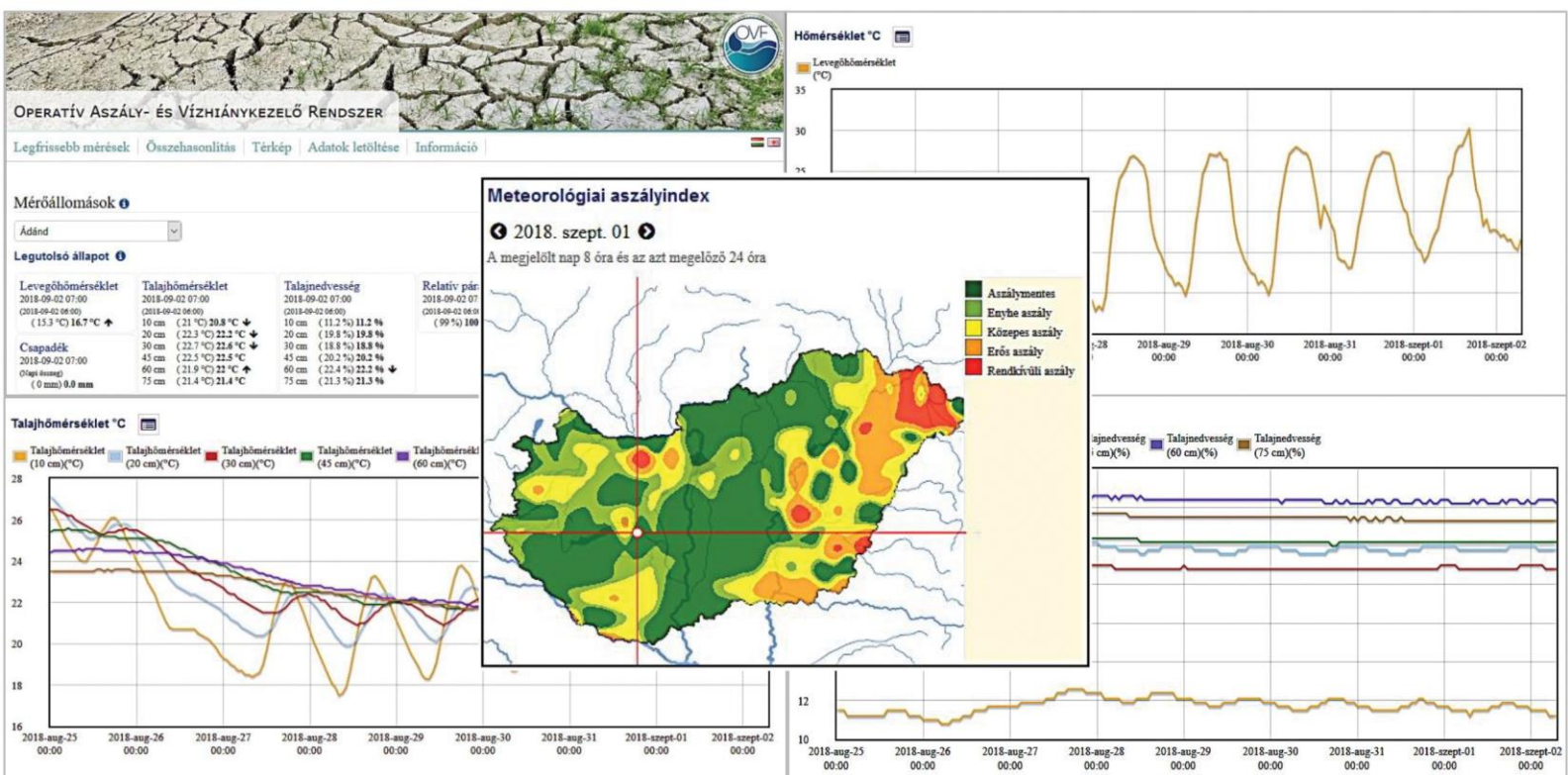


HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY





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: tutkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Hirdetés:

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

Indexed in:

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

Tartalomjegyzék

TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP

Fejér László: Beszédes József mottója 3

SZAKCIKKEK

Somlyódy László: Víztisztítási modellek és csapdák 4

Fiala Károly, Barta Károly, Benyhe Balázs, Fehérvári István,
Lábdy Jenő, Sipos György, Györffy Lajos: Operatív
aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer 14

Szigyártó Zoltán: Az árvízveszély a Tisza mentén 25

Mentes Gyula: A dunaszekcsői magaspárt mozgásait előidéző
okok vizsgálata 34

Mikita Viktória, Szűcs Péter, P. van der Keur, K. Hinsby, M.
Petitta, I. Fernandez, C. M. Garcia Alibrand, M. Garcia
Padilla, Csekő Adrienn: A hidrogeológiai kutatások
helyzete Európában a KINDRA projekt eredményei
alapján 46

Bagyinszki György: Monitoring adatsorok értékelése –
lehetőségek és módszerek az adatgyűjtéstől az
előrejelzésig 55

Tóth Balázs: Sekélyvízű tavak szélkeltette áramlásának
modellezése hálómétes módszerrel 63

Osvald Máté, Maróti Gergely, Pap Bernadett, Szanyi János:
Biofilmképző baktériumok szerepe a termálvíz
visszasajtolásban 69

FÓRUM

Juhász Csaba: Négy évtizeddel az ENSZ Mar del Plata-i
vízügyi konferenciája után 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 SZÚCS, János TAMÁS, István VÁGÁS, Zoltán VEKERDY

Publisher:

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

Advertising:

Tamás GAMPEL, Secretary General of the Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

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

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

HISTORICAL SNAPSHOT

László FEJÉR: Motto of József Beszédes 3

SCIENTIFIC PAPERS

László SOMLYÓDY: Water quality models and traps 4

Károly FIALA, Károly BARTA, Balázs BENYHE, István FEHÉRVÁRY, Jenő LÁBDY, György SIPOS, Lajos GYÓRFFY: Operational drought and water scarcity monitoring system 14

Zoltán SZIGYÁRTÓ: Characterisation of flood hazard along the Tisza River 25

Gyula MENTES: Investigating the causes of the high bank movements in Dunaszekcső 34

Viktória MIKITA, Péter SZÚCS, P. van der KEUR, K. HINSBY, M. PETITTA, I. FERNANDEZ, C. M. Garcia ALIBRAND, M. Garcia PADILLA, Adrienn CSEKŐ: The situation of hydrogeological research in Europe based on the results of the KINDRA project 46

György BAGYINSZKI: Evaluation of monitoring data – opportunities and methods from data collection to forecasting ... 55

Balázs TÓTH: Modelling of wind induced flow in shallow lake with a meshless numerical method 63

Máté OSVALD, Gergely MARÓTI, Bernadett PAP, János SZANYI: Biofilm forming bacteria during thermal water reinjection 69

FORUM

Csaba JUHÁSZ: Four decades after the UN Mar del Plata Water Conference 75

Történelmi pillanatkép

Rovatvezető: Fejér László, a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja.

BESZÉDES JÓZSEF MOTTÓJA

Amikor lapunk főszerkesztője alaposabban utána kívánt nézni az egyik cikkben szereplő Beszédes József kötet (A magyarországi hidrotechnikából próbául...) megjelenési évének, akkor az interneten is fellelhető címlap egyértelművé tette, hogy a kötet 1831-ben jelent meg. A történet azonban itt még nem ért véget, hiszen a világhálón is utolérhető és letölthető példányt a Magyar Környezetvédelmi és Vízügyi Múzeum (az esztergomi Duna Múzeum) könyvtára őrzi. A belső címlap hátoldalán a következő bejegyzés található: Bogdánfy Ödön kir. főmérnök úr ajándéka. Az ajándék kötetet annak rendje-módja szerint a Kvassay vezette M. kir. Országos Vízépítési Igazgatóság Könyvtára be is vételezte gyűjteményi állományába. Tudnivaló, hogy Bogdánfy az említett intézmény vezető munkatársa volt, amely intézmény többszöri átszervezés nyomán az egységes vízügyi szervezetet jelentette az akkori államigazgatásban. A hazai vízügyek kezelésére a Földművelésügyi Minisztérium szervezeti keretei között 1891. január 1-én megalakították az Országos Vízépítészeti Hivatalt (OVH), amely összefogta a tárcán belül működő vízügyi (dunai, tiszai, kultúrmérnöki és vízrajzi) osztályokat. A Hivatal első főnöke Kvassay Jenő lett. Az OVH elnevezése a következő esztendőben Országos Vízépítészeti és Talajjavítási Hivatalra (OVTH) változott, majd 1899-ben újabb elnevezést kapott, s ekkortól Országos Vízépítési Igazgatóság (OVI) címen látta el a földművelési tárca vízügyi feladatait. A szervezet története helyett azonban figyelmünket fordítsuk vissza a könyvre. További sorsa csak feltételezhető, mert az OVI szervezete a trianoni Magyarországon az 1920-as években beolvadt a Földművelésügyi Minisztériumba, s a vízügyi műszaki főosztályon szekrénybe zárt könyveket – Sajó Elemér intézkedésére a fiatal Lászlóffy Woldemár katalogizálta, aki – hogy azok téma szerint is kereshetőek legyenek – bevezette az egyetemes tizedes osztályozást, az ETO-t. Aztán onnan a tárca felügyelete alatt álló Vízrajzi Intézetbe kerültek a könyvek. Az Intézet archívumát a harmincas években már házimúzeumként kezelték. A könyv itt vészelhette át a háborús időszakot és egészen addig az utódszervezet, a VITUKI könyvtárának volt megbecsült példánya, míg az OVH rendelkezésére 1968-ban létre nem hozták a VIZDOK-ot, s akkor a VITUKI Könyvtárának anyaga átkerült az új intézményhez, annak Vigadó téri könyvtárába. A VITUKI az OVH ukázt nyilván fogsikorgatva hajtotta végre, mert hamarosan újra kezdte saját könyvtárának kialakítását immár az új, Csepel-szigeti bázisán. A VIZDOK könyvtárából még a 80-as évek második felében a muzeális könyvek jelentős része átkerült a Duna Múzeum könyvtárába, s Beszédes József említett munkája azóta ennek a gyűjteménynek megbecsült darabja.



Amikor 2010-es évek első felében megindult a mozgolódás a hazai közgyűjteményekben található dokumentációs anyagok digitalizálásának érdekében, akkor a magyar múzeumok között a Duna Múzeum is kölcsönadta a feladattal megbízott Arcanum Kft.-nek azokat a féltett könyveit, amelyek közérdeklődésre tarthattak számot. Ezek közé tartozott Beszédes könyve is, amely 2015. április 1-től már mindenki számára olvasható a Hungaricana alábbi linkjén: <https://library.hungaricana.hu/hu>

Készítette: Fejér László, a Magyar Hidrológiai Társaság tiszteleti tagja.

Vízminőségi modellek és csapdák

Somlyódy László

Professor Emeritus, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műgyetem rakpart 3. Magyarország.

(E-mail: somlyody.laszlo@epito.bme.hu)

Kivonat

A vízminőségi modellek területén gyakori a hiedelem, hogy azok a paraméterek behelyettesítését követően szinte magától értetődően és megbízhatóan szolgáltatják az óhajtott megoldást. Sajnos, azonban ez súlyos tévedés és sok alkalmazási hibával szembesülünk. Az okok számosak. Nagyon a különböző eredetű bizonytalanságok, problematikus és költséges lehet a kalibráció és a validáció, a feladat gyakran rosszul definiált és nincsen egyértelmű megoldása, nem ritkák a csapda-helyzetek és a felsorolást folytathatnánk. Áttekintés felvázolása a jelen cikk célkitűzése. Célja annak elemzése is, milyen módszerek állnak rendelkezésre a felmerülő kérdések kezelésére és a megelőzésre. Itt, többek között az adatgyűjtést, a HSY módszert, a léptékek elemzését és a dimenziómentes számok használatát említjük.

A cikk a Szerző engedélyével a 2018-ban megjelent *Felszíni vizek minősége – Modellezés és szabályozás* című könyvnek 7. fejezete alapján jelenik meg.

Kulcsszavak

Csapdahelyzet, rosszul definiált problémák, bizonytalanság, kalibráció, validáció, identifikáció, adatgyűjtés, léptékek, dimenzió-analízis.

Water quality models and traps

Abstract

In the field of water quality modelling a frequent supposition is that, after inputting the parameters, they provide almost automatically and reliably the desired solution. Unfortunately, this is a serious mistake, and we face many erroneous applications in the practice. The reasons are numerous. There are important uncertainties of different origins, the calibration and validation processes are problematic and costly, the task in question is frequently ill-defined without unambiguous solution, often there are “pitfalls”, and the list can be continued. The objective of the paper is to provide an overview of the situations, including the analysis of available methods to cope with and prevent emerging issues. To mention a few: data collection, HSY method, analysing scales and use of dimensionless numbers.

This article is presented under authorization of the Author, and it is based on Chapter 7. of his book titled *Surface Water Quality Modelling and Regulation*, which was published in 2018.

Keywords

Pitfall, ill-defined problems, uncertainty, calibration, validation, identification, data collection, scales, dimensional analysis.

BEVEZETÉS

A vízminőségi modellek nem azonosak a mögöttes egyenletekkel, hiszen a legkülönbözőbb méréseket, inputfüggvényeket is figyelembe véve a legtöbbször bonyolult koncepcionális keretek között kell numerikusan megoldani őket, miközben az alkalmazás számos egyéb feltételét is ki kell elégíteni. A projektteknél fontos a kölcsönös megértés a megbízó és a vállalkozó (modellező) között, azért, hogy a célkitűzés és a bonyolítás – a környezetszabályozás jogi keretei között – világosan megfogalmazható legyen, és ne alakuljanak ki félreértések, csapdahelyzetek. Számos kísérő tevékenységre van szükség: adatokra például – közhely, hogy nélkülük nem sokra megyünk. Az alkalmazás talán legfontosabb előfeltétele modellünk kalibrálása és igazolása. Ez ismételt adatokat igényel, függetleneket, jól megtervezett monitoringprogramok alapján. Igényli a paraméterbecslés különböző technikáit.

A vízminőségi folyamatokat a nagyfokú bizonytalanság jellemzi. Bizonytalanok az inputfüggvények, a terhelések, a reakciókinetikai állandók stb. A legtöbb esetben nem tudjuk kijelölni a „legjobb modellt”, ezért bölcs dolog alternatív hipotézisek tesztelése alapján, iteratív módon ki-

választani a modellváltozatunkat, különösen olyan esetekben, amikor az egyenletek „rosszul” definiáltak. Itt ismét módszertani kérdések merülnek fel. Végezetül, a modellalkotás fontos mozzanata a tér-idő-léptékek vizsgálata. Ez „mankót” adhat a bonyolult leíró egyenletek átgondolt egyszerűsítésére. A cikk ezekről a kérdésekről szól. És arról, hogy egyszerre túl sok minden hiányozhat és romolhat el. Hibásak lehetnek az adatok, a kalibráció és az igazolás, hiányozhatnak a gradiens, a független adatsorok, a megértés, a „legjobb” modell, urambocsá’, a célkitűzés és így tovább. Kockélt ajánlunk, belekóstolva egy-egy témába. Mindezt egy PhD-kurzus hangfelvétele alapján.

AZ ALKALMAZÁS PROBLÉMÁI ÉS CSAPDAHELYZETEK

A mérnök egy adott feladatnál elsőként azt a kérdést teszi fel: mi a célkitűzés, mire akarunk választ kapni? Ez a hozzáállás ugyan magától értetődőnek tűnik, de sok esetben a tervezés és a megvalósítás számos ok miatt mégsem ebben a szellemben történik. Az eredmény nemritkán meglepetés, köszönőviszonyban sincs a rejtve maradt céllal. Kellemetlen helyzetek alakulhatnak ki, és a kérdés – Murphyre is gondolva –: hogyan mászunk ki belőlük?

A következőkben néhány, a vízminőségi tervezéssel és modellek alkalmazásával összefüggő egyszerű problémát és példát mutatunk be.

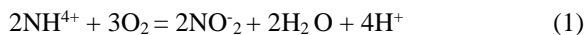
A-eset

Oldottoxigén-problémát és halpusztulást tapasztalnak egy folyóban. A feladat roppant egyszerű, már jó kilencven évvel ezelőtt *Streeter és Phelps (1925)* is megírta, hogy a megoldás a szerves anyag (szerves szén) eltávolítása. „Uccu neki”, tervezünk eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítást. Gyorsan eldöntik, az előírásokat is figyelembe véve, elég lesz egy olcsó, nagy terhelésű telep kicsi iszapkorral (az iszap tartózkodási ideje két nap alatti), így a medencetérfogatok nem nagyok és elfogadhatók a költségek. Ezek, ökölszabályok alapján, megbízhatóan becsülhetők. A telepet megépítik, már több ilyen kiviteleztek, egyszerű betonmunka, rendben lesz minden.

De semmi sincsen rendben. Az okok különbözők lehetnek.

1. csapda

A telep működik, de a halak továbbra is pusztulnak. Szakértő segít a lehetséges okok feltárásában. A valószínű magyarázat abban keresendő, hogy elfeledkeztek a szennyvízben szintén megtalálható *nitrogén* eltávolításáról. Próbáljuk megbecsülni, hogy mi az ammónium oxidálásának, a nitrifikációnak a szerepe, a szénhez viszonyítva. Tekintsük az ismert kétlépcsős folyamat első fokozatát:



azaz, nitrit keletkezik. Az átalakítást aerob körülmények között, lúgos környezetben autotróf *Nitrosomonas* baktérium végzi, amihez 1,0 gramm N-re vetítve 3,43 g O₂-re van szükség (a reakció lejátszódása 1-2 mg/l oxigént igényel). A második lépcső a nitrit átalakítása nitráttá, amire heterotróf *Nitrobacterre* van szükség:



A végtermék igen stabil nitrát, 1,14 g O₂ árán. A teljes oxigénigény 4,57 g O₂ 1,0 gramm összes (Kjehldal) N-re vetítve (a Kjehldal N a szerves N és az ammónium N összege). Közepes erősségű kommunális szennyvízre 40 mg/l-rel számolva a nitrogén-BOI (NBOI) 180 mg/l-re adódik, körülbelül azonos valamely átlagos CBOI-értékkel (szén-BOI, ami legyen most 200 mg/l).

Mi volt most már a baj? A teljes BOI két részből áll CBOI + NBOI = 180 + 200 = 380 mg/l (ha az idő nagy, 15 nap körül), aminek több mint a felét kitevő NBOI-ről elfeledkeztek. Így a feltételezett O₂-hiány szinte változatlanul megmaradt. A szennyvíztelep megoldotta a CBOI-problémát, amiről tudtak, de érintetlenül hagyta az N hatását. Költöttek mondjuk 200 millió forintot egy 10 000 LE telepre, eredmény nincsen, és az O₂-határérték után (a BOI5 jó esetben teljesül) fizethetjük a bírságot. Mi a kiút? Ráfizetés nélkül nem megy. A lehetőségek: (i) az iszapkor növelése – tehát nagyobb medencékre van szükség, (ii) fokozott oxigénbevitel, (iii) vegyszeradagolás vagy valamilyen más intenzifikálási lehetőség. Ezek változó mértékben növelik a többletberuházási, illetve üzemelési költségeket. Tanulság: fontos a *szennyvíz összetétele és az önképzés*.

2. csapda

A fenti telep megépül, jól üzemel, azonban a víz meglepő módon zölde, spenótszínűvé válik. Mi az oka? Ismét a szakértő. Két hatás érvényesül: (i) A turbiditás számottevően javul a szerves és a lebegő anyag eltávolítása következtében, több fény hatol be az algák számára; (ii) ugyanakkor a foszfor és a nitrogén is ott áll „szabad prédaként”, nő az algák légzése és az oldott oxigén napközbeni ingadozása, és ennek következtében éjszaka elfogyhat az oldott oxigén. Egyes térségekben egyébként ez az első szokásos jele a szennyvíztisztítás szélesebb körű bevezetésének (lásd később).

A megoldás egyszerű esetben P-kicsapatás megvalósítása vagy a technológia áttervezése valamilyen kombinált kémiai-biológiai eljárásra. Az első esetben a beruházási költségek valószínűleg elfogadhatók, az utóbbiban magasabbak, de az üzemelés olcsóbb. Kis tavak esetében segíthet fák ültetése és a vízfelület leárnýékolása (a fényt teszik limitálónak). Itthon szokatlan megoldás.

Mindkét eset az alkalmazás problémáit mutatja. Hiányzik a *célkitűzés* világos meghatározása, az ütemterv elkészítése, az ellenőrzés. A kiút és a megoldás attól függ, hogy a kivitelezés milyen stádiumában fedezik fel a csapdát.

B-eset

Rio de Janeiro Guanabara tengeröble (350 km² körül, fél balatonnyi víz), aminek a térségében szennyvíztisztítással, csatornázással és rehabilitációval a kilencvenes évek végén foglalkoztunk (*Somlyódy és társai 1998*). Szennyvíztisztítás akkoriban sem volt, utóbb az olimpia idején is csak alig, a csatornahálózat túlterhelt, a záporvízkifolyók nyers szennyvizet szállítanak a tengeröblbe. (Ipanemában a hullámozó tengerben úszva volt szerencsém erről személyesen is meggyőződnöm, mikor egy „lepény” negatív távolságra közelítette meg az arcomat.) Botafogo és Flamengo az ötvenes években még gyönyörű fürdőhelyek (és híres focicsapatok), ma szennyvíztó öblei. Oxigénhiány, tápanyagok, hipertróf állapot, anaerob körülmények, bűz, szag és más minden mennyiségben. A terv „high tech” szennyvíztisztítás P- és N-eltávolítással, milliárd USD nagyságrendű beruházási költséggel és megoldatlan iszapelhelyezéssel. A mérlegszámításokat követően bonyolult modellel (víz, üledék, C, N, P, O, alga, SS stb.), 2D többrétegű hidrodinamikai és transzportkomponensekkel és sok terepi méréssel (P-felvétel és -leadás, N-kötés, denitrifikáció stb.) folytattuk az elemzést (*Somlyódy és társai 1998*). Azt tapasztaltuk, hogy a korszerű tisztítás hatására a szén és a C/N-arány túlzott mértékben lecsökken, azaz nem áll rendelkezésre elég szén a denitrifikáló baktériumok számára. Tisztítjuk a szennyvizet jó drágán, aminek az elsődleges hatásaként az anoxikus terek eltűnnek, így a *denitrifikáció leáll*, öngól. Ez a 3. csapda. És a csapda vonzata: nőhet az N-terhelés (lásd lentebb).

Megoldásként azt javasoltuk, hogy a szennyvíztisztítást és az öblöt tekintsük integrált rendszernek, a BAT megoldással szemben lényegesen olcsóbb, közepes tisztítási szintet valósítsunk meg (például részleges biológiai tisztítást), azt kísérletekre támaszkodva állítsuk be úgy, hogy az oxigénszint az öbl üledéke közelében ne emelkedjék 1-2 mg/l fölé, és kialakuljon az anoxikus zóna (de

alá se menjen, mert leáll a nitrifikáció). Az öböl ezáltal mintegy „természetes” szennyvíztisztítóként kezdene el működni.

Hosszú ideig úgy tűnt, hogy a javaslat átmegegy, jöttek azonban a választások, és elmosták a projekt legfőbb pártolóját, az alkormányzót, és ezzel az egész elképzelést. Innovatív megoldás lett volna, ami az alkalmazás szempontjából talán túl korán (vagy túl későn?) érkezett.

A KALIBRÁLÁS ÉS AZ IDENTIFIKÁCIÓ PROBLÉMÁI

A kalibrálás a modellalkalmazás egyik legfontosabb lépése, ezzel illesztjük vagy arányosítjuk be modellünket, pontosabban annak empirikus komponensét a mérésekhez. Történhet kézi vezérléssel, a paraméterek módszeres változtatásával vagy optimalizálással, például a mérések és a szimulációk súlyozott eltérésnégyzet-összegének minimalizálásával (lásd Beck 1987). Nem árt itt is figyelemmel eljárni. Mik lehetnek a veszélyek? Sokszor nem találunk szélső értéket, a veszteségfüggvény túl lapos. Ennek legáltalánosabb oka az, hogy véget ért az az „aranykorszak”, amikor erősen szennyezett folyók sokaságával találkozunk nagy gradienssel, amelyekre a paraméterbecslés eleghans módszerei (Beck 1987) jól alkalmazhatók voltak.

A fejlett világban a vízminőség olyan mértékben javult (legalábbis a tradicionális komponensekre), hogy a terhelésekre nincsen markáns válasz, amire a kalibrálás elvégezhető volna.

A folyók és tavak vízminőségi változásokon továbbra is keresztülmennek, de ez főként szélsőségesen kis vizek vagy záporvizek esetén következik be. Ezért a kalibrálás folyamatának és a protokollnak tartalmaznia kell a dinamikus terhelési körülményeket és olyanokat is, amelyek alig idéznek elő változást (Reichert és társai 2001).

A kalibrálás egyéb gondokat is felvet. Először is a feladat rosszul definiált, nincsen egyetlen megoldása. Másodsor, a DO-modellek nagy érzékenyséű kulcsparamétere az oxigénbeviteli tényező, a híres k_2 . Függvénye a hőmérsékletnek és a hidraulikai jellemzőknek (mélység vagy sebesség), a turbulenciának. Értékét adott helyen és adott vízszint mellett állandónak tekintik, a modell alkalmazásakor kalibráció alapján becsülik. Problémát a nem permanens esetek jelentik: nem pontszerű szennyezések, városi lefolyás, egyesített csatornatúlfolyók. Ezek változást idézhetnek elő a vízhozamban és így az oxigénbeviteli tényezőben. Ez utóbbi már a továbbiakban nem konstans, és az eredmények aligha vihetők át egyik helyszínről a másikra.

A kérdés az, mit teszünk akkor, ha nem sikerül a kalibrálás. Jó válaszunk erre nincs, és példaképpen a Balatont említjük. A Balatonra fél tucat körüli dinamikus foszfor-, nitrogén- és biomasszamodelt alkalmaztunk az eutrofizálódás jobb megértése és szabályozási stratégia kidolgozása érdekében. Független adatsort használtunk a kalibrálás, illetve a validáció céljaira. A dinamikus modellek kalibrálása – eltérő hipotézisek – legfeljebb jóindulattal volt elfogadható, az igazolás pedig sikertelen volt: a szélsően jelentkező évi két nyárialga-biomassza csúcs közül egyet sosem sikerült „elcsípni”. Az okok között a

nem megfelelő adatok, a kommunikáció hiánya – a modellfejlesztők és a terepen dolgozók között – említhető. De az is tény, hogy sekély tavak olyan mértékben szabálytalanul viselkednek, hogy a leírásuk roppant nehéz.

Az igazolás problémái ellenére a kérdés mégis felmerült: használhatók-e ezek a félig hibás modellek? Az évi átlag ÖP-terheléssel a dinamikus modell által értelmezett válaszfüggvények előállítás mellett döntöttünk. A $Chl_{a_{max}} = f(\text{ÖP-terhelés})$ összefüggések – a sok nemlineáris folyamat ellenére – meglepő módon lineárisak és egymással párhuzamosak voltak. Ez azt jelenti, hogy a különböző modellek – a hiányosságok ellenére – éves szinten azonos statikus választ adnak a terheléscsökkenésre. Azonos választ azzal a „furcsasággal”, hogy a rendszer zérus terhelés mellett is viszonylag magas biomasszaszintet tart fenn. Ez a belső terhelés következménye, aminek a megújulása a vizsgálatok szerint alapvetően befolyásolja a rehabilitáció időbeli lejátszódását. Zavaró, hogy nem értjük teljesen a tó dinamikus viselkedését, de döntési helyzetben sok azonos válasz megnyugtatóbb, mint a válasz hiánya. Így menedzsmentcélra elfogadtuk az eredményeket. A tapasztalás igazolta, helyesen tettük.

A Kis-Balaton esetében másfajta problémával szembesültünk. A kalibrálás és az igazolás is jó volt, a modell az alkalmazás fázisába léphetett. A dinamikus modellel, az elkövetkező 16 évre két ÖP-terhelési (pesszimista és optimista) forgatókönyvet értékeltünk. 25 év napi adatai alapján regressziós modellt készítettünk, ami a terhelést a háttér, a pontszerű és a nem pontszerű terhelés összegeként állította elő. Ezt a sémát alkalmaztuk a jövőre is, forgatókönyvenként beállítva a konstans pont- és változó nem pontszerű hányadot. Az 1992–1995 év napi vízhozam adatait használtuk fel, amelyekből az évek véletlen kiválasztásával 16 éves adatsort állítottunk elő, majd elvégeztük a szimulációt.

A Hídvégi-tó számított visszatartását a kezdeti években a nagy szórás jellemezte, nyáron negatív értékek is előfordultak. 5-10 év elteltével a rendszer az üledékmegújulás hatására a 35-40% körüli tartományban állt be. Ezek az irodalom által is elfogadott értékek. Ezzel szemben állnak a mérések: 50-60% értékről csökkenő tendencia, 20-30%, majd negatív visszatartás.

Hol követtük el a hibát? Hol kereshetők az okok? A probléma gyökere a forgatókönyvek előállításában található. A Zala folyó ÖP-terhelése a nyolcvanas éveket követően több lépésben 100 t/év értékről – száraz időben – a tizedére csökkent, így az 1997-ben készített forgatókönyv lényegesen nagyobb értékeket tartalmazott, mint ami bekövetkezett. A Hídvégi-tó statikus „válaszfüggvénye” eltolt telítési (vagy Monod-) görbe jellegű: nagy terhelés és koncentráció mellett a visszatartás is nagy (~40-50%), míg kis terhelés mellett kicsiny (~10%, de akár negatív is lehet). A generálás a négy, még „nagy terhelésű” évből válogat, ez áll szemben a valóság „kis terhelésű” éveivel. A végeredmény a nemlineáris következtében a mérés és a szimuláció eltérése, miközben a modellt, statisztikai értelemben, ex post sikeresen igazoljuk, az eltávolítási hatások a belépő terhelés függvényében igen jó egyezést mutat a mérések és az előrejelzések között. Csapdahelyzet ismét, egyszerűen a

nemlinearitás „bolondítja” meg a problémát. Ennek ismeretében *hogyan végeznénk ma a számításokat?* Nincs jó válaszuk. 5-10 évenkénti monitoring némileg segítene.

A kalibrálás, igazolás és identifikáció, az érzékenységek és a bizonytalansági vizsgálatok szorosan egymáshoz kapcsolódó lépései a modellfejlesztésnek, amelyek a bonyolultság fokozódásával egyre fontosabbá válnak. A paraméterek megválasztásánál lépésenként haladhatunk: „default” értékekkel kezdhünk, amit heurisztikus keresés, majd optimalizáció követhet (Reichert és társai 2001). Sokat segíthet az olyan paraméterek kiválasztása, amelyekre a modell különösen érzékeny. Ezek általában a megkívánt pontossággal becsülhetők. Fordítva, lehetnek más paraméterek, amelyekről a modellkimenet szinte teljes mértékben független. A legjobb ezeket állandónak tekinteni. Előnyös olyan folyamatok kiválasztása is, amelyek izolálhatók és kísérleti úton vizsgálhatók, például elsődleges termelés, szél keltette felkeveredés. Ez utóbbival összefüggésben a fényintenzitás és a P-szorpció változásai is vizsgálhatók.

Látjuk, hogy a legtöbb esetben aprólékos identifikációról van szó. Ezt és a fejlesztés sikeres voltát *elemi hibák tehetik tönkre*. Az anyagmérleg nem teljesül: az üledék figyelembevétele nagyon sok esetben több változóra hibás, az üledékokigén-igény időben állandó (lásd például az elterjedten használt QUAL2-modellt), a BOI rosszul definiált, aminek anyagmérleg-következményei vannak, a mérési mátrix (az állapotváltozók és a mérési változók közötti kapcsolat) hibásan konvertál, helytelen a határfelületi jelenségek leírása. Ezekhez számos további hiba adódhat. A nem pontszerű szennyezések és a városi lefolyás figyelembevételével nemcsak a kicsiny, de a nagy gradiensek és deriváltak kezelése is nehéz. A léptékek és a dimenziók megválasztása (példa erre a Duna „naiv vagy vicces” 1D-modellezése), a lassú és a gyors folyamatok együttes leírása, hibás default paraméterértékek, az élővilág strukturális változása stb. Különös aggodalmat jelent a „*model dumping*”, el vagyunk árasztva szoftverrel, aminek a minősége ismeretlen. Hasonlóan ismeretlen a „*user*” tudása (jogosítványa?), ami nem ad minőségi garanciát és védelmet. Felmérések szerint a legkiforrottabb QUAL2-modell egyetemi jegyzet részletességű kézikönyvét a felhasználók többsége nem ismeri. Súlyos etikai kérdések merülhetnek fel ezzel kapcsolatban, *az oktatásnak is komoly feladatai vannak*.

AZ ADATGYŰJTÉS PROBLÉMÁI

A modellek alkalmazásának fő akadályja az adekvát adatok hiánya a kalibrálás és igazolás céljára. Valójában nagy a pénzügyi és egyéb teher a modellezőn (megbízóján), hogy a korábban elmondottakat is figyelembe véve méréseket végezzen különböző meteorológiai körülmények és vízhozamfeltételek mellett. Gyakran a mérési időszak (1-2 nap) túl rövid és az ezen kívül eső fontos események rejtve maradnak. A rendszeres (vagy éppen rendszertelen) mintavételt a *kis gyakoriság* jellemzi térben és időben egyaránt (például a Balaton esetében a nyolcvanas években heti egy megfigyelés 9, illetve 16 pontban), ami *alkalmatlan bonyolult modellek kalibrálására és validálására*. Ritkán alkalmazzák a mintavételezés elméletét, ami adott mintaelemszám mellett lehetővé teszi a hibabecslést vagy

fordítva, előírt hiba esetén a kívánatos mintavételi gyakoriságot (Cochren 1962). Régi jó ökölszabályok feledésbe merültek. Például a mérési programok tervezése esetén: (i) legyen a gyakoriság a legkisebb időlépték tizede és (ii) tartson a mintavételezés a legnagyobb lépték tízszereséig (Lijklema 1982).

Különösen fontos lenne posztauditok (utólagos vizsgálatok) révén visszacsatolást kapnunk arról, hogy szennyvíztisztító telepek építése (általánosabban a szabályozások) milyen mértékben javították – az elvárthoz képest – a vízminőséget, például az oldottoxigén-koncentrációt. Ilyen elemzések alig állnak rendelkezésre.

Átfogó EPA-értékelésről Thomann (1987) számol be, abból az időszakból, amikor az USA-ban sok telepet létesítettek. A felmérésbe tíz vízfolyás mintegy ötven megvalósult szennyvíztelepét vonták be. A program során mérték a tényleges DO-t, majd a *megvalósult projekteket* ellenőrizték: a modellek szimulációi – különböző bonyolultságúak – mennyire követik az észleléseket. Különbséget tettek a modellezők két csoportja között: (i) „szobamodellezők”, és (ii) azok, akik fontosnak tartották, hogy a terepen mérjenek, amikor szükséges. A posztaudit mérési eredmények mindkét esetben ismeretlenek voltak az elemzők számára. Ideális esetben a pontok (a számított értékek a mérés függvényében) 45 fokos egyenes mentén helyezkednek el. Itt az adatpárok és az azokból született regressziós egyenes arra utalt, hogy a 6 vagy 7 mg/l-nél kisebb DO-tartományban a modellek felülbecslik a méréseket. Ennek mértéke az elvárt 0,5 mg/l-rel szemben elérte az 1,0–1,5 mg/l-t. Ha tehát ezeket a modelleket tervezésre használjuk, a valóságban a kívántnál kisebb koncentrációk fognak adódni. A rossz hír ilyenkor az, hogy a telep üzemvitelét meg kell változtatni vagy pedig többletberuházzal a technológiát ki kell egészíteni. Ez is a *csapda* egyik fajtája. Talán nem meglepő módon a többieknél jobb eredményeket kaptak azok, akik összetettebb modelleket használtak és/vagy fontosnak tartották a terepimunka bevonását. Az elemzőnek gyakran igazi detektív munkát kell végeznie ahhoz, hogy megbízható becslésekhez jusson. A nyolcvanas évek végén egy ENSZ-projekt keretében Brazília fővárosában az akkor hipertróf Paranoá-tó rehabilitációján dolgoztunk (ma fürdésre alkalmas), modellezés segítségével (Somlyódy és Altafin 1992). A térség tápanyagmérlegével szemben komoly fenntartásaink voltak. A források és a transzmissziók alapján úgy becsültük, a P- és N-terhelések fele valahol „eltűnt”.

Három magyarázatot gyanítottunk. *Az első:* a szatellitvárosok a szennyvizüket tisztítás nélkül csatornába, majd vízfolyásokba vezették, amelyek közvetlen befogadója a tó volt. A kis vízfolyásokat reggel 9.00 órakor mintavételezték. A kapott értékek alapján számolták a folyó és a tó terhelését. A kérdés most már az volt, a 9.00 órás adat reprezentatív-e a napi átlagra? A szatellitvárosok vízfogyasztási adataiból reggeli és esti csúcsot tapasztaltunk, ami nem meglepő. Ezután a vízfolyások keresztmetszésvényeiben 48 órás vízhozammérést végeztünk. Kiderült, hogy a hozam reggel kilenckor minimum körül volt, a hullámok a fogyasztótól nem érkeztek még meg. A terhelés mintegy 40%-át nem fedte le a mérés. A *másik* magyarázat a hossz-szelvény mérésekből származott: a talaj/üledék

nagy vastartalma miatt a P-visszatartás lényegesen nagyobb volt, mint azt gondoltuk. *Harmadszor*, a két nagy eleveniszapos telep egyike anaerob iszapággal rendelkezett, ami rendkívüli mértékben túlterhelt volt. A csurgalékvíz (100 mg/l ÖP-koncentrációval) a közeli vízfolyásba, majd onnan a tóba került vissza, mintha szennyvíztisztító nem is létezett volna. *Sok kicsi csapda!*

ROSSZUL DEFINIÁLT RENDSZEREK

A paraméterek becslése is nehézségeket okozhat. Ilyen eset, amikor nincsen egyértelmű megoldás, több paramétervektor ugyanahhoz az eredményhez vezet. Ez az egyensúlyi állapotban (vagy annak közelében) fordulhat elő, amikor az „ellentétes” paraméterek kompenzálhatják egymást. Számos ilyen példát tudunk felsorolni: a rendszerek egyensúlya – anyag- és energiamegmaradási okok miatt – megkívánja, hogy egy hatásnak legyen ellenhatása. Példaként vehetjük az oxigénháztartás klasszikus *Streeter- és Phelps- (1925)* féle egyenletét, ami a szerves anyag bakteriális lebontását írja le:

A vízminőségi modellek területén gyakori a hiedelem, hogy azok a paraméterek behelyettesítését követően szinte magától értetődően és megbízhatóan szolgálják az óhajtott megoldást

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 L, \quad (3)$$

$$\frac{dD}{dt^*} = -k_2 D + k_1 L \quad (4)$$

Itt L a biokémiai oxigénigény (BOI), $D = c_s - c$ az oxigéndeficit [ML^{-3}], c_s a telítési érték [ML^{-3}], k_1 a lebomlási tényező [T^{-1}], k_2 az oxigénbeviteli tényező [T^{-1}], t^* a levonulási idő [T]. Az egyenletrendszer azt írja le, hogy valamely szennyvízbevezetés alatt a szerves anyag lebontása elsőrendű kinetikával írható le. A BOI jellemzője az $x = u t^*$ hosszirány mentén exponenciálisan csökken, míg a D két elsőrendű kinetika kombinációjaként kezdetben nagymértékben nő (amíg a második tag még nagy), ezután L változásával mérséklődik.

Van-e „egyensúlyi” állapot? Nyilvánvalóan van, ha a deficit deriváltja t^* szerint zérus. Ekkor a rendszer minimummal rendelkezik, az idő függvényében az oldott oxigén a telítési értékről csökken, a kritikus helyen eléri a minimumot,

$$D_{kr} = (k_1/k_2)L \quad (5)$$

utána pedig nő. Ez a híres oxigénvonal a DO_{Sag} .

A *DO-rendszer „rosszul definiált”*: a k_1 lebomlási tényező és a k_2 oxigénbeviteli tényező megválasztható úgy, hogy a paraméterkombináció azonos eredményt szolgáltatson. A legfontosabb és a legbizonytalanabb a k_2 tényező, *Streeter és Phelps (1925)* is hosszasan foglalkozott becslésével, ami még a jövő számára is ad kutatási feladatot.

Hasonló, rosszul definiált egyenlettel sok jelenséget írhatnak le a vízgazdálkodásban. Kézenfekvő példa az ülepedés és a felkeveredés, a nitrogénkötés és a denitrifikáció, az ammónium és a nitrát átalakulása, a szorpció és deszorpció,

az algaszaporodás és -pusztulás, számos vízgyűjtő folyamat; tápanyag-emisszió és -visszatartás, erózió és a kiülepedés és így tovább. Ezeknél aligha létezik egyetlen megoldás. Ide tartozik a hidraulikából tavak vízszínlengésének 1D leírása, amikor a két ellentétes hatású paraméter (a fenéksúrlódási tényező és az ellenállás tényező) sok kombinációja vezet ugyanahhoz az eredményhez. Nyugtalanító.

Az egyenletekben és az eredeti *Streeter–Phelps- (1925) cikkben* $t^* = x/u$ jelöli a levonulási időt. Ez nem más, mint a „plug flow reactor” (PFR) feltevés alkalmazása. Zseniális megérzés volt, hogy a diffúzió és a keresztmetszelybeni változások kevésbé fontosak, alapvetően a folyamatot t^* határozza meg. Ha a vizsgált folyót konstans u sebesség jellemzi, t^* egyszerűen az átlagsebességből számítható. Közömbös, hogy az időről vagy a hosszmenti koordinátáról beszélünk, a kettő között egyértelmű transzformáció áll fenn. Ha a levonulási idő a hossz mentén változik, akkor azt szakaszonként nyilván figyelembe lehet venni.

A HSY-MÓDSZER

Folytassuk a rosszul definiált rendszerekkel! Ha egyensúlyi állapotot tételezünk fel, akkor a deficit deriváltja zérus, az egyensúlyi koncentráció a két paraméter hányadosával arányos. Könnyen belátható, hogy ilyenből akárhányszor találhatunk, csak a hányados változatlan voltát kell biztosítani (és persze a paraméterek fizikai racionalitását). Az oxigén esetében a kritikus helyen, k_2 és k_1 aránya viszonylag széles tartományon belül változhat, számos paraméterkombináció mellett ugyanazt az eredményt kapjuk. Ilyen esetekben javasolják, hogy alternatív hipotézisekkel dolgozzunk. A hipotéziseket tesztelni célszerű, majd az eredményeket „valahogy” felhasználni. De hogyan is történhet ez a tesztelés? És mi is a HSY- (Hornberger–Spear–Young-) módszer lényege?

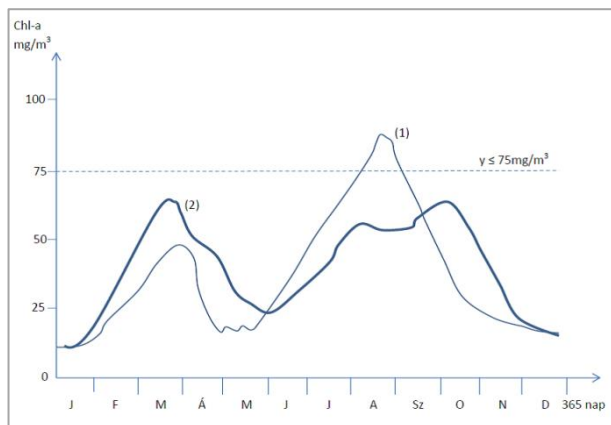
A hetvenes években nagy viták folytak a vízminőség-szabályozásban, hogyan mintavételezzünk. Akik az irányításméletből és a villamosmérnöki szakmából jöttek, az egyenletes kiosztás mellett érveltek (például a Kálmán-szűrő, 1960). Utóbbi viszont a problémák jellege miatt nem volt megvalósítható, természetes vizek esetében olyan nagyok a tér- és időbeli inhomogenitások. Ekkor jelent meg *Hornberger és Spear (1980)* úttörő módszere (Young később csatlakozott), ami új keretek közé helyezte a vízminőség modellezését. Kiindulópontjuk kettős volt: (i) a vízminőségi mintavételezés definíciószerűen szabálytalan, azt hiányos adatok jellemzik, amire nem érdemes ráerőltetni valamely „idegen”, egyenletes sémát, és (ii) a vízminőségi problémák rosszul definiáltak, nagyok a bizonytalanságok, ritkán van egyetlen megoldás; ezt figyelembe véve kell kezelni őket.

Nézzük akkor nagy vonalakban a három kutatóról elnevezett eljárást és annak egyes lépéseit!

- Vízminőségi modelleket általában a terepismertek és -mérések alapján fejlesztünk, utóbbiak többnyire hiányosak. Indikátorokat választunk, amelyek jellemzik a kérdéses problémát (oldott oxigén, valamilyen toxikus anyag stb.). Feltételezzük, hogy a reakciókinetikai egyenletek többnyire ismertek, a

nem kevés számú paraméterek tartománya pedig meghatározható. Az indikátorokat az év 365 napja függvényében ábrázoljuk (1. ábra).

- Vezessük be a „viselkedésforma” definícióját, amivel a rendszer főbb, robusztus tulajdonságait próbáljuk lefedni. Ha például a mérési eredmények alapján tudjuk, hogy valamely indikátor koncentrációja sosem nagyobb 200 mg/m³-nél, akkor már önmagában ez vezethet viselkedési definícióhoz. Előírhatunk persze alsó korlátot is, tavaszi alga-biomassa jellemzőket, szaporulatot és egyebeket.
- A paraméterekről feltételezzük, hogy egyenletes eloszlás jellemzi őket (választhatunk más is).
- A szimuláció elindításához a paraméterek közül véletlen jelleggel válogatunk egyet-egyet, ami például egy vektort határoz meg.
- Ezzel elvégezzük a szimulációt. Az eredmény az indikátor (indikátorok) a napok függvényében. Két eset lehetséges: (i) a trajektória megfelel a viselkedés definíciónak, akkor a paramétervektort tároljuk, míg (ii) ellenkező esetben (a trajektória metszi a korlátként kijelölt tartományt) elvetjük.
- A számítást Monte Carlo-módszerrel megismételjük, és ez elegendő sokszor (a nagyságrend tízezer körüli) ahhoz, hogy az elfogadott eredmények (a tapasztalatok szerint az összes néhány ezreléke) statisztikailag megnyugtatóan értékelhetők legyenek.
- Ellenőrizzük, hogy vannak-e paraméterek, amelyek korrelálnak, amennyiben igen, csökkenthetjük a redundáns paraméterek számát.



1. ábra. A HSY-módszer
Figure 1. The HSY method

(Megjegyzés: Viselkedés definíciói; Chl-a ≤ 75 mg/m³; (1) trajektória nem felel meg; (2) trajektória megfelel.)

Szemben a determinisztikus eljárásokkal, a módszer előnye, hogy a bizonytalanságokat jellemző sávot és az eloszlásokat is elő tudjuk állítani. További előny, hogy lineáris és nemlineáris, közönséges és parciális differenciálegyenleteken alapuló modellekre egyaránt alkalmazható. Másodszor, könnyen automatizálható. Harmadszor, robusztus, előnyös alternatív hipotézisek tesztelésére.

A Balaton esetében van Straten (1986) SIMBAL P-körforgási modellre alkalmazta a módszert, és azt találta, hogy a HSY-módszer hatékony volt a modellstruktúra módosításaiban, a korrelált és az érzékeny paraméterek azonosításában, a szorpció leírásában, a hosszirányú, medencéközi anyagcsere vizsgálatában és a paramétertartomány szűkítésében. A HSY-módszer alapvetően mérnöki jellegű, gyors, robusztus Monte Carlo-eljárás, ami könnyen alkalmazható a modell struktúrájától függetlenül.

A LÉPTÉKEK MEGVÁLASZTÁSA ÉS ELEMZÉSE

A modellalkotás egyik fontos eleme arról dönteni, milyen a folyamatok időbeli, illetve térbeli lejátszódása és mik a releváns léptékek. Nemritkán fordul elő, hogy hibásan döntünk, ami azután felboríthatja a modellfejlesztés egész folyamatát.

Időléptékek

A különböző vízminőségi folyamatokat eltérő T időállandók és L hosszléptékek jellemzik (Reichert és társai 2001). A kettő kapcsolatát az u [LT -1] átlagsebesség teremti meg:

$$T = L/u. \quad (6)$$

Nagy hosszléptékű vizek jóval kevésbé igényelnek részletes leírást, mint azok a rendszerek, amelyek gyorsan reagálnak. Például az eutrofizálódás „válaszok” sokéves sorozata a tápanyag-feldúsulásra, miközben a rövid időtartamú jelenségekkel gyakran nem foglalkozunk. Ezzel szemben, az egyesített csatornatúlfolyók a befogadó vízminőségét percekben vagy órákon belül befolyásolják és elkerülhetetlenné teszik a részletek modellezését, az eltérő időállandóknak megfelelően az eltérő modellfoglalmazásokat.

A modellalkotás első lépése a jellemző időléptékek alsó és felső határának (T₁, illetve T₂) megválasztása, a megfelelő hosszléptékek, L₁ és L₂ alapján. A korlátok függenek a problémától és a domináns folyamatoktól, azaz a (2) egyenlettől és a határfeltételektől. Néhány példa az időállandóra: fotoszintézis – 1 nap; városi szennyvíz változásai – 1 nap vagy 1 hét; levonulási idő az advekciónak eredményeként – 1 nap vagy egy hét stb. Emlékeztetőül a maximális algaszaporodási ráta a 1/nap – 4/nap tartományon belül változhat, azaz 0,25 nap – 1 nap. Amint T₁-et és T₂-t kiválasztottuk, dönthetünk a folyamat leírásáról: permanens vagy dinamikus. Ha az adott folyamat jellemzője az időállandó T_c = 1/k és T₁ < T_c < T₂, dinamikus modellel kell dolgoznunk. Ha T_c >> T₂, a folyamat elhanyagolható. Ha T_c << T₁, elégséges a permanens megközelítés (1. táblázat).

1. táblázat. A modell időbeliségének megválasztása
Table 1. Selection of the timeframe of the model

Időlépték	Definíció	Modell
Víz	T ₁ < T _c < T ₂	Dinamikus
	T ₁ >> T ₂	0D
	T _c << T ₁	Permanens
Üledék	T _c << T ₁	0D
	T ₁ < T _s < T ₂	Dinamikus
	T _s >> T ₂	Paraméter

Az üledék egy másik tényezőt jelent. Az üledék időállandója T_s , jellemzően két egymást követő, zavaró esemény (árhullám vagy vihar) között eltelt idő, azaz $T_s \gg T_2$. Az üledék folyamatai elhanyagolhatók, ha $T_2 \gg T_s$. Dinamikus leírás mód szükséges, ha $T_1 < T_s < T_c$. Ez a jellemző eset sekély folyókra, ahol a bentikus aktivitás számottevően hozzájárul a konverzióhoz. Amikor az üledék-folyamatok lassúak, $T_s \gg T_c$, az üledék paraméterként kezelhető (erre példa az üledékoxigén-igény).

Térbeli dimenziók

Tekintsük a felbontást és a dimenziót *mélység mentén*, ami alapvetően befolyásolja a peremfeltételek és a paraméterek megfogalmazását. A víz és az üledék 3D-leírása észszerűen közelíthető függőlegesen átkevert vízréteg és egy vagy két üledékréteg által. Így a dimenziók száma is csökken, miközben az elválasztó és a határoló felületeken a fluxustagok forráskifejezésekké alakulnak. A lassú átalakulás által jellemzett mélyebb üledékréteg az eltemetődés fluxusával helyettesíthető, ami az aktív réteg veszteségét képviseli. A diffúzió jelenthet ellentétes irányú anyagáramot.

A felbontás függ a szennyezőanyag jellegétől. A toxikus anyagok esetében az üledék szinte mindig szerepel, oldottoxigén-vizsgálatánál nagyon ritkán. Az alkalmazott módszer az üledékoxigénigény-feltevésen alapul, aminek használatáról a szakma napjainkban kezd leszokni. Különböző tárgyalásmódok lehetségesek. Az ASMI nem tesz különbséget a víz és az üledék között, az iszapfrakciókat teljesen elkevertnek tételezzük fel a vízfázisban. A függőleges mozgást egyetlen sebesség képviseli, ami az advekción, az ülepedés és a felúszás eredője. Elvileg ez az út folyókra is követhető, sokkal gyakoribb azonban a kiülepedés és a felkeveredés fluxusainak használata, amelyek az advekción és a diffúziót is lefedik. Mély vizeknél finomabb felbontásra lehet szükség.

A dimenziók kiválasztása történhet a *hosszlépték alapján*. A keresztirányú és a függőleges elkeveredés hossza az alábbiak szerint becsülhető:

$$L_L = \frac{W^2}{2D_y} u ; \quad L_v = \frac{h^2}{2D_z} u \quad (7)$$

ahol W és h – a szélesség, illetve a mélység [L], D_y és D_z – kereszt-, illetve függőleges irányú diszperziós tényező [L^2T^{-1}], u – hosszirányú sebesség [LT^{-1}]. Fischer és társai (1979) szerint első közelítésben $D_y = 0,6hu^*$ és $D_z = 0,067hu^*$, ahol u^* a fenékcúszató sebesség [LT^{-1}], $u^* = \sqrt{ghS_0}$, itt g – nehézségi gyorsulás [LT^{-2}], S_0 fenékesés [–].

Most már a hosszléptékek függvényében a dimenziók választását a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. Hosszléptékek és dimenziók
Table 2. Scales of length and dimensions

Kritérium	Dimenziók	Megjegyzés
$L1 \gg LL$	1D	1 feltétel
$L1 \gg Lv$, de nem $L1 \gg LL$	2D	2 feltétel
Nem $L1 \gg Lv$	3D	3 feltétel

Megjegyezzük, hogy permanens körülmények között 1D-modellben a diszperzió általában elhanyagolható.

Még érdemes az *advekción szerepét átgondolni*, ami befolyásolja a víz és a vízben található oldott és szilárd anyagok mozgását. A legtöbb esetben a vízmozgás a transzporttól függetlenül számítható. A szilárd fázis időállandóját $T_s = h/w_s$ jellemezheti, ahol w_s a részecske ülepedési sebessége. Ha $T_s < T_1$, az ülepedés pillanatszerű, és a szilárd fázis modellezése szükségtelen. Ha $T_s > T_2$, az ülepedés lassú, és a folyamat elhanyagolható, ezzel szemben ha $T_1 < T_s < T_2$, a folyamatot figyelembe kell venni.

Dimenziómentes számok

A vízminőség idő- és térbeli változékonysága fontos szerepet játszik a modellstruktúra kiválasztásában és abban, hogy közönséges vagy parciális differenciálegyenlet-rendszerre építünk. A kérdés nagyságrendi megítéléséhez először a transzportegyenlet *dimenziómentes alakját* vezetjük le, majd definiáljuk a *Pecllet- és Damköhler-számokat*, és segítségükkel egyszerű elemzéseket végzünk, jól ismert felszíni vizekre (Antenucci és társai 2013).

Tekintsünk egy reaktort, és tételezzük fel a teljes elkeveredést! Ekkor, elsőrendű kinetika esetében (1d. (7) egyenlet) a c koncentráció időbeli megváltozását a

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{dc}{dt} = -rc \quad (8)$$

egyenlet írja le, ahol r valamilyen nem konzervatív anyag reakciósebessége (például a lebomlási tényező, a szaporodási vagy a pusztulási ráta [T^{-1}]). Értéke pozitív, ha a folyamat a vízfázisban a koncentráció csökkenéséhez vezet, és negatív a fordított esetben. A (8) egyenlet elhanyagolja az advekción és a turbulens diffúziót (1D- és 2D-tárgyalásmódban a térbeli egyenlőtlenségek hatását kifejező diszperziót), azaz az áramlás hatását. Kérdés, hogy ez milyen körülmények között engedhető meg. Mikor válik elkerülhetlenné a hidrodinamikai transzportegyenlet alkalmazása?

