiválásra, míg a dolomit beoldódásra hajlamos.

### Kulcsszavak

Porózus geotermikus rezervoár, termelő-visszasajtoló kútpár, geotermikus rendszer, víz-geokémiai modellezés

## Preliminary evaluation of scaling-potential in the operational geothermal system of Hódmezővásárhely

### Abstract

The utilization of geothermal heat has technical and environmental challenges. On the technical side, the most common difficulties are related to the chemistry of the geothermal fluids, which may contain considerable concentrations of minerals and gases causing scaling and corrosion in wells and surface installations. For the long-term utilization of thermal water is useful to consider all the possible fluid composition variations under the different pressure and temperature conditions occurring within the aquifer and geothermal production system.

To find the reason for the scaling in the system first, the parameters of the geothermal system were appraised, then next water, gas and scaling samples were collected and analysed. The results of the water and gas analyses give the input parameters of the geochemical model, while the mineral composition of the scaling used to verify the model.

PHREEQC computer program was used to model the geochemical reactions in the geothermal system during reinjection applying pressure, temperature, pH, redox-potential and water chemical data of the water together with the mineral composition of the screened depth, and the applicability of this method was tested, as well. At first, geochemical processes of the intact reinjection well was modelled, then gradually the original water was mixed in 10 steps with the reinjected water up to 100 % of the later.

Model results indicate that this approach is applicable to model scaling and our system as well. However, to get more exact results additional and more detailed input parameters are needed. Furthermore, the PHREEQC software is applicable to model the geochemical processes during reinjection that could aid the plan of a more effective operational system. In the vicinity of the Hódmezővásárhely B-1103 reinjection well based on the first model runs indicate possible precipitation of quartz and calcite in parallel with dissolution of dolomite in the screened strata.

### Keywords

Porous geothermal reservoir, production and injection, geothermal system, water-geochemical modelling

## BEVEZETÉS

Mivel a fosszilis energiahordozók mennyisége véges, ezért napjainkban egyre inkább előtérbe kerül a megújuló energiaforrások, vagyis a nap-, a szél-, az atom- és a geotermikus energia minél nagyobb hatásfokú felhasználása. Magyarország vállalása a megújuló energia hasznosítás fejlesztése terén 2020-ig a bruttó végső energiafelhasználásában a 14,65%-os részarány elérése. (M.E.H.Cs.T. 2010–2020)

Magyarország geotermikus adottságai közismertek. Hazánk geotermikus gradiens értéke nem csak európai viszonylatban átlag feletti, de globálisan is jelentős. A Pannon-medencében a hőáram 90–100 mW/m<sup>2</sup>, melyhez európai átlagon felüli, átlagosan 45 °C/km geotermikus gradiens társul (Horváth 1991, Lenkey 1999).

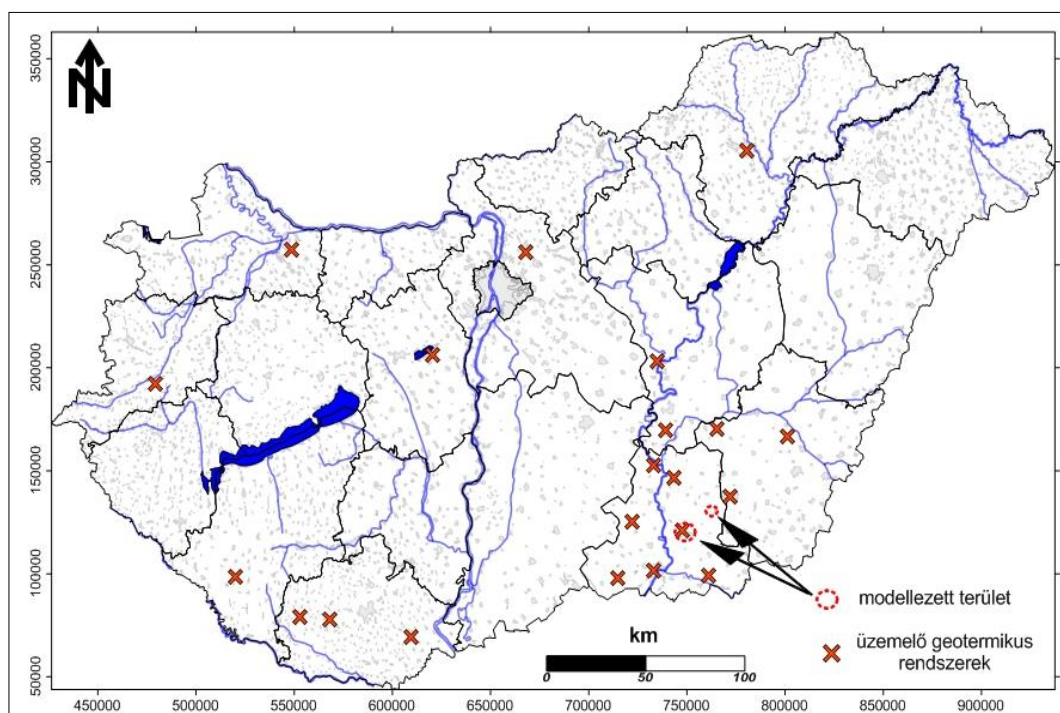
Nem csak országos, de városi, települési szinten is az egyik legfontosabb gazdasági kérdés az importált energia mennyisége. Magyarországon egyre több településen felismerik a geotermikus energia felhasználásának hosszú távú előnyeit. Jelenleg legnagyobb arányban a geotermikus energiát hordozó közeget, a hévizet balneológiai céllal hasznosítják, de a fűtési célú felhasználás is fokozatosan emelkedik. A rétegvíz mennyisége véges, ezért fontos odafigyelni a vízáadó réteg nyomásának fenntartására, mely csak a kitermelt víz (ugyanabba a hidrodinamikai egységbe tartozó rétegbe) visszajuttatásával lehetséges.

A kutatómunka célja, hogy segítséget nyújtson a geotermikus rendszerek hosszú távú üzemelésének fenntartásához, az üzemelési problémák megelőzéséhez és a fennálló problémák megszüntetéséhez.

## A VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA

A vizsgálati területünkön, Magyarország DK-i részén található Hódmezővásárhelyen több évtizede sikeresen üzemelő geotermikus távfűtő rendszert (8 termelő, 2 visszasajtoló kút) építettek ki, mely több mint 2700 lakást és 130 közületi fogyasztót lát el. (Adok 2007). Viszont, a rendszer működését nehezíti a felszíni szerelvényekben történő vízkő kiválás és a visszasajtolás előtti szűrőknél elszaporodó baktériumok tömítő hatása. Osvald Máté 2014-ben közzölt kutatómunkájában megállapította, hogy a baktériumflórában főleg a Magnetospirillum nemzetségbe tartozó fajok dominálnak. E különös dominanciának az oka a magas aromás vegyület (fenol) tartalom, mely kezelésére az UV fényvel történő vízfertőtlenítés javasolt.

A hódmezővásárhelyi geotermikus rendszer kútjai közül a Hmvh–01 jelű kút vize kerül visszasajtolásra a Hmvh–07 és Hmvh–08 jelű kutakon keresztül. A többi 7 kút vizét balneológiai és fűtési céllal is hasznosítják. A legmelegebb vizű kút a város szomszédos településén, Székkutason helyezkedik el, mely egy gyógyintézetet lát el fűtési energiával. A vizsgált terület elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A modellezett terület elhelyezkedése, a 2017-ben működő geotermikus rendszerekkel  
Figure 1. Location of existing Hungarian geothermal heating systems operating in 2017 (arrows show the modelled areas)

A tanulmány egyik célja, hogy megvizsgálja azt, hogy a földtanban alkalmazott geokémiai modellezéssel nyomon lehet-e követni a geotermikus rendszerek felszíni gépzseti rendszerlemeiben végbemenő vízkémiai változásokat is. E célból felmérést és terepbejárást végeztünk, ahol nem csak vízmintákat, hanem nyomás- és hőmérséklet adatokat is gyűjtöttünk a mintavételi pontokról. Ahol a vízkőkiválás megjelent, onnan vízkő mintát is gyűjtöttünk,

amelynek megvizsgáltuk röntgendiffrakciós és infravörös spektroszkópia segítségével az ásványos összetételét. Ez esetben mód van a modellezett ásványkiválási potenciálok és a valóság összevetésére, azaz a módszer ellenőrzésére.

A tanulmány másik célja a visszasajtolás során a felszín alatt visszasajtoló kút közvetlen környezetében lejátszó folyamatok minél pontosabb szimulációja. Ehhez szükségünk van a visszasajtolás előtti víz összetételének, a

mélységi nyomás és hőmérséklet viszonyoknak és a befogadó réteg ásványos összetételének ismeretére. A modellezéshez PHREEQC szoftvert használtunk, melyben a vizek alapionjai ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $PO_4^{2-}$ ,  $F^-$ ,  $Sr$ ) és az adott környezet fizikai paramétereit (pH, redox, nyomás, hőmérséklet) szerepeltetjük. A közet definiálásához a felső pannóniai korú Újfalui formáció szakirodalomból (*Thamóné és társai 2006*) vett általános ásványos összetételét használtuk.

## MÓDSZERTAN

Az alkalmazott szoftver a USGS (United States Geological Survey) által kifejlesztett PHREEQC számítógépes program, mely vizes közegben végbemenő geokémiai folyamat modellezésre alkalmas. Jelen esetben termodinamikusan megközelítést alkalmaztunk, melyhez a PHREEQC.dat adatbázist használtuk. Kiindulásként egy időben végtelen állapotot dolgoztunk fel, aminek eredményeként egyensúlyi állapotokról és reakció irányokról kaptunk információt.

### Vízkezelés modellezése

Miután a vízelemzések in situ és labor vizsgálatok eredményeit (nyomás, hőmérséklet, pH, redox, fő ionok) betápláltuk a modellbe, arra kaptunk választ, hogy az adott víztípus az adott környezetben adott ásványra nézve milyen telítettségi indexet (SI) mutat. Amennyiben alultelített ( $SI < 0$ ), úgy az adott ásványtípust beoldhatja, túltelítettség esetén az adott ásvány kiválhat. Ezt követően a modelleredményeket összehasonlítottuk a mért eredményekkel, különös tekintettel arra, hogy ahol előfordul ásványkiválás, ott a modelleredmények alapján is túltelített-e a víz az adott ásványra nézve. E modellezés alapján levont következtetések segítségével megadhatjuk azokat a paramétereiket, melyek a leghosszabb távú üzemelést segíthetik (gáztalanítás, üzemi nyomás stb.).

### Visszasajtolás hatása

A visszasajtolás során a vízáadó réteg vize keveredik a visszasajtoló, vagyis a mesterségesen bejuttatott vízzel. Itt a vizsgálat célja az, hogy milyen víz-geokémiai változást okozhat az eltérő összetételű, gáztartalmú és hőmérsékletű visszasajtoló víz a kút környezetében. Ehhez a modellezéshez a visszasajtoló kút létesítéskori eredményeit vesszük alapul, mely az adott rétegvíz összetételét jellemzi. Ezt a vizet keverjük egyre nagyobb arányban a visszasajtoló vízzel (visszasajtoló kútfejtől származó vízminta). Ezután a különböző arányban keveredett vizeket a befogadó réteg ásványos összetételével hozzuk reakcióba. A modelleredmények választ adhatnak arra, hogy milyen beoldódási és kiválási folyamatok mehetnek végbemenő kút környezetében, melyek befolyásolhatják a visszasajtoláshoz szükséges nyomás mértékét. Jelen tanulmányban a módszer használhatóságát vizsgáljuk.

Fontos megemlítenünk, hogy jelen tanulmányban a gázadatokat még nem vettük számításba. Ismereteink szerint a vízben oldott és a nyomáscsökkenés hatására kiváló

szabad gáz mennyisége és összetétele jelentős hatással van a vízkémiai folyamatokra, így a vízkőképződésre is.

## EREDMÉNYEK

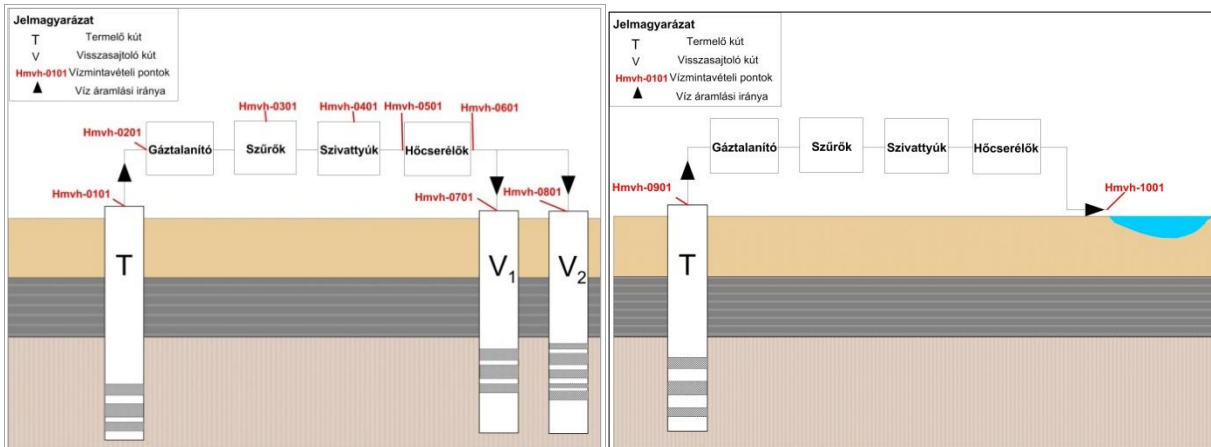
### Vízkezelés vizsgálata

Két mintaterületet jelöltünk ki, az egyik a hódmezővásárhelyi termelői kút és visszasajtoló kutak közötti szerelvényeken áthaladó víz változását, míg a másik a Székkutasan üzemelő termelői kút és a kifolyócső között (2. ábra) végbemenő változást vizsgálta. Mindkét helyszínen a vízmin-ták mellett alkalmunk volt gyűjteni vízkő kiválásokat is, mely a termodinamikusan validált modell segítségével elő-

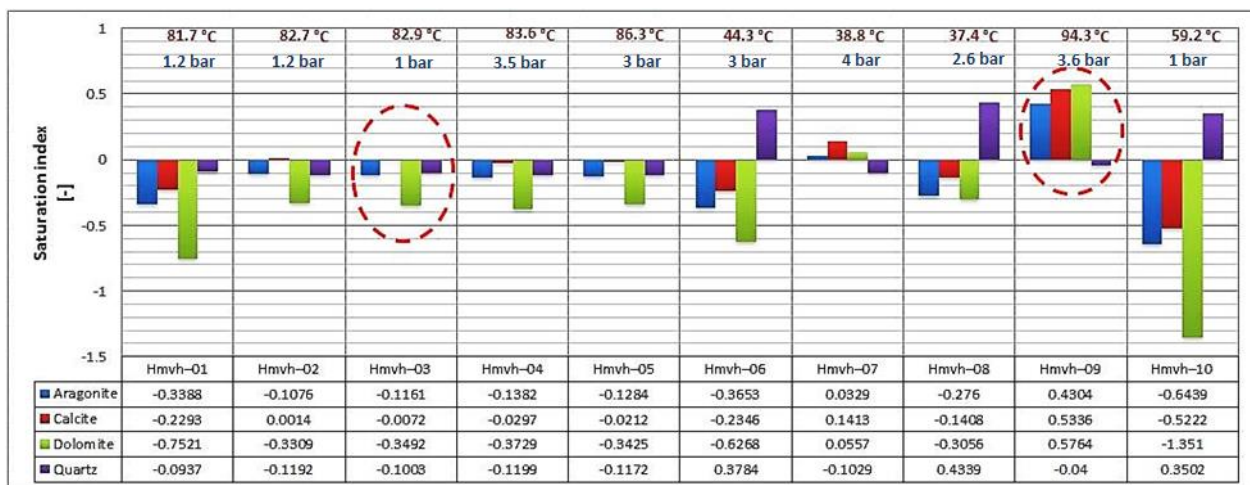
A hódmezővásárhelyi geotermikus rendszeren belüli mintavételi pontokat a 2. ábra szemlélteti. A mintázott vizek kivétel nélkül  $NaHCO_3$ -os típusúak, leginkább a hőmérséklet és nyomásviszonyokban, valamint a gáztartalommal vannak eltérések. A vizek összes oldottanyag-tartalma körülbelül 3300–4000 mg/l között változik, körülbelül 850–1100 mg/l  $Na^+$  és 2350–2750 mg/l  $HCO_3^-$  tartalom mellett. A  $Ca^{2+}$  és  $Mg^{2+}$  mennyisége kevés, előbbi 5 mg/l, utóbbi 1 mg/l körüli. A  $Cl^-$  tartalom a hódmezővásárhelyi kutak (Hmvh-1–8) vizeiben viszonylag kevés (6–7 mg/l), míg a székkutasi vizekben (Hmvh-9–10) ennél nagyobb, 27–28 mg/l körüli.

A 3. ábrán látható a mintavételi helyekről vett vizek ásvány (kalcit, aragonit, dolomit, kvarc) kiválásra való hajlama, melyet a telítettségi index értéke határoz meg. A pozitív telítettségi index az ásvány kiválásának elvi lehetőségét jelzi, a tényleges kiváláshoz a túltelítettség túlmenően még számos fizikai és kémiai feltételnek kell teljesülnie. A piros szaggatott ellipszissel bekeretezett helyekről vízkő kiválás mintát is gyűjtöttünk és elemeztünk. A rendszeren belül ezen a két helyen olyan mértékű a vízkővesedés, mely üzemeltetési problémát okoz. Látható, hogy a termelői kúttól származó víz (Hmvh-01) az összes vizsgált ásványra alultelített. A második mintavételi ponttól (Hmvh-02) ezek a telítettségi indexek közelítenek az egyensúlyi állapothoz, főleg a kalcit esetében, ahol már enyhe túltelítettség is jelentkezik. A Hmvh-05 pont közvetlen a hőcserélő előtti, a Hmvh-06 pedig a hőcserélő utáni szerelvényből származó vízminta. Itt több, mint 40 Celsius fokos hőmérséklet csökkenés következik be, amely hatással van a kiválási és beoldódási folyamatokra. Ez összhangban van a karbonát hőmérsékletfüggő oldhatóságával (*Hem 1985*). A karbonát ásványokra nagyobb mértékű alultelítettség látszik, a kvarc esetében ez az érték megfordul, túltelítetté válik. A visszasajtoló kutaknál vett vizekben (Hmvh-07–08) jelentős különbség mutatkozik. A Hmvh-07-es mintánál a víz a karbonát ásványokra enyhén túltelített, kvarca kissé alultelített, míg a Hmvh-08 jelű mintánál épp fordított kép figyelhető meg. Mind a Hmvh-07 és mind a 08 jelű visszasajtoló kút esetén nagymértékű baktérium túlszaporodás jelentkezik, bár ennek mértéke jelentősebb a Hmvh-07 kútnál, mely összhangban lehet a vizsgált karbonát ásványokra vonatkozó túltelítettséggel.





2. ábra. Vízmintavételi helyek (bal oldal Hódmezővásárhely, jobb oldal Székkutas)  
Figure 2. Water sampling points (left side Hódmezővásárhely, right side Székkutas)



3. ábra. Karbonát és szilikátásvány kiválások a vizsgált pontokon  
(a vörös számok a mintázott víz hőmérsékletét, míg a vörös szaggatott ellipszisek a vízkőkiválások helyét jelzik)  
Figure 3. Carbonate and silicate mineral scaling in the analysed points  
(red numbers mean the sampled water temperature, and the red dashed circles represents the scaling sample points)

A modelleredmények a valóságot jól tükrözik, például a székkutasi (Hmvh-09) minta esetében igen nagymértékű karbonát kiválás volt jellemző, mely a nyomás alatti üzemeltetést követően megszűnt. A valóságot támasztják alá a Hmvh-01-04 minták futtatási eredményei is. A Hmvh-01 helyen még nem tapasztalható kiválás, de a szűrőktől és szivattyúktól vett vízminták (Hmvh-02, 03) esetében vízkő (kalcit és nyomokban kvarc) kiválás történik. A tapasztalatokkal alátámasztott futtatási eredmények biztatóak, annak ellenére, hogy a modellbe táplált adatok még nem teljes körűek. Folyamatban van a kutakból származó oldott és szabad gázok összegyűjtése és beépítése a modellbe.

