

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 102. ÉVF. 4. SZÁM • 2022
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 102. No. 4. • 2022





**Nemzeti
Együttműködési
Alap**



MINISZTERELNÖKSÉG



BETHLEN GÁBOR
Alapkezelő Zrt.



Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő

Major Veronika

Főszerkesztő-helyettes és olvasószerkesztő

Konecsny Károly

Szakszerkesztők

Ács Éva

Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai

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

Kiadó

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

Hirdetés

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

Indexelik

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

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

Major Veronika: Előszó 3

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Szabó Imre, Lénárt László, Kovács Balázs, Szücs Péter,
Madarász Tamás, Böhm József: 35 éves a Miskolci
Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéke –
történeti visszatekintés 4

Madarász Tamás, Szücs Péter, Kolencsikné Tóth Andrea:
A Környezetgazdálkodási Intézet jelene és jövőbeli
elképzelései 10

Szücs Péter, Madarász Tamás, Ilyés Csaba: A vízgazdálkodás
szerepe a klímavédelemben 16

Lénárt László: 30 éves Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer
(BKÉR) és a rendszer legfontosabb észlelő kútja, az Nv-17 22

Miklós Rita, Lénárt László, Szücs Péter: A bükki hideg és
termálkarsztrendszer kapcsolatának vizsgálata statisztikai
módszerekkel 31

Tóth-Darabos Enikő, Tóth Márton: Karsztvízkészlet
meghatározási módszer fejlesztése a Bükk hegységben 37

Tóth Márton, Ilyés Csaba, Szücs Péter: A parádi fürdővíz
előállításának vizsgálata, valamint különleges kémiai
összetételű természetes vizek kutatása Parád körül 44

Szász Noémi, Kolencsikné Tóth Andrea: Különböző szennye-
ződések hatása az agyagos talajok szivárgási tényezőjére 50

Kovács Balázs, Mikita Viktória, Molnár Mária, Modrovits Ka-
milla, Gondárné Sőregi Katalin: A karsztvízszint emelkedés
veszélyének számszerűsítése Tata és térségének példáján ... 55

Nyíri Gábor, Kovács Balázs, Zákányi Balázs, Szücs Péter:
Tartózkodási idő vizsgálata csápos kutak esetében 62

Fejes Zoltán, Fekete Zsombor, Szücs Péter: A Tokaji-hegység
komplex hidrogeológiai modellje 67

Fekete Zsombor, Lénárt László: Vízhozam mérések a Speizi-
barlangban és Szepesi-Láner-barlangrendszerben 77

Kántor Tamás, Kovács Balázs: Innovatív mérési módszerek a
geotechnikában 83

Székely István, Madarász Tamás, Kémenes Hortenzia: Környe-
zetipari célú szűrők kísérleti előállítása 3D nyomtatással 88

A közlemények szerzői 93

MEGEMLÉKEZÉS

Lénárt László: Urbancsek János hidrogeológusra emlékezünk . 96

ESEMÉNYEK

Borsányi Mátyás: 16. Ivóvízbiztonsági szakmai nap 98

Címlapkép: Vízföldtani bemutatóhoz készülnek a Miskolci Egyetem Környezet-
gazdálkodási Intézetének munkatársai a 2021-es Kutatók Éjszakáján (Fotó: Mis-
kolci Napló, a MIKOM Kft. engedélyével)



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief

Veronika MAJOR

Deputy Editor-in-Chief and Copy Editor

Károly KONECSNY

Assistant Editors

Éva ÁCS

László NAGY

Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members

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

Publisher

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

Advertising

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

Indexed in

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

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

Veronika MAJOR: Foreword 3

SCIENTIFIC PAPERS

Imre SZABÓ, László LÉNÁRT, Balázs KOVÁCS, Péter SZŰCS, Tamás MADARÁSZ, József BÖHM: 35 years history of the University of Miskolc, Department of Hydrogeology and Engineering Geology – historical review 4

Tamás MADARÁSZ, Péter SZŰCS, Andrea KOLENCSEKNÉ TÓTH: The present status and future development plans of the Institute of Environmental Management 10

Péter SZŰCS, Tamás MADARÁSZ, Csaba ILYÉS: The role of groundwater management in adapting to climate change 16

László LÉNÁRT: The 30 years old Bükk Karst Water Monitoring System (BKÉR) and the system's most important monitoring point: the Nv-17 22

Rita MIKLÓS, László LÉNÁRT, Péter SZŰCS: Investigation of the relationship between cold and thermal karst system with statistical methods in the Bükk Mountains 31

Enikő TÓTH-DARABOS, Márton TÓTH: Karst water resources determination method development in the Bükk Mountain ... 37

Márton TÓTH, Csaba ILYÉS, Péter SZŰCS: Investigation of medicinal water production of Parád and exploration of special natural water composition in the region of Parád 44

Noémi SZÁSZ, Andrea KOLENCSEKNÉ TÓTH: Effects of various contaminations on the hydraulic conductivity of clayey soils 50

Balázs KOVÁCS, Viktória MIKITA, Mária MOLNÁR, Kamilla MODROVITS, Katalin GONDÁRNÉ SÖREGI: Possibilities of quantifying the risks of karst water level rise on the example of Tata and its surroundings 55

Gábor NYIRI, Balázs KOVÁCS, Balázs ZÁKÁNYI, Péter SZŰCS: Investigation of residence time in case of horizontal collector wells 62

Zoltán FEJES, Zsombor FEKETE, Péter SZŰCS: Complex hydrogeological model of the Tokaj Mountains 67

Zsombor FEKETE, László LÉNÁRT: Flow rate measurements in Speizi cave and Szepesi-Láner cave system 77

Tamás KÁNTOR, Balázs KOVÁCS: Innovative laboratory measurement methods in geotechnics 83

István SZÉKELY, Tamás MADARÁSZ, Hortenzia KÉMENES: Experimental production of environmental industry filters using 3D printing 88

Authors of articles 93

RECOLLECTION

László LÉNÁRT: Recollection of hydrogeologist János Urbancsek 96

EVENTS

Mátyás BORSÁNYI: 16. Safe Drinking Water professional day ... 98

Cover photo: Experts of the Institute of Environmental Management of the University of Miskolc are preparing for a hydrogeology presentation at the 2021 Researchers' Night (Photo: Miskolci Napló licenced by MIKOM Kft.)

Előszó



A Selmecbányán 1735-ben alapított Bányászati Akadémia 1918-tól Sopronban folytatta tevékenységét. Az 1949-59 közötti miskolci áttelepülést követően 1987-ben alakult meg az önálló Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, amely vezető intézménye lett a hidrogeológus-mérnökgeológus, valamint a környezetmérnöki képzésnek, továbbképzéseknek.

A *Hidrologiai Közöny* a 102. évfolyam (2022) 4. számával a Tanszék megalakulásának 35. évfordulóján tiszteleg a tanszék által végzett oktatási és kutatási tevékenység előtt, felvillantva számos érdekes témát a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszertől a 3D nyomtatásig.

Szabó Imre, Lénárt László, Kovács Balázs, Szűcs Péter, Madarász Tamás és Böhm József értekezése a 35 éves Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék múltját mutatja be, míg *Madarász Tamás, Szűcs Péter és Kolencsikné Tóth Andrea* a Környezetgazdálkodási Intézet néven működő utódszervezet jelenét és a jövőbeli terveit vázolja fel.

A fenntartható természeti erőforrás-gazdálkodás témakörben *Szűcs Péter, Madarász Tamás és Ilyés Csaba* bemutatják azokat a globális és hazai trendeket és beavatkozási lehetőségeket, amelyek egyértelműen bizonyítják, hogy a klímavédelemben a víz- és talajgazdálkodásnak kiemelt szerepe lesz a következő évtizedekben.

Ha *Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer*, akkor *Lénárt László*, a bükki karszt egyik legszakavatottabb ismerője, szakértője. A közlemény felhívja a figyelmet arra a vízadóra, amely számos település vízellátása mellett a jó természeti környezet megőrzésének is elengedhetetlen része. Mennyiségi és minőségi jó állapotban tartása a társadalom minden szereplőjének érdeke kell, hogy legyen.

Miklós Rita, Lénárt László és Szűcs Péter: A bükki hiedeg és termál karsztrendszer kapcsolatának vizsgálata című tanulmányukban modern matematikai módszerekkel elemzik hazánk egyik legnagyobb karsztos vízadóját. Munkájuk a vízkészlet-gazdálkodás számára is hasznos eredményeket hozott.

Újszerű, eddig nem alkalmazott módszert mutat be a Bükk karsztvízkészletének meghatározására *Tóth-Darabos Enikő és Tóth Márton*. A nagyszámú, jól megválasztott forrás adatok, valamint hosszabb idősorú – 25 évet felölelő – terepi vízszint mérések eredményei, barlangi és kútvízszint adatok elemzése során komoly matematikai apparátust alkalmaztak, függvénykapcsolatot meghatározva az Nv-17 mérőhely vízszintadatai és a számított vízkészletek között.

Egy komoly hagyományokkal rendelkező gyógyfürdő kultúra vizét, a parádi fürdővíz előállítását mutatja be *Tóth Márton, Ilyés Csaba és Szűcs Péter*. A közet kilúgozási folyamatának hatásosságától függ a fürdővíz minősége, melynek előállítási receptúrája többnyire tapasztalati tényeken alapult. A szerzők közleményükben bemutatják,

hogy a kitermelt ásványi nyersanyagot miként lehet optimálisan hasznosítani.

Szász Noémi és Kolencsikné Tóth Andrea írásukban a különböző szennyeződéseknek az agyagos talajok szivárgási tényezőjére gyakorolt hatását mutatják be.

A karsztvízszint emelkedés veszélyének számszerűsítése Tata és térségének példáján című közlemény, mely *Kovács Balázs, Mikita Viktória, Molnár Mária, Modrovits Kamilla és Gondárné Sőregi Katalin* szakértői munkája, összeveti és elemzi a karsztvízszint emelkedés veszélyeztető hatásának meghatározására szolgáló módszereket.

A Tartózkodási idő vizsgálata csápos kutak esetében című közleményben *Nyiri Gábor, Kovács Balázs, Zákányi Balázs és Szűcs Péter* véges differencia módszert alkalmazva vizsgálja a csápos kutakhoz tartozó tartózkodási időt és annak változását.

Fejes Zoltán, Fekete Zsombor és Szűcs Péter kutatásának eredményeként kerül bemutatásra a Tokaji-hegység koncepcionális áramlási, háromdimenziós földtani és hidrogeológiai modellje. A hiánypótló kutatás alapot ad a hegység vízföldtani alapú értelmezésére és a regionális viszonyok megismerésére.

A barlangi hozammérések több éves munkáját mutatja be *Fekete Zsombor és Lénárt László: Vízhözam mérések a Speizi-barlangban és Szepesi-Láner-barlangrendszerben* című dolgozatukban. A két, vízfolyás szerint egymást követő mérési hely jó betekintést nyújt a barlangjáratok hidrologiai működésébe.

Az Innovatív mérési módszerek a geotechnikában című írás *Kántor Tamás és Kovács Balázs* segítségével kelti fel a figyelmet a talajmechanikában elterjedt, speciális laboratóriumi vizsgálatok innovatív kiterjesztési lehetőségeire a Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratórium kutatási eredményei alapján.

A 3D nyomtatás napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő technológiája, mely egyre nagyobb teret hódít a környezetiparban. *Székely István, Madarász Tamás és Kémenes Hortenzia* a még kiaknázatlan környezetipari alkalmazások lehetőségét térképezik fel.

A MEGEMLÉKEZÉS rovatunk Urbancsek János hidrogeológust állítja reflektorfénybe az oktatásban betöltött szerepe és a "Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere I-XI. kötet" című életműve kapcsán.

Az ESEMÉNYEK rovatunk a 16. Ivóvízbiztonsági szakmai nap ajánlásairól számol be.

Köszönetemet fejezem ki a szerzőknek, a bírálóknak és a szerkesztőbizottságnak, hogy munkájukkal segítették a kötet megjelenését. Am külön köszönet *Ilyés Csabának*, az Intézet fiatal munkatársának, aki nemcsak a kötet ötletgazdája, de elkészítésének a motorja is volt.

Jó szerencsét!

Dr. Major Veronika
a *Hidrologiai Közöny* főszerkesztője

35 éves a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéke – történeti visszatekintés

Szabó Imre*, Lénárt László*, Kovács Balázs*, Szűcs Péter*, Madarász Tamás*, Böhm József**

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: szaboimre55@gmail.com, hgl@uni-miskolc.hu, moflow@gmail.com, peter.szucs@uni-miskolc.hu, tamas.madarasz@uni-miskolc.hu)

** Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: ejtboh@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékének létrejötte és története kiemelkedő iskolateremtő egyének és elkötelezett szakemberek oktatási-kutatási tevékenységének gyümölcse. A teljes hazai hidrogeológus szakma és a talajmechanikát, geotechnikát művelő szakemberek jelentős része kötődik valamilyen módon a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán (korábbi nevén: Bányamérnöki Kar) 1987-ben létrejött tanszékhez, annak oktatási és kutatási tevékenységéhez és oktatóihoz. Jelen közlemény a 35. évforduló alkalmával kiadandó különszám bevezető írása, amely az elmúlt 35 évre visszatekintő, tényközlő, a múlt meghatározó állomásait és szereplőit felelevenítő és a jövő számára naplózó írás. Az eredetileg Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék néven létrejött – és leginkább ezen a néven ismert – tanszék az intézményi keretekhez alkalmazkodva többször váltott nevet, ezért a szövegben megjelenő Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, majd az azt magába foglaló Környezetgazdálkodási Intézet ugyanannak a kutatási egységnek, hagyományos nevén a Tanszék utódjának jelölése.

Kulcsszavak

Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, történeti visszatekintés, 35 éves évforduló.

35 years history of the University of Miskolc, Department of Hydrogeology and Engineering Geology – historical review

Abstract

The history of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the University of Miskolc is the result of committed educational and research activities of a few outstanding and dedicated professionals. The entire Hungarian professional community of hydrogeology, and a share of professionals working in soil mechanics and geotechnics are in some way connected to this Department established in 1987 at the Faculty of Earth Science and Engineering (former name Faculty of Mining Engineering) of the University of Miskolc. This paper is the first introductory paper of the special issue published on the 35th anniversary of the Department. As such it looks back on the past years, provides facts, recalls the key characters, and changes of its history and chronicles it for the future. The department, which was originally established by the name: Department of Hydrogeology and Engineering Geology – and is mostly known by this name – changed its name several times to adapt to the institutional framework, however in the paper we mostly mention as the Institute of Environmental Management considered as the successor of the same entity.