A válaszadás kedvéért tekintsük a reakciótaggal kiegészített transzportegyenletet és azon belül az egyszerűség érdekében az 1D-esetet, ahol x az áramlási főiránynak felel meg (a 2D- és a 3D-esetek értelemszerűen hasonló gondolatmenetet követően kezelhetők):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - rc \quad (9)$$

Itt u és D_x : a hosszirányú sebesség [LT^{-1}] és a turbulens diffúzió tényezője [L^2T^{-1}], r : a reakció sebessége [–]. Dimenziótlanjuk az egyenletet a c_0 , L , T_0 , u_0 és r_0 (vagy r_{max}) mértékadó és/vagy átlagmennyiségekkel, és tartjuk meg az eredeti jelölést a változók számára. Ismerjük fel, hogy az egyenletben a három folyamat rátái és/vagy időléptékei szerepelnek:

$$T_{xu} = L/u_0, \quad T_{xd} = L^2/D_{x0} \quad \text{és} \quad T_R = 1/r_0$$

Ezekkel az

$$\frac{1}{T_0} \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{T_{xu}} u \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{1}{T_{xd}} D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{1}{T_R} rc \quad (10)$$

összefüggés adódik. Ez átrendezést követően a

$$\frac{T_{xd}}{T_0} \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{T_{xd}}{T_{xu}} u \frac{\partial c}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{T_{xd}}{T_R} rc \quad (11)$$

alakban írható. Végezetül, bevezetve a Damköhler-féle dimenziómentes számokat (Da),

$$Da_{xu} = \frac{\text{Reakció ráta}}{\text{Advekción ráta}} = \frac{\text{Advekción idő}}{\text{Reakción idő}} = \frac{T_{xu}}{T_R} = \frac{Lr}{u_0} \quad (12a)$$

$$Da_{xd} = \frac{\text{Reakció ráta}}{\text{Diffúzió ráta}} = \frac{\text{Diffúzió idő}}{\text{Reakción idő}} = \frac{T_{xd}}{T_R} = \frac{L^2 r}{D_{x0}} \quad (12b)$$

továbbá hasonlóan a jól ismert Peclet- (Pe -) és Fourier-számokat (Fo),

$$Pe_x = \frac{T_{xd}}{T_{xu}} = \frac{Lu_0}{D_{x0}} \quad (13)$$

$$Fo_x = \frac{T_{xd}}{T_{0x}} = \frac{L^2}{D_{x0} T_0}$$

majd átosztva a diffúziós tag együtthatójával, a

$$Fo_x \frac{\partial c}{\partial t} = -Pe_x \frac{\partial c}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - Da_{xd} rc \quad (14)$$

dimenziómentes egyenlet adódik. Itt

$$Da_{xd} = Pe_x Da_{xu} \quad (15)$$

azaz a Fourier-számmal

$$Fo_x \frac{\partial c}{\partial t} = -Pe_x u \frac{\partial c}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - Pe_x Da_{xu} rc \quad (16)$$

A Fourier-szám a diffúzió hosszléptékét jellemzi: $L \sim (D_{x0} T_0)^{1/2}$, r a dimenziómentesített reakciósebesség, értéke időben – a hőmérséklet- vagy a fényviszonyok függvényében – változik. Ily módon az 1D-transzportegyenlet dimenziómentes alakját kaptuk. A 2D-eset az eljárás ismétlésével adódik, amiben az x és y irányú Peclet-számok jelennek meg.

Az egyenletek és a dimenziómentes számok alapján néhány megfigyelést teszünk. A (15) egyenletből érzékeljük, hogy *elsőszor*: az advektív sebesség nagyobb, mint a diffúzió sebessége, miután felszíni vizekre általában $Pe > 1$, így $Da_{xd} > Da_{xu}$. *Másodszor*: a dimenziómentes számok egy körüli értéke azt mutatja, hogy a párba állított folyamatok hasonló fontosságúak. *Harmadszor*: nagy Damköhler-szám arra utal, hogy a reakció sebessége nagy a diffúzió, illetve az advekción sebességéhez viszonyítva. Ha például a Pe -szám – az advekción és diffúzió időléptékek aránya – nagy (gyakran 100 feletti), a diffúzió szerepe kicsiny az advekciónhoz képest. Ebből az is adódik, hogy mondjuk 10 feletti Pe -szám esetén jó közelítés a PFR (plug flow reactor), míg 0,1 alatt a CMR- (completely mixed reactor-) közelítés a megfelelő. *Negyedszer*: hasonló a helyzet a két Damköhler-számmal: nagy értékük arra utal, hogy a reakción sebessége uralja az advekción, illetve a diffúzió. Első esetben az időléptékekre $T_u > T_R$, azaz elég idő áll rendelkezésre a lebomlási, kiülepedési és egyéb nem konzervatív

folyamatok lejátszódására. *Ötödször*: fordított helyzetben, ha Da_{xu} kicsi, a sebesség nagy és a „tartózkodási idők” túl rövidnek ahhoz, hogy a reakción tag érdemben befolyásolja a koncentráción megváltozását ($Da_{xu} \leq 1$, $T_u \leq T_R$, a részecskék kontaktideje hiányzik, a reakción csak részlegesen tud lejátszódni, szélső esetben a hatása elhanyagolható). *Hatodszor*: az advekción és a diffúzió együtt csak akkor játszik fontos szerepet, ha Da_{xu} kisebb, mint 1, és a Peclet-szám nem nagy. Ez ritkán fordul elő.

Limnológiai megfontolásokat is figyelembe véve (*Antenucci és társai 2013*), ahhoz, hogy a (8) feltétel teljesüljön, az összes dimenziómentes számnak kicsinek kell lenni. Miután a diffúzióidő kicsiny az advekciónhoz viszonyítva, és T_{xu} és T_{xd} kicsinyek T_R -hez viszonyítva, így az erős gradiensek kisimulnak (Pe kicsi). Da_u és Da_d kicsinyek a reakciónidőhöz képest, így lokális terek éles gradienssel nem képződnek. A reakciónfrontok erősödnek, ha Pe és vagy Da_{xu} növekednek. A Damköhler-szám definiciónja arra utal ismételtelen, hogy alacsony Da -értékek oligotróf vizekre vonatkoznak, míg a magas értékek eutróf rendszerekre. Ekkor a Da -szám nő, a térbeli gradiens fontosságával együtt. A gondolatmenet alkalmazható szezonális alapon, főként alacsony szaporodás és erős szélhatás mellett. Nagy Peclet-szám arra utal, hogy advekción uralja a diffúzió. Ez azt is mutatja, hogy az advektív Da -szám fontosabb az áramlás leírásában, mint a diffúzió.

További tapasztalatok szerzése érdekében több ismert vízre – Balaton, Keszthelyi-medence, Marina Bay (Szingapúr), Duna és Eric-tó stb. – irodalmi adatokra támaszkodva (*Somlyódy 1985*, *Somlyódy és van Straten 1986*, *Antenucci és társai 2013*) elvégeztük az áramlási „főirányokra” vonatkozó nagyságrendi becslést (3. táblázat).

A nagyságrendi becslések meglehetősen széles tartományban érvényesek. Az összes vizsgált vízre, $r = 0,1/\text{nap}$ mellett, Da_{xu} – egy kivételével – 1,0 alatti (az advekción gyorsabb, mint a reakción), Da_{xd} 1,85 és 1900 közötti (a reakción gyorsabb, mint a diffúzió), Pe pedig tavakra 40 és 250 közötti (az advekción gyorsabb, mint a diffúzió). A diffúzió a vizsgálatok szerint a legtöbbször elhanyagolható. Ez alól kivétel a széles folyók keresztirányú elkeveredése, például a Duna esete. A *diffúzió* sehol sem elég erős ahhoz, hogy a CMR-közelítéssel élhessünk, ezzel szemben a PFR észszerű feltevés lehet.

A képet befolyásolja, hogy az r reakciónkinetikai tényező is tág tartományban változik, szennyezőanyagtól és a vegetációs periódustól függően. Értéke nyers szennyvízre 0,3/nap, tisztítottá a harmada-hatoda, összes P -re tavakra 0,01/nap körüli stb. Szezonálisan változhat, például a vegetációs időszakban, vízvirágzás alatt akár 1/nap értékre nőhet. Ez utóbbi esetet feltételezve a relatív fontosság számottevően eltolódik a reakción dominanciája irányába. Szinte az összes tóra bekövetkezhethet a $Da_{xu} > 1$ állapot.

Modellalkotási szempontból sekély felszíni vizek széles körére a következtetés nem mond túl sokat: a numerikusan nehezen kezelhető advekción, továbbá a reakción szinte minden esetben figyelembe veendő és *legfeljebb a diffúzió hanyagolható el, ami komolyabb előnnyel nem jár*. Ennél több csak a leíró egyenletek megoldása és elemzése

révén mondható. Egyszerű példa erre *Huysmans és Dassargues munkája (2004)*, akik alacsony áteresztőképessé-

gű környezetre az advekcio és a diffúzió relatív szerepét vizsgálták analitikus megoldás és a Peclet-szám segítségével.

3. táblázat. Dimenziótlan mennyiségek különböző vizekre ($r=0,1/\text{nap}$)

Table 3. Dimensionless figures for certain water bodies ($r=0,1/\text{day}$)

(Jelölések: L –az elkeveredésre jellemző hossz, u –jellemző sebesség, D –jellemző turbulens diffúziós tényező, Da_u és Da_d –Damköhler-számok, Pe –Peclet-szám, PFR –plug flow reactor, CMR –completely mixed reactor. Érzékenység U -ra és D -re.; Min –az átlag ötöde, illetve tizede, Max –az átlag kétszerese, illetve tízszerese.)

Víztest	L (m)	U (m/s)	D_x (m^2/s)	Da_u (–)	Da_d (–)	Pe_x (–)
1. Balaton	8000	0,05	1	0,185	74,1	400
Min.	–	0,01	0,1	0,925	740,7	800
Max.	–	0,1	10	0,093	7,41	80
2. Keszthely	4000	0,05	1	0,093	18,5	200
Min.	–	0,01	0,1	0,46	185,1	400
Max.	–	0,1	10	0,046	1,85	40
3. Marina Bay	1000	0,01	0,1	0,12	12,0	100
4. Erie-tó	10^5	0,05	20	2,32	578,7	250
5a Duna (x)	10^5	1	1	0,12	1 200	10^5
5b Duna (y)	500	0,1	0,1	0,0058	2,9	500

A MODELLALKOTÁS ÉS AZ ELŐREJELZÉS PROBLÉMÁI

A kérdés az, modellünk képes-e leírni a változásokat a vízfolyás állapotában, amennyiben a szennyezés, a vízhozam, a morfológia vagy más változik. Ilyen esetben a paraméterek, amelyeket a megelőző feltételekhez illesztettünk, minden bizonnyal módosulnak. Ha a modell, ahogy ez ma még a legtöbb esetben fennáll, *nem rendelkezik fenomenológiai struktúrával* a paraméter(ek) korrekciójához, ami tükrözné a folyórendszer változását, alkalmatlan lesz az előrejelzésre.

Klasszikus példa, amire már hivatkoztunk: valamely térségben a szennyvizek másodlagos tisztítást kapnak (*Reichert és társai 2001*). A „házi feladat” egyszerűnek tűnik, megválaszolni azt a kérdést, mi lesz az intézkedések hatása? De „baj” van, mert a standard vízminőségi modellek nem képesek megmondani, hogyan változik a fény behatolása a tisztább elfolyó víz eredményeként, illetve az üledék oxigénigénye az iszapbank kimerülése miatt. Ugyancsak nem írják le a folyó átmenetét anaeroból aerobba, sem a denitrifikáció megszűnését. A denitrifikáció elsősorban anoxikus vizekben és az üledékben következik be, ezért a sebessége erősen szennyezett vízfolyásokban nagyobb, mint tisztábbakban. Amennyiben csökkentik a szennyvíztelep szervesanyag-terhelését, anélkül, hogy növelnék a denitrifikációs képességet, a befogadó nitrogén terhelése nőni fog. Ismerős, ugye? Ez ismét a 3. csapda. Vagy inkább potenciális csapdák sorozata. És ismét az üledék: a folyamatok számszerűsítése az üledék modellezése nélkül nem lehetséges.

Ismételten hangsúlyozzuk, a modellalkotásnál az egyik fontos felismerés az, hogy a (2) transzportegyenlet tagjai eltérő diszciplínákhoz tartoznak, eltérő tudásszinttel. Az egyik csoportot az advekcio és a turbulens diffúzió (és ezek hidraulikai háttere) határozza meg, a másikat az átalakulásokat kiváltó, túlnyomóan biológiai és kémiai folyamatok képezik. Ez utóbbi területen ismereteink gyengébbek, és ezért nagyobb mértékben kényszerülünk az adatokra támaszkodni. Hipotéziseket állítunk fel, részfolyamatokat vizsgálunk laboratóriumban és a terepen, majd megkíséreljük a reakciókinetikai modellek azonosítását, kalibrálását, igazolását. Az eljárás ite-

ratív jellegű: kudarc esetén módosítjuk a hipotéziseket és ismételjük az eljárást, amíg engedik.

A vízminőség területén a legtöbb esetben szeretünk/kényszerülünk hosszabb időszakokat, évet, éveket vagy évtizedet szimulálni, amire a hidraulikai gyakorlatban nincsen szükség. Általában valamely kiválasztott év szolgál a kalibrálásra, míg egy ettől független az igazolásra (validáció). A paramétereket érzékenységvizsgálat és bizonytalansági elemzések bevonásával becsüljük. Ezekre a feladatokra speciális rendszerelméleti módszerek állnak rendelkezésre, amelyek szerves részei a vízminőségi modellezésnek és a szoftverfejlesztésnek.

A hidrodinamikai történéseket a ma informatikájára és numerikus módszereire alapozva 2D-ben vagy 3D-ben is hatékonyan tudjuk kezelni. Örömmünk azonban nem tart sokáig, hiszen hamar felismerjük, hogy a vízminőségi mintavételi helyek száma tavanként nem több mint mondjuk 10, kiépített állomásról nem is beszélve. Óriási szakadék lebeg a három terület között, amelyeket az advekcio és a diffúzió részéről a nagyszámú térbeli pont, míg a reakciók vonatkozásában a nemlinearitások és az állapotváltozók nagy száma jellemez. Eközben a megfigyelések kis számával szembesülünk. A tér- és az időléptékek is számottevően eltérőek, és mindez – különösen az ökológia vonalán – gátat jelenthet egyik fő célunk megvalósításában, a megismerés elmélyítésében. A hidrodinamika parciális differenciálegyenletei paradox módon kizárhatják a rendszerelméleti módszerek alkalmazását. Nem kívánt konfliktus jöhet létre a különböző háttérű szereplők és az általuk követett szemlélet – ökológiaorientált és transzportorientált – között (*Somlyódy 1982*), megnehezítve az interdiszciplináris teammunka kialakítását. És az örök kérdés: egyszerű vagy bonyolult modell legyen? Milyen hipotézisekkel éljünk? Sok térbeli szegmens és finom felbontás időben? Ha utóbbi, áll-e rendelkezésre elégséges adat? Ha mégsem, hogyan kezeljük a bizonytalanságokat? Tudunk-e intelligens válaszokat adni? Mást, minthogy „nem tudom...”.

A sikeres kalibrálást és igazolást – vágyálunk „netovábbja” – követheti az alkalmazás: stratégiák vízmi-

nőségi célok megvalósítása céljából, regionális szennyvíz-elhelyezés „optimális” megoldása, szennyezéshaváriák megelőzése, záporvizek és nem pontszerű terhelések szabályozása és számos egyéb, beleértve az oktatást is. Itt látnunk kell, hogy a problémák többsége a „jövő” kérdését veti fel és sajnos a jövőről a legjobban azt tudjuk, hogy az ismeretlen.

Mire kalibráltunk? A múltra. Mire validáltunk? A jelenre. Tisztességes dolog bevallani, hogy nulladrendű modellekkel dolgozunk, amelyek konstans paraméterekkel rendelkeznek, tehát *extrapolálják a múltat és a jelent*. Örülünk, ha lennének olyan adaptív eszközeink, amelyek paraméterei módosulnának a változások függvényében vagy – urambocsá! – az állapotváltozók öntanulók, azaz alkalmasak lennének a vízi élővilág szerkezetének előrejelzésére (de legalább a jóslására). Egyelőre még elég távol vagyunk ettől – van még mit kutatni. És amíg nem lépünk előre, továbbra is azt tesszük, amit manapság. Forgatókönyveket állítunk elő a jövőre, és ezeket értékeljük (jól-rosszul) meglévő modelljeinkkel, okos ökológusaink és mérnökeink segítségével. Lássuk be, hogy ez sem kevés. Tudásunk rendszerezése és elmélyítése modelljeink segítségével, új adatértékelési módszerek, online mérések, távérzékelés, Big Data, korszerű eljárások átültetése más területekről – csupán néhány kézenfekvő, már ma is átlátható lehetőség.

IRODALOMJEGYZÉK

Antenucci, J. P., Kok Meng Tan, Eikaas, H. S. és Imberger, J. (2013). The importance of transport processes and spatial gradients on in situ estimates of lake metabolism. *Hydrobiologia* 700: 9–21.

Beck, M. B. (1987). Water quality modelling: a review of the analysis of uncertainty. *Water Resources Research* 23(23/8), 1391–1442.

Cochran, W. G. (1962). *Sampling Techniques*. John Wiley, New York.

Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. és Brooks, N. H. (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, New York.

Hornberger, G. M. és Spear, R. C. (1980). Eutrophication in Peel Inlet, 1. Problem-defining behaviour and a mathematical model for the phosphorus scenario. *Wat. Res.*, 14, 29–42.

Huysmans, M. és Dassargues, A. (2004). *Review of the use of Peclet number to determine the relative importance of advection and diffusion in low permeability environments*. Springer Verlag, Berlin, 20.

A SZERZŐ



SOMLYÓDY LÁSZLÓ (1943) a BME Professor Emeritusa, az MTA rendes tagja. Jelentős eredményeket ért el szennyvizek elkeveredésének kutatásában vízfolyásokban; 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 a 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 –fejezetet, 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.

Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Journal of Basic Engineering*, 82: 35.

Lijklema, L. (1982). szóbeli közlés.

Reichert, P., Borchardt, D., Henze, M., Rauch, W., Shanahan, P., Somlyódy, L. és Vanrolleghem, P. A. (2001). River Quality Model No. 1. IWA Task Group on River Water Quality Modelling, Scientific and Technical Report No. 12, IWA Publishing.

Somlyódy, L. (1982). Water Quality Modelling: a comparison of transport-oriented and ecology-oriented approaches. *Ecol. Model.* 17, 183–207.

Somlyódy, L. (1985). Quantification of Wind Induced Resuspension in a Shallow Lake – Discussion. *Water Science and Technology*, Vol. 17, No. 8.

Somlyódy, L. és van Straten, G. (eds.) (1986). *Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication. With application to Lake Balaton*. Springer Verlag, Berlin.

Somlyódy, L. és Altafin, I. (1992). Management of Water-resources And Eutrophication In The Federal District of Brazil. *Water Science and Technology* 26:(7-8).

Somlyódy, L., Koncsos, L. és Szilágyi, F. (1998). Guanabara Bay Water Quality Policy Model and its Application, UNDP/BRA/90/010, Final Report (manuscript).

Streeter, H. W. és 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. (1987). Systems analysis in water quality management – a 25th year retrospect. Systems Analysis in Water Quality Management In: Beck, M. B. (ed.): *Advances in Water Pollution Control*. Pergamon Press, Oxford.

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

van Straten, G. (1986). Hypothesis Testing and Parameter Uncertainty Analysis in Simple Phytoplankton-P Models. In: Somlyódy, L. és van Straten, G. (eds.) (1986). *Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication. With application to Lake Balaton*. Springer Verlag, Berlin.

Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer

Fiala Károly*, Barta Károly**, Benyhe Balázs*, Fehérvári István*, Lábdy Jenő****, Sipos György**, Gyórfy Lajos***

*: Alsó-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság, 6720 Szeged Stefánia 4.

** : Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2-6.

***: Szegedi Tudományegyetem, Bolyai Intézet 6720 Szeged, Aradi vértanúk tere 1.

****: Országos Vízügyi Főigazgatóság, 1012 Budapest, Márvány u. 1/D

(E-mail: fialak@ativizig.hu, benyheb@ativizig.hu, fehervaryi@ativizig.hu)

Kivonat

A monitoring rendszer megvalósítása az objektív alapokra helyezett aszálykezelés (megelőzés előtérbe helyezése) és a vízkészlet-gazdálkodás támogatása céljából kezdődött meg. A rendszer új észlelési- és elemzési módszereket foglal magába, amelyek tapasztalatai alapján a döntéshozatal támogató beavatkozási- és jogalkotási folyamatok kerülnek kidolgozásra. A rendszer kifejlesztését megelőző kutatások eredményeképpen egy napi időlépéssel működő új aszályindex (HDI) került kifejlesztésre, melyhez a szükséges adatokat a 2016-2018 között országsszerte megépült monitoring állomáshálózat szolgáltatja, mely jelenleg 47 db, a közeljövőben pedig megközelítőleg 150 db állomást fog magába foglalni.

A meteorológiai alapparamétereken túlmenően az állomások több mélységben mért talajnedvesség adatokat is szolgáltatnak, új alapokra helyezve ezzel a magyar vízgazdálkodás és vízhiány kezelés gyakorlatát. A talajnedvességgel kapcsolatos új információk nagymértékben támogatják a vízkészlet-gazdálkodás jelenlegi gyakorlatának fejlesztését, a készletek és igények meghatározást, amely szoros összefüggésben van az agrárium öntözésfejlesztési célkitűzéseivel, a precíziós mezőgazdasági tevékenység feltételeinek megteremtésével.

A rendszer kiemelt célja egy olyan operatív aszálymonitoring tevékenység megvalósítása, mely az ágazat számára az ár- és belvízvédkezéshöz hasonló aszálykezelési tevékenységet tesz lehetővé, egyrészt a védekezési fokozatok meghatározásával, másrészt az operatív beavatkozások és kapcsolódó jogharmonizációs folyamatok pontos definiálásával. A monitoring rendszer által mért- és számított adatokat egy internetes felület teszi közzé, mely térítésmentesen szolgáltatja az információkat a döntéshozók, a szakemberek vagy a gazdálkodók számára, nagymértékben segítve ezzel a legfontosabb érintett szereplők munkáját.

Kulcsszavak

Aszály, aszálykezelés, aszályindex, HDI, vízhiány, vízgazdálkodás, monitoring, talajnedvesség, öntözéstámogatás.

Operational drought and water scarcity monitoring system

Abstract

The monitoring system has been developed in order to support drought and water management placed on an objective basis. The system consists of new detection, evaluation and intervention practices, aiding decision making. Research prior to the implementation of the system has led to the development of a new, daily data based drought index (Hungarian Drought Index – HDI). The data required for the computations is being provided by 47 monitoring stations currently, however the complete network will consist of 150 stations countrywide.

Besides the measured meteorological data, the monitoring stations are providing measured soil moisture data as well, placing on new foundation the practices of Hungarian water and drought management. Information related to the soil moisture is strongly supporting irrigation development possibilities, furthermore it can bring a major breakthrough in water resource management.

The aim of the system is to create and maintain an operational drought monitoring, which will support a drought management practice (similar to flood and excess water management) by determining alert levels and helping legislative procedures. Nevertheless, information provided by the system is available on an internet website, which is granting the data to farmers, experts and decision makers free of charge, greatly helping the work of the most important stakeholders.

Keywords

Drought, drought management, drought index, HDI, water scarcity, water management, monitoring, soil moisture, irrigation.

BEVEZETŐ

Változó klíma, változó vízgazdálkodási kihívások

Az éghajlati tendenciákat figyelembe véve Földünk klímája – a fokozódó antropogén hatások következtében – egyre melegebbé válik (*Riebeek 2010*). Vannak olyan területek, ahol a hőmérséklet hosszútávon csökkenő tendenciát mutat, a kelet-közép-európai régióban pozitív hőmérsékleti változásokat észleltek, így például Magyarországon a hőmérséklet átlagos emelkedése 1901 és 2009 között 1,36 °C-nak adódott (*Lakatos és Bihari 2011*). A csapadék hosszú távú mennyiségi változásai már nem ennyire egyértelműek, (*Lakatos és társai*

2013) az elmúlt bő fél évszázad eseményei alapján kijelenthető, hogy az ezredforduló óta megszaporodtak az időben szélsőséges csapadékeloszlású időszakok, így a száraz periódusok, az aszályok is (*Fiala és társai 2014*).

Az aszály és a vízhiány jelentős kockázati tényezővé vált, melynek előfordulási gyakorisága és erőssége az utóbbi évtizedekben nőtt. Az éghajlat-előrejelzési modellek és a megfigyelések tanulsága alapján, hazánk aszály általi érintettsége várhatóan fokozódni fog, a vízkészletek mennyiségi és minőségi változásai az alkalmazkodáson túl, a megelőzést, a tervszerű használatot fogják megkövetelni.

Mindezek ellenére a magyar vízgazdálkodási gyakorlatban a vízhiánykezelést napjainkig egyfajta kárkövető magatartás jellemezte. Az aszály és a vízhiány értékelésére utólagosan került sor, és a gyakorlati feladatok gyakran a kártérítési tevékenységekre szűkültek le. A probléma súlyosságát emeli ki az is, hogy a vízhiány okozta gazdasági károk sokévi átlagban kifejezve a belvízkárt több mint kétszeres mértékben haladják meg. Ennek ellenére a vízgazdálkodási gyakorlatban nem alakult ki az ár- és a belvízvédekezéshez hasonló operatív beavatkozási rendszer. Kis túlzással azt mondhatjuk, hogy a magyar vízgazdálkodás az utóbbi évtizedekben nem tudott megbirkózni az aszály és a vízhiány okozta kihívásokkal. Ez részben a jogi háttér hiányosságaival magyarázható, mivel az aszály és az aszálykezelés a hatályos jogszabályokban alig jelenik meg. Megelőzési és kezelési gyakorlatra vonatkozó szabályozás pedig gyakorlatilag nincs. A kialakult állapotot nehezíti, hogy a 20. század végére kialakult földtulajdoni struktúra, a birtokrendszer felaprózódása, nem kedvez az öntözésnek (*Hanyecz 2000*), így a vízügyi ágazat által üzemeltetett öntözőrendszerek többsége leépült, ennek következtében pedig a vízhiány kezelése a vízgazdálkodási gyakorlatban fokozatosan háttérbe szorult. Az aszály és a vízhiány kezelése körüli kérdések egyik fontos előidézője, hogy az aszály fogalmi meghatározása körül elég nagy a bizonytalanság (*Pálfai 2002*), miközben a probléma ágazati szinteken kezeletlen maradt.

Az aszálykezelést támogató monitoring rendszer kifejlesztésének előzményei

A monitoring rendszer koncepcionális fejlesztései a munka kezdeti szakaszában nagymértékben támaszkodtak a 2013-2014-ben lezajlott WAHASTRAT projekt eredményeire, ami rávilágított az aszálykezeléssel kapcsolatos hiányosságokra, mind szakmai, mind pedig tudományos vonalon. Emellett a projekt keretében létesült talajnedvesség mérő monitoring állomások által szolgáltatott adatsorok új megvilágításba helyezték a korábban inkább meteorológiai adatokra szorító aszálykutatói módszereket. A mezőgazdaság hatékony támogatása, az öntözésfejlesztés a talaj nedvességi viszonyainak ismerete nélkül nem valósulhat meg, így az aszálykezelés egyik fő szegmensévé a talajnedvesség mérő monitoring hálózat kiépítése lépett elő.

Felismerve a vízgazdálkodási gyakorlat hiányosságait, a probléma hatékony kezelése érdekében az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) az aszály jelenségének észlelését lehetővé tevő, magas műszaki színvonalú operatív intézkedéseket támogató, monitoring rendszer kiépítését készítette elő, amely új módszereket, innovatív technológiákat együttesen alkalmazva nyújt megfelelő információt a szakemberek és az érintettek számára. A Vízügyi Tudományos Tanács 2016. március 7-én megrendezett ülésén, a Tanács tagjainak támogatása mellett, az OVF elrendelte az Operatív aszály- és vízhiánykezelő Monitoring Rendszer kiépítését. A rendszer struktúrája és működése három fő pilléren alapul; a megfigyelésen az elemzésen, illetve a kezelés és jogalkotás tevékenységein. A tevékenységek között ki kell emelnünk – hozzávetőlegesen a végrehajtás sorrendjében – (1) a talajnedvesség mérő monitoring hálózat tervezését és kiépítését, (2) az aszály detektálására és a

védekezési fokozatok elrendeléséhez szükséges napi időlépéssel számítható vízhiány index (HDI) kifejlesztését, (3) a monitoring tevékenység keretét képező térinformatikai szoftver létrehozását, illetve (4) az ezekre épülő elemzéseket, valamint a kármentesítési tervek és védekezési fokozatok kidolgozásának feladatait.

A rendszer kiépítésében és a módszerek kifejlesztésében az Alsó-Tisza Vidéki Vízügyi Igazgatóság szakemberei, a Szegedi Tudományegyetem kutatói, valamint a GDI Magyarország Kft. geoinformatikai stábjja vesz részt. A munka összehangolását, valamint a fejlesztéshez szükséges forrásokat az OVF biztosítja.

A monitoring rendszer kiépítési munkáit mélyreható tudományos munka előzte meg, az aszály és a vízhiány fogalmi kérdéseinek tisztázása, illetve a módszertani lehetőségek számbavétele kapcsán, melynek eredményei az alábbiakban összegezhetők.

AZ ASZÁLY FOGALMI MEGHATÁROZÁSA ÉS SZÁMSZERŰSÍTÉSE

Az aszály definiálása

Az aszály kutatás egyik jellegzetes sajátossága, hogy az aszály fogalmát a különböző tudományágak másként értelmezik (*Urbán 1993*). A Meteorológiai Világszervezet (WMO) által közölt definíció szerint az aszály az átlagos állapotot jelentősen és tartósan meghaladó vízhiány. A leegyszerűsített fogalom tehát három kritériumot; az intenzitást, a tartósságot és a víz valamiféle hiányát jelöli meg, ami egyébként lényegében a *Palmer (1965)* által adott egyszerű és logikus megfogalmazást adja vissza.

A vízhiány, mint az aszály kifejezés szinonimája azonban túl általános ahhoz, hogy a mélyrehatóbb érdeklődéssel bíró tudományos és szakmai igényeknek megfeleljen. A mögöttes tartalom feltárását hazánkban *Pálfai (2002)* végezte el a legátfogóbban. A Magyar Nagylexikon 2. kötete (1994) a megfogalmazás mellett említett tesz az aszály típusairól, melyek a vízhiány következménye alapján meteorológiai (léggöri), mezőgazdasági (talaj), és hidrológiai aszályt különböztetnek meg.

Az aszály definiálásánál meg kell említenünk, hogy az aszály egy relatív állapot (*Pálfai 2002*), az aszály jelentése nem azonos a szárazsággal. Az arid területeken, így például a sivatagokban nem beszélhetünk aszályról, hiszen a kevés csapadék az éghajlat természetes velejárója. Az aszályt tehát célszerű a területi és az időszaki adottságokhoz (átlagos állapothoz) képest viszonylagosan értelmezni. Ezen ésszerűnek tűnő megközelítés alkalmazását nehezíti a klíma folyamatos változása, azonban az időbeli összehasonlítás hosszabb (referencia) időszakok alkalmazásával így is lehetséges.

Az aszály kezelésének kérdéseivel kapcsolatban egyszerűsítést jelenthet a tény, hogy a vízhiány valamekkora mértékéről beszélünk, kialakulása elsődlegesen meteorológiai okokra vezethető vissza, szerteágazó és sok (társadalmi vagy gazdasági) szereplőt érintő következményei miatt vizsgálata és kezelése több ágazat közreműködését igényli.

A legelterjedtebb aszályindexek áttekintése

Az aszálykezelés hiányosságai részben az aszály számszerűsítésének problematikájával magyarázhatóak, ugyanis az aszály kimutathatósága és számszerűsítése során is érzékelhető az aszálydefiníciók megosztottsága, hiszen – ellentétben sok más természeti jelenséggel – az aszály nem mérhető egyetlen, objektíven meghatározható fizikai paraméterrel. A monitoring rendszer fejlesztésének megkezdése előtt átfogóan áttekintettük a nemzetközi és a hazai gyakorlatban eddig kifejlesztett módszereket, melyek alkalmasak az aszály (a vízhiány) intenzitásának és tartósságának meghatározására.

Az aszályindexek csoportosítása

Az aszály mérőszámait a WMO-GWP (2016) által kiadott kiadvány két fő csoportra, indikátorokra és indexekre osztja. Indikátorok alatt az aszályhoz szorosan kapcsolódó, mérhető meteorológiai és hidrológiai paramétereket érthetjük (csapadék, hőmérséklet, vízhozam és vízállás, talajnedvesség stb.), míg indexek azok az összetett mutatók, melyek az indikátorokból matematikai műveletekkel próbálják egyetlen számértékkel kifejezni – határértékek megadásával – az aszály erősségét, hosszát és területi kiterjedését.

Az indexeket a klasszikus aszály-tipizálásnak megfelelően – egyben az aszály erősségének sorrendjére is utalva (*Wilhite és Glantz 1985*) – meteorológiai, mezőgazdasági és hidrológiai kategóriákba csoportosítják, melyekhez *Niemeyer (2008)* további osztályozási szempontot javasolt, elkülönítve az átfogó (comprehensive), kombinált (combined) és a távérzékelte adatokon alapuló (Remote-sensing-based) index típusokat.

A probléma komplexitásából következően – a folyamatot teljes egészében leíró – átfogó aszályindex jelenleg nem létezik. Az aszály által generált környezeti folyamatok a Föld különböző területein eltérő mértékben jelentkeznek, az éghajlati különbségek pedig eltérő módszerek kidolgozását tették szükségessé. Ennek eredményeképpen az évtizedekre visszatekintő nemzetközi aszálykutatási gyakorlatban mára több mint száz aszályindexet tartunk számon (*Zargar 2011*), vagyis – kis túlzással – majdnem annyi indexet hoztak létre, mint ahány kutató a jelenséggel foglalkozott. Nemzetközi szinten azok az indexek váltak igazán népszerűvé, melyek könnyen hozzáférhető és kevés számú adattal dolgoznak, illetve a közönség és a döntéshozók számára egyszerűen (pl. a világhálón) hozzáférhetőek.

Nemzetközi áttekintés

Mivel az indexek használhatósága régióként (és az adatok hozzáférhetősége miatt országokként is) különböző, nem tartjuk szerencsésnek a meglévő indexek rangsorolását, azonban nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a ténytet, hogy egyes indexek kimondottan sikeressé és ismertté váltak.

Nemzetközi viszonylatban a WMO által első helyre rangsorolt aszály mutatószám a *McKee és társai (1993)* által kifejlesztett Standardizált csapadékindex (SPI), mely elsősorban a meteorológiai aszály leírására alkalmas (*Hayes és társai 2011*), mivel kizárólag csapadékatot vesz

figyelembe. Ugyancsak nagy népszerűségnek örvend (elsősorban az USA-ban) a *Palmer (1965)* által kifejlesztett Palmer-index (PDSI), mely az aszály legfőbb aspektusait (párolgás, talajvíztartalom, lefolyás) számszerűsíti meteorológiai adatok alapján. A PDSI Európában kevésbé terjedt el. Mind az SPI, mind pedig a PDSI sajátossága, hogy csak hosszabb időszakokra vonatkozó vizsgálatot tesznek lehetővé, hiszen hónapos időlépésű adatsorokat használnak fel. Napi időlépéssel működő meteorológiai aszályindex a *Keetch és Byram (1968)* által tűzveszély előrejelzés céljából kidolgozott KBDI index, mely ugyancsak a tengerentúlon honosodott meg igazán.

A talajnedvesség fontossága ellenére alig találunk a talaj nedvességi állapotához kapcsolódó aszályindexeket. A mezőgazdasági aszály számszerűsítésének egyik elterjedt módszerévé a Talajnedvesség Anómia index (SMA) vált, melynek elméleti hátterét *Bergman és társai (1988)* fejlesztették ki, és meteorológiai adatok alapján számítja a talaj nedvességtartalmát. Hasonló talajnedvesség indexek a *Narasimhan és Srinivasan (2005)* által kifejlesztett Evapotranspirációs Deficit Index (ETDI) és a Talajnedvesség Deficit Index (SMDI), melyek ugyancsak számított talajnedvesség adatokkal operálnak.

A hidrológiai aszály számszerűsítése esetében az indikátorok dominálnak, hiszen különféle számítások nélkül is jól reprezentálják a víz hiányát. Ennek ellenére a kategóriába sorolható egyes normalizált hidrológiai mutatók, melyek az SPI-hez hasonlóan a várható állapottól való eltérést számszerűsítik. Ilyen index például a Standardizált Vízzint Index (SWI), melyet *Bhuiyan (2004)* fejlesztett ki Indiában a talajvízzint változás vizsgálata céljából.

A távérzékelte adatokon alapuló indikátorok (fAPAR) és indexek (EVI, NDVI stb.) a távérzékelte módszerek minden problémájával együtt inkább kárfelmérésre, mintsem napi szintű monitoring tevékenységre alkalmazhatóak.

Az aszálykutatásban élen járó szervezetek így pl. az NDMC (USA), illetve az EDO (EU) nem egyetlen aszályindexre, hanem több különböző indexre támaszkodva végez aszálymonitoring tevékenységet. Az NDMC osztályozási rendszere a PDSI, az SPI, a KBDI és modellezett talajnedvesség értékek (CPC Soil Moisture) együttes elemzésén alapul, míg az EDO kombinált indexe (CDI) az SPI-t, a LISFLOOD modell talajnedvesség értékeit és a fAPAR (*Gobron és társai 2006*) adatait használja fel. Mindkét szervezet online felületen teszi közzé az indexekből számított produktumokat, melyek közül leghasznosabbak az aszály területi eloszlását és erősségét bemutató eloszlástérképek.

Magyarországi áttekintés

A nemzetközi gyakorlatban legismertebb aszályindexek Magyarországon kevésbé kerültek a figyelem középpontjába. Az SPI és a PDSI hazai adatokon alapuló számítására történtek kísérletek (*Faragó és társai 1988*, *Bussay és társai 1999*), azonban a nevesebb külföldi mutatók használata csak a 2000-es évektől kezdődően kezdett honosodni.

A Magyarországon kifejlesztett aszályindexek közül első helyen kell említeni a Pálfi Imre által 1988-ban megalkotott PAI indexet (Pálfi 2002). A PAI index kifejezetten magyarországi viszonyokra lett kifejlesztve és az aszály mértékét a mezőgazdasági év vonatkozásában egyetlen számértékként fejezi ki, elsődlegesen havi csapadékösszeg és havi középhőmérséklet értékek felhasználásával. A hazai szakirodalom tanulmányozásakor az aszály vonatkozásában szinte minden esetben a PAI indexhez jutunk el, így nyugodtan kimondhatjuk, hogy az elmúlt évtizedekben ez volt Magyarország aszályindexe. A PAI mellett a vízügyi ágazat a „Havi vízháztartási tájékoztató” c. kiadványában megjelenő gördülő vízháztartási mutató (GVM) szintén Pálfi Imre nevéhez fűződik. Az index a csapadék és a párolgás viszonyából ad havonta becslést az aszályos és a belvizes időszakok erősségére.

Magyar vonatkozású, a komplexitásra törekvő kísérlet *Bálint és társai (2011)* a kenyai állomásokra kidolgozott összetett aszályindexe (CDI).

Az indexek vonatkozásában a Délkelet Európai Aszálykezelési Központ létrehozására irányuló (DMCSEE) projekt sem hozott nagy áttöréseket. A projekt az SPI és a PDSI értékein alapuló elemzéseket (*Lakatos és társai 2012*), illetve a PAI index módosítását (PaDI) tűzte ki célul (*Kozák és társai 2012*). A Központ létrehozása nem eredményezett áttörést a régió aszálykezelési gyakorlatában, az elméleti és a gyakorlati tudás összekapcsolása elmaradt.

Az aszályindexek nagy száma látszólag korlátlan lehetőséget teremt az aszály számszerűsítésére, elemzésére és a kárenyhítő tevékenységek támogatására is, hangsúlyozni kell azonban, hogy a prevencióra való törekvések nem jutottak érvényre. Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján hazánkban nem végeztek operatív aszálymonitoring tevékenységet, a meglévő aszályindexeket – vagy tradicionális, vagy módszertani okokból – Magyarországon nem alkalmazták hatékonyan.

Munkánk kezdeti szakaszában több magyarországi állomásra kiszámítottuk és teszteltük a legnépszerűbb nemzetközi és hazai aszályindexeket. A vizsgálat alapján túlzás nélkül kijelenthetjük, hogy a jelenleg elterjedt indexek a hónapos, vagy esetenként még ritkább időlépés miatt aligha lennének használhatók egy napról-napra történő monitoring tevékenység során. A vízhiányos helyzet véleményünk szerint (különösen a nyári hőhullámos időszakokban) egy hónapnál rövidebb időszak alatt is ki tud alakulni, így szükségesnek tűnik a napi időfelbontás alkalmazása. Másik fontos megállapításunk, hogy az indexek sok esetben nem vesznek figyelembe az aszály szempontjából kulcsfontosságú paramétereket, ami részben a szűkös adatellátottság következménye.

A megbízható adatok iránt felmerülő igény és az aszályindexek tesztelésével feltárt hiányosságok munkánkat a következő fázisba terelték és egyidejűleg megkezdődött a monitoring rendszer kiépítése, illetve a napi időlépéssel számítható aszályindex (HDI) kifejlesztése.

A MONITORING TEVÉKENYSÉGET ELLÁTÓ ÁLLOMÁSHÁLÓZAT

A vízhiány meghatározására irányuló elemző tevékenységek kezdetben nagyban támaszkodtak az Európai Unió klímatudatási projektjének (ECAD) keretein belül létrehozott adatbázisokra, melyek segítségével az ország teljes területéről rendelkezésünkre álltak napi csapadékösszeg és napi középhőmérséklet adatok. Ezek az adatok alkalmasak voltak az új vízhiány index (HDI) kifejlesztésére és tesztelésére, azonban az adatbázis ritkán történő frissítése csak historikus vizsgálatok végzését tette lehetővé, továbbá az adatok megbízhatósága is kétséges volt. Mindezek mellett a talaj nedvességtartalmára sem állt rendelkezésre információ, így viszonylag korán igény merült fel a monitoring állomáshálózat kialakítására.

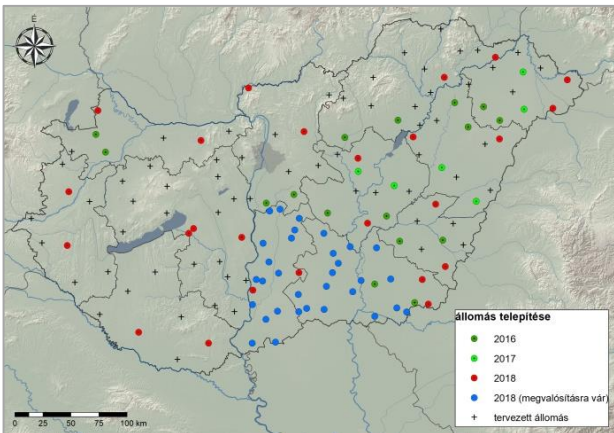
Az állomások telepítésének tényezői, az állomáshálózat kiépítése

Tekintettel arra, hogy a rendszer (egyéb szolgáltatási lehetőségek mellett) elsősorban a mezőgazdasági vízigény kiszolgálását célzó vízkészlet gazdálkodási feladatok, valamint az öntözési tevékenység támogatását szolgálja, a monitoring állomások helyének kiválasztásakor az elsődleges szempont a mezőgazdasági (szántó) hasznosítású területek közelsége volt.

A létesítendő monitoring állomások helyének kiválasztását egy térinformatikai, optimalizációs eljárás előzte meg. Ebben a vizsgálatban több környezeti feltétel együttes megjelenése vagy hiánya alapján rangsoroltuk Magyarország teljes területét egy súlytérkép előállításával. Ennek a térképnek a tartalma a legfontosabb telepítési tényezőket vagy kizáró okokat tartalmazta, melyek a következők: (1) az állomás mezőgazdasági hasznosítású területen, lehetőség szerint szántón helyezkedjen el, (2) az állomás helyén található talajtípus reprezentálja a környező területek (kistáj, belvízöblözet stb.) fő talajtípusát, (3) öntözhető területen (öntözőrendszerben), de ne öntözött parcellán helyezkedjen el. Mindezek mellett figyelembe vettük, hogy (4) az állomás közelében ne helyezkedjen el működő meteorológiai állomás, továbbá, hogy az állomás (5) topográfia-ilag semleges területre kerüljön (ne mélyedésbe, vagy kiemelt térszínre), valamint (6) többletvízhatástól mentes területen helyezkedjen el. A helyszín bejárásával azonosíthatók voltak a térképezéssel nem meghatározható kizáró okok, például zavaró objektumok közelsége, nem reprezentatív talaj (építési törmelék jelenléte), járhatatlan útvonalak, melyek azonosítását új helyszín kijelölése követte.

Az állomáshálózat kiépítése 2016 őszén kezdődött meg 16 db teszttálmomás megépítésével. A teszttálmomások nyolc vízügyi igazgatóság bevonásával kerültek megépítésre és valamennyi síkvidéki mezőgazdasági területen valósult meg. Egy évvel később (2017-ben) a 16 db teszttálmomás további 6 taggal bővült, melyek még szintén alföldi területeken épültek meg. A következő, nagyobb volumenű fejlesztés során (2018-ban) 25 db új állomás került megépítésre, és ezúttal már dombvidéki területekre is kiterjedt a telepítés valamennyi vízügyi igazgatóság bevonásával. Jelenleg tehát 47 db vízhiány monitoring állomás üzemel országszerte, de a hálózat bővítése a jövőben tovább folytatódik, 2018 végére 32 db állomás épül meg dél-alföldi

területeken, míg a tervek szerint 2019 év végére az állomáshálózat nagysága eléri az előirányzott 150 db-os értéket (1. ábra).



1. ábra. A monitoring állomások elhelyezkedése
Figure 1. Location of monitoring stations

Az OVF által létesített (fő) állomáshálózat mellett lehetőség nyílik a gazdálkodók számára, hogy a rendszerhez további saját, egyszerűbb felépítésű (kiegészítő) állomásokat kapcsoljanak. A távmérőrendszer és a szoftveres háttér megléte miatt az önkéntesen létesíthető kiegészítő állomások költsége lényegesen kisebb, ami ösztönzőleg hathat a gazdálkodók számára a precíziós gazdálkodásra való átláshoz, ugyanakkor bővíti és pontosítja a vízügyi ágazat monitoring tevékenységét is.

Az állomások felszereltsége és a szolgáltatott adatok

A monitoring állomások felszereltségét két szempont alapján alakítottuk ki. Egyrészt a telepített mérőeszközök az aszály szempontjából legrelevánsabb információkat szolgáltatják, a WMO előírásainak megfelelő eszközök alkalmazásával, másfelől az állomásokhoz kiépített távmérő rendszer, illetve a napelemekkel történő áramellátás lehetővé teszi, hogy szinte gondozásmentesen és észlelőszemélyzet nélkül történhessen az információgyűjtés. Az állomásokat a rongálódás elkerülése érdekében egy 2,5*2,5 m-es, kerítéssel körbevett területen építettük fel (2. ábra).



2. ábra. A monitoring állomás felépítése
Figure 2. Structure of the monitoring station

Az állomások GPRS technológiával kommunikálnak az OVF központjában elhelyezett vevőegységgel, melyből a beérkező adatokat közvetlenül a Magyar Hidrológiai Adatbázisba kerülnek. A kommunikációhoz mobiltelefonos hálózat szükséges, aminek használatát korlátozhatja a helyszínen rendelkezésre álló térerő, azonban ilyen problémát eddig nem tapasztaltunk. A távjelző az adatokat nyáron 2, télen 6 óránként továbbítja. Ez kielégítő gyakoriság a felhasználási igényeket figyelembe véve. A sűrűbb adatküldés, a vezetékes áramellátás kiépítési igénye miatt, felesleges költségekkel járna. A rendszer vezérlése, egy központi webes felületen történik, helyszíni hozzáférés nem szükséges.

Csapadékmérés

Az állomásokra kihelyezett OTT Pluvio 2 típusú súlymérős csapadékmérő eszköz az elérhető legmodernebb technológia alapján méri a csapadék mennyiségét 0,1 mm-es pontossággal, függetlenül a csapadék halmazállapottól. A hitelesített és két évente kalibrálást igénylő eszköz 1500 mm-es gyűjtőkapacitásának köszönhetően a magyarországi körülmények között nem igényel rendszeres ürítést. Az automatikus működés következtében a csapadékmérő gondozása télen elsősorban a fagyálló folyadék feltöltéséből, nyáron pedig a mérőedény körül történő növényzet eltávolításból áll. Az eszköz percenként többször is méri a gyűjtőedény súlyváltozását, így akár a WMO előírásoknak megfelelő 1 perces csapadékösszeg vagy intenzitás érték is rendelkezésre áll. A jelenlegi igényeknek megfelelően, az adatbázisba a 10 perces csapadékösszegek kerülnek, amelynek segítségével napi csapadékösszeg meghatározása történik, mely a felhasználók számára is kézenfekvő adatfajta, de a HDI számításához is szükséges bemenő paraméter. Az alkalmazott eszköz szolgáltatásai lehetővé teszik, hogy ez az állomás típus a későbbiekben, belterületi csapadékok mérésére is alkalmazható legyen.

Hőmérséklet- légnedvesség és levélfelület nedvesség mérés

A léghő és légnedvesség mérését Adcon TR1 szenzor teszi lehetővé. A szenzor a meteorológiai szabványoknak megfelelően 2 m-es magasságban kerül elhelyezésre az állomás elektronikai eszközeit tartó árbócrúdon. A hőmérséklet szenzor mérési tartománya -40 és +60°C között van. A mérés óránként történik, a mért hőmérséklet adatokból a rendszer napi maximum és minimum értékeket, valamint a HDI kiszámításához szükséges napi középhőmérséklet adatokat állít elő.

Az újabban létesített állomások árbócára levélfelületnedvesség mérő szenzorok kitelepítésére is sor került. Ez az adat a növények állapotát jellemző modellek fontos bemeneti adata.

Talajnedvesség és talajhőmérséklet mérés

A meteorológiai adatok mellett az állomások talajnedvesség adatokat is mérnek 6 talajmélységben. A talajnedvesség mérést Decagon 5TM típusú szenzorok végzik a talaj dielektromos vezetőképessége alapján. A szenzorok úgy kerültek elhelyezésre, hogy a talaj felső (10, 20, 30 cm-es) és mélyebb (45, 60, 75 cm-es) rétegeiről is szolgáltatjanak információval. A nedvességtartalom pontos megha-

tározásához minden mélységből szükség volt a talaj vízgazdálkodási paramétereinek (porozitás, szántóföldi vízkapacitás, holtvíztartalom) meghatározására, ami bolygatatlan talajminta-vételezéssel és a minták akkreditált laboratóriumban történő pF vizsgálatával történt. A lehető legpontosabb információk elérése érdekében a gyári alapkálibráció mellett öt pontos kálibrációs folyamatot hajtottunk végre. A szenzorok a talajnedvesség mérés mellett talajhőmérséklet adatokat is szolgáltatnak, melyek a talajhőmérséklet alakulásának nyomon követése mellett, a talajfagy becslésére is alkalmasak. Ezek az adatok a belvíz elöntések kialakulását segítik nyomon követni, illetve a gazdálkodók számára szolgálnak hasznos információval (pl. vetési időpont optimális megválasztása).

NAPI IDŐLÉPÉSŰ VÍZHIÁNY INDEX (HDI)

Célunk olyan aszályindex megalkotása volt, amely napi szinten frissül, input adatként pedig könnyen mérhető meteorológiai alapadatokat igényel. A monitoring állomások segítségével lehetőségünk van a talajadatokat is felhasználni a számításhoz. Ez alapján a következő index változatok kerültek kifejlesztésre:

HDI₀ – Az aszályindex alapértéke, kiszámítása napi csapadékösszeg (P) és napi középhőmérséklet (T) alapján történik.

HDI_S – A hőség stressz hatását is kifejező index, alapparaméterei a HDI₀-val megegyeznek. Ebben a változatban azt feltételezzük, hogy hőség idején a potenciális evapotranspiráció (PET) nem függ a rendelkezésre álló víz mennyiségétől, a veszteség teljes mértékben realizálódik.

HDI – A meteorológiai adatok mellett talajnedvesség értékeket is tartalmazó (kombinált) aszályindex. Kiszámítása a HDI_S értékét, valamint mért talajnedvesség értékeket, illetve a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak ismeretét igényli.

A moduláris felépítés lehetőséget ad arra, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján a legtöbb adatot felhasználó változat kerüljön kiszámításra. Így a monitoring állomások esetében lehetőségünk van a HDI komplex változatának meghatározására, azokon a területeken pedig, ahol talajadatokat nem állnak rendelkezésre a HDI₀ és HDI_S értékeit tudjuk meghatározni.

A HDI₀ kiszámításának menete

HDI₀ funkciójában az eddigi, széles körben elterjedt aszályindexekhez (pl. PAI, PaDI, SPI, PDSI) hasonlít. Meghatározásában csak a meteorológiai paraméterek játszanak szerepet, és térbeli különbségei kizárólag a csapadék és a hőmérséklet térbeli változatosságának köszönhetőek. A HDI₀ kiszámítása leginkább a Palmer index (PDSI) vízmérlegszámításához hasonlít, azonban újdonsága, hogy napi időlépéssel működik. A vízmérlegszámítást egy hipotetikus talajréteg mm-ben kifejezett víztartalmának (WS – Water Storage) változásaként írjuk le. A számítás során 25 cm-es vastagságú, 40%-os porozitású talajréteget veszünk figyelembe, ami alapján a WS maximális értéke 100 mm lehet, minimum értékét pedig 10 mm-ben állapítottuk meg. Ki kell emelnünk, hogy a WS értékei nem azonosak a monitoring állomások talajnedvesség szenzorjai által mért értékekkel.

A számítás során a vízmérleg pozitív oldalát a napi csapadékösszeg jelenti, negatív oldala pedig az evapotranspiráció becsült értéke (ET), ami a napi középhőmérsékletből (T) számított PET és az előző napi víztartalék (WS_{i-1}) függvénye. Az előző napi víztartalék jelenti a vízmérleg alapértékét így a számításhoz kezdőértéket kell definiálni, majd összegezve a vízmérlegszámítás oldalait megkapjuk az adott napi WS értéket.

$$WS_i = WS_{i-1} + P - ET$$

ahol: WS_i és WS_{i-1} az aktuális és az előző napi víztartalék [mm], P a csapadék [mm], ET a napi párolgási mennyiség [mm], i pedig az aktuális naptári nap sorszáma (a továbbiakban az egyenletekben szereplő változók értékei mindig az aktuális (i-edik) napi értékre vonatkoznak, amennyiben ez külön nincs jelölve).

A WS kiszámításához szükségünk van az alapadatokon túlmenően (P, T) az azokból származtatott köztes paraméterekre. A számítás első lépésben a meghatározzuk a napi PET értékét, melyet a napi középhőmérsékletből (T) becsülünk. Az *Allen és társai (1998)* által a FAO honlapján közzétett kézikönyv különböző T értékekhez becsül PET értékeket, melyre függvényt illesztve (*3/A ábra*) az alábbi hatványfüggvény jól leírja a kapcsolatot:

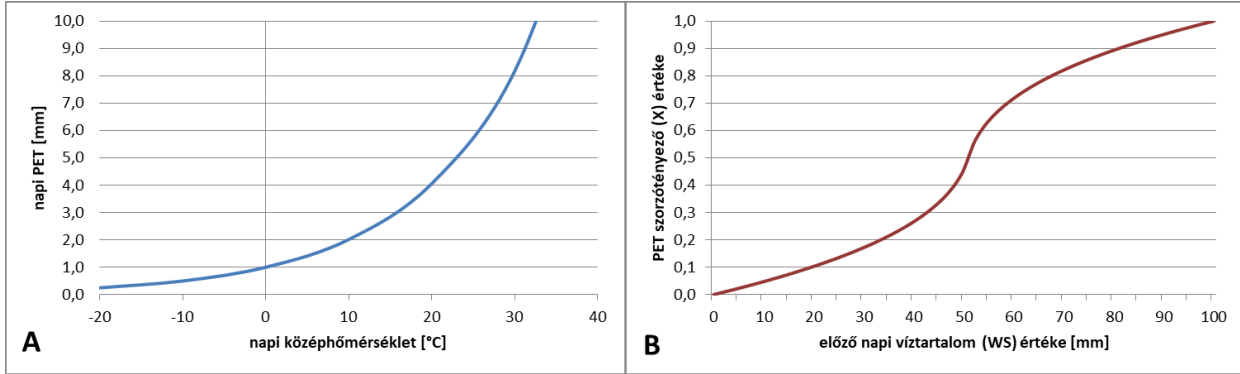
$$PET = e^{0,07T}$$

A PET értékeit egy szigmoid típusú függvénnyel még pontosabban közelíthetnénk, azonban a releváns tartományban (-20°C - +30°C) a hatványfüggvény is megfelel, melyet egyszerűsége miatt alkalmazunk a jóval bonyolultabb szigmoid függvények helyett. Az *Allen és társai (1998)* által közölt PET értékek meghatározása a Penman-Monteith egyenlettel történt (*Penman 1948, Monteith 1973*), melynek kiszámítása bonyolult egyenletrendszerrel alkalmaz és számos olyan bemeneti paramétert igényel melyek nem állnak rendelkezésre. Azonban *Mavromatis (2007)* rámutatott, hogy aszályindexek vizsgálata során az egyszerűbb és az összetett párolgásszámítási módszerek nem eredményeznek jelentős eltéréseket.

Mivel a potenciális evapotranspiráció a maximális WS értékhez (100 mm) van meghatározva, bevezetjük a PET szorzó (X) értéket, melyet a következőképpen határozzunk meg:

$$X = \begin{cases} \frac{\sqrt[3]{(WS_{i-1} - 50) + 1,73252}}{5,417}, & \text{ha } WS_{i-1} > 51 \\ \frac{\sqrt[3]{(WS_{i-1} - 52) + 3,73252}}{5,417}, & \text{ha } WS_{i-1} < 51 \\ \frac{2,73252}{5,417} = 0,5044; & \text{ha } WS_{i-1} = 51 \end{cases}$$

Ezen matematikai formula segítségével azt érjük el, hogy az evapotranspiráció (ET) értéke 0 lesz, ha a talajban nincs víztartalék, félig telített állapotban a PET fele realizálódik, teljesen telített esetben pedig az ET értéke megegyezik a PET-tel. A köztes szakaszokon pedig a PET értéke egy felfutási (vagy a szimmetrikus oldalon lefutási) szakaszt követően lassú változást mutat (*3/B ábra*).