#### Visszasajtolás hatásvizsgálata

A visszasajtoló víz a kút környezetére történő hatását a 4. ábra szemlélteti. A vízszintes tengelyen a rétegvíz és beszajtoló víz keveredésének arányát tüntettük fel. Azaz 0 érték a 100 %-os rétegvíz, míg a 100 a 100% visszasajtoló vizet reprezentálja. A Thamóné és társai (2006) felső pannóniai korú homokkővek ásványos összetételét használtuk a környezet definiálásához. A vizsgált felső pannóniai korú Újfalui homokkő összetételének meghatározására összesen 502 mintát dolgoztak fel, különválasztva a nehéz- és könnyűfrakciókat. E szerint a homokkő a nehézfrakcióba

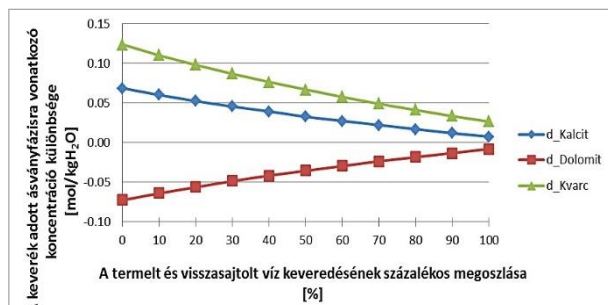
sorolt ásványokat tekintve 26.6% kloritot, 14.7% gránátot, 10.3% epidotot, 8.5% magnetitet, 5.3% piritet, 4.9%, 4.5% bonott ásványt, amfibolt, 3.5% leukoxént, 3.2% karbonátot, 2.8% turmalint, 2.4% limonitot és 1.3% klinozoisitot, a könnyűfrakcióba sorolt ásványokat tekintve pedig 55.8% kvarcot, 14.6% muszkovitot, 13.6% földpátot, 6.2% kőzet-töredéket, 6.2% agyagásványt és 2.1% bontott ásványt tartalmaz.

A visszasajtoló víz mennyiségének emelkedésével a Hmvh-08 visszasajtoló kút környezetében csökken az oldat kalcit és kvarc koncentrációkülönbsége és nő a dolomit ásványfázis koncentrációkülönbsége, azaz a kalcit és kvarc kiválásra, míg a dolomit beoldódásra hajlamos. A folyamatos változás azt szemlélteti, hogy a vízadóban a visszasajtolás hatására víz-geokémiai folyamatok mennek végbe. Ennek mértékét és pontos hatását a további kutatásunk során vizsgáljuk.

#### KÖVETKEZTETÉSEK, TOVÁBBI CÉLOK

A geotermikus rendszerek fenntarthatóságának kérdése igen fontos. A visszasajtolási és kiválási folyamatok által okozott problémák mérséklése nehézkes és igen költséges, mely legrosszabb esetben a rendszer leállítását eredményezheti.

Jelen tanulmány célja, hogy segítséget nyújtson az ilyen problémák megoldásához. Egy kalibrált és validált modell lehetőséget nyújt arra, hogy különböző modellváltozatokat készítsünk, melyekben változó nyomás és hőmérséklet tartományokban vizsgálhatjuk a vízkő kiválási folyamatokat.



4. ábra. A rétegvíz és a visszasajtoló (Hmv-08) víz különböző arányú keverékének hatása a közetre  
Figure 4. Effect the aquifer and re-injection (Hmv-08) waters different mixed of the rock

A kapott kezdeti eredmények bizakodásra adnak okot, hiszen annak ellenére, hogy a bemenő adatoknál nem minden paraméter lett figyelembe véve, illetve állt rendelkezésre, a legtöbb esetben valóságot tükröző képet mutatnak.

Kutatásunk következő fázisában a modell építése során figyelembe vesszük a termelt víz gáztartalmát és értelmezzük a kapott eredményeket, melyek reményeink szerint még jobban leképezik a valóságot. Ezt követően különböző scenario modelleket építünk fel, mely során megkapjuk a legoptimálisabb üzemeléshez szükséges paramétereket, illetve tesztelhetjük a különböző adalékanyagok hatásait is.

A visszasajtolás hatásvizsgálatának kezdeti eredményei azt mutatják, hogy a visszasajtoló kút környezetében víz-geokémiai változások mennek végbe, melyek a sekélyebb homokrétegebe történő visszasajtolásoknál jelentősebbek lehetnek. Reményeink szerint a kapott modelleredményeket az üzemi tapasztalatokkal és a visszasajtolási kútfejnyomással összehangolva olyan következtetéseket vonhatunk le, melyek hozzájárulhatnak a fenntartható termelő-visszasajtoló geotermikus rendszerek működtetéséhez.

## IRODALOMJEGYZÉK

Ádok J. (2007). A hódmezővásárhelyi geotermikus fűtési rendszer, *Hódmezővásárhely*

## A SZERZŐK



**KERÉKGYÁRTÓ TAMÁS** a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán szerzett 2010-ben hidrogeológus-mérnökgeológus, majd 2016-ban olaj-és gázmérnöki oklevelet. 2014-től a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola hallgatója, ahol 2017-ben abszolutóriumot szerzett. Kutatói pályáját 2011-ben a Magyar Állami Földtani Intézetben kezdte, 2017 júliusától a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatban dolgozik. 2010-től a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

**GÁL NÓRA EDIT** az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett geológus oklevelet 1986-ban. A University of Massachusetts-en szerzett PhD fokozatot, ahol a savas bányavíz felszíni és felszín alatti vizekre történő hatását vizsgálta. Kutatói pályáját 1988-ban a Magyar Állami Földtani Intézetben kezdte. 2017 júliusától a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat munkatársa. Hazai és nemzetközi projektben vesz részt regionális hidrogeológia és hidrogeokémia szakterületen.

**SZŐCS TEODÓRA** az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett geológus oklevelet 1991-ben, majd ezt követően az Amszterdami Egyetemen (UvA) a nehézfémek kimutatásában specializálódott. 2006-ban PhD doktori oklevelet szerzett. Kutatói pályáját 1993-ban a Magyar Állami Földtani Intézetben kezdte, 2017 júliusától a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat keretében dolgozik.

([http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/adokjanos\\_cikk\\_hodmezovasarhelyi\\_geot\\_fut\\_rendszer.pdf](http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/adokjanos_cikk_hodmezovasarhelyi_geot_fut_rendszer.pdf))

Balog A. (1982). Néhány magyarországi hévíz szilárd kiválási termékének ásványtani és geokémiai vizsgálata – *Hidrológiai közlöny* (82. évf. 7. sz. 312-318 old.), Budapest.

Einar Gunnlaugsson, Halldór Ármannsson, Sverrir Thorhallsson and Benedikt Steingrímsson (2014). Problems in geothermal operation—scaling and corrosion – “Short Course VI on Utilization of Low- and Medium-Enthalpy Geothermal Resources and Financial Aspects of Utilization” UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador

Hem, J.D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 3rd edition. USGS Water-Supply Paper 2254 pp.90-91, University of Virginia, Charlottesville

Kerékgyártó T. (2014). Az Orosháza-Gyopárosfürdő geotermikus rendszer nyomás, hőmérséklet és áramlás viszonyai – esettanulmány. *ME-KFGI Diplomamunka, Miskolc*

Juhász Gy., Thamone B. E. (2006). The mineral composition of the Pannonian s.l. Formations in the Great Hungarian Plain (II.)—Tendencies of the changes of the mineral composition of the Pannonian s.l. sands and sandstones and their geological significance. *Földtani Közönlöny* 136/2, 431–450. Budapest

Parkhurst, D.L. and Appelo, C. A. J. (2013). Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>.

Thamone B. E., Juhász, Gy., Kovács L. (2006). The mineral composition of the Pannonian s.l. Formations in the Hungarian Plain (I.)—The characteristics and origins of the Pannonian s.l. sands and sandstones. *Földtani Közönlöny* 136/2, 407–430., Budapest

Tóth A., Kerékgyártó T., Tóth GY., Szita, G., Tolmács, D., D. K. Fenerty (2015). Examination of a geothermal system from a porous geothermal reservoir in the Pannonian Basin in Hungary. *PROCEEDINGS Fourtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering – Stanford University, Stanford, California, January 26-28, 2015 SGP-TR-204*

2007-től a Vízföldtani (Fő)osztály vezetője. A Hidrogeológusok Nemzetközi Szövetsége elnökhelyettese, 2017-től a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

**TÓTH ANIKÓ NÓRA** a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kőolaj és gázipari oklevelet 1978-ban. A diploma megszerzése után a Gáz és Olajszállító Vállalatnál dolgozott, mint szállítási mérnök. Oktatói és kutatói pályáját 1984-ben kezdte meg, először az NME-VAFK, majd a ME Informatikai Tanszéken. Summa Cum Laude minősítésű Dr. Univ fokozatot szerzett 1996-ban. Ugyanettől az évtől kezdődően a Kőolaj és Földgáz Intézet oktatója. Summa Cum Laude minősítésű PhD doktori oklevelet szerzett 2004-ben. Fulbright kutatói ösztöndíjjal. Vendég professzorként fél évet töltött a Colorado School of Mines, Mining Engineering Tanszékén 2011-2012. 2012 óta a Miskolci Egyetem Kőolaj és földgáz intézetének docense. Publikációinak száma több mint 200. 1996-tól a Magyar Geotermális Egyesült, 2000-től az IGA International Geothermal Association, valamint Geothermal Resource Council, 2006-től a European Geothermal Association tagja.

**SZÚCS PÉTER** a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kiegészítő geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején először a Geofizikai Tanszéken, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerzi az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-től a tanszék vezetője. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Publikációinak száma több mint 400. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



## Egy kutas függőleges interferenciamérés (Prats módszer)

Gyenes István\*, Szanyi János\*\*

\*Nyugalmazott olajipari technikus, folyamatszervező, (E-mail: gyenes.istvan@upcmail.hu)

\*\*Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2.

### Kivonat

Szerte a világon hosszú évek óta jelentős erőket áldoztak az elméletileg megalapozott interferenciavizsgálatok gyakorlatba való átültetésére. Ez a hidrodinamikai mérési módszer olyan eszköz a rezervoármérnökök kezében, amelynek segítségével többnyire más módon egyáltalán nem vagy csak nehezen beszerezhető adatok nyerhetők a földalatti fluidumtárolókról. A tároló két perforációja közé helyezett pakker lehetővé teszi, hogy a felső perforáción végzett műveletek (termeltetés vagy besajtolás) hatására az alsó perforációnál létrejövő nyomásváltozást értékelve kapjuk a tároló vertikális és horizontális áteresztőképesség/szivárgás értékeit. A gyakorlati alkalmazás gátja sokáig a megfelelő érzékenységű nyomásmérő eszköz hiánya volt. Napjainkban már rendelkezésre állnak nagy felbontóképességű (<70 Pa) elektronikus nyomásmérők (memory gauges), amelyekkel elvégezhetők a nagy felbontóképességet igénylő hidrodinamikai vizsgálatok. Jelen tanulmányban a módszer alkalmazhatóságát mutatjuk be egy konkrét példán.

### Kulcsszavak

Függőleges interferencia, kút, nyomásmérő.

## Determining vertical interference in one well (Prats method)

### Abstract

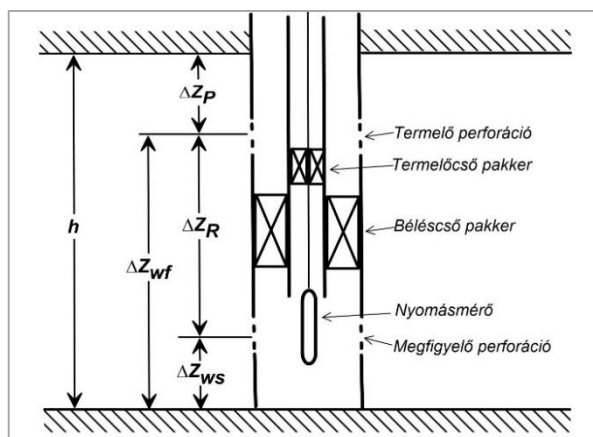
Measuring and calculating the real vertical permeability is a critical issue. The following hydrodynamical method is proposed for measuring the average vertical permeability of a formation near a well, which is otherwise difficult to measure. The method consists of producing or injecting fluid at a constant flow rate through a short interval near the top of a formation and measuring the pressure response through the bottom short interval in the same well, which are separated with packer to calculate the vertical and horizontal permeability/conductivity. For long time a pressure gauge with appropriate sensitivity was a barrier to practical application. Today, there are memory gauges available with high resolution (<70 Pa) for measuring slight pressure changes. We will present this method through a practical example.

### Keywords

Vertical interference, well, pressure gauge.

### BEVEZETÉS

A felszín alatti víztermelésben igényként merülhet fel a függőleges szivárgási tényező meghatározása. Ennek első sorban a kis mélységű (100 – 200 m) hidegvizes kutaknál volna jelentősége, az elérési idő, védettség meghatározásához (Marton és Szanyi 1997), de fontos szerepe lehetne a hévíztermelésben, a termelő és visszasajtoló kutak optimális mélységének kijelölésében.



1. ábra. Kútkiképzés és műszerelhelyezés (Earlougher 1977 alapján)

Figure 1. Schematic representation of well completion with measuring tools (based on Earlougher 1977)

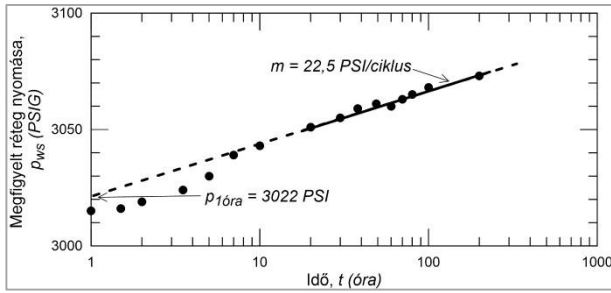
Earlougher (1977) könyvében találtunk egy Prats (1970) által kifejlesztett módszert „Vertical Interference

Testing” címmel, melynek tartalmát az alábbiakban ismertetjük, a könyvben szerepeltetett mértékegységekben. Mivel a könyv elsődlegesen az olajipar számára készült, a módszerben ismertetett összefüggéseket SI mértékegység-rendszerbe átszámítva is közöljük, a hidrogeológiai alkalmazhatóság könnyítése érdekében. A módszer nem igényel külön értékelő szoftvert. A mérés manuálisan is egyszerűen kiértékelhető. Létezik más módszer (ilyen pl. a Burns (1969) féle típusgörbe illesztés), ami számítógéppel történő feldolgozást igényel, de jelen tanulmányban csak az egyenes illesztést kívánjuk tárgyalni, mert ez egzaktabb, mint a típusgörbe illesztés. A módszer olyan perforált intervallumok esetén alkalmazható, amelyek rövidek az aktív és a megfigyelő perforáció közötti távolsághoz ( $\Delta Z_R$ ) képest.

### ALKALMAZOTT MÓDSZER

Az 1. ábrán a kút kiképzése, ill. a műszerelhelyezés látható. Az ábrán bejelölt paraméterek ( $h$ ,  $\Delta Z_{wf}$ ,  $\Delta Z_{ws}$ ) az értékelés alapadatai. (Paraméterek elnevezését lásd lejjebb.)

A mérés történhet az aktív perforációba történő vízbesajtolással, vagy az aktív perforációból való termeltetéssel, közben a nagy felbontóképességű műszerrel mérjük a reagáló (megfigyelő) réteg nyomásváltozását. Ügyelni kell arra, hogy a kút a vizsgálat kezdete előtt stabilizálódjon. A mért nyomásváltozást a besajtolás/termeltetés kezdetétől féllogaritmikus koordináta rendszerben ábrázoljuk. A vízszintes tengelyen az idő, a függőleges tengelyen a nyomás szerepel. Ez látható a 2. ábrán.



2. ábra. Féllogaritmikus feldolgozás (Earlougher 1977 alapján)  
Figure 2. Semilogarithmic diagram of pressure response (based on Earlougher 1977)

A nyomásváltozás kései szakaszában lévő pontokra legkisebb négyzetek módszerével egyenest illesztünk, majd meghatározzuk az egyenes tengelymetszetét  $t = 1$  óránál ( $p_{1hr}$ ), valamint az egy logaritmus ciklusra eső meredekséget ( $m$ ).

A vízszintes átteresztőképesség az alábbi összefüggéssel számítható:

$$k_r = \frac{-162.6 \cdot q \cdot B \cdot \mu}{m \cdot h}$$

A függőleges átteresztőképesség számítására alkalmazott összefüggés:

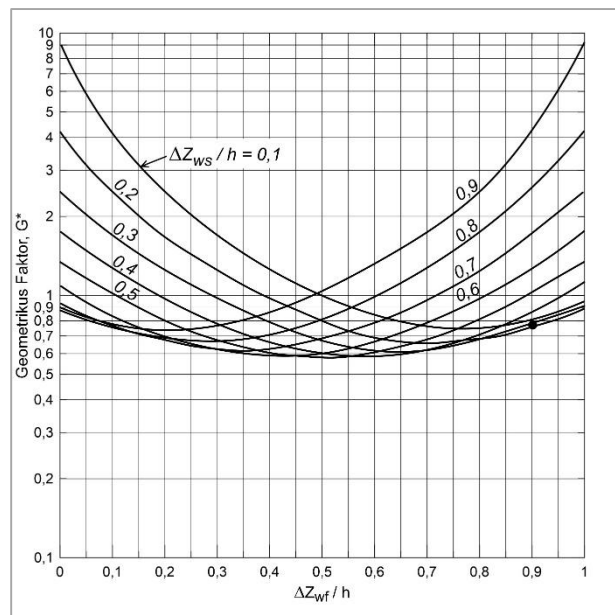
$$k_z = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot c_t \cdot h^2}{0.0002637} \text{anti log} \left( \frac{p_{1hr} - p_t}{m} - \frac{G^* + h / |\Delta Z_{wf} - \Delta Z_{ws}|}{2.3025} \right)$$

Példa az értékelésre – felhasználva az 1. és 2. ábrákat.

Alapadatok: (a képletben szereplő paraméterek elnevezését lásd lejjebb)

- $h = 50$  ft                       $\mu = 1.0$  cP
- $\Delta Z_{wf} = 45$  ft                 $c_t = 2 \cdot 10^{-5}$  psi<sup>-1</sup>
- $\Delta Z_{ws} = 10$  ft                 $\Phi = 0.10$
- $q = -50$  STB/D                 $p_t = 3015$  psi (talpnyomás  $t = 0$  időpontban)
- $B = 1.0$  RB/STB               $p_{1hr} = 3022$  psi
- $m = 22.5$  psi/ciklus

$\Delta Z_{wf}/h = 45/50 = 0.9$  és  $\Delta Z_{ws}/h = 10/50 = 0.2$  ismeretében a geometrikus faktor ( $G^*$ ) a 3. ábráról leolvasható:  
 $G^* = 0.76$



3. ábra. Geometrikus faktor meghatározása (Earlougher 1977 alapján)  
Figure 3. Determination of geometrical function (based on Earlougher 1977)

Behelyettesítve az összefüggésekbe az alapadatokat:

$$k_r = \frac{(-162.6) \cdot (-50) \cdot (1.0) \cdot (1.0)}{(22.5) \cdot (50)} = 7.2md$$

$$k_z = \frac{(0.10) \cdot (1.0) \cdot (2 \cdot 10^{-5}) \cdot (50)^2}{0.0002637} \text{anti log} \left( \frac{3022 - 3015}{22.5} - \frac{0.76 + 50 / |45 - 10|}{2.3025} \right) = 4.3md$$

Konstansok SI mértékegység-rendszerre való átszámítás-hoz:

- 1 cP =  $1 \cdot 10^{-3}$  Pa·s
- 1 ft = 0.3048 m
- 1 md =  $0.9869233 \cdot 10^{-3}$  μm<sup>2</sup>
- 1 psi =  $6.894757 \cdot 10^{-3}$  MPa

1 STB/D =  $0.1589873$  m<sup>3</sup>

Az összefüggések SI – ben:

$$k_r = \frac{-2.121 \cdot q \cdot B \cdot \mu}{m \cdot h}$$

$$k_z = 0.0009869 \left[ \frac{6.89476 \cdot \Phi \cdot \mu \cdot c_t \cdot \left( \frac{h}{0.3048} \right)^2}{0.0002637} \text{anti log} \left( \frac{p_{1hr} - p_t}{m} - \frac{G^* + h / |\Delta Z_{wf} - \Delta Z_{ws}|}{2.3025} \right) \right]$$

Alap paraméterek jelentése, mértékegység SI-ben:

B (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) - teleptérfogati tényező

c<sub>t</sub> (MPa<sup>-1</sup>) - teljes kompresszibilitás

G\* (-) - geometrikus faktor

h (m) - rétegvastagság

k (μm<sup>2</sup>) - átteresztőképesség

m (MPa/cikl.) - egyenes meredeksége

p<sub>1hr</sub> (MPa) - egyenes tengelymetszete t = 1 óránál

p<sub>t</sub> (MPa) - talpnyomás t = 0 óránál

q (m<sup>3</sup>/d) - besajtolási vagy termelési hozam

ΔZ<sub>wf</sub> (m) - alsó réteghatár és az aktív perforáció távolsága

ΔZ<sub>ws</sub> (m) - alsó réteghatár és a megfigyelő perforáció távolsága

Φ (-) - porozitás

μ (Pa·s) - viszkozitás telepviszonyok között.

Az átteresztőképességek (k<sub>r</sub>, k<sub>z</sub>) átkonvertálhatók a vízbányászásban használt szivárgási tényezőre *Megyery (2015)* szerint:

$$k^* = 8.473 \cdot 10^{-7} \frac{k \cdot \rho}{\mu}$$

ahol:

k\* (m/d) - szivárgási tényező

ρ (kg/m<sup>3</sup>) - vízsűrűség telepnyomáson és telephőmérsékleten.

A módszert érdemes lenne kipróbálni. Megbízható eredmények esetén üzemszerűen alkalmazni azon kutak esetében, ahol a vertikális átszivárgás mértékének ismerete fontos.