Keywords

Department of Hydrogeology and Engineering Geology, historical review, 35th anniversary

TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A Selmecbányán 1735-ben alapított Bányászati Akadémia az I. világháború tragikus eseményei után 1918-ban Sopronban folytatta tevékenységét. A Nehézipari Műszaki Egyetem 1949-es alapítását megelőzően a *hidrogeológia, talajmechanika és bányászati vízvédelmi ismereteket a bányamérnök és geológusmérnök hallgatók* már Sopronban is hallgatták a Földtani-Telepísmerteti Tanszék és a Bányaművelési Tanszék gondozásában. Önálló tárgyként a mérnökgeológiai és hidrogeológiai ismeretek oktatását meghívott előadóként, 1957-től *dr. Vendel Miklós* tanszékvezető professzor felkérésére *dr. Juhász József* kezdte meg, aki elévülhetetlen érdemeket szerzett a hidrogeológia hazai elismertetésében, oktatásának megszervezésében. A szakmai terület gondozása a *kar 1959-es Miskolcra történt áttelepülését* követően is a Földtani Tanszéken maradt és az oktatást meghívott előadóként továbbra is *dr. Juhász József* látta el.

Az 1960-as évektől napjainkig több tanterv-reform jelentette a fejlődés mérföldköveit. A 8-12 évenként végrehajtott reformokat a külső feltételek lassú változása indokolta. A Geológusmérnöki szakból kifejlődött Műszaki Földtudományi szakon az *önálló hidrogeológiai ágazat*

oktatása 1968-ban indult. Tartalmi változások után a képzés elnevezése 1974-ben *hidrogeológiai-mérnökgeológiai ágazatra* változott. A szakterület iránti növekvő érdeklődést mutatta, hogy 1972-1977 között *hidrogeológus szakmérnök képzés* is folyt a Nehézipari Műszaki Egyetemen, ahol megérezve a későbbi idők követelményeit, a szakmai továbbképzés mellett *külön angol nyelvi képzésben* is részesültek a hallgatók.

1975-ben a Nehézipari Műszaki Egyetemen a Kohómérnöki Kar szervezésében, a Bányamérnöki Kar közreműködésével megindult a 4 féléves *környezetvédelmi szakmérnök képzés*. 1987-ben a kar képzési programjában a műszaki földtudományi szakon környezetvédelmi modul indult. Az elindított szakmérnöki szakok, az egyetemi szintű képzésben megindult hidrogeológia-mérnökgeológia szakirány, illetve ágazat és a környezetvédelmi modul oktatási feladatai a *karon egy önálló szervezeti egység létrehozását indokolták.*

A hidrogeológia, geotechnika, mérnökgeológia, a talajmechanika, kőzetmechanika, a környezetvédelem szakmai területek oktatása, tudományos igényű művelése elsősorban a Földtan-Teleptani Tanszéken, részben a

Bányaműveléstani Tanszéken és az Eljárástechnika Tanszéken folyt. A mérnökgeológia, geotechnika, kőzetmechanika szakmai területek oktatása és kutatása céljából 1968-ban a Kari Tanács már határozatot hozott egy Geomechanika-Geotechnika Tanszék létesítésére, de különböző körülmények, érdeklentétek miatt a határozat nem valósult meg. Több éves előkészítő munka után, a Földtan-Teleptani Tanszék kettéválásával 1987-ben alakult meg az önálló Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, amely vezető tanszéke lett a hidrogeológus, mérnökgeológus, valamint a környezetmérnöki képzésnek, továbbképzéseknek és ezt a feladatát azóta is ellátja. A létrehozott önálló tanszéket *Jeneyné prof. dr. Jambrik Rozália* szervezte meg, aki annak első vezetője is volt 1987-1997 között. 1997-1998 között *prof. dr. Juhász József* vette át a feladatot, majd 2009-ig *Prof. dr. Szabó Imre*, 2010-től *Prof. dr. Szűcs Péter* töltötte be ezt a pozíciót. 1987-ben a tanszék megalakulásakor a tanszékvezető mellett *Prof. dr. Juhász József*, *dr. Szabó Imre*, *dr. Lénárt László* és *Törőné Bartha Mária* voltak a tanszék meghatározó oktatói.

1992-ben, az önálló környezetmérnöki szak alapításával és indításával egyidőben, új szervezeti egység a *Környezetgazdálkodási Intézet* jött létre, amely a továbbiakban a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék utódjaként gondozta a hidrogeológia, a mérnökgeológia és a környezetvédelem oktatási és kutatási feladatait. 1992-1999 között a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék mellett a Természetföldrajz-Környezettani Tanszék is a Környezetgazdálkodási Intézethez tartozott. Az intézet feladata volt a Környezetmérnöki szak oktatásának koordinálása, teljes körű kiépítése, valamint a Műszaki földtudományi szakon belül a hidrogeológiai-mérnökgeológiai szakirány és az 1993-ban megindult geográfus mérnöki, majd később a geográfus szakirány gondozása. 1999-ben a Környezetgazdálkodási Intézet újabb egységgel, a Társadalomföldrajz Tanszékkel bővült. Az Intézet első igazgatója *prof. dr. Somosvári Zsolt* volt, aki dékánként 1992-1994 között látta el a feladatot. 1994-1997 között *prof. dr. Jambrik Rozália*, 1997-1998 között megbízott igazgatóként *prof. dr. Juhász József*, 1999-2009 között *dr. Böhm József* egyetemi docens, dékán, 2009-2015 között *dr. Kovács Balázs*, 2015-2016 között *prof. dr. Szűcs Péter*, 2016-tól pedig *dr. Madarász Tamás* tölti be ezt a tisztséget.

2006-ban az önálló *Földrajzi Intézet* létrehozásával a Környezetgazdálkodási Intézetben átmenetileg a *Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék* maradt az egyetlen szervezeti egység, majd a *hidrogeológus és a környezetmérnöki mesterszakok* indítása az intézetben egy új intézeti tanszék létrehozását tették indokolttá, így 2007-ben megalakult a *Környezetmérnöki Intézeti Tanszék*, amelynek vezetését *dr. Madarász Tamás*, majd 2020-tól *Kolencsikné dr. Tóth Andrea* egyetemi docens látja el.

OKTATÁSI ÉS KUTATÁSI TEVÉKENYSÉG

A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékének oktatási tevékenysége a Műszaki Földtudományi Kar (korábban Bányamérnöki Kar) mindenkori oktatási profiljába illeszkedve, de kiemelten a felszín alatti vízkészletvédelem, a vízgazdálkodás, a mérnökgeológia és

a környezetvédelem bizonyos kérdéseit, különösen a hulladékgazdálkodás és a szennyezett területek kármentesítése területét ölelte fel. A Kar jelenlegi képzési palettájából Intézetünk felelős a Környezetmérnöki alapszak, a Környezetmérnöki mesterszak (magyar és angol), a Hidrogeológusmérnök mesterszak (magyar és angol, nappali és levelező) graduális képzések szervezéséért és lebonyolításáért. Az elmúlt években posztgraduális képzés keretében beindítottuk a munkavédelmi szakember és szakmérnök képzést és a tűzvédelmi szakmérnök képzést is. Közismert tény, hogy a továbbtanulás előtt álló diákok körében országosan is kihívást jelent a mérnöki, műszaki szakterületek iránti érdeklődés fenntartása, a képzéseink kívánatos létszámmal történő feltöltése. Az elmúlt években ezért kiemelten fontos része az oktatói munkának az intézetünk társadalmi láthatóságának fokozása és képzéseink népszerűsítése. A tanszék oktatói által írt, vagy társszerzőként jegyzett legfontosabb tananyagokat, szakkönyveket és konferencia kiadványokat „*A tanszék oktatói, munkatársai által írt könyvek, szerkesztett konferencia kiadványok*” fejezetben tesszük közzé.

A 35 éves működése során a tanszék mindig különös jelentőséget tulajdonított az iparban dolgozó, jelentős elméleti és gyakorlati tudással rendelkező külső előadók meghívásának. Több éven keresztül előadóként vett részt az oktatásban *dr. Kassai Ferenc*, *dr. Schmieder Antal*, *dr. Juhász András*, *dr. Kesserű Zsolt*, *dr. Stéfán Márton*, *Domján Jenő*, *Pataki Nándor*, *dr. Urbancsek János*, *Jani Sándor*, *Almássy Endre*, *Környei László*, *dr. Bényei Zoltán*, *dr. Mecsi József*, *dr. Takács Sándor*, *dr. Perger László*, *Farkasné dr. Darányi Ida*, *Ritter György*, *Varga Péterné*, *Németh Csaba*, *Ladányi Roland*, *Sallai Ferenc*, *dr. Szabó Attila* és *dr. Fülepf Teofil*.

A képzéseink lényeges elemei a tanrendbe épített kötelező tanulmányutak, a laboratóriumi és a terepi mérések gyakorlati órákon történő bemutatása és a hallgatók általi kivitelezése. A laboratóriumi háttérrel kezdetekben a saját fejlesztésű vagy tervezésű és gyakran saját (egyetemi) kivitelezésű eszközök biztosították. A hidrogeológiai, talajmechanikai alap laboratóriumi eszköztár folyamatosan bővült korszerű, esetenként számítógép vezérelt berendezésekkel és a méréseket támogató vagy minta előkészítő eszközökkel. Ma laborjainkban korszerű permeabilitásmérők, triaxiális és nyíró berendezések, ödométerek, dinamikus terhelő keretek, vízkémiai paraméterek meghatározására alkalmas Agilent 4210 (MP-AES) berendezés szolgálja az oktatási és kutatási feladatokat. Mára a K+F+I feladatok szolgáltatásban állnak saját fejlesztésű, szenzorokkal felszerelt nyíró celláink, a lézeres kőzet manipulátorunk és anyagfejlesztést szolgáló 3D nyomtatónk is, a terepi eszköztárunkat infiltrációmérők, automata vízszint és hozam mérők, verőszondák, talajmechanikai fűróberendezések és szenzorokkal felszerelt drónok alkotják. A terepi mérések bemutatása terén fontos előrelépés volt az egyetem campusán létrehozott hidrogeológiai mérőállomás, amely a kézi vízszint észleléstől, a vízkémiai elemzéseken át az automata mérőeszközökkel támogatott próbaszivattyúzás bemutatására is alkalmas. A laborháttér fejlesztésében fontos szemléletváltást és előrelépést jelentett a több intézet együttműködésével létrejött Műszaki Földtudományi -

Környezettudományi Oktató-kutató Laboratóriumi Központ, ami a korábban szigetszerűen működő laborok fizikai integrációja által egy motiváló oktató-kutató környezetet hozott létre. Ugyancsak nagy jelentőségű a tanszék kutatás-fejlesztési portfóliójának alakulásában a Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) 30 éves terepi adatgyűjtő tevékenysége. Az ennek eredményeként létrejött három évtizedes adatsor és számtalan kutatási jelentés, diplomaterv, szakdolgozat, PhD értekezés és egyéb publikáció egyedülálló értéket képviselnek a bükk karsztvízkészletekkel való felelős gazdálkodásban.

Az Intézet oktató-kutató munkatársai a kezdetektől fogva fontosnak tartották mérnöki szemléletnek, a kutatás-fejlesztés aktuális kihívásainak beépítését a leendő mérnök kollégák oktatásába. Ennek egyik eszköze a tanszéki (in-

tézeti) munkatársak szakértői tevékenysége során szerzett tapasztalatok oktatásba történő közvetlen integrálása esettanulmányok, gyakorlati példák, beadandó feladatok formájában. A gazdasági környezet változása miatt az elmúlt 15 évben az ipari megbízások jellegében és nagyságrendjében is jelentős változások álltak be, de az ipari K+F+I tevékenység során nyert tapasztalatok továbbra is fontos részét képezik a tanszék (intézet) naprakész tudásbázisának.

Az elődök tudatos tehetséggondozó és utánpótlásnevelő munkájának eredménye, hogy az intézetben számos, ma már szakmailag elismert kutató szerzett tudományos fokozatot, védte meg PhD értekezését (1. táblázat), akiknek egy része továbbra is az Alma Materhez kötődik és oktatóként vagy külső partnerként jelenleg is részt vesz az intézet munkájában.

1. táblázat. A tanszéken/intézetben született és megvédett PhD értekezések

Table 1. PhD theses defended at the department/institute

Név	Témavezető(k)	Az értekezés címe	Év
Márki Erika	Szabó Imre	Szennyezőanyagok hatása a talajok szivárgási tényezőjére értékének változására	1997
Kovács Balázs	Szabó Imre	Szennyezőanyag-terjedési számítások környezetvédelmi alkalmazásai	1998
Madarász Tamás	Juhász József	Kockázatfelmérés alkalmazása és kritériumrendszere szennyezett területek kármentesítése során	2005
Somody Anikó	Juhász József	A recski mélyszinti bányáüzem vízelárástással való tartós szüneteltetésének vízföldtani vizsgálata	2006
Szabó Attila	Némedi Varga Zoltán	Hulladéklerakók lezárásának aktuális kérdései	2009
Szepesházi Róbert	Szabó Imre	Cölöpalapok méretezése az Eurocode 7 követelményei szerint	2011
Virág Margit	Szűcs Péter	Felszín alatti vízáradó komplex hidrológiai vizsgálata a Felső-Tisza vidéken	2013
Zákányi Balázs	Szűcs Péter	A DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) típusú szennyeződések felszín alatti transzport-folyamatainak szimulációja	2014
Mikita Viktória	Kovács Balázs	Tomográfiai képdiagnosztikai vizsgálatok hidro- és mérnökgeológiai célú alkalmazási lehetőségei	2014
Kolencsikné Tóth Andrea	Szűcs Péter/ Kovács Balázs	Folyó és talajvíz kapcsolatának vizsgálata	2017
Darabos Enikő	Lénárt László	Vízkezelés számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján	2018
Kompár László	Szűcs Péter/ Kovács Balázs	Porózus vízföldtani rendszerek vizsgálata környezeti izotópokkal	2018
Tóth Márton	Kovács Balázs	A rudabányai bányaterület nehézfém-mobilizációs viszonyainak és környezeti hatásának vizsgálata	2019
Juhász Eleonóra	Lénárt László	Terápiás lehetőségek és eredmények extrém földtani környezetben	2019
Kántor Tamás	Kovács Balázs	Innovatív mérési megoldások alkalmazásainak vizsgálata a geotechnikában	2020
Fejes Zoltán	Szűcs Péter	A Tokaji-hegység geotermikus és hidrológiai adottságainak vizsgálata	2022
Nyiri Gábor	Szűcs Péter/ Zákányi Balázs	Csáposkutak hidrodinamikai vizsgálata	2022

A nemzetközi szakmai kapcsolatok tudatos kiépítésének következménye, hogy az elmúlt két évtizedben a Környezetgazdálkodási Intézet kutatóinak vezetésével/részvételével számos hazai és nemzetközi kutatási pályázat megvalósításában és koordinálásában kiemelkedő sikerrel vettünk részt a vízgazdálkodás, a környezetvédelem, a hulladékgazdálkodás, a természeti erőforrás-gazdálkodás és a geotermika témakörében. A sikeres egyéni és bilaterális pályázatok után jelentős hazai és nemzetközi kutatás-fejlesztési és hálózatépítő pályázatokban vállaltunk meghatározó

szerepet, ezzel nem csak a Műszaki Földtudományi Karon, de Miskolci Egyetemi léptékben is az egyik legsikeresebb, pályázati forrásokat felhasználó kutatási egységgé váltunk. Tettük ezt úgy, hogy a konzorciumi kapcsolatépítést, a pályázatírást, a menedzsment és a szakmai magvalósítást is saját humánerőforrással oldottuk meg, új szemléletű kutatás-menedzsment modellt felépítve a Miskolci Egyetemen. A munkatársak által elnyert és megvalósított pályázati projektek listáját „A Tanszék hazai és nemzetközi pályázatai” című fejezetben mutatjuk be.