3. ábra. A hőmérséklet és a potenciális evapotranspiráció viszonya (A), és a PET szorzótényező változása a víztartalom függvényében (B)
Figure 3. Relation between temperature and potential evapotranspiration (A) and changes of PET multiplier factor based on water storage values (B)

Az ET meghatározásához figyelembe kell vennünk az aktuális napon esetlegesen lehulló csapadék mennyiségét is, hiszen a rendelkezésre álló víztöbblet növeli a realizálható PET mennyiségét. Ez alapján a tényleges párolgás a PET és a P értékei függvényében a következőképpen alakul:

$$ET = \begin{cases} PET & , ha P > 0 \text{ és } P \geq PET \\ X \cdot (PET - P) + P & , ha P > 0 \text{ és } P \leq PET \\ PET \cdot X & , ha P = 0 \end{cases}$$

A WS értékeiből minden naptári napra meghatározzuk annak sokéves átlagértékét (\overline{WS}). Az átlag képzéséhez az 1981-2010 közötti időszakot vettük figyelembe. A \overline{WS} és a WS aktuális értékének hányadosa adja az adott naptári napra vonatkozó HDI_0 értéket:

$$HDI_0 = \frac{\overline{WS}}{WS}$$

A HDI_0 értéke tehát az adott naptári napra vonatkozó elvárható (átlagos) víztartalom és az aktuális víztartalom hányadosa. A WS minimuma és maximuma alapján a HDI_0 egy 0-nál nagyobb, legfeljebb 10-es értéket felvevő, dimenzió nélküli arányszám. Konceptcionális kérdés, hogy a nevezőben az aktuális értéket szerepeltetjük, annak ellenére, hogy az időszaki összehasonlítások során általában a

$$S_i = \frac{WS_{\text{átlag}_i}}{WS_i - (PET_i - ET_i)}; S_{i-1} = \frac{WS_{\text{átlag}_{i-1}}}{WS_{i-1} - (PET_{i-1} - ET_{i-1})}$$

A HDI_{SA} és az S paraméterek bevezetésével elkerüljük, hogy a kis mennyiségű nyári csapadékok jelentős mértékben csökkentsek aszályindex értékét.

$$HDI_S = \begin{cases} HDI_{SA} & , ha T_{10} > 15 \text{ °C és } HDI_{SA} < 1,5 * HDI_0 \\ 1,5 * HDI_0 & , ha T_{10} > 15 \text{ °C és } HDI_{SA} \geq 1,5 * HDI_0 \\ HDI_0 & , ha T_{10} \leq 15 \end{cases}$$

ahol: T_{10} az aktuális és az azt megelőző 9 nap hőmérsékletének átlaga (°C).

A hőmérsékleti feltételre ($T_{10} > 15 \text{ °C}$) azért volt szükség, mert ellenkező esetben a HDI_S a téli évszakban is megemelhetné az alapindex értékét, ami gyakorlati szempontból nem releváns. A 15 °C-os határérték hozzávetőlegesen a téli és nyári évszak határát adja meg.

sokéves átlagot adják meg nevezőként. Mi az index létrehozásakor a PAI indexhez (Pálfai 2002) hasonlatos skálát szerettünk volna létrehozni, ezért az aszály erősségének növekedését az index pozitív irányú változásával definiáltuk (4-5. ábra).

A HDI_S kiszámításának menete

Magyarország klímája kellően arid ahhoz, hogy a nyári időszakban átlagos évben is jelentős szárazság alakuljon ki. Ezért a HDI_0 index értékei a nyári hőség időszakok során átlagos állapotot jelezhetnek, annak ellenére, hogy a hőség miatt felmerülhet igény vízgazdálkodási beavatkozásokra. Ezt a problémát az alapindex módosításával, a hőség stresszhatásának kifejezésével oldottuk meg, mely a HDI_S kifejlesztéséhez vezetett.

A HDI_S meghatározása a HDI_0 alapján történik, azzal a különbséggel, hogy a vízmérlegszámítás során a számításba vesszük a párolgási hiányt ($PET-ET$), amely a WS alacsony értékei és a csapadék hiánya következtében alakul ki.

A HDI_S kiszámításához definiáljuk HDI_{SA} -t, valamint S_i aktuális és előző napi (S_{i-1}) értékét:

$$HDI_{SA} = \begin{cases} S_{i-1}, & ha S_i < S_{i-1} \text{ és } PET > P \\ S_i, & ha S_i \geq S_{i-1} \text{ és } PET > P \\ S_i, & ha PET \leq P \end{cases}$$

Végezetül a HDI_S értékét a HDI_{SA} és a HDI_0 alapján kapjuk meg a következő módon:

Vizsgálataink szerint a HDI_S csak az esetek kb. 10%-ában haladna meg a HDI_0 másfélszeres értékét. Ilyen esetekben azonban gyakran rövid időtartamra (1-2 nap) nagyon magas (akár 10-et meghaladó) értéket venne fel, ami a fokozatok meghatározása során nem szerencsés. Ezért az HDI_S értéke maximum a HDI_0 másfélszeresét veheti fel.

A talajnedvességgel korrigált HDI kiszámításának menete

A HDI₀ és a HDI_S csupán meteorológiai adatokra támaszkodik, ezért felmerült az igény egy, a talaj nedvesség-

$$k_{35} = A_{35} * e^{-B_{35} \left(\frac{SM_{35} - WP_{35}}{FC_{35} - WP_{35}} \right)}$$

$$k_{80} = A_{80} * e^{-B_{80} \left(\frac{SM_{80} - WP_{80}}{FC_{80} - WP_{80}} \right)}$$

ahol: SM (soil moisture) a talajréteg aktuális talajnedvesség tartalma (v/v%), WP (wilting point) az adott réteg holtvíztartalma (v/v%), FC (field capacity) az adott réteg szántóföldi vízkapacitása (v/v%). A 35-ös és 80-as indexek rendre a felső (0-35 cm-es) és az alsó (35-80 cm-es) talajrétegekre utalnak. A és B a szorzótényezők súlyát meghatározó konstansok: A₃₅=1,4; A₈₀=1,2; B₃₅=0,4; B₈₀=0,3.

A k₃₅ és k₈₀ szorzótényezőkkel szemben az alábbi négy elvárást fogalmaztuk meg: (1) egy átlagos, aszálymentes időszakban 1 körüli értéket vegyen fel, (2) nedves időszakban 1 alá csökkenjen az értéke, (3) a talaj kiszáradásának fokozódásával értéke exponenciálisan növekedjen, végezetül pedig (4) talajspecifikus legyen, vagyis vegye figyelembe a talaj vízgazdálkodási tulajdonságait.

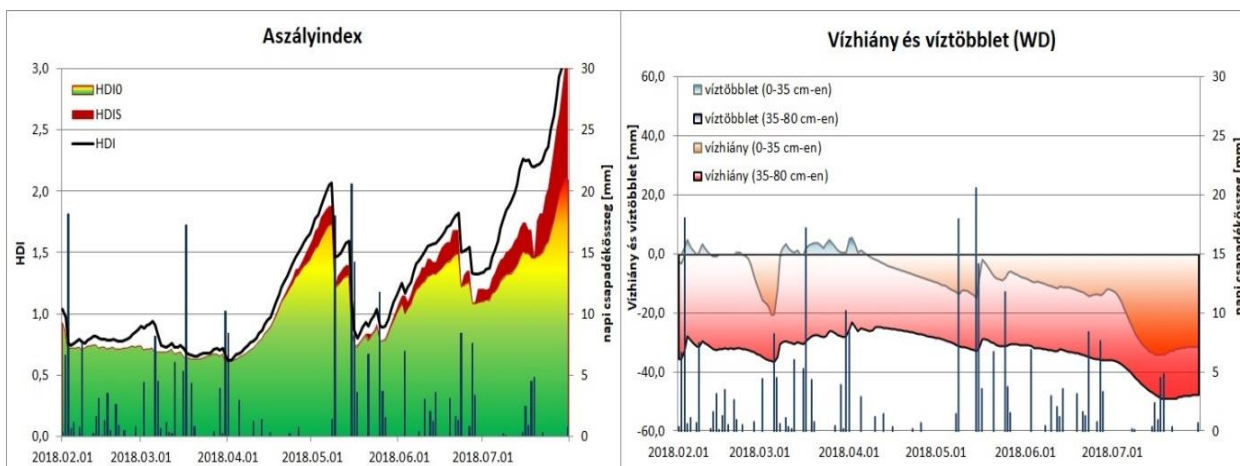
Végző soron a meteorológiai paraméterekből és a talaj

viszonyait is tartalmazó, komplex index változat (HDI) kifejlesztésére. A HDI a HDI_S értékét veszi alapul, melyhez két koncepcionálisan kidolgozott szorzótényező (k₃₅, k₈₀) társul.

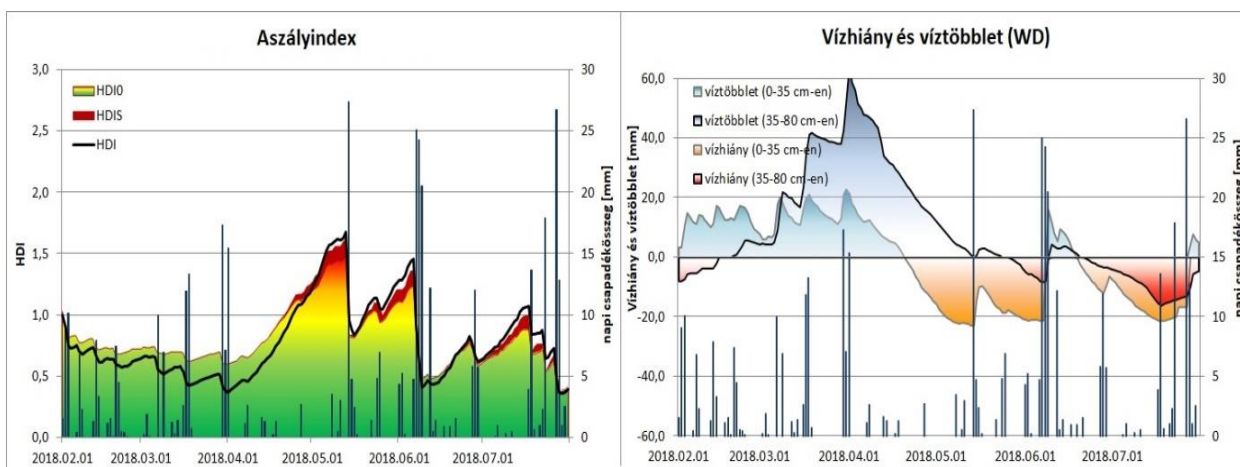
nedvesség adatokból számított korrekciós tényezőkből megadhatjuk a komplex vízhiány mutatót (HDI):

$$HDI = HDI_S * k_{35} * k_{80}$$

Az A és B paramétereket a teszteléskor korábbi aszályos évekre kiszámított más típusú aszályindex alakulása alapján határoztuk meg. Munkánk jelenlegi szakaszában kifejlesztés alatt áll egy módszer, mely a talajnedvesség alakulása alapján, a talaj vízhiányára (WD – water deficit) alapozza a talajaszály mértékének meghatározását (4-5. ábra), mellőzve a k szorzótényező használatát. Az új módszer a talajnedvesség adatokat objektívebb módon veszi számításba, emellett a WD értékein alapuló vízhiány és a meteorológiai index (HDI_S) közötti kapcsolat vizsgálatával jó kalibrációs lehetőségeket szolgáltat a talajnedvesség adatok területi kiterjesztésére.



4. ábra. A HDI aszályindex és a talaj vízhiányának alakulása Nyíregyházán (2018)
 Figure 4. Changes of the Hungarian Drought Index and soil moisture deficit at Nyíregyháza (2018)



5. ábra. A HDI aszályindex és a talaj vízhiányának alakulása Apajon (2018)
 Figure 5. Changes of the Hungarian Drought Index and soil moisture deficit at Apaj (2018)

AZ ASZÁLYKEZELÉSI GYAKORLAT MEGÚJÍTÁSA

Operatív monitoring és vízhiány jelentések bevezetése

Az állomáshálózat adatai az OVF keretein belül működő Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) és a GDI Magyarország Kft. szakemberei által kifejlesztett térinformatikai webszolgáltatáson keresztül jelennek meg a vízügyi szakemberek és a civil érdeklődők számára. A honlap lekérdezhetővé teszi és térképeken megjeleníti a monitoring állomások által szolgáltatott alapadatokat, illetve az adatokból származó vízhiány indexek idősorait és területi eloszlását. A mért adatokon túlmenően a rendszer az Országos Meteorológiai Szolgálat által közzétett 10 napos előrejelzést is figyelembe veszi, és ez által a vízhiány index jövőbeni alakulására is végez számításokat.

A rendszer automatikusan generált jelentőlapok elkészítését is lehetővé teszi, melyeket a jelentéstétel céljából lehatárolt 81 db vízhiánykezelő körzet területére készíthetnek el a vízügyi szakemberek. A hétnaponta készítendő jelentőlapok tartalmazzák a jelentéstételi időszak csapadék- és hőmérsékleti viszonyainak területi eloszlását, a HDI különböző változatainak alakulását, valamint a monitoring állomások adatait, amennyiben a vízhiány körzet területén található ilyen. Terveink szerint az állomáshálózat teljes kiépítését követően minden vízhiánykezelő körzet területén legalább egy, a legtöbb esetben viszont legalább két főállomás létesülni fog.

A szakmai honlap mellett kifejlesztésre került egy külső – bárki által hozzáférhető – honlap is

(www.aszalymonitoring.vizugy.hu), mely az adatokat hasonló tartalommal és díjmentesen elérhetővé teszi. Ezáltal a rendszer a vízgazdálkodási feladatok fejlesztése mellett a gazdálkodók, döntéshozók és más érdeklődők tevékenységét közvetlenül is támogatja.

Vízhiány indexre alapozott védekezési fokozatok

Az aszálykezelés napi vízgazdálkodási gyakorlatba történő integráláshoz szükséges, hogy az aszály és a vízhiány következményei ellen – a többi vízügyi kármentesítési tevékenységhez hasonlóan – védekezési fokozatokra alapozott beavatkozási tevékenységekkel lépünk fel. A védekezési fokozatokat munkánk jelenlegi szakaszában – az adatokkal térben legrészletesebben ellátott – HDI_s értékeire alapoztuk.

A védekezési fokozatok meghatározása során a HDI_s szemléletes, kerek és magyarázható értékeit vettük alapul, ellentétben a korábban gyakran alkalmazott módszerrel, mely az osztályhatárokat az adott értékek megjelenési valószínűségeihez (percentilisekhez) rendeli. Ezáltal elkerültünk néhány problémát, melyet a percentilisekre alapozott osztályozás magában hordoz. Egyrészt így a különböző területeken nem feltétlenül azonos arányban fordul elő ugyanolyan erősségű aszály, másrészt egységes küszöbértékeket kapunk minden területen. Megvizsgálva historikus és jelenkori adatsorokat, a HDI_s értékei alapján a vízhiány kategorizálására 5 fokozat bevezetését javasoljuk, mely négy osztályhatár meghatározását teszi szükségessé (1. táblázat). A javasolt küszöbértékek azt fejezik ki, hogy az adott napra vonatkozó víztartalék (WS) rendre csak a 3/4, 2/3, 1/2 és 1/3 része az adott napra vonatkozó sokéves átlagértéknek.

1. táblázat. A HDI_s értékeire alapozott vízhiány fokozatok
Table 1. Drought levels based on HDI_s values

Védekezési fokozat	Minősítés	Kritérium
(0.) nincs fokozat	nincs vízhiány	HDI _s < 1,333
1. fok	enyhe vízhiány	1,333 ≤ HDI _s < 1,5
2. fok	közepes vízhiány	1,5 ≤ HDI _s < 2,0
3. fok	erős vízhiány	2,0 ≤ HDI _s < 3,0
4. fok	rendkívüli vízhiány (aszály)	3,0 ≤ HDI _s

Természetesen a HDI_s nem a legátfogóbb információ adja a vízhiányról, hiszen a talajnedvesség adatokat nem használja fel. A fokozathatárok megállapításához valamennyi HDI változat alkalmas, így a legcélszerűbb a HDI talajnedvességet is tartalmazó változatának felhasználása lenne, azonban a rendszer jelenlegi állapotában, a kevés állomászám és az adatok nehezen megvalósítható interpolálása miatt, üzemirányításra még nem alkalmas. A talajadatok térbeli kiterjesztésének feltétele az állomáshálózat bővítése, mely a kiegészítő állomások kiépítésének lehetősége miatt gyakorlatilag korlátlan. A mért talajnedvesség adatok lehetővé teszik a talajnedvesség modellezését, mely megfelelő kalibrációt követően alkalmassá teheti a HDI területi kiterjesztését.

Aszálykezelési üzemirányítási feladatok kidolgozása és jogharmonizáció

A rendszer célja az állami segítségnyújtás lehetőségének megteremtése a vízhiányos időszakok során várható nagyobb károk megelőzése érdekében. „Békeidőben” az

operatív megfigyelés és a jelentések elkészítése, az aszály-index időbeli és területi alakulásának elemzése képezi a vízgazdálkodási feladatok új körét. Vízhiányos helyzetben a talajnedvesség mérésre alapozott – új megközelítésű – vízkészletgazdálkodás lehetővé teszi az öntözővíz-szolgáltatás objektívebb alapokra helyezését. Az aszályindexből származó védekezési fokozatok az operatív üzemirányítási tevékenységek (pl. vízvisszatartás, vízpótlás, tiltó intézkedések) végrehajtását irányozzák elő a vízhiánykezelő körzetek területén, a meglévő védelmi szervezetek bevetésével.

A prevenció feladatok és a védekezési fokozatok elrendelése mellett a rendszer a kártérítési tevékenységeket is elláthatja információval. A területi elemzéseknek köszönhetően lehatárolhatóvá válnak az aszályal erősebben és kevésbé sújtott területek, megkönnyítve a kártérítési források elosztását. A hosszú távú elemzések segítségével azonosíthatóvá válnak a vízhiánnyal leginkább érintett területek, melyek fejlesztése a támogatási rendszer újragondolásával valósulhat meg.

A monitoring rendszer által szolgáltatott információk megalapozhatják a jogszabályi háttér megújítását. A vonatkozó jogszabályoknak a vízgazdálkodási, mezőgazdasági és ökonómiai elemek összehangolásával kell tartalmaznia a prevenció, kárenyhítő és kártérítési feladatok szabályait. A jogszabályok felülvizsgálatát és módosításait a szakmai-, gazdálkodói-, jogi- és kormányzati szereplők érdekeinek figyelembevételével integráltan kell lebonyolítani.

Az aszálykezelés általunk vizionált jövőképe magában foglalja az eddig elért eredményeken alapuló, egész országra kiterjesztett, kellően megalapozott index napi számítását és megjelenítését, valamint a talajnedvesség mért értékein alapuló modellezési/előrejelzési tevékenységet.

IRODALOMJEGYZÉK

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage paper 56., FAO, Rome.

Bergman, K.H., Sabol, P., Miskus, D. (1988). Experimental Indices for Monitoring Global Drought Conditions. Proceedings of 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, U.S. Department of Commerce, Cambridge, MA.

Bussay A., Szinell Cs., Szentimrey T. (1999). Az aszály magyarországi előfordulásának vizsgálata és mérhetősége. Égh. Agromet. T. 7. OMSZ. Bp.

Bhuiyan, C. (2004). Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India. Proceedings of the XXth ISPRS Conference. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey.

Bálint Z., Mutua, F.M., Muchiri, P. (2011). Drought monitoring with the combined drought index, FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya. 3-25.

Faragó T., Kozma E., Nemes Cs. (1988). Quantifying droughts. Identifying and Coping with Extreme Meteorological Events (eds.: Antal, E. – Glanz, M.H.). Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.

Fiala K., Benyhe B., Dolinaj D., Pálfai I. (2014): A múlt és a jelen aszályai. In: Blanka, V. – Ladányi, Zs. (szerk.): Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban. SZTE. 87-96.

Gobron, N., Aussedat, O., Lavergne, T., Taberner, M., Pinty, B., Brito, F., Faber, O., Brockmann, C., Mélin, F., Robustelli, M., Snoeij, P. (2006). Validation of the operational MERIS fAPAR products. In: Danesy, D. (ed.) Proceedings of the 2nd Working Meeting on MERIS and ATSR Calibration and Geophysical Validation. 20-24 March 2006, Frascati, Italy of ESA Special Publication, European Space Agency, 1-8.

Hanyecz V. (2000). Öntözéses gazdálkodás az Alföldön. In: A víz szerepe és jelentősége az Alföldön, Pálfai I. (szerk.), A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6., Békéscsaba, 147-153.

Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wall, N., Widhalm, M. J. (2011). The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal meteorological drought index recommended., Bull. Am. Met. Society 92 (4): 485-488.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 179-184. Boston, American Meteorological Society, 179-184.

Keetch, J.J. és Byram, G.M. (1968). A Drought Index for Forest Fire Control. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper SE 38, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.

Kozák P., Pálfai I., Herceg Á. (2012). Palfai Drought Index (PaDI) – A Pálfai-féle aszályindex (PAI) alkalmazhatóságának kiterjesztése a délkelet-európai régióra. DMCSEE projekt tanulmány. 21-26.

Lakatos M. és Bihari Z. (2011). A közelmúlt megfigyelt hőmérsékleti- és csapadéktendenciái. In: Bartholy, J., Bozó, L., Haszpra, L. (szerk). Klímaváltozás – 2011. MTA, ELTE. 146-169.

Lakatos M., Kovács T., Bihari Z., Szentimrey T. (2012). Az aszályindexek számítási lehetőségei és gyakorlata az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. DMCSEE projekt tanulmány. 17-20.

Lakatos M., Szentimrey T., Bihari Z., Szalai S. (2013). Investigation of climate extremes in the Carpathian region on harmonized data, Environmental Changes and Adaptation Strategies, Skalica, Slovakia.

Mavromatis, T. (2007). Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. Int.J. Climatol., 27, 911-924.

Narasimhan, B. és Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. Agricultural and Forest Meteorology, 133(1):69-88.

Niemeyer, S. (2008). New drought indices. Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens, 80., 267-274.

Monteith, J. L. (1973). Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London.

Pálfai I. (2002). Magyarország aszályossági zónái, Vízügyi Közl., 3., 323-357.

Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. Weather Bureau Res. Paper 45. U.S. Dept. of Commerce. 58.

Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146.

Riebeek, H. (2010). Global Warming, Feature Articles, NASA, Web.

Urbán L. (1993). Az aszály fogalma és jelentősége. Beszámoló 1989. OMSZ. Budapest 113-135.

Wilhite, D.A., Glantz, M.H., (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water Int. 10 (3), 111-120.

World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices (Svoboda, M.D., Fuchs, B.A.). Integrated Drought Management Programme

(IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F.I. (2011). A review of drought indices. Environmental Reviews 19. 333-349.

A SZERZŐK

FIALA KÁROLY okleveles geográfus, az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság Vízzajzi és Adattári osztály vezetője.

BARTA KÁROLY PhD, a Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékének egyetemi docense, talajtani szakmérnök. Kutatási területe: talajerózió kutatás és -modellezés; a talajok fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak a szélsőséges vízháztartási helyzetekre gyakorolt hatását vizsgálja.

BENYHE BALÁZS okleveles geográfus, az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság hidroinformatikusa, monitoring referense.

FEHÉRVÁRY ISTVÁN okleveles geográfus, az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság hidroinformatikusa, monitoring referense.

LÁBDY JENŐ okleveles mérnök, az Országos Vízügyi Főigazgatóság Vízjelző és Vízrajzi Főosztályának vezetője.

SIPOS GYÖRGY okleveles geográfus, PhD., Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékének tanszékvezető-helyettes adjunktusa

GYÓRFFY LAJOS A Szegedi Tudományegyetem Bolyai Intézetének tudományos segédmunkatársa. 2013-ban okleveles alkalmazott matematikus diplomát szerzett a Szegedi Tudományegyetemen. Jelenleg PhD tanulmányait folytatja.

Vízügyi múlt képekben

Vörösmarty Mihály: „A múltat tiszteld a jelenben, s tartsd a jövőnek.”

175 éve született Horváth Ignác műegyetemi professzor

1843. július 25-én, Pesten született Horváth Ignác (Pest) gépészmérnök, egyetemi tanár, akadémikus. Akadémiai székfoglalóját "Az 1876-iki vízáradás alkalmából Budapesten tett vízmérésekről" címmel tartotta, amelyben a legkorszerűbb mérési módszerek alkalmazásáról adott számot. A műegyetemen 1871-től a műszaki mechanika tanszékét vezette korai haláláig. († Budapest, 1881. április 18.)

Horváth Ignác műegyetemi professzor az 1876 márciusában lezajló dunai árvíz idején tudományos célzattal vízsebesség méréseket végzett a budapesti folyószakaszon. Méréseinél először alkalmazott Magyarországon elektromos fordulatszámoló műszert. Horváth mérőhajóján gyakran fogadott érdeklődőket, műegyetemi hallgatókat, elmagyarázva a munkálatok lényegét és az alkalmazott módszereket. Egy alkalommal négy miniszter harminc képviselő társaságában látogatott el a hajóra, máskor Trefort Ágoston kultuszminiszter volt jelen a mérésnél, akit Horváth professzor egy hidrográfiai intézet felállításának szükségességéről igyekezett meggyőzni.

(FL)



Az árvízveszély a Tisza mentén

Szigyártó Zoltán

vasdiplomás okleveles mérnök, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, címzetes egyetemi tanár.

E-mail: prof.szigyarto@t-online.hu

Kivonat

A tanulmány célja olyan eljárás bemutatása, amely az árvízveszély nagyságát számadatokkal jellemzi, s így használatával az eddiginél megbízhatóbb képet ad arról, hogy manapság, az árvízi szükségeltározó-rendszer üzembeállítása előtt a Tisza-menti mentett területeket az árvízi elöntések hol és milyen mértékben fenyegetik. Az alkalmazandó eljárással kapcsolatban a tanulmány arra az eredményre jut, hogy erre lebecsülhetőbb az 1%-os évi legnagyobb jégmentes vízállás (az „1%-os árvízszint”) és a koronaszint előjelhelyes különbsége használható fel, amely negatív, ha az 1%-os árvízszint a koronaszint alatt és pozitív, ha ez a koronaszint felett helyezkedik el. Továbbá, mint cm dimenziójú számérték, annál nagyobb, minél jobban fenyegeti az árvíz a mentett területet. Ez a paraméter tehát, az árvédelmi gáttal ellátott folyó valamely szelvényére kiszámítva, a gáttal védett ottani mentett terület árvizek általi fenyegetettségét jellemzi, s így joggal nevezhető az *árvízveszély nagyságának*, vagy *mértékének*.

A tanulmány – a vizsgálat alapjainak a tisztázása után – bemutatja azokat az eljárásokat, amelyekkel az árvízveszély nagyságának és változásának a mértéke meghatározható. Ezt követően, ezek felhasználásával, a Tisza magyar szakaszával kapcsolatban elvégzett vizsgálatokkal a következő eredményekre jut:

- Az 1970-es években a korábban bekövetkezett igen magas árhullámok hatására előirányzott töltésfejlesztéseket a rendelkezésre álló összegekkel a Tisza jelentős hosszán megvalósítani nem lehetett. Emellett pedig az azóta elvégzett rekonstrukciós munkák ellenére az árvízveszély még csaknem mindenhol tovább is növekedett.
- A Tisza mentén mára komoly árvízveszély két helyen állt elő: a Kiskörei-tározó alatt, a tározótól a tiszai vízmércé szelvényéig, továbbá az északi országhatárt átlépő Tisza ottani szelvényétől egészen a Szamos torkolatáig. Ezekben belül különösen nagy az árvízveszély a Kiskörei-tározó alatt egészen Tiszaugig, ahol az 1%-os árvízszint nagy hosszon meghaladja még a töltéskorona szintjét is.

Kulcsszavak

Tisza, árvíz, átlagos visszatérési idő, eloszlásfüggvény, gátkorona, veszély, matematikai statisztika, valószínűség, 1%-os valószínűségű nagyvíz, szükségeltározó.

Characterisation of flood hazard along the Tisza River

Abstract

Aim of the study is to introduce such method which gives more appropriate values for characterisation of flood hazard, and offers possibility to give general idea about that submergences by flood, how much the saved territory threatened alongside the River Tisza nowadays, when flood retention reservoirs are going to put into operation. As result of introduced train of thought it can be laid down that difference between level of dam crown and that of yearly ice-free stage with 1% probability (both given in cm) can be properly used, being positive if the mentioned stage of 1% probability is greater than the dam crown and negative if it is beneath that. Further on, the smaller this difference as numerical value the less saved territory is threatened by flooding. Accordingly, as soon as this parameter defined to a section of a river, it characterises how much the saved territory is threatened by flooding; and it can be named “*flood hazard characteristic*” which can be *great* if flood danger is great and *small* if it is small.

After this basis of investigation is cleared and also methods to calculate the flood danger characteristic and its change in time were developed, next step of the work was to characterize flood hazard along the Hungarian section of River Tisza and to deduce conclusions from that with the following results:

- In the 1970's a plan was made to regenerate the dikes along rivers. However, along River Tisza it was not possible to finish up till now because of money deficiency, and additionally, since then flood danger raised remarkably in spite of those works which were completed by now.
- At present there are two sections along the River Tisza, which are threatened by serious flood hazard: one of them is downstream of Kisköre Reservoir onto gauging station Tiszaug. Other section is from northern state boundary to the mouth of Szamos River. Within these sections flood hazard is extraordinary great beneath Kisköre-reservoir where 1% probability of yearly ice-free maximum stage is higher than the dike head on a considerable length.

Key words

River Tisza, mathematical statistics, probability, distribution function, average return period, yearly ice-free stage, dike crown, flood level, flood hazard characteristic, flood retention reservoir.

A TANULMÁNY CÉLJA

Akkor, amikor a múlt század 70-es éveiben a háború utáni első nagyobb, átfogó árvédelmi munkákat előirányozták, még nem tudták, hogy a második világháború utáni káosz, s az azt követő politikai fordulat után az árvízvédelem terén jelentkező gondot nem csak az árvédelmi gátak hiányosságai, hanem a nagyvízi medrek romló állapota is

okozta. Így aztán századunk elejére - elsősorban a hullámtéren kialakult fás területek és főleg az ezeket körülölelő bokrok gátlástalan növekedésének hatására - a helyzet égetővé vált. Ez ösztönzött aztán a Tisza és mellékfolyói mentén az árvízi szükségeltározók rendszerének kiépítésére (KHVM 2002), melynek tudományos alapon nyugvó, rendszeres üzembe állítása a ma feladatai közé tartozik. Ehhez

viszont mindenképpen jó lenne, ha tudnánk, hogy szelvényről szelvényre haladva milyen is a Tisza menti mentett területek mai árvédelmi biztonsága, amelyet majd a szükségstározók üzembe állításával kívánjuk növelni. Emellett azonban jó lenne tudni azt is, hogy az árvédelmi művek fejlesztésére az 1970-es években előirányzott munkálatok végül is milyen eredményt értek el. Ez aztán az a kérdéskör, amellyel a továbbiakban foglalkozni kívánunk.

AZ ÁRVÍZVESZÉLY NAGYSÁGÁNAK JELZÉSE

Összefüggések és eljárások az árvízveszély vizsgálatához

Arra a kérdésre, hogy a véletlen módon előálló, évről évre más magassággal levonuló nagyvizek eredményeként a Tisza-menti mentett területek árvízi veszélyeztetése miként alakul, nyilván csak valamilyen matematikai statisztikai eljárás alkalmazásával meghatározott paraméter változása adhat választ. Így például ezzel kapcsolatban, az árvédelemben használatos paraméterek közül szóba jöhetnek – amit „1%-os árvízszint”-nek neveznek – az évi legnagyobb jégmentes vízállások 1%-os valószínűségű értékei, és az ezek felhasználásával kapott mértékadó árvízszint adatai. Azonban sajnos erre a célra úgy, ahogy van, mind a két paraméter egyaránt alkalmatlan. Alkalmatlan azért, mert a változásukból ugyan az megállapítható, hogy az árvízi biztonság milyen mértékben (hány centiméterrel) csökkent, vagy növekedett, azonban ezek a mindenkori árvízi biztonság nagysága szempontjából semmit sem mondhatnak, mivel az így meghatározott számszerű adatok mindig egy meghatározott és az árvízi biztonság, illetve árvízveszély szempontjából semmit sem mondó alapszintre, (a tenger szintjére vagy a vízmércé „0” pontjára) vonatkoznak.

Így felmerül az a gondolat, hogy esetleg kisebb módosításokkal az említett két paraméter közül valamelyik mégis alkalmassá tehető az árvízveszély jellemzésére. Erre gondolva pedig nyilván abból kell kiinduljunk, hogy a szóban forgó két paraméter közül az 1%-os árvízszint értéke az, amely megfelelő átalakításával foglalkozni érdemes. Ugyanis ennek értékét kizárólag csak a mederben lezajló folyamatok befolyásolják, míg a mértékadó árvízszint magassága e folyamatok mellett még az illetékes szakértők (árvédekezés vonatkozásában nyilván alátámasztott) véleményét is tükrözi. Így az 1%-os árvízszint számértékeit vizsgálva rögtön szembe ötlük az, hogy a helyzet alapvetően megváltozik akkor, ha ennek „0” pontját nem a tengerszint magasságával vagy egy vízmércének a szokásos módon felvett „0” pontjával azonosítjuk, hanem azt áthelyezzük a töltéskorona szintjének a magasságába. Így ugyanis az árvízszint 1%-os valószínűségű értéke már rögtön alkalmassá is válik az árvízveszély mértékének a jellemzésére. Ha ugyanis ennek értéke -100 cm, vagyis az 1%-os árvízszint éppen a töltéskorona alatt 1,0 m-re levő magasságban van, úgy a helyzet igen kedvező, hiszen az árvédelmi biztonság szempontjából ez éppen megfelel az árvédelmi létesítmények építésére és fenntartására korábban hozott előírásnak (OVF 1974). Ha viszont ez a magasság pozitív értéket vesz fel, akkor tudjuk, hogy a szint meghaladja a töltéskorona szintjét, ami az árvízveszély szempontjából igen kedvezőtlen, mivel ebben az esetben

az árvédekezés során túl gyakran kell majd a töltés meghágása ellen védekezni.

Ilyen megfontolással ajánljuk tehát az árvízveszély jellemzésére a töltéskorona szintjére, mint „0”-ra vonatkoztatott és H^ -gal jelölt 1%-os árvízszint és a töltéskoronaszint K -val jelölt magasságának a centiméterben megadott különbségét, vagyis az egyszerű,*

$$V = H^* - K \quad (1)$$

képlettel számítható és az „árvízveszély nagysága”-nak vagy „mértéké”-nek nevezhető paramétert.

E paraméterrel kapcsolatban előfordulhat, hogy valamilyen okból jelölni kívánjuk az árvízveszély feltárásának az évét is, s ilyen esetben ezt (például az 2014. évi feltáráshoz utalva) megtehetjük a V_{2014} jel bevezetésével. Emellett a mértékadó árvízszinthez hasonlóan, esetleg ezzel kapcsolatban is, hasznos lehet a folyó teljes hosszára kiterjedő, és a MÁSZ-hoz hasonló módon szerkesztett V poligon elkészítése.

Hangsúlyozni kell azt is, hogy az árvízveszély mértékének a kiszámításához a töltéskorona állandónak tekintett szintjének az ismerete mellett szükség van az 1%-os árvízszint véletlenjellegű ingadozásából adódó ξ -vel jelölt hiba, s ennek következtében az ugyancsak véletlenjellegű ingadozást végző V érték (az ilyen vizsgálatoknál η -val jelölt paraméter) eloszlásának az ismeretére is. Így a továbbiak szempontjából fontos, hogy az η a Tisza mentén elhelyezkedő vízmércállomások szelvényében egy olyan, jó közelítéssel normális eloszlású valószínűségi változó, amelynek várhatóértéke

$$M(\eta) \equiv M(\xi) = 0, \quad (2)$$

a szórása pedig azonos a valószínűségi változóként viselkedő 1%-os árvízszint, a ξ szórásával, amely kétféle úton számítható attól függően, hogy az árvízszint eloszlása normális, vagy pedig keverék eloszlású (Szigvártó 2012).

Ha ugyanis az évi jégmentes árvízszint normális eloszlású, akkor a valószínűségi változóként viselkedő, η valószínűségi változó szórása

$$D(\eta) \equiv D(\xi) = \sqrt{\frac{D^2}{n} + \frac{(H^* - M)^2}{2 \cdot (n - 1)}}, \quad (3)$$

amelyben

- M az évenkénti jégmentes nagyvíz empirikus középértéke,
- D az évenkénti jégmentes nagyvíz empirikus szórása,
- H^* az évenkénti jégmentes nagyvíz 1%-os valószínűségű értéke és
- n a minta elemszáma.

Ha viszont e jégmentes árvízszint keverék eloszlású, akkor ez a szórás

$$D(\eta) \equiv D(\xi) = \sqrt{\sigma_0^2 \sum_{i=1}^k \frac{p_i}{n_i} + \sum_{i=1}^k p_i \frac{(H^* - M_i)^2}{2(n-1)}} \quad (4)$$

amelyben

M_i a keverékeloszlás i -ik eloszlásának az empirikus középértéke,
 M a keverékeloszlás egészének empirikus középértéke,
 σ_0 a keverék eloszlás empirikus szórása,
 n_i az i -ik eloszlás mintájában az elemek száma
 n a keverékeloszlás egészének elemszáma,
 p_i a keverékeloszlás i -ik eloszlásának súlya és
 k a keverékeloszlás eloszlásainak száma;
 s ebben az esetben

$$\sum_{i=1}^k n_i = n \quad (5)$$

miatt

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1 \quad (6)$$

Az árvízveszély mértékét ugyanazon vízmérceállomás szelvényére különböző időszakokra kiszámítva lehetőség nyílik arra is, hogy az árvízveszély mértékére számított különbséggel az adott szelvény környezetére becsüljük az árvízveszély változását. Így ismét figyelembe véve, hogy az árvízveszély mértékének egyik alapadata, az 1%-os árvízszint véletlen jellegű hibája valószínűségi változó, ez a becslés a következők betartásával végezhető el:

- Az a két (a továbbiakban 1-el és 2-vel jelölt) időszak, amelynek adataiból az árvízveszély nagyságára jellemző két paramétert, majd ezek különbségét számítjuk, ugyanazon vízmérce-szelvényre vonatkozzék, és ebben a szelvényben az évi legnagyobb árvízszintre mindegyik időszakban legyen kellő számú adat.
- Mind az 1. mind a 2. időszakban a vizsgált töltés adott szelvényében a koronaszint-magassága legyen hosszabb időn keresztül időben állandó.

Ezen feltételek teljesülése esetén, továbbá figyelembe véve azt, hogy a mindkét időszakra számított 1%-os árvízszint, a ξ és az árvízveszély mértéke, az η valószínűségi változó, a korábbi jelölések alkalmazásával a

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (7)$$

különbséget is

$$\Delta \eta = \eta_2 - \eta_1 \quad (8)$$

nagyságú, jó közelítéssel normális eloszlású véletlenjellegű hiba terheli, amelynek középértéke a

$$M(\Delta \eta) = 0 \quad (9)$$

szórása pedig a

$$D(\Delta \eta) = \sqrt{D^2(\xi_1) + D^2(\xi_2)} \quad (10)$$

összefüggéssel számítható, amelyekben

$D^2(\xi_1)$ az évi legnagyobb jégmentes vízállásokat terhelő véletlenjellegű hiba első időszakra vonatkozó szórását,

$D^2(\xi_2)$ az évi legnagyobb jégmentes vízállásokat terhelő véletlenjellegű hiba második időszakra vonatkozó szórását jelöli.

Bár az árvízveszély mértékének, a V -nek az értéke egyértelműen jelzi az árvízveszély nagyságát, esetenként

mégis hasznos lehet az árvízveszély nagyságának jellemzésére ezen számértékek helyett a külső szemlélők által is érthető megnevezést adni. Tehát ezért javasoljuk, hogy az árvízveszély legyen

"tűrhető", ha $V \leq -100$ cm; "kismértékű", ha $-100 > V \leq -50$ cm; "számottevő", ha $-50 > V \leq 0$ cm; "nagy", ha $0 > V \leq 50$ cm és "igen nagy", ha $V > 50$ cm;

megjegyezve, hogy az árvízveszély nagysága nem csak a magas vízszintektől, hanem a védmű sajátosságaitól is függ. Így nagyobb távlatban valamekkora árvízveszély akkor is van, ha $V \leq -100$ cm, s ezért használtuk ebben az esetben a „nincs” helyett a „tűrhető” kifejezést.

A töltéskoronát meghaladó árvízszintek visszatérési ideje

A számítási eljárásokkal kapcsolatban szólni kell még arról, hogy ha a két V értékből számított

$$V_2 - V_1 = \Delta V \quad (11)$$

különbség pozitív, vagyis az 1%-os évenkénti nagyvíz meghaladja a koronaszintet, úgy célszerű a veszély mértékét még az eddigienél is részletesebben jellemezni; annak meghatározásával, hogy a koronaszintet meghaladó 1%-os évenkénti nagyvíz újból hány évenként és milyen valószínűséggel jelentkezik. Azaz kiszámítható a gátkoronát meghaladó nagyvizek visszatérési idejének (mint valószínűségi változónak) az

$$F(x) = P(\xi < x) = \sum_{k=1}^{k=x-1} p(1-p)^{k-1}, \quad (12)$$

eloszlása (Szigyártó 1957), ahol

p a gátkoronát meghaladó évenkénti nagyvizek jelentkezésének a valószínűsége,

ξ a gátkoronát p valószínűséggel meghaladó évenkénti nagyvíz visszatérési ideje, mint valószínűségi változó,

x az eloszlásfüggvény független változója, az a visszatérési idő, amelyre ennek valószínűségét kell meghatározni,

k a 0 időponttól számított visszatérési idő.

Ezek kiegészítéseként pedig esetenként hasznos lehet azt is tudni, hogy ennek a valószínűségi változónak a várhatóértékét az

$$M(\xi) = \frac{1}{p}, \quad (13)$$

szórását pedig a

$$D(\xi) = \frac{\sqrt{1-p}}{p} \quad (14)$$

összefüggés adja meg.

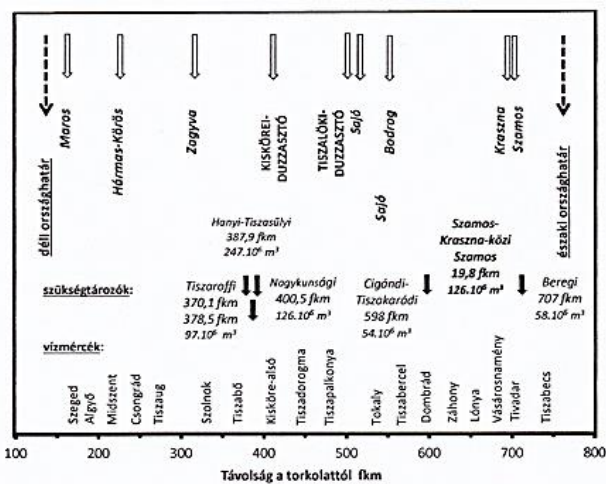
ÁRVÍZVESZÉLY A TISZA MENTÉN

A vizsgálatához beszerezhető adatok és a vizsgálatok ehhez igazodó célja

A bemutatott összefüggések birtokában célként azt tűztük ki, hogy a Tisza mentén kellő hosszúságú nagyvízi adattal rendelkező vízmérceállomások szelvényében (1. ábra) meghatározzuk egyrészt azt, hogy amióta, hosszú szünet után, az 1970-es évek elején a töltések fejlesztését

(magasságuk és egyéb méreteik szükség szerinti növelését) ismét előírnyozták (OVF 1974) az árvízveszély a mai napig miként változott; másrészt azt, hogy a Tisza ugyanezen szelvényeiben manapság mekkora árvízveszéllyel kell szembe nézzünk. Továbbá előírnyoztuk annak meghatározását is, hogy azoknál a vízmérce-állomásoknál, amelyeknél az 1%-os árvízszint a mai időkben a töltéskoronát meghaladja, az évi nagyvizeknek a koronát meghaladó tetőzései milyen gyakorisággal ismétlődnek. Ahhoz tehát, hogy ezt megtehessek a Tisza mentén minél több megbízhatóan működő vízmérceállomás minél hosszabb adatsorára volt szükség, kiegészítve ezt a töltéskorona ezen szelvényeire vonatkozó két adatával, a koronaszint esetről esetre változó magasságával és a magasságváltozás időpontjával.

E vonatkozásban szerencsének mondható az, hogy az érintett Tisza menti vízügyi igazgatóságok egy korábbi tanulmányunk (Szigvártó 2015) vizsgálatainak az elvégzéséhez már korábban rendelkezésünkre bocsátották az 1. ábrán feltüntetett, megbízhatóan működő vízmérce-állomásaik 1901 és 2014 közötti nagyvízi adatsorát, amelyekből szükség szerint bármely közbenső időszakra az 1%-os árvízszint nagysága egyértelműen meghatározható.



1. ábra. Vázlat a Tisza-menti vízmércek és árvízi szükségtározók elhelyezkedéséről

Figure 1. Outline of Hungarian stretch of river Tisza together with gauging station sections and localizations of flood make-shift reservoirs

Az akkor elvégzett vizsgálatok szerint 1962-től kezdve a tetőzési szintek, s ennek következtében az eloszlások számottevően megváltoztak, s így a számunkra most megfelelő adatsorok csak 1962. és 2014. közötti időszakra állnak rendelkezésre. Másképpen fogalmazva, a most előírnyozott vizsgálatokat kénytelenek voltunk az 1962. és 2014. közötti 53 éves időszak adatainak az elemzésére csökkenteni. Ami ugyan nem igazodik ahhoz a szokásos elváráshoz, hogy egy-egy vizsgált adatsor legalább 30 elemből álljon, de ennek ellenére ez most különösebb bajt nem okozhatott, mivel tudjuk, hogy az ilyen jellegű számítások eredményét terhelő véletlenjellegű hiba az adatsor hosszának a négyzetgyökével arányos. Következésképpen esetünkben a 30 elemnél rövidebb, 26-27 elemből álló adatsorból számított eredmények véletlenjellegű hibáját a

30 elemű mintákra jellemző véletlenjellegű ingadozásokhoz képest csak úgy 6%-kal növelheti.

Átérve az árvízveszély nagyságának a számításához szükséges másik adatra, a másik gátkorona magasságára, sajnos meg kellett állapítsuk, hogy amíg a töltéskorona 2014. évi magasságát az érintett vízügyi igazgatóságok már korábban rendelkezésünkre bocsátották, az árvízveszély mértékében beállt változás számításához szükséges másik adatot, az 1970-es évek koronaszint magasságát már sehonnán sem lehetett beszerezni. Vagyis ezeknek a töltésmagasságoknak a hiányában az árvízveszély 1970-es évekre jellemző nagyságát kiszámítani nem lehetett. Helyettük viszont - bizonyos megfontolások után - meg lehetett határozni azokat a töltésmagasságokat, amelyeket a fennálló árvízveszély csökkentése érdekében a meginduló rekonstrukciós munkálatok keretében előírnyoztak. Ehhez viszont azért volt szükség az előbb említett „megfontolásokra”, mert ezeket a töltésmagasságokat ugyancsak nem ismertük. Tudtuk viszont azt, hogy az 1970-es években a töltések koronaszintjét úgy határozták meg, hogy az legyen egyenlő az éppen akkor a hazai Tisza szakasz teljes hosszára meghatározott mértékadó árvízszint árvízi biztonsági mérettel növelt értékével. Vagyis így a töltésmagasságot a MÁSZ1974 értékének az ismeretében már minden szelvényre meg lehetett volna határozni. Sajnos azonban ezekhez az értékekhez ma már szintén nem tudunk hozzájutni. A mértékadó árvízszint következő rögzítése során (KHVM 1997) a MÁSZ1974 minden adatát felülvizsgálták, s ezeket csupán néhány olyan helyen módosították, ahol a MÁSZ1974 adata nyilvánvalóan nem voltak összhangban a szomszédos adatokkal. Ezért lehetett úgy dönteni, hogy a következő számításokat a MÁSZ1997 adataira támaszkodva végzzük el - számítva arra, hogy ezzel a megoldással érdembeli hibát nem követhetünk el - s ehhez adtuk hozzá a Maros torkolata alatt az 1,50 m-es, az a feletti teljes hazai Tisza szakaszon az 1,00 m-es árvízi biztonsági méretet.

Abból, hogy az árvízveszély vizsgálatához az 1970-es évek koronaszint magassága helyett csupán az árvédelmi művek fejlesztése keretében a koronaszintek célszerűnek ítélt magasságát lehetett meghatározni egyértelműen következett, hogy ebben a vonatkozásban módosítani kellett munkánk célját is. Így tehát a továbbiakban az előírnyozott számításokkal elérhető célként nem az árvízveszély időfolyamán végbement megváltozásának a meghatározását tűztük ki, hanem az így rendelkezésre álló töltésmagasságok felhasználásával a cél annak megállapítása lett, hogy az 1970-es évek elején előírnyozott töltésmagasságokat miképpen lehetett megvalósítani. Következésképpen minden olyan szelvény esetében, amelynél a vizsgálatok szerint az „árvízveszély nőtt”, ezt úgy kell értelmezzük, hogy a töltések felújításával kapcsolatban az 1970-es években célként előírnyozott árvízi biztonságot nem lehetett megvalósítani, mivel az azóta eltelt idő folyamán az árvízveszély nagysága még az akkor előírnyozott mértéket is meghaladta.

Az árvízveszély nagyságának és változásának a kimutatása

Az előzőekben, a tanulmány végleges céljának a megfogalmazása során már szó volt arról, hogy az 1962-1987.

közötti időszakokra érvényes a töltések koronamagasságát beszerezni nem lehetett, s ezért a vizsgálatokat helyettük az 1970-es években - a $MÁSZ_{1974}=MÁSZ_{1997}$ feltétel alapján - a töltések rekonstrukciójának a tervezése során elfogadott töltésmagasságokkal végeztük el. Ami természetesen azt is jelentette, hogy ezek felhasználásával csak azt lehetett meghatározni, hogy akkoriban (ha a jelen tanulmányban bemutatott eljárást ismerték volna) kitűzendő célként az árvízveszély milyen magasságát lehetett volna előírni. Következésképpen az árvízveszélynek ezt a nagyságát az árvízveszély mai idők töltésmagasságaival számított értékével összehasonlítva megállapítható az, hogy

- amennyiben az 1970-es években az árvízveszély nagysága nagyobbra adódott, mint ennek a napjainkra vonatkozó értéke, akkor megállapítható, hogy az 1970-es

években előírányzott árvízi biztonságot (vagy a vízjárásban bekövetkezett változás, vagy a töltés előírányzott rekonstrukciójának az elmaradása miatt) nem lehetett megvalósítani;

- amennyiben számításaink szerint az árvízveszély mindkét vizsgált nagysága azonosnak adódik, akkor megállapítható, hogy a szükségesnek ítélt beavatkozásokat elvégezve, (a vízjárásban biztosan bekövetkezett kedvezőtlen változás ellenére) az 1970-es években előírányzott árvízi biztonságot meg lehetett valósítani;
- amennyiben pedig számításaink szerint az 1970-es években az árvízveszély nagysága kisebbre adódott volna, mint annak a napjainkra érvényes értéke, akkor megállapítható, hogy a töltés rekonstrukciójával (a vízjárásban azóta bekövetkezett kedvezőtlen változás ellenére) az árvízi biztonságot növelni lehetett volna.

1. táblázat. Példa az árvízveszélyjelző szinteknek és ezek különbségének a számítására

Table 1. Computation example for flood danger characteristics and their differences

A műveletek sor-száma	Az egyes sorokban feltüntetett adatok megnevezése	Dimenzió fkm	Idő év	Vízrajzi állomás		Kisköre alsó	Tiszabercel	Lónya	
				Távolság a torkolattól	Szeged				
					173,6	403,1	569,0	650,8	
1.	Mértékadó árvízszint: $MÁSZ_{1977}$	cm	1974	$MÁSZ_{1977}$	971	932	894	898	
2.	Koronaszint a „0” felett (tervezett)	cm	1974	K_c	971	1032	994	998	
3.	1 %-os árvízszint nagysága	cmc	1962-1987	$H_{a1\%}$	1121	983	883	796	
4.	Árvízveszélyjelző szint nagysága (a)	cm	1962-1987	V_{1974}	994	-49	-111	-202	
5.	Koronaszint a „0” felett	cm	2014	K_c	-126,6	1047	1016	1061	
6.	1 %-os árvízszint nagysága	cm	1988-2014	$H_{b1\%}$	939	1174	830	1047	
7.	Árvízveszélyjelző szint nagysága (b)	cm	1998-2014	V_{2014}	867	127	-186	-14	
8.	Árvízveszélyjelző szint változása	cm	1998-2014	$A(AVJ)$	-72	176	-75	188	
9.	1 %-os árvízszint szórása	cm	1962-1987	$D_a(H_{1\%})$	55	34	33	42	
10.	1 %-os árvízszint szórása	cm	1988-2014	$D_b(H_{1\%})$	55	83	30	49	
11.	Az árvízveszélyjelző szint változásának szórása	cm	1962-2014	$D(\Delta V)=D(\Delta H_{1\%})$	71	90	45	65	
12.	A szignifikancia-vizsgálat alapjául szolgáló valószínűség	%	1962-2014	$P \mid \Delta \geq \Delta(AVJ) \mid$	90,9	2,5	4,8	0,2	
13.	ÁRVÍZVESZÉLY JELLEMZŐ SZINT VÁLTOZÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE			IDŐSZAK	ÉRTÉKELÉS				
14.	AZ ÁRVÍZVESZÉLY VÁLTOZÁSA			1901-1970	1971-2014	Nőtt	Nőtt	Csökken	Nőtt
15.	A VÁLTOZÁS MÉRTÉKE			1901-1970	1971-2014	Kimértékű	Jelentős	Kismértékű	Jelentős
16.	A VÁLTOZÁS OKA			1901-1970	1971-2014	Egyéb	A meder	A meder	A meder
17.	AZ ÁRVÍZVESZÉLY NAPJAINKBAN			1988-tól máig		Kismértékű	Igen nagy	Tűrhető	Számottevő
MEGJEGYZÉS									
14. sor	A változás akkor javult, ha az árvízveszély nagysága 1971. és 2014. között csökkent, és romlott, ha növekedett.								
15. sor	A változás akkor jelentős, ha az árvízveszély nagysága 1971. és 2014. között abszolút értelemben több, mint 75 cm-t változott.								
16. sor	A változás akkor tekinthető a mederben lezajló folyamatok következményének, ha a 12. sorban feltüntetett valószínűség $P < 5\%$, vagyis véletlen jellegű ingadozás hatására a 8. sorban feltüntetett különbségnél kisebb eltérések csak ilyen kis valószínűséggel fordulhatnak elő.								
17. sor	Az árvízveszély manapság „tűrhető”, ha $V_{2014} \leq 100$ cm; „kismértékű”, ha $-100 > V_{2014} \leq 50$ cm; „számottevő”, ha $-50 > V_{2014} \leq 0$ cm; „igen nagy”, ha $V_{2014} > 50$ cm								

Az árvízveszéllyel kapcsolatos, most előírányzott vizsgálatok első lépése természetesen az alapadatok, vagyis a töltéskorona szintek és az évi legnagyobb jégmentes vízállások minél hosszabb adatsorának a beszerzése, s a szóban forgó vízállások függetlenségének és egyöntetűségének az ellenőrzése kellett legyen. (Csoma és Szigyártó 1975) Továbbá a jelen esetben fontos az is, s hogy az egyöntetűséget a sorozatos statisztikai hipotézisvizsgálattal ellenőrizzék, s ha erre szükség van, a számításokat a keverékeloszlásokra vonatkozó számításokkal végezzék el (Szigyártó 2012). Mindezekre azért van szükség, mert, ha egy nagyvízi adatsort vizsgálva a kapott eredmények kérdésessé teszik a függetlenség és az egyöntetűség teljesülését, akkor az ezeket követő matematikai statisztikai vizsgálatok eredményéből levonható gyakorlati következtetések alkalmazhatósága is hasonló módon erősen kérdésessé válik. Fontos, hogy az említett, korábbi vizsgálatok során (Szigyártó 2015) arra az eredményre jutottunk, hogy a Tisza vízmerce állomásain az 1901-2014 között észlelt nagyvízi adatok egymástól függetlenek, így most ennek ellenőrzésével foglalkoznunk nem kellett. Fontos az is, hogy a jelen vizsgálatok során az adatsorok egyöntetűségét minden esetben a sorozatos statisztikai vizsgálattal megvizsgáltuk, és ezek eredményét minden esetben figyelembe is vettük.

Az árvízveszély nagyságának a kiszámítása rendkívül egyszerű, hiszen a beszerzett adatokra támaszkodva csupán az (1) összefüggésnek megfelelő osztást kell elvégezni. Az árvízveszély nagyságának a megváltozását viszont az (1)-(4) és a (7)-(10) összefüggés felhasználásával csak egy összetett matematikai statisztikai vizsgálattal lehet meghatározni. Ez az oka tehát annak, hogy a továbbiakban az 1. táblázatban bemutatott módon (négy eltérő adottsággal rendelkező Tisza menti vízmérceállomás Szeged, Kisköre-alsó, Tiszabercel és Lónya szelvényére vonatkozó adatok felhasználásával) csak ez utóbbi részleteivel fogunk foglalkozni.

Az előzőeknek megfelelően az 1962-től 1987-ig tartó időszakra a számításokhoz szükséges 1%-os árvízszinteket és a becsült koronaszinteket a táblázat 1-3. sora foglalja össze, amelyekre támaszkodva és az (1) összefüggést felhasználva az árvízveszély erre az időszakra vonatkozó nagysága az 4. sorban láthatók. Ezek kiszámítását követte az 5-7. sorban az 1988-tól 2014-ig tartó második időszak adatait felhasználva az árvízveszély nagyságának a mai állapotokra vonatkozó meghatározása; amelynek során már lehetőség nyílt a 2014-ben rendelkezésünkre bocsátott

tényleges koronaszint magasságok figyelembevételére. Értelemszerűen a 7. sort követő 8. sorba került aztán az árvízveszély nagyságára számított két érték különbsége, vagyis a 7. sor adatából a 4. sor adatának a kivonásával kapott eredmény.