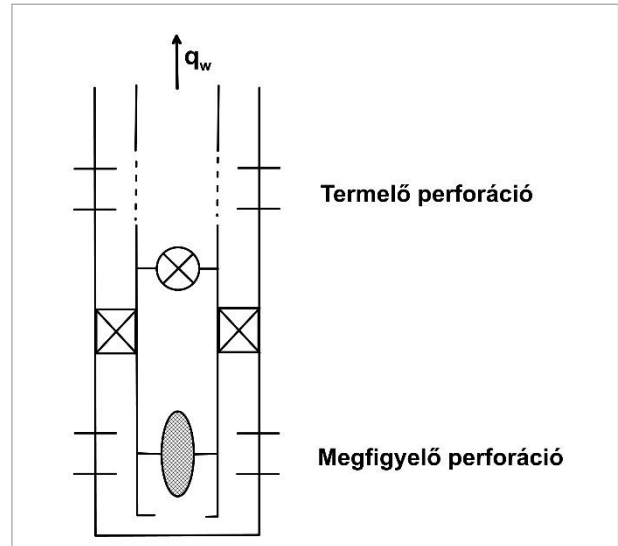
Az általunk javasolt megoldás kútkiképzése (4. ábra):

- a két perforáció pakkerral elválasztva
- termelőcső beépítve tubing stoppal, fölötte „D” nipple az alsó perforált szakasz középnyomásába (ide ültetjük wire-line technikával a műszereket)
- a pakkert fölötte a termelőcsőben „D” nipple (a műszerek beépítése után záródugó elhelyezése az alsó perforáció kizárására)
- a felső perforációnál a termelőcső perforált
- bűvárszivattyú beépítése a termeltetéshez (vízbesajtolás is szóba jöhet).

### Műszerek

2 db memory gauge (Quartz Cristal Sensor típusú), melyek az alábbi paraméterekkel rendelkeznek:

- megbízhatóság (accuracy): 0.02 % a teljes intervallumban
- érzékenység (resolution): 0.01 psi
- alapvonal elmászás (drift): < 3 psi per year
- előny: hosszú idejű stabilitás, hőtűrés



4. ábra. Javasolt kútkiképzés és regisztráló műszerek elhelyezési sémája

Figure 4. Suggested well completion and arrangement of measuring tools

### ÖSSZEZÉS

Az ismertetett metodika egyszerű, ugyanakkor a kivitelezése költségesebb, mint egy szimpla szivattyúteszt. Termelő csövet kell beépíteni, pakkert kell használni. Mégis azt gondoljuk, nagy volumenű projekteknél pl. új vagy meglévő ívóvízbázis védőidomának kijelölésénél vagy egy több kutas geotermikus rendszer tervezésénél a javasolt mérési metodika és módszer alkalmazásával lényegesen kisebb kockázatot vállal a befektető, mint e nélkül. Arról nem beszélve, hogy az így kapott adatokkal sokkal megalapozottabb felszín alatti vízgyűjtő gazdálkodási terv készíthető. Megjegyezzük, ha a perforált kút helyett szűrőzött kutat vizsgálunk, akkor a gyűrűs tér két szűrőzött szakasza közötti kavicsolás befolyásolhatja a számítási eredményét.

### IRODALOMJEGYZÉK

*Burns, W. A. Jr. (1969).* New-Single Well Test for Determining Vertical Permeability. J. Pet. Tech. Trans Aime, 246. 743-752.

*Earlougher R. C. Jr. (1977).* Advanced in Well Test Analysis (Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers AIME, New York, Dallas.

*Marton L. és Szanyi J. (1997).* Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata; 2. A rétegek közötti területi átszivárgás meghatározása. Hidrológiai Közöny, 77.évf. 5.sz., 241-248.

*Megyery M. (2015).* Az olajipari és vizes hidrodinamikai vizsgálatok összehasonlítása, átszámítási összefüggések. Kőolaj és Földgáz 2015/1. 17-29.



Prats, M. (1970). A Method for Determining the Net Vertical Permeability Near a Well From In-Situ Measurements, Journal of Petroleum Technology, 2511-PA SPE Journal Paper, 637-643.

## A SZERZŐK



**GYENESE ISTVÁN** 1963-ban olajipari technikus oklevelet, 1980-ban okl. folyamatszervező képzést szerzett. 1963-2000 között kútvizsgáló értékelő, majd értelmezési önálló csoportvezető, 2000-2004 között a MOL Rt. KTD. Operatív Művelés – elemzés és Irányítás Well Test Team-jében kútvizsgáló munkatárs beosztásban dolgozott. 2004-től szakértőként dolgozik kútvizsgáló témákban. OMBKE és MGtE tag.

**SZANYI JÁNOS** egyetemi tanulmányait matematika – számítástechnika – geológia szakirányon végezte a József Attila és az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, majd a Miskolci Egyetemen okleveles hidrogeológus-mérnök diplomát szerzett. A Magyar Geológiai Szolgálatnál 12 évig területi geológusként majd hivatalvezetőként dolgozott. 2004-ben PhD fokozatot szerzett. 2007 óta a Szegedi Tudományegyetem oktatója. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja. 2003-ban Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíjat, 2015-ben a Felszín Alatti Vizekért Alapítványtól Ezüstpoharat kapott.

## Kaskádolás szerepe a rögzített biofilm hordozót alkalmazó szennyvíztisztítási technológiákban

Karches Tamás\*

\*Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Vízudományi Kar, Vízellátás és Környezetmérnöki Intézet, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14., ([Karches.Tamas@uni-nke.hu](mailto:Karches.Tamas@uni-nke.hu))

### Kivonat

A szennyvíztisztítás biológiai fokozatában a különböző folyamatok elkülönítésére és azok környezeti paramétereinek biztosításához több reaktorteret alkalmazunk. Az elkülönítés elsősorban az oxigénellátottság szerint történik (oxikus, anoxikus, anaerob környezet), de a jobb iszapszerkezet kialakítása (szelektor) is cél lehet. Ezen túlmenően a reaktorterek kaskádolásával vízvonali iszaphozamcsökkenést is elérhetünk. Jelen kutatás célja, hogy fix hordozót alkalmazó fixfilmes rendszerekben anyagforgalmi (biokinetikai) modell segítségével vizsgálja a különböző reaktorfelosztások hatását az elfolyó kezelt szennyvíz minőségére a keletkező iszapmennyiség tekintetében, és meghatározza az optimális felosztást. Külön kitérünk a belső recirkuláció szerepére, mely a visszavezetett többletvízhozam miatt az áramlási viszonyokat, és ezzel együtt az alkalmazott reaktormodellt befolyásolja.

### Kulcsszavak

Anyagforgalmi modellek, belső recirkuláció, fixfilmes rendszerek, reaktor modellek.

## Separation of reactor volumes in fixed biofilm systems in wastewater treatment

### Abstract

Cascade reactors are used in biological wastewater treatment in order to distinguish each process requiring different conditions. The separation of the reactor volumes is based primarily on dissolved oxygen concentration (oxic, anoxic, anaerobic), but applying aerobic selector better floc structure, thus more efficient sedimentation could be achieved. Beyond that, more reactor in series produce less sludge compared to a single CSTR. In this paper the effect of the number of cascaded tank on the effluent quality and sludge production is investigated and optimized in wastewater treatment system applying fixed biofilm. The analysis is performed by biokinetic simulations. Emphasis is on the impact of the internal recycle (IR), since the increased flow and velocities in the reactor may change the flow field and the reactor model. Simulations revealed that system applying integrated fixed film behaves already like a tank in series system and further optimization is not possible. In such a system the sludge production is already about 10% lower compared to a single CSTR sludge production. Application of IR has an impact on reactor model, it increases the Peclet number, which is an indication of convective flow dominance over the entire reactor. Further investigation is proposed by performing numerical fluid dynamic simulations in order to couple the hydrodynamics and biokinetics.

### Keywords

Attached growth system, biokinetic modelling, internal recycle, reactor models.

### BEVEZETÉS

Szennyvíztisztítási technológiák egyik csoportosítása aszerint történhet meg, hogy a biológiai folyamatokban részt vevő biomasza lebegő vagy kötött állapotban van. Az előbbit eleveniszapos, utóbbit pedig összefoglalóan fixfilmes technológiának nevezzük. Ezenkívül ismerünk még kombinált rendszereket, melyekben egyszerre jelen van mindkét típusú biomasza. Mindegyik esetben a lebontási folyamatok biológiai és kémiai jellege azonos, azonban a biomasza reaktortéren belüli elhelyezkedésében különböznek. Eleveniszapos rendszerben a mikroorganizmusokat tömörítő pelyhek ideális esetben a reaktortér teljes egészét kitöltik, homogén eloszlásúak. Éppen ezért a medencetérbe érkező szennyvíz megfelelő keverés mellett a lebontó mikroorganizmusokhoz könnyen eljut. A keveredést aerob medencetérben a levegőztetés és a mechanikus keverés, anoxikus térben többnyire csak a keverés biztosíthatja. Rögzített hordozókat alkalmazó fixfilmes rendszerek esetében a mechanikus keverés nehezen valósítható meg, aerob terekben a levegőztetés keverő hatására hagyatkozunk, anoxikus medencékben pedig a folyadékáram megfelelő elosztásával és irányításával vagy durva buborékos levegőztetéssel nyerhetünk eredményt.

Szennyvíztisztítási technológiák tervezésekor, felülvizsgálatakor és intenzifikálásakor a folyamatokat leíró modelleket alkotunk. Ezekben a modellekben a biológiai folyamatokat leíró transzporegyenletekben az áramlási viszonyokat ideális reaktormodellekkel egyszerűsíthetjük. Rögzített biofilmhordozót alkalmazó kötött biofilmes rendszerekben azonban több feladatot is el kell látnunk az áramlás segítségével: (i) a szubsztrátot eljuttatni a biofilm felületéig, (ii) a szubsztrátot bejuttatni a biofilm belsejébe, leküzdve a lamináris határrejteget, és (iii) az anyagcsere-termékeket elvezetni. A fixfilmes rendszerek további sajátja, hogy nehezen biztosítható a teljes elkeveredés, koncentrációgradiens jön létre, vagyis egy térben is spontán létrejöhet a reaktorkaskád. Ilyen rendszerekben gyakori a holtterek megjelenése, mely a hatékony reaktortérfogatot csökkenti.

A reaktorkaskád alkalmazása többfajta optimalizációs lehetőséget kínál szennyvíztisztításban. Egyik irányvonal közülük az iszaphozam csökkentését célzó technológiák hatékonyságának növelése. Az iszaphozam csökkentése több módon is elérhető: (i) iszap többszörös hasznosításával (Hamer 1985), (ii) a fenntartásra fordított energia ma-

ximalizálásával (Jørgensen 1977) vagy (iii) ún. tápláléklánc kialakításával. Ez utóbbi esetben a magasabb rendű élőlények az alacsonyabb rendűekkel táplálkoznak, tehát alapvetően az anyag csak átalakulna, de nem tűnne el. Viszont a magasabb rendű élőlény metabolizmusa során több CO<sub>2</sub> kibocsátására képes, mely alapján egyes csoportosítások a (ii)-s kategóriába sorolná ezt a módszert. Azonban érdemes külön venni, mivel többletfeladatot is ellátnak, hiszen képesek akár az eredetileg inert anyagként figyelembe vett KOI frakció csökkentésére (Tamis és társai 2011) is.

A fent említett technológiák alkalmazása egyaránt történhet víz- (teljes oxidáció) és iszapvonalon (vegyszeres kezelés, rothasztás), a fő technológiai részeként vagy mellékági technológiaként például a *Che és társai által 2001-ben* közölt OSA (oxic-settling-anaerobic) eljárás, oxidáció, üleptetés és az iszaprecirkulációs vonalon anoxikus tér váltakozása.

*Ratsak és Verkuijlen 2006-os* kutatásai megerősítették, hogy vízvonalon, a biológiai medence kaszkádolása kisebb iszaptermelést eredményezett. Ennek okaként a protozoa és egyéb más magasabb rendű szervezetek jelenlétét jelölték meg, melyek az alacsonyabb rendű szervezeteket táplálékforrásként használták fel. Életfeltételeikhez nélkülözhetetlen az oxikus (oldott oxigén koncentráció: 1-3 mg/l) és alacsony szerves- és tápanyagterhelésű (TKN<30 mg/l, BOI<sub>5</sub><30 mg/l) reaktortér. Mivel a nyers vagy az előkezelt szennyvíz is koncentráltabb, ezért az egyterű, teljesen vagy közel teljesen elkevert biológiai medencékben a megjelenésükre nem számíthatunk. A kaszkádolt medencék vagy a hidrodinamikai alapon ehhez hasonlóan viselkedő reaktorok alkalmasak lehetnek a tápláléklánc kialakulásához. Másik példa az egykori Szolnokon üzemelő cukorgyári szennyvíztisztító rendszer, ahol a tavak, mint kvázi reaktorkaszkád vízterében történt hosszú hónapok alatt (3-4 hónapos tartózkodási idő a tavakban) a magas szervesanyag tartalmú szennyezett víz kezelése. A tavakból álló kaszkád teljesítménye a természetközeli jellegéből adódóan ingadozást mutatott, de jó hatékonyságú biodegradációval bírt. A kezelt vizet a tavaszi árhullám esetén engedték be a befogadóba (Vajda és társai 2016).

A reaktormodellt befolyásolhatja a belső recirkuláció (röviden: IR), melynek elsődleges szerepe a hosszabb iszapkort igénylő nitrifikáció során keletkező nitrát visszajuttatása a medence elejébe vagy olyan térrészbe, ahol a heterotróf denitrifikálók számára megfelelő mennyiségű szervesanyag áll rendelkezésre. Az IR hatása ezen felül a hígításban és az áramlási viszonyok átalakításában jelentkezik, hiszen a visszavezetett folyadékáram a telepre érkező vízmennyiség többszöröse is lehet. Az általunk vizsgált, és később bemutatott szennyvízhez hasonló karakterisztikájú szennyvízen és rendszeren végzett kísérletet Nguyen kutatócsoportja 2014-ben. A kísérleti rendszeren a belső recirkulációt a befolyó szennyvíz hígítása miatt üzemelték be, de emellett tapasztalták, hogy jobban segíti a rendszer teljes nitrogén eltávolítását (Nguyen 2014). Egy spanyol kutatócsoport a szennyvíztisztítójuk beüzemelésénél azt figyelték meg, hogy az IR hatására csökkent a rendszer O<sub>2</sub> szükséglete (García 2017).

## REAKTORMODELLEK SZEREPE A FIXFILMES RENDSZEREKNÉL

A következőkben a szennyvíztisztításban alkalmazott reaktormodelleket tekintjük át, és azok speciális alkalmazásait a vizsgálni kívánt fixfilmes rendszerünkben.

Üzemvitel szerint a reaktorok lehetnek szakaszos vagy folyamatos betáplálásúak. A szakaszos betáplálásnál időben jól elkülönülnek a bevezetés, a reakció és az elvezetés folyamatai. A reaktoron belül a folyadékfázis teljesen elkevert, ezért többnyire olyan műveletekben használjuk, ahol koncentrált anyagok hígítására van szükség. A szennyvíztisztításban az SBR (Sequenced Batch Reactor) technológia is ezen az elven működik. A szakaszos üzemvitel miatt a telepre érkező szennyvízárámot általában kiegyenlítő medencébe vezetik, ahonnan bizonyos időközönként a biológia táplálása megtörténik. A kiegyenlítő medence alkalmazása akkor küszöbölhető ki, ha rendelkezésre áll megfelelő számú párhuzamos technológiai sor, hiszen ekkor az üzemrend kialakítható úgy, hogy az érkező szennyvíz mindig az éppen töltési ciklusban lévő sorra érkezzen.

A reaktorok kialakításuk szerint lehetnek üstreaktorok vagy csőreaktorok, melyek elsősorban nem az alakjukra, hanem a bennük lévő komponensek eloszlására utalnak. Üstreaktorok esetén a komponensek eloszlása egyenletes, azonos koncentrációk mérhetők a reaktor bármely pontján. Az üstreaktorok lehetnek szakaszos üzemvitelűek (STR: Stirred Tank Reactor) és folyamatos üzeműek (CSTR: Completely Stirred Tank Reactor). A csőreaktorokban ezzel szemben a komponenseknek áramlás irányú eloszlása van, bennük ún. dugattyú áramlás alakul ki (PFR: Plug Flow Reactor). Ez esetben csak folyamatos üzemvitelről beszélhetünk, szakaszos csőreaktor nem létezik. Ideális csőreaktorok nem rendelkeznek hosszirányú diszperzióval, ezért a kilépési szelvényben vizsgált részecskék azonos időt töltek a rendszerben. Ahhoz, hogy egy eleveniszapos technológia reaktorkialakítását hasonlítani tudjuk a csőreaktorhoz, a szélesség/hosszúság aránynak legalább 10:1-hez kell lennie. A medencében kerülni kell a túlzott turbulencia és az általa okozott megnövekedett hosszirányú diszperzió létrejöttét (Metcalf és Eddy 2003). Történelmileg az ilyen csőreaktorok kiépítésének célja a fonalas szervezetek visszaszorítása volt, azonban a hossz mentén az oxigénigény egyenetlenségét okozza, ami azt is jelenti, hogy az egyenletes légbefúvás kevésbé bizonyul hatékonynak (Kárpáti 2005). Lépcsős oxigénbevezetésnél viszont felmerülhet az a probléma, hogy a reaktor végén kiülepedéssel kell számolnunk.

Reális reaktormodell az előbb tárgyalt üst és csőreaktor, mint két idealizált reaktor modell kombinációjaként jöhet létre, attól függően, hogy melyik irányból közelítünk. Ha a kiindulás az üstreaktor, akkor a reaktor kaszkádolásával, vagyis egyre több tag bevezetésével és sorba kötésével térhetünk el a teljesen elkevert állapottól. Végtelen számú elem sorba kapcsolása a csőreaktorban létrejövő dugattyúszerű áramláshoz közelít. Azonban, ha a dugattyúáramlásból indulunk ki, és a jól kevert reaktor felé haladunk, akkor ezt a diszperziós tényező növelésével tehetjük meg, és elméletben a végtelen diszperzió teljes elkeveredést eredményezne. Számításaink során a több



sorba kapcsolt üstreaktor típusú közelítésből indulunk ki, hiszen az anyagforgalmi modellezésen alapuló szimulátorokban csak erre van lehetőség. Vagyis azt fogjuk vizsgálni, hogy a modell hány reaktorelem beépítésével adja vissza a mért értékeket. Ugyanis lehet, hogy a valóságban egy hosszú medencetérrel rendelkezünk, de hidrodinamikailag az több részre osztható.

Gyakorlati tapasztalatunk, hogy adott hosszúság/szélesség arányú medence fix biofilmhordozós és eleveniszapos rendszernél más reaktormodell alkalmazandó. Fixfilmes rendszernél kisebb arányszám is elegendő a koncentrációgradiens létrehozásához, vagyis anélkül, hogy terelőlapokat helyeznénk el a medencében, a csőáramlásnak megfelelő diverzitás tapasztalható a biofilm összetételben.

Ezek alapján a rögzített biofilmek leírására használt reaktormodellek esetében az alábbi kérdésekre keressük a választ:

- (i) szükséges e terelőfalak alkalmazása a reaktorterek elválasztására
- (ii) kaszkádolással elérhető e az iszaphozam csökkentés
- (iii) a belső recirkuláció hatása fixfilmes rendszerek szennyezőeltávolítási határfokára

Az egyes kérdések megválaszolásához anyagforgalmi modellezést hajtottunk végre, és ahol rendelkezésre állt, az eredményeket laboratóriumi mérésekkel hasonlítottuk össze.

## MODELLEK ÉS SZIMULÁTOROK

Az anyagforgalmi modellezés egyik célja, hogy előre jelezze a szennyvízkomponensek adott körülmények (reaktorméret, üzemeltetési paraméterek) közötti lebontását. Elsősorban a különböző biológia folyamatok kinetikájának leírása kerül a középpontba. A legelterjedtebb modellcsalád az IWA munkacsoportja által megalkotott eleveniszapos modelleszalád (ASM: Activated Sludge Model), mely jól alkalmazható fixfilmes rendszerekre is. Az alapmodellek az idők folyamán jelentősen kibővültek; a szennyvíztisztítás 8 alapfolyamatát kibővítették több mint 50 folyamat leírására, mindamelllett, hogy a modell paramétereit is finomhangolták (Henze 1987, 1995), ugyanakkor a leírandó folyamatok bővülése a számítási időigényt némely esetben szükségtelenül megnövelte. Az általunk vizsgált fixfilmes rendszer leírására az ASM2d modellt alkalmazzuk (Henze 1995), mely összesen 21 részfolyamatot különít el. Figyelembe veszi a lassan bontható szubsztrátok anaerob, anoxikus és oxikus térben való bontását, oxikus és anoxikus szaporodás folyamatait, a szervesanyagok fermentációját, a heterotróf baktériumok pusztulását, a fermentációs termékek betárolását, a polifoszfát betárolását anoxikus és oxikus körülmények között, a foszforakkumuláló baktériumok szaporodását, betárolt termékek pusztulását és bomlását, az autotróf baktériumok szaporodását, pusztulását és bomlását, a vegyszeres foszforkicsapást és a foszfor visszaoldódását. A folyamatok és paramétereik számossága miatt a modellek jobban áttekinthetők mátrixos formában az ún. Petersen-mátrix segítségével, melyek a szimulátorprogramok alapját képezik. A mátrix sorai bő-

víthetők, újabb folyamatok hozzáadhatók. Fixfilmes rendszernél erre szükség lehet az esetben, ha nagy tartózkodási idővel és magasabb rendű szervezetek megjelenésével számolunk például az inert anyag felvétele által.