ÖSSZEGRÖZÉS

A harmincöt éves évforduló nem tipikus jubiláló mér-földkő egy intézmény életében, azonban elég hosszú idő ahhoz, hogy indokolt legyen a számvetés és az értékelés. Amikor a 2022-es év első negyedében döntöttünk a jubileumi kiadvány összeállításáról még nem tudtuk, hogy ez a szélsőségesen száraz év a laikus közvélemény és a szakmai közösség figyelmét is nyomtatékosan a felelős vízgazdálkodás fontossága felé fordítja. A Kárpát-medence vízkészletekkel jól ellátottnak tartott régiójában is nyilvánvalóvá vált a klímaváltozás okozta szélsőségek hatása és az abból adódó sérülékenységekünk.

A számvetést indokolja az is, hogy 2020-tól a Miskolci Egyetem modellváltó felsőfokú intézményként az Universitas Miskolcensis Alapítvány irányítása alatt folytatja tovább tevékenységét, amely gyökeres változásokat eredményezett az Egyetem, a Műszaki Földtudományi Kar, s így a Környezetgazdálkodási Intézet életében is. A változások egy része indokolt és elkerülhetetlen, mivel az egyetem nem függetlenítheti magát a gyorsan változó hallgatói és munkaerő piaci elvárásoktól. Napjaink kihívását az jelenti, hogy a megörökölt eredményeket, a hagyományos mérnöki szemléletű oktatási-kutatási eszköztárat megtartva, és a korszerűséget és naprakészséget garantáló változásokat támogatva helyes kutatási és oktatási irányokat tudjunk kijelölni. Ennek felelősségében az intézmény jelenlegi vezetése, a kar és az intézetek vezetői és az oktató-kutató kollégák közösen osztoznak.

A TANSZÉK OKTATÓI, MUNKATÁRSAI ÁLTAL ÍRT KÖNYVEK, SZERKESZTETT KONFERENCIA KIADVÁNYOK

Tankönyvek, szakkönyvek, jegyzetek

Juhász J. (1990). Vízkutatás, vízbeszerzés, vízgazdálkodás, egyetemi jegyzet. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. p. 484.

Juhász J. (1993). Áramlástan-Hidrogeológia II, egyetemi jegyzet. Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. p. 348.

Juhász J. (1994). Természet- és vízvédelem, egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc. p. 153.

Szabó I., Kovács B. (1995). Hulladékéltelhelyezés I-IV. kötet Ipar a Környezetért Alapítvány.

I. kötet: Szabó I. A terület kiválasztása, a geotechnikai vizsgálatok. p. 311.

II. kötet: Szabó I. Tervezés, méretezés, kialakítás. p. 223.

III. kötet: Szabó I. A lerakóban lejátszódó folyamatok. A monitoring rendszer. A kármentesítés. p. 231.

IV. kötet: Kovács B. A szennyezőanyagok terjedése. A modellezés elmélete és gyakorlata. p. 270.

Lénárt L. (1998). Hidrogeológiai kirándulások a Bükkben, egyetemi jegyzet. 2. kiadás. p. 292.

Szabó I. (1999). Hulladékéltelhelyezés. Miskolci Egyetemi Kiadó. ISBN 963 661 313 3. p. 440.

Lénárt L., Szabó I. [szerk. Kun Szabó T.] (1999). A környezetvédelem minőségmenedzsmentje. Műszaki Könyvkiadó. ISBN 963 163 048 X. p. 393.

Juhász J. (1999., 2002.). Mérnökgeológia I. Miskolci Egyetemi Kiadó. ISBN 963 661 337 0. p. 433.

Juhász J. (2002). Mérnökgeológia II. Miskolci Egyetemi Kiadó. ISBN 963 661 337 2. p. 445.

Juhász J. (2003). Mérnökgeológia III. Miskolci Egyetemi Kiadó. ISBN 963 661 572 2. p. 405.

Filep Gy., Kovács B., Lakatos J., Madarász T., Szabó I. [szerk. Szabó I.] (2002) Szennyezett területek kármentesítése. Egyetemi tankönyv. Miskolci Egyetemi Kiadó. p. 480.

Tamás J., Kovács B., Bíró T. (2002). Vízkészlet-modellezés. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. ISBN 963 472 657 7. p. 200.

Juhász J. (2002). Hidrogeológia (3. átdolgozott kiadás). Akadémiai Kiadó. ISBN 963 05 7891 3, p. 1176.

Szabó I. et al. [szerk. Németh T.] (2003). Kármentesítési beruházások műszaki ellenőrzése, Kármentesítési Útmutató 5. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, ISBN 963 03 4408 4, p.74.

Szabó I. et al. [szerk. Zimlér T.] (2003). Hulladékgazdálkodás. Egyetemi tankönyv. TERTIA Kiadó Bt. ISBN 963 9387 11 8. Budapest.

Kovács B. (2004). Hidrodinamikai és transzportmodellezés 1 (Processing MODFLOW környezetben) Miskolci Egyetem - Szegedi Tudományegyetem - Gáma-geo Kft. ISBN 963 661 637. p. 159.

Kovács B., Szanyi J. (2005). Hidrodinamikai és transzportmodellezés II. (Processing Modflow és SURFER for WIN-DOWS környezetben). Miskolci Egyetem - Szegedi Tudományegyetem - Gáma-geo Kft. ISBN 963 661 638 8. p. 223.

Csernyei T., Földessy J., Hartai É., Kuti L., Nováky B., Papp Z., Szabó I., Szilávik L., Szűcs P., Weiszbürg T., szerk. Hartai É., Földessy J. (2008). Fejezetek a környezetföldtanból. Miskolci Egyetemi Kiadó. p. 300.

Szűcs P. et al. [szerk. Szűcs P., Sallai F., Zákányi B., Madarász T.] (2009). Vízkészletvédelem: A vízminőség-védelem aktuális kérdései. Bíbor Kiadó. ISBN 978 963 998 800 2, p. 413. Miskolc.

Szabó I., Szabó A. (2012). Hulladéklerakók reaktivációja és utógondozása. Miskolci Egyetem. ISBN 978 963 661 627 4. p. 342.

Lénárt, L., Dobos, E., Mikita, V., Szegediné, D.E., Zelenáková, M. [Editors] (2013). Segédlet a szlovák-magyar árvízvédelem aktuális kérdéseihez. Riešenie aktuálnych otázok ochrany pred povodňami v slovenskej a maďarskej republike. Miskolci Egyetem. pp. 1-236.

Górecki, W., Kotyza, J., Sowizdzal A., Lubon W., Pelka, G., Halaj E., Kaczmarczyk, M., Wos D., Hajto, M., Capik M., Szűcs P., Madarász T. (2015). Increasing energy savings and use of unconventional sources as a key to effective energy use, Solgen Sp. zoo, ISBN: 9788364339073. p. 180. Monográfia, Lengyelország, Krakkó.

Szabó I., K. Tóth A. (2019). Környezetvédelmi geotechnika. Miskolci Egyetem-GEONSystem Kft. ISBN 978 963 358 188 9. p. 491.

Vetési-Foith Sz., Lénárt L., Leél-Össy Sz., Virág M. (2022). Caves of the Bükk Mountains; In Veress M. A. – Leél-Össy Sz. (szerk.): Cave and Karst Systems of Hungary., p. 627. Springer. ISBN 978 3 030 92959 6. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92960-2>

Online tananyagok

Hertlendí, E., Lénárt, L., Svingor, É. (1994). Participation in CEC program: COST-65. Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas. ISOKARST '94 International Workshop on Environmental Isotope Study of Karst Systems 3-4 October 1994, ATOMKI-MÁFI-ME kiadvány, pp. 1-210, Miskolc.

Madarász, T. (1999). Site selection of municipal solid waste landfills - Environmental Geology CD course material; Rochester Institute of Technology. Rochester NY, USA.

Szabó I., Déri L., Hudák I., Reith J., Nagy Gy. (2001). Tervezési segédlet a települési szilárd hulladéklerakók beruházásához, üzemeltetéséhez és bezárásához. p. 143.

http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladekgazd/tervezes_seged/ts_00fej.htm.

Szabó I. (2002). Tervezési segédlet a 22/2001. (X.10.) KÖM rendelet alkalmazásához. (Veszélyeshulladék-lerakók) p. 185.

http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladekgazd/tervezes_seged/ts_0fej.htm

Csöke B., Földényi R., Halász J., Miháltz P., Nagy G., Ötvös M., Simon M., Szabó I. (2008). Hulladékgazdálkodás, Környezetmérnök BSc szak indításához kapcsolódó egységes tananyagfejlesztés, internetes tananyag, Pannon Egyetem, Veszprém, <http://mkweb.uni-pannon.hu/hefop33/anyagok.html>.

Csernyi T., Földessy J., Hartai É., Kuti L., Papp Z., Szabó I., Szűcs P. (2008). Környezetföldtan, Környezetmérnök BSc szak indításához kapcsolódó egységes tananyagfejlesztés, internetes tananyag, Pannon Egyetem, Veszprém, <http://mkweb.uni-pannon.hu/hefop33/anyagok.html>

Bulla M., Domokos E., Gyulai I., Harkányiné Sz.Zs., Kovács B., Lénárt L., Madarász T., Magyar I., Mucsi L., Szabó I., Szűcs P., Winkler G. [Szabó I.] (2008). Környezeti informatika, Környezetmérnök BSc szak indításához kapcsolódó egységes tananyagfejlesztés, internetes tananyag, Pannon Egyetem, Veszprém, <http://mkweb.uni-pannon.hu/hefop33/anyagok.html>

Szabó I., Faur K. (2011). Geotechnika, Internetes tananyag a műszaki földtudományi BSc szakok számára, Miskolci Egyetem, <http://digitalisegyetem.uni-miskolc.hu/elearning/status.php>

Csöke B., Földényi R., Halász J., Miháltz P., Nagy G., Ötvös M., Simon M., Szabó I. (2011). Hulladékgazdálkodás II. Környezetmérnöki Tudástár XIX. kötet, javított kiadás, Veszprém, Pannon Egyetem, ISBN: 978-615-5044-44-1. <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/19-HulladékgazdalkodasII.pdf>

Csernyi T., Földessy J., Hartai É., Kuti L., Papp Z., Szabó I., Szűcs P. (2011). Környezetföldtan, Környezetmérnöki Tudástár I, 3. javított kiadás, Veszprém, Pannon Egyetem, ISBN: 978-615-5044-26-7. <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/01-Kornyezetfoldtan.pdf>

Bulla M., Domokos E., Gyulai I., Harkányiné Sz. Zs., Kovács B., Lénárt L., Madarász T., Magyar I., Mucsi L., Szabó I., Szűcs P., Winkler G., [Domokos E., Szabó I.] (2011). Környezeti informatika, Környezetmérnöki Tudástár XXII. kötet, javított kiadás. Veszprém, Pannon Egyetem, ISBN 978 61 5044 48 9. <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/23-KornyezetinformatikaII.PDF>

Csöke B., Böhm J., Fajtli J., Bokányi L., Takács J., Madarász T., Szabó I. (2011). Hulladékgazdálkodás, Internetes tananyag a környezetvédelmi BSc szak számára, Miskolci Egyetem, <http://hulladekonline.hu/Hulladékgazdalkodas>

Saját szerkesztésű konferencia kiadványok

Pethő Sz., Lénárt L. [szerk.] (1980a). Karszt és Barlangkutatók I. Országos Tudományos Diákköri Találkozásának előadásai, NME Közleményei. I. sorozat Bányászat. 28. 3-4. pp. 111-241. Miskolc.

Somfai A., Lénárt L. [szerk.] (1986). Az oktatási intézmények karszt- és barlangkutató tevékenységének tudományos eredményei c. konferencia előadásai. NME Közleményei, I. sorozat. Bányászat. 33. 1-4. pp. 1-285. Miskolc.

Lénárt L. [szerk.]. (1992b). A Bükk karsztja, vizei, barlangjai I. – II. Miskolc, 1992. május 28-30. BNP-ÉKF-ÉVIZIG-MKBT-ME-MVFCSV kiadványa. pp. 1-325, Miskolc.

Lénárt L. [szerk.] (1993). A bükk barlangok kutatásának, védelmének és hasznosításának legújabb eredményei I. Newest

Results in Research, Protection and Use of Caves of Bükk Mountains. Die neuesten Ergebnisse in Erforschung, Naturschutz und Nutzung der Höhlen im Bükk-Gebirge. Miskolc. 1993. november 11-13. pp. 1-114. BNP-MKBT-ME kiadvány, Miskolc.

Lénárt L. [szerk.] (1994a). A Bükk-vidék vízkészletvédelméért (Önkormányzatok érdekeltsége a vízkészlet-védelemben) Miskolc, 1994. május 27-28. Miskolci Egyetem-Miskolc mj. Város kiadványa. pp. 1-124. Miskolc.

Czurda K., Szabó I. [szerk.] (1996). Das Multibarrierensystem in der Deponiebautechnik Schriftenreihe des Lehrstuhles Angewandte Geologie Karlsruhe. 44., az MBS Budapest'96 Konferencia kiadványa. ISSN 0933-2510. p. 363., Budapest.

Czurda K., Szabó I. [szerk.] (1998). Abfallentsorgung und Altlastensanierung. Schriftenreihe des Lehrstuhles Angewandte Geologie. Karlsruhe. ISSN 0933 251054. p. 200.

Lénárt L. [szerk.] (2002). Karsztvízkutatás Magyarországon II. A bükk karsztvízkutatás legújabb eredményei c. konferencia. Miskolc. 2002. január 24-26., Bükk Víz Közalapítvány-MHT BTSz-Miskolci Egyetem kiadványa. p. 183.

Szűcs P., Lénárt L., Zákányi B. [szerk.] (2007). IV. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-Medence Ásványvizeiről. Geotudományok, A Miskolci Egyetem Közleményei. A sorozat Bányászat. 72. kötet - dr. Juhász József 80. születésnapjára Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. HU ISSN 1417 5398. p. 264.