Azt tudjuk, hogy az árvízveszély az (1) összefüggéssel meghatározott értékét, az 1%-os árvízszintet terhelő, normális eloszlású véletlenjellegű hiba ugyancsak terheli. Következésképpen normális eloszlású valószínűségi változó az árvízveszély ennek felhasználásával számított nagysága, s így ezek különbsége is. Ehhez pedig mindkettő esetében ismerni kell a normális eloszlású véletlenjellegű hibájának a középértékét és szórását, amelyek közül a középérték mind a két adat esetében nulla, a szórás pedig az adottságoknak megfelelően vagy a (3) vagy a (4) képlettel határozható meg. Így került tehát mindegyik vízmérceállomás esetén az 1. táblázat 9. és 10. sorába az 1%-os évenkénti árvízszintet terhelő véletlenjellegű hibának az időrendben első, majd a második mintából számított szórása. Következő lépésként az árvízveszély nagyságának a különbségét terhelő szórását kellett meghatározni; figyelembe véve azt, hogy (mint említettük) az árvízveszély nagyságát terhelő véletlenjellegű hiba eloszlása megegyezik az 1%-os árvízszint eloszlásával, továbbá, hogy a (10) képlet szerint ezen különbségeknek a szórása azonos a két szórásnégyzet összegének a négyzetgyökével. Tehát a 9. és a 10. sor adatainak a felhasználásával így lettek kiszámítva a 11. sorban feltüntetett szórások. A számítás végül annak a valószínűségét határozta meg, hogy az árvízveszély nagyságának számított értékét terhelő 0 középértékű véletlenjellegű hiba 8. sorban található különbségénél nagyobb eltérések milyen valószínűséggel fordulhatnak elő. Az így számított értékek kerültek aztán a 12. sorba; amelyek közül például a Szolnok oszlopában található $P=0,0$ valószínűség azt jelenti, hogy a két időszakra vonatkozó árvízveszély nagyságok különbsége olyan nagy, hogy az árvízveszély 1988. után bekövetkező növekedése az 1%-os évenkénti nagyvizek véletlenjellegű ingadozására semmiképpen sem vezethető vissza. Másképpen fogalmazva: *Szolnokon az árvízveszély növekedése mintegy 100%-os valószínűséggel a mederben lezajló változások következményére vezethető vissza.*

Az így kapott eredményekre támaszkodva lehetett aztán a 13-17. sorban összefoglalni az ármentesítés és árvédekezés szempontjából fontos gyakorlati következtetéseket. Közelebbről a 13-17. sorban láthatók azok a megállapítások, amelyek arról tájékoztatnak, hogy az 1970-es években előirányzott töltésfejlesztések céljukat miként érték el. Pontosabban fogalmazva az árvízveszély 17. sorban látható mai nagysága miként alakul az 1970-es években előirányzott fejlesztések során előirányzott töltésmagasságokhoz viszonyítva. Megjegyezve azt, hogy a matematikai statisztikában bevett és a magyar vízimérnöki gyakorlatban is alkalmazott szabályhoz igazodva (VITUKI 1976) a

két árvízveszélyjelző eltérést *szignifikánsnak*, vagyis *számmottevőnek* akkor ítéltük, ha az legalább 95%-os valószínűséggel a mederben lezajló folyamatok eredményeként jött létre; azaz, ha ez a különbség a véletlen hatására csak $P<5\%$ -os valószínűséggel fordulhatott elő. Ehhez kapcsolódva kell végül megjegyezni azt is, hogy abban az esetben, ha a 8. sorban feltüntetett különbség nem szignifikáns, s így a 12. sorban $P<95\%$ található, úgy e különbségből nyilván semmiféle gyakorlati következtetést sem lehet levonni, s ezért a táblázat 16. sorába az „EGYÉB” kifejezés került. Ellenkező esetben pedig a táblázat ezen a sorába „A MEDER” kifejezést írtuk, utalva arra, hogy a két árvízveszélyjelző szint különbsége a mederben lezajló folyamatok következtében állt elő.

Végül megemlítjük, hogy ennek a táblázatnak az alján megjegyzésként azt is összefoglaltuk, hogy a táblázat adataiból a 14-17. sorban levont megállapítások miként következnek.

Az árvízveszély változása a múlt század 70-es évei óta

Az előzők szerint elvégzett vizsgálatok eredményét mind a 18 állomásra a 2. táblázat és a Tisza menti változás áttekinthetőségének a biztosítására a 2. ábra foglalja össze, amely utóbbi a koronaszinttől, mint nullától számítva feltünteteti az árvízveszélynek az 1962-1987, és 1988-2014. közötti adatokból számított értékét (vagyis az 1%-os árvízszintnek a koronához viszonyított helyzetét és ezek különbségét). Ezek közül az 1970-ben előirányzott munkálatok eredményességéről a 2. ábrán üres négyszögekkel jelölt pontokat összekötő, szaggatott vonalak tájékoztatnak, amely szerint:

- ez a különbség egyedül a Tiszabercel vízmérceállomás szelvényében pozitív, vagyis a végrehajtott rekonstrukciós munkák eredményeként egyedül ebben a szelvényben lehetett az 1970-es években megvalósításra előirányzott árvízi biztonságot létrehozni;
- tehát a többi vízmérce szelvényében ez a különbség negatív, vagyis a többi vizsgált szelvényben az 1970-es években előirányzott árvízi biztonságot megvalósítani nem lehetett, s így a 2014-re a tényleges biztonság ezt a szintet nem tudta elérni.

Így aztán az árvízveszély napjainkra érvényes helyzetével kapcsolatban a következők állapíthatók meg:

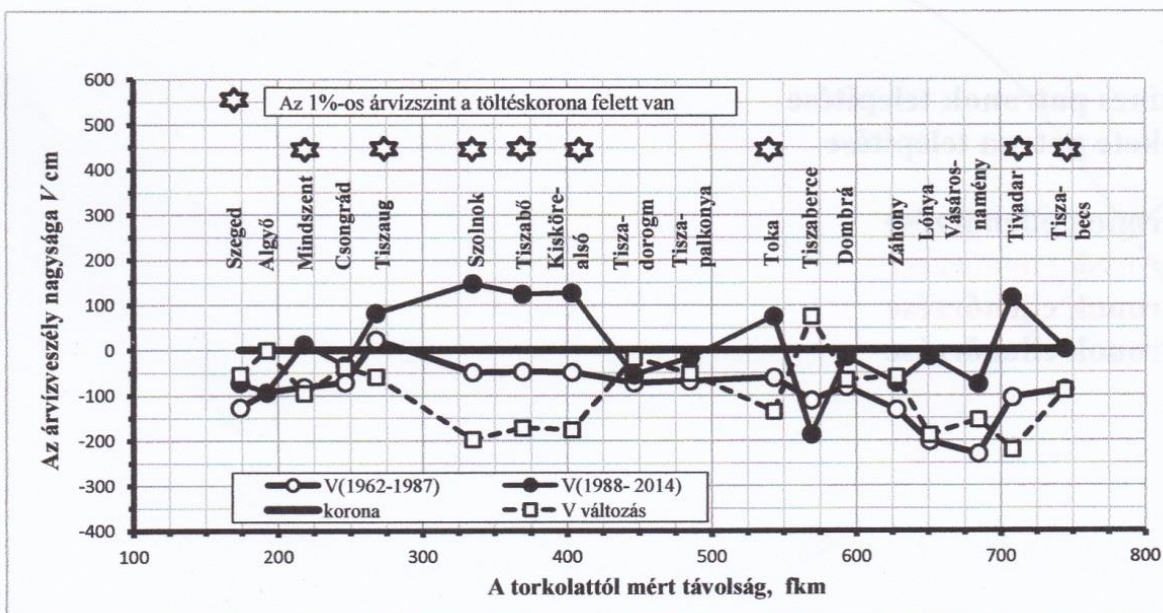
- A 2. ábrán, a mai állapotot feltüntető, telt köröket összekötő poligon szerint a 18 vizsgált állomás közül 9-nél az idők folyamán az 1%-os árvízszint a töltéskoronaszint fölé került, s
- ezek közül kettőnél (Tiszaugnál és Tokajnál) a koronaszint feletti magasság igencsak megközelített az 1,00 m-t, négyenél pedig (Szolnoknál, Tiszabőnél, Kiskörénél és Tivadarnál) már ezt az 1,00 m-t meg is haladta.

2. táblázat. Az árvízveszély alakulása a Tisza mentén 1962. és 2014. között az országos vízmérceállomások szelvényében
 Table 2. Conformation of flood danger characteristics along river Tisza in the sections of the important gauging stations, relative to periods 1962-2014

Vízrajzi állomás	Szeged	Algyő	Mindszent	Csongrád	Tiszaug	Szolnok	Tiszabó	Kisköre alsó	Tiszadorogma
Távolság a torkolattól	173,6	192,0	217,8	246,2	267,6	334,6	369,0	403,1	446,2
V ₁₉₇₄	-127	-93	-81	-71	23	-49	-47	-49	-72
V ₂₀₁₄	-72	-93	13	-33	82	148	125	127	-55
ΔV	-55	0	-95	-36	-59	-197	-172	-176	-18
P(Δ≥ΔV)	27,4	50,0	16,7	35,6	27,7	1,8	3,6	2,5	34,0
AZ ÁRVÍZSZINT VALTOZÁSA	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt
A VALTOZÁS MERTEKE	kismértékű	kismértékű	jelentős	kismértékű	kismértékű	jelentős	jelentős	jelentős	kismértékű
A VALTOZÁS OKA	egyéb	egyéb	egyéb	egyéb	egyéb	a meder	a meder	a meder	egyéb
AZ ÁRVÍZVESZÉLY MANAPSÁG	kismértékű	kismértékű	nagy	számottevő	igen nagy	igen nagy	igen nagy	igen nagy	kismértékű

Vízrajzi állomás	Tisza-palkonya	Tokaj	Tiszabercel	Dombrád	Záhony	Lónya	Vásárosnamény	Tivadar	Tiszabecs
Távolság a torkolattól	484,7	543,1	569,0	593,1	627,8	650,8	684,4	707,8	744,3
Távolság a torkolattól	-68	-61	-111	-81	-132	-202	-230	-105	-87
V ₂₀₁₄	-17	75	-186	-15	-73	-14	-76	116	2
ΔV	-52	-136	75	-66	-60	-188	-154	-221	-89
P(Δ≥ΔV)	21,3	2,5	4,8	18,4	14,8	0,2	1,1	1,6	13,6
AZ ÁRVÍZSZINT VALTOZÁSA	nőtt	nőtt	csökkent	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt	nőtt
A VALTOZÁS MERTEKE	kismértékű	jelentős	kismértékű	kismértékű	kismértékű	jelentős	jelentős	jelentős	jelentős
A VALTOZÁS OKA	egyéb	a meder	a meder	egyéb	egyéb	a meder	a meder	a meder	egyéb
AZ ÁRVÍZVESZÉLY MANAPSÁG	számottevő	igen nagy	tűrhető	számottevő	kismértékű	számottevő	kismértékű	igen nagy	nagy

MEGJEGYZÉS
 Az árvízveszély változása az 1970-es években előirányzott töltésfejlesztések akkoriban várt eredményéhez van viszonyítva.
 A változás mértéke jelentős akkor, ha a vizsgált két időszakra meghatározott árvízveszély-jelző szint egymástól több, mint 75 cm-re van.
 A változás oka a meder alakjának, a fenékesés vagy az érkező vízhozam nagyságának változása akkor, ha P(Δ≥ΔV)=5%
 Az árvízveszély manapság „tűrhető”, ha V₂₀₁₄≤-100cm; „kismértékű”, ha -100>V₂₀₁₄≤-50cm; „számottevő”, ha -50>V₂₀₁₄≤0cm; „nagy”, ha 0>V≤0,5cm; „igen nagy”, ha V>50cm.



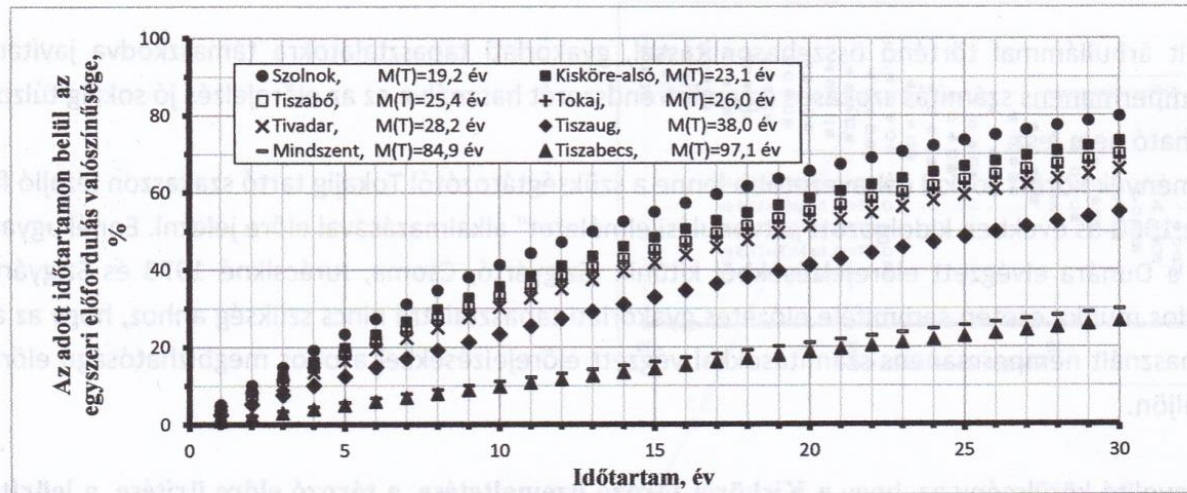
2. ábra. Az árvízveszélyjelző szintek alakulása a Tisza mentén
 Figure 2. Conformation of flood danger characteristics along river Tisza

Összefoglalóként megállapíthatjuk, hogy a Tisza mentén az 1970-es években előirányzott árvízi biztonságot a mai napig sem lehetett megvalósítani. Ennek következtében az ezredfordulóra komoly árvízveszély két helyen állt elő. Az egyik az északi országhatár és az 580 fkm szelvénye közötti dombrádi, záhonyi, lónyai, vásárosnaményi, tivadari és tiszabecsi vízmérce szelvényében és ezek környezetében van, ahol az 1%-os árvízszint erősen megközelítette,

sőt Tivadarnál meg is haladja a koronaszintet. A másik veszélyes hely pedig a Kiskörei-tározó alatt, a tározótól kezdve egészen a tiszaujai vízmérce szelvényéig tart, ahol az 1%-os árvízszint számottevő mértékben a koronaszint fölé került. Látható továbbá az is, hogy az egyes szelvényekre régen előírt árvízi biztonsági méret mára már egyetlen állomás, Tiszabercel kivételével mindenhol megszűnt.

Mindezeket a kedvezőnek nem nevezhető eredményeket aztán a (12 összefüggés felhasználásával kiegészítettük még a 3. ábrával is, amely azoknál az állomásoknál, amelyeknél napjainkban az 1%-os árvízszint a koronaszintet meghaladta bemutatja a gátkorona felett tetőző évenkénti nagyvizek előfordulásának gyakoriságát, szabatos fogalmazásban ezek visszatérési idejét. Ezek szerint ezek a veszélyes helyzetek leggyorsabban a szolnoki szelvényben

és ennek környezetében követik egymást, ahol kerekén 80%-os esély van arra, hogy egy tetszőlegesen felvett évet - például a jelen évet, vagy az első előntés évet - követő ilyen magas nagyvíz 30 éven belül bekövetkezzék. Más oldalról ez a folyamat a leglassabb a tiszabecsi szelvényben és ennek környezetében alakul, ahol az évenkénti nagyvíz magassága a töltéskoronát egy tetszőleges évtől számított 30 éven belül kevesebb, mint 30%-os valószínűséggel haladja meg.



3. ábra. Az évenkénti jégmentes nagyvizek visszatérési idejének eloszlása a Tisza mentén nyolc vízmérceállomás szelvényében
Figure 3. Distribution function of return periods of yearly ice-free stages along river Tisza in sections of nine gauging stations

Az árvízveszély változásának vizsgálata az árvízi szükségtározók vízszintsökkentő hatásának ellenőrzéséhez

Az eddigiek folyamán azzal foglalkoztunk, hogy 1962-től kezdve a Tisza mentén miként lehet az árvízveszély nagyságát jellemezni. Az ilyen vizsgálatokra azonban - elsősorban az árvízi szükségtározóknak a közel jövőben várható üzembeállítása miatt, hatásuk ellenőrzése érdekében - nyilván később is szükség lesz. Ezért ezekkel kapcsolatban célszerű a figyelmet felhívni a következőkre:

Ezeknek az árvízi szükségtározóknak az üzembe állításával az általuk befolyásolt vízszintek magassága a folyó mentén jelentős hosszon csökkenni fog. Következésképpen az így előállt adatok már nem adhatnak tájékoztatást arról, hogy a szükségtározókat követő folyószakaszon az eredeti árhullámok milyen magassággal vonultak volna le; amelyre pedig két okból is szükség van. Egyrészt azért, mert a szükségtározók üzembeállításának a vízszintsökkentő hatását csak a nem módosított és a módosított árhullámok adatainak az összehasonlításával lehet meghatározni. Másrészt azért, mert a folyó mindenkori vízszállító-képességét időről időre a továbbiakban is feltétlenül meg kell majd határozni. Az így adódó feladatok pedig nyilván csak úgy végezhetők el, ha előzőleg a szokásos módon, számítógép programok felhasználásával meghatározzuk a szükségtározók üzembeállítása nélkül előálló árhullámképeket. Következésképpen a szükségtározók működése által befolyásolt valamennyi árhullám esetén, közvetlenül az árhullámok levonulása után

valamennyi érintett vízmérce szelvényére (megfelelő számítógépes programmal és az akkor még rendelkezésre álló legkülönbözőbb adatok és információk felhasználásával) sürgősen meg kell határozni azokat az árhullámképeket és a hozzá tartozó vízhozam adatsorokat, amelyek a tározók üzembeállítása nélkül álltak volna elő. Ezt követően pedig mind az eredeti, mind a rekonstruált árhullámra vonatkozó valamennyi adatot feltétlenül együtt tárolva, gondosan meg is kell őrizni.

Az árvízi szükségtározók által módosított évenkénti nagyvízi adatok birtokában a későbbiek során nyilván célszerű lesz a szakértők ide vágó kedvező benyomásait az összehasonlíthatóság érdekében számszerű adatokkal is alátámasztani, vagyis az árvízveszély változását az itt bemutatott módon ellenőrizni. Ami az összehasonlításához szükséges újabb nagyvízi adatsorok hosszát illeti, ezeknek a megbízható becslésére sajnos nincs lehetőség. Ugyanis ez nagymértékben függ az adatsorok ingadozásától, vagyis az adatok szórásától, amelyeket csak az árhullámok adatainak az ismeretében lehet majd meghatározni. Emellett pedig ebből a szempontból fontos az is, hogy a nagyvízi adatsorok nagyon lassan, évenként csak egy adattal bővülnek. Bizonyosan meglehetősen hosszú időnek kell eltelnie ahhoz, hogy a már rendelkezésre álló adatsor mellé egy másik, összehasonlításra alkalmas adatsort is össze lehessen állítani. Ezért a korábbi hasonló gyakorlati feladatok megoldása során szerzett tapasztalatokra támaszkodva csak azt lehet javasolni, hogy az újabb nagyvízi adatsorok vizsgálatára csak azt követően kerüljön sor, hogy erre a célra már legalább egy 20 éves adatsor rendelkezésre áll.

IRODALOM

Csoma J. és Szigyártó Z. (1975). A matematikai statisztika alkalmazása a hidrológiában. Kutatási jelentés. *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet*, Budapest, 1975. (39. és 43. oldal)

KHVM (1997). A Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium 15(1997). (IX. 19.) rendelete a folyók mértékadó árvízszintjéről.

KHVM (2002). A Vásárhelyi terv továbbfejlesztése. Koncepcióterv. A Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Budapest, 2002.

OVF (1974). Az Elnöki kollégiuma által 1974. december 20-án kiadott 113/Koll./1974. számú rendelet.

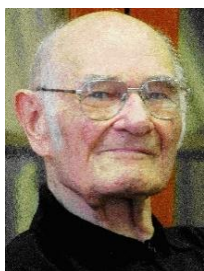
Szigyártó Z. (1957). A hidrológiai események visszatérési ideje. *Hidrológiai Közöny*, 37. évf. 4. sz., 325-329.o.

Szigyártó Z. (2012). A keverék-eloszlású évi legnagyobb jégmentes vízállások eloszlásának számítása. *Hidrológiai Közöny*, 92. évf. 4. sz., 51-59. o.

Szigyártó Z. (2015). A Tisza nagyvízi vízjárása a múlt század elejétől napjainkig. *Hidrológiai Közöny*, 95. évf. 4 sz., 19-20. o.

VITUKI (1976). Hidrológiai alapok a magyarországi folyók mértékadó árvizeinek meghatározásához. 4. Hidrológiai Statisztikai vizsgálatok. Kutatási jelentés. *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ*. Budapest, 1976. (Témafelelős Csoma J. és Szigyártó Z.).

A SZERZŐ



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

A dunaszekcsői magaspárt mozgásait előidéző okok vizsgálata

Mentes Gyula

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

Kivonat

Ebben a cikkben a 2007 és 2016 közötti dunaszekcsői magaspárt mozgását mutatjuk be folyamatos regisztrálású fúróluk-dőlésmérések alapján. Mivel a hidrológiai és meteorológiai folyamatok gyorsan változnak, ezért ezeknek a magaspárt mozgásaira történő hatása nem tanulmányozható időközönként ismételt geodéziai mérésekkel, amelyek csak a magaspárt topográfiai változásainak megfigyelésére alkalmasak. A magaspárt dőléseit két dőlésmérővel mértük, egyiket a stabil, a másikat pedig a magaspárt mozgó részén helyeztük el. Összefüggéseket vizsgáltunk a dőlések és a hőmérséklet, csapadék, növényzet hatása, valamint a talajvízszint és a Duna vízszint-változásai között. A dőlések és vízszintváltozások közötti kapcsolatot többváltozós és mozgóablakos regresszió analízissel vizsgáltuk. Az eredmények szerint a növekvő regressziós együtthatók a magaspárt stabilitásának csökkenését jelentik, ezért ez a módszer alkalmas a magaspárt stabilitásának folyamatos megfigyelésére. A vizsgálatok világosan kimutatták, hogy a talajvíz hatása a magaspárt mozgásaira két nagyságrenddel nagyobb, mint a Duna vízszint változásaié. A Duna fő szerepe a magaspárt alámosása és a lösz elszállítása a magaspárt alapjától. A magaspárt eróziója mellett a stabil és mozgó magaspárt különböző dőlései is hozzájárulnak a stabil magaspártban új szakadási vonalak kialakulásához csökkentve annak szélességét.

Kulcsszavak

Duna vízszintje, talajvízszint, hőmérséklet, csapadék, növényzet, partfaldőlés.

Investigating the causes of the high bank movements in Dunaszekcső

Abstract

This paper presents the movements of the Dunaszekcső high bank between 2007 and 2016 observed by continuously recording borehole tiltmeters. Since hydrological and meteorological processes change rapidly, their effect on the high bank movements cannot be studied on the basis of intermittently repeated geodetic measurements, which are only useful to observe the changes of the topography of the high bank. The tilts of the high bank were measured by two borehole tiltmeters, one was placed on the stable, the other on the moving part of the high bank. The relationships between tilts and temperature, precipitation, the effect of vegetation, as well as the ground water level and the variations of Danube water level were investigated. The connection between tilt values and water level variations was investigated by multivariable and moving window regression analyses. The results show that increasing regression coefficients mean decreasing stability of the high river bank, and so this method can be used for continuous supervision of the high bank stability. Investigations showed clearly that the effect of ground water table variations on the high bank movements is two orders of magnitude higher than the water level variations of the River Danube. The main role of the Danube is the undercutting of the high bank and washing away the loess from the base of the high bank. Besides the erosion of the high bank, the different tilts of the stable and unstable parts also contribute to arising of new cracks in the stable part, decreasing its width.

Keywords

Danube's water level, ground water level, temperature, precipitation, vegetation, tilts of the high bank.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedtől egyik legnagyobb földtani eseménye a 2008. február 12-én történt dunaszekcsői magaspárt lecsúszása volt. A magaspárt mozgása azóta is tart, ami a hazai földtudományokkal foglalkozó szakembereken kívül külföldiek érdeklődését is felkeltette. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet (ma MTA Csillagászati és Földtudományi Központ, Geodéziai és Geofizikai Intézet) kutatóinak figyelmét Kraft János, a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Pécsi Bányakapitányság munkatársa hívta fel a dunaszekcsői magaspárt mozgásaira. 2007 őszén az intézet egy geodéziai mérőhálózatot létesített GPS mérések, elektronikus távmérés és precíziós szintezés céljából. A hálózatot két folyamatos regisztrálású fúróluk dőlésmérővel egészítették ki, amelyek – ellentétben az évenként ismételt geodéziai mérésekkel – órás időlépésű mintavételezéssel lehetővé tették a magaspárt mozgásainak nagy pontosságú megfigyelését, valamint hidrológiai és meteorológiai adatok bevonásával a mozgások okainak tanulmányozását. A dunai magaspártok csuszamlásai során korábban is végeztek hid-

rológiai, geológiai, geomechanikai vizsgálatokat a csuszamlás okainak megállapítása céljából (pl.: *Domján 1952, Kézdi 1970, Pécsi 1971, Karácsonyi és Scheuer 1972, Horváth és Scheuer 1976, Moyzes és Scheuer 1978, Pécsi és társai 1979, Pécsi és Scheuer 1979, Scheuer 1979, Kleb és Schweitzer 2001, Szabó 2001*). Vizsgálták továbbá a klimatikus és meteorológiai hatásokat is (*Juhász 1999, Szabó 2003*), azonban a magaspárt mozgásainak közvetlen kapcsolatát a geofizikai, hidrológiai és meteorológiai folyamatokkal nem vizsgálták.

Az akkori kutatások a kor technikai színvonalának megfelelően a lehető legpontosabban tárták fel a magaspártok mozgásának okait. Ezeknek a kutatásoknak az eredményi ma is helytállóak, és jelentősen hozzájárultak a magaspártok felépítésének megismeréséhez. Ma már korszerűbb, digitális adatgyűjtőkkel ellátott, folyamatos mérésre alkalmas terepi műszerek (dőlésmérők, extenzométerek) állnak rendelkezésre, amelyek interneten keresztül on-line adatgyűjtést is lehetővé tesznek (*Thuro*

és társai 2010, Mentés 2012, Lienhart 2015), így lehetséges a magaspartok mozgási folyamatainak pontosabb tanulmányozása és stabilitási állapotának folyamatos megfigyelése anélkül, hogy gyakori terepi geodéziai (Bugya és társai 2011, Mentés és társai 2012, Bányai és társai 2013) és geofizikai (Szalai és társai 2014a b, Szanyi és társai 2016) méréseket kellene végezni. A geofizikai méréseknek fontos szerepe van a magaspart szerkezetének és annak változásainak megismerésében, míg a geodéziai módszerek csak a magaspart felszínváltozásainak figyelemmel kísérésére alkalmasak.

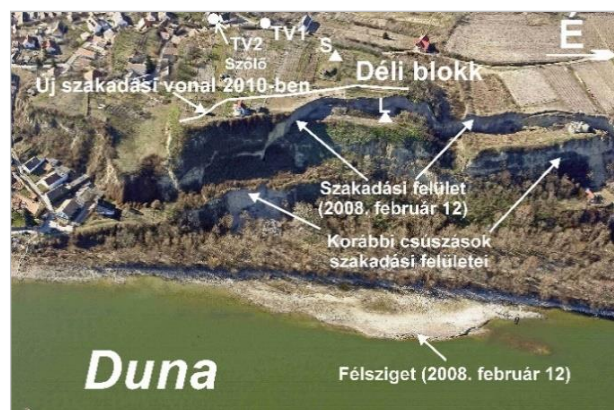
Mivel a földcsuszamlások szerte a világon rengeteg anyagi kárt okoznak és emberéletet követelnek (pl.: Petley 2012), ezért a kutatások arra irányulnak, hogy feltárják, melyek azok a folyamatok, amelyek hozzájárulnak a földcsuszamlások kiváltásához, és ezeknek a folyamatoknak a megfigyelése hogyan hasznosítható korai földcsuszamlás riasztó rendszerek kifejlesztéséhez (pl.: Thuro és társai 2014, Fathani és társai 2016, Intrieri és Gigli 2016, Greco és Pagano 2017, Wen és társai 2017).

Mentes (2017a) tömören ismerteti a dunaföldvári és a dunaszekcsői magaspartok mozgásait és a Duna vízszintjének, valamint a talajvízszint változásainak kapcsolatát. A jelen tanulmány ugyanakkor már részletesen bemutatja a dunaszekcsői magaspart mozgási folyamatát 2007 és 2016 között és vizsgálja a mozgások kapcsolatát a hidrológiai és meteorológiai folyamatokkal összefüggésben, valamint elemzi a növényzet hatását a magaspart mozgásaira. A bemutatott vizsgálati módszer egyrészt hozzájárul a mozgási folyamatok és azok okainak jobb megértéséhez, másrészt – on-line mérés technika alkalmazásával – lehetővé teszi a magaspart stabilitásának napi megfigyelését, ezáltal alapja lehet egy korai földcsuszamlás riasztó rendszernek.

MÓDSZEREK

A dunaszekcsői magaspart mozgásait két Applied Geomechanics gyártmányú 722A típusú, fúróluk-dőlésmérővel regisztráltuk. A dőlésmérők két egymásra merőleges folyadéklibellás dőlésérzékelővel rendelkeznek, melyek érzékenysége 0,1 μ radián (0,1 mm/m), ill. 1 μ radián (1 mm/m). A műszer méréstartománya ± 2000 μ radián a kis érzékenységű és ± 800 μ radián a nagyérzékenységű fokozatban. A dőlésmérők rendelkeznek egy 0,1 $^{\circ}$ C érzékenységű beépített hőmérsékletérzékelővel a talaj és a műszer hőmérsékletének mérésére (http1). A műszereket 2,5 m mély fúrólukokban helyeztük el. Ez a mélység már elegendően jó hőmérsékletstabilitást biztosít a műszereknek. A műszerek analóg jelének digitalizálását és az adatok gyűjtését Scientific Campbell CR 1000 típusú adatgyűjtőkkel (http2) végeztük, amelyhez csatlakozott egy hőmérsékletérzékelő a levegő hőmérsékletének mérésére. Az adatgyűjtőt a műszereket tápláló akkumulátorokkal együtt a fúrólukat lefedő, zárható fémládákban helyeztünk el (Mentes 2017b). Az adatok kiolvasása az akkumulátorok cseréjével együtt kb. 40-50 naponként történt. A talajvízszintet Dataqua

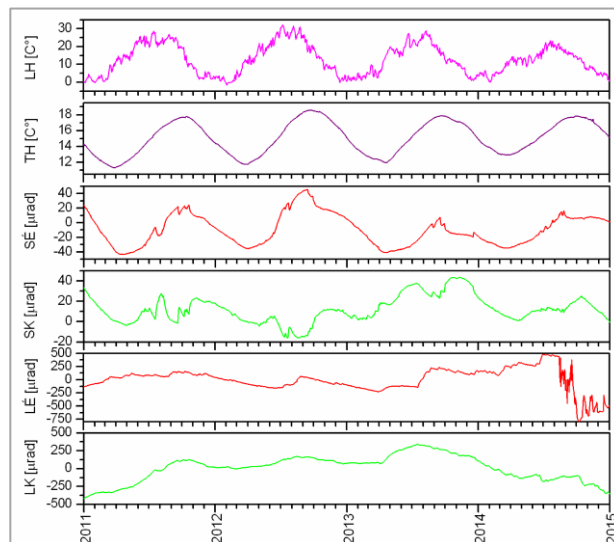
típusú vízszintmérőkkel óránként regisztráltuk (http3). Az egyes műszerek elhelyezését az 1. ábra mutatja. A Duna vízállását az Országos Vízeljáró Szolgálat honlapjáról töltöttük le (http4). Mivel ez utóbbi csak naponként állt rendelkezésünkre, a dőlésmérő, az extenzométeres és a talajvíz adatokból mozgó átlagolással napos adatokat állítottunk elő. Az egyes dőlés komponensek és a vízszintek, valamint a hőmérséklet közötti kapcsolatot többváltozós regresszió analízissel, valamint csúszóablakos regresszióanalízissel vizsgáltuk.



1. ábra. A dunaszekcsői teszterület légi fényképe (a fotót készítette Körmendi László 2008. február 17-én) a magaspart 2008. február 12-i rogyása után

Figure 1. Aerial photo of the Dunaszekcső test site after the landslide on 12 February 2008. (photo was taken by László Körmendi on 17 February 2008)

(Megjegyzés: TV1 és TV2 a talajvízszint mérési helyeit, S a stabil L pedig a mozgó magasparton elhelyezkedő fúróluk dőlésmérők helyét jelöli.)
(Note: TV1 and TV2 denote the locations of the ground water level measurements, while S and L denote the location of the borehole tiltmeters on the stable and moving part of the high bank, respectively.)



2. ábra. Hőmérséklet hatása a magaspartdőléseire

Figure 2. The effect of the temperature on the high bank tilts (Megjegyzés: LH és TH a levegő és a talajhőmérséklet, SE és SK a stabil magaspart, LE és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése a hosszúidejű trend levonása után. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: LH and TH are the air and ground temperature, respectively, SE and SK are the north and east tilts measured on the stable high bank, LE and LK are the north and east tilts measured on the moving high bank after subtraction of the trend. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

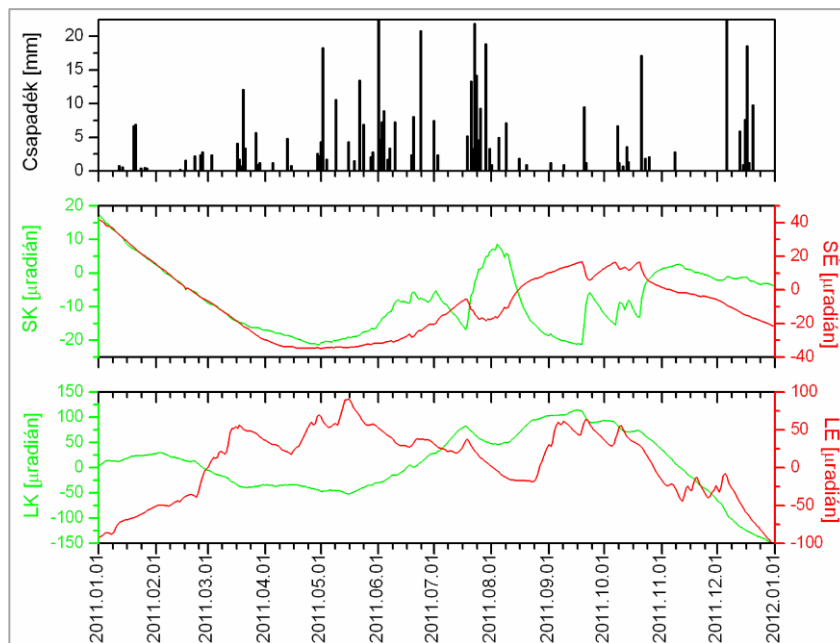
Hőmérséklet hatása

A 2. ábra a levegő (LH) és a talaj (TH) hőmérsékletét, valamint a stabil (SÉ, SK) és a lecsúszó (LÉ, LK) magaspárt kismértékű dőléseit mutatja 2011. január 1-től 2014. december 31-ig. A dőlésértékekből a hosszú idejű trendet levontuk, hogy a hőmérséklet hatása jobban látszódjon. Az ábrából látható, hogy a talajhőmérséklet változása 2,5 m mélységben kb. két hónappal követi a levegő hőmérsékletváltozását és annak kb. ötöde. Négy év alatt az SÉ és SK dőlésértékei kb. megegyeznek (80, ill. 60 μ radián). Az SK görbén az egyéb mozgások miatt a hőmérséklet hatása alig látható, míg az északi irányú dőlés (SÉ) hőmérséklettel való szoros korrelációja nyilvánvaló, ami azt jelenti, hogy a dőlésmérő közvetlenül nem érzékeny a hőmérsékletváltozásra, tehát SÉ a magaspárt hőmérséklettől függő dőlését mutatja. A lecsúszó magaspárt nagyobb mozgásai (LÉ és LK) ellenére is kivehető a hőmérséklet hatása. A levegő hőmérséklete és az egyes dőléskomponensek közötti regressziós analízis alapján az 1 $^{\circ}$ hőmérsékletváltozás által

okozott átlagos talajdőlés: 2,3 μ radián/ $^{\circ}$ C. A kapott regressziós együttható nem nagy, azonban szélső esetben, más okokkal együtt a hőmérséklet szerepe is jelentős lehet a nagy mozgások kiváltásában.

Csapadék hatása

A 3. ábra a 2011. évi csapadékot, valamint a trend levonása utáni dőlésértékeket mutatja. Az ábrából látható némi korreláció a kiugró, ill. a hosszú ideig tartó csapadék esetében. A stabil magaspárt dőlésértékeiben maximum 10 μ radián, míg a lecsúszó magaspárt esetében valamivel nagyobb dőlés-csúcsok láthatók. Az ennél nagyobb mozgások, pl. 2011 júliusában már a megnövekedett talajvízszintnek tudható be. Ezt bizonyítja az SK dőléskomponens exponenciális fel- és lefutása is (Kümpel 1986, Kümpel és társai 1996). Vizsgálataink alapján azt mondhatjuk, hogy a csapadék közvetlen hatása a dőlésekre elhanyagolható. A magaspárt stabilitását csökkentő hatása azonban jelentős lehet a magaspárt átáztatásával, főleg a repedésekbe befolyó csapadék révén (pl.: Rinaldi és Casagli 1999, Fox és Wilson 2010).



3. ábra. Csapadék hatása a partfaldőlésekre

Figure 3. The effect of the precipitation on the high bank tilts

(Megjegyzés: SÉ, SK és LÉ, LK a stabil és mozgó magaspárt északi és keleti irányú dőlését mutatja a hosszúidejű trend levonása után. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank after subtraction of the trend, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

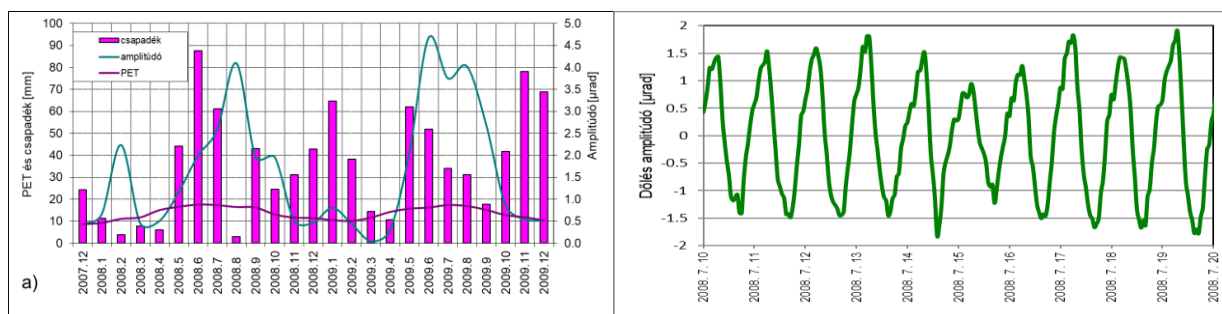
Növényzet hatása

A növényzet hatása a földcsuszamlás-veszélyes területek stabilitására igen sokrétű, lehet pozitív és negatív is (Nilaweera és Nutalaya 1999, Micheli és Kirchner 2002, Simon és Collison 2002, Fumitoshi és társai 2008, Hubble és társai 2010). Például a gyökérszálak egyrészt mechanikailag, másrészt a talajnedvesség párologtatásával növeli a talaj kohéziós erejét. A dunaszekcsői magaspártcsúszás után a fák elszakadt gyökerei is jelezték a növényzet mechanikai összetartó erejét (Kaszás és Kraft 2009). Nagy szárazságok idején azonban, különösen fák esetében a törzs, valamint a gyökerek és a talaj között repedések keletkeznek, amelyek a szárazságot kö-

vető csapadékos időszakban az esővizet a mélyebb talajrétegekbe vezetik, csökkentve annak stabilitását (pl.: Terwilliger 1990, Pollen 2007, Pollen-Bankhead és Simon 2010). A növényzet hatását lejtős talajmozgásokra összefoglalóan és részletesen ismertetik Bódis (2015), valamint Mentés és társai (2014). Dunaszekcsőn csak a terület párologtása (evaporáció) és a növények párologtatása (transzspiráció), azaz az evapotranspiráció által okozott magaspártdőléseket vizsgáltuk. A potenciális evapotranspiráció (PET) kiszámítására (becslésére) több eljárás is ismert, mint pl. a Penman-Monteith módszer (Monteith 1965). Ezek azonban olyan bemeneti paramétereket (pl.: napi középhőmérséklet, szélsőbesség,

légnedvesség, napsugárzás stb.) igényelnek, amelyek közül csak a hőmérsékletadatok álltak rendelkezésünkre, ezért a Thornthwaite módszert (Rey 1999) választottuk, amelyhez csak a havi átlaghőmérsékletek ismerete szükséges. Ez a módszer inkább több terület párologtatásának összehasonlítására alkalmas, mivel más paramétert nem vesz figyelembe. Esetünkben azonban a vele számított PET értékek alkalmasnak bizonyultak a párologtatás és a talajdölések közötti összefüggés kimutatására. A módszerrel számított PET értékeket megszoroztuk a vizsgált terület és a párologtató felület arányával. Ez utóbbit a területről készült vegetációs térkép alapján az egyes növények leveleinek számából és az egyes növények tulajdonságait megadó táblázat alapján becsültük. A stabilnak tekintett magaspárt SK és SÉ dőlésgörbéit felüláteresztő

szűrővel megszürtük, hogy a napi dőlésgörbéket megkapjuk. A napi dőlésértékek amplitúdóiból havi átlagot számítottunk a PET-tel való összehasonlítás céljából. Mentés és Bódis (2012), valamint Bódis (2015) részletesen leírják a számítás menetét. A 4a. ábra a 2008 és 2009 években mutatja a PET, a dőlésamplitúdók és a csapadék havi átlagait. Az ábrán jól látható, hogy a vegetációs időszakban (áprilistól októberig), amikor a párologtatás értéke nagyobb, a dőlésamplitúdók is megnövekednek. Az is látható, hogy a csapadék nem mindig járul hozzá a dőlési amplitúdók növekedéséhez. A 4b. ábra a napos döléseket mutatja. Ha más hatásoktól torzítva is, de látható a görbék exponenciális fel- és lefutása, amely a talaj nedvesség-változásával, a pórusnyomással kapcsolatos (Kümpel 1986, Kümpel és társai 1996, Rebscher 1996).



4. ábra. Növényzet hatása a magaspárt döléseire. a) A PET, a csapadék és a dőlésamplitúdók összehasonlítása.

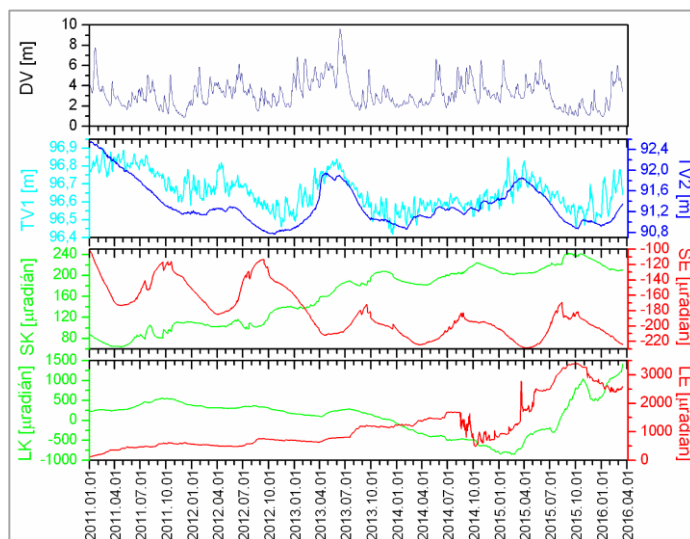
b) A magaspárt napi dölései.

Figure 4. The effect of the vegetation on the high bank tilts. a) Comparison of the PET, precipitation and tilt amplitudes. b) daily tilts of the high bank.

A Duna és a talajvíz szintjének kölcsönhatása a magaspárt mozgásokkal

Az 5. ábra a TV1 és TV2 talajvízszinteket, a Duna vízszintjének változásait (DV) és a lecsúszó (LK, LÉ) és a stabil (SK, SÉ) magaspárt döléseit mutatja 2011. január 1 és 2016. március 31 között. Első pillantásra látható, hogy a 2013-as magas dunai árhullám nem okozott számottevő dő-

lést sem a stabil, sem pedig a lecsúszó magaspárton (különböző lépték a stabil és lecsúszó magaspárt dőlésértékeinél), sőt a hirtelen csökkenő Duna-vízszint sem, ahogy azt korábban feltételezték. Ennek oka, hogy a talajvízszint is hasonlóan változott és a hidrosztatikai egyensúly fennmaradása miatt nem történt nagyobb dőlés, ill. mozgás, lecsúszás, amint az Kaszás és Takács (2013) mérései is megállapították.



5. ábra. 2011. január 1 és 2016. március 31 között mért vízszint és dőlés adatsorok.

Figure 5. Water level and tilt data series measured between 1st January 2011 and 31st March 2016.

(Megjegyzés: DV a Duna vízszintjének változása, TV1 és TV2 talajvízszintek, SÉ és SK a stabil magaspárt, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspárt északi és keleti irányú dölése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dölést jelent.)

(Note: DV is the variation of the water level of the Danube, TV1 and TV2 are the ground water levels, SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

Mivel az 5. ábrából ránézésre nehéz következtetni a vízszintek és a dölések szorosabb kapcsolatára, ezért az adatokat első lépésben többváltozós regressziós analízisnek vetettük alá. A dölések és a vízszintek közötti regressziós együtthatók megadják, hogy 1 méter vízszintváltozás hány mikroradián dölést okoz ($\mu\text{rad m}^{-1}$). A regresszió analízist döléskomponensekként és évenként (éves adat-sorokból) végeztük. Az eredményeket az 1. táblázat mutatja, amelyből látható, hogy a talajvízváltozások okozta dölések 1-2 nagyságrenddel nagyobbak, mint a Duna vízszintváltozásai által okozott dölések. A táblázatból az is kitűnik, hogy a Duna hatása a stabil magaspartra sokkal kisebb, mint a mozgó magaspartra. A regressziós együtthatók

2013-tól növekednek, különösen a mozgó magasparttal kapcsolatosak, ami a magaspart stabilitásának gyors csökkenését jelzi. A mozgó magaspart döléskomponensei és a talajvíz közötti regressziós együtthatók értéke néhány esetben eléri az 1000 és 2500 közötti értéket. A 6. ábrán fotókon mutatjuk be a mozgások eredményeit. A 6a. ábra 2013-ban mutatja a magaspart lesüllyedésének mértékét a 2010-ben még csak repedésként megjelent szakadási vonal mentén. Ez a süllyedő egységes tömb 2013 és 2015 között több különböző sebességgel süllyedő tömbre szakadozott fel (6b. ábra), amelyek lesüllyedése 2016-ban már 0,5-2,5 m között volt (6c. ábra). 2014-től LK és LÉ értékei, ill. a dölésváltozások is megnövekedtek (5. ábra).

1. táblázat. A dölésértékek, valamint a Duna vízszintje (DV) és a talajvízszintek (TV1 és TV2) közötti regressziós együtthatók
Table 1. Regression coefficients between tilt values and Danube water level (DV) as well as ground water levels (TV1 and TV2)

Dölésirány	Év	Regressziós-együtthatók			
		TV1 $\mu\text{rad m}^{-1}$	TV2 $\mu\text{rad m}^{-1}$	DV $\mu\text{rad m}^{-1}$	R ²
SK	2011	-13	-35	4	0.800
	2012	-41	-44	3	0.658
	2013	-207	33	-2	0.484
	2014	-23	63	2	0.533
	2015	2	-37	-1	0.862
	2016	13	13	-1	0.789
SE	2011	-193	3	7	0.388
	2012	28	-98	-1	0.793
	2013	67	-56	1	0.619
	2014	0	28	2	0.335
	2015	28	-44	-2	0.775
	2016	6	-38	-1	0.970
LK	2011	-400	-178	18	0.862
	2012	167	95	-8	0.373
	2013	369	-83	11	0.733
	2014	-156	-1095	15	0.859
	2015	334	-2430	40	0.800
	2016	-712	1073	53	0.859
LÉ	2011	185	-287	-16	0.965
	2012	33	-512	-6	0.933
	2013	-1380	-71	-30	0.690
	2014	776	-1198	-22	0.531
	2015	25	1246	-208	0.272
	2016	-199	114	-36	0.389

(Megjegyzés: SK és SE jelölik a stabil magaspart, míg LK és LÉ, pedig a mozgó magaspart keleti és északi irányú döléskomponenseit. A pozitív értékek keleti, ill. északi irányba történő dölést jelentenek. R² a kiegyenlítés jóságát mutatja.)

(Note: SE, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. Positive values mean northward and eastward tilts. R² shows the goodness of the adjustment.)



6. ábra. 2011. január 1 és 2016. március 31 között mért vízszint és dölés adatsorok

Figure 6. Appearance and development of new cracks on the high bank between 2010 and 2016

(Megjegyzés: A fotókon levő dátumok a fotó készítésének időpontját mutatják. A fotókat a szerző készítette.)

(Note: The dates on the photos show the time when the photo was taken. Photos were taken by the author)

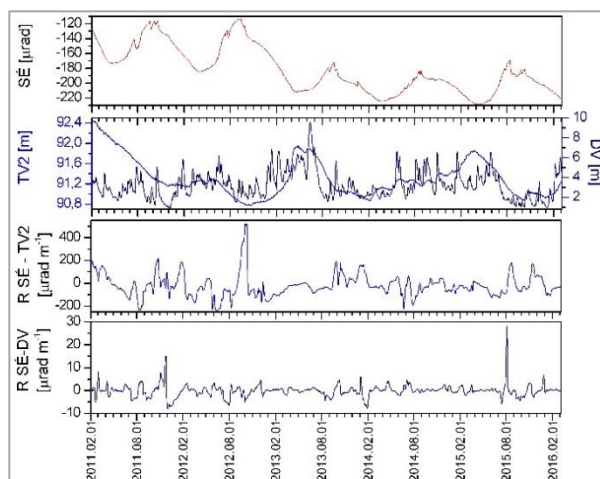
A regressziós együtthatók változásának, vagyis a magaspart stabilitásának folyamatos nyomonkövetésére csúszó-ablakos regresszióanalízist alkalmaztunk. A csúszóablak szélességét 30 napra választottuk, amelyet

mindig 1 nappal léptettünk tovább. A 30 nap szélességű ablak bevonása az analízisbe – a magaspart mozgási tulajdonságainak ismeretében – még éppen elegendő pontosságot biztosít a regressziós együtthatók számításához

és lehetővé teszi a magaspart stabilitás változásainak gyors követést. A regressziós együtthatókat külön-külön számoltuk az egyes dőléskomponensek (SK, SÉ, LK, LÉ) és a Duna vízállása, valamint a TV2 talajvízszint között. Az eredményeket a 7, 8, 9 és 10. ábrák mutatják. Az ábrákból jól látható, hogy a regressziós együtthatók kiugró csúcsainál a dölésekben is változások (irányváltozások vagy ugrások) történnek, valamint a Duna vízszint ingadozásainak hatása sokkal kisebb, mint a talajvízszint-ingadozásoké. Különösen a mozgó magaspart északi (LÉ) és keleti (LK) dőlésértékei növekedtek meg 2014-től (9. és 10. ábrák). A regressziós együtthatók ugrásszerűen megnöttek ebben az

időszakban, ami a magaspart stabilitásának nagymértékű csökkenését jelzi. Ekkor történtek a mozgó magaspart legnagyobb süllyedései is (ld. 6. ábra). Az eredmények azt mutatják, hogy ez a módszer alkalmas a magaspart stabilitásának napi megfigyelésére (mozgóablak naponkénti léptetése) is. Természetesen a kiugró változásokat a regresszióba bevont 30 nap (ablakszélesség) simítja.

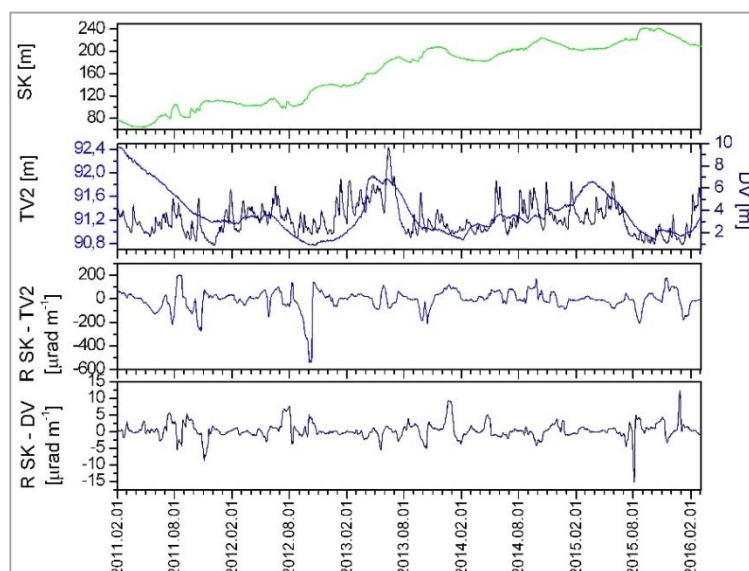
Ezekből az ábrákból is jól látható, hogy a vízszintváltozások nem befolyásolják a dölések hosszúidejű trendjeit. Azokat a Duna alámosása (Lóczy és társai 1989), valamint a talajvíz által a Dunába szállított felázott lösz okozza.



7. ábra. Összefüggés a stabil magaspart északi irányú dölése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
Figure 7. Relationship between the north tilt component of the stable high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: SÉ a stabil magaspart északi irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R SÉ-TV2 és R SÉ-DV az északi irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SÉ dőlésgörbe pozitív irányú változása északi irányú dölést jelent.)

(Note: SÉ, TV2 and DV denote the north tilt of the stable high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R SÉ-TV2 and R SÉ-DV are the regression coefficients between the north tilt of the stable high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve SÉ in positive direction means northward tilt.)



8. ábra. Összefüggés a stabil magaspart keleti irányú dölése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
Figure 8. Relationship between the east tilt component of the stable high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

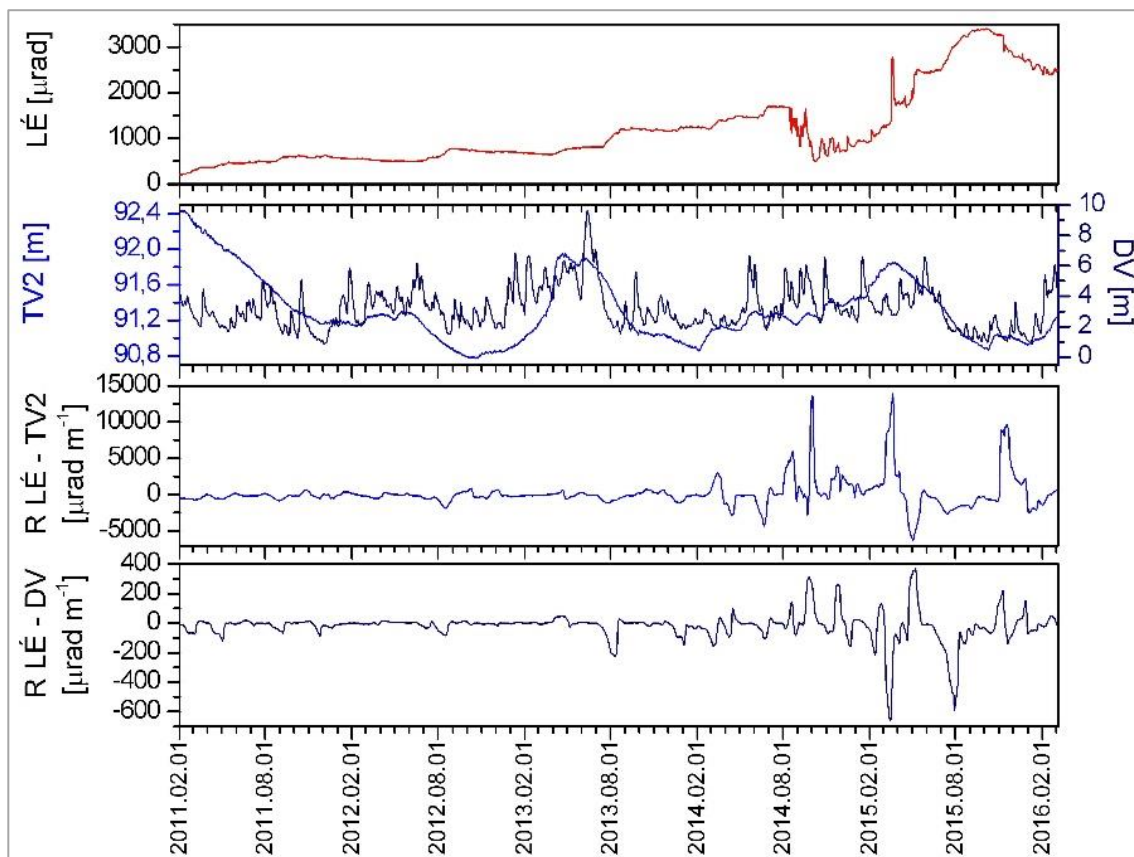
(Megjegyzés: SK a stabil magaspart keleti irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R SK-TV2 és R SK-DV a keleti irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SK dőlésgörbe pozitív irányú változása keleti irányú dölést jelent.)