A modellalkotás a befolyó szennyvíz karakterizációjával kezdődik, vagyis a vizsgálandó szennyező komponensek transzportegyenleteinek kezdeti értékét kell megadni mérések segítségével. A mérések azonban gyakran kompozit paraméterekre terjednek ki, mint például a kémiai oxigénigény (KOI), biológiai oxigénigény (BOI<sub>s</sub>), melyet fel kell bontani kisebb egységekre, frakciókra (Choi és társai 2005). Számításaink során a KOI frakcionálását végezzük el, vagyis a homogén mintából mért KOI értéket felbontjuk gyorsan bontható, lassan bontható, oldható inert és lebegő inert részekre. A gyorsan bontható, vagyis könnyen felvehető KOI szerepe a denitrifikáció eredményességében döntő szerepet vállal, a lebegő inert frakció ülepítéssel választható le, az oldható inert anyag viszont a rendszeren könnyen átjuthat, hiszen a biológiai folyamatok szempontjából közömbösnek számít, és vegyszeres behatás nélkül le sem választható. Az egyes frakciók meghatározása történhet mérésrel; például a szűrt mintából mért KOI-vel meghatározhatjuk az oldott frakciót, vagy az ún. NUR teszttel, mely során anoxikus körülmények között az eleveniszaphoz szennyvizet és nitrátot adunk. A nitrát-redukáló baktériumok elhasználják a könnyen bontható tápanyagot és a nitrátot, mint elektron akceptort. Ha a mért értékeket lineáris trendvonalakkal közelítjük, két, eltérő meredekségű szakaszt kapunk: az első meredekebb, ekkor használják a baktériumok a könnyen bontható szubsztrátot. A második szakaszban a nehezen bontható frakciót használják (Ekama és társai 1986). Azonban nem mindig van lehetőség a mérések kivitelezéséhez, ekkor mérnöki becslés alapján az egyes frakciók arányával közelítünk.

A befolyó szennyvíz felbontása után a technológia műveleti egységeit és azok kapcsolatait kell meghatározni. GPS-X szimulátort alkalmazva a kaszkádreaktor-modell megadására két lehetőség van: vagy egy egységen belül állítjuk be a sorosan kapcsolt részegységek számát, vagy különálló CSTR-eket helyezünk el. Az egységek közötti kommunikáció csak előre beállított anyagáramok definiálásával lehetséges, a modell nem veszi figyelembe a diffúziót.

A modell a fix hordozós, fixfilmes rendszerhez való adaptálása a kalibrálással kezdődött, majd ezután a három vizsgálat mindegyikét ugyanazon rendszeren végeztük, vagyis a reaktortérfogatok, a hordozókitöltöttség, a szennyvíz jellege azonos volt, a környezeti jellemzők, a pillanatnyi szennyvíz minőség, üzemeltetési paraméterek kismértékben eltértek. Jelen tanulmány nem részletezi a kalibrálás folyamatát, mely megtalálható az InControl Solution Inc. jelentésében (Schraa 2014). A kalibrálás időben állandósult reaktorbeli biomasszatömeg elérését feltételezi, melyre a vizsgált időtartamon belül közel állandó elfolyó lebegőanyagkoncentráció enged következtetni. A kalibrálás egymást követő lépések sorozatából áll, ahol a mért és szimulált érték közötti különbséget előre meghatározott tartományon belül kell tartani. Fixfilmes rendszereknél az IWA GMP (Good Modelling Practice) iránymu-

tatása szerint a következő sorrendben végeztük el a közeletítést: iszaptermelés egyezése, ülepítés, nitrifikáció, denitrifikáció, többletfoszforeltávolítás, kémiai kicsapás, oxigénátadás beállítása (Rieger és társai 2013). A fixfilmes rendszer főbb kalibrálási paraméterei a következők: (i) heterotróf mikroorganizmusok száma anoxikus környezetben, (ii) biofilm tömege a reaktor elején egysegnyi felületű hordozóra vetítve, majd a reaktor mentén ennek a csökkenése és a (iii) folyadékfilm vastagsága a biofilm felületén.

A heterotróf mikroorganizmusok csak egy része tud denitrifikálni, mégpedig azok, amelyek erre rászorulnak. Ebből kifolyólag a biofilm felsőbb rétegeiben a jó oxigénellátottság miatt ilyen élőlényekkel nem találkozunk. Az anoxikus környezetben élő heterotrófok és az összes heterotróf mikroorganizmus aránya, mint kalibrálási paraméter megmutatja a biofilmrétegekben az oxigéndiffúzió hatásfokát. A paramétert addig kell a modellben változtatni, amíg a modell által számolt és a mért  $\text{NO}_x$  értékek jó egyezést mutatnak. A vizsgált telepen ez az érték 0,35-re adódott.

Az egysegnyi hordozó felületre számított biofilmtömeg segítségével a biofilmvastagság célértéke meghatározható. A biokinetikai egyenletek próbálják elérni ezt a célértéket, de az egyezés nem lehet tökéletes, mivel a valódi vastagságot a KOI, TSS is befolyásolja. Vagyis azok a célértéket módosítják, és ezért fokozatos közelítés szükséges. A vizsgált rendszerben a legelső reaktorban  $150 \text{ g/m}^2$  a paraméter értéke. Két reaktor között a biofilmvastagság 8%-al csökkent.

A folyadékfilm vastagsága a szennyvízben található különböző komponensek diffúzióját szabja meg. Alapvetően a hidrodinamikai viszonyok befolyásolják, mely elsősorban a levegőztetés keveredést elősegítő hatásából származik. Nagyobb levegőztetési intenzitás mellett vékonyabb lesz ez a lamináris határreteg, és a főtömeg és biofilm közötti anyagtranszport is hatékonyabb lesz. A paraméter behangolása a mért ammónium-nitrogén értékek alapján történik. A kalibrálás eredményeképp a vizsgált rendszer elején a határretegvastagság 200 mikrométer, amely a rendszer végére 75 mikrométerre csökkent (Schraa 2014).

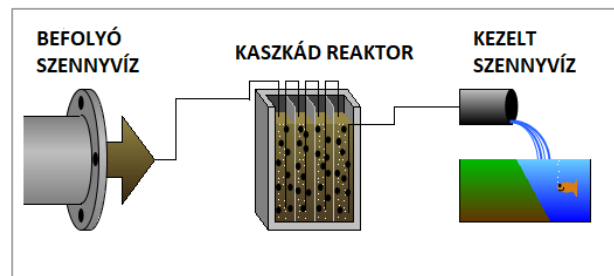
Az előző fejezetben feltett kérdések megválaszolásához a kalibrált modellel végeztük el a számításokat és a következő fejezetben mutatjuk be az elért eredményeket.

## EREDMÉNYEK

### Reaktortér felbontásának hatása a kezelt víz minőségére

Ahogy a reaktormodellek tárgyalásánál láttuk, a nagyobb koncentrációgradiens létrehozásához a meglévő térfogatot több kisebb elemre szükséges osztani, és ezeket sorba kötni, kaskádolni. Ezzel kapcsolatban felmerül a kérdés, meddig éri meg ezt a felosztást elvégezni, vagyis érdemes-e meglévő biofilmes, fix hordozós technológiákba terelőfalakat építeni. Ennek megválaszolásához a kalibrált modellel használtuk fel, majd a modellben elvégezve a kaskádolást, annak eredményei alapján döntöttünk a beavatkozás szükségességéről.

A vizsgált reaktorkaskád 6 elemből áll, melyek egyenként jól elkevertek. A befolyó szennyvíz a vizsgált időszakban  $18\text{--}20^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, a hidraulikai tartózkodási idő a rendszerben 16-17 óra, a levegőztetett medencékben  $3,5\text{--}4,0 \text{ mg/l}$  oldott oxigén koncentrációt tartunk fent. Az anoxikus térfogatarány a teljes reaktortérfogathoz viszonyítva 33%. Az utolsó reaktorból az első reaktorba belső recirkulációt alkalmazunk kétszeres befolyó vízmennyiséget használva. A biomassza nagy része kötött állapotban van, ezért iszaprecirkuláció nem szükséges. A szuszpendált állapotban lévő biomassza koncentrációja a befolyó lebegőanyagkoncentrációval vethető össze, közel  $200 \text{ mg/l}$ -es. A biofilm hordozó a relatív felülete  $15,6 \text{ m}^2$  hordozó/ $\text{m}^3$  medencetérfogat. A rendszer modellbeli összeállítását az 1. ábra mutatja, mely három részből áll: a befolyó szennyvíz mennyiségi és minőségi megadásából (influent), a biológiai fokozat reaktorkaskádjából (cascade), ahol ugyan a modell layout nem mutatja az IR anyagáramát, de ettől függetlenül számol vele. Az elfolyó kezelt szennyvízminőséget a harmadik elemen jeleníthetjük meg. A számítás szempontjából nincs jelentősége, csak vizuális segítségként fogható fel ez az elem (effluent).



1. ábra. Az alkalmazott biokinetikai modell felépítése  
Figure 1. Structure of the applied biokinetic model

Az átlagos befolyó szennyvíz  $532 \text{ mg/l}$  KOI-vel rendelkezik. Ebből az oldott frakció  $200 \text{ mg/l}$ , a partikulált rész  $332 \text{ mg/l}$ . A modell számára tovább bontva a frakciókat az előző fejezetben bemutatott KOI frakcionálásának elveit betartva, az oldott inert, a könnyen bontható, a partikulált inert és a lassan bontható KOI rendre: 40, 160, 50 és  $283 \text{ mg/l}$ .

A modell számára bemeneti paraméter a VSS/TSS arány is, mely a lebegőanyag szervesanyag-tartalmát (VSS) viszonyítja az összes lebegőanyag tartalomhoz. Ez jelen esetben 0,93-ra adódott, mely viszonylag magas az irodalom által átlagértékekre meghatározott 0,75-0,9-höz képest. A partikulált KOI és VSS aránya 1,55-re adódott (irodalmi érték: 1,4-2,1), (Huo és társai 2006).

A számításokat GPS-X 6.3 szimulátorral végeztük, időben állandósult állapotot feltételezve, vagyis kezdeti feltételnek az állandósult biomassza tömeget feltételeztük. Első lépésben a valós méretek alapján felépítettük a modellt, megadtuk a befolyó szennyvíz frakciókat, és a korábbi számításokból származó kalibrációs paramétereket, majd a hat reaktoros változatot futtattuk. Ezután összevetettük a modelleredményeket a mért értékekkel (1. táblázat). Fontos kiemelni, hogy ez az elfolyó vízminőség a reaktorkaskádról elfolyó víz, vagyis még nem ülepített. Az eredményekről alapjában véve el-

mondható, hogy a rendszer – ahogy elvárható ilyen üzemeltetési paraméterek mellett – a szervesanyageltávolítás mellett nitrifikál és denitrifikál. Némi eltérés mutatkozik a mért és számított értékek között. Lebegőanyag-koncentráció tekintetében az eltérést a modellbizonytalanságon túl a mérés bizonytalansága is okozza, viszont a VSS/TSS jól egyezik a mérés és számítás között. Az alacsony ammónium koncentráció teljes nitrifikációra utal.

A következő lépésben a meglévő térfogatot osztottuk tovább úgy, hogy összesen 12 reaktorelemből álló rendszert kapjunk. Az üzemeltetési változók és a kalibrált biofilmparaméterek azonosak maradtak az előző beállítás-hoz képest. A kapott eredményeket szintén az 1. táblázat tartalmazza, melyből látszik, hogy nincs jelentős eltérés a két rendszer között. Mindegyik paraméter tekintetében látható némi csökkenés, de a különbség annyira elenyésző, hogy emiatt nem javasolt kaszkádolni.

1. táblázat. Kaszkádolás hatása az elfolyó kezelt szennyvíz minőségére (mért és számított értékek)  
Table 1. Effect of cascaded reactor on treated effluent quality (measured and simulated results)

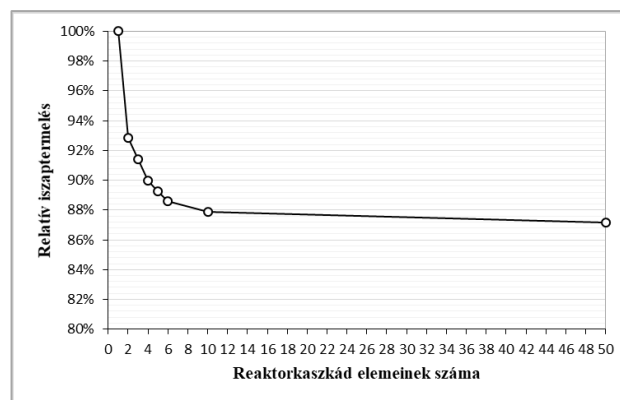
	Mért be- folyó	Mért elfolyó 6 elemes kasz- kád	Számított elfolyó 6 elemes kasz- kád	Számított elfo- lyó 12 elemes kaszkád
KOI	532	201	185	182
BOI <sub>5</sub>	300	32	44	39
TKN	68	-	2,2	2,2
NH <sub>4</sub> -N	52	1,2	0,11	0,1
NO <sub>x</sub> -N	0,52	13	14,2	14,2
TN	68,5	16,1	16,4	16,4
TSS	231	105	125	123
VSS	215	85	98	97

### Iszapöklentés kaszkádolással

Fixfilmes rendszerek iszapprodukciónak meghatározása eltér az eleveniszapos rendszerétől, hiszen nem definiált a fölősiszapmennyiség, mely egyértelműen meghatározná az iszapvonalra érkező anyagáramot. Kötött biomasza esetében, ha a rendszerben a biomaszatömeg állandósult, a megkötődési és leválási ráta megegyezik. Az iszaptermelés a leválási rátával arányos, mely egyrészt a biofilm megújulást jelenti, de számos más tényező függvénye is lehet; hidrodinamikai viszonyok, mint például a nagy nyíró erők vagy magasabb rendű élőlények segítségével is (predátor legelés) válhat le biofilm. A leválás folyamán a kötött biomasza egy része lebegő fázisba kerül, mely a folyadékárammal távozik a rendszerből. Éppen ezért célszerű a fixfilmes rendszerek iszapprodukciónak vizsgálatához a reaktorkaszkádról elfolyó TSS-t alapul venni, és a különböző modellváltozatokban ennek az értékét összehasonlítani.

A számításoknál az előző vizsgálatban figyelembe vett hatelemes kaszkádreaktorrendszerből indultunk ki, melynél két irányba történtek számítások. Egyrészt a kaszkádelemek csökkentését végeztük el annak érdekében, hogy lássuk, mennyire tekinthető optimálisnak a jelenlegi rendszer, azaz megnéztük mekkora lenne az iszaptermelés, ha 1, 2, 3, 4, 5 teljesen elkevert reaktorunk lenne. Ezután a reaktorszám növelésével (10, 50 és 100 elemű kaszkád esetében) azt vizsgáltuk, megéri-e a további elemekre bontás. Az eredményt a 2. ábra foglalja össze.

Az eredmények jobb átláthatósága miatt bevezettük a relatív iszaptermelés fogalmát, melynek százalékos értéke megmutatja, hogy az adott számú reaktorkaszkádból álló rendszerben keletkező iszap hogyan viszonyul az egy térrel rendelkező teljesen elkevert rendszer iszaptermeléséhez képest. Az ábrán nem jelenítettük meg a 100 reaktoros változat eredményét, mivel az teljesen megegyezik az 50 reaktoros változat eredményével.



2. ábra. Relatív iszaptermelés  
Figure 2. Relative sludge production

Az ábrából jól látható, hogy a jelenlegi hatelemes kaszkád iszaptermelés szempontjából már optimumnak tekinthető, további kaszkádolás lényeges javulást nem hozott. Ha viszont újonnan építendő fix hordozós biofilmes rendszert vizsgálunk, akkor az a javaslat tehető, hogy legalább 4 részre kell osztani a teret, vagy olyan hosszúság/szélesség arányt alkalmazni, mely megfelel az ilyen felosztásnak. Ekkor felmerül az a kérdés, hogyan tudjuk azt a tapasztalatot figyelembe venni, hogy nem kell tényleges terelőfalakat alkalmazni, hanem megfelelő geometriai kialakítással ugyanazt a hidraulikai/keveredési állapotot is elérhetnénk. Elsősorban meg kell vizsgálni a konvektív és diffúzív transzport arányát, melyet a dimenziómentes Peclet szám (Pe) határoz meg. Minél nagyobb a Peclet szám, annál nagyobb szerepe van a konvekciónak, vagyis a csőáramláshoz közelítünk. Az ideális dugattyúáramlást a végtelen értéknel érhetjük el. Reaktorelméleti levezetéssel meghatározható, hogy  $n=Pe/2$ , ahol  $n$  az alkalmazott reaktorok számát jelöli (Fogler 2010), vagyis a számítási eredmények alapján meghatározható, hogy az iszaptermelés a vizsgált rendszeren minimalizálható, ha biztosítjuk a  $Pe > 8$  feltételt.

### Belső recirkuláció hatása

A világ eltérő részein a kezelt szennyvízre eltérő határértékeket határoznak meg, nemcsak a konkrét koncentrációk, hanem a vizsgált komponensek tekintetében is. Indiában az elfolyó kezelt szennyvízre sok helyen nem TN-re, hanem TKN-re írnak elő, általában 10 mg/l-es határértéket, ráadásul a tervezési módszertan különbözik az általunk megszokottól, a Központi Közegészségügyi és Környezetmérnöki Szervezet (CPHEEO: Central Public Health and Environmental Engineering Organisation) ajánlásait veszi figyelembe (CPHEEO 2000). Az elfolyó kezelt szennyvízminőségi követelményből következik, hogy a telepen a nitrifikációnak végbe kell mennie, azonban nem szükséges denitrifikálni. Ugyan a belső recirkuláció elsődleges szerepe a denitrifikációban nyilvánul meg, de hatását a nitrifikációra a többlet folyadékáram hígító, elkeverő hatása által fejt ki, ezért javasolt az alkalmazása különösen fixfilmes rendszerekben, ahol az áramlás keverő hatását különösképp erősíti a rendszerben jelen lévő többlet áramlási energia. Alkalmazása során általában elegendő az 50%-os befolyó szennyvízáramnak megfelelő recirkuláció. Ahhoz, hogy ezt a másodlagos hatást figyelembe tudjuk venni, olyan rendszert kell vizsgálnunk, melyben a nitrifikáció végbemegy, de nem szükséges denitrifikálni, vagyis anoxikus teret nem kell létrehozni. A vizsgálat célja, hogy numerikus szimulációkkal meghatározzuk milyen mértékben segíti a belső recirkuláció a nitrifikációt különböző elemű reaktorkaszád rendszerben és meghatározzuk, mikor érdemes az alkalmazása.

A vizsgált időszak kéthetes átlagos befolyó szennyvíz KOI értéke 474 mg/l volt. Ebből az oldott frakció 323 mg/l, az ülepíthető partikulált rész viszonylag kevés, 151 mg/l koncentrációval rendelkezett. A KOI frakciókat tekintve az oldott inert, a könnyen bontható, a partikulált inert és a lassan bontható KOI frakció rendre: 61, 259, 27 és 123 mg/l-re adódott. A lebegőanyagkoncentráció 236 mg/l, az összes Kjeldahl-nitrogén 61 mg/l volt, mely utóbbi a szerves nitrogén és ammónium-nitrogén-t tartalmazza, viszont a nitrit- és nitrát-nitrogént nem veszi figyelembe. A VSS/TSS arány 0,75-ös átlagos értéket vett fel. A szennyvíz hőmérséklete a vizsgált időszakban 20-21°C-os, mely kedvez a nitrifikációnak. Az átlagos hidraulikai tartózkodási idő 14-15 h. A biofilm paraméterek megegyeznek az előző alfejezetekben használt értékekkel.

A modellszámításokat 1, 2, 4, 6, 10 és 20 elemű reaktorkaszádra végeztük el (a teljes reaktortérfogat, az oldott oxigénkoncentráció és IR nagysága minden esetben ugyanakkora volt) IR alkalmazásával és anélkül. A vizsgált elfolyó paraméter az ammónium-nitrogén volt, mely eredmények összefoglalását a 2. táblázat mutatja. A szimulációk során szén és foszfor limitációval nem lépett fel.

A 2. táblázat alapján elmondható, ha teljesen elkevert reaktorunk (1) van, akkor az elfolyó határértékben nincs szerepe az IR alkalmazásának vagy elhagyásának. Ez érthető, hiszen éppen a teljesen elkevert reaktormodell definíciója miatt az adott reaktorból elvett, majd ugyanabba visszajutatott anyagáram pillanatszerűen elkeveredik. Nem értelmezhető ilyen formán az sem, hogy a reaktor végéből vesszük el az IR-t és az elejébe juttatjuk vissza, mivel teljesen homogén a rendszerünk. Ebből viszont az

is következik, hogy egy medencetérrel rendelkező, IR-t használó rendszerek modellezésében is alkalmazni kell a reaktorkaszádot, mintegy a medencetér virtuális felosztásával.