Szűcs P., Lénárt L., Zákányi B. [szerk.] (2009). VI. Kárpát-Medence Ásvány- és Gyógyvizei Konferencia (Kutatás-Védelem-Felhasználás) Geotudományok. A Miskolci Egyetem Közleményei. A sorozat, Bányászat, 77. kötet Miskolci Egyetem. Műszaki Földtudományi Kar. HU ISSN 1417 5398. p. 238.

Szűcs P., Zákányi B. [szerk.] (2009). A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara 50 éve Miskolcon, A Miskolci Egyetem Közleménye. A sorozat, Bányászat. 79. kötet Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. HU ISSN 1417 5398. p. 238.

Madarász, T., Tóth, R. [szerk.] (2010). Proceedings of the 1st Knowbridge Conference on Renewables, University of Miskolc.

Szűcs P., Lénárt L., Zákányi B. [szerk.] (2011) VIII. Kárpát-Medence Ásvány- és Gyógyvizei Konferencia (Termákvíz-Borvíz-Egészség) Geotudományok. A Miskolci Egyetem Közleményei. 81. kötet Konferencia kiadvány. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, HU ISSN 1417-5398. p. 432.

Zákányi B., Faur K. B. [szerk.] (2013). IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Konferencia kiadvány. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. p. 590.

Zeleňaková, M., Lénárt, L., Gaňová, L., Mikita, V. (2013). Hydrologic risks – floods and droughts. p. 152. Technická Univerzita v Košiciach. Košice.

Fekete Zs. [szerk.] (2016). Proceedings of 12th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin. Mohács, Hungary. ISBN 978 963 358 115 5

Lénárt L. [szerk.] (2017). „100 éves a Magyar Hidrológiai Társaság, 25 éves a Bükk Karsztvízszint Észlelő Rendszer” Konferencia. Műszaki Földtudományi Közlemények. A Miskolci Egyetem Közleményei, 86. köt. 3. szám 2017.04.26. Konferencia kiadvány, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. p. 106.

Zákányi B. [szerk.] (2019) XV. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről Műszaki Földtudományi Közlemények. A Miskolci Egyetem Közleményei. 88. kötet, 1. szám, Konferencia kiadvány. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. ISSN 2063 5508. p. 157.

A TANSZÉK HAZAI ÉS NEMZETKÖZI PÁLYÁZATAI

Hazai pályázatok

Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, RRF-2.3.1-21-2022-00008, 2022.

Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén, (TKP2020-NKA, TKP-17-1/PALY-2020). 2020-2022.

Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig (2018-1.2.1-NKP-2018-00011). 2018-2023.

Felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása (TKP2019-NKA, NKFIH-846-8/2019). 2019-2020.

INNOVÍZ – project, Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében (GINOP-2.3.2-15-2016-00031). 2017-2021.

Miskolc Egyetemváros 2015, A Miskolci Egyetem és Miskolc város összehangolt tudástranszfer és innovációs szolgáltatás fejlesztése és fenntartható partnerség kiépítése stratégiai gazdasági szereplők bevonásával (TÁMOP-4.2.1.C-14/1/KONV-2015-00012), 2015-2017.

„KÜTFŐ – a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának felszín alatti vizekhez kapcsolódó nemzetközi kutatási potenciáljának fejlesztése célzott alapvető feladatok támogatása által” (TÁMOP-4.2.2.B-11/1/KONV-2011-0049), 2012-2015.

A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése (TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008), 2011-2013.

A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva az ME stratégiai kutatási területein (TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001), 2011-2013.

Új generációs reaktív falak töltet fejlesztése és méretezése (InnoCsekk projekt), 2009-2011.

Integrált kockázatelemző eljárás geotechnikai és környezeti kockázatok együttes vizsgálatára (Oktatási és Kulturális Minisztérium), 2006-2007.

A régi és új hulladéklerakók rekultivációja. KvVM pályázat a megadott témakörben írandó tervezési segédlet elkészítésére (2005-2006.), Szabó I.

Vízgazdálkodási döntéseket támogató monitoring rendszer megvalósítása a Bükk-vidéken a fenntartható fejlődés érdekében (GVOP-3.1.1.-2004-05-0530/3.0), konzorciumi résztvevő, konzorcium vezető: Smaragd Kft, Budapest.

HEFOP-3.3.1.-P.-2004-09-01-051/1.0 pályázat a környezet-mérnöki BSc szak indításához kapcsolódó egységes tananyagfejlesztés és az illeszkedő FSZ kialakítása, (koordinátor a Veszprémi Egyetem), közreműködés

A hulladékok optimális elhelyezésének lehetőségei (Magyarország környezetföldtani és földrajzi adottságainak értékelése hulladékelhelyezés szempontjából), (NKFP, nysz. 3/053/2001, konzorciumi résztvevő, konzorcium vezető: MÁFI, 2001-2004.

OTKA 047366, A talajvízkészlet minőségi változásának idő-és térbeli elemzése a Bihari síkon, közreműködés, konzorcium vezető: DATE, témavezető Szabó I., 2003-2006.

OTKA TO43179, Gazdaságos, alternatív zárószigetelési rendszerek vizsgálata, 2004-2006.

A hulladék lerakására és átvételére vonatkozó követelményrendszer kidolgozása KvVM pályázat, 2003, közreműködő KvVM környezetvédelmi tervezési segédlet: veszélyeshulladéklerakók, Szabó I., 2002.

KÖM környezetvédelmi tervezési segédlet írása: Hulladéklerakók tervezési és üzemeltetési kérdései, Szabó I., 2001.

OTKA T 031959, Ásványi szenek és széntartalmú hulladékok környezetvédelmi hasznosítása reaktív gátakban (2000-2003), témavezető Madarász T.

OTKA T 031871, Alternatív természetes anyagú szigetelések alkalmazási lehetőségei a környezetvédelemben (2000-2002), témavezető Szabó I.

KGI környezetvédelmi útmutató írása, Útmutató a hulladéklerakók talaj- és vízvédelmi előírásaira (2000), közreműködés

OTKA T 016905, Hulladéklerakók szigetelésének minősítő vizsgálata (1995-1997), témavezető Szabó I.

OTKA T 007496, Felszínközeli talajszennyezések meghatározása és megszüntetése (1993-1994), témavezető Szabó I.

OTKA A 023, Infrastrukturális műszerfejlesztési program: nyírószilárdságvizsgáló laboratórium fejlesztése, (1992), témavezető Szabó I.

Nemzetközi pályázatok

CRM Geothermal Horizon Europe RIA: Raw materials from geothermal fluids: occurrence, enrichment, extraction, 2022-2026.

DIKEINSPECT HUSKROUA/1901-Complex flood-control strategy on the upper-Tisza catchment area HUSKROUA/1901/8.1/0088, 2021-2023.

REFLECT H2020 RIA; Redefining geothermal fluid properties at extreme conditions to optimize future geothermal energy extraction (850626), 2020-2022.

REVITAL I HUSKROUA/1702 – Environmental assessment for natural resources revitalization in Solotvyno to prevent the further pollution of the upper-Tisza basin through the preparation of a complex monitoring system HUSKROUA/1702/6.1/0072, 2019-2022.

CHPM2030 – Combined Heat Power and Metal extraction H2020 projekt (GA 654100), 2016-2019.

"KNOWBRIDGE" The Cross Border Knowledge Bridge in the Renewable Energy Sources Cluster in Eastern Slovakia and North Hungary EU FP 7, 2009-2012.

"NORRIS" Regional Innovation Strategy development for the Transboundary Kosice North-Hungary region EU FP6 Project, 2005-2008.

The application of geostatistical methods during quality control of remediation of contaminated sites, magyar-osztrák kormányközi Tét Együttműködés, 2005-2006.

Quality assurance in the field of remediation, magyar-osztrák kormányközi Tét Együttműködés, 2003-2004.

"IRON CURTAIN" on Trans-boundary Landuse Management along the former Iron Curtain areas; EU FP 5 Project, Contract No: QLK5-CT-2001-01401, 2001-2004.

"SQUASH" Qualitative and Quantitative Assessment of the Trans-boundary Alluvial Aquifer of the Szamos River NATO Science for Peace Project SFP 973684, 2000-2002.

Entwicklung von Strategien im Risikomanagement für die Grundwasserqualität, magyar-osztrák kormányközi Tét Együttműködés, 2000-2001.

ERASMUS programban való részvétel, partnerintézmény a Montanuniversität Leoben (Ausztria), 1999-2005.

TEMPUS JEP 9240-95: Specialization in Soil Science and Landuse Teaching, (1995-1997.), résztvevő, koordinátor: Debreceni Agrártudományi Egyetem.

IRODALOMJEGYZÉK

Böhm J., Szabó I. (2010). Környezetgazdálkodási Intézet. A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara 50. évi Miskolcon. Műszaki Földtudományi Kar – A Miskolci Egyetem Közleménye "A" sorozat, Bányászat 79. kötet. pp. 177-184. Miskolc. Egyetemi Kiadó. HU ISSN 1417-5398.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

A Környezetgazdálkodási Intézet jelene és jövőbeli elképzelései

Madarász Tamás*, Szűcs Péter*, Kolencsikné Dr. Tóth Andrea*

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: tamas.madarasz@uni-miskolc.hu, peter.szucs@uni-miskolc.hu, hgandi@uni-miskolc.hu)

Kivonat

Közleményünkben a Környezetgazdálkodási Intézet (KGI) – a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék utódja – jelen helyzetét, társadalmi, szakmai és intézményi kihívásait és azokat az oktatási és kutatási fejlesztési elképzeléseket mutatjuk be, amelyekkel a következő évtizedekre is pozicionálni szeretnénk az Intézet helyét a hazai műszaki felsőoktatásban és a felszín alatti vízgazdálkodás szakmai közegében. Az eredetileg Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék néven létrejött és leginkább ezen a néven ismert tanszék az intézményi keretekhez alkalmazkodva többször váltott nevet, ezért a szövegben megjelenő Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék, majd az azt magába foglaló Környezetgazdálkodási Intézet ugyanannak a kutatási egységnek, hagyományos néven a Tanszék utódjának a megnevezése.

Kulcsszavak

Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, oktatási és kutatási feladatok, jövőbeli fejlesztési elképzelések, felszín alatti víz.

The present status and future development plans of the Institute of Environmental Management

Abstract

This paper introduces the analysis of the present status of the Institute of Environmental Management – former Department of Hydrogeology and Engineering Geology – its social, technical and institutional challenges and the educational and research development plans, that might position the Institute on the higher education and technical level for the coming decades. The Department, which was originally established as the Department of Hydrogeology and Engineering Geology – and is mostly known by this name – changed its name several times to adapt to the institutional framework, however, in this article it is named the Institute of Environmental Management, which is the name of the successor of the same research unit, traditionally known as Department.

Keywords

Department of Hydrogeology and Engineering Geology, educational and research assignments, future plans, subsurface water.

BEVEZETÉS

A Műszaki Földtudományi Kar (MFK) Környezetgazdálkodási Intézete által művelt szakterületeket hagyományosan három területre osztjuk: (1) hidrogeológia; (2) mérnökgeológia; (3) környezetvédelem. A hidrogeológián belül művelt területek: a vízkutatás-vízbeszerzés, vízvédelmi tervezés, hidrológia-hidrográfia, szivárgáshidraulikai jellemzők vizsgálata, vízbázisvédelem, karszthidrogeológia, hévíz és gyógyvíz hasznosítás, hidrodinamikai és transzportmodellezés. A mérnökgeológia területén műszaki létesítmények mérnökgeológiai előmunkálatait, dinamikai geológiai folyamatok kutatását, rézsűállékonysági vizsgálatokat, talajmechanikai laboratóriumi kutatásokat, építésföldtani térképezést, hulladéklerakók geotechnikai vizsgálatait végezzük. A környezetvédelem témakörén belül az Intézet foglalkozik fenntartható vízkészlet-gazdálkodással, sérülékeny vízbázisok védelmével, hulladékgazdálkodással, természetvédelemmel, vízminőségvédelemmel, szennyezett területek kármentesítésével és kockázatelemzéssel.

Az elődeinknek köszönhető kiterjedt kapcsolatépítő és intenzív kutatási és oktatási tevékenység eredményeként a Környezetgazdálkodási Intézetben egy nemzetközi kapcsolatokkal rendelkező oktatói gárda nőtt fel, amely a hidrogeológia és a környezetmérnöki kompetenciák oktatását és kutatását a magyar és angol nyelvű hidrogeológus és környezetmérnök MSc program keretében végzi és a nemzetközi oktatási programokban és pályázatokban világviszonylatban is elismert munkát végez. A kutatási eredmények oktatásba történő beépítése, valamint a céges igényeket is figyelembe vevő folyamatos tananyagfejlesztés eredményeként a Miskolcon végzett hidrogeológus mér-

nőkhallgatók korszerű ismeretek birtokában kezdhetik el munkájukat. Az Intézet által művelt tudományterületeket illetően előnyös helyzetben lévőknek mondhatjuk magunkat, mivel az integrált vízgazdálkodás megteremtése és az ivóvíz készletek védelme globális kihívása évszázadunknak. Ennek megfelelően a Miskolci Egyetem stratégiai prioritási területei között is szerepel a vízgazdálkodás és a felszín alatti vizek védelme. Ezzel párhuzamosan a vízipar és a környezetipar sürgető igényeinek és célterületeinek változása is hatással van az intézetünk kutatási területeire is. A hagyományos hidrológiai és mérnöki kérdéskörökön túl új feladatok és fejlesztési igények jelentek meg, amelyek megoldásához korszerű informatikai ismeret szükséges (digitalizáció, big data elemzések, mesterséges intelligencia és okos megoldások) és felértékelődnek az interdiszciplináris problémamegoldó készségek is. Ennek felismerése megköveteli a meglévő és/vagy új vállalati kapcsolatok megújítását, új típusú együttműködési pontok beazonosítását. Kiemelten fontosak a vízművállalatok üzemelési problémáihoz kapcsolható K+F feladatok, a geotermikus energia hasznosítása, az agrárium öntözéssel és precíziós műveléssel kapcsolatos igényei, különös tekintettel a talajtani kapcsolódási lehetőségekre, valamint a kármentesítési ipar korszerű feltárási és beavatkozási technológiáira és a geotechnika, a környezeti geotechnika újszerű kérdésfelvetéseire.

HOL TARTUNK MOST?

A Környezetgazdálkodási Intézet személyi állománya 2022. júniusában 20 fő aktív munkatársból áll, ebből 13 fő teljes munkaidős, 2 fő részmunkaidős foglalkoztatott, 2 fő doktorandusz/félállású tudományos segédmunkatárs, 5 fő

doktorandusz, 4 fő aktív státusszal nem rendelkező, de az Intézet munkájában meghatározó módon résztvevő munkatárs (1 fő professzor emeritus, 2 fő címzetes egyetemi tanár, 1 fő egyetemi tanársegéd). A munkatár-

saink közül 15 fő oktató-kutató státuszú, közülük PhD fokozattal 12 fő, ebből 1 fő CSc és 1 fő DSc címmel is rendelkezik, 1 fő 2022. májusától az MTA levelező tagja (1. táblázat).