(Note: SK, TV2 and DV denote the east tilt of the stable high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R SK-TV2 and R SK-DV are the regression coefficients between the east tilt of the stable high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve SK in positive direction means eastward tilt.)

A magaspart dőlési folyamata 2007-től 2016-ig

A 11. ábra a 2008. február 12-én történt magaspartrogyást megelőző és azt követő dőlésmérés adatokat mutatja 2007. november 15 és 2008. március 6 között. A mozgó magaspart 2008. január 17-ig egyenletesen kb. 2500 μ radiánt dőlt kelet felé (LK), míg egyre gyorsuló dőléssel közel 5000 μ radiánt dőlt dél felé (LÉ). Ezt követően a mozgó magaspart nagy, az adatgyűjtő mérés határát meghaladó dőléseket végzett K-Ny és É-D irányban (ábrából törölve). Ez a mozgás a Duna vízállásának gyors csökkenését követő ismételt növekedése során következett be. A gyors ide-oda dőlések után a mozgó magaspart megdőlt északi (5000 μ radián) és nyugati (2500 μ radián) irányba. Ezt követően a mozgó magaspart nyugati irányba kezdett dőlni (kb. 1500 μ radián), a déli irányú dőlés, pedig lelassult a lecsúszásig. A stabil magaspart dőlése a vizsgált időszakban nem volt számottevő, a magaspart rogyásakor kismértékben hirtelen nyugati (SK) és déli irányba (SÉ) dőlt, melynek oka valószínűleg az, hogy lerogyott magaspart nagy tömege nemcsak a Dunába csúszott (1. ábra), hanem a stabil magaspart alsó, felázott részébe is benyomódott. Ez a folyamat, már a magaspart hirtelen rogyása előtt, sokkal

korábban megfigyelhető volt. A felázott lösz a Duna elszállította (1. ábra), amelyet egy partmenti barna csík jelzett, ill. jelez a vízben (Kaszás és Kraft 2009). Ezzel a folyamattal magyarázható a stabil magaspart lassú nyugati és déli irányú dőlése a rogyást megelőző időszakban. A hidrologiai folyamatok hatásainak az előzőekben említett vizsgálatából tudjuk, hogy a rogyásért a megemelkedett talajvízszint és a Duna vízszintjének hirtelen csökkenése miatt megnövekedett hidrosztatikai nyomáskülönbség a felelős, amely felgyorsította a megemelkedett folyóvízszint által fellazított lösznek a folyóba szállítását. A rogyás egy téli hóolvadási és csapadékos időszakban következett be (Újvári és társai 2009), amely megemelte a talajvízszintet (indirekt hatás) és a magaspart átáztatásával csökkentette annak nyírási szilárdságát (direkt hatás). A 11. ábrából az is látható, hogy a rogyást kb. 3 héttel megelőzően a lerogyó magaspart nagy amplitúdójú oszcilláló dőlésekkel mozgott. Az 5. ábrán is látható, hogy a lecsúszó magaspart dőlései (LK és LÉ) megnövekedtek 2014-től a magaspart nagy függőleges mozgásai során (6. ábra). A fentiek alapján már a magaspart dőlési folyamatából lehet következtetni a magaspart stabilizálásának csökkenésére.

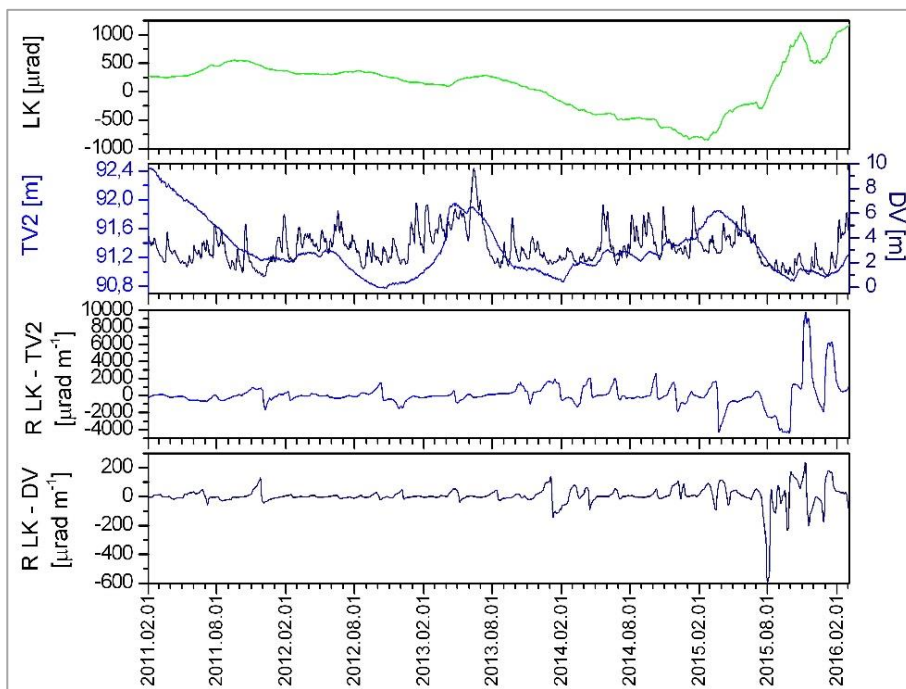


9. ábra. Összefüggés a mozgó magaspart északi irányú dőlése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között

Figure 9. Relationship between the north tilt component of the moving high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: LÉ a mozgó magaspart északi irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R LÉ-TV2 és R LÉ-DV az északi irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. SÉ dőlésgörbe pozitív irányú változása északi irányú dőlést jelent.)

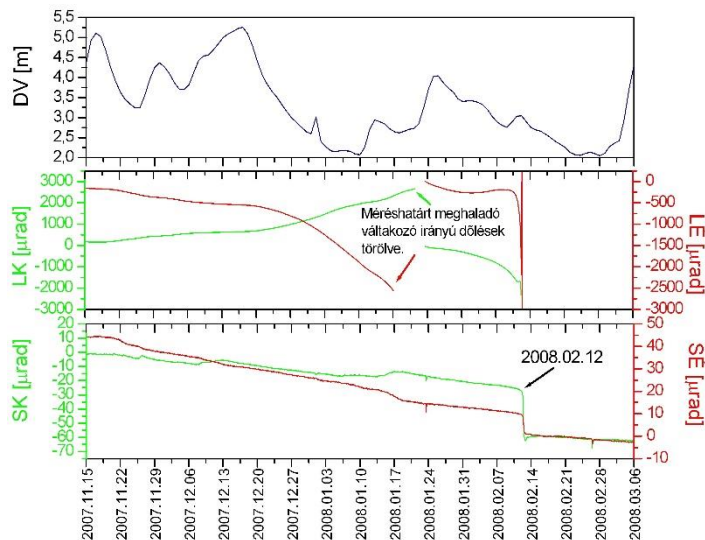
(Note: LÉ, TV2 and DV denote the north tilt of the moving high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R LÉ-TV2 and R LÉ-DV are the regression coefficients between the north tilt of the moving high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve LÉ in positive direction means northward tilt.)



10. ábra. Összefüggés a mozgó magaspart keleti irányú dőlése és a talajvízszint, valamint a Duna vízszintváltozásai között
 Figure 10. Relationship between the east tilt component of the moving high bank and groundwater level as well as Danube's water level variation

(Megjegyzés: LK a mozgó magaspart keleti irányú dőléskomponense, TV2 a talajvízszint és DV a Duna vízszintjének változása, R LK-TV2 és R LK-DV a keleti irányú dőlés és talajvízszint, valamint a Duna vízszint változásai közötti regressziós együtthatók. LK dőlésgörbe pozitív irányú változása keleti irányú dölést jelent.)

(Note: LK, TV2 and DV denote the east tilt of the moving high bank, the ground water level and the variation of the water level of the Danube. R LK-TV2 and R LK-DV are the regression coefficients between the east tilt of the moving high bank and ground water level as well as the water level variations of the Danube. The change of the tilt curve LK in positive direction means eastward tilt.)



11. ábra. A magasparton 2007. november 15 és 2008. március 6 között mért dőlésadatok

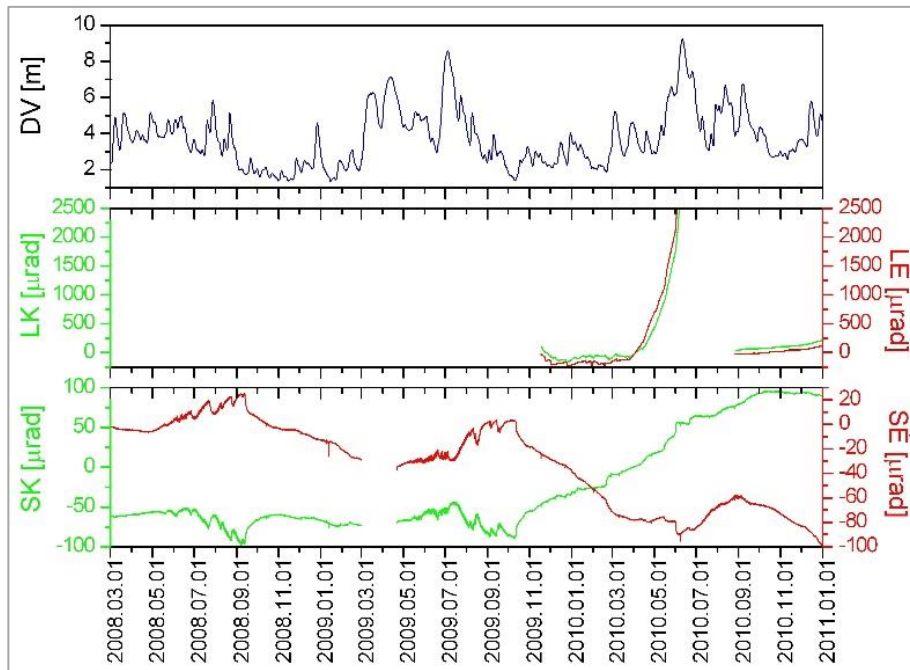
Figure 11. Tilt data measured on the high bank between 15 November 2007 and 6 March 2008

(Megjegyzés: SÉ és SK a stabil magaspart, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dölést jelent. A magaspart rogyása 2008. február 12-én történt.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts. The falling down of the high bank occurred on 12 February 2007)

A magaspart rogyásának napján a lecsúszott részről a dőlésmérőt sikerült kimenteni. A várható további nagyobb mozgások miatt csak 2009 októberében telepítettük vissza új fúrlyukba a régi mellett, mivel az kb. 30 fokkal megdőlt a rogyás során. A 12. ábrán látható, hogy 2010 márciusában újabb nagy

dölések miatt a regisztrálást megszakítottuk és csak szeptembertől kezdtük újból a mozgó magaspart dőlésének (LK, LÉ) mérését. A stabil magaspart dőlésének mérése folyamatos volt. A 12. ábrán jól látható, hogy a mozgást kis amplitúdójú (20-50 μradián) ide-oda dölések jellemezték (SK, SÉ).



12. ábra. A magasparton 2008. március 1 és 2010. december 31 között mért dőlésadatok

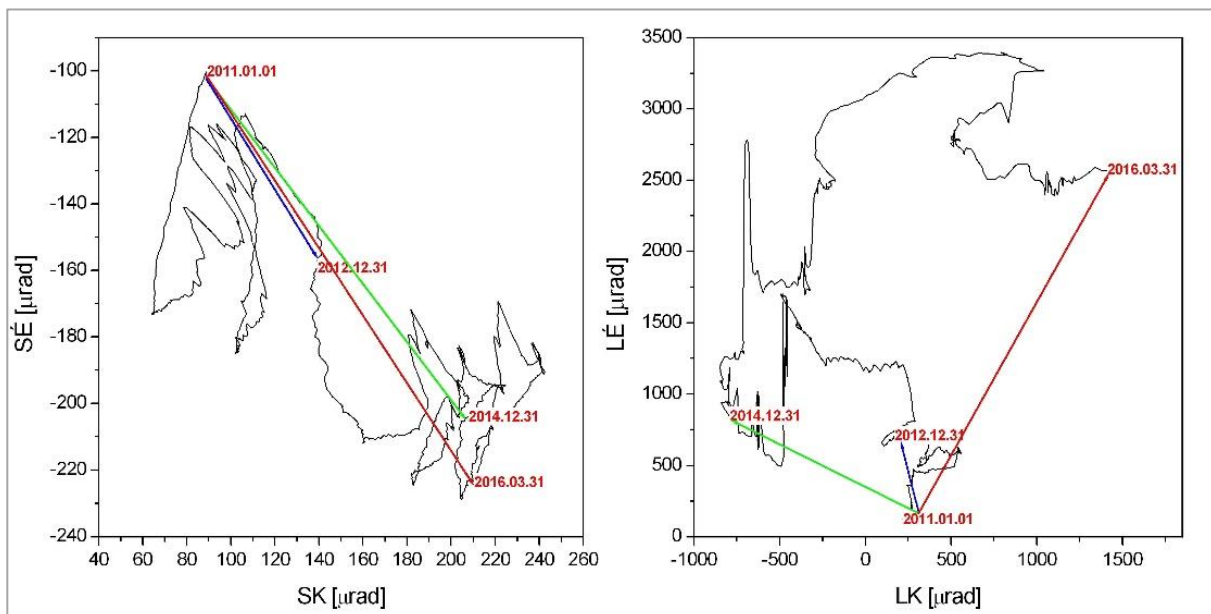
Figure 12. Tilt data measured on the high bank between 1 March 2008 and 31 December 2010

(Megjegyzés: SÉ és SK a stabil magaspart, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A dőlésgörbék pozitív irányú változása északi, ill. keleti irányú dőlést jelent.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The change of the tilt curves in positive direction means northward and eastward tilts.)

A magaspart dőlésének időbeli lefolyását 2011. január 1-től 2016. március 31-ig az 5. ábra mutatja. A 13. ábrán a keleti irányú dölések függvényében ábrázoltuk az északi irányú döléseket a fenti időszakban. Az ábra jól mutatja a stabil (SK-SÉ) és a mozgó (LK-LÉ) magaspart változó irányú bonyolult mozgásait. Kétévenként berajzoltuk a kezdeti időponttól való eredő dőlés vektorait, amelyek jól mutatják a két partfalrész el-

lentétes eredő döléseit. Ez az ellentétes mozgás jelentősen hozzájárulhat a két partfalrész közötti szakadási vonalak kialakulásához. Ez lehet az oka annak, hogy a Töröklyukban (Kraft 2004) 2003-tól olyan repedéseket is lehetett látni, amelyek korábban nem voltak és ezek időszakosan zárultak és kinyíltak (Kraft 2009). Méréseink bizonyítják, hogy ezek a repedések már egy kialakuló nagyobb mozgás előjelei voltak.

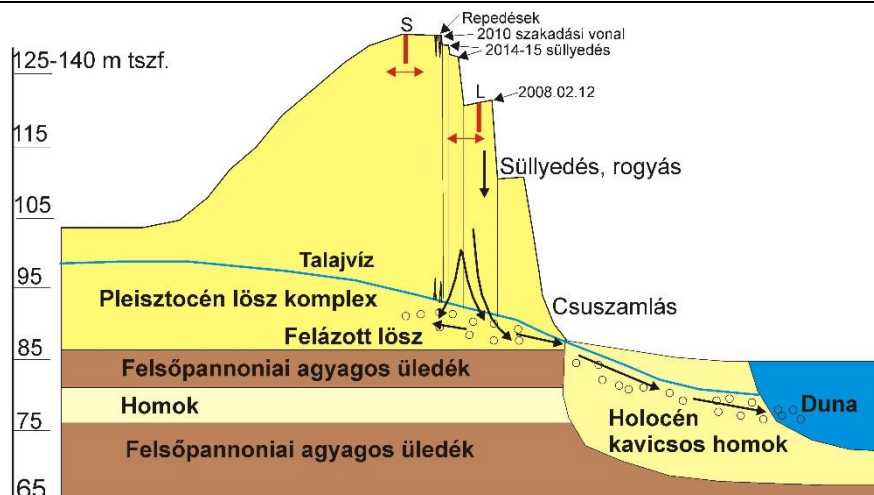


13. ábra. A stabil (balra) és a mozgó (jobbra) magaspart dőlésváltozásai 2011. január 1 és 2016. március 31 között

Figure 13. Tilt variation of the stable (left) and the moving (right) part of the high bank between 1 January 2011 and 31 March 2016

(Megjegyzés: SÉ és SK a stabil magaspart, LÉ és LK, pedig a mozgó magaspart északi és keleti irányú dőlése. A piros nyilak az eredő dölést mutatják a mérési periódusban.)

(Note: SÉ, SK and LÉ, LK denote the north and east tilts measured on the stable and moving part of the high bank, respectively. The red arrows show the resultant tilt in the measurement period.)



14. ábra. A dunaszekcsői magaspart geológiai felépítése (Kraft 2009) és a magaspart mozgási folyamata

Figure 14. Geological settings of the Dunaszekcsői high bank (Kraft 2009) and the movement process of the high bank

(Megjegyzés: S és L a dőlésmérők helyei, a piros nyilak a stabil magaspartban keletkező repedéseket előidéző különböző nagyságú és általában eltérő irányú döléseit mutatják.)

(Note: S and L denote the locations of the tiltmeters, the red arrows show the tilts of different magnitudes and generally different direction causing cracks in the high bank.)

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A hőmérséklet, a csapadék és a növényzet hatását a magaspart mozgásaira külön-külön vizsgáltuk, ezek azonban szorosan összefüggenek egymással. A csapadék direkt hatása révén átáztatja a magaspartot különösen hosszantartó esőzések és hóolvadás idején, amely a nyírószilárdság csökkenését eredményezi. Az átáztatás mértéke és hatása erősen összefügg a terület és a növényzet párolgatóssal, a hőmérséklettel és a széllel. A gyökérzet mechanikai összetartó ereje vagy talajlazító szerepe egyrészt időjárásfüggő, másrészt a magaspart tulajdonságaitól (pl. enyhe lejtésű vagy meredek magaspart) is függ. Vizsgálati eredményeink szerint a fenti hatások kismértékű mozgásokat okoznak, azonban szélsőséges körülmények között ezek felerősödhetnek, ill. kedvezőtlen esetben összeadódnak, amelyek a magaspart lecsökkent stabilitása esetén nagy mozgások kialakulásához vezethetnek.

A magaspart stabilitásában a talajvíz és a Duna szintjének változásai játszzák a legnagyobb szerepet. A talajvíz hatása két nagyságrenddel nagyobb, mint a Duna vízszintjéé. A mozgásokat a két vízszint hidrosztatikai nyomáskülönbsége befolyásolja. Míg a talajvízszint a helyi és regionális csapadék mennyiségétől függ, addig a Duna vízszintje a folyó vízgyűjtő területén levő csapadék függvénye. Ezért fordulhat elő, hogy nagy folyóvízszint csökkenés esetén sem történik csuszamlás, ha a talajvízszint alacsony a kevés helyi csapadék miatt.

A talajvíz által a magaspart alól a Dunába mosott anyag általában lassú keleti irányú dölést okoz. A mozgó magaspart tartós, nagy északi irányú dölése azzal magyarázható, hogy az északról déli irányba folyó Duna a vizsgált magaspart északi részéről szállítja el a nagyobb mennyiségű felázott lösz. Ezen kívül a magaspart alatti felázott lösz, ill. annak hiánya a magaspart Duna felőli oldalának szilárdságát jelentősen csökkenti, amely miatt szakadási felületek, repedések alakulhatnak ki a magaspartban. Amennyiben a kialakult feszültségek meghaladják a magaspart nyírószilárdságát a partfalszakaszok lassú süllyedése, vagy hirtelen rogyása következik be,

amely nagyobb csuszamlással is együtt járhat. A szakaszos süllyedés, rogyás esetében a felázott lösz a süllyedő rész nemcsak a Duna irányába, hanem a stabil magaspart alá is benyomja, ahonnan az a talajvízzel lassan a Duna irányába sodródik. Ez okozza a magaspart stabil és mozgó részének kelet-nyugati irányú oszcilláló dölését (14. ábra). A fent vázolt csúszási folyamat okozza a magaspart fokozatos hátrálását, a stabil magaspart szélességének csökkenését.

Ezen tanulmány legfontosabb eredménye, hogy mind ezt folyamatos műszeres vizsgálatokkal támasztja alá. Az alkalmazott módszer alkalmas a magaspart stabilitásának folyamatos megfigyelésére, amellyel egyrészt az időnként ismételt, költséges geodéziai és geofizikai mérések száma csökkenthető, másrészt a módszer korai riasztó rendszerként vagy annak részeként alkalmazható.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Az elvégzett mérések és vizsgálatok támogatásáért a szerző köszönettel tartozik a K 81295 számú OTKA és a DDOP-2009-5.1.5/D pályázatoknak, a helyi önkormányzatnak, különösen Faller János polgármesternek és Papp János műszaki főmunkatársnak a mérésekhez nyújtott segítségükért, továbbá Molnár Tibor, Gimesiné Németh Ágnes és Schlaffer Ferenc kollégáimnak a mérésekben való közreműködésükért. Külön köszönet illeti Kraft János geológust és Schweitzer Ferenc professzor urat, akiktől a magaspartok bejárása során sokat tanultam.

IRODALOMJEGYZÉK

Bányai L., Mentes, Gy., Újvári G. (2013). A dunaszekcsői magaspart-csuszamlás geodéziai megfigyelése. Geodézia és Kartográfia 65 (11-12), 7-11.

Bódis V. B. (2015). A növényzet szerepe a földcsuszamlások kialakulásában. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem. p. 87. <http://doktori.nyme.hu/id/eprint/492>.

Bugya T, Fábrián Sz. Á, Görcs N. L., Kovács I. P., Radvánszky B. (2011). Surface changes on a landslide affected high bluff in Dunaszekcső (Hungary). Cent Eur J Geosci 3 (2), 119-128. DOI: 10.2478/s13533-011-0014-6.

- Domján J.* (1952). Középdunai magaspartok csúszásai. *Hidrologiai Közönlöny* 32, 416-422.
- Fathani T. F., Karnawati D., Wilopo W.* (2016). An integrated methodology to develop a standard for landslide early warning systems. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16, 2123-2135.
- Fox G. A., Wilson G. V.* (2010). The role of subsurface flow in hillslope and stream bank erosion: a review. *Soil Science Society of America Journal* 74, 717-733.
- Fumitoshi I., Sidle R. C., Kamei R.* (2008). Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 827-840.
- Greco R., Pagano L.* (2017). Basic features of the predictive tools of early warning systems for water-related natural hazards: examples for shallow landslides. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17, 2213-2227.
- Horváth Zs., Scheuer Gy.* (1976). A dunaföldvári partrogyás mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közönlöny* 106, 425-440.
- Hubble T. C. T., Docker B. B., Rutherford I. D.* (2010). The role of riparian trees in maintaining riverbank stability. A review of Australian experience and practice. *Ecological Engineering* 36, 292-304.
- Intrieri E., Gigli G.* (2016). Landslide forecasting and factors influencing predictability. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16, 2501-2510.
- Juhász Á.* (1999). A klimatikus hatások szerepe a magaspartok fejlődésében. *Földtani Kutatás XXXVI*, 14-20.
- Karácsonyi S., Scheuer Gy.* (1972). A dunai magaspartok építésföldtani problémái. *Földtani Kutatás* 15, 71-83.
- Kaszás F., Kraft J.* (2009). A dunaszekcsői magaspart rogyásos suvadása. *Mélyépítő Tükörkép Magazin VIII* (2), 35-39.
- Kaszás F., Takács A.* (2013). Kulcs és Dunaszekcső csúszásveszélyes területeinek mozgása a 2013. évi Dunai árhullám idején. In: Török Á., Görög P., Vásárhelyi B. (Eds.), *Mérnökgeológia-közetmechanika 2013*, pp. 59-64.
- Kézdi Á.* (1970). A dunaújvárosi partrogyás. *Mélyépítéstudományi Szemle* 20, 281-297.
- Kleb B., Schweitzer F.* (2001). A Duna csuszamlásveszélyes magaspartjainak településkörnyezeti hatásvizsgálata. In: Ádám A., Meskó A. (Eds.), *Földtudományok és a földi folyamatok kockázati tényezői*. Bp. MTA, pp. 169-193.
- Kraft J.* (2004). A dunaszekcsői Töröklyuk kialakulása és fennmaradása. *Mecsek Egyesület Évkönyve a 2004-es egyesületi évről*. Pécs pp. 24-48.
- Kraft J.* (2011). Dunai magaspart dunaszekcsői részletek rogyásos suvadásai. In: Török Á., Vásárhelyi B. (Eds.), *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2011*, pp 93-104.
- Kümpel H.-J.* (1986). Model calculations for rainfall induced tilt and strain anomalies. In: Vieira, R. (Ed) *Proc. 10th International Symposium on Earth Tides*, R. Vieira (Ed.), Madrid, 889-901.
- Kümpel H.-J., Varga P., Lehmann K., Mentés Gy.* (1996). Ground Tilt Induced by Pumping - Preliminary Results from the Nagycenk Test Site, Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.* 31(1-2), 67-79.
- Lienhart W.* (2015). Case studies of high-sensitivity monitoring of natural and engineered slopes. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7, 379-384.
- Lóczy D., Balogh J., Ringer Á.* (1989). Landslide hazard induced by river undercutting along the Danube. In: Embleton C., Federici P. R., Rodolff G. (Eds.), *Geomorphological Hazards, Supplements of Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 2, pp. 5-11.
- Mentés Gy.* (2012). A new borehole wire extensometer with high accuracy and stability for observation of local geodynamic processes. *Rev Sci Instrum.* 83, 015109. doi: 10.1063/1.3676652.
- Mentés Gy.* (2017a). Hidrológiai folyamatok hatása a dunai magaspartok mozgására. *Hidrologiai Közönlöny* 97. évf. 4. szám, 34-39.
- Mentés Gy.* (2017b). The role of recent tectonics and hydrological processes in the evolution of recurring landslides on the Danube's high bank in Dunaföldvár, Hungary. *Geomorphology* 290, 200-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.026>
- Mentés Gy., Bódis V. B.* (2012). Relationships between short periodic slope tilt variations and vital processes of the vegetation. *J. Appl. Geodesy* 6, 83-88. <https://doi.org/10.1515/jag-2012-0009>.
- Mentés Gy., Bányai L., Újvári G., Papp G., Gribovszki K., Bódis V. B.* (2012). Recurring mass movements on the Danube's bank at Dunaszekcső (Hungary) observed by geodetic methods. *J. Appl. Geodesy* 6, 203-208. <https://doi.org/10.1515/jag-2012-0011>.
- Mentés Gy., Bódis V. B., Péter Vig P.* (2014). Small slope tilts caused by meteorological effects and vital processes of trees on a wooded slope in Hidegvíz Valley, Hungary. *Geomorphology* 206, 239-249.
- Monteith J. L.* (1965). Evaporation and environment: the state and movement of water in living organisms. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19, 205-234.
- Micheli E. R., Kirchner J. W.* (2002). Effects of meadow riparian vegetation on streambank erosion. 2. Measurements of vegetated bank strength and consequences for failure mechanics. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 687-697.
- Moyzes A., Scheuer Gy.* (1978). A dunaszekcsői magaspart mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közönlöny* 108, 213-226.
- Nilaweera N. S., Nutalaya P.* (1999). Role of tree roots in slope stabilisation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57 (4), 337-342.
- Pécsi M.* (1971). Az 1970. évi dunaföldvári földcsuszamlás. *Földrajzi Értesítő* 20, 233-238.

Pécsi M., Scheuer Gy. (1979). Engineering geological problems of the Dunaujváros loess bluff. *Acta Geologica Hungarica* 22, 345-353.

Pécsi M., Schweitzer F., Scheuer Gy. (1979). Engineering geological and geomorphological investigations of landslides in the loess bluffs along the Danube in the Great Hungarian Plain. *Acta Geologica Hungarica* 22, 327-343.

Petley D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* 40 (10), 927-930.

Pollen N. (2007). Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: accounting for soil share strength and moisture. *Catena*, 69, 197-205.

Pollen-Bankhead N., Simon A. (2010). Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story? *Geomorphology* 116, 353-362.

Rebscher D. (1996). Nachweis von in-situ Bodenverformungen gravitativen und vegetativen Ursprungs, (Verification of in-situ Soil Deformation due to Gravitational and Vegetational Origin). Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Rey J. M. (1999). Modelling potential evapotranspiration of potential vegetation. *Ecological Modelling*, 123 (2-3), 141-159.

Rinaldi M., Casagli N. (1999). Stability of streambanks formed impartially saturated soils and effects of negative pore water pressures: The Sieve River /Italy/. *Geomorphology* 6, 253-277.

Scheuer Gy. (1979). A dunai magaspartok mérnökgeológiai vizsgálata. *Földtani Közlöny* 109, 230-254.

Simon A., Collison A. J. C. (2002). Quantifying the mechanical and hydrological effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms* 27(5), 527-546.

Szabó J. (2001). A csuszamlásos folyamatok szerepe a magyarországi felszínformák kialakulásában In: Ádám A., Meskó A. (Eds.), *Földtudományok és a földi folyamatok kockázati tényezői*. Bp. MTA. 143-168.

Szabó, J. 2003. The relationship between landslide activity and weather: examples from Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 3, 43-52.

Szalai S., Szokoli K., Metwaly M. (2014a). Delineation of landslide endangered areas and mapping their fracture

systems by the pressure probe method. *Landslides* 11, 923-932.

Szalai S., Szokoli K., Novák A., Tóth Á., Metwaly M., Práczner E. (2014b). Fracture network characterisation of a landslide by electrical resistivity tomography. *Nat Hazards Earth Syst Sci Discuss.* 2, 3965-4010. <https://doi.org/10.5194/nhessd-2-3965-2014>.

Szanyi Gy., Gráczner Z., Győri E., Kaláb Z., Lednická M. (2016). Ambient Seismic Noise Tomography of a Loess High Bank at Dunaszekcső (Hungary). *Pure and Applied Geophysics* 173(8), 2913-2928.

Thuro K., Singer J., Festl J., Wunderlich T., Wasmeier P., Reith C., Heunecke O., Glabsch J., Schuhbäck S. (2010). New landslide monitoring techniques – developments and experiences of the alpEWAS project. *Journal of Applied Geodesy.* 4, 69-90. doi:10.1515/JAG.2010.008.

Thuro K., Wunderlich Th., Heunecke O., Singer J., Wasmeier P., Schuhbäck St., Festl J., Reith Ch., Glabsch, J. (2014). Low Cost 3D Early Warning System for Alpine Instable Slopes: The Aggenalm Landslide Monitoring System. In: Wenzel F., Zschau, J. (eds.), *Early Warning for Geological Disasters*, 289. *Advanced Technologies in Earth Sciences*, DOI: 10.1007/978-3-642-12233-0_15, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 289-306.

Terwilliger V. J. (1990). Effects of vegetation on soil slippage by pore pressure modification. *Earth Surface Processes and Landforms* 15 (6), 553-570.

Újvári G., Mentes Gy., Bányai L., Kraft J., Gyimóthy A., Kovács J. (2009). Evolution of a bank failure along the River Danube at Dunaszekcső, Hungary. *Geomorphology* 109, 197-209.

Wen T., Tang H., Wang Y., Lin C., Xiong C. (2017). Landslide displacement prediction using the GA-LSSVM model and time series analysis: a case study of Three Gorges Reservoir, China. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17, 21812198.

http1: http://www.ampere.com.mx/pdf/Manual_Usuario_Inc_722.pdf (hozzáférés: 2017.05.22.).

http2: <https://www.campbellsci.com/cr1000> (hozzáférés: 2017.05.22.).

http3: http://www.dataqua.hu/download/adatlap/DAS-LRB_122_4.pdf (hozzáférés: 2017.05.22.).

http4: <http://www.hydroinfo.hu> (hozzáférés: 2017.05.22.).

A SZERZŐ



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

A hidrogeológiai kutatások helyzete Európában a KINDRA projekt eredményei alapján

Mikita Viktória¹, Szűcs Péter², P van der Keur³, K.Hinsby³, M. Petitta⁴, I. Fernandez⁵, C.M. Garcia Alibrand⁶, M. Garcia Padilla⁶, Csekő Adrienn⁷

1 Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros (e-mail: hgmv@uni-miskolc.hu)

2 Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros (e-mail: hgszucs@uni-miskolc.hu), MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

3 GEUS, Geological Survey of Denmark and Greenland, Øster Voldgade 10 DK-1350 Copenhagen K, Denmark

4 Sapienza University, Piazzale Aldo Moro, 5, 00185 Roma RM, Italy

5 EFG, European Federation of Geologists, Rue Jenner 13, 1000 Bruxelles, Belgium

6 Rediam Regional Ministry of Environment of the Government of Andalusia, Environmental Information Network of Andalusia, Calle Johan Gutenberg, 1-Isla de la Cartuja, E-41092 Sevilla, Spain

7 LPRC, La Palma Research Centre, Avenue Venezuela, 19, 38760 Los Llanos, Santa Cruz de Tenerife, Spain

Kivonat

A KINDRA H2020 projekt a hidrogeológia területén végzett európai léptékű kutatások tudásbázisának felmérése, tendenciák és hiányos kutatási irányvonalak meghatározása céljából jött létre 2015-ben. A projekt keretében elsőként egy egységes, összehangolt osztályozási terminológia (HRC-SYS) kialakítására került sor, amely a felszín alatti vízre irányuló kutatásokat rendszerezte meghatározott kulcsszavak alapján. A „Hidrogeológiai Kutatások Osztályozási Rendszere” (HRC-SYS) hierarchikus struktúrájú, a rendszerbe tudományos szakirodalom (a legfontosabb 23 felszín alatti vízzel foglalkozó folyóirat) és EU irányelvek (*Víz Keretirányelv 2000*), *Felszín alatti víz irányelv 2006*) ajánlásaiból származó releváns kulcsszavakat soroltunk be (*Mikita és társai 2016*). A kutatási témák kapcsolódási pontjai alapján kijelölhetők a periférián lévő hidrogeológiai kutatási területek és ajánlásokat tehetünk azok népszerűsítésére.

A projekt másik fő eredménye – s egyben kutatási eszköze – a publikus, nyilvánosan hozzáférhető EIGR adatbázis (European Inventory of Groundwater Research) létrejötte, amely egy egyedülálló, hidrogeológiai kutatási összefoglalókat, projekteket, térképeket tartalmazó tudásbázis. Az EIGR-ben található metaadatokat 20 európai ország hidrogeológus szakértői töltötték fel, s kategorizálták a HRC-SYS rendszernek megfelelően, lehetővé téve az adatbázis alkalmazását a projekt célkitűzésének megvalósítására. A projekt végső eredményei felhasználhatóak lesznek szinergiák kialakításához és az európai vízgazdálkodás optimalizálásához (*Fernandez és társai 2017*).

A cikkben a kulcsszavak kiválasztását, az osztályozási rendszert, az EIGR adatbázist és a projekt első eredményeit foglaljuk össze.

Kulcsszavak

hidrogeológiai kutatások, analízis, adatbázis, osztályozási rendszer, H2020, nemzetközi projekt, EIGR, KINDRA, Víz Keretirányelv (VKI), Felszín alatti víz irányelv.

The situation of hydrogeological research in Europe based on the results of the KINDRA project

Abstract

In 2015 the KINDRA project was created to conduct an EU-wide assessment of existing groundwater-related practical and scientific knowledge. Within the framework of the project a coherent, harmonized classification system was developed that systematizes groundwater research based on specific keywords. The "Hydrogeological Research Classification System" (HRC-SYS) is hierarchically structured, which includes relevant keywords from the recommendations of scientific literature (the most important 23 groundwater journals) and the relevant EU Directives (*Water Framework Directive, 2000 (WFD)*), *Groundwater directive (GWD)*). The HRC-SYS allows identifying the gaps in the hydrogeological research areas and defining recommendations for promoting these research topics (*Mikita et al, 2016*). The classification is supported by the developed KINDRA web service, the European Inventory of Groundwater Research (EIGR), a unique database containing various hydrogeological research information. The metadata in the EIGR were uploaded and categorized by hydrogeological experts from 20 countries, applying the categorization method of the HRC-SYS system, and enabling the use of the database to identify relevant research topics, existing research trends and critical research challenges. These results will be useful for producing synergies, implementing policies and optimising water management in Europe (*Fernandez et al. 2017*). This article summarizes the methodology for selecting the relevant keywords, the development of HRC-SYS classification system and EIGR database as well as the first results of the project.

Keywords

hydrogeology research, analysis, database, classification system, H2020, international project, EIGR, KINDRA, Water Framework Directive (WFD), Groundwater Directive (GWD).

BEVEZETÉS

A hidrogeológia területén végzett kutatások mind európai, mind hazai szinten széles spektrumát fedik le a kutatási területeknek. A Horizon 2020 program keretében 2015 januárjában, számos nemzetközi tag együttműködésével létrejött a KINDRA projekt, amely a Víz Keretirányelvvel és a Felszín alatti víz irányelvvel összhangban, a hidrogeológiai témájú kutatások tudásbázisának felmérését, és ez alapján a kutatási trendek, illetve hiányos kutatási területek meghatározását tűzte ki célul. Cikkünkben a projekt keretében készült HRC-SYS osztályozási rendszert, az EIGR adatbázist és az EIGR metaadatainak elemzéséből levont következtetéseket mutatjuk be.

METODIKA

Kulcsszavak kiválasztása

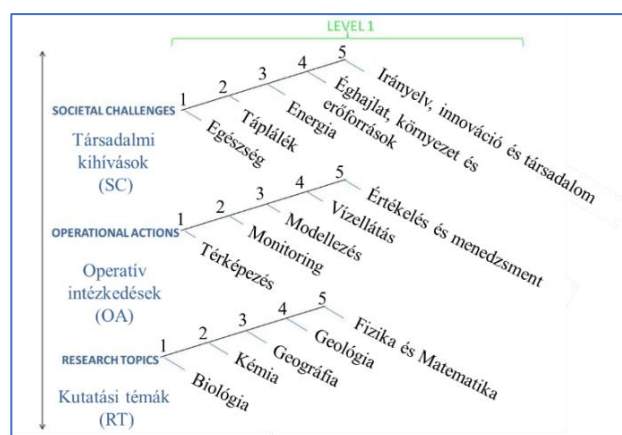
A kutatási metodika alapját a megfelelő kulcsszavak kiválasztása képezte. A kulcsszavak a felszín alatti vízzel foglalkozó 23 legfontosabb nemzetközi folyóirat és EU irányelvek (WFD, GWD) ajánlásaiból származnak. Mivel az osztályozási rendszer és az adatbázis elemzése szempontjából a kulcsszavak kritikus jelentőségűek, ezért a kiválasztott kulcsszavak (összesen 284 db) helytállóságát többlépcsős ellenőrzés bizonyította: a Web of Science, Scopus és Google Scholar keresőszolgáltatásokkal előfordulásukat ellenőriztük, majd statisztikai módszerek alkalmazásával rangsoroltuk őket jelentőségük (hivatkozások száma, H-index) és gyakoriságuk alapján. A projekt hidrogeológus szakértői a kapott statisztikai eredmények alapján bírálták el a kulcsszavak jogosultságát és a rangsor helytállóságát.

A Hidrogeológiai Kutatások Osztályozási Rendszerének (HRC-SYS) felépítése

A kulcsszavak kiválasztását követően egy egységes, összehangolt osztályozási terminológia (HRC-SYS) kiala-

kítására került sor, amely a felszín alatti vízre irányuló kutatásokat rendszerezi a meghatározott kulcsszavak alapján. A „Hidrogeológiai Kutatások Osztályozási Rendszerét” (HRC-SYS) több tudományos, ipari és kutatási osztályozási minta vizsgálatával és figyelembevételével dolgozták ki. Három fő kategóriája a Társadalmi Kihívások (Societal Challenges), Operatív Intézkedések (Operational Actions) és a Kutatási Témák (Research Topics) (Hinsby és társai 2016).

A HRC-SYS háromdimenziós, hierarchikus struktúrájú rendszer (1. ábra). A három fő kutatási kategórián belül 5-5 alkategóriát (1. szint) és további három szintet határoztak meg. A releváns, előzetesen rangsorolt kulcsszavak ebben a hierarchikus rendszerben helyezkednek el.



1. ábra. A HRC-SYS hierarchikus felépítése (Hinsby és társai 2016)

Figure 1. The structure of the HRC-SYS (Hinsby et al. 2016)

A kulcsszavak többszintű besorolását a HRC-SYS rendszerbe, példaként a Kutatási Témák-Fizika és Matematika kategóriában, az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A kiválasztott kulcsszavak többszintű besorolási sémája a HRC-SYS rendszerben (Kutatási Témák-Fizika és Matematika alkategória (RT-5))

Table 1. The relevant keywords in the HRC-SYS Research Topics – Physics and Mathematics (RT-5) subcategory

1. szint (alkategória)	2. szint	3. szint	4. szint
FIZIKA ÉS MATEMATIKA	Mennyiség	Vízfelszín	Áramlási rendszer
			Áramlás
		Hidraulikai paraméterek	Porozitás
			Áteresztőképesség
			Tárolás
			Hozam
			Szivárgási tényező
		Hidraulikus tulajdonságok	Üledés
			Tömörödés
			Repedés
			Vető

A rendszer „Társadalmi kihívások” (SC) alkategóriáit a H2020 program által megnevezett 7 fő társadalmi kihívás, nevezetesen

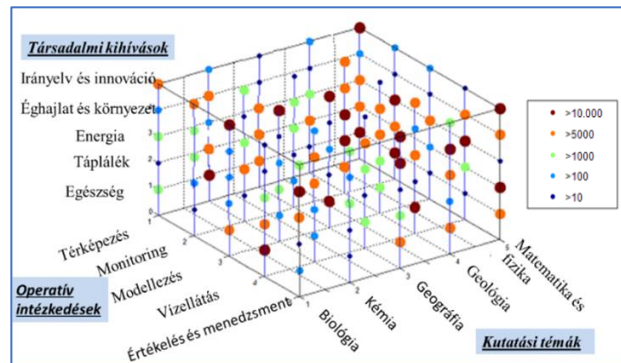
1. Egészségügy, demográfiai változás és jólét (Health, demographic change and wellbeing),
2. Élelmezésbiztonság, fenntartható mezőgazdaság és erdőgazdálkodás, tengerkutatás, tenger- és belvíz hasznosítási célú kutatás, valamint a biogazdaság (Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and inland water research, and the bioeconomy),
3. Biztonságos, tiszta és hatékony energia (Secure, clean and efficient energy),
4. Intelligens, környezetkímélő és integrált közlekedés (Smart, green and integrated transport),
5. Éghajlatváltozás, környezetvédelem, erőforrás-hatékonyság és nyersanyagok (Climate action, environment, resource efficiency and raw materials),
6. Európa a változó világban - Inkluzív, innovatív és reflektív társadalmak (Europe in a changing world - inclusive, innovative and reflective societies),
7. Biztonságos társadalmak – Európa és az állampolgárok szabadságának és biztonságának védelme (Secure societies - protecting freedom and security of Europe and its citizens)

alapján, egyszerűsítéseket és összevonásokat alkalmazva adaptálták a rendszerbe.

Az Operatív intézkedések (OA) alkategóriáit a kulcsszavak statisztikai elemzését és rangsorolását követően, a lehető legátfogóbb operatív cselekvéseket leíró kulcsszavakkal definiálták.

A Kutatási Témák (RT) főkategória esetében a kutatási témák megadása a felszín alatti vizekkel összefüggésbe hozható természettudományi ágak szerint történt.

A HRC-SYS háromdimenziós felépítése révén (2. ábra) lehetővé teszi a kutatási témák kapcsolódási pontjainak vizsgálatát bármely kombinációban, illetve kétdimenziós vetületekben is vizsgálhatók ezen összefüggések (3. ábra).

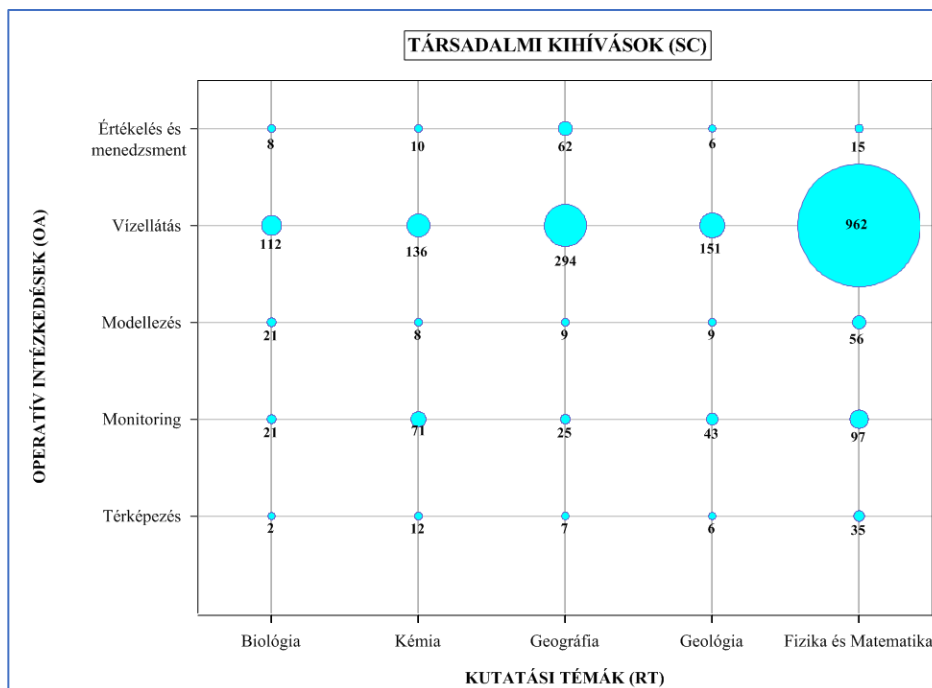


2. ábra. A HRC-SYS háromdimenziós felépítése a fő- és alkategóriákkal (Hinsby és társai 2016)

Figure 2. The 3D structure of the HRC-SYS with the main and the subcategories (Hinsby et al, 2016)

A 3. ábrán láthatók a Kutatási Témák (RT) és Operatív Intézkedések (OA) alkategóriáinak összefüggései. A kék körök mérete az egyes metszéspontokban a publikációk darabszámát jelöli, amelyekben mindkét alkategóriából származó kulcsszó megtalálható. Az adatok alapján az Operatív Intézkedések *Vizellátás* (OA-4) alkategóriája a legnépszerűbb kutatási terület, ezen belül a legtöbb publikáció a *Fizika és Matematika* (RT-5) alkategóriába sorolható.

A kutatási témák kapcsolódási pontjai (metszéspontjai) alapján kijelölhetők a hiányosságokat mutató hidrogeológiai kutatási területek és ajánlásokat tehetünk azok népszerűsítésére (Petitta és társai 2015).



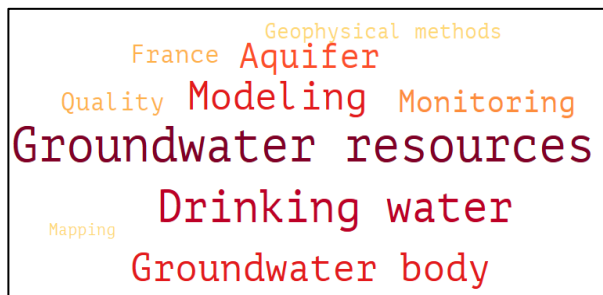
3. ábra. A HRC-SYS kétdimenziós leképezése, a Kutatási Témák (RT) és az Operatív Intézkedések (OA) alkategóriáinak metszéspontjaiban található EIGR adatok darabszámával

Figure 3. The 2D chart of the HRC-SYS, the number of EIGR metadata in the intersections of the Research Topics (RT) and Operational Actions (OA) subcategories

A Felszínalatti Víz Kutatások Európai Leltára (European Inventory of Groundwater Research, EIGR)

A projekt keretében a kutatási trendek és hiányos kutatási területek felmérése érdekében egy internetes adatbázist alakítottak ki 2017-ben. Az EIGR (European Inventory of Groundwater Research) egy nyílt forráskódú (Geonetwork), publikációkat, hidrogeológiai kutatási összefoglalókat, projekteket, térképeket metaadatként tartalmazó tudásbázis. Az EIGR-ben található metaadatokat (2017 év végéig: 2178 db) 20 ország hidrogeológus szakértői (European Federation of Geologists - EFG nemzeti partner szervezetei) töltötték fel, kulcsszavakkal definiálták és a HRC-SYS rendszernek megfelelően kategorizálták, lehetővé téve az adatbázis felhasználását a kutatási trendek és a hiányosságot mutató hidrogeológiai kutatási területek megismeréséhez (Mikita és társai 2017). Az adatbázis nagyrészt (67%) kutatási jelentéseket, projekt összefoglalókat és nemzeti folyóiratokban közölt publikációkat, kisebb részben lektorált cikkeket, illetve konferencia kiadványokban megjelent publikációkat összesít. Az adatbázis az egyszerű és összetett kereső szolgáltatásai mellett, néhány egyszerű adatelemzési lehetőséget is tartalmaz a benne tárolt információk vizsgálatára.

Az egyik adatelemző funkció a „Kulcsszó felhő”, amely az EIGR adataiban szereplő 10 legnépszerűbb kulcsszót mutatja meg (4. ábra). A szavak színe és nagysága az előfordulási gyakoriságukkal arányos jellemző.



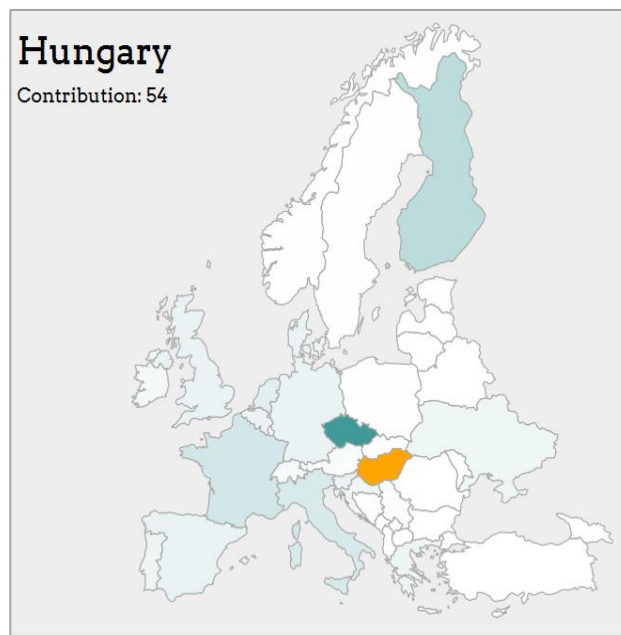
4. ábra. Az EIGR „Kulcsszó felhő” adatelemzési funkciója
Figure 4. The „Keywords cloud” analytical tool of the EIGR

A térképen a kiválasztott ország sárga színnel jelenik meg. Az 5. ábrán látható, hogy az EFG magyarországi partnerszervezete - az MFT - összesen 54 metaadatot rögzített az EIGR rendszerben.

A harmadik adatelemző eszköz a „2D síkok diagramja” (6. ábra), amely a kutatási trendek és hiányos kutatási területek meghatározásának egyik legfontosabb eszköze. Segítségével minden Társadalmi Kihívás (SC) kategóriában vizsgálhatók az Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) kategóriáiban szereplő kulcsszavak együttes előfordulása. Az interaktív eszköz a kijelölt metszéspontban megmutatja a publikációk darabszámát, valamint a metszéspontra kattintva magukat a publikációkat is leválogatja az EIGR adatbázisban a felhasználó számára. A körök átmérője arányos az adott kategóriákba sorolt publikációk darabszámával. Az ábrán látható, hogy az *Éghajlat, környezet és erőforrások*, *Értékelés és menedzsment* és *Geológia* kategóriákba sorolt metaadatok együttes előfordulása a legmagasabb (886 adat), tehát ezek között a

kutatási területek között egyértelmű kapcsolat áll fenn. Visszont ugyanezen *Társadalmi Kihívások* síkján a *Biológia* és *Vízellátás* alkategóriákba együttesen 2 db metaadatot soroltak be a szakértők.

A „Forrás megoszlási térkép” (5. ábra) adatelemző eszköz egy interaktív térkép, amely országokként jeleníti meg az EIGR-ban szereplő adatok mennyiségét. Az 5. ábrán a színek árnyalatai a feltöltött adatok mennyiségével arányos jellemzők. Az ábrán kiemelt színnel látható Csehország, mert az adatbázisban szereplő metaadatok nagy részét (785 adatot) az EFG csehországi partnerszervezete töltötte fel.

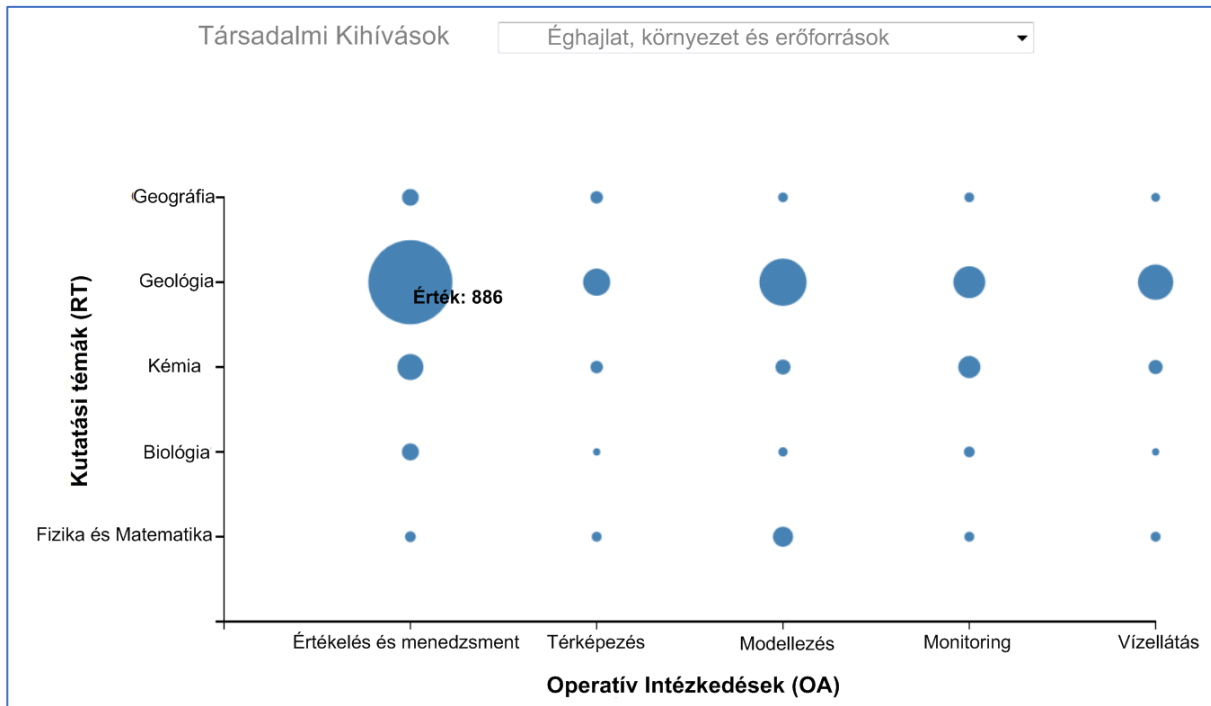


5. ábra. Az EIGR „Forrás megoszlási térkép” adatelemzési eszköze
Figure 5. The „Resource distribution map” analytical tool of the EIGR

Bár az EIGR népszerűsége és nagysága nem mérhető össze a tudományos adatbázisokkal, mint a Scopus vagy Web of Science, ennek ellenére összetételéből adódóan fontos következtetések vonhatók le segítségével a kutatási témák és operatív intézkedések területén.

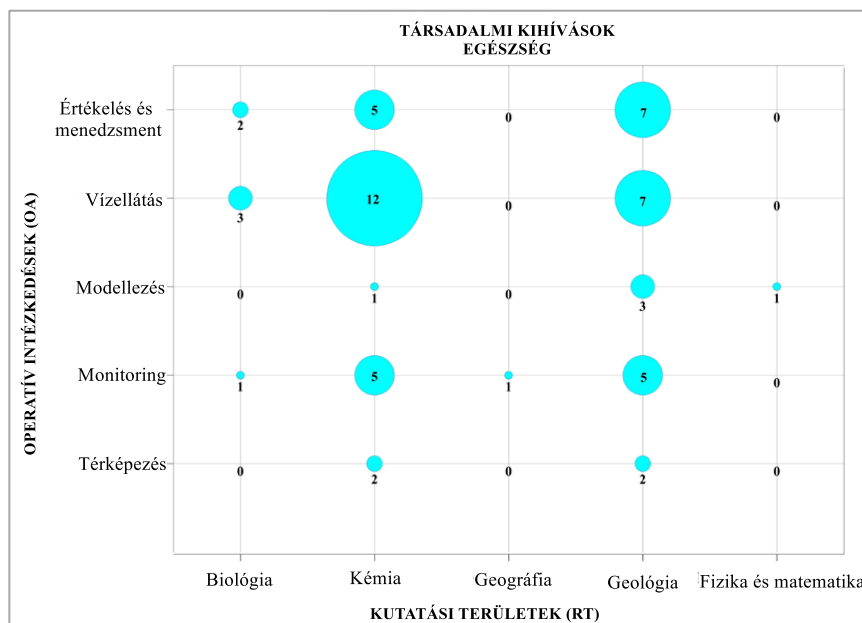
EREDMÉNYEK

A HRC-SYS háromdimenziós rendszerében összesen 125 metszéspont található, amely a tengelyek függvényében összesen 15 kétdimenziós, 5x5 metszéspontot tartalmazó síkkal ábrázolható. A projekt célkitűzéseit leginkább az egyes Társadalmi Kihívások síkjainak összefüggései szolgálják, ezért az egyes Társadalmi Kihívások (SC) síkjában vizsgáltuk az Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) kategóriáiban szereplő kulcsszavak együttes előfordulását. Az előzőekben bemutatott „2D síkok diagramja” (6. ábra) analógiája alapján részletesen elemeztük az EIGR információit, egy előzetes, a kutatási területek összefüggéseit vizsgáló felmérést készítve. Mivel a „2D síkok diagramja” EIGR eszköz egyszerre csak egy kijelölt metszéspontban mutatja meg a metaadatok darabszámát, ezért Golden Software Grapher programmal készítettük el az elemzéshez szükséges síkok ábráit.