2. táblázat. Különböző szimulációs változatok elfolyó ammónium-nitrogén értékei mg/l-ben kifejezve

Table 2. Effluent  $NH_4-N$  in mg/l in various model setups

	1 re- ak- tor	2 re- ak- tor	4 re- ak- tor	6 re- ak- tor	10 re- ak- tor	20 re- ak- tor
Nincs belső recirkuláció	1,5	0,8	0,52	0,42	0,37	0,37
Van belső recirkuláció	1,5	0,5	0,41	0,38	0,37	0,37

Ha az IR nélküli változatot nézzük, akkor az is látható, hogy a reaktorszám növelésével az elfolyó vízminőség javul. Ennek oka a már korábban tárgyalt koncentráció gradiens létrehozása lehet. Nagy reaktorszámoknál újabb kaszkádelem bevezetése már nem éri meg, jelentős változást már nem tapasztalunk. Ha belső recirkulációt alkalmazunk, 2 reaktorkaszád elemnél (ahol a második reaktorból vezetjük az első reaktorba az IR-t), akkor jobb elfolyó ammónium-nitrogént kapunk, mint IR nélkül 2 reaktoros esetben, melynek oka a hígító hatás lehet. Nagyobb reaktorszámok esetében viszont eltűnik a különbség, nem éri meg a belső recirkuláció alkalmazása. Ennek magyarázata, hogy az IR a konvektív áramlást növeli, vagyis az adott ugyanolyan reaktorelrendezést vizsgálva az IR alkalmazása a Pe is számot növeli, vagyis egy adott technológia, melybe a az IR-t bevezetjük, viselkedése jobban fog közelíteni a csőreaktorok viselkedéséhez. Ezzel szemben, ha a reaktorkaszádunk nagy elemű vagy az áramlás már alpból dugattyúáramlással közelíthető, akkor az IR bevezetése nem ad nyereséget ugyanúgy, mint az IR nélküli 10, illetve 20 elemű kaszkád között sem volt különbség.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az anyagforgalmi modellekben használatos reaktormodelleket érdemes újra gondolni, a modellben használatos reaktorszámot nem a tényleges reaktorszámunk megfelelően, hanem a valós hidrodinamikai viszonyoknak megfelelően kell megadni. A fix hordozóhoz kötött biomasszát alkalmazó rendszerek teljes elkeverése nehézségekbe ütközik, a valós reaktormodellük közelít a csőáramláshoz, hidrodinamikai okokból és a biomassza kötöttségéből adódóan a rendszer önmagát kaszkádolja. Éppen ezért korlátozott lehetőség adódik az olyan irányú technológiafejlesztési javaslatok felhasználására, melyek a rendszer kaszkádolásának előnyét feltételezik, hiszen további jelentősnek tekinthető elfolyó vízminőségjavulást nem tapasztaltunk. A vizsgált hatelemes kaszkád izzaprodukcója már optimalizált, az egyelemű teljesen elkevert reaktorhoz képest 10-15%-kal kevesebb izzapvonatra jutó szárazanyag-tartalmat eredményezett. A kutatás során továbbá megállapítottuk, hogy a belső recirkuláció alkalmazása a reaktormodellre is hatással volt, növelte a konvektív anyagtranszportot, ezért a medencék áramlási viselkedése a dugattyúáramlás irányába tolódott el.



A számítások során az anyagforgalmon alapuló szimulációs rendszerben a reaktorkaszkád elemeit változtattuk és meghatároztuk, hogy érdemes-e olyan beavatkozást tenni, amely a hidraulikai reaktormodellt megváltoztatja számunkra kedvező irányba, vagyis a kaszkádelemen keresztül az adott folyamat szempontjából optimális Peclet számot adja. Ez nem feltétlen terelőlapok általi tényleges reaktorelkülönítés, hanem egyéb hidrodinamikai beavatkozások is lehet. A kutatás folytatásaként a meglévő reaktorok valós áramlási képét figyelembe véve, az adott rendszerre jellemző átlagos Peclet számot (hányelemű kaszkádként működik az adott rendszer) határozzuk meg, annak reményében, hogy az anyagforgalmi modelleket a numerikus áramlási szimulációk segítségével pontosíthatjuk.

## IRODALOMJEGYZÉK

Che G.H., Yip W.K., Mo H.K., Liu Y. (2001). Effect of sludge fasting/feasting on growth of activated sludge cultures. *Water Res.*, 35(4), 1029-37.

Choi E. H., Klapwijk B., Mels A., Brouwer, H. (2005). Evaluation of wastewater characterization methods. *Water science and technology*, 52(10-11), 61-68.

CPHEEO (2000). *Manual on Sewerage and Sewage Treatment System*. Central Public Health and Environmental Engineering, New Delhi, India

Ekama G. A., Dold P. L., Marais G. V. R. (1986). Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems. *Wat. Sci. Tech.*, 18(6), 91-114.

Fogler, H. S. (2010). *Essentials of chemical reaction engineering*. Pearson Education.

García D., Alcántara C., Blanco S., Pérez R., Bolado S., Muñoz R. (2017). Enhanced carbon, nitrogen and phosphorus removal from domestic wastewater in a novel anoxic-aerobic photobioreactor coupled with biogas upgrading. *Chemical Engineering Journal*, 313, 424-434.

Hamer G. (1985). Lysis and "cryptic" growth in wastewater and sludge treatment processes. *Acta Biotechnologica*, 5(2), 117-127. doi: 10.1002/abio.370050202

Henze M., Grady C.P.L., Gujer W., Marais G.v.R., Matsuo, T. (1987). *Activated sludge model No. 1*. IAWPRC Scientific and Technical Report No.3. London: IAWPRC.

Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel, M.C., Marais, G.v.R. (1995). *Activated sludge model No. 2*. IAWQ Scientific and Technical Report No.3. London:IAWQ.

## A SZERZŐ



**KARCHES TAMÁS** Környezetmérnök MSc, mérnök-tanár MA, vízellátás-csatornázás és környezetegészségügyi szakmérnök, okleveles szakfordító, PhD-vel rendelkezik építőmérnöki tudományok területén. Kutatási területe a szennyezőanyag transzport modellek és a numerikus áramlástan a szennyvíztisztításban. Jelenleg a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Vízudományi Karán főiskolai docens.

Huo J., Jiang Y., Seaver W.L., Robinson R.B., Cox C.D. (2006). Statistically based design of wastewater treatment plants (WWTPs) using Monte Carlo simulation of Activated Sludge Model No. 1 (ASM1). In *World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns*, 1-10.

Jørgensen M.H. (1977). Determination of yield for growth and endogenous metabolism in the activated sludge process. *European J. Appl. Microbiol.*, 3:313. doi:10.1007/BF01263331

Kárpáti Á. (2005). *Szennyvíztisztítás fejlesztésének, szimulációjának, ellenőrzésének újabb eredményei*. Tanulmánygyűjtemény 11. Veszprém: Veszprémi Egyetem környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék.

Metcalf and Eddy (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill.

Nguyen D. D., Ngo H. H., Yoon Y. S. (2016). Effect of internal recycling ratios on biomass parameters and simultaneous reduction of nitrogen and organic matter in hybrid treatment system. *Ecological Engineering.*, 89, 24-31.

Ratsak C.H., Verkuijlen J. (2006). Sludge reduction by predatory activity of aquatic oligochaetes in wastewater treatment plants: science or fiction? A review. *J. Hydrobiologia*, 564(1), 197-211. doi: 10.1007/s10750-005-1719-7

Rieger R., Gillot S., Langergraber G., Ohtsuki T., Shaw A., Takács I., Winkler S. (2013). Guidelines for Using Activated Sludge Models. *Scientific and Technical Report No. 22*, IWA Publishing, London, UK.

Schraa O. (2014). Calibration and Validation of the Telki FCR Pilot Plant Model, Technical Report, inCTRL Solutions, Oakville.

Tamis J., van Schouwenburg G., Kleerebezem R., van Loosdrecht MC. (2011). A full scale worm reactor for efficient sludge reduction by predation in wastewater treatment plant. *Water Res.*, 45(18), 5916-24. doi: 10.1016/j.watres.2011.08.046

Vajda D., Orgoványi P., Reszl Á. (2016). A szolnoki cukorgyár szennyvíztisztító tavai. Dél-Magyarországi Tehetségpontok II. Találkozója Tanulmánykötet, ISBN 9786155429200.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A mű a KÖFOP-2.1.2-VEKOP-15-2016-00001 azonosítószámú, „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt *Egyed István Poszt-doktori Program* keretében, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem felkérésére készült.”

## Fórum



A Hidrológiai Közlöny 96. évfolyam (2016) 2. számában életút interjút közölt Dr. Juhász József professzorral, a Magyar Hidrológiai Társaság korábbi elnökével. Az alábbiakban Juhász professzor visszaemlékezését közöljük a Társaságban végzett munkájáról, gondolatairól. A visszaemlékezést lejegyezte Fejér László, a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja, a Hidrológiai Közlöny rovatvezetője.

### Életem a Magyar Hidrológiai Társaságban

Dr. Juhász József

ny. egyetemi tanár, a Magyar Hidrológiai Társaság volt elnöke

A Budapesti Műszaki Egyetem utolsó éves hallgatójaként 1949-ben léptem be a Magyar Hidrológiai Társaságba. A második világháború minden egyesületet, így a Magyar Hidrológiai Társaságot is alaposan megtépázta. Abban az időben azonban kezdett már magához térni. A MTESZ Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége megalakulásával (1948) minden szakmai társadalmi egyesületet beteltek a MTESZ-be és ezzel biztosították az egyesületek szigorú ellenőrzését. Ettől kedve csak a MTESZ jóváhagyásával lehetett elnököt és főtitkárt „választani”. Miután a Társaság akkori elnöke Vitéz Sándor professzor 1951-ben lemondott (egy évvel később koholt vádakkal le is tartóztatták, s csak 1953-ban engedték szabadon), az egyesület tagsága Mosonyi Emil professzort választotta meg elnöknek. Ebben az időben csatlakozott a Magyar Hidrológiai Társasághoz a vízelátás, a vízművek megszűnt egyesületének tagsága. Ezzel a klasszikus hidrológiai profil hatalmasat bővült az MHT-ban.

A harminc éves hagyomány szerint ebben az időben az elnököt és a vezetőséget három évre választottuk, s az elnököt egymást követően legfeljebb kétszer lehetett megválasztani. A MTESZ később az öt éves tervekhez igazodó öt éves ciklusokat kívánt meg.

Mosonyi Emil elnöklete alatt a Társaság titkára, majd az akkor megalakított Tudományos Bizottság elnöke voltam. Így figyelemmel követhetem a Társaság fokozatos fejlődését és esetenként segíthettem is azt. A Társaság a vízműves kollégák bejövételével, majd a limnológusok és a balneológusok csatlakozásával alkalmas lett arra, hogy a központi szakosztályok mellett területi szervezeteket is létesítsen. Elnököm ebbe a munkába alaposan bevont. Rám hárult – esetenként Békési Jancsival együtt – például a szegedi, a soproni, a pécsi, a székesfehérvári, miskolci területi szervezet létrehozása. Ilyenkor el kellett menni az érintett vízügyi igazgatósághoz, és ott meggyőzni a vezetőséget és a kulcsembereket, hogy lépjenek be a Társaságba, vállaljanak benne társadalmi munkát. Nem volt könnyű. Ekkor ismertem meg több vízügyi igazgatót, például Papp Ferencet, Karászi Kálmánt, Takács Lajost. Idős, nagy tiszteletnek örvendő mérnököket kellett meggyőzni, hogy az ingyen munka a közösség

érdekeiben történik, egy olyan társaságban, aminek többen a nevét sem hallották azelőtt. Persze az a tény, hogy Mosonyi professzor az elnök – sokat segített a meggyőzésben. De, ha egyszer elfogadták a felkérést, biztos lehettem benne, hogy tisztességgel el is végzik, amit vállaltak.

Emlékszem, Szegeden az igazgató Dévény Pista bácsihoz irányított. Pista bácsi már a nyugdíjazás határán volt, és addigi munkája nyomán olyan tekintélyt vívott ki magának, hogy remegő lábakkal mentem el hozzá. Nagyon meglepett, hogy az öreg partnerként kezelt, meghallgatta érveimet, és végül elvállalta a Területi Szervezet megbízott elnökségét. Persze ezt követően a tagok még sokáig újraválasztották elnöküknek.

Érdekes helyzet alakult ki Miskolcon is. Itt a területi szervezetbe beépültek a miskolci „zsombolyosok”, azaz egy barlangkutató csoport. Ők a munkájukhoz a Társaságtól várták az anyagiak biztosítását is. Annyira kedves, lelkes, csupa szív emberek voltak, hogy eszembe sem jutott az anyagi segítséget a karbidra, kötélre stb. megtagadni. Ez ment is körülbelül egy évig, amikor a MTESZ pénztárnoka a revízió során felfedezte, és még aznap le kívánta állítani, egy kemény dörgedelem kíséretében. Napi munkámba menetelenkor nem számítottam arra, hogy sürgősen utaznom kell, de volt annyi pénzem, hogy azonnal felültem a miskolci gyorsra, miközben a zsombolyosok vezetőjét, Borbély Sanyit a titkárság értesítette jövedelemről. Iszonyúan szégyelltem magam, de közölnöm kellett velük a támogatás megvonását. Estig tárgyalunk, míg meg tudunk egyezni egy másik megoldásban. Amikor a vonathoz mentem döbbsentem rá, hogy a visszautazásra már nincs elég pénzem. Végül is jegy nélkül háromszor szállítottak le a vonatról, mire az utolsó miskolci vonattal hazaértem. De megérte, mert sikerült a zsombolyosokkal olyan megállapodásra jutnunk, hogy csapatuk feloszlásáig (megszűnésüket a kiöregedés és egyes tagok halála okozta) a Társaságban maradtak.

A Társaságban felmerült az éves vándorgyűlések rendezése. Ezeknek a szakosztályi munka mellett jelentős szakmai hatásuk volt, és igen nagy érdeklődés mellett zajlottak.

Több alkalommal volt Hévízen vándorgyűlésünk, amikre mint titkár hivatalos voltam. Emlékszem, egyik alkalommal külön vagonnal mentünk le, de a vonat nagyon sokat késett. Vacsorával vártak, de órákig hiába. Amikor megérkezünk, elmentem kezet mosni, ám döbbenet láttam, hogy a sok orvos és gyógyvizes szakember egyenesen megy az étterembe. Schulhof Ödön bácsinak ezt szövé is tettem, mire megnyugtatót: „egynapi piszok a kézen elősegíti az emésztést”. Lám most is tanultam valamit.

Esetenként a nagy rendezvények mellett eljártam különböző szakosztályi rendezvényekre is. Nagyon sokat lehetett ezekből tanulni, kiegészítve műegyetemi ismereteinket. Büszke voltam a Tudományos Bizottság elnöki tisztére. Fiatal mérnök létemre nálam sokkal tekintélyesebb tudós tagok voltak benne. Pl. Woynárovich Elek, aki akkor már nagyon elismert volt a halászok között. Miután a szakosztályok és a területi szervezetek kezében volt – és van – a tudomány művelése, ez a Bizottság lassan kimúlt.

Mosonyi Emil professzor '56-os meghurcolása után – 1964-ben Németország nyugati felébe ment, ahol egyébként hatalmas nemzetközi karriert futott be – az állami vezetés és a vízügy mindenkor vezetője döntötte el, ki legyen a Társaság elnöke. Szerencsére jól választottak, mert Papp Ferenc professzor 1961-ig tartó elnöki működése túllendítette a Társaságot a levert forradalmat követő nehéz időszakon.

Ebben az időben a Hidrológiai Közlöny szerkesztő bizottságában dolgoztam, később Illés György és Bencsik Béla elnöksége alatt alelnöki, majd társelnöki megbízatást vállaltam, mert ehhez nem kellett az állami jóváhagyás. Ebben a tisztségemben igyekeztem megőrizni a társasági hagyományokat. Heves vitám volt például Illés Györggyel, – aki akkor az OVH elnökhelyettese is volt – mert ő (Dégen Imre noszogatására) a Társaságot „Víz-gazdálkodási Társaság”-gá kívánta átkeresztelni. Végül is ebből az elgondolásból nem lett semmi.

Szomorúan láttam, hogy az éves vándorgyűlés két évenkéntire csökkent, pedig ez volt az a hely, ahol a résztvevők négy-öt szakmai témában merülhettek el, s így lényegesen bővült a látókörük.

Az 1990-ben kezdődő és ma is tartó társadalmi átalakulás az egyesületek életét is megváltoztatta. Az akkori pártállam által vezetett egyesületekből részben önálló egyesületek lettek. Azt, hogy Társaságunk nem tudta láncait teljesen ledobni, mutatta az 1990-es választás. Ekkor a Jelölő Bizottság javaslata alapján egyhangúan elnöknek jelöltek, de a legközvetlenebb munkatársamról tőlem függetlenül intézkedtek. Főtítkárnak Raum Lászlót jelölték annak érdekében, hogy továbbra is biztosítsa a „bölcsek tanácsának” befolyását. Raum Lacinak nem volt egyesületi múltja, megválasztása előtt nem is láttam. Együtt dolgozásunk közben kiderült, hogy a Társaságot szerető, tisztességes, rendes mérnök, akivel oly jól tudtam együttműködni, hogy második megválasztásomkor is őt kértem főtítkárnak. Az, hogy a Társaság tagsága gyakorlatilag egyhangúan választott meg elnöknek, nagy megtiszteltetés volt számomra. Akkor már 24 éve a Miskolci Egyetemen dolgoztam professzorként, ahol hidrogeológiai-

ával, mérnökgeológiával, vízkutatással, vízkészlet-gazdálkodással, vízi környezetvédelemmel, kútfúrással, ásvány- és gyógyvizekkel foglalkoztam. A környezet-mérnöki szakmérnöki oktatást a Veszprémi Egyetemmel közösen gondoztuk. Fontosnak éreztem, hogy a Társaság hagyományait ápolva, az elnök ne csak mérnök, hanem geológus is legyen. Magam az ELTE-n jelentkeztem doktori fokozat elnyerésére, s a kijelölt különbözet tárgyak letétele után geológiából is doktoráltam. Így folytattam a Magyarhoni Földtani Társulatból kivált Magyar Hidrológiai Társaság korábbi hagyományait.

Első elnöki ténykedéseim egyike volt az öt éves tervekhez igazodó vezetőség választási ciklust visszaállítani az eredeti három évre.

Formába kívántam rendezni a Társaságot. Ezért egy emblémát alkottam, amilyen a Magyarhoni Földtani Társulatnak is van. Már hosszabb ideje érlelődött bennem, hogy legyen a Társaság jelvénye egy tavorózsza. Köré illett a Lászlóffy Woldemár által korábban ajánlott Pro Aqua felirat (1976-ban alapította a Társaság a Pro Aqua kitüntetését). A külső körbe pedig a Társaság neve és alapításának évszáma (1917) került. Az általam lerajzolt emblémát a titkárság biztonságból elküldte egy művésznőnek, aki a tavorózsza alatti vízszintes víztükrömet hullámossá alakította, s ez lett a Társaság emblémája. Hiányoltam azt is, hogy a Társaságnak nincsen zászlója. Ezt is megcsináltattam. Azt nagyon sajnálom, hogy a további elnökségek ezt a zászlót ritkábban használják. Szép lett volna, ha a Társaság kiemelkedő tudású hölgyei közül egy, mondjuk három évenként, mint zászlóanya szalaggal díszíti.

Abban az időben még az volt a „módi”, hogy a Társaság adminisztrációját összefogó titkárnők évtizedeken át, nyugdíjazásukig szolgálták a Társaságot: Fáyné, Herke Paula, Geszlerné Szentpáli Ágnes. Mindegyikükkel dolgoztam és nagyon nagyra értékeltem a Társasággal szembeni teljes elkötelezettségüket. Ezért úgy döntöttem, hogy Geszlerné Szentpáli Ágnes – az addigi titkári titulusból – a többi egyesülethez hasonlóan – ügyvezető igazgatóvá minősítettem át, s ezzel fizetését is megemelem.

Tudtam, hogy munkájuk a Társaság eredményességének egyik alapja. Elnökségem idején végig Geszlerné Szentpáli Ágnessel dolgoztam. Ő kezdte el a tagnévsort, majd egyre több dolgot számítógépre tenni, megteremtve a mai elektronikus adminisztráció alapját, és részben a mai adminisztrációt.

Nagy gond volt a Társaság működéséhez az anyagiak biztosítása. A 90-es évek elején nem volt könnyű vállalatot és területi szervezetet találni a szükséges anyagiak előteremtésére. Az addigi „langyos víz” eltűnt és gyakorlatilag szponzorok nélkül maradtunk. Raum Lacinak és Geszlernének volt köszönhető, hogy lábon maradtunk, sőt olyasmit is tenni tudtunk, amire azóta sem volt példa.