1. táblázat. Az Intézet munkatársai
Table 1. Colleagues of the Institute

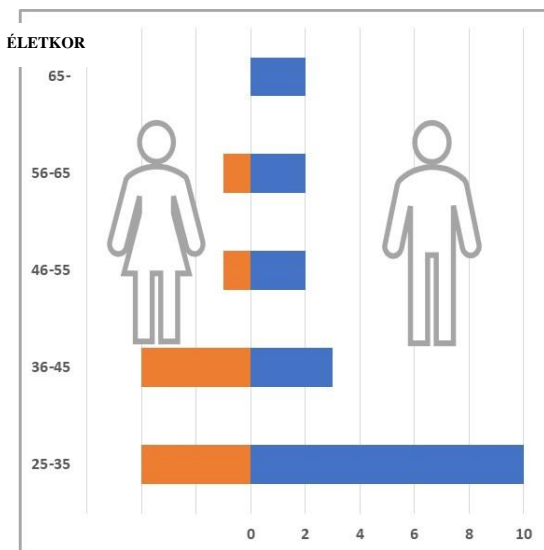
Aktív státuszú munkatársak	Beosztás	Tudományos fokozat
Szűcs Péter	egyetemi tanár	DSc, az MTA levelező tagja
Madarász Tamás	egyetemi docens	PhD
Zákányi Balázs	egyetemi docens	PhD
Mikita Viktória	egyetemi docens	PhD
Kolencsikné Tóth Andrea	egyetemi docens	PhD
Kántor Tamás	egyetemi adjunktus	PhD
Tóth Márton	egyetemi adjunktus	PhD
Kovács Attila	tudományos főmunkatárs (részmunkaidő)	PhD
Nyiri Gábor	tudományos segédmunkatárs	PhD
Fekete Zsombor	tudományos segédmunkatárs	
Ilyés Csaba	tudományos segédmunkatárs	
Székely István	tudományos segédmunkatárs	
Miklós Rita	tudományos segédmunkatárs	
Szász Noémi	tudományos segédmunkatárs/doktorandusz	
Hasan Eteraf	tudományos segédmunkatárs/ doktorandusz	
Nagy István	projektmenedzser	
Csanálosi Ádámné	intézeti adminisztrátor	
Papp Sándorné	intézeti adminisztrátor	
Bujdosó Istvánné	laboráns	
Lakatosné Czinger Csilla	laboráns	
Nem aktív státuszú munkatársak		
Darabos Enikő	egyetemi tanársegéd	PhD
Szabó Imre	professzor emeritus	PhD, CSc
Lénárt László	címzetes egyetemi tanár	PhD
Kovács Balázs	címzetes egyetemi tanár	PhD, dr. habil.
PhD hallgatók		
Yetzabbel Gerarda Flores Carpio		
Borjini Malek		
Gharbia Abdalkarim S. S.		
Mohammed Musaab Adam Abbakar		
Hemida Mohamed Hamdy Eid		
Mohammed Sarkhel Hawre		
Al-Shayef Ibrahim Sultan Mansor		

Az Intézet aktív dolgozóinak korfáját az 1. ábrán mutatjuk be. Előremutató és kedvező adottság, hogy az Intézet személyi állományának fiatalnak mondható, a minősített oktatók tekintetében jelenleg a Kar legfiatalabb átlagos életkorú intézete, ami köszönhető az elődök tudatos humán erőforrás stratégiájának és a projektjeink által teremtett lehetőségeknek. A PhD képzésben résztvevő fiatalok közül az elmúlt három évben 4 fő szerzett PhD fokozatot (Juhász Eleonóra, Kántor Tamás, Tóth Márton,

Nyiri Gábor) és két fő védése várható még az őszi félévben (Miklós Rita és Hoang Dinh Thien).

Az Intézet által felvállalt oktatási feladatok jelentősek, mivel több BSc és MSc szak szakvezetői vagy specializáció vezetői feladatait látjuk el. A Műszaki Földtudományi alapszakon (BSc) a Földtudományi Szakirányért és a Környezetmérnöki alapszakért (BSc), míg a mesterképzésben (MSc) a Környezetmérnök és a Hidrogeológus mérnök képzésért felel az Intézet és hangsúlyosan részt vesz azok

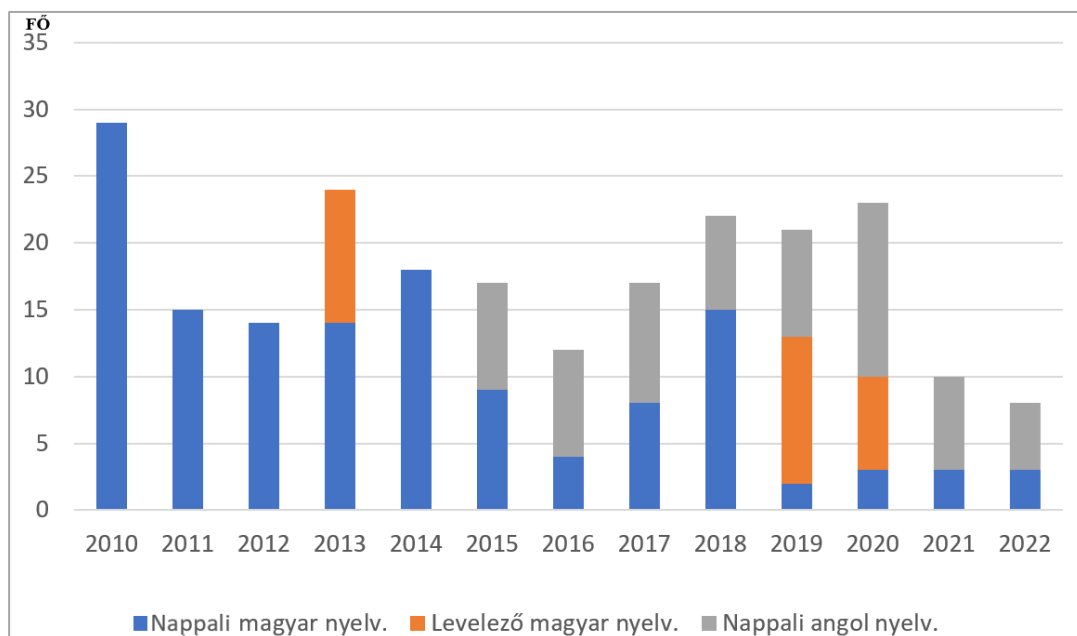
oktatásában is. 2018-tól a Munkavédelmi és Munkavédelmi Szakmérnök Szakirányú Továbbképzési Szak, az idei évtől pedig a Tűzvédelmi Szakmérnök képzés is megjelent Intézetünk képzési palettáján. Ezen túlmenően munkatársaink részt vesznek az NKE Vízügyi Üzemeltetési Szakember képzésében és a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán újonnan induló Városüzemeltető, Geotermikus szakmérnöki oktatásban is. A Környezetmérnök alapszakon a Hidrogeológus mérnök MSc képzésnél a MIVÍZ Kft. közreműködésével hallgatóink számára duális képzési formát kínálunk a HELL Energy Magyarország Kft., a Joyson Safety Systems Hungary Kft., a KITE Zrt., a Chinoín Zrt., a Vertikál Zrt. és a BPI Group Hungary Kft. bevonásával.



1. ábra. A Környezetgazdálkodási Intézet korfája
Figure 1. Institute of Environmental Management – age distribution of faculty members

A felvételi adatok alapján kimondható, hogy a környezetmérnök alapszak képzésünk létszámai elmaradnak a kívánatostól. 2019-ben a BSc képzéseink felülvizsgálata keretében módosítottuk a képzés tantárgyi hálóját és a specializációk elnevezését, tematikáját létrehozva a Természeti erőforrás-gazdálkodás és környezetbiztonság specializációt.

Az oktatás területén 2015 után érdemi változást hozott az angol nyelvű hidrogeológus, majd a környezetmérnök MSc programunk átdolgozása és elindítása, ami jelentős kihívás elé állította a nagyobb rutinnal rendelkező oktatóinkat is. Az elmúlt 5 évben az angol nyelvű képzéseinkkel kapcsolatos kezdeti bizonytalanságok megszűntek, egyes külföldi hallgatóink diplomamunkái versenyeken értek el sikereket, mások rangos nyugat-európai, tengerentúli egyetemek posztgraduális vagy PhD programjain folytatták tanulmányaikat. Az angol nyelvű képzések előkészítése, akkreditáltatása – különösen a Hydrogeologist Engineer MSc esetében – jó stratégiai döntés volt, mivel a hazai felsőoktatás hallgatói száma csökken, ugyanakkor külföldi hallgatók elérésére reális lehetőséget láttunk. Ez idő alatt a Környezetmérnök MSc képzést több éven át nem indítottuk el hallgató hiány miatt. 2018-tól az angol nyelvű Environmental Engineering MSc képzés tantárgyi hálóját korszerűsítettük és két új specializációt indítottunk el „Contaminated Site Remediation and Environmental Geotechnics” és „Waste Management” néven. Az angol nyelvű képzések bevezetése az elvárásoknak megfelelően jelentősen hozzájárult a kari hallgatói létszámadatokhoz és a finanszírozáshoz. 2018-tól a hazai szakmai fórumok kérésére a hidrogeológus mérnök MSc programunkat magyar nyelven, levelező formában is meghirdettük, a levelező képzés azonban nem hozta az elvárt eredményeket. A hidrogeológus mérnök képzésünk hallgatói létszám-alakulását 2010-2022 között a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra. A hidrogeológus mesterszakra felvételt nyert hallgatók száma 2010-2022 között
Figure 2. Number of recruited students in our Hydrogeology MSc program (2010-2022)

Jellemző, hogy az oktatási tevékenységünket két – részben ellentétes – hatás/elvárás erőterében valósítjuk

meg: (1) a hallgatói létszám szinten tartása, növelése a képzés finanszírozhatósága céljából és (2) az oktatási

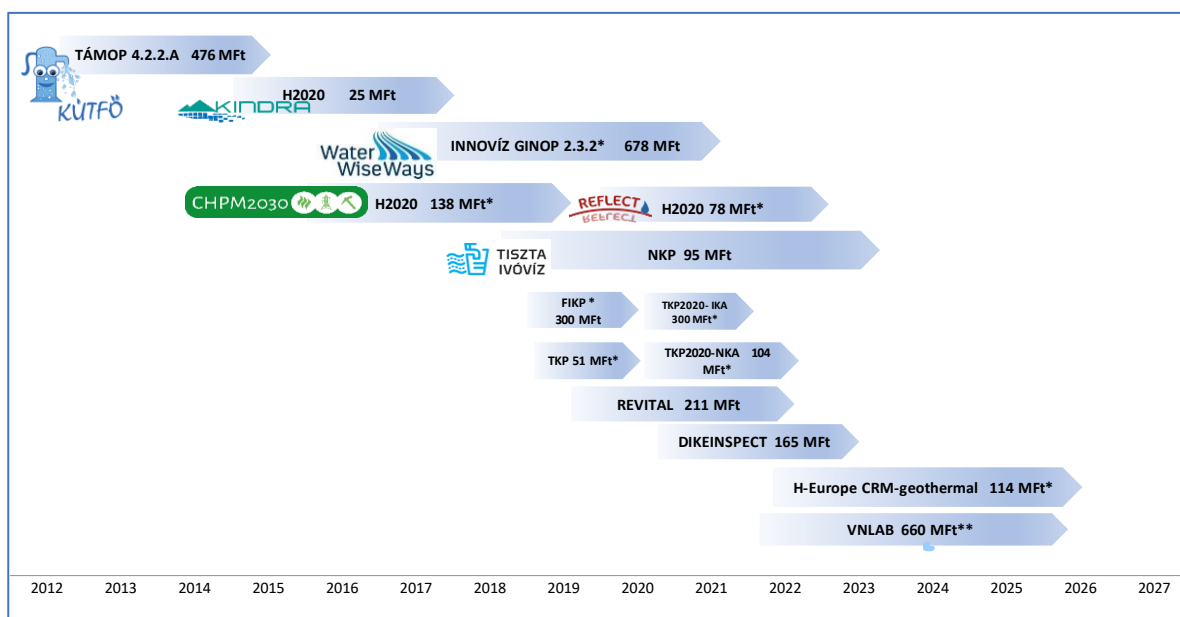
programok minőségének javítása, korszerűsítése és a munkaerőpiaci igények kielégítése. Az első rövidtávú szemléletű, finanszírozhatóság alapú elvárás, a második hosszabb távú stratégiai kérdés. A folyamatok áttekintése és értékelése céljából 2020-ban az Intézet oktatóival értékeltük képzéseinket és azok stratégiai jelentőségét és döntés született az angol nyelvű Hydrogeologist Engineer MSc képzéssel párhuzamosan a magyar nyelvű Hidrogeológus mesterszak nappali tagozatos meghirdetéséről is. Ennek megfelelően 2020. szeptemberétől a hidrogeológus mérnök mester képzést párhuzamosan két nyelven, nappali tagozatos formában hirdetjük meg. Megfigyelhető, hogy az MSc képzésre jelentkező hallgatók egy része már tudatosan figyeli, hogy milyen tervezői, szakértői jogosultságok válnak elérhetővé egy-egy képzés sikeres elvégzése esetén. Az elmúlt években intenzív szakmai lobby-tevékenységet végzett a kar és az Intézet vezetése, hogy a Miskolcon végzett hidrogeológus mérnök MSc hallgatók jogosultak legyenek Mérnöki Kamarai tervezői jogosultságokra.

A Munkavédelmi és Munkavédelmi Szakmérnök szakirányú továbbképzésünk sikeres programnak bizonyult, amit jelentős hallgatói létszámokkal tudunk indítani minden félévben. Az oktatói gárda jelentős része külsős oktatókból áll, de az oktatás szervezése és lebonyolítása teljes egészében a Környezetgazdálkodási Intézetben történik. A

napokban kapta meg az OH támogatást a Tűzvédelmi szakember szakirányú továbbképzés programunk is, amellyel a Kar EHS képzési palettáját szélesítjük tovább.