6. ábra. Az EIGR „2D síkok diagramja” adatelemzési funkciója
Figure 6. The „2D topics chart” analytical tool of the EIGR

A 7. ábrán az Egészség (SC-1) alkategóriába sorolt metaadatok összefüggései láthatók az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáival.



7. ábra. A metaadatok száma az Egészség (SC-1) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjaiban
Figure 7. The number of metadata in the intersections of Societal Challenges-Health and the 5-5 classes of Research Topics and Operational Actions

Összesen 57 metaadatot soroltak a szakértők a Társadalmi Kihívások Egészség (SC-1) alkategóriájába. Az adatok közel egyformán oszlanak meg a Kémia (44%, 25 db) és a Geológia (42%, 24 db) Kutatási Területek (RT) között, míg az Operatív Intézkedések (OA) közül a Vízellátás (OA-4) alkategóriával látható domináns összefüggés.

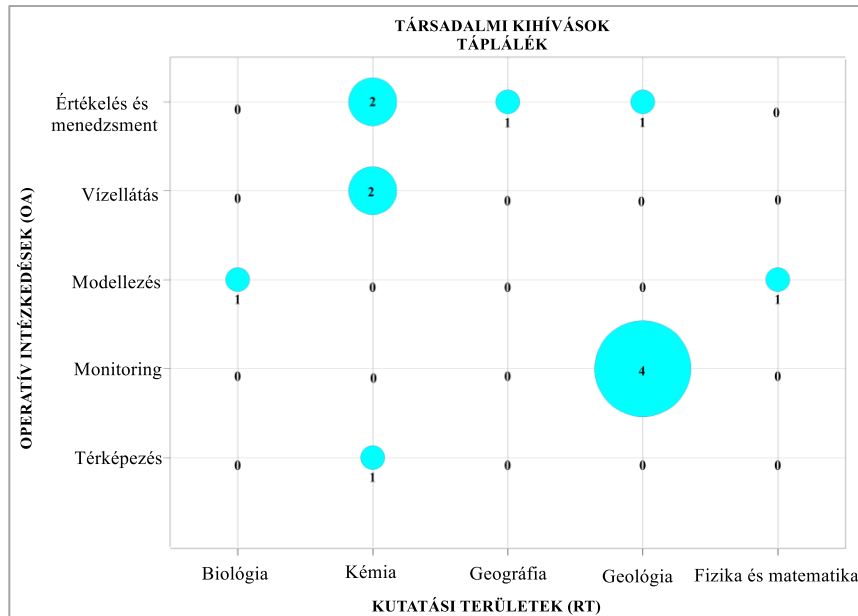
A publikációk eloszlása alapján látható, hogy az egészség vonatkozásában az ivóvíz minőségi jellemzői és köz-

vetve a víztermelés geológiai vonzatai megjelennek, viszont a kémiai tulajdonságok mellett a biológiai jellemzőkkel kapcsolatos kutatási anyagok az EIGR-ban az indokoltnál lényegesen alacsonyabb számban fordulnak elő.

10 metszéspontban nem található metaadat, a Geográfia (RT-3) illetve a Fizika és matematika (RT-5) alkategóriák és az Egészség (SC-1) alkategória között nem látható kapcsolat.

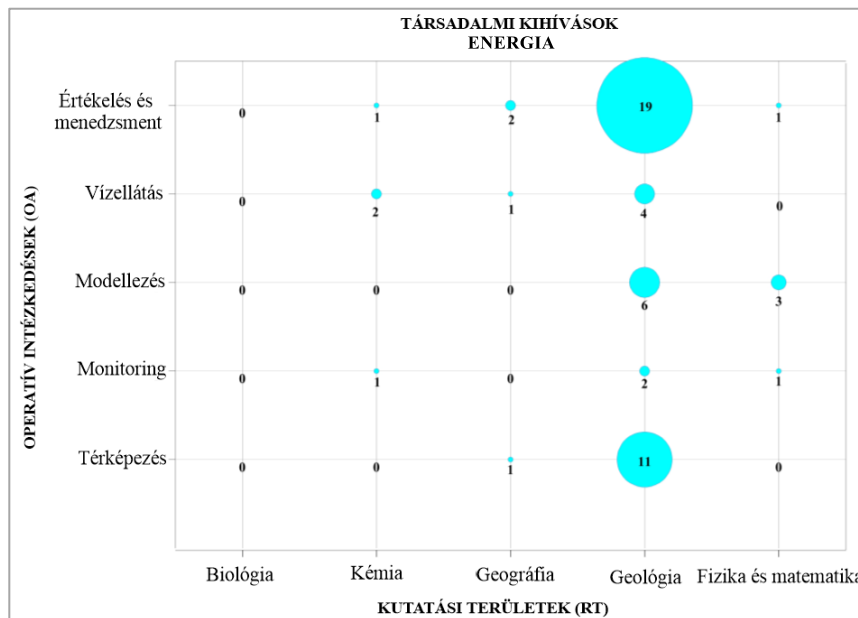
A *Táplálék* (SC-1) alkategóriában összesen 13 metaadat található, a feltöltött metaadatok kevesebb, mint 1%-a (8. ábra). A lehetséges 25 metszési pontból 17 esetében nincs összefüggés az alkategóriák között, de a további metszéspontokban sem található jelentős számú adat, ezért a *Táplálék* (SC-1) alkategória alul reprezentált kutatási területnek számít az EIGR adatai alapján. A *Táplálék* (SC-1) alkategória metszéspontjai a *Fizika és Ma-*

tematika (RT-5) és *Geográfia* (RT-3), valamint a *Térképezés* (OA-1) és *Modellezés* (OA-3) alkategóriákkal kutatási szempontból nem relevánsak. Ugyanakkor az élelmezéshez szorosan kapcsolódó mezőgazdasági vízellátást, illetve a táplálék geológiai, kémiai és biológiai (és ehhez kapcsolódó monitoring) összefüggéseit tartalmazó publikációk hiányát valós kutatási „hézagként” azonosíthatjuk.



8. ábra. A metaadatok száma a *Táplálék* (SC-2) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjaiban

Figure 8. The number of metadata in the intersections of Societal Challenges-Food and the 5-5 classes of Research Topics and Operational Actions



9. ábra. A metaadatok száma az *Energia* (SC-3) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjaiban

Figure 9. The number of metadata in the intersections of Societal Challenges-Energy and the 5-5 classes of Research Topics and Operational Actions

A 9. ábrán az *Energia* (SC-3) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) valamint Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjait ábrázoltuk.

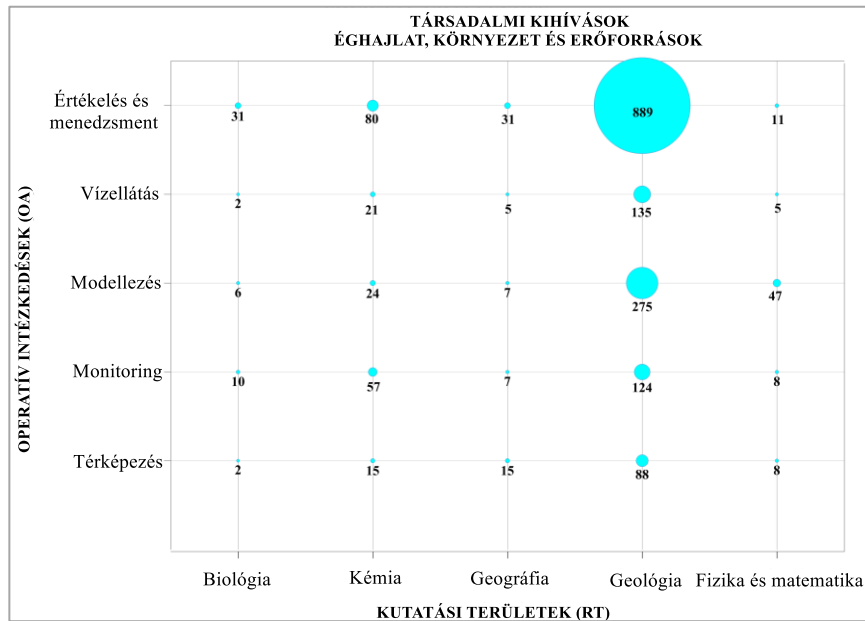
A Társadalmi Kihívások *Energia* (SC-1) alkategóriájában 55 metaadat található. Az adatok 76%-a (42 adat) a *Geológia* (RT-3) Kutatási Területhez (RT) rendelhető, az

Operatív Intézkedések (OA) közül az *Értékelés és menedzsment* (OA-5) alkategóriával látható jelentősebb összefüggés. Az *Energia* (SC-3) vonatkozásában hiányos kutatási területként (geológiai monitoring, geológiai modellezés, kémiai monitoring) a *Monitoring* (OA-2), a *Modellezés* (OA-3), a *Kémia* (RT-2), és a *Fizika és matematika* (RT-5) alkategóriák azonosíthatók.

Az *Éghajlat, környezet és erőforrások* (SC-4) alkategória tartalmazza a legtöbb (1903) metaadatot, az EIGR-ba feltöltött információk 87%-át. Az SC-4 összefüggései az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák

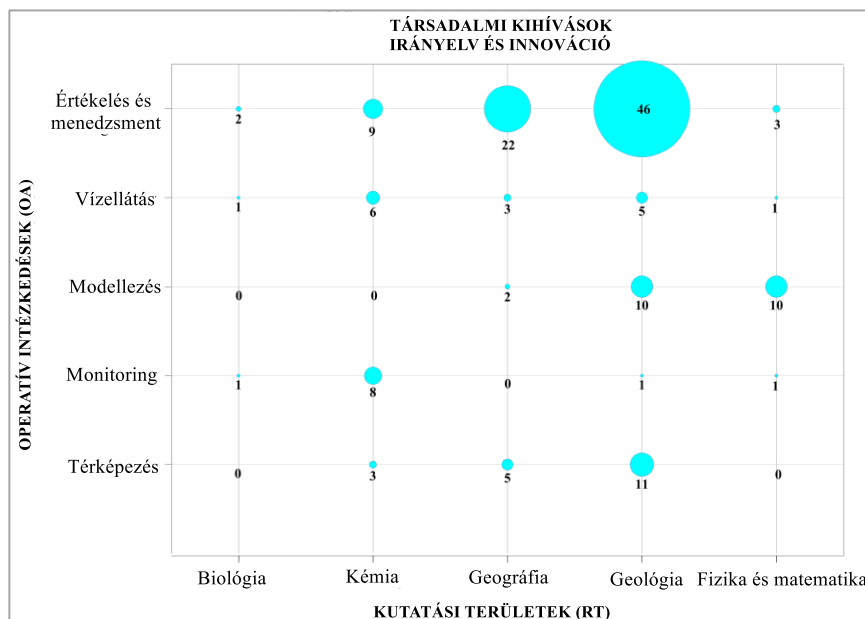
(RT) alkategóriáival a 10. ábrán láthatók. Az összes lehetséges metszési pontban találhatóak adatok, de kiemelkedő a *Geológia* (RT-4) illetve az *Értékelés és menedzsment* (OA-5) alkategória jelentősége az *Éghajlat, környezet és erőforrások* (SC-4) témában. Az ábra alapján látható, hogy az EIGR-be feltöltött kutatási anyagok főként gyakorlati megoldásokkal foglalkoznak, amelyek célja a kritikus környezeti és éghajlati kérdések megoldása, valamint a vízkészletek fenntartható használata és védelme.

A 11. ábrán az *Irányelv és innováció* (SC-5) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) valamint Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjai láthatók.



10. ábra. A metaadatok száma az *Éghajlat, környezet és erőforrások* (SC-4) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjaiban

Figure 10. The number of metadata in the intersections of Societal Challenges-Climate, environment and resources and the 5-5 classes of Research Topics and Operational Actions



11. ábra. A metaadatok száma az *Irányelv és innováció* (SC-5) és az egyes Operatív Intézkedések (OA) és Kutatási Témák (RT) alkategóriáinak metszéspontjaiban

Figure 11. The number of metadata in the intersections of Societal Challenges- Policy and innovation and the 5-5 classes of Research Topics and Operational Actions

A SC-5 alkategóriájában 150 metaadat található. Az adatok megoszlása az egyes metszéspontokban egyenletes képet mutat, kiemelkedő összefüggés látható a *Geológia* (RT-4) és a *Geográfia* (RT-3), valamint az *Értékelés és menedzsment* (OA-5) alkategóriával. Ez a tendencia valószínűleg az uniós irányelvek (GWD, WFD) és regionális vízgyűjtő gazdálkodási tervek megjelenésével függ össze. A *Vízellátás* (OA-4) alkategóriával összefüggésben innovációs szempontból a biológia (zöld infrastruktúra és ökológiai szolgáltatások), a kémia (tisztítási technológiák), és a fizika (víztakarékos ellátó rendszerek), valamint az ezekhez kapcsolódó modellezéssel foglalkozó kutatási irányok hiányosak.

Az EIGR metaadatai felhasználásával elvégzett előzetes elemzések alapján megállapítható, hogy a Társadalmi Kihívások (SC) *Egészség* (SC-1), *Táplálék* (SC-2) és az *Energia* (SC-3) alkategóriáiban számos hiányos kutatási terület található. Az *Éghajlat, környezet és erőforrások* (SC-4) alkategória tartalmazza a legtöbb (1903 db) metaadatot, amely az EIGR-ba feltöltött összes információ 87%-a. Az adatok alapján az elmúlt 10 év legjelentősebb kutatási területe az *Éghajlat, környezet és erőforrások* (SC-4), *Geológia* (RT-4) illetve az *Értékelés és menedzsment* (OA-5) metszésponttal (889 adat) definiálható.

A népszerű nemzetközi adatbázisokhoz viszonyítva az EIGR adatmennyisége nem tekinthető reprezentatívnak, ezért a hibás következtetések elkerülése érdekében az elemzéseket a Scopus adatbázisára is kiterjesztjük. A végleges konklúziókat és ajánlásokat a két adatbázis eredményeiből határozza meg a projekt. Az eredmények publikálása 2018 második felében várható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A KINDRA projekt felszín alatti vizekkel kapcsolatos irányelvekkel összhangban megalkotott HRC-SYS osztályozási rendszere hozzájárulhat a hiányos kutatási területek megismeréséhez. Az osztályozási rendszer felhasználásával elkészült nyílt forráskódú, publikus és ingyenesen elérhető EIGR adatbázis kapcsolatot teremthet az egyes országok azonos kutatási területen dolgozó szakértőivel, segítségével az európai felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatások népszerűsíthetők. Mindemellett az egységes

SZERZŐK



MIKITA VIKTÓRIA a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán kapott általános környezetmérnöki oklevelet 2007-ben, majd 2014-ben PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-től a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai - Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. Az oktatáson túlmenően hazai és nemzetközi kutatási projektek lebonyolításában vesz részt.

SZÚCS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kitüntetéses 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.

PETER VAN DER KEUR a svédországi University of Uppsala egyetemen szerzett MSc diplomát 1993-ban, majd a dániai University of Copenhagen-en PhD fokozatot fizikai geográfia területen. 1998-tól a National Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) szervezetnél dolgozik hidrogeológusként és senior kutatóként.

osztályozási rendszer lehetővé teszi a kutatók és döntéshozók számára a hiányos kutatási területek és a népszerű kutatási törekvések megismerését, miközben a nyílt adatbázis adatelemzési eszközei új kutatási területek kialakulását ösztönözhetik. Az adatbázisok elemzésével megismerhetők a kutatási trendek, a hiányos és népszerű kutatási területek, amely eredmények alapján megfelelő vízkészlet gazdálkodási irányelvek és döntések születhetnek (*Szűcs és Mikita 2016*).

IRODALOMJEGYZÉK

Fernandez, I., Petitta, M., Hinsby, K., Cseko, A., Szucs, P., Garcia Padilla, M., Hartai, E., Biševac, V., Stein, A., Bodo, B., van der Keur, P., Mikita, V. and Garcia Alibrand, C.M. (2017). The KINDRA project – towards Open Science in Hydrogeology for higher impact. *European Geologist*. 44, 38-43.

Hinsby, K., van der Keur, P., Petitta, M., Szűcs P., Mikita V. (2016). KINDRA Deliverable 1.2-Harmonized Terminology and Methodology for Groundwater Research Classification. http://kindraproject.eu/wp-content/uploads/D1-2_versionrevisedFINAL-WEB.pdf, 47 pages

Mikita V., Szűcs P., Hartai É. (2016). A hidrogeológiai kutatások új szemléletű rendszerezése: A HRC-SYS bemutatása-KINDRA projekt. Természeti erőforrásaink az észak-magyarországi térségben, Sárospatak, 2016. augusztus 24–27. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 2016.

Mikita V., Hinsby, K., Szűcs P. (2017) KINDRA Deliverable 3.1 – Draft synthesis of country reports <http://kindraproject.eu/wp>, 33 pages

Petitta, M., Bodó, B., Caschetto, M., Colombani, N., Correia, V., Csekő, A., Di Cairano, M., Fernandez, I., Garcia Alibrandi, C., Hartai, E., Hinsby, K., Madarász, T., Mikita, V., Garcia Padilla, M., Szűcs, P., van der Keur, P. (2015). KINDRA project: a tool for sharing European's groundwater research and knowledge. *European Geologist*. 40, 5-9.

Szűcs P., Mikita V. (2016). Felszín alatti vízkészleteink és a hidrogeológiai kutatások helyzete hazánkban. *Hidrogeológiai Közlemény* 96. évf. 1. szám. 7-20.

KLAUS HINSBY 1988-ban szerzett MSc diplomát a hidrogeológia területén a dániai Kobenhavns University-n. 1988-tól a National Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) szervezetnél dolgozik senior hidrogeológusként.

MARCO PETITTA 1987-ben végzett geológusként a római „La Sapienza” egyetemen, majd ugyanitt 1994-ben PhD fokozatot a hidrogeológia területén. Számos projekt koordinátora és résztvevője, az IAH nyugat és közép európai szervezetének társelnöke. 1999-től a „La Sapienza” egyetem oktatója, jelenleg professzora.

ISABEL FERNANDEZ 2008-tól az European Federation of Geologists (EFG) elnöke, 1990-ben végzett mérnökgeológusként a spanyolországi Universidad Complutense de Madrid egyetemen, majd ugyanitt PhD fokozatot szerzett 1996-ban a geológia területén.

CLINT GARCIA ALIBRANDI 2005-től környezeti technikusként dolgozik a spanyolországi Junta de Andalucía (Environment and Water Agency) hivatalnál, ahol számos nemzetközi projekt résztvevője és vezetője. 2001-ben az Universidad de Seville egyetemen végzett zoológia szakon.

MERCEDES GARCIA PADILLA 1986-ban szerzett hidrogeológus/ környezeti geológus diplomát az Universidad de Granada spanyolországi egyetemen. 1996-2002 között tanácsadóként dolgozott a Regional Ministry on Environment of Andalusia hivatalnál, 2011-től vezetőként dolgozik a Junta de Andalucía (Environment and Water Agency) kormányhivatalnál.

CSEKŐ ADRIENN 2005-ben az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végzett geológusként. 2011-től a spanyolországi La Palma Research Center igazgatója. Fő profiljuk a pályázatok menedzselése.

Vízügyi múlt képekben

Vörösmarty Mihály: „A múltat tiszteld a jelenben, s tartsd a jövőnek.”

Lánchídi rajzoló vízmérce

75 éve, a magyar Duna szakaszon elsőként Budapesten, a Lánchíd felett kb. 100 m-re, a jobb parton állítottak fel rajzoló vízmércét.



Az 1945-ben megrongálódott műszert 1948-ban újra üzembe állították, ám a jóval korábban készült öntöttvas „házikó”-t, amelybe 1943-ban a műszert telepítették az 1970-es években kicserélték és egy formatervezett alumínium „doboz” került a helyére. Az eredeti házikó szétszedett darabjai az esztergomi Magyar Vízügyi Múzeumba kerültek. A Múzeum kezdeményezésére a Szerszámgépipari Művek egyik szocialista brigádja "társadalmi munkában" felújította. Így lehetővé vált, hogy a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVI) és a Fővárosi Csatornázási Művek (FCSM) segítségével a Múzeum az 1980-as évek elején újra eredeti helyén állítsa fel a budai Duna part ezen vízrajzi emlékét. (FL)

Monitoring adatsorok értékelése – lehetőségek és módszerek az adatgyűjtéstől az előrejelzésig

Bagyinszki György

VTK Innosystem Kft. 1134 Budapest, Pattantyús u.7.

(E-mail: bagyinszki.gyorgy@innosystem.hu)

Kivonat

Ma már számos olyan adatelemző, statisztikai programcsomag létezik, amelyek segítségével részletesen elemezhetők a környezeti monitoring eredmények. Ezek használatával a részletes, mélyre hatoló vizsgálatok mellett az eredmények megjelenítésére és szemléltetésére alkalmas ábrákat, diagramokat is előállíthatjuk. Jelen írás a hosszabb idejű monitoring idősorok vizsgálatának egy lehetséges menetét mutatja be, melynek során az általános és leíró jellemzést az adatsorokban felfedezhető trendek detektálása és egyre részletesebb leírása, majd az adatsorok felbontása követi, ami elvezet az ismert valószínűségű előrejelzés készítéséig.

Kulcsszavak

Környezeti monitoring, idősor elemzés, előrejelzés.

Evaluation of monitoring data – opportunities and methods from data collection to forecasting

Abstract

There are a number of data analysis tools and statistical software packages that can be used to analyse environmental monitoring data in detail. Using these tools, in addition to the detailed, in-depth studies, we can produce expressive figures and diagrams for illustrating the results. This paper presents a possible way of testing of longer-term monitoring time series in which general and descriptive characterizations are followed by detection and more detailed description of trends. Then it is followed by decomposition of data series leading to a predetermined probability forecast.

Keywords

Environmental monitoring, time series analysis, forecasting.

BEVEZETÉS

A számítástechnika és a számítástudomány fejlődésének eredményeként mára elérhetővé váltak olyan adatfeldolgozó és statisztikai módszerek is, amelyek alkalmazása korábban a nagy számítási igény miatt korlátokba ütközött. Ma már számos program és programcsomag létezik, amely felhasználói szintű ismeretek mellett is lehetőséget biztosít ezen módszerek használatára. Ezzel olyan lehetőségek előtt nyílik meg az út, amelyek az összegyűjtött környezeti információk korábbiaknál részletesebb vizsgálatát, mélyebbre hatoló elemzését teszik lehetővé. A monitoring idősorok vizsgálata és sajátosságainak megismerése a korábbiaknál jóval pontosabb és megbízhatóbb előrejelzések készítését teszi lehetővé. Ez segítséget nyújthat a nem kívánatos folyamatok időbeni felismerésére és a megelőző beavatkozások időben történő megtételére (pl. vízbázisok szennyeződése esetén), a beavatkozások eredményességének igazolására vagy szükséges időtartamának pontosabb becslésére (pl. kármentesítési eljárásokban). A következőkben olyan módszerek kerülnek bemutatásra, melyek segítséget nyújthatnak a rendszeres monitoring vizsgálatok során szünetelő adatok (idősorok) kiértékelésében és elemzésében. A módszereket és azok eredményeit konkrét példán keresztül, a Csepel II Erőmű hat kútból álló talajvíz monitoring rendszerének üzemeltetése során 2000-2017 között gyűjtött adatokat felhasználva mutatjuk be. Bár a bemutatott példákban vízkémiai adatok szerepelnek, az eljárások természetesen alkalmazhatók más környezeti jellemzők vizsgálatára is.

Jelen cikknek nem célja a monitoring idősorok analízisének területén folyó kutatások bemutatása vagy értékelése, csupán az, hogy felhívja a figyelmet a napi szintű értékelésekhez rendelkezésre álló eszközök egyre szélesedő körére és megmutassa a használatukban rejlő lehetőségeket. Nem célja továbbá a demonstrációs céllal felhasznált adatok részletes elemzése, az értékelések csak a bemutatott módszerekre, azok használhatóságára, és a módszer eredményének értelmezésére terjednek ki. A módszerek bemutatására és az ábrák készítéséhez a statisztikai számításokhoz kifejlesztett, bárki számára díjmentesen elérhető R programozási nyelvet és környezetet (*R Core Team 2017*) használtuk.

A MONITORING TEVÉKENYSÉG CÉLJA ÉS FOLYAMATA

A környezeti állapot megismerése érdekében számos helyen és céllal működnek észlelő- és mérőhálózatok. Az országos szintű monitoring rendszerek (időjárás, hidrológiai, vízminőségi, stb.) mellett működő lokális hálózatok keretében végzett monitoring vizsgálatok alapvető célja az ellenőrzés. Rövid távon ez a tevékenység az állapotjellemzők pillanatnyi értékének meghatározásán keresztül az előírásoknak, határértékeknek való megfelelés igazolását szolgálja. Hosszabb távon azonban a monitoring eredmények lehetőséget biztosítanak a tendenciák felismerésére és nyomon követésére, a különböző célú beavatkozások következményeinek vizsgálatára, adott esetben a beavatkozások eredményességének igazolására, továbbá megfelelő alapot biztosíthatnak a pontosabb előrejelzést nyújtó modellek számára.

Maga a monitoring folyamat a mintavétel, mérés és adatközlés ciklusának ismétlődését jelenti mindaddig, amíg el nem érkezik a kiértékelés feladata.

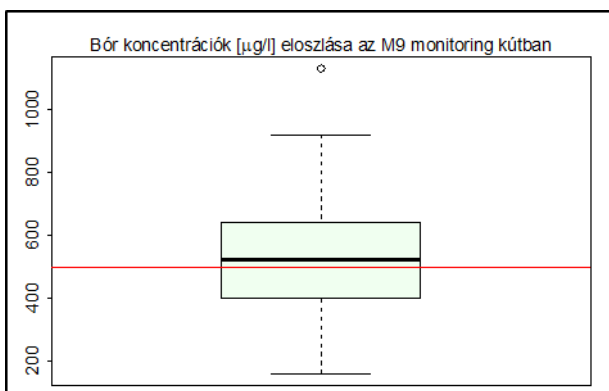
ÉRTÉKELÉS

A kiértékelés során az addig gyűjtött adatokat, eredményeket kell feldolgozni és értelmezni, gyakran a nem szakmai vagy a körülményeket kevésbé ismerő döntéshozók számára. Az ilyesfajta értékelésben nagy jelentőségük van a feldolgozott adatokat és az értékelés eredményeit bemutató ábráknak, diagramoknak, táblázatoknak, amelyek segítenek a feltárt tulajdonságok bemutatásában és a levonható következtetések megvilágításában, megértésében.

Az adatfeldolgozás *Tukey (1977)* nyomán két fázisra bontható, az első ún. feltáró fázisra és az ezt követő igazoló vagy bizonyítási fázisra. Az első célja az alapvető jellegzetességek feltárása, míg a másodikban a feltárt jellegzetességek igazolása, számszerűsítése, értelmezése, összevethető formában történő megjelenítése történik. A két fázis nem válik el élesen egymástól és gyakran iteratív módon zajlik az értékelési folyamat, amely rendszerint a feldolgozandó adatok táblázatba rendezésével és áttekintésével kezdődik. Manapság erre a célra szinte kizárólag valamilyen táblázatkezelő szoftvert használunk. Ezek a szoftverek lehetővé teszik az adatok rendezését, ábrázolását, bizonyos szintű feldolgozását, számítások elvégzését, ezért nagyon jól használhatók a felismerési fázisban.

Elsődleges feldolgozás

Táblázatba rendezett adatsoraink vizsgálatát rendszerint az adatok jellemzésével kezdjük. Alapvető jellemzők az adatok száma, a legkisebb és legnagyobb értékek, a különböző csoportjellemzők, mint az átlag, szórás, medián, stb. értéke, és nem utolsósorban az adatok elhelyezkedése a határértékhez képest. Az így kapott számszerű jellemzők fontosak, de még gyakorlott értékelők számára sem mindig értelmezhetők könnyen. Jóval szemléletesebben mutatja be adatainkat az *1. ábrán* látható dobozdiagram (*Hipel és McLeod 1994*).



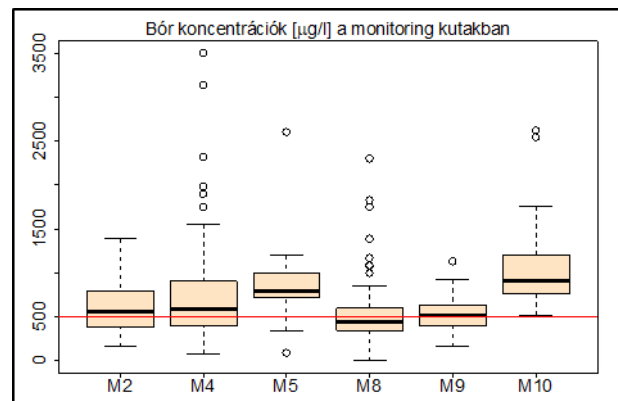
1. ábra. Adatok ábrázolása dobozdiagramban
Figure 1. Data visualisation in box-whisker diagram

A dobozdiagramon látható téglalap vízszintes oldalai az alsó és felső kvartilis, a közepén látható vastag vonal a medián értékét mutatja. A szaggatott vonallal jelölt tartomány addig a legkisebb és legnagyobb értékig terjed, melynek távolsága az alsó és felső kvartilistől nem nagyobb, mint a belső kvartilisek különbségének 1,5-szerese.

Más szavakkal: azokat a szélső értékeket mutatja meg, melyek a doboz aljától és tetejétől nincsenek messzebb, mint a doboz magasságának másfélszerese. A tartományon kívül eső (kiugró) értékeket külön pontok jelölik. Kiugró érték nélküli esetben a tartomány végpontjai a legkisebb és legnagyobb értéknél találhatók.

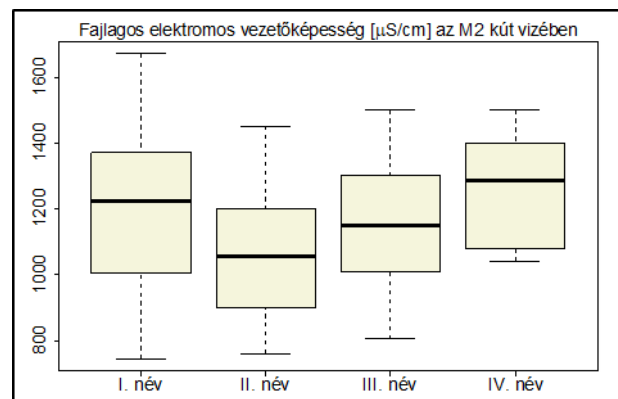
Ha a diagramba az *1. ábrán* látható módon (piros vonal) berajzoljuk az adott komponenshez tartozó határértéket is, akkor rögtön lehetővé válik az adatok elsődleges értékelése.

Egy ábrán belül több adatsort is ábrázolhatunk, ezáltal a *2. ábrán* látható módon egyszerre szemléltethetjük a monitoring rendszer elemeinek adatait.



2. ábra. Több objektum eredményeinek együttes megjelenítése
Figure 2. Showing data of multiple objects

A dobozdiagramként történő ábrázolás alkalmas a környezeti adatokban minden esetben feltételezhető szezonális gyors felismerésére is. Az adatokat a vélt szezonálisnak megfelelően negyedéves, havonkénti, stb. csoportokra bontva és ábrázolva, értékelhetővé válnak az éven belüli szezonális különbségek (*3. ábra*).



3. ábra. Negyedévenkénti adatok összehasonlítása a szezonális felismerésére
Figure 3. Comparing quarterly data to detect seasonality

A felismert szezonális igazolásának egyik lehetséges módszere a Kruskal-Wallis próba (*Hipel és McLeod 1994*), melynek nullhipotézise az, hogy az összehasonlított mintacsoportok eloszlásfüggvénye azonos, ami azt is jelenti, hogy várható értékük megegyező. Az alternatív hipotézis szerint az összehasonlított mintacsoportok közül legalább az egyik eloszlásfüggvénye különbözik a többitől. A Kruskal-Wallis teszt előnye, hogy nem-paraméteres

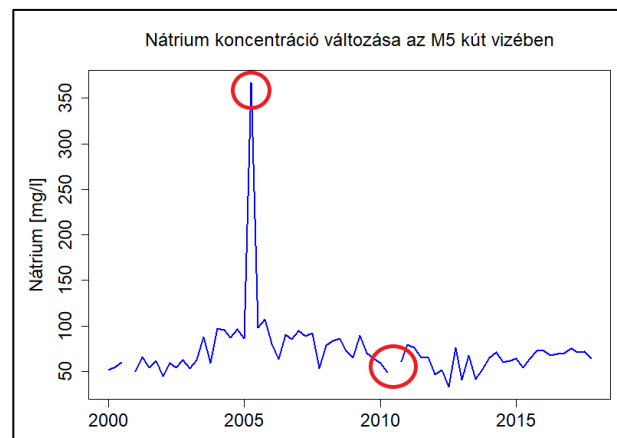
próba, ami nem követeli meg a mintacsoportokon belül a normális eloszlást.

Zavaró hatások az adatsorokban

Adataink megjelenítésének leggyakoribb és egyik leginformatívabb módja, ha a 4. ábrán látható módon az idő függvényében ábrázoljuk őket. Általában az értékelésnek ebben a fázisában találkozunk először az adatfeldolgozás során jelentkező zavaró hatásokkal. Ezek a zavaró hatások vagy zajok (1) a kiugró értékek, (2) a hiányzó adatok, (3) a több szinten cenzúrázott értékek, illetve (4) a nem egyenletes időközű adatok. A felsoroltak közül a 4. ábrán piros körrel jelölt pontokon a kiugró érték és az adathiány látható.

A kiugró értékek hatását szemlélteti az 1. táblázat és az 5. ábra. Az 1. táblázatban a monitoring kutakban mért nátrium-ion koncentrációk átlagait, mediánját és szórását hasonlítottuk össze a kiugró értékek figyelembe vételével illetve elhagyásával. Amint az a táblázat adataiból látható, a szórás nagyságát a kiugró érték jelentős mértékben torzíja, míg a kiugró érték jelenlétére legkevésbé érzé-

keny jellemző a medián, ami máris magyarázatul szolgál arra, hogy a doboz diagramban miért a medián kerül ábrázolásra.

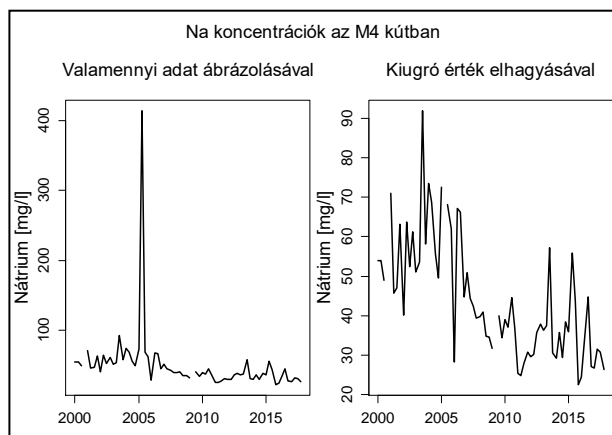


4. ábra. Kiugró érték és adathiány
Figure 4. Outstanding and missing data

1. táblázat. Kiugró érték hatása a statisztikai csoportjellemzőkre
Table 1. Impact of outstanding data on statistical group attributes

Na koncentrációk [mg/l]		M2	M4	M5	M8	M9	M10
Kiugró értékkel	Átlag	51,24	49,35	73,08	56,95	76,09	99,22
	Medián	41,30	40,00	65,75	51,90	63,90	82,10
	Szórás	40,84	46,63	38,94	33,77	62,22	46,58
Kiugró érték nélkül	Átlag	47,67	44,07	68,82	53,16	69,57	96,14
	Medián	41,25	39,90	65,70	51,80	63,90	80,80
	Szórás	28,28	14,93	15,81	11,86	29,31	39,06
Eltérés	Átlag	6,97%	10,71%	5,83%	6,64%	8,58%	3,11%
	Medián	0,12%	0,25%	0,08%	0,19%	0,00%	1,58%
	Szórás	30,74%	67,98%	59,41%	64,89%	52,89%	16,14%

Az 5. ábra mindkét felén ugyanazon adatsor látható, csak míg a baloldali a kiugró értéket is tartalmazza, a jobb oldalon a kiugró érték elhagyásával kapott diagram látható. Megfigyelhető, hogy a két azonos méretű diagram közül, a kiugró érték elhagyásával készített ábra az adatok menetében megmutatkozó finomabb részleteket jobban feltárja.



5. ábra. A kiugró érték csökkenti a diagram részletgazdagságát
Figure 5. Outstanding data reduces the detail of the diagram

A kiugró értékek azonosítására számos módszert ajánl a statisztikai irodalom, ez azonban nem minden esetben egyértelmű. Környezeti monitoring adatok esetében egy gyanús érték akkor tekinthető bizonyítottan kiugrónak, ha

a statisztikai alapon történő igazolás mellett más szakmai érvek is kérdőjeleessé teszik az adott érték hihetőségét. A 4. és 5. ábrákon bemutatott példákban a kationok és anionok egyenérték koncentrációjában megmutatkozó jelentős eltérés igazolta, hogy a magas nátrium koncentráció valóban kiugró érték.

A zavaró hatások közül az adathiány és a nem egyenletes időközű adatok mibenléte nem igényel különösebb magyarázatot, ellentétben a több szinten cenzúrázott adatok jelenlétével.

Cenzúrázott („kisebb mint”) mérési eredmények olyankor fordulnak elő, amikor a vizsgált jellemző értéke nem éri el az alsó méréshatárt. Előfordul azonban, hogy adataink között többféle cenzúrázott eredmény (pl. <1, <5 és <10) található. Ennek oka lehet, hogy több labor mérési eredményeit kell használnunk, vagy a mintákban található zavaró komponensek miatt nem lehetett ugyanazt az alsó méréshatárt biztosítani, esetleg mérési módszert váltott a laboratórium stb.

Monitoring szempontból a „kisebb mint” típusú eredmény többnyire kedvező, mert ez az adott komponens hiányára vagy igen csekély – általában a határérték alatti – mennyiségére utal. A különböző szinten cenzúrázott adatok akkor jelentenek problémát, amikor összehasonlításokat kell tennünk adatok és adatsorok között, vagy az adatokban meglévő tendenciákat vizsgáljuk. Ilyen esetekben

el kellene döntenünk, hogy a <1 érték hogyan viszonyul a <5 értékhez, jóllehet csak azt tudjuk biztosan, hogy mindkettő kisebb ötnél.

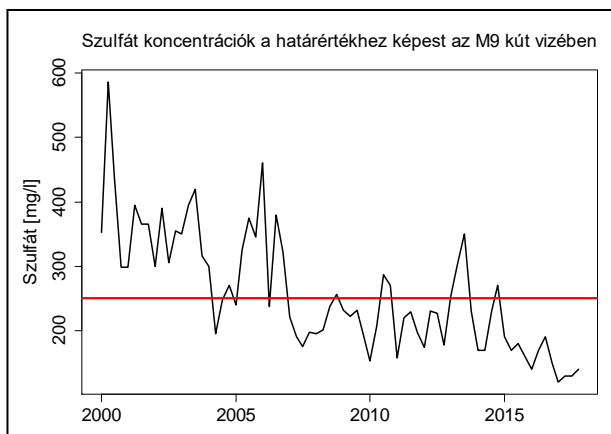
Az adatsorokban megjelenő zavaró hatásokat (zajokat) és az azok kezelésére leggyakrabban alkalmazott módszereket a 2. táblázat foglalja össze. A témakör szakirodalmi szerzeágazó és összetett, de az ezzel foglalkozó munkák egybevágo következtetése az, hogy a megfelelő módszert az adatfeldolgozás céljától és a rendelkezésre álló adatok mennyiségétől és minőségétől függően célszerű kiválasztani (Hipel és McLeod 1994).

2. táblázat. Zavaró hatások az adatsorokban és kezeléseik
Table 2. Disturbing factors in the data series and their handling

Hiányzó adatok	<ul style="list-style-type: none"> • Interpoláció • Pótlás „megállapodás szerinti” értékkel • Pótlás modell alapján • Adathiányra érzéketlen módszer választása
Kiugró értékek	<ul style="list-style-type: none"> • Elhagyás • Csere pl. modell alapján • Kiugró értékre kevésbé érzékeny (robosztus) módszer választása
Több szinten cenzúrázott értékek	<ul style="list-style-type: none"> • A legtöbb esetben megfelelő a helyettesítés célszerűen megválasztott konkrét értékekkel
Nem egyenletes időközű adatok	<ul style="list-style-type: none"> • Összevonás azonos hosszúságú időszakokra jellemző értékekkel • Regressziós modellek alkalmazása

Az adatokban megjelenő tendenciák felismerése

A zavaró hatásoktól mentesített adatsorunkat ábrázolva kellően részletes és informatív görbét kapunk, melyen a határértékhez tartozó vonal megjelenítése egy gyors (első ránézésre történő) értékelés lehetőségét és az adatok menetében megmutató határozott tendenciák felismerését biztosítja (6. ábra).



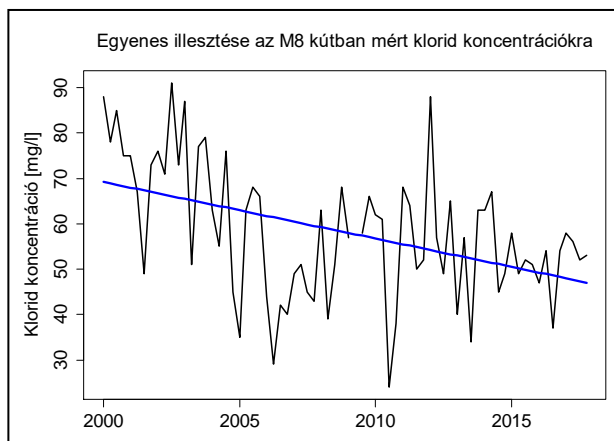
6. ábra. Mérés eredmények megjelenítése a határérték vonalával

Figure 6. Displaying data with limit value line

A vizsgált adatsorban megjelenő monoton trend kimutatására alkalmas módszerek közül legismertebbek a Mann-Kendall próba (Hipel és McLeod 1994) és a Spearman-féle rangkorrelációs teszt (Hipel és McLeod 1994). Ezen nem-paraméteres próbák előnye, hogy nem

támasztanak feltételeket az adatok eloszlásával kapcsolatban, kizárólag az adatok egymáshoz képesti nagyságát (kisebb vagy nagyobb) vizsgálják.

Az adatsorban megjelenő monoton trend felismerésének legegyszerűbb módja, ha egyenest illesztünk az adatokra és az egyenes meredekségéből következtetünk a trend emelkedő vagy csökkenő jellegére (7. ábra).



7. ábra. Egyenes illesztése a mért értékekre
Figure 7. Linear regression of data

A próbákban kiszámított statisztikák (Kendall tau, illetve Spearman rho) abszolút értéke 0 és 1 közé esik, pozitív előjelük növekvő, negatív előjelük csökkenő trendet jelez. Minél nagyobb a kapott érték, annál erősebb a trend monotonitása, az egymást követő növekvő vagy csökkenő értékek sorozatát annál kevésbé törli meg ellenkező irányú változás. Mindkét próba alapfeltételezése (nullhipotézise) az, hogy az adatok menetében nincsen trend jellegű változás. A próbák eredményeként kapott p érték (elsőfajú hiba) azt mutatja meg, mekkora valószínűséggel tévedünk, ha elutasítjuk az alapfeltételezést.

A két teszt a trendek kimutatásában közel azonos erősségű (Yue és társai 2002), azonban a Mann-Kendall próba robosztusabbnak és egy kissé hatékonyabbnak bizonyult (Croux és Dehon 2010) az erre irányult vizsgálatokban.

A 3. táblázatban a Csepel II Erőmű figyelőkútjainak monitoringja során kapott eredményeken elvégzett trendvizsgálatok eredményei láthatók. A táblázatban a statisztikák értékét adtuk meg, míg a p értékét színek jelölik. A tau és rho értékeket megvizsgálva látható, hogy a klorid- és a szulfát-ion koncentráció valamennyi kút vizében csökkenő trendet mutat (valamennyi érték negatív), a lehatározottabb trend az M9 és M10 kutak klorid koncentrációiban mutatkozik meg (legnagyobb abszolút értékek). Az elsőfajú hiba (p) értékei alapján 1%-nál kisebb tévedési valószínűséggel fogadhatjuk el valamennyi kút esetében, hogy a klorid- és szulfát-ion koncentráció csökkenő trend szerint változik. Ugyanakkor a nitrát koncentrációk esetében a trend meglétét – az M10 kút kivételével – még $p=10\%$ szinten is el kell utasítanunk.

3. táblázat. Trendvizsgálatok eredményei

Table 3. Results of trend tests

Kutak	Kendall tau értékek						Spearman rho értékek							
	M2	M4	M5	M8	M9	M10	M2	M4	M5	M8	M9	M10		
Szulfát	-0,283	-0,442	-0,365	-0,306	-0,578	-0,485	-0,412	-0,646	-0,543	-0,453	-0,777	-0,675		
Klorid	-0,437	-0,499	-0,374	-0,293	-0,592	-0,644	-0,621	-0,683	-0,613	-0,427	-0,800	-0,849		
Vezetőképesség	-0,157	-0,439	-0,270	-0,303	-0,591	-0,571	-0,247	-0,626	-0,400	-0,436	-0,789	-0,742		
Nitrát	-0,065	0,108	-0,100	-0,052	-0,112	-0,191	-0,101	0,148	-0,120	-0,066	-0,169	-0,280		
Nátrium	-0,181	-0,461	0,029	-0,308	-0,178	0,246	-0,258	-0,634	0,074	-0,458	-0,213	0,431		
Bór	-0,208	-0,272	-0,047	-0,313	-0,239	-0,342	-0,301	-0,414	0,030	-0,455	-0,278	-0,425		
pH	-0,247	0,219	0,374	0,094	0,244	0,150	-0,378	0,314	0,538	0,133	0,342	0,222		
Elsőfajú hiba	p < 1%		p < 5%			p < 10%			p < 1%		p < 5%		p < 10%	

A Mann-Kendall próbának léteznek kiterjesztései, mint a szezonális, korrelált, parciális, vagy többváltozós/több helyszínes (*Hipel és McLeod 1994, Pohlert 2018*). A próba többváltozós (több helyszínes) kiterjesztését Lettenmeier (1988) dolgozta ki. Adott területen folytatott monitoring esetében a több ponton gyűjtött adatok együttes értékelését lehetővé tevő több helyszínes (multisite) próba használata azért előnyös, mert ezzel statisztikailag alátámasztott átfogó képet kaphatunk a vizsgált területen végbemenő változásokról.

A Csepel II Erőmű hat darab figyelőkútjára elvégzett több helyszínes Mann-Kendal próba eredményei a 4. táblázatban láthatók. Az adatok azt mutatják, hogy területi szinten a pH emelkedő, míg a többi vizsgált paraméter csökkenő trend szerint változik. A legerőteljesebb trendek a szulfát- és klorid-ion koncentráció, valamint a fajlagos elektromos vezetőképesség értékében mutathatók ki, esetükben a legkisebb a tévedés valószínűsége a trendet illetően. A legkisebb abszolút értékű tau a nitrát koncentrációra adódott, ez az a paraméter, ami a legkisebb mértékű változást mutatja területi szinten. A kapott eredmények szignifikancia szintje $p < 0,05$.

4. táblázat. A több helyszínes Mann-Kendall teszt eredményei

Table 4. Results of multisite Mann-Kendal test

	Tau	p
Szulfát	-0,410	2,172 E-13
Klorid	-0,473	6,058 E-15
Vezetőképesség	-0,389	1,729 E-13
Nitrát	-0,069	1,1 E-02
Nátrium	-0,142	1,1 E-04
Bór	-0,237	1,421E-07
pH	0,139	2,14 E-02

A kimutatott és igazolt trendet az irány és erősség mellett a változás mértékével (sebességével) lehet még jellemezni. Trend jellegű változások mértékének jellemzésére használatos a Sen-féle meredekség, ami valójában az összes lehetséges adatpárra illeszthető egyenesek meredekségének mediánja (*Pohlert 2018*).

A Csepel II Erőmű talajvíz monitoring eredményei alapján meghatározott Sen-féle meredekségek az 5. táblázatban láthatók. A táblázat adataiból kitűnik, hogy a pH és a nitrát-ion koncentrációk változásának mértéke a legkisebb. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy adott jellemző esetén (pl. vezetőképesség) többszörös különbségek is lehetnek a kutakban bekövetkezett változások mértékében.

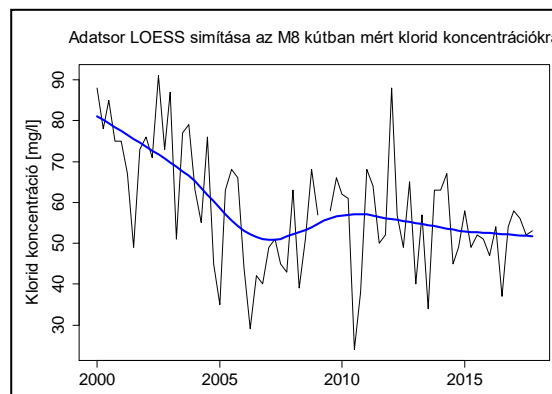
5. táblázat. Sen-féle meredekségek a monitoring kutakban

Table 5. Sen's slopes in the monitoring wells

Kutak	Sen-féle meredekség					
	M2	M4	M5	M8	M9	M10
Szulfát	-1,954	-3,670	-1,333	-1,633	-3,082	-2,518
Klorid	-0,417	-0,560	-0,711	-0,326	-1,125	-1,376
Vezetőképesség	-2,143	-7,857	-2,579	-3,992	-8,560	-11,095
Nitrát	0	-0,071	0	-0,014	0	-0,073
Nátrium	-0,463	-0,453	-0,023	-0,269	-0,742	-0,625
Bór	-5,000	-4,444	0,449	-3,669	-5,194	-9,091
pH	-0,003	0,003	0,006	0,001	0,003	0,001

Exponenciális simítás és az adatsor felbontása

Az előzőekben bemutatott trend vizsgálatban az első lépés a mérési eredményekre illesztett egyenes volt. A gyakorlatban azonban mérési eredményeinket a legritkább esetben írja le egyenes, sokkal inkább valamilyen görbe vonal, melynek közelítésére jól alkalmazhatók az exponenciális simító módszerek. A 8. ábrán látható példa a mért értékeket egyenesekkel összekötő vonalat és a lokálisan súlyozott exponenciális simító eljárással (LOESS) kapott görbét mutatja. Az ugyanazon adatsort ábrázoló 7. és 8. ábra összevetése azt is megmutatja, hogy mennyivel jobb illeszkedésű a simító eljárással kapott görbe, és mennyivel pontosabban írja le az adatok menetét, mint az egyenes.

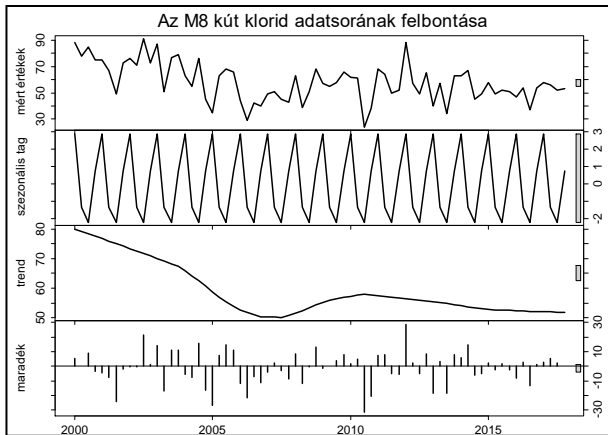


8. ábra. Adatsor LOESS simítása
Figure 8. Trend curve of data by LOESS

A LOESS eljárással kapott görbét (trend vonalat) felhasználva elvégezhető az adatsor felbontása az alábbiak szerint:

Mért érték = Trend tag + Szezonális tag + Sztochasztikus tag (zaj)

Ez az ún. STL felbontás (szezonális és trend dekompozíció LOESS használatával), amit Cleveland (1990) és munkatársai dolgoztak ki. Az ilyen típusú felbontás célja, hogy meghatározzuk az egyes tagok hatását, annak mértékét az eredmények alakulására. A 7. és 8. ábrán látott adatsor felbontásának eredménye a 9. ábrán látható.



9. ábra. Adatsor STL felbontása
Figure 9. STL decomposition of series

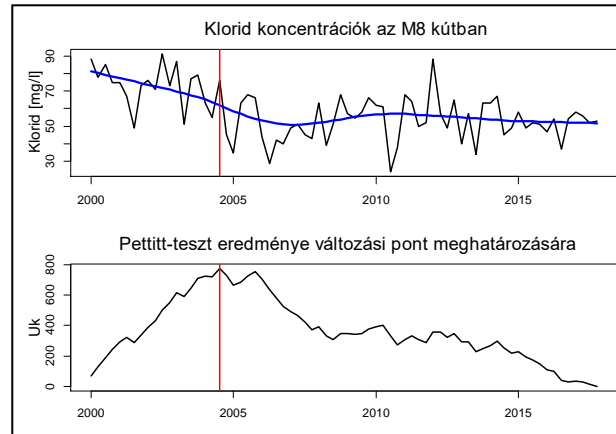
Az ábrán egymás alatt láthatjuk az eredeti adatsort, a szezonális tagot, a trendet és legalul a maradék tagot (zaj). A diagramok vízszintes időtengelye közös, függőleges tengelyeik, és különösen azok skálázása eltérő. Az értékelést megkönnyítendő, a jobb oldali függőleges tengely mellett látható szürke téglalap mind a négy diagramban azonos nagyságú tartományt jelöl. Az egyes tagok értéktartományát összevetve megállapítható, hogy a bemutatott esetben a szezonális tag hatása minimális, az adatsort a trend és a véletlen tag határozza meg.

Változási pontok az adatsorban

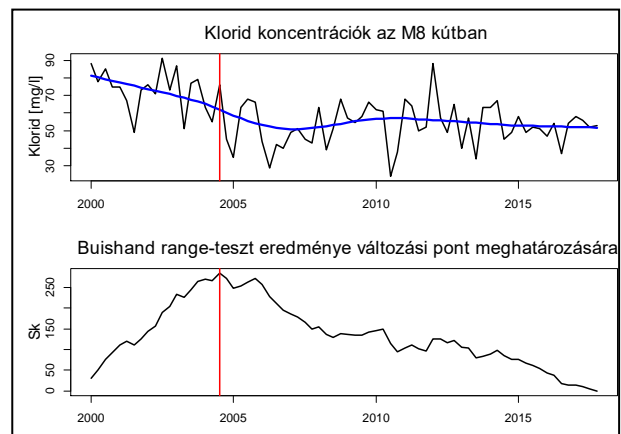
Amint az a 8-9. ábrákon észrevehető volt, az adatok trendjében törések, irányváltások tapasztalhatók, a simítással kapott görbénk nem monoton, és a monoton szakaszokon belül vannak eltérő meredekségű szakaszok. Ennek oka lehet valamely, a vizsgált paraméter értékét jelentősen befolyásoló változás (pl. csapadék- és/vagy lefolyási viszonyok megváltozása) vagy beavatkozás (pl. kármentesítés). Az egyes szakaszokat elválasztó változási pontok helyének ismerete és a változás szignifikanciája olyan esetben válik jelentőssé, mint amikor egy nemkívánatos változás (pl. szennyezés) kezdeti időpontját kívánjuk meghatározni, vagy egy ismert időpontban történt/megkezdett beavatkozás hatását kívánjuk igazolni vagy ellenőrizni.

A trend menetében bekövetkező változás kimutatására szolgáló Pettitt-teszt a hidrologiai- és klíma vizsgálatokban általánosan alkalmazott nem-paraméteres próba, míg a Buishand range-teszt és a Buishand U-teszt eltolódás jellegű változások (tartós hatású beavatkozások) kimutatására és helyének meghatározására szolgál (Pohlert 2018).

A detektált változási pont szignifikanciáját a próbák elsőfajú hibájának (p) értéke mutatja meg. A Pettitt- és a Buishand range-próbák eredményét bemutató diagramok a 10. és 11. ábrákon láthatók. Az ábrákon azonos léptékű vízszintes tengelyek mellett láthatók a mért értékek és a számított statisztikák értékei. A változási pont a statisztikák maximum értékénél feltételezhető, amit a függőleges piros vonalak jelölnek.