Még társelnökként elhatároztam ugyanis, hogy marandó emléket állítunk a Társaság, illetve a vízügy nagyjainak. Ennek első lépéseként két nagy elnökünk és egy jeles vízügyi szobrárt készíttettem el Mészáros Mihálylyal, az akkori Képzőművészeti Főiskola tanárával. Vitális Sándor professzor bronz mellszobrát a Salgótarjáni

Területi szervezetünk kérésére – miután ipari munkáját döntően a Nógrádi Szénmedencében végezte – a salgótarjáni Bányászati Múzeum előtti kis téren állítottuk fel (ahonnan sajnos egy héten belül ellopták!). Papp Ferenc professzor mellszobrát pedig a Gellért Fürdő külső medencéjének falába helyeztük el 1986-ban, ahol születésnapja alkalmából sokáig meg is emlékeztünk róla. A harmadik Sajó Elemér mellszobra volt, amit a Szolnoki Területi Szervezettel egyeztetve Szolnokon a vízügyi igazgatóság épülete előtt állítottunk fel 1988-ban. Sajnos ez a szép kezdeményezés elnökségemmel együtt hamvába hullt. *(Ha szobrot nem is, mert a rendszerváltás után az anyagiak erre már nem adtak lehetőséget, de emléktáblákat állított a Társaság. Az MHT centenáriuma emléktáblát kapott Vitális Sándor a Pünkösdfürdői strandon, valamint Bogdánfy Ödön a róla elnevezett újbudai út sarkán, s felújították az említett salgótarjáni szobor talapzatán elhelyezett korábbi táblát. - A szerk. megjegyzése.)*

Büszke vagyok arra, hogy elnöki időszakom alatt a Társaság rendezvényein három alkalommal is részt vett és szólalt fel a Magyar Köztársaság elnöke, Göncz Árpád.

Első alkalommal 1990. október 16-án, az éves közgyűlésünkön vett részt meghívásunkra és tartott előadást a bős-nagymarosi vízlépcsőrendszer miatt megtámadott vízmérnöki szakma mellett. Jellemzően az akkori ellenséges hangulatra, a köztársasági elnök beszédéből egy szó sem jelent meg a sajtóban. Végül fizetett hirdetésként tudtuk megjelentetni az egyik országos napilapban (*Népszabadság, 1990. dec. 7. - a szerk. megjegyzése*). Szerencsére ez a szégyenletes kudarc nem tántorította el Társaságunk támogatásától és amikor meghívtuk, el is jött.

A legközelebbi alkalom a 1992-ik évi szegedi vándorgyűlésünkön adódott. Felkérésre nem csak a jelenlétet, hanem egy előadást is vállalt. Bejelentett érkezését 10 órára vártuk, de nem érkezett meg, csak késve. A vándorgyűlés kezdetével természetesen megvártuk, bár a kishitűek már hangoztatták, hogy nem fog eljönni. Annál nagyobb volt az öröm, amikor megérkezett. A vándorgyűlést, mint általában most is – az illetékes területi szervezetünkkel együtt szerveztük. Szegeden pedig területi szervezetünk gerincét a vízügyi igazgatóság jelentette. Nem csoda tehát, hogy az elnöki látogatásra az igazgatóság is büszke volt. Elnök úr egész délelőtt velünk maradt, behallgatott az előadásokba és csak az ebédszünetben hagyott ott bennünket.

Harmadszorra a Tisza-szabályozás megkezdésének 150-ik évfordulójára hívtam meg 1996. július 27-re, Ti-

szadobra. Itt – mint tudjuk – három emlékmű áll. Az elsőt 1865-ben arra a helyre tették, ahol Széchenyi István a Tisza-szabályozás hatalmas munkájának első kapavágását megtette. Ezt az Alsószabolcsi Tiszaszabályozó Társulat állította. A csonka gúla alakú emlékművön Szász Károly verse olvasható. Ezen a helyen folyt az ünnepség. A közelben két másik emlékmű is tiszteleg a Tisza-szabályozás jeles alakjai előtt. A helyi ármentesítő társulat id. Andrassy Gyula emlékére 1909-ben állította a három pilonon fekvő vörösréz földgömböt, hálából azért, mert a kiegyezés korszakának első miniszterelnöke, mint ottani birtokos – komoly szerepet vállalt a Tisza szabályozásának munkálataiban. A harmadik mű pedig Vásárhelyi Pál szobra. Ezt a szobrot 1969-ben állította az OVH a szabályozási terv alkotójának emlékére.

Az időjárás a szabadban való megemlékezésre egyáltalán nem volt alkalmas. Két napja esett az eső. Az urkomi magaslaton a lösz elázott, csupa sár lett minden. Feleséggemmel a tiszacsegei horgásztanyán tartózkodtunk. A miskolci VIZIG igazgatója, Pados Imre egy terepjárót küldött, hogy biztosan ott lehessünk az ünnepségen. Az emlékművet a tiszai töltésen autóval az eső miatt nem is volt könnyű megközelíteni. Ennek ellenére a többi meghívottal együtt időre megérkezett Göncz Árpád is. Kiszállt a kocsiból és beállt a megemlékezők közé. Felvette esőköpenyét, amit elmondása szerint néhány nappal azelőtt, a kecskeméti légierő bázisán kapott, amikor eleredt az eső, és ott is elhárította testőreinek fölébe tartott esernyőjét. Az ünnepségen elmondta beszédét, és végigállta az ünnepséget, majd velünk ebédelt az Andrassy kastélyban, ami akkor még gyermekotthon volt. Ebéd után búcsúzott el, amikor egyéb hivatalos kötelezettségei elszólították.

Mindhárom látogatás és az elhangzott elnöki beszédek Társaságunk történetének aranybetűs fejezetei közé tartoznak, mert sem előtte, sem azóta Magyarország államfője egyik rendezvényünket sem látogatta meg.

Amikor letöltöttem az engedélyezett hat évet, a tisztújító közgyűlésen megjelent Lotz Károly miniszter és átadta nekem a minisztérium által alapított Vásárhelyi Pál díjat (*A korra jellemző, hogy a Magyar Hidrológiai Társaság által 1970-ben alapított Vásárhelyi Pál díjat 1992-ben a KHVM átvette és állami kitüntetéssé minősítette át. Társaságunk ezt követően alapította a Kvassay Jenő díjat. - A szerk. megjegyzése*). Jól esett a megemlékezés, mert kiderült, hogy nemcsak a víz ügyét szolgáltam legjobb tudásom szerint, hanem a vízügyet is hatékonyan támogattam.



# Fórum



**Dr. Nagy István a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság nyugalmazott igazgatója több évtizedes tapasztalataira alapozva az alábbi cikkben fejti ki személyes véleményét az árvízvédelem jelenlegi helyzetéről\*.**

\* A Fórum rovatban megjelenő írások a lap szerkesztése során alkalmazott szakmai bírálati folyamatnak nem része, így ezen írások tartalma kizárólag szerzői véleményt tükröznek.

## Tévúton a magyar árvízvédelem?

Dr. Nagy István

ny. vízügyi igazgató, árvízvédelmi szakértő (nagy04@pr.hu)

### A MAGYAR ÁRÍZVÉDELEM FELADATA

A magyar árvízvédelem feladata, hogy a határokon nagy sebességgel átzúduló, majd a síkvidéki területeken lelassuló, továbbá a hazai területeken keletkező árhullámokat biztonságosan átvezesse hazánk területén, illetve tározza mindazt a vízmennyiséget, amelyet később felhasználni kívánnak, továbbá azt, amit nem lehet biztonságosan átvezetni hazánkon.

Ebből adódnak a következő feladatok:

1. Diplomáciai munkával elérni, hogy hazánk területére minél kisebb árhullámok érkezzenek.
2. A hazai árvízvédelmi rendszert olyan állapotban tartani, hogy alkalmas legyen az árhullámok biztonságos kezelésére, átvezetésére és tározására.
3. Diplomáciai munkával elérni, hogy a Dráva, a Duna és a Tisza árhullámai minél kedvezőbb feltételek mellett tudjanak kifolyni hazánk területéről.

### TÖRTÉNELMI KITEKINTÉS

Elődeink mintegy 130 évvel ezelőtt megfelelő biztonságúnak tartottak egy árvízvédelmi töltést, ha annak magassága az előírt mértékkel meghaladta a korábbi legnagyobb árvízszintet. A magassági biztonsági előírást a szegedi árvízi katasztrófa után kiegészítették a keresztmetszet minimális értékének előírásával és egyes folyószakaszokon megnövelték a biztonsági magasság előírt mértékét. Kötelezővé tették az árvízi hossz-szelvények készítését, mely az árvíz után felmért töltés magasságán, valamint a legutóbbi és a legnagyobb árvíz szintjén túl tartalmazta az árvízkor tapasztalt problémás jelenségeket is. Az árvízi hossz-szelvény így képet adott a védelmi művek állapotáról, az árvízi biztonságról. Az 1930-as években az előírást úgy módosították, hogy a magassági biztonság értékét korrigálták a legnagyobb árvíz utáni árvízszintet befolyásoló beavatkozások hatásával. Például a Dél-Borsodi nyílt árter bevédeése után, ennek számított árvízszint növelő hatásával a Közép-Tiszán megemelték az előírt korona szintet. (Itt ez az érték 2014-ig volt érvényben). 1970 után vizsgálták a töltések állékonyságát, állapotát, az altalaj és a töltés problémáinak kiszűrésére és folytatták a töltésekbe épített műtárgyak, töltéskereszteszések rendszeres ellenőrzését, állapotuk minősítését. Az árvízvédelmi töltések egyes szakaszainál előírták a jég- és hullámverés elleni védelem megtervezését is. Az árvizek

magasságának és tartósságának növekedésével a kiépített árvízvédelmi rendszerek összetett biztonsági értékelésének egyre nagyobb lett a jelentősége.

*Ihrig Dénes* 1953-ban írt cikkében elemzi a Tisza-völgy árvízvédelmi biztonságának növelésére rendelkezésre álló lehetőségeket. Megállapítja, hogy a töltések kijebb helyezése egyes kivételektől eltekintve a nagy költségek miatt nem járható út, a síkvidéki tározást elveti, szükségesnek tartja viszont a hullámtér további szűkítésének elkerülését; majd összegzésként a következőket írja: „A védőtöltések erősítése volt az egyedül járható út az elmúlt száz év alatt, és marad a jövőben is”. A cikk írásakor még nem voltak nagy földmunkagépek hazánkban, a hullámtérrel a fás növényzet még nem foglalta el, a hullámtéri fák ágait csak az árvízszint fölött engedték nőni, a fák alatti cserjét minden ősszel kitarították, a hullámtereket, a mederrézsüket olyan állapotban tartották, hogy biztosítva volt az árhullámok szabad levonulása.

Az egy évszázad alatt kialakult - jónak bizonyult - rendszeren az első kedvezőtlen változtatást az 1952-ben kiadott 8753/0/200-1/1951. KPM számú leirat idézte elő, mely ugyan megnövelte a szabadon hagyandó sávok szélességét és előírta azok árvizek lefolyását akadályozó növényzettől történő kitisztítását, ugyanakkor engedélyezte az erdőtelepítést a szabadon hagyandó sávokon kívül. Sajnos a rendeletből csak az erdősítést hajtották végre, a szabadon hagyandó sávok kitisztítása pénzügyi és politikai támogatás hiányában rövid időn belül elakadt, viszont 70 évi szünet után elindult a hullámterek beerdősítése, amely az ezredfordulón az energia ültetvények telepítésével közel tetőzött. Jelentősen rontotta a hullámtér vízvezető képességét hosszabb távon az, hogy a második vízügyi törvényből (1964) kimaradt az első törvényben még megtalálható következő rész: „49. §. Töltések közé fogott folyóknál a töltések közötti előtérrel a műszakilag megállapított megfelelő normál szélességben, nemkülönben a fakadó és szivárgó vizek ellen való védelemre szükséges területeken csak a közmunka- és közlekedésügyi miniszter által rendelti úton megállapított művelési módok alkalmazhatók.”

Ezen előírás hiánya miatt az addigi rét-legelők, szántók helyét műveletlen erdők, üdülőtelepek, nyári gátak és áthatolhatatlan sűrű fás növényzet stb. foglalta el. Ennek

következtében a hullámterek vízvezető képessége jelentősen lecsökkent, a hordalék kiülepedése meggyorsult, az árvízszintek korábban elképzelhetetlen magasságúra emelkedtek. A hullámtér vízvezető képességének javítására tett, illetve tervezett intézkedések politikai támogatás nélkül sorra kudarcot vallottak. *A hullámterek jelenlegi állapota országunk szégyene, a társadalmi felelőtlenség mintapéldája.*

### MÉRTÉKADÓ ÁRVÍZSZINTEK

Az OVH - 1973-ban a kormány által is elfogadott - „Vízgazdálkodási Távlati Fejlesztési Koncepció”-ban fogalmazta meg az árvízvédelmi biztonság új követelményeit. Többek között a következőt: „Az árvízvédelmi műveket úgy kell fejleszteni, hogy a fővédvonalak átlagosan 100 évenként, a városok és ipartelepek védvonalai legalább az átlagosan 120-150 évenként, (Budapest, Győr, Szeged stb.) védvonalai az átlagosan 1000 évenként, egyszer előforduló *árvizek ellen* nyújtsanak védelmet.” Sajnos a VITUKI-t a mértékadó árvizek meghatározása helyett a *mértékadónak nevezett árvízszintek* meghatározására utasították.

Az 1976-ban kiadott mértékadó árvízszintekről és biztonsági magasságról szóló OVH elnökhelyettesi utasítás általában megtartotta a töltések koronaszintjére vonatkozó korábbi magassági előírásokat, egyes helyeken kis mértékben megemelte azokat. Statisztikakészítési előírás módosításával elérték, hogy az árvízvédelmi töltések előírás szerinti kiépítettsége az új utasítás kiadása után sem csökkent, így hajtották végre az OVH a számára előírt párthatározatot. (1978-ban az előírásoknak megfelelően az árvízvédelmi töltések 51%-a volt kiépítve). Az OVH kiadványban a mértékadó árvízszintet a következőképpen jellemezték: „A mértékadó árvízszint, az ország valamennyi folyójára a számított 100 éves átlagos visszatérési idejű jégmentes árvízszint a következő kivételekkel, ... .” Elhagyták azt a fontos tény, hogy a VITUKI a számításokat az 1970-es meder állapotra készítette, a korábbi vízállásokat az általa választott módon átszámolta a folyók 1970-es mederállapotára, és az így kapott adatsorral határozta meg a mértékadónak nevezett árvízszinteket, amelyeket az OVH aktuálpolitikai érdekből részben módosított is. A VITUKI szerint a *mértékadó árvízszint értéke függ a meder állapotától, ezért az egy folyamatosan változó érték.*

#### A mértékadó árvízszintekkel kapcsolatos hibák

Az új mértékadó árvízszintek kiadásával egyidejűleg több nagy hibát követtek el:

1. *Megszüntették az árvízvédelmi magassági biztonság előírását.*
2. Mértékadónak számított árvízszint utasításban változatlan értéként való előírása - egyes esetekben több évtizedre - alapvető szakmai hiba, amely később igen súlyos következményekkel járt.
3. Szakmai körökben és a sajtóban megjelenő írásokban a mértékadóra kiépített árvízvédelmi töltést száz évenként- egyes esetekben ezer évenként - egyszer előforduló árvízszint biztonságos levezetésére alkalmasnak jellemezték, ezzel téves biztonsági érzetet keltek a

társadalomban. *Azon folyók esetében, ahol a nagyvízi meder emésztőképessége, az összegyülekezési és lefolyási viszonyok folyamatosan változnak, nem értelmezhető a száz évenként egyszer előforduló árvízszint.*

4. Több folyónál az indokoltnál alacsonyabban határozták meg a mértékadó árvízszintet, vagyis ezeken a szakaszokon - fejlesztés esetén - megakadályozták a célszerű gátmagasság kialakítását, továbbá a keresztező létesítményeket is a célszerűnél alacsonyabban építették meg. Pl. a Hármas-Körös-nél volt olyan szelvény, ahol a korábbi legnagyobb árvízszint 60 cm-el haladta meg a mértékadót. Hasonló volt a helyzet a Zagyván is. (Az akkori vezetés javára írandó, hogy támogatták a Körösök és a Zagyva menti árvízi tározók megépítését).

5. Pénzügyi forrásokat elsősorban az árvízvédelmi töltések megerősítésére fordították az említett tározóépítések mellett. Lemondtak arról, hogy megszerezzék a társadalom és a politika támogatását a nagyvízi mederben szükséges beavatkozások megvalósításához. A hullámtereken a termelőszövetkezeteké, az erdészeteké (nyári gátak építése, magasítása, erdősítés) és a Nemzeti Parkoké lett a fő szerep. Az árvíz szakmai vezetés gyakorlatilag lemondott a hullámtérről, kényszerűen tudomásul vette a hullámtér vízvezető képességének folyamatos csökkenését.

6. Nem foglalkoztak a hordalék kiülepedésének kérdésével. A kiváló minőségben elkészített és közzétett mederfelvételek felhasználásával nem értékelték ki a nagyvízi mederben zajló változásokat, a hordalék lerakódásának mértékét, holott ennek feltételei adottak voltak.

Az akkor kialakult szemlélet és gondolkodásmód napjainkban is megjelenik, hisz az árvízvédekezésre rendelkezésre álló forrásokat túlnyomó részét töltések magasítására, erősítésére fordították, fordítják. Az aktuális árvízvédelmi fejlesztési tervek a nagyvízi meder emésztőképességének javítására vonatkozóan nem tartalmaztak előirányzatokat. A VITUKI még 2005 után is kapott felkérést a Tisza egy szakaszán a száz évenként egyszer előforduló árvízszint meghatározására; annak ellenére, hogy a folyó árvízszintjei ezen a szakaszon sorra lépték túl a korábban kiszámolt százévenként, sőt ezer évenként egyszer előforduló árvízszintet is! (Másik példa: a kiskörei alvízi mércén az árvízszint 1999-ben 47 cm-rel, 2000-ben 99 cm-rel, 2006-ban 50 cm-rel és 2010-ben 60 cm-rel (a Tiszaroffi tározó nyitása nélkül 74 cm-rel) lépte túl a mértékadó árvízszintet, 2000-ben a maximális vízállás a korábban számított 1000 éves átlagos visszatérési idejű árvízszintet is meghaladta, holott hasonló árvízi szituáció a korábbi 100 évben többször is előfordult).

#### AZ ÁRVÍZI BIZTONSÁGRÓL

Hazánk árvízi biztonságáról utoljára 1994-ben olvastam a KHVM belső használatra készített MAGYARORSZÁG VÍZKÁRELHÁRÍTÁSI BIZTONSÁGA” című jelentésében. Ebben a következőket írták: „Az árvízvédelmi fővédvonalak teljes hosszából a biztonságos védelemre – a 100 évenként átlagosan egyszer előforduló jégmentes árvíz ellen – a művek csak 67 %-a, (2823 km) épült ki. A fejlesztendő töltésszakaszokon (1400 km) kívül, több mint 700 db – 50 m-től 200 m-ig terjedő hosszúságú –

szakasz található, ahol a gátak állékonysága a környezetükhöz képest veszélyesen lecsökkent. Ezen belül is 257 különösen veszélyes, töltésszakadással fenyegető, sürgősen helyreállítandó szakaszt ismerünk. Továbbá a védelmi biztonságot veszélyeztető pontnak számít a töltéseket keresztező 1060 db zsilip közül az a 87, amelyet a rendszeres felülvizsgálat sürgősen átépítendőnek minősített.”

Az ezredforduló nagy árvizei új, kritikusan alacsony biztonsági helyzetet teremtettek, pl. a Közép-Tiszán 145 km-en kellett a töltéseket magasítani, illetve nyúlgátat kiépíteni; hasonló lett volna a helyzet a Felső-Tiszán is, ha nem következnek be az ukrán területen a töltésszakadások.

### Az árvízi biztonságot növelni kell

2000 novemberében a Közlekedési, Hírközlési és Vízgazdálkodási Minisztériumnak küldött javaslatomat a következővel zártam: „Az árvízcsúcsok csökkentésére tervezett (hullámtéri lefolyási viszonyok javítása, árvízvédelmi töltések kijebb helyezése, véstározók létesítése) és a garantáltan megvalósuló létesítmények és beavatkozások figyelembevételével kell meghatározni az árvízvédelmi töltések kiépítési szintjét és a töltéserősítések megvalósításának ütemét, az az EGY ÚJ „VÁSÁRHELYI” TERVET kell készíteni és elfogadni.”

### A Tisza-völgyi tározókról

Azóta megépült több árvízi tározó a Tisza-völgyben, sajnos olyan helyen is, ahol véleményem szerint más megoldást kellett volna választani (Beregi tározó). Terveznek olyan tározóépítést, amit nem szabad megépíteni (Túri tározó), mert a Tiszán érkező, az 1998. és a 2001. évihez hasonló árvíz megismétlődése esetén az árhullám a Batár töltésén keresztül hazai területre jut, mielőtt a tározó hatása érvényesülhetne. A tározók tervezésénél több olyan hiba történt, amely használhatóságukat csökkentti, feltöltésük esetén pedig nem várt problémákat fognak okozni. A javasolt, illetve tervezett hullámtéri beavatkozásokból napjainkig semmi sem valósult meg! Rákóczi falva határában viszont mintegy 6 km-es szakaszon sikerült a töltést kijebb helyezni, ezen a szakaszon a 2000. évi árvízkor a maximális esés 9 cm/km volt a környező szakaszokon jellemző 4 cm/km-rel szemben. A Tisza-völgy árvízvédelmi biztonságát rövidebb-hosszabb távon megfelelő szinten garantáló terv, program eddig nem készült. Az ilyen terv elkészítéséhez szükséges felméréseket, elemzéseket és alapozó vizsgálatokat meg sem rendelték.