AZ INTÉZET K+F+I TEVÉKENYSÉGE

Az elmúlt 6-8 évet döntően meghatározta néhány nagy értékű hazai és nemzetközi kutatási pályázat megvalósítása (KÚTFŐ, INNOVÍZ, TISZTA IVÓVÍZ, CHPM2030, REFLECT, TKP, TKP NKA, Tiszta Ivóvíz, DIKEINSPECT és REVITAL), amelyek többségének szakmai irányítását és menedzsment feladatait is a Környezetgazdálkodási Intézet vezető oktatói és munkatársai látták el. A legtöbb pályázat megvalósításába az intézetünk dolgozói mellett más intézetek munkatársai is bekapcsolódtak. A projektek eredményes lebonyolítása kedvezően befolyásolta az Intézet megítélését, elősegítette a fiatal kutatók előmenetelét és részben önálló kutatómunkáját, valamint néhány esetben hallgatók kölcsönösen előnyös bekapcsolását a kutatói munkába. A projektek megvalósítása kapcsán kedvezőtlen járulékos hatás, hogy a megnyert, több éves futamidejű projektek végrehajtásához kapcsolódó menedzsment-ügyviteli feladatok erőforrásokat vonnak el más fontos területektől, ezért intézetünkben 2020-tól 2,5 fő projektmenedzsment feladatokat ellátó munkatársat alkalmazunk. Az intézetünk által megvalósított legnagyobb volumenű pályázatok intézményi/kari költségvetését, futamidejét a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra. Az Intézet jelentősebb K+F pályázataink volumene és futamideje

Figure 3. Magnitude and duration of major R&D projects of our Institute

*KGI és más MFK intézetek által megvalósított projekt és feltüntetett költségvetés

** Project implemented in collaboration with other institutes of MFK Faculty

A pályázatok megvalósítása során tudatos vezetői döntés volt, hogy – amely projekt esetében lehetséges – fiatal kutatók kapjanak lehetőséget egy-egy kutatási feladat teljes vagy részleges önálló irányítására. Ezt a lehetőséget több fiatal kollégánk megbecsülte és jól használta ki.

A jelenleg futó, és az Intézet szakmai profiljához kapcsolódó szakmai kutatások témái az alábbiak: felszín alatti vízkészletek mennyiségi és minőségi monitoringjának új-

szertű megoldásai (Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium), a parti szűrésű rendszerekre települt ivóvízes rendszerek szerves mikroszennyezőkkel szembeni kitettsége/védettsége (Tiszta Ivóvíz Nemzeti Kiválósági Program), közepes és nagy mélységű geotermikus rendszerek üzemelési kockázatainak vizsgálata és kapcsolódó fémkinyerési eljárások fejlesztése (REFLECT H2020; CRM-Geothermal Horizon Europe, Tématerületi Kiválósági Program) és árvízvédelmi töltések geofizikai monitoringja (DIKEINSPECT projekt).

Az elnyert és megvalósított pályázati projekteken túl számos nagy jelentőségű pályázat megvalósítására készülünk a 2023-as évtől kezdődően. Az egyetemi szintű „Green and Smart Campus” és TIP projektekben tervezett jelentős szerep mellett rangos feladatot vállalunk a Magyar Tudományos Akadémia által gondozott stratégiai vízgazdálkodási programban. Ezeket a kutatásokat társintézetekkel közösen valósítjuk meg, miközben a következő 3-4 évre továbbra is jelentősen hozzájárulunk az intézeti infrastruktúra fejlesztéséhez és a kutatási feladatok finanszírozásához. A pályázati források mellett az elmúlt néhány évben növekedni kezdett az Intézet vállalati megbízásainak volumene is.

JÖVŐBELI ELKÉPZELÉSEK

Az Intézet fejlesztési elképzelései nem függetleníthetők az Egyetem és a Kar stratégiai célkitűzéseitől, valamint a jövőbeli működési körülményektől. A „Műszaki Földtudományi Kar Fejlesztési Stratégiája 2022-2030 időszakra” című programalkotó dokumentumot 2022 áprilisában fogadta el a Kar Tanácsa és a Szenátus.

A fejlesztési elképzeléseket a Kar vezetése jól definiált fejlesztési célokhoz rendelte, amelyek közül kiemelten fontosak az alábbiak:

- humán erőforrás fejlesztés,
- alap- és mesterszakok tananyagainak korszerűsítése és oktatási módszereink teljeskörű felülvizsgálata,
- láthatóságunk fokozása a nemzetközi kutatási hálózatokban.

A *Fejlesztési Stratégia* helyzetértékelés fejezetében bemutatott adatok alapján elmondható, hogy az Intézet oktatói-kutatói átlagéletkora kedvező, elméletben évekre biztosított az Intézet oktatói humán erőforrás igénye. A munkatársak egyéni fejlődéséhez és szakmai közösséggé való formálódásához is átlagon felüli lehetőségek, anyagi erőforrások adottak. Az Intézet által művelt szakterületek szerinti lebontásban kedvezőbb a helyzet, mint 6-8 évvel ezelőtt, mivel mára a mérnökgeológia területén felkészült, elkötelezett fiatal vezető kutató kapott felhatalmazást a szakterület újbóli megerősítésére, ily módon garantálható, hogy az Intézet a talajmechanikai, geotechnikai területen is erősítheti országos szerepét. Három fiatal kutató posztgraduális képzésben vesz részt, amellyel egyéni és intézeti kompetenciáinkat bővítik az építőmérnöki, a vízepítési és az infrastruktúra-építőmérnöki területeken.

Az oktatói teljesítményértékelés legmarkánsabb elvárásai a minőségi publikációk számának növelése és az oktatási feladatok magas színvonalú ellátása, ami természetes módon kijelöli a következő évek prioritásait. Az intézetünk által felvállalt K+F+I feladatok és elnyert pályázati projektjeink száma indokolja a kutatói és technikai, laboránsi létszám szinten tartását, sőt esetekben bővítést. Különösen indokolt a laboráns, technikai kapacitások bővítése, mivel az előrevetített labor kapacitást a jelenlegi létszámmal nem tudjuk üzemeltetni. A projekt finanszírozású kollégák bérének fedezete a következő négy évre is biztosított, a PhD fokozatot megszerző, elkötelezett munkatársakra szüksége van az Intézetnek, ugyanakkor a követő év-

folyamokon a 7 fő doktorandusz/doktorjelölt hallgató közül csak 1 fő magyar hallgatónk van. A külföldi doktorandusz hallgatók a PhD képzés szempontjából fontos mutatók, de az intézeti oktatói-kutatói utánpótlás szempontjából sajnos nem számolhatunk velük, nyelvi és egyéb korlátok miatt nem válnak aktív tagjaivá az Intézetnek.

Az intézmény nemzetközi versenyképessége érdekében megkerülhetetlen a kutatási és oktatási infrastruktúra korszerűsítése és naprakésszé tétele. Az elmúlt években az Intézetben futó projekt forrásokból folyamatosan fejlesztettük, karbantartottuk a laboratóriumi eszközeinket és terepi mérőberendezéseinket. A terepi és laboratóriumi eszközök fejlesztésében igen jelentős előrelépésre számíthatunk a TIP pályázatba betervezett talajmechanikai és geotechnikai labor korszerűsítés, a hidrogeológiai eszközpark bővítés, a drón alapú környezeti monitoring képességeink kiépítése és az ezeket támogató szoftveres, adatfeldolgozó rendszerek beszerzése révén. Ezen felül több, mint 100 MFt értékű eszközfejlesztést tartalmaz az elmúlt hónapokban támogatásban részesült Víz-tudományi és Víz-biztonsági Nemzeti Labor pályázatunk. Az eszközbeszerzések tervezésekor oktatási és kutatási, labor és terepi mérési képességeink fejlesztése egyaránt fontos szempont volt. Az új környezeti monitoring eszközök beszerzése mellett fejleszteni és korszerűsíteni kívánjuk a harminc éves Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) adatgyűjtő és továbbító elemeit. A több évtizedes adathalmaz nem csak kutatóink számára jelent nagy értéket, de alkalmas a klímaváltozás esetleges lokális hatásainak detektálására, vagy a környező településen élők ivóvízbiztonságával kapcsolatos döntéshozatal támogatására is.

Oktatási programjainkkal kapcsolatban a leggyakrabban felmerülő kérdés a hallgatói létszámok kritikusan alacsony volta. A hallgatói létszámok növelésére jelentős erőfeszítéseket tesz a Kar és a legtöbb intézet, ennek ellenére az ismert demográfiai és társadalmi trendekkel szemben nehéz áttörést elérni. Programjaink vonzerejére gyakorolt legjelentősebb hatása a végzett hallgatóink és az őket foglalkoztató cégek elégedettségének/kritikai észrevételeinek van. Ezekkel együtt is mindenképpen időszerű az oktatási programjaink felülvizsgálata, ami az MFK által gondozott összes oktatási program esetében napirenden van. A környezetmérnök képzés (BSc és MSc) jelenlegi formájában idejétmúlt, az új szakmai irányjelölésnek szakmailag megalapozottnak kell lennie, ugyanakkor követnie kell az aktuális piaci elvárásokat és a hallgatói igényekhez is igazodnia kell. Ezt szolgálhatja az építőmérnöki (civil engineering) elemek arányának növelése, esetleg önálló képzés beindítása és a környezetvédelmi geotechnika szerepének növelése. Kitérés irányt jelenthet a környezeti monitoring, a környezet diagnosztika és a kapcsolódó adatkezelési kompetenciák megjelenítése is a programban. A környezeti monitoring ma nem csak a természeti jelenségek és folyamatok megfigyelését foglalja magában, de az antropogén környezeti elemek, pl. a műtárgyak és az infrastruktúra okos felügyeletét és állapotvizsgálatát is. Az angol nyelvű MSc képzés főleg a fejlődő országokból fogad hallgatókat. Ameddig ez a hallgatói merítés elérhető, a képzés életképes. A magyar nyelvű BSc képzés esetében ez már nem mondható el. A hidrogeológus-mérnök képzésünk angol és

magyar nyelven is piacképes tudást biztosít. A fejlesztési törekvés ez esetben a tananyag korszerűsítésére és az újszerű oktatási módszerek bevonására irányul. Ezek között említendő a terepi képzési elemek szerepének növelése (pl. tervezett terepi mérőhely fejlesztése), a projekt szemlélet beépítése a képzésbe, új digitális tanulási módszerek alkalmazása, személyre szabott mester-tanítvány szemléletű oktatás és a kontakt órákra alapozott szemlélettel szemben az irányított témafeldolgozás módszerének preferálása. Az MSc képzésben a levelező formátumú képzés bevezetése – bár nem tekinthető ideálisnak a jelenlegi hallgatói elvárásokra reagálva középtávon megkerülhetetlen. A levelező képzés ma – főleg a COVID pandémia alatt szerzett tapasztalatok alapján – online képzéssé alakítható, úgy, hogy a klasszikus, személyes jelenléttel folyó konzultációs alkalmakat a labor és gyakorlati órák lebonyolítására kell felhasználni. A Munkavédelmi és Munkavédelmi Szakmérnök Szakirányú Továbbképzési programunk mellett 2022. szeptembertől a Tűzvédelmi szakember és Tűzvédelmi Szakmérnök program indítására is engedélyt kaptunk az Oktatási Hivattaltól. A szakirányú továbbképzési programok valós piaci igényt szolgálnak ki és indításuk a kar számára is nagy jelentőségű. A képzéshez szükséges kompetenciákat csak kis részben tudja biztosítani az intézetünk, de az oktatóink ilyen irányú felkészültségének a fejlesztése is indokolt lehet, ha a képzési létszámok a jelenlegi szinten maradnak.

Az Intézet által képviselt tudományterületek művelői számos globális kihívással szembesülnek napjainkban, amelyre az oktatási programjainknak is reagálniuk kell. A nemzetközi kutatási trendek követése, a kutatási irányok naprakész ismerete minden kutatóval szemben kötelező elvárás. A nemzetközi kutatási pályázatok – bár pénzügyi jelentőségük elmarad egyes hazai forrásokétól – egyéni szakmai előmenetelben, kapcsolatok kiépítésében és a nemzetközi láthatóság támogatásában elengedhetetlenek. A fiatal kutatókkal és különösen a vezető kutatókkal szemben elvárás, hogy nemzetközi szakmai fórumokon is képesek legyenek az egyetemet képviselni és saját kutatási pályájukat építeni. A klímaváltozás által gerjesztett szélsőséges hidrológiai jelenségek a világ mind nagyobb részén okoznak ivóvízbiztonsági kockázatot és látható, hogy a Kárpát-medence sem mentes a kihívásoktól. A korszerű környezeti monitoring technikák bevezetése, a megfigyelő hálózatok által generált nagy mennyiségű adatok továbbítása, tárolása és elemzése megkerülhetetlen részévé vált a mérnöki-szakmai felkészülésnek. A szélsőségek által kikenyszerített és az adatelemzésekre alapozott szakmai döntések korábban nem támogatott vízgazdálkodási tech-

nikák megismerését és felvállalását fogják kikényszeríteni. A hidrogeológia terén egyre szélesebb körben elfogadottak a célzott felszín alatti vízutánpótlás (Managed Aquifer Recharge, MAR) nem hagyományos megoldásai is. Ezzel együtt megnő a szakma felelőssége a hazai vízgazdálkodási döntésekkel kapcsolatban, feladatunknak tekintjük, hogy ezekben a döntésekben a szakmaiságot az Intézetünk tagjai felelősséggel képviseljék. A geotermia hidrogeológiai aspektusában tudatosabb szakmai jelenlét elvárható a KGI munkatársaitól, ugyanakkor korábbi és jelenlegi nemzetközi projektjeink kapcsán Karunk elismert a geotermikus rendszerekhez kapcsolt nyersanyag kinyerési technikák terén (pl. CHPM eljárás), amely egyre szélesebb támogatottságot kap szakmai körökben. Folytatnunk kell a tudatos nyitást a víziközmű ágazat irányába is, ahol komoly műszaki kihívást jelent az infrastruktúra elemek felügyelete és az üzemelés biztonság kérdése. Egyben megkerülhetetlen a digitalizáció és az okos rendszerek ismerete. Az Intézetünk kutatási eredményei alapján célunk, hogy a geotechnika és a felszín alatti környezetvédelem határterületén született környezetvédelmi geotechnika vezető hazai kutatóhelye maradjunk.

ÖSSZEGRZÉS

A Miskolci Egyetem, mint az egyik modellváltó hazai felsőoktatási intézmény jelentős változásokon megy át napjainkban. Számos, a gazdálkodást érintő beavatkozás elengedhetetlen az egyetem korszerűsítése és a piaci igények kielégítése miatt. A Műszaki Földtudományi Kar és a Környezetgazdálkodási Intézet vezetése számos oktatási- és kutatásszervezési intézkedést vezet be a hallgatói létszám növelése, az oktatási portfólió korszerűsítése és a kutatóhely nemzetközi láthatóságának fokozása érdekében.