10. ábra. Pettitt-teszt eredménye
Figure 10. Result of Pettitt test



11. ábra. Buishand range-teszt eredménye
Figure 11. Result of Buishand range test

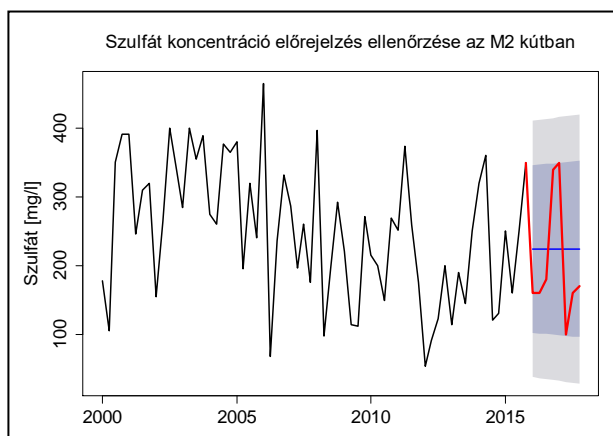
Előrejelzés

Amikor a mért értékek alakulása komoly jogi vagy gazdasági következményekkel jár, a monitoring eredmények alapuló megbízható előrejelzés szerepe felértékelődik. Ilyen szituáció lehet kármentesítés esetén annak előrejelzése, hogy meddig fog még tartani a beavatkozás (szükség lesz-e tartós környezeti kár bejegyzésére, mekkora költsége lesz még a beavatkozásnak), vagy annak meghatározása, hogy a termelő kutakban bekövetkező vízminőség változás mikor tesz szükségessé beavatkozást.

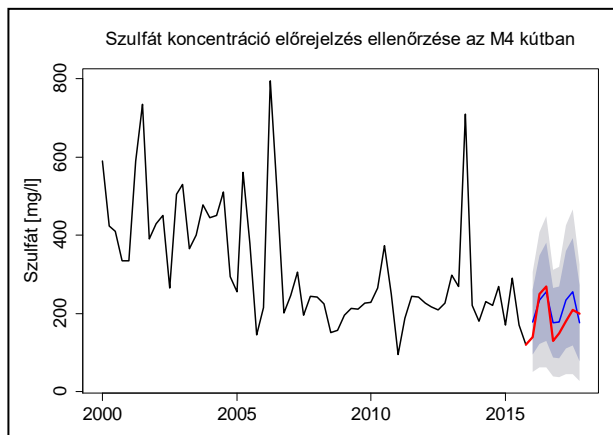
Az adatsorok korábban bemutatott részletességű megismerése lehetőséget nyújt a jövőbeni állapot előrejelzésére. A 2000-es évek előtt környezeti jellemzők modellezésére, elemzésére és előrejelzésre az ún. ARIMA (autoregresszív integrált mozgó átlag) modellek használatát volt jellemző. Ezek a modellek, mint nevük is utal rá, mozgó átlagoláson alapuló simításra épülnek, és nagyon hatékonyan bizonyultak a stacionárius, vagy azzá transzformálható folyamatok leírására. Ezzel némileg ellentétben, a

később megjelent exponenciális simításon alapuló állapot-tér (state-space) modellek filozófiája az, hogy a világ nem stacionárius (Hyndman és társai 2008). Napjainkra bebizonyosodott, hogy a két modell osztály nem kizárja, hanem átfedi és kiegészíti egymást.

A Csepel II. Erőmű monitoring eredményeinek előrejelzésére a Hyndman és munkatársai által kidolgozott állapot-tér modell (Hyndman és társai 2002) R környezetben megvalósított változatát (Hyndman és társai 2018) használtuk. A módszer megfelelőségét és alkalmazhatóságát a 2000-2015 között gyűjtött adatokra illesztett modellel 2016-2017-re előre jelzett, és az ezekben az években ténylegesen mért értékek összehasonlításával ellenőriztük. A 12-13. ábrákon kék vonal köti össze az előre jelzett, piros vonal a ténylegesen mért értékeket. A kék vonalak körül megrajzolt sötétszürke zóna az előrejelzéshez tartozó 85%-os, a világosszürke zóna a 95%-os valószínűségi tartományt jelöli. Amint az ábrákon látható, a tényleges mérési eredmények minden esetben az előrejelzés szerinti 85%-os tartományon belülre estek. Ez a jó egyezés valamennyi kút és vizsgált komponens esetében teljesült, ami igazolta a modellek megfelelőségét és az előrejelzés jóságát. Mindez azt jelenti, hogy olyan eszköz áll rendelkezésünkre, melynek segítségével a jövőbeli állapotra ismert valószínűségű előrejelzést készíthetünk.



12. ábra. Mért és előre jelzett értékek összevetése
Figure 12. Comparing of forecasted and measured data



13. ábra. Mért és előre jelzett értékek összevetése
Figure 13. Comparing of forecasted and measured data

ÖSSZEFOGLALÁS

A monitoring vizsgálatok célja az aktuális környezeti állapot megismerése mellett a hosszabb távon jelentkező hatások, változások megismerése, és az ehhez szükséges információ összegyűjtése. Monitoring adatok értékelése sok esetben megáll a határértékekkel történő összehasonlításnál, jóllehet a hosszabb időtávot lefedő adatsorok elemzése számos, látszólag rejtett információ feltárására kínál lehetőséget. Ehhez ma már sokféle adatelemzést segítő szoftver áll rendelkezésre, melyek a részletes vizsgálatok elvégzése mellett az eredmények grafikus megjelenítését is támogatják.

A monitoring eredmények feldolgozásának első lépése az adatok rendezése és áttekintése, majd ezt követően kerül sor az értékelést megnehezítő zavaró hatások kiszűrésére és kezelésére.

Az adatok elemzése során az alapvető jellemzők meghatározását követő lépésben végezhetjük el a felismerési jellegzetességek igazolására szolgáló statisztikai próbákat, melyek közül a szezonális igazolására, trend felismerésére és jellemzésére, valamint a változási pontok helyének meghatározására szolgáló próbákat mutattuk be.

Az igazolt trend további vizsgálatában az exponenciális simítás módszerével a trendvonal olyan közelítéséhez jutottunk, ami lehetővé tette az adatsor felbontását szezonális, trend és véletlen tagokra. A felbontás eredményeként arról kaptunk képet, hogy az egyes tagok mekkora mértékben gyakorolnak hatást a monitoring eredményekre.

Az adatsorok részletes megismerésével lehetőség nyílik olyan modellek megalkotására, amelyek alkalmasak a jövőbeni állapot előrejelzésére. Az előrejelzésben kapott és a ténylegesen mért értékek összehasonlítása igazolta, hogy az exponenciális simításon alapuló állapot-tér modell alkalmas környezeti jellemzők változásának leírására, és használatával ismert valószínűségű előrejelzést készíthetünk a jövőbeli állapotra.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a Csepel II Erőmű vezetését, amiért hozzájárult a náluk született monitoring adatok felhasználásához, feldolgozásához és az eredmények publikálásához.

Köszönettel tartozom a VTK Innosystem Kft. vezetésének a cikk megírásához nyújtott ösztönző támogatásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpening I.J. (1990). STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics* 6 (1), 3–73.

Croux C., Dehon C. (2010). Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures. *Statistical Methods and Applications*, 19, 497-515.

Hipel K.W., McLeod A.I. (1994). Time Series Modeling of Water Resources and Environmental Systems. Elsevier, The Netherlands.

Hyndman R.J., Koehler A.B., Snyder R.D., Grose S. (2002). A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. *International J. Forecasting*, 18 (3), 439–454.

Hyndman R.J., Koehler A.B., Ord J.K., Snyder R.D. (2008). Forecasting with exponential smoothing: the state space approach. Springer-Verlag. <http://www.exponentialsmoothing.net>.

Hyndman R.J., Athanasopoulos G., Bergmeir C., Caceres G., Chhay L., O'Hara-Wild M., Petropoulos F., Razbash S., Wang E. and Yasmeeen F. (2018). `_forecast`: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.4, <URL: <http://pkg.robjhyndman.com/forecast>>.

Lettenmeier D.P. (1988). Multivariate nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Bulletin*, 24, 505-512.

Pohlert T. (2018). trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Tukey, J.W. (1977). Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.

Yue S., Pilon P., Cavadias G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trend sin hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259 (2002) 254-271.

A SZERZŐ



BAGYINSZKI GYÖRGY 1984-ben szerzett vegyészmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki Karán, ahol 1994-ben környezetvédelmi analitikai szakmérnöki oklevelet kapott. A VTK Innosystem Kft. munkatársa 1996 óta, ahol 2000-tól a mintavételi csoport, 2005-től a környezeti technológiák üzletág vezetője. Fő munkaterülete a felszíni- és felszín alatti vizek minőségének, szennyezettségének vizsgálata és értékelése.

Vízügyi múlt képekben

Vörösmarty Mihály: „A múltat tiszteld a jelenben, s tartsd a jövőnek.”

A VÍZDOK megalapítása - 1968. augusztus 1.

50 éve alakult meg a Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda (VIZDOK), későbbi nevén a Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet. Szervezetében működött a Vízügyi Szakkönyvtár, a Magyar Vízügyi Múzeum, az Országos Vízügyi Levéltár, a Vízügyi Továbbképző Központ, valamint a Vízügyi Nyomda.



A VIZDOK igazgatója Marczell Ferenc, az OVH korábbi igazgatási osztályvezetője lett. A kép a Vigadó téren működő egykori Vízügyi Szakkönyvtár egyik munkaszobájában készült, a fotón balról jobbra állnak: Kindlovits Pál, a Könyvtár vezetője, Marczell Ferenc és dr. Gergely István államtitkár, az OVH elnöke.

(FL)

Sekélyvízű tavak szélkeltette áramlásának modellezése hálómertes módszerrel

Tóth Balázs

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

Kivonat

Jelen munkában a vízügyi területen újszerűnek számító hálómertes, simított részecskekinamikai (SPH - smoothed particle hydrodynamics) módszer szélkeltette sekélyvízi áramlásokra történő alkalmazását mutatjuk be. A módszer elméleti háttere alapvetően különbözik a megszokott hálómertes véges térfogatok módszerétől, melynek köszönhetően, más alkalmazásokhoz hasonlóan ezen a területen is számos érdekes és hasznos tulajdonsággal rendelkezik. Az SPH, mint kollokációs módszer, a véges differenciák módszeréhez hasonlóan parciális differenciálegyenletek közelítő megoldásának előállítására alkalmas, a merev és gyakran nehezen kezelhető számítási rácsok alkalmazása nélkül. A módszer fontos tulajdonságai közé tartozik, hogy Lagrange-i szemléletének köszönhetően az Euleri véges térfogatok módszerétől eltérően az áramlást anyagi pontokhoz kötött koordinátákkal írja le. Ennek megfelelően egyrészt, akár gyors lefolyású, nempermanens áramlásokban is hatékonyan teszi lehetővé a szennyezőanyagok keveredésének vizsgálatát, másrészt alkalmas a száraz és elöntött területek, a medergeometriának megfelelően történő természetes kialakítására. Noha a sekélyvízi egyenletek SPH-s megoldására számos példa található a szakirodalomban, a modellek alkalmazása és fejlesztése a megoldók rugalmatlansága miatt jelentős nehézségekkel jár. A Nauticle, a szerző által fejlesztett általános célú, nyílt forráskódú hálómertes részecskealapú numerikus megoldó mind a megoldandó egyenleteket, mind pedig a megoldási módszert tekintve rugalmas számítási környezetet biztosít a matematikai modell felépítésére. A szoftver egydimenziós Riemann-problémán keresztül történő validációját követően a számítások egyszerűsített medergeometriájú négyzet és ellipszis alakú sekélyvízű tavak tesztjeire lettek elvégezve. A számítási eredményeket a szakirodalomban található eredménnyel összevetve igen jó kvalitatív egyezés mutatkozik.

Kulcsszavak

SPH, simított részecskekinamika, szélkeltette áramlás, numerikus modellezés.

Modelling of wind induced flow in shallow lake with a meshless numerical method

Abstract

This paper presents the application of the meshless smoothed particle hydrodynamics (SPH) method as a novel approach to wind induced water flows in shallow lake environment. Since the theoretical background of SPH is fundamentally different from the conventional mesh based finite volume methods, similarly to other application areas, it provides numerous interesting and beneficial properties in the field of hydrology as well. As a collocation technique, analogously to finite difference methods, SPH is suitable for approximating the solution of partial differential equations, however, without the rigid and often tedious application of an underlying numerical grid. In contrast with the Eulerian finite volume methods, one of the major characteristics of SPH is its Lagrangian nature, governing the fluid flows using substantial coordinates. Using the Lagrangian description, on the one hand, the investigation of contamination spreading and mixing is straightforward even in case of highly transient flows, while on the other hand, the evolution of dry and wet areas occurs naturally based on the bed topology without any further consideration of local parameters. Although, several SPH implementations of the shallow water equations exist in the literature, the application and development of the models are highly obstructed by the rigid simulation tools. The open source general purpose particle-based simulation tool Nauticle provides a flexible environment for building free-form equations concerning both the mathematical model and the numerical methods. After, the validation of the software using the implemented numerical model through the one-dimensional Riemann-problem, the calculations were performed on square and ellipse shaped shallow lake test cases. Results show good qualitative agreement with the literature.

Keywords

SPH, smoothed particle hydrodynamics, wind induced flow, numerical modelling.

BEVEZETÉS

A sekély tavak napjainkban folyamatosan növekvő gazdasági, társadalmi, és ökológiai értéke azok vízminőségének és környezetének megóvását, javítását teszi szükségessé. A szélsőségesé váló éghajlati viszonyok, a globális klímaváltozás káros hatásai a tavak ökológiai rendszerére is veszélyt jelentenek, melynek kezelése és megelőzése a tavak áramlási jellemzőinek megismerését is magába foglalja.

A sekély víztestek áramlási folyamatainak, keveredési jellemzőinek megismeréséhez gyakran alkalmazott matematikai modell a mélységátlagolt sekélyvízi egyenlet, melynek esetében a víztestben kialakuló függőleges irányú rétegződéseket átlagoljuk, a függőleges irányú áramláso-

kat elhanyagoljuk. A sekélyvízi egyenletek alkalmazásával a vízszintes irányban a függőlegesnél nagyságrendekkel nagyobb kiterjedésű szabadfelszínű áramlási problémák hatékonyan egyszerűsíthetők anélkül, hogy a nagyléptékű áramlási jelenségek kialakulását jelentős mértékben befolyásolnánk. Bár a víztestet mozgásba hozó hatások forrásának a víz felszínén kialakuló szélnyírófeszültséget tekintjük, a nagyskalájú cirkulációs áramlások kialakulásához további feltétel, vagy feltételek teljesülése szükséges (Józsa 2014). Ilyen, úgynevezett örvényességforrások például a medergradiens hatása (Simons 1980), a partközeli növényzet (Sarkkula 1991, Józsa és társai 1999), vagy a tó felületén kialakuló nem egyenletes szélnyírás (Józsa és társai 1990, Curto és társai

2006). A víztestek nagy tehetetlensége miatt a tavak méretével azonos léptékű áramlási struktúrák kialakulásához tartósan fennálló szélnyírófeszültség szükséges, ezért a szél irányát és nagyságát gyakran állandónak feltételezzük.

A vízmérnöki gyakorlatban kiemelten fontos szerepet töltenek be a numerikus számításokon alapuló térben osztott paraméterű permanens és időfüggő tavi, illetve folyami jelenségeket leíró modellek. A számítógépes kapacitás növekedésével és a numerikus módszerek fejlődésével egyidőben a számítások komplexitása, térbeli felbontása és pontosságának folyamatos növekedése figyelhető meg.

A sekélyvízi modellek numerikus megoldásának széles körben elterjedt eszközei a hálóalapú véges differencia (FDM - finite difference method), véges térfogat (FVM - finite volume method) és végelem módszerek (FEM - finite element method). Ezen konvencionális, hálóalapú módszerek a számítási tartomány numerikus cellákra történő felosztásával a leíró egyenletek diszkrétizációjával, algebrai egyenletek megoldásával közelítik a valós áramlási folyamatokat. Jelentős hátrányuk azonban, hogy a számítási háló generálása nehezen, sokszor egyáltalán nem automatizálható, ezért a megfelelő minőségű számítási rácsháló elkészítésének időigénye sok esetben meghaladja a tényleges számítási időt.

Jelen munka célja a tavi hidraulikában jelenleg kevésbé ismert, újszerűnek számító részecskealapú és hálómertes simított részecskekinematikai módszer bemutatása és alkalmazása egyszerű mederalakkal rendelkező sekélyvízi tavak szélkelte áramlásának vizsgálatára.

A SIMÍTOTT RÉSZECSEKINEMATIKA MÓDSZER

Az SPH módszert először 1977-ben publikálta R.A. Gingold és J.J. Monaghan (Gingold és Monaghan 1977), valamint tőlük függetlenül L.B. Lucy (Lucy 1977). Kezdetben asztrofizikai területen alkalmazták peremfeltételek nélküli, nagy skálájú öngravitáló gázok, csillagok és galaxisok kialakulásának modellezésére. Ezt követően, az 1990-es évek közepén jelentek meg az első alkalmazások folyadékok áramlásának modellezésére (Monaghan 1994), melyek megalapozták a módszer térhódítását áramlástan területén is. Ilyen területek a komplex szabadfelszínű áramlások, például partközeli hullámtörés, többfázisú áramlások, vagy kapcsolt multifizikai számítások. A hagyományos, hálóalapú módszerekhez viszonyított nagy számítási igénye miatt azonban csak a 2000-es évek második felében, a párhuzamos számításokat támogató eszközök elterjedésével vált szélesebb körben is ismertté, alkalmazottá (Héroult és társai 2010 és Crespo és társai 2015). Jelenleg a klasszikus SPH módszert, és annak folyamatosan fejlődő számos specializált változatát töretlenül növekvő figyelem kíséri mind gépészmérnöki, mind vízmérnöki alkalmazások területén.

A módszer alapját képező általánosított interpoláció (konvolúció) az alábbi alakban írható fel:

$$A(r) = \int_{\Omega} A(r') \delta(r - r') dr', \quad (1)$$

ahol $A(r)$ egy tetszőleges r helytől függő függvény, $\delta(r - r')$ az $\epsilon \rightarrow 0$ sugarú Dirac-delta függvény, Ω pedig az r körüli, $\epsilon \rightarrow 0$ sugarú véges tartomány. Az (1) kontinuum azonosság egyrészt a $\delta(r - r')$ függvény, másrészt az analitikus integrálszámítás miatt numerikusan nem alkalmazható. Ezt a két problémát a $\delta(r - r')$ függvény helyettesítésével, valamint a kontinuum értelmezési tartomány diszkrétizálásával oldhatjuk fel. A $\delta(r - r')$ függvény helyettesítésére egy arra alkalmas véges hatósugarú $\phi(r - r', h)$ simítófüggvényt szokás használni, ahol h a függvény hatósugarával arányos paraméter. A $\phi(r - r', h)$ függvény tulajdonságait J.J. Monaghan munkája foglalja össze (Monaghan 2005), terjedelme miatt itt nem részletezzük. A gyakorlatban széles körben elterjedt simítófüggvény az ötödfokú Wendland-polinom:

$$\phi(q) := \alpha_2 \left(1 - \frac{q}{2}\right)^4 (2q - 1), \quad (2)$$

ahol $\alpha_2 = 7/(4\pi h^2)$ a függvény normalizálásához szükséges konstans, valamint $q = r/h$. A függvény hatósugara a (2) alaknak megfelelően $2q$. A simítófüggvénnyel felírt konvolúció pedig

$$A(r) \approx \int_{\Omega} A(r') \phi(r - r', h) dr', \quad (3)$$

ami jelen formájában már csak egy közelítő összefüggés, hiszen ebben az esetben az $A(r)$ függvény simítását véghezvük el egy véges szélességű kompakt tartójú aluláteresztő $\phi(r - r', h)$ szűrővel. Végül, a kontinuum értelmezési tartomány diszkrét anyagi pontokra történő leképezésével előállítható a diszkrét konvolúció:

$$\langle A_i \rangle = \sum_j A_j \phi_{ij} V_j, \quad (4)$$

ahol a jobb oldalon az i -edik pont környezetében elhelyezett j -edik anyagi pontokhoz tartozó $A_j = A(r_j)$ értékek $\phi_{ij} = \phi(r_i - r_j, h)$ -vel súlyozott összege szerepel. A $V_j = m_j/\rho_j$ a pontokhoz (részecskékhez) rendelt véges elemi térfogat, m_j és $\rho_j = 1000 \text{ kg/m}^3$ rendre a j -edik részecskéhez rendelt tömeget és térfogatot jelölik.

Az A függvény részecskéken értelmezett deriváltjainak számítására a levezetés részleteinek elhagyásával az alábbi diszkrét differenciál-operátorokat használhatjuk (Monaghan 2005, Violeau 2012):

$$\langle \text{div}(\vec{A})_i \rangle = \sum_j (\vec{A}_j - \vec{A}_i) \frac{m_j}{\rho_j} \nabla \phi_{ij}, \quad (5)$$

$$\langle \text{grad}(A)_i \rangle = \rho_i \sum_j \left(\frac{A_i}{\rho_i^2} + \frac{A_j}{\rho_j^2} \right) m_j \nabla \phi_{ij}, \quad (6)$$

$$\langle \Delta(A)_i \rangle = \sum_j 2(A_j - A_i) \frac{\vec{r}_{ij}}{|\vec{r}_{ij}|^2} \frac{m_j}{\rho_j} \nabla \phi_{ij}. \quad (7)$$

A (5-7) operátorokat felhasználva a kívánt differenciálegyenlet kontinuum deriváltjai lecserélhetők diszkrét, algebrai kifejezésekre, és a megoldandó parciális differenciálegyenletből N darab közönséges differenciálegyenlet áll

elő, ahol N a szimulációban alkalmazott részecskék száma. A közönséges differenciálegyenlet-rendszer tehát felfogható egy anyagi pontokból álló dinamikai rendszer mozgásegyenleteként.

A MATEMATIKAI MODELL

A sekélyvízi egyenletek célja a függőlegesnél vízszintes irányokban nagyságrendekkel nagyobb méretű víztestek áramlási folyamatainak hatékony modellezése a mélység irányában átlagolt sebességmező figyelembevételével. Ezzel a megközelítéssel a háromdimenziós problémák két-dimenzióssá redukálhatók. A sekélyvízi egyenletek a következő alakban írhatók fel x és y irányban:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -g \frac{\partial(b+z)}{\partial x} + S_{sx} + S_{bx}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial(b+z)}{\partial y} + S_{sy} + S_{by}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$S_s = \frac{k_v |\bar{w}| w}{b},$$

$$k_v = \begin{cases} 1.2 \cdot 10^{-6} & \text{ha } |w| < 5.6 \frac{m}{s}, \\ 1.2 \cdot 10^{-6} + 2.25 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{5.6}{|w|}\right)^2 & \text{ha } |w| \geq 5.6 \frac{m}{s}, \end{cases} \quad (10)$$

Itt \bar{w} a szélsébségvektor a vízfelszíntől 10 m magasságban, amely jelen cikkben térben és időben egyaránt konstans, és $|\bar{w}| = 10$ m/s. A meder nyírásának hatása pedig:

$$S_b = -\frac{gn^2 |\vec{v}| v}{b^{4/3}}, \quad (11)$$

ahol jelen cikkben az $n = 0,02$ s/m^{1/3} a Manning-féle mederérdességi együttható.

A (9)-es sekélyvízi egyenletek SPH-s diszkrétizáció lépéseinek (Xia és társai 2013) terjedelme miatt az egyenleteknek csak a végső alakját mutatjuk be.

$$b_i = \sum_j V_j \phi_{ij} - \sum_j (z_j - z_i) \frac{V_j}{b_j} \phi_{ij}, \quad (12)$$

$$\frac{d\vec{v}_i}{dt} = -g \sum_j V_j \nabla \phi_{ij} - g \nabla z - g \frac{n^2 |\vec{v}| \vec{v}}{b^{4/3}} + \frac{k_v |\bar{w}| \bar{w}}{b} + D(\vec{v}), \quad (13)$$

ahol $D(\vec{v})$ a numerikus stabilitást elősegítő mesterséges diffúziót, disszipációt reprezentálja. A mesterséges diffúzió hatásának csökkentését a véges térfogat módszernél ismert MUSCL (Monotonic Upstream-centered Scheme for Conservation Laws) séma SPH implementációjának segítségével valósítottuk meg (van Leer 1979, Monaghan 1997). A (13)-as egyenletben szereplő ∇z gradiens példánkban az egyszerűsített medergeometriának köszönhetően analitikus úton előállítható. A vízmélységeknek megfelelően pedig a részecskékhez tartozó, a folyadékoszlop

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \left(\frac{\partial b u}{\partial x} + \frac{\partial b v}{\partial y} \right) = 0$$

ahol u és v a mélységátlagolt sebességkomponensek x és y irányban, $g = 9,81$ m/s², b és z rendre a vízmélység és a meder geodéziai magassága, S_s és S_b a szél és a meder nyírófeszültségéből származtatott forrástagok. A két komponens egy egyenletben felírva és figyelembe véve, hogy lagrange-i vonatkoztatási rendszerben a (8) bal oldalán álló lokális és konvektív tagok szubsztanciális deriváltaként írhatók fel, az egyenlet az alábbi alakot ölti:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \nabla \vec{v} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -g \nabla(b+z) + S_s + S_b, \quad (9)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \vec{v} \nabla b = \frac{db}{dt} = -b \nabla \vec{v}.$$

A szélnyírásból származó forrástag nagysága az alábbiak szerint számolható (Dean és Dalrymple 1991):

Az SPH modell a sekélyvízi egyenleteket a kétdimenziós térben mozgó anyagi pontok dinamikájára redukálja, melyben az anyagi pontokhoz egyenlő térfogatú folyadékoszlopokat rendelünk hozzá, ahol a folyadékoszlopok magassága az adott ponthoz tartozó mélységgel egyezik meg. A diszkrét folyadékoszlopok egyik fontos tulajdonsága, hogy a véges térfogat módszer celláival ellentétben az áramlással együtt, anyagi (lagrange-i) pályákon haladva írják le a víztest mozgását. Természetesen a folyadékoszlopok térfogatát állandónak feltételezve a meder- és felszín-alaknak megfelelően a vízmélység változásával időben a folyadékoszlopok átmérője is változik. Az i -edik folyadékoszlophoz, részecskéhez tartozó mélységet és gyorsulást az alábbi összefüggésekkel számíthatjuk:

sugarával arányos hatósugár:

$$R_i = R_0 \sqrt{\frac{b_0}{b_i}}, \quad (14)$$

ahol R_0 és b_0 rendre a kezdeti sugár és vízmélység. A kapott (12-14) egyenletrendszer a (15) elsődrendű félimplicit séma szerinti numerikus integrálásával kellő időlépés után kialakul a permanens áramlási kép.

$$\begin{aligned}\bar{v}_i^{n+1} &= \bar{v}_i^n + \Delta t \left. \frac{d\bar{v}_i}{dt} \right|^n, \\ \bar{r}_i^{n+1} &= \bar{r}_i^n + \Delta t \bar{v}_i^{n+1}.\end{aligned}\quad (15)$$

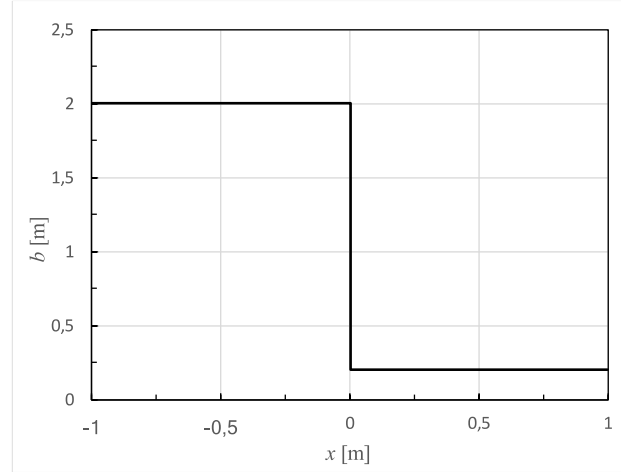
Itt \bar{r}_i^n az i -edik részecske n -edik időlépéshez tartozó pozícióját jelenti, a felső index az időlépés számát jelöli. Az integrálást természetesen magasabb rendű numerikus sémával is végezhetjük.

SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben a részecskealapú SPH módszer sekélyvízi modelljének alkalmazását mutatjuk be az egydimenziós Riemann-problémára, illetve egyszerűsített geometriájú tavak esetére. Mivel a leíró egyenletei teljes mértékben kompatibilisek a sekélyvízi egyenletekkel, továbbá az egydimenziós esetének megoldása jól ismert, ezért a Riemann-probléma a numerikus sémák egyik gyakran alkalmazott validációs tesztje. A részecskealapú megoldó segítségével implementált sekélyvízi modell igazolását az 1. ábrán látható kezdeti feltételű egydimenziós gátszakadási problémán keresztül végeztük el.

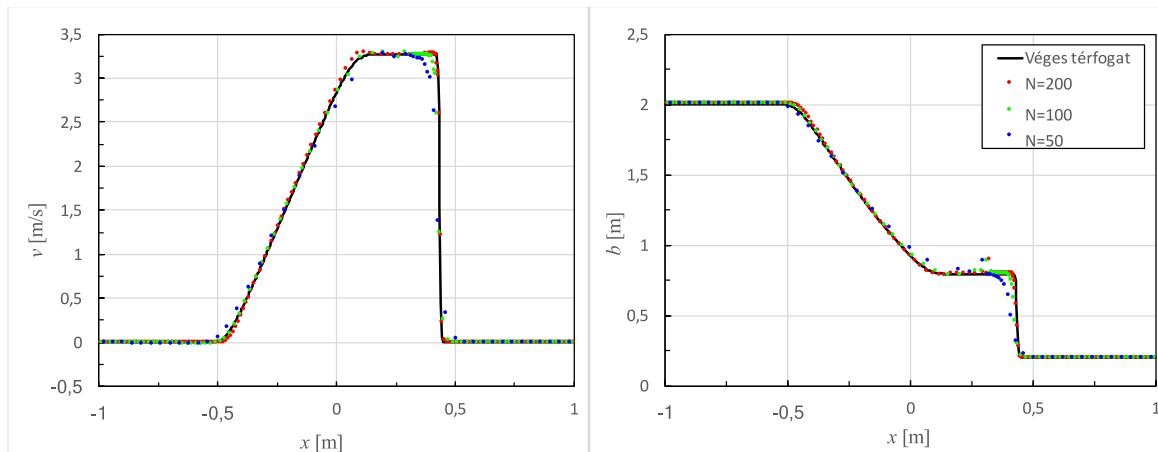
A szimuláció eredményeit a $t = 0.1$ s időpillanatban értékeltük ki, és hasonlítottuk össze a jól ismert véges térfogat módszer eredményeivel. A 2. ábra két diagramja mutatja a számítási tartományon a sebesség és mélység alakulását;

a Nauticle eredményei kiváló egyezést mutatnak a végestérfogat módszerrel, még alacsony részecskeszám esetén is. Természetesen a MUSCL séma alkalmazása csak a lökéshullám jelenléte, azaz a mélységfüggvény szakadása miatt indokolt, a szélkeltette tavi áramlások modellezésekor, folytonos kezdeti feltétel és geometria miatt nincs jelentős szerepe.



1. ábra. Az 1D Riemann-probléma kezdeti feltétele a gátszakadás esetére

Figure 1. Initial condition of the 1D Riemann-problem for the dam break case



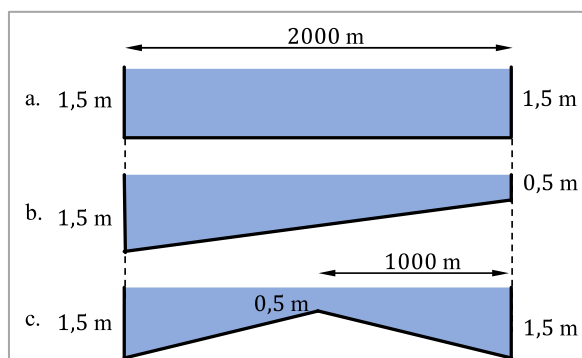
2. ábra. Az 1D Riemann-probléma közelítő megoldása SPH-val és véges térfogat módszerrel. A sebesség (bal) és mélység (jobb) alakulását a $t = 0,1$ s-nál értékeltük ki

Figure 2. Approximate solution of the 1D Riemann-problem using SPH and finite volume method. The local velocity (left) and depth (right) are evaluated at instant $t = 0.1$ s

A Nauticle segítségével felépített egydimenziós sekélyvízi modell igazolását követően kiterjeszhető a modell a kétdimenziós egyszerűsített tavi esetekre. A vizsgált 2 km élhosszúságú négyzet alapterületű tavak kelet-nyugat irányú metszeteit mutatja a 3. ábra. Az a., sík meder esetében a medergradiens a tó minden pontjában nulla, ezért konstans szélnyírás mellett a rendszer nem rendelke-

zik rotációforrással, tehát a sekélyvízi egyenlet triviális megoldásaként a tó vize nyugalomban kell, hogy maradjon. A medergradiens hatására a b. esetben egyes, a c. esetben pedig a medergradiens előjelváltása miatt kettős körkörös áramlás kialakulását várjuk. A negyedik tesztet egy ellipszis alakú, $R_1 = 0,7$ km és $R_2 = 1,25$ km sugarú tó, melynek mederfenék alakját az alábbi függvény definiálja:

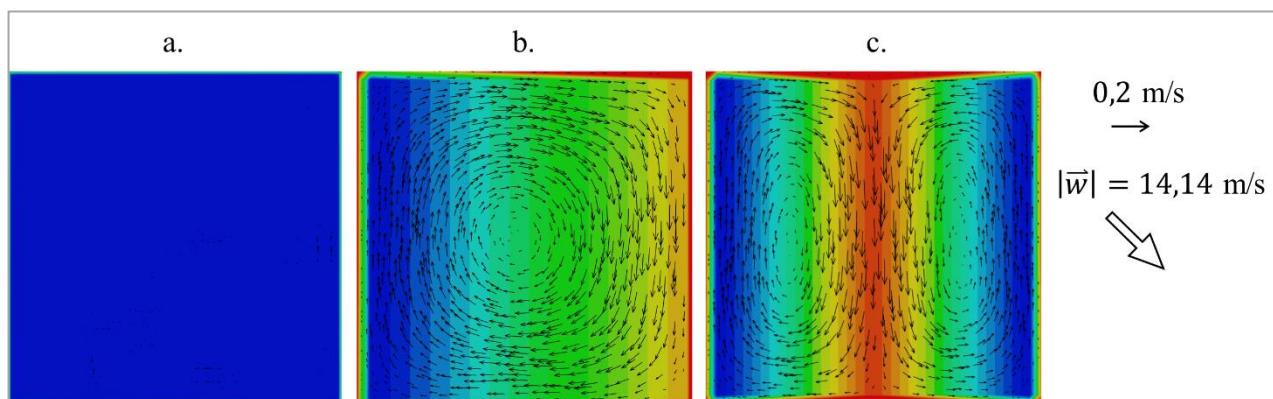
$$z(x, y) = 2 \cdot 10^{-6} \left(x^2 + \left(\frac{y}{2} \right)^2 \right) - 2 \quad (16)$$



3. ábra. Az egyszerűsített, négyzet alakú sekélyvízű tavak mederalakjának metszete
Figure 3. Cross-section of the simplified bed of the square-shaped lakes

A numerikus modellben a részecskék kezdetben egy egyenközű rács csomópontjaiban lettek elhelyezve, mind

a három szimulációban 3000, míg az ellipszis alakú tóban 4500 részecskét alkalmaztunk.



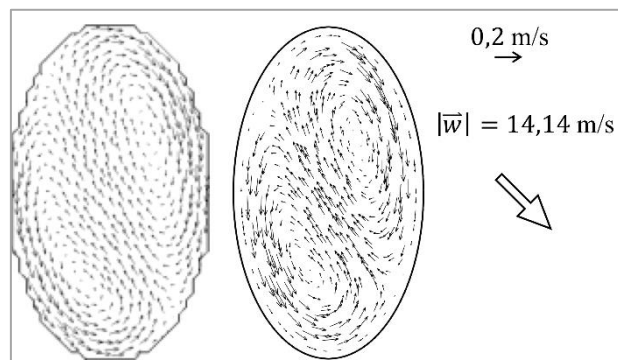
4. ábra. Permanens sebességmező az a. és b. esetben. A \bar{w} szélességvektor mind a három esetben a nyíl által mutatott északnyugati irányú. A színskála a mederfenék geodéziai magasságát mutatja
Figure 4. Permanent velocity field in the case a. and b. The wind velocity vectors \bar{w} are the same in both cases, as shown by the arrow on the right. The colors mark the bed elevations

A számításokban alkalmazott felszíni nyírófeszültséget a tó felszíne fölött időben állandó, a tó felszínétől mérve 10 m magasságban $|\bar{w}| = 14,14 \text{ m/s}$ sebességű, északnyugati irányú szélnek megfelelő értékre állítottuk be. A szélsebesség nagyságát a tavak teljes felszínén hely és idő szerint is állandónak feltételeztük. A tó vize kezdetben nyugatban volt, az áramlás permanens jellege a szimulációs idő szerint néhány óra után elfogadható mértékben kialakult, a cikkben közölt eredmények a 25. órát követő állapotot mutatják (4. ábra). Az elvárásoknak megfelelően a tavakban a mélység változásának megfelelően az b. esetben egy, míg a c. esetben kettős cirkuláló áramlási struktúra alakult ki, az áramlás maximális sebessége pedig mind a két esetben $\sim 0,2 \text{ m/s}$ nagyságú. Mivel a mélységgradiens értéke zérus és más örvényességforrás sem szerepel a modellben, az a. esetben nem alakul ki áramlás a tóban.

Végül az utolsó, ellipszis alakú tó esetében a part felé közeledve növekvő mélységgradiens miatt szintén kettős cirkuláló áramlási kép alakult ki (5. ábra).

A tó felszínének a nyugalmi szinthez képesti maximális kitérése 20 és 25 cm között alakult. Az ellipszis alakú tóban kialakuló áramlási kép jó kvalitatív egyezést mutat a szakirodalomban ismertetett számítással (Curto és társai 2006), ám a mértékadó áramlási sebességek nagyságát az SPH modell alul becsüli. A számítási eredmények kvalitatív igazolásával a modell további fejlesztése megalapozottnak tekinthető, az eredmények kvantitatív kalibrálását

követően pedig turbulens jelenségek, térben változó szél-nyírás, például belső határréteg-moddellel (Krámer 2006), végül pedig valós medergeometriájú tavak vizsgálata is lehetségessé válhat.



5. ábra. Ellipszis alakú tóban kialakuló kettős cirkuláló áramlás a szakirodalom szerint (Curto és társai 2006) (bal) és az SPH szerint (jobb)

Figure 5. Double circulating flow in the ellipse shaped lake according to the literature (Curto et al. 2006) (left) and SPH (right)

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉS

A tavi hidraulikában újszerűnek számító részecskealapú megközelítés számos jelentős előnnyel kecsegtet a hálóalapú euleri módszerekhez képest. Ilyen előnyök például a szennyezőanyag-terjedés lagrange-i szemléletből

adódó természetes megközelítése, a számítások hatékony párhuzamosíthatósága, valamint a gyakran nehézkes és időigényes numerikus hálógenerálás szükségtelensége.

A cikkben az SPH módszer rövid ismertetése mellett bemutatjuk annak alkalmazhatóságát sekélyvízi testeseken keresztül. A Nauticle, a szerző által fejlesztett részecskealapú numerikus megoldó Riemann-problémán keresztül történő validációját követően, egyszerűsített merdegeometriájú, négyzet és ellipszis alapterületű tavakon végzett számítások eredményei megmutatják, hogy a lagrange-i SPH módszer alkalmas a sekélyvízi tavak szélkeltette áramlásának kvalitatív modellezésére.

A jelen munkában alkalmazott modell egyik legnagyobb hátránya, hogy az időben változatlan térfogatú folyadékoszlopok sugara fordítottan arányos a mélységgel, aminek káros hatása, hogy az elvárásokkal ellentétben a partközeli tartományok térbeli felbontása durvább, a tavak belső, mélyebb területein pedig finomabb. A probléma a részecskék felosztásával és egyesítésével orvosolható (Vacondio és társai 2012), ám ennek alkalmazásával a módszer robusztussága sérülhet. A széles körben alkalmazható, a fenti problémáktól mentes robusztus részecskealapú numerikus sekélyvízi SPH modell fejlődése jelenleg is folyamatban van.

IRODALOM

Crespo A. J. C., Domínguez J. M., Rogers B. D., Gómez-Gesteira M., Longshaw S., Canelas R., Vacondio R., Barreiro A., García-Feal O. (2015). DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). *Computer Physics Communications*, 187, 204–216.

Curto G., Józsa J., Napoli E., Lipari G., Kramer T. (2006). Large scale circulations in shallow lakes. *Vorticity and Turbulence Effects in Fluid Structure Interactions*, 25, 83–104.

Dean R. G., Dalrymple R. A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists 2*.

Gingold R. A., Monaghan J. J. (1977). Smoothed particle hydrodynamics - theory and application to non-spherical stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181, 375–389.

Hérault A., Bilotta G., Dalrymple R. A. (2010). SPH on GPU with CUDA. *Journal of Hydraulic Research*, 48, 74–79.

Józsa J. (2014). On the internal boundary layer related wind stress curl and its role in generating shallow lake

circulations. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1), 16–23.

Józsa J., Sarkkula J., Tamsalu R. (1990). Calibration of modelled shallow lake flow using wind field modification. *Proc. VIII. International Conference on Computational Methods in Water Resources, Venice, Italy, CMP/Springer*, 165–170.

Józsa J., Sarkkula J., Krámer T. (1999). Wind induced flow in the pelagic zones of Lake Neusiedl. *Proceedings of XXVIII. IAHR Congress, Graz*.

Krámer T. (2006). Solution-adaptive 2D modelling of wind-induced lake circulation. *PhD thesis*.

Lucy L. B. (1977). A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. *The Astronomical Journal*, 82, 1013.

Monaghan J. J. (1994). Simulating free surface flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110(2), 399–406.

Monaghan J. J. (1997). SPH and Riemann Solvers. *Journal of Computational Physics*, 136, 298–307.

Monaghan J. J. (2005). Smoothed particle hydrodynamics. *Reports on Progress in Physics*, 68, 1–34.

Sarkkula J. (1991). Measuring and modelling wind induced flow in shallow lakes. *Hydrology of Natural and Manmade Lakes*, 206, 219–226.

Simons T. (1980). Circulation Models of Lakes and Inland Seas. *Canadian Bulletin of Fisheries & Aquatic Sciences*, 203, 146.

Tóth B. (2017). Nauticle: a general-purpose particle-based simulation tool. *Preprint, arXiv:1710.08259*

Vacondio R., Rogers B. D., Stansby P. K. (2012). Accurate particle splitting for smoothed particle hydrodynamics in shallow water with shock capturing. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 69, 1377–1410.

van Leer B. (1979). Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second-order sequel to Godunov's method. *Journal of Computational Physics*, 32(1) 101–136.

Violeau D. (2012). *Fluid Mechanics and the SPH Method. Oxford University Press*.

Xia X., Liang Q., Pastor M., Zou W., Zhuang Y. F. (2013). Balancing the source terms in a SPH model for solving the shallow water equations. *Advances in Water Resources*, 59, 25–38.

A SZERZŐ



TÓTH BALÁZS Numerikus áramlástanai modellezési területre szakosodott okleveles gépészeti modellező mérnök. Jelenleg tudományos segédmunkatársként dolgozik a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén. E-mail: toth.balazs@epito.bme.hu

Biofilmképző baktériumok szerepe a termásvíz visszasajtolásban

Osvald Máté*, Maróti Gergely****, Pap Bernadett**, Szanyi János*

* Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék; (E-mail: osimate@gmail.com)

** MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Növénybiológiai Intézet, Szeged;

*** Szent István Egyetem, Agrár- és Gazdaságtudományi Kar, Tessedik Campus, Szarvas

Kivonat

A hőmezővásárhelyi geotermikus rendszerben a kitermelő kutak vizét két kútba sajtolják vissza a felszín alá. Ezen visszasajtoló kutak közül az újabb építésű (II. számú) a régebbi kúthoz (I. számú) képest sokkal hamarabb eltömődik, emiatt sűrűbben kell cserélni a szűrőjét, ami gazdasági szempontból jelentős kiadás. A kutak üzemeltetőinek tapasztalatai és vizsgálatai alapján nem szervesen anyagok tömítik el az új kút szűrőjét, hanem valamilyen biológiai rendszer játszik ebben szerepet. Vizsgálataink célja volt, hogy kiderítsük, milyen élőlények tömítik el a szűrőt és miért csak az egyik visszasajtoló kútnál. Ehhez korszerű technológián alapuló, újszerű mérési módszerrel: metagenomikai szekvenálással határoztuk meg a szűrőket eltömítő anyag összetételét. Összehasonlítva a két kút szűrőjéből kapott eredményeket arra jutottunk, hogy a II. számú kút gyorsan eltömődő, baktériumflórája nem olyan széles spektrumú, mint a jól működő I. számú kúté. A *Magnetospirillum* nemzetségbe tartozó Gram-negatív mikroaerofil baktériumok lényegesen dominánsabbá tudtak válni a II. számú rendszerben. Ennek a különös dominanciának az okát a kémiai vízvizsgálat magyarázta meg, ugyanis a II. számú visszasajtoló rendszeren végig haladó víz két nagyságrenddel több fenolt tartalmaz, mint az I. számú visszasajtoló rendszer vize. A magas aromás vegyület-tartalom miatt voltak képesek megjelenni ilyen nagy számban a baktériumok. A probléma kezelésére UV fényel történő vízfertőtlenítést javasoltunk. Ezen kutatás eredményeit a jövőben létesítendő geotermikus rendszerek tervezésekor célszerű figyelembe venni, különösen azon esetekben, ahol a kémiai vízminőségtől függően számítani lehet a baktériumok megjelenésére.

Kulcsszavak

Baktérium, biofilm, geotermikus energia, visszasajtolás, metagenomika.

Biofilm forming bacteria during thermal water reinjection

Abstract

To cope with humanity's growing energy demands, alternative - and renewable energy sources are indispensable. The utilization of geothermal energy is only renewable if the wastewater is reinjected into the reservoir to maintain pressure and to dispose the heat-depleted fluid. Reinjection is an essential part when utilizing geothermal energy. In our research two, independent reinjection systems were studied in the Hungarian Southern Great Plain. The motivation of our research was to find out why one of the two reinjection systems' surface filters were clogged much faster. Our investigations, which combined the proven conservative methods were combined with the newest biological sequencing innovations, found that, the reinjected – therefore the produced – water's chemical oxygen demand, phenol index and BTEX composition basically determines the appearing flora on the surface. When the concentration of these compounds in the thermal water is significant, certain bacteria – in this case, *Magnetospirillum* species - can be much more dominant than others, thus able to form a biofilm that plugs the surface equipment much more than it is expected. To handle the problem, disinfection of the water by ultraviolet light was suggested.

Keywords

Bacteria, biofilm, geothermal energy, reinjection, metagenomics.

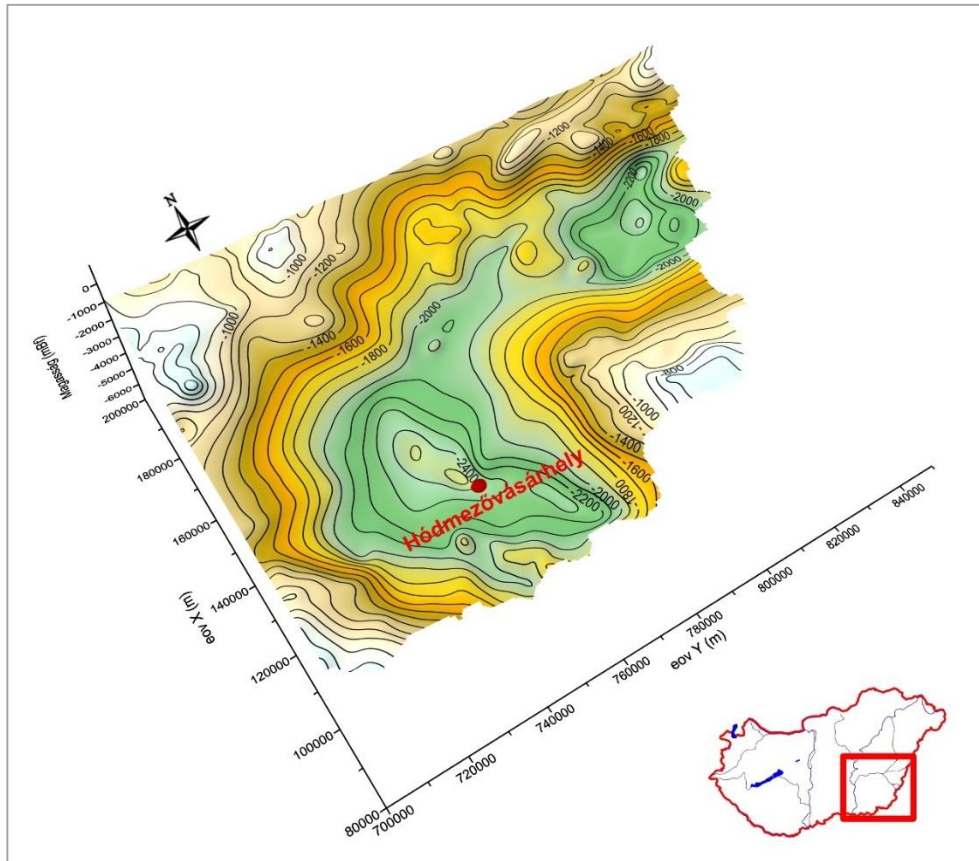
BEVEZETÉS

Az emberiség növekvő energiaigényének kielégítésére szükség van alternatív- és megújuló energiaforrások használatára. A geotermikus energia nem megújuló energiaforrás, ha a kitermelt víz nem kerül visszasajtolásra. A visszasajtolás egy környezetbarát fluidum elhelyezési technológia, amely elengedhetetlen a rezervoár nyomásának fenntartása érdekében (Szanyi és társai 2011).

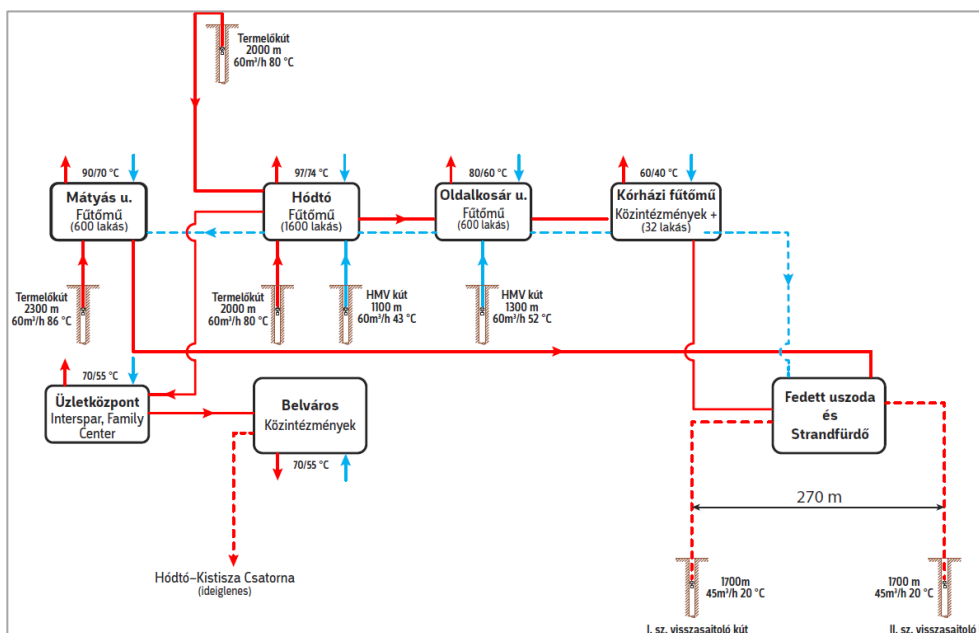
A Kárpát-medence földtani szempontból egy nagy üledékes medence, melynek aljzatát különböző mértékben lecsüllyedt medencék és sasbércszerű kiemelkedések tagolják. A felső-pannóniai korú üledékek vastagsága a Dél-Alföldön különösen nagy, Hódmezővásárhely-Makói árokban elérheti az 1800 métert (1. ábra). A rétegek inhomogenitása miatt a felső-pannóniai üledékek víztároló és vízadó képessége még viszonylag közeli területeken is jelentősen különbözhet. A változékony összetétel ellenére az

üledékes medence hidraulikusan folytonosnak tekinthető (Tóth 1995). Hódmezővásárhely térségében a felső-pannóniai rezervoár permeabilitása – jól vezető homok rétegek esetén – a 2000 mD-t is elérheti, ami 5-10 m/nap szivárgási tényező értéknek feleltethető meg (Szanyi és társai 2013).

Közép-Európa egyik legrégebben üzemelő geotermikus kaszkárendszer Hódmezővásárhelyen található, mely használati melegvizet és távhőt szolgáltat mintegy 3000 lakás, számos középület (városháza, általános és középiskolák, könyvtárak, sportcsarnok) és a városi fürdő számára. A távhő szolgáltatást 3 db 1800 és 2300 m között szűrőzött, 85-90 °C hőmérsékletű vizet adó kút biztosítja, míg a használati melegvizet 2 db 1000 és 1300 m között megnyitott, 43-50 °C hőmérsékletű kút adja. A rétegenergia fenntartására és a felszíni befogadók terhelésének csökkentésére a már nem hasznosítható, lehűlt fluidum elhelyezésére 2 visszasajtoló kutat is létesítettek (2. ábra).



1. ábra. Felső-pannoniai korú képződmények fekü mélysége a Dél-Alföldön (mBf) saját és MÁFI-kutatatok alapján
Figure 1. Depth of Upper Pannonian formations in the Southern Great Plain of Hungary



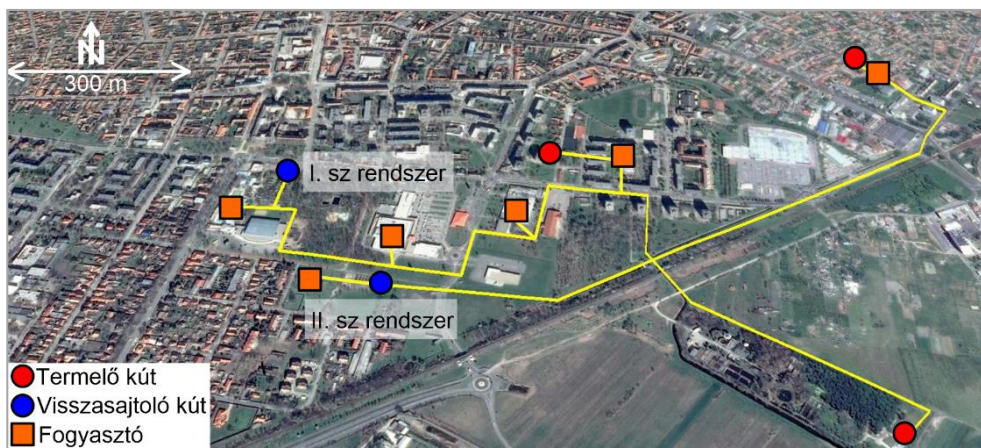
2. ábra. Hódmezővásárhelyi Geotermikus kaszkárendszer sematikus rajza (Szanyi és társai 2013)
Figure 2. The schematic drawing of the cascade system in Hódmezővásárhely (modified after Szanyi et al. 2013)

A városi geotermikus rendszert két termálkör alkotja, melynek éves hozama 350.000 és 420.000 m³ között alakul. A kitermelt termálvíz egyharmada került visszasajtolásra 1998 óta, illetve további egy harmad 2008 óta, összesen két besajtoló kútba, a kaszkárendszer végén (3. és 4. ábra) (Szanyi és Kovács 2010). Kutatásunk során két egymástól független hódmezővásárhelyi visszasajtoló rendszert vizsgáltunk, és azt tapasztaltuk, hogy a II.

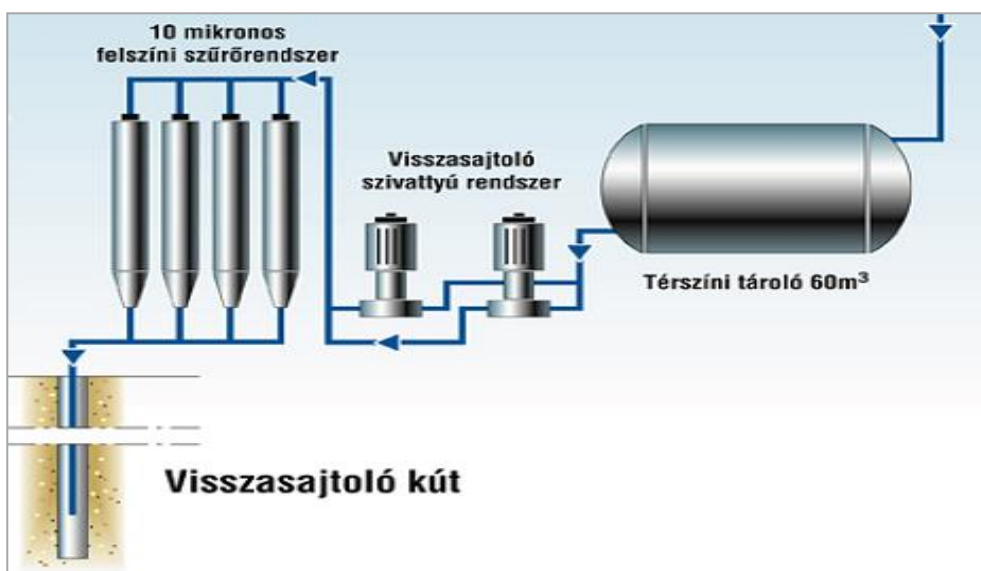
számú rendszer szűrői sokkal gyorsabban tömődnek el. A kutak üzemeltetőinek megfigyelései és vizsgálatai alapján a II. számú visszasajtoló kút eltömődése nem szervetlen anyagok, hanem inkább nagy mennyiségű szerves komponensek lerakódása miatt következhetett be. A szűrők néhány száz m³ víz áthaladása utáni gyakori cseréje – a megnövekedett élőmunka ráfordítás, illetve az anyagköltség miatt – megdrágítja a visszasajtolást és rontja az

üzembiztonságot. Célunk a biológiai eredetű eltömődés összetételének meghatározása, megjelenésének oka és helye kiderítése és a probléma megoldása, hiszen ezzel a

visszasajtolás költségei csökkenthetők lennének, ami a hosszútávú fenntarthatóság egyik garanciája (Osvald és társai 2013).