### Árvízi biztonsági kockázatok

Meggyőződésem, hogy a folyók mértékadó árvízszintjeiről kiadott 74/2014. (XII. 23.) sz. BM rendelet egy újabb lépés azon az úton, amely tragikus következményekhez vezethet. A rendelet szerint:

„1. § (1) A folyók mentén és az azokba torkoló vízfolyások, csatornák visszatöltésezett szakaszain az árvízvédelmi műveket, ..... az 1. mellékletben meghatározott mértékadó árvízszintek figyelembevételével kell megtervezni és megvalósítani.

(2) A mértékadó árvízszint a jégmentes árvíznek az 1%-os valószínűségű vízhozamából származtatott vízszint ...”

A választott módszerrel számított 1%-os valószínűségű vízhozam csak egy jellemzője a lehetséges árhullámnak. Az, hogy egy folyón érkező adott csúcshozamú árhullám, egy adott folyó szakaszon milyen maximális árvízszintet alakít ki és milyen tartósságú árhullámot idéz elő, az a következőktől függ: árhullám tartósságától és tömegétől; a nagyvízi meder aktuális állapotától; a nagyvízi meder növényzetének lombos vagy lombtalan állapotától; meder teltségétől; a mellékfolyók, csatornák, belvízvédelmi szivattyútelepek milyen vízmennyiséget juttatnak a folyó medrébe; a befogadó folyó vízállásának alakulása; a tározók üzemeltetési rendje stb. Tehát, az adott árvízi szituációtól függ, hogy egy árhullám, egy adott folyószakaszon milyen tartósságú és magasságú árvízszinteket idéz elő.

Ugyanakkor a nagyvízi meder emésztőképességének változása – romlása - miatt a felső szakaszból elinduló azonos nagyságú árhullám egyre kisebb vízhozammal érkezik az alsó szakaszra, egyidejűleg tartósabb és magasabb vízállásokat létrehozva. Az előbbieket miatt a mértékadó árvízszint számításához egy önkényesen választott számítási móddal meghatározott vízhozam adat nem elegendő, sőt elfogadhatatlan nagyságú hibát rejt magában, ezért árvízvédelmi biztonság szempontjából nem használható. (Sajnálatos, hogy nem tették közzé a számításokat, a felhasznált adatbázisokat, az alkalmazott matematikai statisztikai módszert, a „származtatás” módját, hogy mikori meder állapotra készültek a számítások, a számításokhoz milyen hosszú idősorokat használtak fel stb.)

A rendelet az árvízi biztonság növelésének egyetlen módjaként a töltések, a védelmi művek megemelését írja elő kötelező jelleggel. 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. Az árvízvédelmi töltések emelése önmagában nem garancia a kívánatos árvízvédelmi biztonság elérésére, mint ahogy ezt több helyen is tapasztaltuk. (Kirávó példa Tiszabecs környéke, vagy a Közép-Tisza helyzete). Le kell szögezni: az árvízvédelmi töltések magasságának előírása nem azonos az árvízvédelmi biztonság előírásával.

A védelmi művek magasságának előírás szerinti emelése esetén a következőkkel kell számolni:

- az árvízszint emelkedésével az árvízi kockázat négyzetesen növekszik,
- a töltések magasságának növekedésével közel négyzetesen vagy gyorsabban nőnek az építési költségek,
- a hidak jelentős részét meg kell emelni a kapcsolódó vasutak, vasútállomások, közutakkal szintjével együtt,
- a védelmi művekben lévő műtárgyakat, keresztezéseket át kell építeni,
- a szivattyútelepek egy részét az emelési magasság növekedése miatt át kell építeni, vagy gép- cserét kell végrehajtani,

- a folyók menti települések belterületén a védelmi művek megemeléséhez jelentős kisajátítást kell megvalósítani, vagy különleges és drága megoldást alkalmazni,

- a visszatöltésezett csatornák és vízfolyások töltéseit is meg kell emelni, rendszerint a visszatöltésezett szakaszok hosszát is meg kell növelni, vagy a torkolatba zsiliptet és szivattyútelepet kell építeni.

*A felsorolt hátrányok miatt elengedhetetlen, hogy részletes felmérés készüljön a rendelet végrehajtásának anyagi vonzatáról, kockázatairól és egyéb következményeiről; valamint kívánatos mindezek szakmai vitára bocsátása és nemzetközi szakértők bevonása, mint ahogy az a Vásárhelyi terv esetében is történt 1836-ban.*

A töltések emelésére alapozott árvízvédelmi biztonság-növelés eredménytelenségét (finanszírozhatatlanságát)

bizonyítja, hogy a Tisza Tokaj alatti szakaszára 1932. évi árvíz után előírt kiépítést napjainkig sem sikerült megvalósítani; illetve egy 2001-es statisztika szerint az érvényes magassági előírásoknak csak a töltések 54%-a felelt meg. Az utóbbi évtizedre vonatkozóan hasonló statisztikai adat nem érhető el. (2000. évi árvíz után a Közép-Tiszán az addigi évszázados és jónak bizonyult előírás szerint a töltéseket 120-140 cm-rel kellett volna megemelni és erősíteni a korábbi biztonság elérése érdekében. Vizsgálataink alapján, az akkori költségvetési helyzetben a töltések emelése és a járulékos munkák - pl. a szolnoki, szajoli vasúti pályaudvar átépítése - finanszírozhatatlanok voltak. Mivel a hullámtéri munkákat a természetvédelem megakadályozta, ezért a társadalom által is támogatott tározóépítést választottuk, mely egyidejűleg az Alsó-Tisza-vidék árvízvédelmi helyzetét is javította).

1. keret. A folyóvölgyekben élők árvízi biztonságának növelésére rendelkezésünkre álló lehetőségek az árvízvédelmi töltések emelésén túl

#### Belföldön

- árvízi üzemirányítás: azon folyók esetében, ahol erre lehetőség van,
- árvízvédelmi töltések állékonyságának növelése az árvizek várható tartósságával összhangban,
- öblözetenként az árvízvédelmi rendszer egyenszilárdságúra való kiépítése,
- árvízvédelmi töltések kijebb helyezése, különös tekintettel a szűkületekre,
- árvízi tározók létesítése,
- véstározási lehetőségek biztosítása,
- nagyvízi mederben a megtervezett és elfogadott növényzetszabályozás megvalósítása, az árvízvédelmi szempontoknak megfelelő területhasználat és terület kezelés
- hullámtéri vízfolyási akadályok, terepi kiemelkedések eltávolítása,
- nagyvízi mederben az elfogadhatónál nagyobb visszaduzzasztást okozó létesítmények átépítése,
- középvízi meder kotrása,
- hullámtér kotrása,
- kanyarok esetén az árvízi sodorvonal mentén optimális szélességű és terep magasságú árvízi meder kialakítása,
- mint az előbbi, de vezérárok kotrásával elősegítve a kanyar lefűződését,
- szabályozott vízkivezetés: rendkívüli árvizek esetén, utolsó eszközként, a még nagyobb károk elkerülése érdekében.

Az előbbieket egészítik ki:

- árvizek esetére a védekezési képesség növelése,
- előrejelzés fejlesztés,
- lakosság tájékoztatása, felkészítése árvízi helyzetekre.

#### Külföldön

Diplomácia eszközeivel el kell érni az alábbiakat:

- folyóink külföldi vízgyűjtőjén lévő tározók üzemeltetése a magyar érdekeknek megfelelően történjen leg-  
alább akkor, ha valamely folyó magyar szakaszán az árvízszint 1 m-nél jobban megközelíti a töltés koronát,  
vagy meghaladja azt,
- vízlépcsők építésénél, üzemeltetésénél elérni a magyar érdekek figyelembevételét,
- javítsák folyóink kifolyási feltételeit, de semmiképpen ne rontsák,
- határfolyók esetén a hazai töltés védelmi képessége ne legyen alacsonyabb, mint a túloldali,
- határt metsző folyók esetén a határtól meghatározott távolságig a magyar töltés védelmi képessége ne legyen  
alacsonyabb a határon túlnál,
- folyóink külföldi vízgyűjtőjén újabb tározók építésénél és üzemeltetésénél vegyék figyelembe a magyar  
érdekeket,
- közös érdekű árvízi tározók építését,
- folyóink külföldi vízgyűjtőjén folytatott erdőgazdálkodásnál az Európai Unióban elfogadott erdő letermelési  
és megújítási szabályok betartását.

A nagyvízi meder vízvezető képességének romlása 1970. után felgyorsult. A Közép-Tiszán - az elmúlt 48 évben - 3 cm/év nagyságrendben alakult a feltöltődés. Ez azt jelenti, hogy ha napjainkban mutatkozna az 1970-es árvízi szituáció, a folyón 144 cm-rel magasabban folyna le az árhullám a tározók igénybevétele nélkül! Hasonló

mederromlás tapasztalható Tiszabecs-Tivadar között is. Ilyen ütemű mederromlás csak egy ideig ellensúlyozható a töltések emelésével, tározók építésével.

Az árvízvédelmi biztonság növelésére az 1950-es évekkel szemben ma már a töltések emelésén túl az 1. keretben felsorolt lehetőségek állnak rendelkezésünkre. A



javasoltak alkalmazásával csökkentjük a kialakuló árvíz-szinteket, vagy lassítjuk az emelkedés ütemét.

## JAVASLATOK

- A 74/2014. (XII.) BM rendelet helyett mielőbb új rendeletek kiadása szükséges.

- Külön rendeletben célszerű szabályozni az árvízvédelmi védvonalakat, védelmi műveket - beleértve az úgynevezett magas parti védvonalakat is - keresztező létesítményekre vonatkozó előírásokat. Tekintettel arra, hogy a hidakat általában 100 éves, vagy nagyobb élettartamra tervezik, célszerű a hidak magassági előírását hasonló időtávban gondolkodva kellő biztonsággal megadni.

- Külön rendeletben, vagy törvényben kell az árvízvédelmi biztonsági előírásokat árvízi öblözetekként megadni, valamint a határt képező folyókra és határt metsző folyókra vonatkozó egyedi előírásokat rögzíteni.

- Tekintettel arra, hogy az árvízvédelem esetén nem lehet abszolút biztonságot elérni, ezért a tudományos eredmények és szakmai tapasztalatok alapján, valamint az ország gazdasági teherviselő képességének figyelembevételével, politikai döntés keretében kell megválasztani a viszonyítási alapot, meghatározni az egyes árvízi öblözetekben elérendő biztonságot. Elődeink viszonyítási alapnak a korábbi legnagyobb vízszintet tekintették. A Duna, a Tisza és a Dráva vízgyűjtőjén nagyszámú tározó és vízlépcső épült, a lefolyási viszonyok és a medrek is változtak és változni fognak, a hazai folyószakaszokon az árhullámok utolérhetik egymást és egymásra torlódhatnak (Közép-Tiszán rendkívüli árvíz két, vagy három árhullám egymásra torlódása okoz). Előbbiek miatt a biztonsági előírások kialakításához a Tone folyónál alkalmazott módszer egyszerűsített változatát javaslom használni. (Japánok a figyelembe veendő árvízszintet a következőképpen határozzák meg: az elmúlt kétszáz év legkedvezőtlenebb hidrometeorológiai szituációjának megismétlődése esetén a jelenlegi összegyülekezési, lefolyási és meder viszonyok, valamint a tározók, vízlépcsők jóváhagyott üzemelési rendje mellett kialakuló vízszint. Az árvízvédelmi töltéseknek, támfaloknak 2 m-rel kell magasabbnak lenniük a kiszámolt árvízszintnél).

- A rendelkezésünkre álló adatsorok és lehetőségek figyelembevételével a mértékadó árvízi terhelés meghatározására a következőket javaslom: egy adott folyószakasznál, vagy árvízi öblözetnél az utolsó legnagyobb vízállást (LNV-t) okozó, vagy az elmúlt 50, vagy 100, vagy 150 év legkedvezőtlenebb árvízi szituációjának megismétlődése esetén a mindenkori mederállapot, valamint tározó és vízlépcső üzemeltetési rend mellett előálló árvízi terhelés legyen a meghatározó. (Amennyiben gátszakadások voltak a legkedvezőtlenebb helyzetben, az árhullámokat korrigálni kell a szakadások hatásával. A Tisza legtöbb szakaszán az 1888. évi árvízi helyzet volt a feljegyzettek közül a legkedvezőtlenebb). A mértékadónak elfogadott árvízi terhelésből számítható legnagyobb árvízszint egy folyamatosan változó érték. Az árvízvédelmi műveknek ennél mindenkor egy előírt értékkel (0.8-1.5 m) magasabbnak kell lennie. Az árvízvédelmi művek a mértékadónak elfogadott árvízi körülmények

figyelembevételével számított terhelésére méretezendők. Ha jégzajlás és hullámozás is előfordulhat, a tervezett műveknek ezek ellen is védelmet kell nyújtani. A jövőben várható változásokat (pl. éghajlatváltozás) a biztonsági érték vagy a mértékadó árhullám előírt módon való megnövelésével lehet figyelembe venni. Tekintettel arra, hogy az árvízvédelemmel kapcsolatos költségeket adókból fedezi hazánk, valamint az árvízvédelmi helyzet nagyszámú állampolgárt közvetlenül, vagy közvetve érint, ezért a biztonsági előírásokat, az alkalmazott számítási módszerekkel együtt, széleskörű egyetértés mellett javaslom elfogadni, és meghatározott időszakonként felülvizsgálni.

- Folyóink és árvízvédelmi létesítményeink jelenlegi állapotát a rendelkezésünkre álló legmodernebb technológiával mielőbb elkészítendő geodéziai-, légi- és mederfelvételek (DTM-ek) felhasználásával kell minősíteni, továbbá meghatározni a középvízi meder és a hullámtér változásának, feltöltődésének mértékét és ütemét. Le kell zárni a közel másfél évszázados vitát a hordaléknak az árvízszintet emelő hatásáról, ezzel megteremtve a hosszabb távú tervezés egyik feltételét is. Az új geodéziai adatok és nemzetközi szinten elfogadott modellek felhasználásával, valamint a legutóbbi LNV-t okozó árvízi szituáció lefutásával meg kell határozni a jelenlegi magassági biztonság mértékét, figyelembe véve a tározási lehetőségeket és a vízlépcsők tervezett üzemelési rendjét is. Ezt követően értékelni kell az egyes öblözetek összetett árvízvédelmi biztonsági helyzetét. A jelenlegi állapot, a jelenlegi árvízvédelmi biztonság megismerése, dokumentálása a döntéshozók, valamint az érdekeltek tájékoztatása érdekében is szükséges. Amennyiben a mértékadónak elfogadott árvízi szituáció nem azonos a legutóbbi LNV-t okozóval, akkor a modellezést és az összetett biztonsági értékelést a mértékadó szituációra is el kell készíteni. Előbbiekben túl prognosztizálni kell a jövőben várható és az árvízi biztonságot befolyásoló változások hatását is.

- Folyóinkon az utóbbi két évtizedben levonult nagy árhullámokkal a természet figyelmeztetett arra, hogy árvízvédelmi rendszereink nem alkalmasak azok biztonságos levezetésére, kezelésére. Vizsgálataim szerint hazánkban az árvízvédelmi biztonság – a kormányok által biztosított 100 milliárdok ellenére – folyamatosan romlik.

- Ezért programot kell kidolgozni az árvízi biztonság növelésére, a korábban készített árvízvédelmi töltés és tározóépítési tervek helyett. A program végrehajtásával az árvízi biztonságot a tervezett szintre kell emelni. A programot 7 éves, 14 éves időtávokra osztva célszerű elkészíteni a hosszú távú jövőkép felvázolásával együtt és széleskörű megvitatása után javaslom elfogadni.

- Hazánknak tudomásul kell vennie, hogy határainkon az árhullámokat nem lehet megállítani, a folyóknak új árvízi medret - rövid szakaszok kivételével - nem lehet kialakítani, ezért elsősorban a jelenlegi nagyvízi medreket kell alkalmassá tenni az árhullámok biztonságos levezetésére.

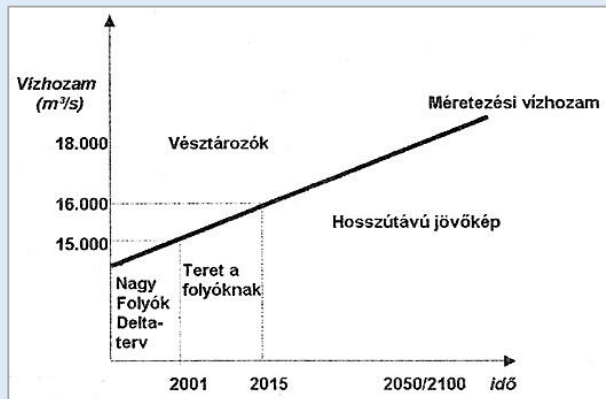
- A Tisza hazai szakaszán - amennyiben Tiszabecs és Újbecse között a hullámtéren a célszerű növényzetsza-

bályozást megvalósítják és a 650 cm feletti vízfolyási akadályokat eltávolítják - előzetes számítások szerint 70-120 cm körüli árvízszint csökkentés érhető el. Hollandiá-

ban alapos számítások után választották az árvízvédelmi a biztonság növelésére a „teret a folyóknak” programot, a töltések emelése helyett (2. keret).

## 2. keret. A holland példa

Hollandiában kiadott árvízvédelmi törvény legfontosabb szerepe, hogy jogilag rögzíti a védekezés kereteit. Jogi alapot teremt a védőművek építéséhez, fejlesztéséhez és karbantartásához, és meghatározza a biztonsági előírásokat, és azok számítási módját. Folyók esetén az árvízvédelmi töltéseket az 1250 év visszatérési idejű árvizekre méretezik. 2003-ban az összes érintett fél aláírta a vízügyi igazgatási politikára vonatkozó megállapodást (NBW), amit utóbb kétszer korszerűsítettek, változatlanul teljes egyetértésben. Hosszú távra meghatározták a tengerszint várható emelkedését, a folyók melletti területek süllyedését és a mértékadó árhullámok csúcs vízhozamának éghajlatváltozás miatt várható növekedését. Árvízi öblözetenként határozzák meg az árvízi biztonsági előírást és hosszú távra terveznek az 1. ábra szerint.



1. ábra. A Rajnával kapcsolatos országos programok és tervek

A „Teret a folyóknak” program keretében a növekvő vízhozamokat a folyómedrek emésztőképességének növelésével kívánták úgy levezetni, hogy az előírt biztonság a meglévő töltések emelése nélkül garantálható legyen. „Teret a folyóknak” program a következő beavatkozásokat irányozza elő: terelő művek magasságának csökkentése; kisvízi meder mélyítése; az ártéren lévő hidraulikai akadályok eltávolítása; a hullámterek mélyítése; töltések áthelyezése rövid szakaszon; töltések áthelyezése hosszabb szakaszon; ideiglenes árvízcsúcs-csökkentő tározók kialakítása. (Megjegyzés: a holland folyók hullámtere a felesleges növényzettől mentes, a növényzet karbantartása minden évben rendszeresen megvalósul. A holland árvízvédelmi rendszer nagyobb biztonságot nyújt, mint a csatlakozó külföldi rendszerek.)

• Tudomásul kell vennünk, hogy az árvizek biztonságos levezetésére vagy önként adjuk vissza a folyóknak a hullámtereket és további területeket, vagy a folyók vesznek vissza ennél nagyobb területeket, egyben veszélyeztetve az ott élőket. A hullámteren lévő természeti értéket féltők megnyugtatására írom a következőt: Az egyik alföldi egyetem ökológiai tanszékének három, egymást váltó vezetőjének a következő kérdést tettem fel: lehet-e a Tisza hullámterén kialakítani olyan állapotot, hogy az árvizek kedvező feltételek mellett folyhassanak le és a hullámter természeti értékekben gazdag legyen? Válaszuk a következő volt: nem csak lehet, kell is! Előbbi mondatból következik, hogy feladatunk megtervezni olyan hullámtereket ahol az árvizek kedvező feltételek mellett folyhatnak le, amelyek az átalakítás után értékes természeti területek lesznek és a kialakítandó helyzet a közelben és távolabb élő lakosság számára is kedvező lesz. (1970-es évek végén írásban javasoltam a tiszai hullámter egy részének védetté nyilvánítását. Azóta eltűntek a hullámterri legelők, szántók, helyüket erdők és dzsungelszerű növényzet foglalta el, a hullámter a vaddisznók birodalma lett.)