A 2022-es év csapadékszegény időszaka, az ebből fakadó aszályok és a helyenként kialakult vízellátási problémák a laikus és a szakmai közvélemény számára egyaránt újból nyomatékossították a felelős vízgazdálkodás fontosságát, a hazai felszín alatti vízkészletek védelmének jelentőségét és a klímaváltozás okozta kitétségek kezelésének szükségességét. Ezen kihívásokat szem előtt tartva az Intézet személyi állományára és oktatási-kutatási előzményeire alapozva, valamint korunk egyre sürgetőbb megoldásokat igénylő problémáit tekintve újabb harmincöt évre kívánunk magunknak a „hidrotanszék” jelenlegi és jövőbeli munkatársainak, a Műszaki Földtudományi Karnak és a Miskolci Egyetemnek kiemelkedő oktatási és kutatási sikereket és Jó szerencsét!

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

A vízgazdálkodás szerepe a klímavédelemben

Szűcs Péter***, Madarász Tamás***, Ilyés Csaba***

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (Email: hgmt@uni-miskolc.hu)

** Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (E-mail: hgszucs@uni-miskolc.hu, hgilyes@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A fenntartható természeti erőforrásgazdálkodás témakör az egyik legsikeresebb és legismertebb kutatási területe a Miskolci Egyetemnek. A fókuszterületen belül különösen fontos szerepet játszanak a felszín alatti vízkészletekkel és a talajjal kapcsolatos, nemzetközi szinten is látható kutatások. Ezen kutatások egy jelentős része már évek óta a szélsőséges időjárási viszonyok hatásainak a vizsgálatához, valamint a klímavédelemhez kötődik. A jelen tanulmány keretében bemutatjuk azokat a globális és hazai trendeket és beavatkozási lehetőségeket, amelyek egyértelműen bizonyítják, hogy a víz- és talajgazdálkodásnak kitüntetett szerepe lesz a következő évtizedekben a klímavédelemben.

Kulcsszavak

Vízgazdálkodás, klímaváltozás, hatás enyhítés, beavatkozás.

The role of groundwater management in adapting to climate change

Abstract

Sustainable natural resource management is one of the most successful and well-known research areas at the University of Miskolc. Within the focus area, research on groundwater resources and soil science, are probably the most seen in international context. A key part of these research areas for years has been related to better understanding the effects of extreme weather conditions and climate change mitigation. In this study, we present global and domestic trends and intervention options that clearly demonstrate that water and soil management will play a prominent role in climate protection in the coming decades.

Keywords

Groundwater management, climate change, effect reduction, mitigation.

A KLÍMAVÁLTOZÁS OKOZTA GLOBÁLIS HATÁSOK, KIHÍVÁSOK

A hidrológiai ciklus részét képező felszín alatti vízkészletek nélkülözhetetlen elemei a világ vízfelhasználásának. Elég, ha csak arra gondolunk, hogy földi léptékben az ivóvízellátás több mint 50 százaléka, míg az öntözési céllal felhasznált vizek 43 százaléka a felszín alól származik (Szűcs 2017). A felszín alatti vizek emellett persze jelentős szerepet játszanak patakok, folyók és tavak természetes víz-utánpótlódásában, valamint a vizes élőhelyek és egyéb ökológiai rendszerek fenntartásában. Globális léptékben sajnos nagyon komoly problémaként merül fel a felszín alatti vízkészletek túlhasználata elsősorban arid és szemi-arid területeken. Kiemelt példaként említhető az a tény, hogy az utóbbi 50 évben megháromszorozódott a felszín alatti vízki-vétel nagysága a Földön (Szűcs és Mikita 2016).

A klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok jelentős mértékben hatnak a hidrológiai ciklus különböző elemeire, így a felszín alatti vízkészletekre is (Darabos és társai 2016). Ilyen hatások lehetnek például a természetes utánpótlódás és a tárolt vízmennyiség csökkenése, a kiszámíthatatlan hatású villámárvizek gyakoriságának növekedése, vagy akár a vízminőség kedvezőtlen irányú változása. Nagyon fontos tehát, hogy az eddigieknél pontosabban ismerjük ezeket a recens természeti folyamatokat a monitoring hálózatok dinamikus fejlesztésével, másrészt fel kell tárni azokat a vízgazdálkodási (műszaki, természettudományi, gazdasági, jogi és társadalmi) beavatkozási lehetőségeket, amelyek segítségével a felszín alatti vízkészletek is jelentős szerepet játszhatnak a klímavédelemben, legyen szó akár társadalmi adaptációról vagy a ká-

ros jelenségek hatásainak csökkentéséről (mitigációjáról). Mára egyértelművé vált, hogy a felszín alatti vízkészletek kulcsszerepet játszanak a társadalmi fejlődési folyamatokban. Ugyanakkor óriási különbségek vannak a rendelkezésre álló vízgazdálkodási eszközök és lehetőségek tekintetében a világ fejlett, fejlődésben lévő vagy leszakadt és elszegényedett régiói között.

Az ENSZ Fejlesztési Programja (United Nations Development Program) 2018-ban összeállított tanulmánya szerint az elmúlt években a vízzel kapcsolatos katasztrófák (árvizek, aszályok és szélsőséges viharok) adták a globális katasztrófális események csaknem 90%-át. Az elemzés az éghajlati változáshoz kapcsolódó és vízgazdálkodást érintő kihívásokat az alábbi hat átfogó témakörbe csoportosítja (UNDP Cap-Net 2018).

Klímaváltozás okozta bizonytalanságok és kockázatok: Az éghajlattal kapcsolatos bizonytalansággal és kockázattal való együttélés nem új jelenség a világ számos térségében. A szezonális árvizek például számos vízgyűjtő esetében a hidrológiai ciklus természetes velejárói. Az éghajlatváltozás azonban valószínűleg súlyosbítja a jelenlegi kihívásokat és fokozza ezeknek a mintáknak a súlyosságát és kiszámíthatatlanságát.

Vízhiány: A vízhiány kialakulása két alapvető okhoz köthető: természetes és antropogén hatások. A természetes hatások okozta vízhiány egyrészt az átlag alatti csapadék-összegek következménye, ugyanakkor a vízkészletek csökkenését okozza a vízkörforgás egyensúlyának felborulása is. A nagy intenzitású, rövid záporok bár jelentősen hozzájárulnak az éves csapadékösszegek szinten tartásá-

hoz, azok felszín alá beszivárgó hányada jelentősen elmarad a kiegyenlített csapadék eloszlás esetén tapasztalható, ezzel a felszín alatti vízkészletek deficitjét okozva. Vízhíányt okozhat a vízkészletek nem fenntartható hasznosítása is. A felszín alatti és felszíni vizek egyre konkuráló hasznosítása és túlermelése, valamint a különböző célú, összehangolatlan fejlesztések egyidejűleg a vízhiány gyakori okai számos régióban.

Vízbőség: A klímaváltozás egyik igazolt hatása számos régióban a csapadék éves eloszlásának változása. A klímaváltozás hozzájárul a csapadék intenzitásának növekedéséhez és a csapadékesemények eloszlásának szélsőséges válásához. Az emelkedő globális átlaghőmérséklet hatására a légkör egyre nagyobb mennyiségű nedvességet képes megtartani, ami magasabb potenciális csapadékmennyiséghez vezet, ezáltal növelve az árvízveszélyt. A hirtelen, nagy intenzitású csapadékesemények áradásokhoz, villámárvizekhez és az épített környezet csapadékvíz gazdálkodási infrastruktúrájának elégtelenségéhez vezetnek. Az árvíz azonnali hatásai és az okozott kár mértéke függ a vízgyűjtő területet borító vegetációtól, a talaj borítás/fedett térszín arányától, a talaj típusától, nedvességtartalmától, valamint az árvízvédelmi gátak és egyéb műtárgyak meglététől, állapotától.

Vízminőségi kihívások: Az éghajlatváltozás és a globális átlaghőmérséklet emelkedés közvetlenül hat a földi vízkészletek minőségére, mivel a vízhőmérséklet emelkedése – az emberi tevékenység hatásával együtt – a vízminőség romlásának egyik vezető tényezője. A mezőgazdasági tevékenységből és a háztartási szennyvízből származó tápanyag (pl. a foszfor és nitrát) szennyezés jelenleg is a vízkészletgazdálkodás egyik problémája. Az éghajlatváltozás következtében a nagyobb intenzitású csapadék hozzájárulhat a tápanyag bemosódás növekedéséhez, és ennek következtében a víztestek eutrofizációjához.

Tengerszint emelkedés, parti zónák érintettsége: A tengerparti területeken található a világ legnépesebb és gazdaságilag legjelentősebb városai, amelyek népsűrűsége és mérete folyamatosan növekszik. A tengerparti zónák különösen kitéve az éghajlatváltozás okozta tengerszint emelkedésnek és a szélsőséges időjárási eseményeknek. A tengerszint emelkedésével az árapály-áradások kockázata is növekszik. Az évtizedekkel, évszázadokkal ezelőtt épült védművek elégtelennek bizonyulnak a megemelkedett vízszintekkel szemben, vagy nagyobb eséllyel sérülnek meg súlyos árvízi károkat okozva.

Katasztrófavédelem felkészültsége: Az éghajlatváltozáshoz köthető károkozások növekvő mértékére kell számítanunk az elkövetkező évtizedekben. Az éghajlatváltozásra adott klímaadaptációs intézkedések skálája sokrétű, ám ezek legtöbbször csak mérséklék a katasztrófa hatásainak mértékét, teljesen nem akadályozhatják meg az események bekövetkezését. A megelőző intézkedések és azonnali beavatkozások terén új megoldásokra van szükség a veszélynek kitétt lakóközösségek felkészítése, az érintett emberek evakuálása, illetve a kritikus infrastruktúra elemek védelme érdekében.

Ismert tény, hogy a klímaváltozás okozta vízgazdálkodási kihívások egyes régiókat más-más mértékben sújtják. A WMO és partnerszervezetei által 2021-ben készített tanulmány szemléletesen mutatja be, hogy Földünk mely régióinak kell már napjainkban is súlyos vízgazdálkodási problémákkal szembenéznie. A jelentés szerint 2018-ban 3,6 milliárd embernek nem volt hozzáférése megfelelő ivóvízhez legalább egy hónapban évente, 2050-re ez a szám várhatóan több, mint ötmilliárdra nő. Az elmúlt 20 évben a szárazföldre kötött édesvízkészletek (felszíni és felszín alatti, beleértve a talajnedvesség, a hó és a jég formájában tárolt vízkészletek is) mennyisége évente folyamatosan csökkent. A legnagyobb veszteségek az Antarktiszon és Grönlandon jelentkeznek, de számos alacsonyabb szélességi körön elhelyezkedő, sűrűn lakott területen is jelentős vízvesztés tapasztalható. A helyzetet súlyosítja, hogy a földi vízkészleteknek mindössze 0,66%-a használható és elérhető édesvíz. A vízzel kapcsolatos veszélyek gyakorisága az elmúlt 20 évben megnőtt. 2000 óta az árvízzel összefüggő katasztrófák száma 134%-kal nőtt az előző két évtizedhez képest, ugyanebben az időszakban az aszályok száma és időtartama is 29%-kal nőtt (WMO 2021).

A VÍZGAZDÁLKODÁS SZEREPE A KLÍMAVÉDELEMBEN GLOBÁLIS LÉPTÉKBEN

Bár a klímaváltozás okozta kockázatok leggyakrabban a vízgazdálkodás kérdéseire köthetők, a fenti bemutatásból is látható, hogy a kockázatok gyakran átfogó, szektorokon átívelő hatásúak, amelyek egyszerre érintik az élelmiszerbiztonság, az ivóvíz-ellátás, az egészségügy, a társadalmi jólét és a gazdasági növekedés különböző területeit.

A beavatkozási lehetőségek az évszázados, megörökölt gyakorlatoktól a legkorszerűbb és innovatív megoldásokig széles skálán mozoghatnak. A felszín alatti kőzetek pórusaiban történő mesterséges vízraktározás és víz visszanyerés egy igen fontos beavatkozási lehetőség elsősorban az arid és szemi-arid területeken, hogy a hosszabb száraz időszakok vízhiányos problémáit hatékonyan kezelni lehessen. Másrészt további kutatásokra és új tudományos eredményekre van szükség annak érdekében, hogy pontosítani tudjuk a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosításával kapcsolatos ismereteinket (Buday és társai 2015). Az emelkedő átlaghőmérséklet hatására folyamatosan emelkedik a felszín közelében elhelyezkedő talajvizeink hőmérséklete, amely számos kedvezőtlen bakteriológiai és biokémiai folyamatot is elindíthat. A folyamatosan emelkedő tengervízszintek a sűrűn lakott tengerparti területeken okoznak egyre intenzívebb sósvíz benyomulást a szárazföld alá, amelyek komolyan veszélyeztetik a biztonságos, felszín alatti édesvízre alapozott ivóvízellátást. Fontos továbbá azt is megemlíteni, hogy a felszín alatti víz nagyon fontos elem a víz-energia-élelmiszer-klíma összetett kapcsolatrendszerben, azaz ilyen irányú kutatások folytatása is egyre indokoltabbá válik.

A probléma összetettségét felismerve egyre több szakmai szervezet fogalmazza meg az egységes vízkészletgazdálkodási szemlélet (Integrated Water Resource Management: IWRM) szükségességét, ami vízgyűjtő léptékben, különböző szektorokat átfogó megközelítésben látja a klímaadaptáció előremutató lehetőségeit. A

Global Water Partnership (GWP) az egységes vízkészletgazdálkodást olyan folyamatként írja le, amely „elősegíti a víz, a talaj és a kapcsolódó erőforrások összehangolt hasznosítását a gazdasági és társadalmi jólét méltányos maximalizálása érdekében, de a létfontosságú ökoszisztémák fenntarthatóságának veszélyeztetése nélkül” (UNDP Cap-Net 2018). Az egységes vízkészletgazdálkodási szemlélet alkalmazása érdemben járulhat hozzá a Fenntartható Fejlődési Célok (SDG) teljesüléséhez is, különösen a „Fenntartható vízgazdálkodás biztosítása, a vízhez és közegészségügyhöz való hozzáférése biztosítása minden ember számára” (SDG 6) célkitűzés eléréséhez.

A kihívásokkal napi szinten szembesülő dél-ázsiai régióban végzett vízgazdálkodási esettanulmányok tapasztalatai alapján *James és társai* 2018-as tanulmányukban (*James és társai* 2018) a klíma-reziliens vízgazdálkodási gyakorlatot úgy határozzák meg, mint aminek célja a veszélyeztetetteknek az éghajlatváltozás káros hatásaival szembeni kitettségének csökkentése. Tágabb értelemben célként jelöli meg az emberi közösségek, az épített környezet és a természeti környezet ellenállóképességének növelését az éghajlatváltozás rövid és hosszú távú hatásaival szemben. Az általuk javasolt keretrendszer tehát markánsan megkülönbözteti az éghajlat-reziliens vízgazdálkodási tevékenységeket és azok céljait a hagyományos vízgazdálkodástól. A tanulmány szerint az éghajlat-reziliens vízkészletgazdálkodás szemléletének három fő kritériumnak kell megfelelnie:

- Biztosítani kell az elérhető legjobb éghajlati információkhoz és adatokhoz való hozzáférést, túlélve a szokásos gyakorlatokon;
- A döntésekbe biztonsági tartalékok, „pufferek” beépítése szükséges, amivel a beavatkozások során kellő rugalmasság és alkalmazkodóképesség biztosítható;
- Kiemelt figyelmet kell fordítani az elmaradott, elszegényedett és marginalizált közösségek kitettségének és sebezhetőségének csökkentésére (*James és társai* 2018).