3. ábra. Geotermikus kaszkárendszer Hódmezővásárhelyen
Figure 3. Geothermal cascade system in Hódmezővásárhely



4. ábra. A termálvíz visszasajtoló mű főbb részegységei (Kurunczi 2008)
Figure 4. The main parts of the thermal water reinjecting system (Kurunczi 2008)

Annak kiderítésére, hogy milyen élőlények gyűlnek össze a szűrőn, illetve az egyik szűrő miatt telítődik nagyságrendekkel gyorsabban a másikkal, mintát vettünk mindkét szűrőből és vízmintákat a csővezetékrendszer több pontján. Majd a jelenség magyarázatát konzervatív vizsgálati módszerek (mint például izolálás, táptalajon történő szélesztés és telepszámlálás) és modern biológiai eljárások (DNS szekvenálás) segítségével kerestük (Czinkota és társai 2015). Modern metagenomikai módszerrel olyan életterek mikrobiális közösségeit vizsgálhatjuk, amelyek számos alkotója laboratóriumban nem tenyészthető, hagyományos mikrobiológiai módszerekkel nem tanulmányozható.

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

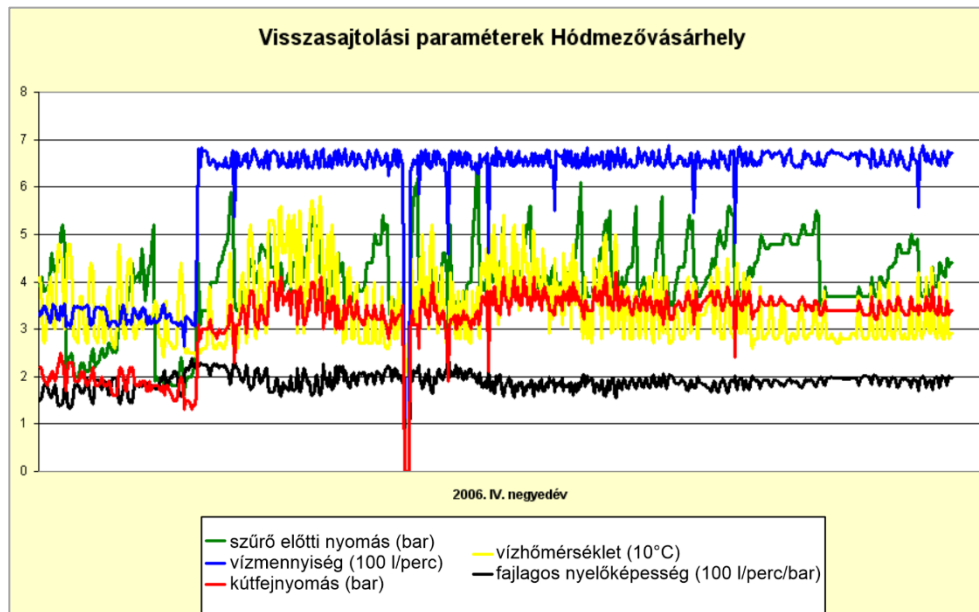
Az I. számú visszasajtoló kút (B-1094 jelű) 1998-ban mélyült 1685,5 méter, a II. számú visszasajtoló kút (B-1103 jelű) 2007 végére került üzembe, 1702 méter talpmélységgel. Az I. számú kútba 30 m³/óra hozammal, a II. számú

kútba 40 m³/óra hozammal történt a visszasajtolás. A nyomás a szűrők előtt 2 és 6 bar között volt, a kútfejen pedig 1,5 és 4 bar között; a szűrők telítettségétől függően. A használt szűrők típusa: Johnson fémszűrő körül polipropilén szövetszűrő, 30 µm garantált pórusmérettel, azonban ez a gyakorlatban 10 µm-re csökkenhetett a felületi adszorpció miatt (Ádók 2014, Szanyi és Kovács 2010). Fontos megjegyezni, hogy az I. számú kút visszasajtoló rendszer esetén a kút előtti puffertartály térfogata 60 m³, a II. számú kút visszasajtoló rendszer esetén 100 m³. Ezen puffertartályok technológiai szerepe a visszasajtolás energiaigényének csökkentése által, hogy egy (általában másfél méternyi) vízoszlop magassággal nyomást biztosítanak, amely a kútba történő besajtolást könnyíti meg. Így a puffertartályok üzem közben jelentős mennyiségű geotermikus fluidumot tartalmaznak, amelyben (áramlási útvonaltól függően) pangó zónák alakulhatnak ki.

A visszasajtoló kutak fizikai paramétere

Az 5. ábra szemlélteti a visszasajtolás során mért fizikai paramétereket (szűrő előtti nyomás, vízmennyiség, kútfajnyomás, vízhőmérséklet, fajlagos nyelőképesség)

egy átlagos fűtési szezon ideje alatt. Ezek alapján a visszasajtoló víz hőmérséklete 27 és 58 °C között volt, amely mellett kb. 2500-5000 m³ átáramlott vízmennyiség után volt szükséges a szűrők cseréje.



5. ábra. A visszasajtolás során regisztrált fizikai paraméterek. A paraméterek utáni egységek jelentik a tengely skáláját (Szanyi és társai 2013)

Figure 5. Physical parameters registered during reinjection. The units after each parameter mean scale for the axis (Szanyi et al., 2013)

A két vizsgált rendszer elektronikus adatrögzítő technológiája is különbözik, amely a II. számú rendszer esetében nem tette lehetővé az adatok hasonló ábrázolását. Emiatt visszamenőleg adatok nem állnak rendelkezésre, csak a mintavételkor mért értékeket vettük figyelembe. A fűtési szezon alatt a II. számú rendszerben átlagosan kétnaponta érte el a szűrő előtti nyomás azt az értéket, ami miatt szűrőcsere szükséges. A vizsgálataink olyan szűrőmintából származnak, amely a szűrőcsere után 3 órával eltömődött.

A termálvíz kémiai vízminősítése

Termálvízből oldott komponensek a MSZ 1484-3:2006, fenolindex a MSZ 1484-1:2009 és BTEX vegyületek (Benzol, Toluol, Etil-benzol, Xilolok) a MSZ 1484-4:1998 szabvány szerint kerültek meghatározásra az Alsó Tisza-vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség NAT által akkreditált mérőközpontjában.

Totál DNS izolálás, újgenerációs szekvenálás, metagenomikai elemzés

Szűrőcsere után a két visszasajtoló kút polipropilén szövetű szűrőiből mintát vettünk, a szűrő szárait steril csipeszek segítségével meglazítottuk, majd erős rázatással a szűrőbe rakódott anyagokat vízbe mostuk. Centrifugálás után a leülepedett mintákból totál DNS-t izoláltunk a Pap és társai (2015) által leírt módszer alapján. A megtisztított DNS szekvenciáját Ion Torrent újgenerációs szekvenáló berendezéssel, az Ion Torrent PGM 316-os chip-jén meghatároztuk. A nyers metagenom szekvenciák elemzését az MG-RAST szerver segítségével készítettük el (Meyer és társai 2008). Ezzel a módszerrel meghatároztuk a szűrőkön lévő mikrobaközösség összetételét (Osvald 2014).

Baktériumok megjelenésének lokalizációja

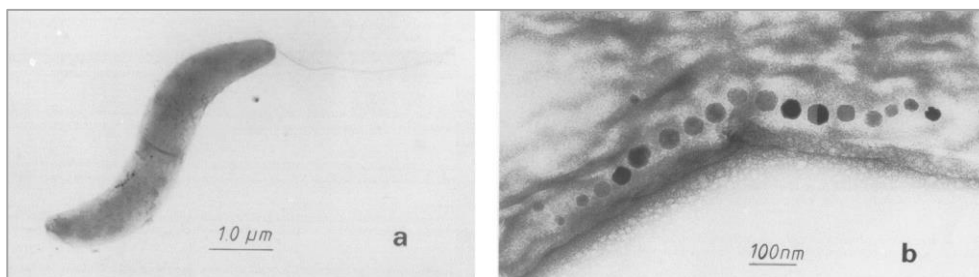
Miután meghatároztuk a szűrőkön domináns élőlényeket, megpróbáltuk kideríteni, hogy ezek a II. számú visszasajtoló kút csővezetékrendszerének mely szakaszán jelennek meg. Ennek érdekében, ahol csak lehetett, vízmintát vettünk a II. rendszerből, és ezeket a vízmintákat széles körben használatos Luria-Bertani (LB) táptalajra cseppentettük, majd vártuk, hogy telepek nőjenek. Ezzel a technikával csak az LB táptalajon és aerob környezetben tenyészhető mikroorganizmusokat tudjuk vizsgálni. Meg kell jegyezni, hogy jelen esetben ez a módszer nem ad választ arra, hogy milyen baktériumok fejlődnek ki, ugyanakkor közelítő eredményt kapunk a rendszer egyes pontjain előforduló baktériumok mennyiségét illetően (Osvald 2014).

EREDMÉNYEK

A vízkémiai vizsgálat szerint a két kút vizének összetétele számos paraméterben lényegesen eltér egymástól. A gyorsabban eltömődő kút vize két nagyságrenddel több fenolt és BTEX vegyületeket tartalmazott a lassabban eltömődő kút vizénél, illetve tízszer magasabb volt az illékony szénhidrogén tartalom (1. táblázat) (Osvald 2014). Az aromás vegyületek magas koncentrációja elősegítheti az ilyen anyagokat tápanyagforrásként felhasználó baktériumok elszaporodását.

A metagenom szekvenálás eredménye szerint a lassabban eltömődő I. számú rendszer esetében a vizsgálat nem mutatott ki egyetlen különösen domináns fajt sem, az ott megtelepedő baktériumok eloszlása egyenletes. A gyorsan eltömődő II. számú rendszerben fellelhető baktériumok diverzitása sokkal kisebb, mint a másik szűrőn. Ezen a szűrőn legnagyobb arányban előforduló baktériumok a

Magnetospirillum (42%) nemzetségbe tartozó fajok voltak (6. ábra). Ezen csoport tagjai olyan denitrifikáló baktériumok, amelyek anaerob körülmények között képesek aromás vegyületek lebontására (Shinoda és társai, 2005). Továbbá jellemző rájuk, hogy láncba rendeződött magnetoszómákkal rendelkeznek, melyek magnetit kristályt tartalmazó membránnal körülvett organellumok. Ezek segítségével képesek a mágneses térben tájékozódni (Bazylinski és Frankel 2004). A Balatonban előforduló mágneses baktériumok is képesek biogén ásványképzésre, magnetoszómáikon belül mágneses ásványokat, vas-oxid (Fe_3O_4 , magnetit) vagy vasszulfid (Fe_3S_4 , greigit) kristályokat állítanak elő (Kósa és Pósfai 2007).



6. ábra. *Magnetospirillum* (a) és benne a magnetit lánc (b) Módosítva Schleifer és társai (1991) után
Figure 6. *Magnetospirillum* (a) and a magnetite strain inside it (b) Modified after Schleifer et al., 1991

Az LB lemezre történő szélesztéssel meghatároztuk a baktériumok megjelenésének helyét a II. számú rendszerben. A vizsgálat azt mutatta, hogy a baktériumok a visszasajtoló kút előtti puffertartályban jelennek meg legnagyobb számban, és a tartály utáni - szűrő előtti szakaszon szintén kimutathatók. Az eltérő térfogatú puffertartályok jelentősége a baktériumok elszaporodására nem igazolt, ám valószínűsíthető, hogy a nagyobb méretű tartály esetén a nagyobb felület kedvező életkörülményeket tudott biztosítani az elszaporodott *Magnetospirillum* fajoknak.

KÖVETKEZTETÉS

Benedek és munkatársai (2016) által bemutatott tanulmányban benzinnel szennyezett oxigénhiányos talajvízbe merülő szivattyú rozsdamentes acél felületén alakult ki biofilm. A jól ismert szénhidrogén-bontó, aerob/fakultatív anaerob biofilm-képző mikroorganizmusok mellett Fe^{2+} - és Mn^{2+} -oxidálókat, valamint Fe^{3+} - és Mn^{4+} -redukálókat is azonosítottak az általuk vizsgált biofilmben (Benedek és társai 2016). Ilyen csoportokhoz sorolható baktériumokat találtunk mi is a szűrőkön.

A szűrőből történő mintavétel az előző szűrőcsere után mindössze 3 órával történt, ami vélhetően kevés idő arra, hogy közvetlenül a szűrőkön alakuljon ki biofilm. Az eredmények alapján arra következtetünk, hogy a szűrőn fennakadó baktériumok forrása a puffertartály, ugyanis a visszasajtolandó víz 34°C-os hőmérséklete és a puffertartályban lévő pangó zónák kedvező körülmények a baktériumok szaporodásához. Ilyen, lassú áramlású részekben, a víz KOI, fenolindex és BTEX vegyületek magas koncentrációja miatt bizonyos baktériumfajok (főként *Magnetospirillum*) jobban el tudtak szaporodni, mivel ezen vegyületek az ő táplálékaik, ezáltal a természetes, széles spektrumú baktériumflórát leszűkítve különösen dominánssá váltak, és elszaporodásuk idézhette elő a szűrő

1. táblázat. Az egyes szűrők vizének kémiai összetétele
Table 1. Chemical composition of the water at each filter

Komponens	Mértékegység	I. szűrő	II. szűrő
Fenolindex	µg/l	15	2238
Kémiai oxigénigény (KOIK)	mg/l	29	120
Extrahálható szénhidrogén tartalom (EPH, C10-C40)	µg/l	37	34
Illékony szénhidrogén tartalom (VPH, C6-C40)	µg/l	16	160
Benzol	µg/l	0.29	14
Toluol	µg/l	<0.3	31
Etil-benzol	µg/l	<0.3	13
m- és p-xilol	µg/l	<0.3	19

gyorsabb eltömődését. A másik visszasajtoló rendszer esetében valószínűleg azért nem tömődik el olyan gyorsan a szűrő, mert ennyire dominánssá egyik baktériumfaj sem tud válni, viszont az ott megfigyelhető baktériumok spektruma jóval szélesebb. A probléma megoldása lehet a puffertartályban lévő víz tartózkodási idejének csökkentése és a puffertartály méretének optimalizálása a pangó zónák elkerülése érdekében, illetve a tartály vizének fertőtlenítése (UV, ózonos). A jövőben a visszasajtoló rendszerek tervezésekor figyelembe kell venni a víz kémiai állapotát, és számítani kell a baktériumok megjelenésére (Osvald és társai 2017).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a kémiai vizsgálatok finanszírozásáért Kurunczi Mihálynak, a Brunnen hőtehnika Kft. ügyvezető igazgatójának és Nagy Istvánnak, hogy az üzemeltető részéről segítségünkre volt a mintavételezésben.

IRODALOMJEGYZÉK

Ádók J. (2014). A hódmezővásárhelyi geotermikus fűtési rendszer. Hódmezővásárhely, Hungary. Forrás: http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/adokjanos_cikk_hodmezovasarhelyi_geot_fut_rendszert.pdf, letöltés dátuma: 2018.08.21.

Bazylinski D. A., Frankel R. B. (2004). Magnetosome formation in prokaryotes. *Nature Reviews Microbiology*, 2(3), 217-230.

Benedek T., Táncsics A., Szabó I., Farkas M., Szoboszlay S., Fábrián K., Maróti G., Kriszt B. (2016). Polyphasic analysis of an *Azoarcus*-*Leptothrix*-dominated bacterial biofilm developed on stainless steel surface in a gasoline-contaminated hypoxic groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.

Czinkota I., Osvald M., Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B., Bálint A. (2015). Analysis of Chemical and Biological

Processes in Geothermal Systems – a Case Study, World Geothermal Congress, 2015. április 20 – 24, Melbourne

Kósa I., Pósfai M. (2007). Magnetotaktikus baktériumok a Balaton üledékében. *Hidrológiai Közlöny*, 90-92.

Kurunczi M. (2008). A visszasajtolás. A hőmezővászárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008.

Meyer F., Paarmann D., D'Souza M., Olson R., Glass E. M., Kubal M., Paczian T., Rodriguez A., Stevens R., Wilke A., Wilkening J., Edwards R. A. (2008). The metagenomics RAST server – a public resource for the automatic phylogenetic and functional analysis of metagenomes. *BMC Bioinformatics* 9, 386.

Osvald M. (2014). A Hőmezővászárhelyi geotermikus visszasajtoló rendszer szűrőt eltömítő biológiai komponensek vizsgálata metagenomikai módszerrel. Szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közvetlen Tanszék, Szeged, 42.

Osvald M., Maróti G., Pap B., Szanyi J. (2017). Biofilm Forming Bacteria during Thermal Water Reinjection, *Geofluids*, 2017, DOI: 10.1155/2017/9231056, p. 7

Osvald M., Szanyi J., Bálint A. (2013). Baktériumok szerepe a visszasajtoláskor, Magyar Hidrológiai Társaság XX. Ifjúsági Napok, 2013. szeptember 19-20, Szeged

Pap B., Györkei Á., Boboescu I. Z., Nagy I. K., Bíró T., Kondorosi É., Maróti G. (2015). Temperature-dependent transformation of biogas-producing microbial communi-

ties points to the increased importance of hydrogenotrophic methanogenesis under thermophilic operation. *Bioresource Technology*, 177 (2015) 375–380.

Schleifer K. H., Schüler D., Spring S., Weizenegger M., Amann R., Ludwig W., Köhler M. (1991). The genus *Magnetospirillum* gen. nov. Description of *Magnetospirillum gryphiswaldense* sp. nov. and transfer of *Aquaspirillum magnetotacticum* to *Magnetospirillum magnetotacticum* comb. nov. *Systematic and applied microbiology*, 14(4), 379-385.

Shinoda Y., Akagi J., Uchihashi Y., Hiraishi A., Yukawa H., Yurimoto H., Sakai Y., Kato N. (2005). Anaerobic degradation of aromatic compounds by *Magnetospirillum* strains: isolation and degradation genes. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 69(8), 1483-1491.

Szanyi J., Kurunczi M., Kóbor B., Medgyes T. (2013). Korszerű Technológiák a termásvíz visszasajtolásban, InnoGeo Kft, ISBN 978-963-89689, 204.

Szanyi J., Kovács B. (2010). Utilization of geothermal systems in South-East Hungary. *Geothermics* (39), 357-364.

Szanyi J., Kovács B., Czinkota I., Kóbor B., Medgyes T., Barcza M., Bálint A., Kiss, S. (2011). Sustainable Geothermal Reservoir Management Using Geophysical and Hydraulic Investigations. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, California, 871-875.

Tóth J. (1995). A nagy kiterjedésű üledékes medencék felszín alatti vizeinek hidraulikai folytonossága. *Hidrológiai Közlöny*, 75.évf. 153-160.

A SZERZŐK



OSVALD MÁTÉ 2014-ben a Szegedi Tudományegyetem biomérnök alapképzését végezte el, melynek környezetvédelmi szakirányán a geotermikus energia hasznosítása során fellépő üzemeltetési problémákat vizsgálta. 2016-ban a Reykjavik University-n szerzett Sustainable Energy Engineering MSc diplomát, amely geotermikus energiához kapcsolt bioüzemanyag-termelésre irányuló kutatásán alapult. Azóta PhD hallgató a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Doktori Iskolájában, ahol további geotermikus energiával kapcsolatos kutatásokat végez.

MARÓTI GERGELY az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Növénybiológiai Intézetének tudományos főmunkatársa, az intézet Mikrobiális Genomika csoportjának vezetője. A PhD fokozat megszerzése után 2005 és 2007 között a J Craig Venter Intézetben a Nobel-díjas Hamilton O. Smith kutatócsoportjában fotoszintetikus baktériumok és algák hidrogéntermelését kutatta, illetve óceáni eredetű mikroorganizmus közösségeket vizsgált. Jelenleg fő kutatási témája az algák és baktériumok közötti kölcsönhatások molekuláris hátterének vizsgálata, illetve ezen interakciók hasznosítási lehetőségeinek feltárása. Nemzetközi és hazai tudományos közleményeinek összesített impactfaktora 250 feletti.

PAP BERNADETT okleveles biológusként végzett a Szegedi Tudományegyetemen, diplomamunkáját az SZTE TTIK Biotechnológiai Tanszékén írta. Jelenleg a Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpontjának (SZBK) Növénybiológiai Intézetében dolgozik kutatóként. Komoly tapasztalattal rendelkezik különböző természetes és szintetikus mikrobiális közösségek metagenomikai módszerekkel történő vizsgálatában.

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 Ezüstpharagot kapott.

Fórum



Szakmai beszélgetés Juhász Csabával, a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar oktatási dékánhelyettesével, a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet intézetvezető-helyettes docensével arról, hogy négy évtizede rendezték meg a Mar del Plata-i ENSZ Vízügyi Konferenciát.

A téma feldolgozásához a hagyományos szakcikk forma helyett az interjúformát választottuk, a kötetlenebb szakmai véleménykifejtés érdekében. Juhász Csaba dékánhelyettest Fehér János, a Hidrológiai Közlöny (HK) főszerkesztője kérdezte.

Négy évtizeddel az ENSZ Mar del Plata-i vízügyi konferenciája után

Juhász Csaba

Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet (juhasz@agr.unideb.hu)

HK: Köszöntöm Dékánhelyettes Urat. Beszélgetésünkre a hagyományos egyetemi tanév zárása után, 2018. júliusában kerül sor, és aktualitását az adja, hogy négy évtizeddel ezelőtt (1977. március 14-25.) került sor az ENSZ szervezésében a Mar del Plata-i vízügyi világkonferenciára. Milyen folyamatok jellemezték a konferenciát megelőző időszakot, és mi készítette az ENSZ-t a konferencia megrendezésére?

JCs: Az 1970-es évektől kezdődően az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) az emberi társadalom létét alapvetően meghatározó kérdésekről számos világkonferenciát rendezett. A globális kihívás felismerése jól nyomon követhető a meglévő nemzetközi szervezetek működésében és újak születésében, a különböző kezdeményezésekben, egyezményekben és deklarációkban (*Kindler és Somlyódy 2000*). Ezen rendezvények sorába szervesen illeszkedett az 1977 márciusában Argentína Mar del Plata városában megrendezett ENSZ Vízügyi Konferencia. Ez a nemzetközi konferencia volt az első olyan tematikus konferencia, amely meghatározó jelentőséggel bírt a vízgazdálkodás kérdésében. A konferencia az ENSZ első általános vízjogi nemzetközi találkozója volt, mivel ez csupán öt évvel a nemzetközi környezetvédelem születése után történt (*Kecskés 2009*). Az édesvízkészletekkel kapcsolatos világméretű aggodalmak első alkalommal ezen a konferencián fogalmazódtak meg, melyet „Mar del Plata”-i akciótervnek neveztek.

HK: Mi jellemezte a konferencia előkészületét és miért Mar del Plata-ban került megrendezésre?

JCs: Az előkészítő munka döntő részét az ENSZ Gazdasági és Szociális Bizottságának öt regionális gazdasági bizottsága végezte. A regionális bizottságok a kérdések alaposabb megvitatására az éves közgyűléseiken kívül szakértői értekezleteket, továbbá szemináriumokat és konferenciákat rendeztek (*Csontos 1977*). Ennek keretében többek között 1975-ben Budapesten a vízgyűjtők átfogó irányításáról, 1976-ban Várnában a vízgazdálkodás közgazdasági kérdéseiről, Karl-Marx-Stadt-ban (Chemnitz) pedig a tavak eutrofizálásáról szemináriumokat szerveztek.

Hazánk az ENSZ felkészülési irányelveinek megfelelően Előkészítő Bizottságot hozott létre. A Bizottság kidolgozta a magyar vízgazdálkodást bemutató kézikönyvet, folyamatosan figyelemmel kísérte a konferencia előkészítő munkáját.

Az előkészítés során a konferencia legfontosabb céljai között voltak: *megállapítani* a rendelkezésre álló vízforrások helyzetét; *biztosítani*, hogy elegendő mennyiségű és megfelelő minőségű vízutánpótlás álljon rendelkezésre, amely találkozik a bolygó társadalmi-gazdasági szükségleteivel; *növelni* a víz felhasználás hatékonyságát; *elősegíteni* a felkészülést nemzeti és nemzetközi szinten egyaránt, hogy elkerüljünk egy globális vízkrízist még a XX. század vége előtt.

Az Argentínai Köztársaság vállalta a házigazda szerepét. Erről a Mar del Plata akció terv I. fejezetében a következő olvasható: *Elismerve az Argentínai Köztársaság alapvető szerepét, mint e történelmi konferencia vendéglátója Mar del Plata városában és hatalmas hozzájárulását a minden nép társadalmi és gazdasági felemelkedése szempontjából döntő fontosságú konferencia sikeréhez.* Több mint öt éves előkészület után a Vízügyi Konferencia 1977. március 14-25. között ülésezett. A Konferenciára meghívott valamennyi állam részvételével a konferenciát megelőző konzultációt tartottak 1977. március 12-én Mar del Plata-ban, hogy a nagyszámú eljárási és szervezési ügyet megtárgyalják.

HK: Kik vettek részt a konferencia eseményein?

JCs: A konferencián 116 ország (köztük Magyarország) vett részt, valamint vízügyi kérdésekkel foglalkozó 102 nemzetközi (világszervezeti, kormányközi és nem-kormányzati) intézmény, szervezet, egyesület stb., mintegy 1500 küldöttje és további 1000 szakértője. Tanácskozási joggal megjelentek az ENSZ által elismert felszabadítási szervezetek is. Jelen voltak az ENSZ különböző irodái títkárságainak munkatársai, specializált nemzetközi szervezetek (pl.: FAO, UNESCO, WTO, ELO, BRD, WMO, IAEA), különböző kormányközi szervezetek, beleértve a

nemzetközi folyami bizottságokat is. Megfigyelői minőségben 63 nem kormányzati szervezet képviselői is jelen voltak a konferencián.

HK: Mi jellemezte a konferencia 12 napos programját?

JCs: A konferenciát Jorge Rafael Videla az argentin hadsereg egykori magas rangú parancsnoka, Argentína de facto elnöke nyitotta meg. 1976. március 24-én puccsal került hatalomra, Isabel Martínez de Perónt mozdította el a hatalomból. A nemzetközi világ diktátornak tekintette, számlájára írják az emberi jogok rendszeres megsértését. Politikai értelemben az ENSZ Vízügyi Konferenciája egyfajta legitimációt jelentett a számára. Az első plenáris ülésen a küldöttek egyhangúlag az argentin küldöttség vezetőjét választották meg a konferencia elnökének.

A konferencia második plenáris ülésén elfogadták a Gazdasági és Társadalmi Tanács által jóváhagyott ideiglenes eljárási szabályokat, további a 12 pontból álló napirendet. Mandátumvizsgáló Bizottságot hoztak létre. Ugyanezen az ülésen a konferencia két főbizottságot hozott létre, hogy vizsgálják meg a napirend lényegi pontjait. Az elnökön kívül számos tisztségviselő megválasztása történt. A második plenáris ülésen ellenszavazat nélkül 18 országot választottak meg alelnököknek, többek között hazánkat. Az általános vita 14 plenáris ülésen folyt 1977. március 14. és 23. között. A két bizottság március 24-én és 25-én ismertette a jelentését, melyben ajánlások és határozatok kerültek megfogalmazásra. Mindezek elfogadásáról a konferencia résztvevői szavaztak. A szavazások eredménye sok esetben megosztott volt. Az egyes országok, illetve ország csoportok a szavazások során kifejezésre juttatták az érdekeiket. A konferencia utolsó 16. plenáris ülésén fogadták el a végső jelentést, melyben az I. és II. bizottság által a konferencia elé terjesztett ajánlásokat és határozatokat az elfogadásukat követően egységes szöveggörnyezetbe helyezték. A konferencia a záronyilatkozat elfogadásával ért véget.

HK: Milyen eredményeket ért el a konferencia?

JCs: A konferencia jóváhagyta a Mar del Plata-i Akció Tervet, mely az első nemzetközileg koordinált megközelítése az integrált vízkészlet-gazdálkodásnak. A terv két részből állt: az ajánlásokból, amelyek lefedik a vízgazdálkodás legfontosabb részterületeit, és a speciális témákban megfogalmazott 12 határozatból. A Konferencián megvitatásra került a vízhasználat és vízhatékonyság helyzete; a természeti kockázatok, a környezet, egészség és szennyezés szabályozása; irányvonal meghatározása, tervezés és gazdálkodás, közérdekű információk, oktatás, képzés és kutatás; regionális és nemzetközi együttműködés.

A Mar del Plata-i akciótervben – felismerve a vízkészletek felgyorsult hasznosítását – ajánlásokat és határozatokat fogalmaztak meg, melyek a következők voltak fejezet-címek szerint (Csontos 1977):

Ajánlások:

- A. A vízkészletek számbavétele;
 - B. A víz használata és hatékonysága;
 - C. Környezet, egészség és vízminőség védelem;
 - D. Politika, tervezés és gazdálkodás;
 - E. Természeti veszélyek;
 - F. Tömegtájékoztatás, oktatás, képzés és kutatás;
 - G. Regionális együttműködés;
 - H. Nemzetközi együttműködés.
- Függelék. Külön regionális ajánlások

Határozatok:

- I. A vízkészletek számbavétele;
- II. Települések vízellátása;
- III. Mezőgazdasági vízhasznosítás;
- IV. Az ipari technológiák kutatása és fejlesztése;
- V. A víz szerepe az elsivatagosodás leküzdésében;
- VI. A fejlődő országok műszaki együttműködése a vízügyi ágazatban;
- VII. Folyami Bizottságok;
- VIII. Szervezeti intézkedések a nemzetközi együttműködés érdekében a vízügyi ágazatban;
- IX. Pénzügyi intézkedések a nemzetközi együttműködés érdekében a vízügyi ágazatban;
- X. Vízügyi politika a megszállt területeken.

Egyéb határozatok:

- XI. A Panama csatorna övezet kérdése;
- XII. Köszönetnyilvánítás a vendéglátó országnak.

A konferencia jelentős eredménye a globális vízügyi problémák új típusú, tudatos megközelítése, az egységes cselekvés iránti igény megfogalmazása. A problémákra vonatkozó eltérő véleményeket szintetizálták oly módon, hogy a megoldásokat az ENSZ rendszere keretében oldják meg. Az ENSZ Vízügyi Konferenciája, illetve a konferencián készült szakmai anyagok, dokumentációk felbecsülhetetlen információs bázist szolgáltattak a nemzetközi közösség jövőbeli vízügyi munkájához. A konferencia egyik legfontosabb üzenete volt, hogy a vízkészletek megőrzése és racionális használata elkerülhetetlen felelősséget jelent az emberi társadalom számára. Mindezt a vízkészletekkel történő ésszerű gazdálkodás a nemzetek együttműködésén kell, hogy alapuljon.

A II. számú határozatban első alkalommal juttatják kifejezésre, hogy „minden embernek, függetlenül a fejlettségi, valamint társadalmi és gazdasági viszonyaitól, joga van arra, hogy alapvető szükségleteivel egyenlő mennyiségű és minőségű ivóvízhez jusson” (Gorta 2012). Az állásfoglalás általános felismerésre vezetett, hogy a rendelkezésre álló víz jelentős mértékben függ a hulladékok ártalmatlanításától a vizekben, amely egyaránt fontos az élet szempontjából, illetve az emberi fejlődéshez, mint egyén és a társadalom alkotója szempontjából is. Ahhoz, hogy a kihívásnak eleget tudjanak tenni, a határozat ún. teljes körű nemzetközi együttműködéssel járó fizikai-, gazdasági- és humán erőforrás mozgósítást rendelt el, úgy, hogy majd ezáltal a „víz elérhetően és igazságosan oszlik meg a későbbiekben az emberek és egyes országok között.”

A Mar del Plata-i konferencia sikeresnek nevezhető, egyrészt a fejlődő világ aktív részvétele miatt, másrészt a vízgazdálkodás komplex szemléletű, különböző nézőpontú tárgyalásai miatt, különösen kiemelve a vidék és régiók elemzését. A konferencia a vízgazdálkodásra, mint széleskörű és átfogó területre tekintett, amely megközelítés a kulcsa volt az integrált vízgazdálkodásnak az 1990-es években. Iható vizet és higiéniai lehetőségeket biztosítani mindenkinek, felgyorsítani a politikai szándékot és beruházásokat a vízszektorban.

A Mar del Plata-i Konferencia kétségtelenül nagy mérföldkő a XX. századi vízkészlet-gazdálkodás fejlődésében. Bárhogyan is nézzük a Konferencia egy fontos állomásává vált a vízkészlet-gazdálkodásnak, különösen az integrált vízkészlet-gazdálkodásnak. Kritikaként fogalmazható meg, hogy sajnálatos módon, a határokon átívelő vízkészlet-gazdálkodás nem került átfogó módon megvitatásra, és az Akció Terv végrehajtásának részleteit sem dolgozták ki a megbeszélések során (*Biswas 2004*).

HK: Részletesebben kifejtené az Önök számára kiemelkedően fontos tájékoztatás, oktatás, képzés és kutatás szakterületekre vonatkozó ajánlásokat?

JCs: A Mar del Plata-i akciótervben külön ajánlás került meghatározásra a tömegtájékoztatás, oktatás, képzés és kutatás vonatkozásában.

A dokumentum kiemeli, hogy a víz megfelelő hasznosítása, védelme, megőrzése érdekében az állampolgárok széleskörű tájékoztatására van szükség. A hatékony tömegtájékoztatás célja a vízzel kapcsolatos személyes felelősség kialakítása. Kiemelt prioritásként fogalmazták meg a vízhez köthető országos információs kampányok programjainak végrehajtását. Az általános információ átadását a köz- és felnőttképzés különböző csatornáin javasolták. Szükséges az emberek felkészítése a vízhez köthető változásokhoz történő alkalmazkodásra. A tömegtájékoztatás keretén belül széles az a spektrum, melyet a dokumentumban megfogalmaztak (pl.: tájékoztassák az embereket a helytelen vízhasználat negatív környezeti, hidrológiai és egészségügyi következményeiről; a víz szennyezésével összefüggő vízi eredetű betegségek terjedésének kockázatáról stb.).

Az oktatás, képzés területén felmérések, elemzések elvégzését javasolták, melyek meghatározzák a vízgazdálkodás területén az adott ország szükségleteit az adminisztratív, a tudományos és a műszaki szakemberek iránt. Az eltérő képzési szinteken olyan oktatási programokat kell szervezni, melynek eredményeként a végzettek rendelkeznek azokkal a tudás és képesség elemekkel, melyek alkalmassá teszik őket a multidiszciplináris, integrált vízgazdálkodás megvalósítására.

Regionális oktatási központok létrehozását javasolták, ahol ösztöndíjak segítségével a harmadik világ fiataljai tanulhatnak. Vízgazdálkodási oktatási központ létrehozását javasolták Afrikában posztgraduális szakosodásra, vízgazdálkodási és mérnök egészségügyi speciális szakokkal. Szakemberek csereprogramját javasolták, elsősorban azért, hogy a fejlődő országok szakemberei megismerhessék a fejlett országok gyakorlatát.

Javasolták a tantervek, tantárgyak felül vizsgálatát, és a vízgazdálkodáshoz köthető tárgyak bővítését. Bizonyos szakmai területeken pontosan meghatározzák a fejlesztés irányát (pl.: szennyezés és vízi eredetű betegségek leküzdése; öntözéses mezőgazdaság fejlesztése; víz- és szennyvíztisztító telepek, vízelosztó rendszerek üzemeltetőinek képzése, egészségügyi mérnökképzés stb.).

Az ajánlason belül feltűnik az egész életen át tartó tanulás (lifelong learning) gondolata (továbbképzés; „frisítő” képzés a mérnököknek; speciális vízgazdálkodási tanfolyamok stb.).

A kutatás területén javasolták az addig végzett munkák áttekintését és értékelését, valamint a jövőben végzendő kutatási területek definiálását. Az országok támogassák a multidiszciplináris kutatást az oktatási programokkal együttműködésben a vízkészletek számbavétele, hasznosítása, védelme, megőrzése és kezelése terén.

Ajánlásként került megfogalmazásra, hogy az országok a nemzeti tudománypolitika keretében dolgozzák ki a vízkészletek szabályozásával, hasznosításával és megőrzésével kapcsolatos kutatási rendszerüket. Kutatási prioritásokat kellett meghatározni az országos vízgazdálkodási fejlesztési tervekben megfogalmazott célok teljesítése érdekében. A kutatási párhuzamosságok és átfedések minimalizálása szükséges. Az eredményeket, olyan formában terjesszék, hogy más országok is könnyen tudják interpretálni és alkalmazni azokat. Támogatni kell a regionális együttműködést a hidrometeorológiai kutatás és észlelés, valamint a vízhasznosítás, különösen a mezőgazdaság és az ipar vízhasználatának nagyobb hatékonyságát célzó kutatások területén (*Csontos 1977*).

A kutatási eredményeket alkalmazzák és hasznosítják, hozzanak létre szoros kapcsolatot a kutatás és a fejlesztés között.

A javasolt kutatási területek - figyelembe véve az egyes országok szükségleteit - részletes meghatározása is megtörtént. Ezek a területek - napjainkban is több aktuális ezezből – a következők:

- Időjárás befolyásolás;
- Klimatológia és agroklimatológia;
- Időjárás előrejelzés;
- Távészlelés;
- Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai a vízkészletek keletkezésére;
- A vízáadó rétegek mesterséges dúsítása;
- Talajerózió védelem és hordalék szabályozás;
- A vízhasznosítás hatékonyságának növelési módszerei az öntözéses és a szárazgazdálkodású mezőgazdaságban;
- A víz megőrzése a tározókban és a többcélú tározók üzemelési módszerei;
- Fizikai modellezés;
- A rendszertechnika alkalmazása a vízkészlet-gazdálkodásban, a vízügyi tervezésben és a vízgazdálkodásban;
- Sótalanítás, különös tekintettel a brakkvizek (felsős vizek) kezelésére;
- A vízfogatás;

- Víz- és szennyvíztisztítás;
- Vízszennyezés és vízminőségi modellezés;
- A vízzel kapcsolatos betegségek és a vízügyi rendszerek közegészségügyi hatása;
- A brakkvizek (fűlsős vizek) használata a mezőgazdaságban;
- A felszín alatti vizek szennyezése;
- A növények vízigénye;
- A növények sótűrése;
- Aquakultúra;
- A hatékonyság növelésének módszerei az árvízmentesítésben és az aszály enyhítésében;
- A természeti veszélyek (pl.: földrengés, hurrikánok, vulkáni kitörések) hatásainak megelőzése és enyhítése a vízkészletekre;
- A víz használatának szabályozása humid (nedves) területeken, nagy csapadékú területeken.

HK: Melyek voltak – az egyetemi karukhoz köthető szakmai területen – a mezőgazdasági vízhasznosításra vonatkozó fontosabb megállapításai a határozatnak?

JCs: Az ENSZ Vízügyi Konferenciája felismerte, hogy az 1974. évi Világélelmiszeri Konferencia által megállapított óriási élelmiszerhiány az élelmiszer és mezőgazdasági termelésben hasonló nagyságrendű megoldásokat sürget.

Elfogadták, hogy a víznek lényeges szerepe van a mezőgazdasági termelés kiterjesztésében és intenzívebbé tételében, valamint a jobb életkörülmények biztosításában a fejlődő országok lakossága számára.

A mezőgazdasági vízgazdálkodás intenzívebbé tétele és fejlesztése céljából Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Akcióterv megvalósítására történt javaslat. E programban kiemelt prioritásként szerepelt a meglévő öntözés és a vízhasznosítás hatékonyságának növelése. Javasolták, előzzék meg a vízkészletek elszennyeződését és minőségromlását. Fejlesszenek új és hatékony öntözési módszereket. Védjék a mezőgazdasági területeket az árvizek és az elvizenyősödés káros hatásaival szemben, végezzenek talajjavítást. Vezessék be vagy bővítsék a haltenyészést.

Ezen elképzelések megvalósítása a nemzetközi pénzügyi segítség mellett a hazai források fokozott bevonása mellett történhet.

HK: Mi lett a Mar del Platai konferencia hatása a későbbiekben?

JCs: A konferencia következményének értékelhető egy cselekvési tervben történő megállapodás, amelyet az 1981-1990-es időszakra hirdettek meg, mint a nemzetközi ivóvízellátás és közegészségügy évtizede (*Salman és McInerney-Lankford 2004*), melynek keretében az államok vállalták, hogy jelentős javulásra törekcsenek az ivóvízellátás és higiénia területén. Ezek alapján a vízhez való jog, mint emberi jog megjelenése erre a konferenciára vezethető vissza, még ha ezt explicit nem is mondták ki.

A konferencia megállapította, hogy a vízgazdálkodási feladatok megoldásához átfogó, 10-15 éves tervezésre van szükség, és gyorsított ütemben be kell fejezni a lakossági vízellátási programokat. A feladatok nemzetközi összefogással történő megoldását segítve, meghirdették 1980

és 1990 között a Nemzetközi Vízellátási Decennium megszervezését.

Az ENSZ Vízügyi Konferencia alapján kezdeményezték többek között a "Nemzetközi Vízellátási és Csatornázási Évtizedet", melynek keretében hazánkban is erőfeszítéseket tettek a vízellátás és csatornázás javítására (*Rakonczai 2003, Szilágyi 2013*). Ezen kezdeményezés fő célja meglehetősen ambiciózus volt: 1990 végére megfelelő víz és szennyvízkezelési eszközökhöz kellett volna hozzáférnie minden embernek. A kitűzött cél teljesítéséhez tíz éven keresztül naponta több mint 650 ezer embert kellett volna bevonni a program megvalósításába. Bár számos ország vállalta a cél elérését, az végül nem teljesült.

Az itt elfogadott ajánlások és határozatok, valamint a vízhez kapcsolódó és szaporodó gondok miatt, az 1980-as évtizedet *Az ivóvíz és a csatornázás* évtizedének nyilvánították, de ez a figyelemfelkeltésen túl nem sok konkrét eredményt hozott, a problémák csak fokozódtak a XX. század végén.

Mar del Plata után konferenciák és kormányközi nyilatkozatok sora csatlakozott a víz védelméhez. A víz, mind emberi jogi, mind környezetvédelmi, mind a vízgazdálkodás feladatainak ellátása szempontjából a vizsgálódás középpontjába került. Az „Új Delhi Nyilatkozat” (1990), a „Dublini Nyilatkozat” (1992) és a „Noordwijki Nyilatkozat” (1994) mind deklarálta a vízhez való jogot (*Antal 2011*).

Az ENSZ 1992. januárjában 113 ország részvételével Víz és környezet címmel rendezett konferenciát Dublinban, mely tanácskozás négy alapelvet – i) a víz, mint véges természeti erőforrás; ii) az érintettek bevonása; iii) a nők szerepe; iv) a víz, mint gazdasági érték – fogalmazott meg. A Dublini nyilatkozat egyik fontos megállapítása volt, hogy a világ mezőgazdaságának kevesebb víz felhasználásával kell lényegesen több élelmiszert termelnie.

A Víz Világforumok (World Water Forum) a nemzetközi vízpolitika legfontosabb nemzetközi eseményei, amelyeken kormányzati, parlamenti és önkormányzati képviselők, valamint vízügyi szervezetek és nemzetközi szakmai szervezetek tanácskoznak. Az első találkozót 1997-ben Marrakesben rendezték, majd ezt követően 2000-ben Hágában, 2003-ban Kiotóban, 2006-ban Mexikóvárosban, 2009-ben Isztambulban, 2012-ben Marseille-ben és 2015-ben a dél-koreai Daegu, illetve Gyeongbuk városokban, és legutóbb 2018 márciusában Brazília városában rendezték meg a 8. Víz Világforumot. Minden egyes Víz Világforum a résztvevők által elfogadott nyilatkozattal zárult.

2016-ban a Budapesti Víz Világtalálkozó (Budapest Water Summit 2016) volt az első olyan globális konferencia, amely a vízzel kapcsolatos fejlesztéspolitikai célkitűzés esetében összegezte az elért eredményeket, és hozzájárult a következő 15 év teendőinek kijelöléséhez.

2017. júliusában az ENSZ New York-i székházában a világszervezet vízügyi és környezetvédelmi tanácskozása elsősorban a világ vízügyi helyzetével, a vízforrások védelmével és vízügyi beruházásokkal, az ENSZ Vízügyi Paneljének munkájával foglalkozott, valamint az ülés témája a természeti katasztrófák megelőzése és kezelése is volt.

HK: Miként fogalmazható meg a Mar del Plata-i Konferencia hatása az oktatásban?

JCs: Intézményünk jogelődjében (Debreceni Agrártudomány Egyetem) már Mar del Plata előtt is kiemelt jelentőségű volt a vízgazdálkodás oktatása. A mezőgazdasági vízgazdálkodási tudományterület oktatására, önálló tantárgyként, először az 1957-58-as tanévben került sor „Kultúrtechnika és vízhasznosítás” elnevezéssel. Az önálló tanszék Kultúrtechnikai Tanszék elnevezéssel 1966. január 1-jén alakult meg. A tanszék elnevezése 1989-ben Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Tanszék-re változott. 1995-től a tanszék neve Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, majd később Intézet.

A „Mezőgazdasági vízgazdálkodás” tárgy oktatása az 1970–80-as években 2-3 óra előadás, illetve 2-4 óra gyakorlat keretében folyt. Az akkor még egységes, osztatlan agrármérnök képzésen belül az öntözéses növénytermesztést választó hallgatók speciális tárgyak keretében önálló geodéziai felmérési és műszaki öntözési ismereteket is elsajátítottak.

Az öntözéses gazdálkodás jelentős fejlődése az intézmény hatóságára eső térségben indokolta és tette lehetővé az öntözéses szakmérnök-képzés jogosultságának megszerzését a Debreceni Agrártudományi Főiskolán 1970-től pedig Egyetemen (*Loch és Nagy 2012*). Az első szakmérnök képzést számos további követte az évek során. Az öntözéses szakmérnök-képzés 1964. februárjában indult. A szakon 1971-ig öntözéses, 1972-1990 között mezőgazdasági vízgazdálkodási szakmérnöki diplomát szereztek a végzettek.

Mar del Plata-t követően a vízgazdálkodáshoz kapcsolódó tárgyak tantárgyi leírásainak átalakítása történt, törekedve a multidiszciplinaritás és az integrált vízgazdálkodás adaptációjára. Kiemelt szerepet kapott a hallgatóknak a gyakorlatorientált képességek fejlesztése.

Kiemelt jelentőségű, hogy az Intézet koordinálásával 2009-ben 2 angol nyelvű MSc program (talajtan, vízgazdálkodás) került bevezetésre és indításra az egyiptomi Ain Shams, illetve El Mansoura egyetemeken. A Tempus programban további konzorciumi partnerek voltak a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani Kutató Intézete, illetve a belga Ghent-i Egyetem (Ghent University) Talajtani Intézete.

HK: Melyek a Kar, illetve a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet tervei a közeli jövőt illetően?

JCs: A 2017/2018-as tanévtől kezdődően a hazai felsőoktatásban a tanulási eredményeken alapuló kimeneti szabályozás került bevezetésre. Ennek szellemében meghatározásra kerültek azok a tudás, képesség, attitűd és autonómia elemek, melyeket a hallgatóknak a tanulmányaik során el kell sajátítaniuk. A jövő szakembereinek képzése a mezőgazdasági vízgazdálkodás területén új lendületet kapott, ugyanis az agrár képzési területen elfogadták a mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnök mesterszak létesítését és indítását. A 2019/2020-as tanévtől kezdődően a szak angol nyelven is elérhető lesz a külföldi hallgatóknak, amelyhez a magyar állami Stipendium ösztöndíj támogatás is biztosított lesz a számukra.

A 18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet tartalmazza az új szakként létrehozott mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnöki (Agricultural Water Management Engineering) mesterképzési szak képzési kimeneti követelményeit.

A mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnöki mesterképzési szak célja mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnökök képzése, akik a mesterképzésben megszerzett ismeretek birtokában képesek a mezőgazdasági vízgazdálkodás szakterületén belül a fenntartható integrált vízgazdálkodás közrendszerének kreatív mérnöki alkalmazására. A képzettségük birtokában magas szinten képesek együttműködni szakterületéhez kapcsolódó hazai és nemzetközi feladatok megoldásában. Alkalmassak a tervező-fejlesztő mérnöki, kutatói, illetve vezetői munkakörök betöltésére. Felkészültek tanulmányaik doktori képzésben történő folytatására.

A szakképzettséghez vezető tudományágak, szakterületek, amelyekből a szak felépül:

- természettudományos ismeretek (alkalmazott hidrológia, klimatológia, hidrobiológia, vízkémia);
- mezőgazdasági ismeretek (öntözéses gazdálkodás, precíziós mezőgazdaság, hidrokultúrás rendszerek, aszálykezelés, talajfizika, birtoktervezés és birtokrendezés, hullámtéri gazdálkodás);
- vízgazdálkodási ismeretek (integrált vízgazdálkodás, belvízgazdálkodás, mezőgazdasági vízszolgáltató rendszerek, mezőgazdasági vízgazdálkodási információs rendszerek, vizes élőhelyek kezelése és hasznosítása, melioráció, mezőgazdasági vízgazdálkodási monitoring);
- műszaki ismeretek (hidrológiai térinformatika és távérzékelés, mezőgazdasági vízgazdálkodási tervezés és kivitelezés);
- gazdasági- és társadalomtudományi ismeretek (hidroökonomia, vízpolitika és vízjog).

Az Intézetben folyó oktató munka mellett a kutatási tevékenység kiemelt jelentőséggel bír (*Tamás, 2009*). A vízgazdálkodás terén elsősorban az aszály és belvízi jelenségek kutatása a kiemelkedő. E témában a kutató műhely nem csak hazai, de nemzetközi elismertségre is szert tett. A kutatási terület magába foglalja a digitális terepmodellek és idősoros analízisek alkalmazását, a belvízi előntések gyakoriságának statisztikai elemzését, vízhiány okozta stressz tünetek, termésveszteség regionális és tábla szintű értékelését, öntözési rendszerek vizsgálatát, öntözés tervezési folyamatok értékelését, a síkvidéki összegyülekezési folyamatok vizsgálatát és a belvíz- és aszály veszélyeztettség térképezését. Ugyancsak e témához kapcsolódik a felszíni vízfolyások vízrajzi és hidraulikai vizsgálata, az ürgeodéziai meder-felvételezés és a digitális medermodellek fejlesztése. A felszíni vizek hidrodinamikai vizsgálatához szorosan kötődnek a vízminőség-védelmi modell-elemzések, melyek segítségével több hazai vízfolyás kockázatbecslését végezték el. A felszín alatti vizek érzékenységi vizsgálatával és a monitoring hálózatok tervezésének fejlesztésével az EU Víz Keretirányelvnek teljesülését segítő módszertani kutatásokat végzik. Emellett számos, GIS és RS adatokra alapozott vízgyűjtőszintű és tábla szintű

vizsgálatok, vízhiány okozta stresszhatások monitoringját folytatja az intézet.

Az ENSZ Mar del Plata-i Vízügyi Konferenciája szellemiségéhez is kapcsolódva Karunk önálló szervezeti keretek között működő kutatóbázist alakított ki a szárazság enyhítésére, leküzdésére. Az arid, száraz mezőgazdasági területek problémáinak megoldását tűzte ki célul a hazánkban elsőként létrejött Száraz Területek Koordinációs Kutató Központ, ami a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán alakult meg. A Száraz Területek Koordinációs Kutató Központ (Arid Land Research Center) célja a száraz területekhez köthető interdiszciplináris kutatások végzése, valamint olyan szolgáltatási és oktatási programok kidolgozása, melyek elősegítik a fenntartható gazdálkodás megvalósulását. Mindezek megoldásában az egyetem Agrár Karának Agrokémiai és Talajtani-, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési-, Növénytudományi-, valamint Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetei együttműködnek.

A debreceni kutatócsoportok témái szerteágazóak, többek között a vízkészlet adottságokhoz illeszkedő táj- és talajhasználattól, a szárazság stresszre adott növénytermelés vizsgálatán, az aszálykockázat kezelési tervek elkészítése és megvalósításának lehetőségein, a vadon élő állatok elvándorlásának megfigyelésén át a biomassza térinformatikai eszközökkel történő becsléséig terjednek.

HK: Köszönöm a beszélgetést!

IRODALOM

Antal Dániel Gábor (2011). A kék bolygó kincse. A vízhez való jog szabályozása nemzetközi és nemzeti szinten. OTDK pályamunka. De iurisprudentia et iure publico – Jog- és politikatudományi folyóirat (DIEIP). V. évfolyam, 2011/4. szám. HU ISSN 1789-0446. 40p. <http://dieip.hu/wp-content/uploads/2011-4-09.pdf>

Biswas, A K (2004). 'Integrated Water Resources Management: A Reassessment', *Water International*, 29(2), 248-56.

Csontos Kornél (szerk.) (1977). Jelentés az Egyesült Nemzetek Vízügyi Konferenciájáról: Mar del Plata, 1977. március 14-25. Budapest. Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda. ISBN 963 602 112 0. 243p.

A SZERZŐ

JUHÁSZ CSABA a Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Egyetemi Karán 1986-ban szerzett általános agrármérnök diplomát. 1990-ben mezőgazdasági vízgazdálkodási-, 1997-ben mérnök-tanári szakmérnöki diplomákat kapott. 1986-1993 között a DATE Kutató Intézete, Karcag, Szikes és Mélyben Sós Talajok Osztályán dolgozott tudományos segédmunkatárs és tudományos munkatárs beosztásokban. 1993-1999 között a DATE Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztés- és Földműveléstan Tanszékének egyetemi adjunktusa volt. 1999. július 1-től a DATE Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében dolgozik, intézetvezető-helyettes, egyetemi docensi beosztásban. 2012-től a DE Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar oktatási dékánhelyettese. Szakfelelőse a környezetgazdálkodási agrármérnök magyar és angol nyelvű MSc szakoknak. 2002-ben habilitált gazdálkodás és szervezés tudományágban. 2000-2003 között az MTA Bolyai János Kutatási ösztöndíjasa volt, 2003-2006-ban az OM Széchenyi István ösztöndíj támogatásában részesült. 2014-től a Carbon Solutions Global Ltd. (CSG). Független műszaki tanácsadó testület (TAP – Technical Association Panel) elnökhelyettese. 2016-tól a DE MÉK Száraz Területek Koordinációs Kutató Központ (Arid Land Research Center) igazgatója. 2016-tól az Intézményközi Tankönyvkiadási Szakértő Bizottság (ITSZB) elnöke. 2007-ben, mint szerzőtárs nívódíjat kapott a „Földművelés és földhasználat” című szakkönyvéért. 2010-ben a Vidékfejlesztési Minisztérium Környezetünkért emléklapok kitüntetését kapott. 2014-ben a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi Tagozat, Környezetvédelmi Műszaki Felsőoktatásért kitüntető oklevélét kapta. Az oktatott tárgyai a környezetgazdálkodás, környezetmenedzsment, vízgazdálkodás szakterületekhez köthető stúdiumok. Kutatási területe az agrárkörnyezetvédelem, a környezeti nevelés, a környezetmenedzsment, a környezeti indikátorok, a vállalat és környezet kapcsolatának komplex elemzése.

Gorta Tünde (2012). A vízhez való jog, mint emberi jog megjelenése. A CEDR Magyar Agrárjogi Egyesület tudományos közleményei. 2012 hallgatói különszám. HU ISSN 1788 – 6171. 3-10p.

http://epa.oszk.hu/01000/01040/00015/pdf/EPA01040_agrar_es_kornyeztetjog_ksz_2012_03-10.pdf

Kecskés Gábor (2009). A vízhez való jog nemzetközi koncepciója. *Állam - és Jogtudomány*, 2009/4, 578p.

Kindler, J. és L. Somlyódy (2000). Water for the 21st Century: Vision to Action. Report of a consultative process. Edited by the Central and Eastern Europe Regional technical Advisory Committee (CEETAC) of the Global Water Partnership. The Hague. 78p.

Loch Jakab és Nagy János (szerk.) (2012). A Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar története. 100 éves a Debreceni Egyetem. Jubileumi kiadvány. Debreceni Egyetemi Kiadó. ISBN 978 963 318 208 9. 301p.

Rakonczai János (2003). Globális környezeti problémák. Lazi Könyvkiadó. Szeged. ISBN 9789639416529. 191p.

Salman M.A. Salman és Siobhán McInerney-Lankford (2004). The Human Right To Water. Legal and Policy Dimensions. Washington D.C., 2004, The World Bank, ISBN 0-8213-5922-3. 198p.

Szilágyi János Ede (2013). Vízjog, Aktuális kihívások a vizek szabályozásában. Miskolci Egyetem. ISBN 978-963-358-016-5. 264p. <http://jogikar.uni-miskolc.hu/projectSetup/files/kiadvanyok/nevtelen-melleklet-00020.pdf>

Tamás János (2009). Az átalakuló mezőgazdasági vízgazdálkodás helyzete. In: Nagy János és Jávor András (2009). Debreceni álláspont az agrárium jelenéről és jövőjéről. Magyar Mezőgazdaság Kft. Budapest. ISBN 978-963-88233-04. 85-108p.

18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról.

<https://www.budapestwatersummit.hu/vilagtalalkozo/globalis-merfoldkovek/>

Hogyan lehet előfizetni a Hidrológiai Közlönyt?

Előfizethető a lap:

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

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

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

Előfizetési díjak 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.