## ÖSSZEFOGLALÓ

Hazánk árvízvédelmi létesítményeinek magassági és összetett biztonsága kezdettől fogva fűrészfogszerűen változott. Egy-egy töltés emelése, erősítése az érintett öblözetben megnövelte a biztonságot, viszont a vízgyűjtőn, a nagyvízi mederben, valamint a védelmi művekben

lezajló természeti folyamatok állandóan csökkentették azt és fogják csökkenteni a jövőben is. Előbbiekhez járulhatnak még az emberi tevékenység kedvező, vagy kedvezőtlen hatásai is. Folyóink hullámterein 1970 után a fás növényzet gyors ütemben szaporodik, ami miatt a hordalék kiülepedése felgyorsult. A jelenlegi árvízi magassági biztonság a Tiszán kisebb, mint 1890-ben volt. Az összetett árvízvédelmi biztonságról nem rendelkezünk adatokkal, ismereteim szerint viszont az 1994-es KHVM jelentésben felsorolt kritikus helyeknek csak a töredékét szüntették meg napjainkig.

Mielőbb cselekednünk kell az árvízi biztonság növelése érdekében, nem szabad megvárni, hogy az 1879. évi szegedi katasztrófa-hoz hasonló árvízi helyzet alakuljon ki. Hazánk árvízvédelmi biztonsága nem lehet pár szakember, vagy vállalkozás belügye, annak újra nemzeti ügyé kell válnia. Az árvízvédelmi biztonság kérdése akkor válhat újra nemzeti ügyé, ha sok évtized után a döntéshozók és az állampolgárok megismerhetik a jelenlegi valóságos helyzetet és az árvízvédelmi biztonság természeti körülmények miatt várható változását, romlását.

Mielőbb programot kell készíteni és elfogadni folyóink menti védett területek árvízvédelmi biztonságának növelésére. A program elkészítéséhez, és szakmai irányításához meg kell teremteni a személyi (szakmai és tudományos) és szervezeti feltételeket, célszerűen egy állami tulajdonban lévő új szervezet, vagy szervezeti egység

felállításával, valamint hétéves feladatterv és hétéves költségvetés elfogadásával együtt. A feladatterv részletezése meghaladja ezen írás terjedelmét.

Írásomat az idézett KHVM jelentés, valamint Mosonyi Emil professzor utolsó árvízvédelmi helyzetünkkel foglalkozó írásából vett mondatokkal zárom:

„A vízkárok elleni védelem, a megelőzéstől az operatív védekezésig, Magyarország biztonságpolitikájának része kell legyen a honvédelemmel azonos kategóriában azzal a hátránnyal, hogy a vízzel „meg nem támadási szerződés” nem köthető” (KHVM 1994).

„Nem szándékozom ezen írással az „ördögöt a falra festeni”, de félek attól, hogy vakon megyünk egy katasztrófa felé, amit ismert nagytekintélyű szakértők véleménye szerint már a közeljövőben is megtörténhet. Ezt a katasztrófát elhárítani elsődrendű kötelességünk a következő generáció érdekében. ... Írással nem sérteni, hanem ébreszteni akarok” (Mosonyi 1999).

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet mondok Dr. Kozák Miklós ny. tanszékvezető egyetemi tanárnak, Dr. Vágás István címzetes egyetemi tanárnak és Dr. Kováts Gábor ny. vízügyi igazgatónak, a Magyar Mérnök Kamara volt elnökének hasznos javasla-  
taikért és írásom támogatásáért.

### IRODALOMJEGYZÉK

- Az 1885. évi XXIII. törvénycikk a vízjogról.*
- Belügyminisztérium* (2014). 74/2014. (XII. 23.) BM rendelet a folyók mértékadó árvízszintjeiről.
- Bencsik Béla* (1984). Hidrológiai alapok a folyók mértékadó árvizeinek meghatározásához. *Vízügyi Közlemények* 1984. 2. füzet.
- Herrich Károly* (1879). Tisza szabályozás és a szege-  
di valóság. A Magyar Mérnök és Építész-Egyetel Köz-  
lönye. XIII. Kötet III. Füzet.
- Ihrig Dénes* (1953). A Tiszai árvízvédelem fejleszté-  
se. *Vízügyi Közlemények*. 33. évfolyam 2. szám.
- Katona István* (1949). Mértékadó árvízszintek alaku-  
lása a Tiszán. *Hidrológiai Közöny* 29. évfolyam (1949)  
9-10. szám.
- Korbély József* (1937). A Tisza szabályozása. Magyar  
Nemzeti Könyv- és Lapkiadó. ETO jelzet.  
627.42(282.243.742).
- KHVM:Magyarország árvízvédelmi rendszerének  
hosszútávú fejlesztési terve 1981. 3. oldal
- KHVM Vízkárelhárítási Főosztály* (1994). Magyaror-  
szág vízkárelhárítási biztonsága. Belső anyag, 2 oldal.
- KHVM* (1995). Magyarország árvízvédelmi műveinek  
hosszú távú fejlesztési terve. A 554-340/1995. sz. Kor-  
mány-előterjesztés mellélete.
- KVM és a holland Ministry of Transport, Public  
Works and Water Management* (2003). Az árvízvédeke-  
zés kihívásai a XXI. században. Duch-Hungarian  
Workshop, Szolnok, 2003.
- Mosonyi Emil* (1999). A mértékadó árvíz. *Vízügyi  
Közlemények*. 1999. 2. füzet
- MTA* (2002). A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdé-  
sei (Szerk. Glatz Ferenc és Somlyódy László). Budapest,  
ISBN 963-508-333-5., 402 oldal.
- Mosonyi Emil* (2007). Hazai vízgazdálkodás távlati  
feladatai. Mérnök Újság, 2007. március.
- Nagy István* (2003). Gondolatok az Új Vásárhelyi-  
Terv koncepciójának kialakításához, különös tekintettel a  
közép-tisza-vidéki árvízvédelmi helyzetre. In: Szolnoki  
Műhely: SZEMELVÉNYEK a Vásárhelyi Terv Tovább-  
fejlesztésének megalapozó tanulmányaiból. Szolnok.
- Nagy István* (2013). Az árvízvédelem céljairól és az  
árvízi biztonságról. *Hidrológiai Közöny* 93. évf. (2013).  
4. szám.
- Országos Vízépítészeti és Talajjavító Hivatal* (1891).  
Előterjesztés a Tisza folyó tárgyában. *Vízügyi Közlemé-  
nyek*. 1891. III.
- OVH* (1978). Az Országos Vízügyi Hivatal elnökhel-  
lyettesének 10815/1978 (V.É. 6.) OVH számú irányelve a  
MÁSZ alkalmazásának elrendeléséről.
- OVH* (1978). Vízgazdálkodás hosszú távú terve  
(1976-1990) OVH kiadvány 1978.
- Schweitzer Ferenc* (2011). Katasztrófák tanulságai:  
stratégiai jellegű természetföldrajzi kutatások. Budapest,  
MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, 2011. 195 p.  
ISBN 978-963-9545-35-9.
- Vásárhelyi Pál* (1846). A Tisza folyó általános szabá-  
lyozási tervszövege.
- VITUKI* (1976). Hidrológiai alapok a magyarországi  
folyók mértékadó árvizeinek meghatározásához. [I. Ösz-  
szefoglaló. II. tanulmányok: 1. Hidrológiai vizsgálatok;  
Genetikai vizsgálatok; 3. Morfológiai vizsgálatok; 4.  
Hidrológiai statisztikai vizsgálatok. III. Függelékek]  
Budapest, 1976.
- Zorkóczy Zoltán és Tóth Sándor* (1985). Magyarország  
árvízvédelmi rendszerének hosszú távú fejlesztési terve.  
*Vízügyi Közlemények*. 1985. 4. füzet

### A SZERZŐ



**DR. NAGY ISTVÁN** A Budapesti Műszaki Egyetemen 1967-ben erősáramú villamosmérnök, 1973-ban gazdasági mérnök, 1982-ben vízgazdálkodási szakmérnök oklevelet szerzett. 1987-ben doktorált vízgazdálkodási szaktudományból. 1967-2004 között a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságon dolgozott, 1976-tól igazgató helyettesként, 1987-2004 között igazgatóként. Fő feladata a Kiskörei öntöző-rendszer fejlesztése és üzemeltetése volt. Doktori disszertációjában a belvízvédelmi rendszerek üzemeltetési, fejlesztési kérdéseivel foglalkozott, a kialakított üzemelési rendszert a belvízvédekezés során alkalmazta. 1994 után a Hegedűs Lajos által kialakított és jól bevált árvízvédekezési rendszert az új körülményeknek megfelelően fejlesztette tovább. Az új védekezési rendszer az ezredforduló árvízvédekezéseinél vizsgázott. A 2000. évi árvíznél először alkalmazta a Tisza-völgyi árvízi üzemirányítást, amely lehetővé tette az árhullám töltésszakadás nélküli levezetését. A 2000. évi árvíz után kezdeményezte egy új árvízvédelmi

koncepció és terv kidolgozását a Tiszára, a Tisza menti árvízi tározásra és a nagyvízi meder rendbetételére helyezve a hangsúlyt. Az árvízvédekezések korszerűsítése érdekében bevezette a Big-Beg-ek használatát, és elsőként alkalmazta a helikoptereket az árvízvédekezésnél, miután megteremtette használatuk feltételeit. 2000-2004 között kezdeményezte és irányította a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságon az új tiszai árvízvédelmi koncepciót megalapozó kutatásokat, melynek keretében a Kisköre-Csongrád közötti Tisza szakaszon mintegy 200 év alatt végbement folyamatokat és az árvízszintek emelkedésének okait vizsgálta. 2004 óta az ár- és belvízvédelmi biztonság növelésének kérdéseivel foglalkozik.

## 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](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](mailto:hk@hidrologia.hu)

### Előfizetési díjak 2018-ban:

#### Cégeknek:

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

#### A Magyar Hidrológiai Társaság egyéni tagjainak:

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

Az árak az 5 % áfát tartalmazzák!

## MEGRENDELŐ LAP

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

Alulírott megrendelem a Hidrológiai Közlöny c. folyóirat

2018. évi 1-4. számait ..... példányban,  
2018. évi különszámát ..... példányban,

és kérem megrendelésemet a következő évekre is folyamatosnak tekinteni.

Név vagy cégnév:

Céges megrendelés esetén kapcsolattartó 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):

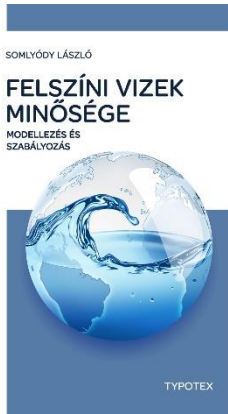
Megrendelési szám esetén – amennyiben elektronikusan küldik be a megrendelést - az aláírt megrendelés csatolása pdf formátumban kötelező.

Kelt: , 2018. hó. nap.



# Könyvismertetés

**2018 első negyedében jelent meg Somlyódy László akadémikus tollából a Felszíni vizek minősége – Modellezés és szabályozás című könyv, amely a kiemelkedő tudós szakmai pályafutásának legjelentősebb eredményeit foglalja egységes keretbe.**



Az OVF Vízügyi Tudományos Tanácsa sorozatot készít a szakma kiemelkedő szereplői életművének bemutatására. A 2018. évi Víz Világnapra a Typotext kiadó gondozásában megjelent kötet Somlyódy László akadémikus kivételes szakmai pályafutásának összefoglalója, melyben a szerző nem csupán áttekinti öt évtizedes tudományos eredményeit, hanem követi azok sorsát is. Ez a fajta „follow up” ritka a magyarországi gyakorlatban, viszont rendkívül tanulságos a jelen, de leginkább a jövő szakemberei, döntéshozói számára.

A könyv első két fejezetében a globalizáció hatásairól olvashatunk, széles skálán (az angolvécétől az óceánig) ismerhetjük meg a vízzel összefüggő folyamatokat, trendeket, következményeket, a nemzetközi együttműködés jelentőségét, a népességnövekedés és az éghajlatváltozás hatásait, valamint a problémák megoldására rendelkezésre álló lehetőségeinket. Kína példáján keresztül bepillantást kapunk egy óriási ország gondjaiba, de hazai probléma (Rába habzás) kezelésére is láthatunk példát. Az első rész meglepő következtetéssel zárul: a lokális–globális mellett egyre jobban érvényesül egy globális–lokális hatás is.

A második blokk (3-4. fejezetek) általánosságban szól a vízminőségről. Ebben először „a múlt a jövő bölcsője” mottó jegyében, mérőföldkövek mentén (a londoni kolera-járványra adott válasz, a BOI megjelenése, az eleveniszapos szennyvíztisztítás, a Streeter-Phelps modell, az USA Tisztavíz-törvénye, EU Víz Keretirányelv stb.) konkrét esetek tanulságaival színesített átfogó képet kapunk a vízminőség-szabályozás történetéről. Ezt követően esik szó a vízminőség értelmezéséről, a természetes vizek jellemzőiről, az ökoszisztémák anyagforgalmáról, biológiai jellemzőkről, mikroszennyezőkről, a VKI szemléletű monitoringról és állapotértékelésről, megfejtve a vízminőség-szabályozás mikéntjével.

A kötet legvaskosabb részét a vízminőségi modellekről szóló fejezetek (5-7.) teszik ki. Ebben a szerző értékeli a mérnök kitüntetett szerepét a vízminőség-szabályozásban, bemutatva szemléletbeli különbségét az ökológuséhoz viszonyítva. Előbb egyszerű esetekre anyagmérleg-megfontolások alapján bemutatja a leíró egyenleteket és azt, hogyan állítható fel a terhelés és a befogadó közötti kapcsolat. Majd egy folyó–tó-rendszer

példáján keresztül ad bevezetést a vízminőségi modellek alkalmazásához, ügyelve arra, hogy mindig az egyszerűtől a bonyolult felé haladjunk. Alapvetően nem konkrét feladatok megoldására kíván receptet adni, hanem a gondolkodásmódra és az alapelvekre helyezi a hangsúlyt, a transzportelmélet, a hidrodinamika és a reakciókinetika területén. Bemutatja a reakciókinetikai modellfejlesztés egyik hatékony eszközét, a Petersen-mátrixot és alkalmazását az ismert QUAL2e modellre. Dinamikus, három állapotváltozós foszforforgalmi modell bemutatásával ír a sekély vizek eutrofizálódásáról.

Külön fejezetet kapott a modellezés csapdáinak elkerülését célzó téma. Itt először példákat látunk a vízminőségi tervezéssel és modellek alkalmazásával összefüggő problémára, elkerülésük lehetőségeire. Ezt követően a kalibrálás, az identifikáció, az adatgyűjtés és a rosszul definiált rendszerek problémáinak tárgyalása következik, és megtanulhatjuk a hipotézisek tesztelésére alkalmas HSY módszert is. A fejezet végén a léptékek (tér, idő) helyes megválasztásáról és az előrejelzés problémáiról olvashatunk.

A szakpolitika rejtélyeibe vezet be a Balatonnal foglalkozó rész. Somlyódy professzor, akit – szenvedélye okán – egy írásban a „Balatonember” címkével illettek, négy fejezetet (8-11.) is szentel a tónak. Az indítás retrospektív az évtizedekkel ezelőtti viták témáival: mi az eutrofizálódás oka? mi a limitáló tényező a foszfor, vagy a nitrogén? mi idézi elő a nyugatkelet irányú vízminőség romlást? mit kezdünk az algával? stb. Belső információkat kapunk a stratégiai tervezés korabeli (az 1980-as évek eleje) titkairól, majd az akkori eredmények összevetését látjuk az ezredforduló idején tett megállapításokkal. Külön fejezet foglalkozik a legnagyobb terhelést kapó Keszthelyi-medencével, vizsgálva a foszforterhelés és a trofitás kapcsolatát, a belső terhelést, az üledék foszfor-készletének változását és bemutatva a prognózisok expost értékelését. A 10. fejezet a Kis-Balaton sokat vitatott szerepét mutatja be a foszforvisszatartásban, a két, átfolyásos tározóból álló rendszer kalandos megvalósításával együtt. Az utolsó fejezet a 2000-es évek elején nagy vihart kiváltó vízpótlási vitáról, az emberi és ökológiai igények konfliktusáról és a történet tanulságairól szól. Itt veti fel a szerző a kérdést: „lehetünk-e elővigyázatosak”. A kötet különösen ajánlható a felsőfokú tanulmányokat folytatók számára.

*Gayer József*  
a kötet szerkesztője  
a Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottságának tagja

## A könyv tartalomjegyzéke

Előszó

### I. A GLOBALIZÁCIÓ HATÁSAI

1. fejezet Az értől az óceánig: a lokálistól a globálisig
  - 1.1 Mi a víz?
  - 1.2 A tudományról és céljainkról
  - 1.3 Az angolvécétől az óceánig
  - 1.4 A jövő kihívása
  - 1.5 Mit tudunk tenni?
  - 1.6 Irodalom
2. fejezet A világ vízdilemmája: a globálistól a lokálisig
  - 2.1 Globális készletek és igények
  - 2.2 A regionális kép és érzékenység
  - 2.3 Trendek és további gondok
  - 2.4 A vízhiány következményei
  - 2.5 A fejlődő világ és egy „átmeneti” óriás
  - 2.6 Olajválság után vízválság?
  - 2.7 Merre haladjunk?
  - 2.8 Irodalom

### II. VÍZMINŐSÉG

3. fejezet Vízminőség-szabályozás: fejlődéstörténelem
  - 3.1 Dr. John Snow és a londoni kolerajárvány
  - 3.2 Százéves az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás
  - 3.3 A Streeter–Phelps-modell
  - 3.4 A biokémiai oxigénigény: újabb innováció
  - 3.5 A kolerától az EDS-anyagokig: 150 év
  - 3.6 Irodalom
4. fejezet Vízminőség és vízminősítés
  - 4.1 A vízminőség értelmezése
  - 4.2 Vizeink minősítése és a monitoringrendszer
  - 4.3 A vizek állapotértékelésétől a vízminőség-szabályozásig
  - 4.4 Irodalom

### III. VÍZMINŐSÉGI MODELLEK

5. fejezet Vízminőségi modellek és a mérnök
  - 5.1 A mérnök és a vízminőség
  - 5.2 A mérnök és az ökológus
  - 5.3 Vízminőség és modellezése
  - 5.4 A befogadó válaszfüggvénye és a vízminőségi modell
  - 5.5 Két egyszerű modell és a válaszfüggvény
  - 5.6 Irodalom
6. fejezet Alapok és néhány alkalmazás
  - 6.1 Célok
  - 6.2 Vízminőség és a leíró egyenletek
  - 6.3 Modellfejlesztés, aggregálás és megoldás
  - 6.4 Modellek összetevői és az osztályozás szempontjai
  - 6.5 Reakciókinetikai modell. Petersen-mátrix
  - 6.6 Eutrofizálódás
  - 6.7 Modellek áttekintése: trendek és osztályozás
  - 6.8 Irodalom

7. fejezet Vízminőségi modellek és csapdák
  - 7.1 Az alkalmazás problémái és csapdahelyzetek
  - 7.2 A kalibrálás és az identifikáció problémái
  - 7.3 Az adatgyűjtés problémái
  - 7.4 Rosszul definiált rendszerek
  - 7.5 A HSY-módszer
  - 7.6 A léptékek megválasztása és elemzése
  - 7.7 A modellalkotás és az előrejelzés problémái
  - 7.8 Irodalom

### IV. TUDOMÁNY, POLICY ÉS ALKALMAZÁSOK

8. fejezet A Balaton vízminőségi stratégiája
  - 8.1 A Balaton eutrofizálódása
  - 8.2 A vízgyűjtő és a külső terhelés
  - 8.3 A belső terhelés
  - 8.4 Indikátorok, adatok és monitoring
  - 8.5 A tó-eutrofizálódási modell (TEM)
  - 8.6 Kutatások húsz évvel később: kis kitérő
  - 8.7 Stratégiai tervezés
  - 8.8 Mi történt ezután?
  - 8.9 Irodalom
9. fejezet A Keszthelyi-medence belső terhelése és vízminősége új, küszöbmodell-közelítéssel
  - 9.1 A foszforterhelés és a trofitás kapcsolata a legegyszerűbb megközelítésben
  - 9.2 Éghajlati és terhelési forgatókönyvek. A Keszthelyi-medence trofitásának előrejelzése
  - 9.3 A prognózisok ex-post értékelése
  - 9.4 A belső terhelés becslése és az üledék mobilizálásának hosszú távú változása
  - 9.5 A folyamatosan változó rendszer modellezése: az algacsoportok közti versengés
  - 9.6 Irodalom
10. fejezet A Kis-Balaton foszforvisszatartása és a természetes állapot. modellezés és döntéshozás
  - 10.1 Háttér
  - 10.2 A modellalkotás folyamata és feltevések
  - 10.3 Kalibrálás és igazolás: Hídvégi-tó
  - 10.4 A modell alkalmazása és az izoterma
  - 10.5 A javaslatról a döntésig: 1997–2013
  - 10.6 Húsz évvel később. Mit mutatnak az adatok?
  - 10.7 A jövőről: a rugalmas üzemirányítás felé
  - 10.8 Irodalom
11. fejezet A Balaton vízpótlása: lehetünk-e elővigyázatosak?
  - 11.1 Mit tudunk (tudunk 2003-ban) és mit nem?
  - 11.2 A Balaton vízmérlege és a vízátervezés
  - 11.3 Módszertan
  - 11.4 Eredmények és értékelésük
  - 11.5 Bizonytalanságok
  - 11.6 Következtetések
  - 11.7 Javaslat az intézkedési csomagra
  - 11.8 Epilógus: két évvel később
  - 11.9 Irodalom

Rövidítések