A VÍZGAZDÁLKODÁS SZEREPE A KLÍMAVÉDELEMBEN MAGYARORSZÁGON

A Vízkereitányelv alapján készült „Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervének második felülvizsgálata” (VGT3) című átfogó dokumentum is részletesen foglalkozik a klímaváltozás hatásaival és a klímavédelemmel (OVF 2021). A több, mint 600 oldalas dokumentum szerint a klímaváltozás hatásai a felszín alatti vizek mennyiségét és minőségét is jelentős mértékben érintik. Az általánosan érvényes szárazabb talajállapotok miatt a felszín alatti vizeket tápláló természetes csapadék-utánpótlás általános csökkenése várható, arányaiban ez az Alföldön lesz a legnagyobb mértékű. A prognózisok alapján az Alföldön jelentősen csökken a kitermelhető felszín alatti víz mennyisége is. A szárazabb időjáráshoz kapcsolható romló ökológiai állapot mellett a felszín alatti vizektől (elsősorban talajvíztől) függő ökoszisztémák, vizes élőhelyek (pl. szikes tavak) válhatnak veszélyeztetetté a klímaváltozás következtében.

A VGT3 vízgazdálkodási dokumentum továbbá információt ad arról, hogy az aszály előfordulásának valószínűsége, intenzitása és súlyossága Magyarország teljes területén növekvő tendenciát mutat. Az egyes talajtípusok eltérő aszályérzékenysége, a helyi klimatikus hatások, illetve az adott térség aszályhoz való alkalmazkodási potenciáljának változatossága együttesen szigetszerű eltéréseket ugyan eredményeznek, de a vízhiány egyre nagyobb kockázati veszélyt jelent hazánk fenntartható fejlődésében. A vízgazdálkodás területén fel kell készülni az egyre nagyobb gyakorisággal és váltakozó jelleggel előforduló vízbőségre, illetve vízhiányra, ezért a szélsőségek miatti kockázatcsökkentés jelentősége növekszik, valamint előtérbe kerül az alkalmazkodás kérdése is. A klímaváltozás negatív hatásaként gyakrabban (és egyre intenzívebben) jelentkező vízhiányosabb időszakok jelentkeznek, ezáltal az (agrár-) vízigény további növekedése várható. Az öntözésfejlesztéssel a gazdálkodás eredményessége növelhető, hiszen megszűnik a csapadék eloszlási bizonytalanságából eredő termelési kockázat.

Fontos megemlíteni, hogy a klímavédelemmel kapcsolatban a VGT3 dokumentum vízviesszatartásra építő jobb készletgazdálkodást és kedvezőbb vízháztartással járó tájgazdálkodást említ. A 2018-ban elfogadott Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS-2) a Párizsi Megállapodásban foglalt célkitűzéseknek és prioritásoknak megfelelően ártírt szöveget tartalmazza. A NÉS-2 négy tematikus célkitűzést határoz meg:

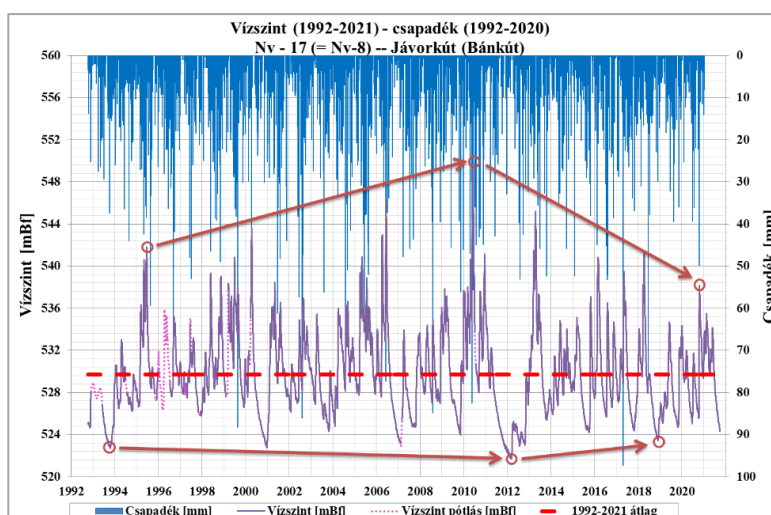
- Dekarbonizáció (Hazai Dekarbonizációs Útitervezés 2050-ig, HDÚ),
- Az éghajlati sérülékenység területi vizsgálatának térinformatikai megalapozása,
- Alkalmazkodás és felkészülés (Nemzeti Alkalmazkodási Stratégia, NAS),
- Éghajlati partnerség biztosítása (Partnerség az Éghajlatért Szemléletformálási Cselekvési Terv).

A négy fő terület közül leginkább a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégiának (NAS) vannak vízgazdálkodási aspektusai. A NAS a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás hazai kereteit és lehetőségeit vázolja fel, a rugalmas alkalmazkodás, azaz az összehangolt, a kockázatoknak elébe menő felkészülés lehetőségének megteremtését szolgálja. A NAS részletesen vizsgálja az éghajlatváltozásnak a vizekre, a talajra, az élővilágra és az emberi egészségre gyakorolt hatásait, elemzi a várható mezőgazdasági, az épített környezetben jelentkező, valamint a turisztikai és energetikai következményeket. Az éghajlati sérülékenység komplex elemzése alapján az éghajlatváltozás nem érinti majd egyformán Magyarország településeit, jelentős területi különbségek várhatóak. A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) keretében kidolgozott sérülékenység-vizsgálati eredmények szemléltetik az éghajlati hatások teljes, komplex láncolatát, beleértve a társadalmi és gazdasági következményeket is.

Sajnos a klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok negatív hatásai már megjelennek a hazai felszín alatti víztestek mennyiségi és minőségi állapotában is. A felszín alatti sekély porózus víztestek döntően gyenge mennyiségi állapotához a kedvezőtlen időjárási viszonyok is jelentősen hozzájárulnak (*Madarász és társai* 2015).

Egyértelműen látszanak a szélsőséges időjárási viszonyok hatásai a Bükk-hegységben található karsztvízkészlet esetében is (Kovács és társai 2015). A Miskolci Egyetem által már 30 éve működtetett Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer monitoring adatai egyértelműen alátámasztják ezt az állítást (Miklós és társai 2021). A bükki karsztvíz készlet jellemzése szempontjából az egyik legfontosabb figyelőkút az Nv-17-es jelű Jávorkúton. Ennek a megfigyelő kútnak a karsztvízszint adatsora az elmúlt 30 évből igen szemléletesen jeleníti meg az egyre gyakoribbá váló szélsőséges helyzeteket (1. ábra), amelyeket minden szem-

pontból megfelelő hatékonysággal kezelni kell. Az egyre alacsonyabb minimum vízszintekhez tartozó időszakokban kritikusá válhat a térségi közműves vízigények biztosítása, míg az egyre magasabbá váló maximum karsztvíz szintek a villámárvizek előfordulásának gyakoribbá válásáért felelősek. Mind a két helyzet komoly kihívást jelent a vízgazdálkodással foglalkozó szakemberek számára. Új vízgazdálkodási módszerek bevezetése vált szükségessé Miskolc esetében is, hogy a szélsőséges helyzeteket a bükki karsztvízkészlet vonatkozásában megfelelő hatékonysággal kezelni lehessen.



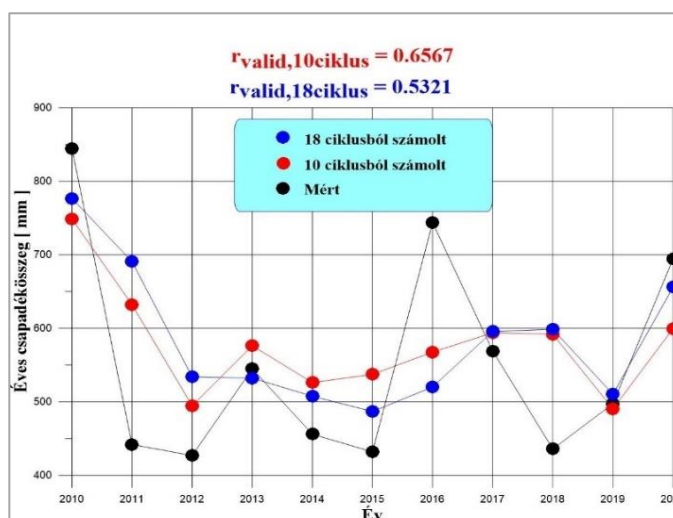
1. ábra. Az Nv-17 monitoring kút közel harminc év hosszúságú vízszint adatainak alakulása a Bükk-hegységben (szerkesztve Lénárt L. adatai alapján)

Figure 1. Evolution of the water level data of the Nv-17 monitoring well in the Bükk Mountains over a period of almost thirty years (edited based on the data of L. Lénárt)

A hatékony klímavédelem alapvetése, hogy az adott térségben lehetőség szerint minél pontosabban ismerjük a lejátszódó természeti folyamatokat. Ennek elengedhetetlen eleme a megfelelő sűrűségű monitoring hálózat megléte, valamint a mért adatok feldolgozása és elemzése.

A Miskolci Egyetemen a hidrometeorológiai adatsorok feldolgozása és értelmezése területén is jelentős új kutatási eredményeket értünk el az utóbbi időben (Szűcs 2017).

Ezek közül is kiemelhetők azok az eredmények, amelyek hosszú idejű csapadék adatsorok statisztikai vizsgálatához és spektrális elemzéséhez kötődnek. (2. ábra). Az adott területre jellemző trendek feltárása mellett lehetőségünk van arra, hogy a meglévő mérési adatok birtokában akár jó megbízhatóságú középtávú (néhány éves) csapadék előrejelzéseket tegyünk, amely kiemelt jelentőséggel bír a megfelelő klímavédelmi intézkedések megtétele szempontjából.

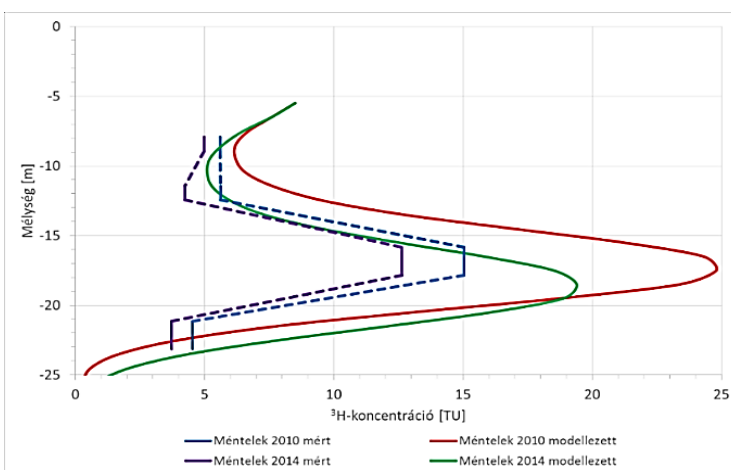


2. ábra. A hosszú idejű csapadékadatsor spektrális analízise alapján történő évi csapadék mennyiség előrejelzés a 2010-2020 időszakra (Ilyés és társai 2018)

Figure 2. Annual rainfall forecast for the period 2010-2020 based on the spectral analysis of the long-term rainfall data series (Ilyés et al. 2018)

Vízgazdálkodási szempontból nagyon fontos azoknak a vizsgálatoknak az elvégzése is, amelyek a felszín alatti

vizek természetes utánpótlódásának időbeli változásáról adnak információt.



3. ábra. A ménteleki mért és modellezett ^3H -koncentrációk 2010-ben és 2014-ben (Kompár és társai, 2017)
Figure 3. The measured and modelled ^3H concentrations in Méntelek in 2010 and 2014 (Kompár et al. 2017)

Innovatív környezeti izotóp vizsgálatokkal (3. ábra) rávilágítottunk arra, hogy az Alföld felszín alatti vízkészleteinek megújulása szempontjából kulcsfontosságú Duna-Tisza-közi hátság és a Nyírségben 5-10 mm/év mennyiséggel csökkent az éves természetes utánpótlódás mértéke az elmúlt 10-15 éves időszakban (Szűcs 2017). Ez a jelenség is megerősíti azt, hogy Magyarországon is egyre inkább számításba kell venni azokat a vízgazdálkodási megoldási javaslatokat, amelyek a felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlásával és vízraktározásával kapcsolatosak.

A mesterséges felszín alatti vízpótlás tekintetében egyébként számos terv készült el és valósult meg eddig is hazánkban (Deepwater 2022). Megemlíthető az a korábbi projekt is, amely mesterséges vízpótlás alkalmazását tűzte ki célul a talajvízszint emelésére és az erdők ökológiai állapotának javítása érdekében Debrecenben. A Miskolci Egyetem részéről hidrodinamikai (MODFLOW) modellezés segítségével vizsgáltuk, hogy a javasolt szivárgó drének alkalmazásával milyen időléptékben és környezeti hatásokkal valósítható meg a talajvízszint mesterséges megemelése a debreceni Nagyerdő vízpótlása céljából (Szűcs és társai 2009).

A tervezett mesterséges vízpótlás célkitűzése a következő volt. Egy 2-3 m-es talajvízszint emeléssel a feltételezhetően XIX. század végi, XX. század eleji természet közeli talajvíz állapotot lehetne visszaállítani, amely a természetes erdőállapotok megőrzése szempontjából ideális viszonyokat teremtene. A lehetséges műszaki megoldások között szerepelt:

- felszín alatti szivárgó drének építése a Nagyerdőben,
- szivárogtató tó létesítése a Nagyerdőtől északra,
- besajtoló kutak alkalmazása,
- vízpótlás a Keleti-főcsatornából (Balmazújváros).

ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben bemutattuk, hogy a klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok gyakoriságának növekedése milyen globális kihívásokat és jelentős kockázatokat jelent. Bár a veszélyeztetettség mértékének megoszlása

nem egyenletes, de a kiterjedt adatgyűjtés és a modellezési előrejelzések alapján kimondható, hogy Földünk egyetlen régiója sem nézheti közönyösen a klímaváltozás folyamatait. A hatások sem földrajzilag, sem szakterületileg nem lehatárolhatóak. A klímaváltozás kedvezőtlen folyamatai gyakran közvetlenül kapcsolódnak a globális vízkörforgás, a hidrológiai ciklus elemeihez, de hatásuk messze túlmutat a vízgazdálkodás kérdésein, az élelmiszerbiztonsági, az ökológiai, az életminőségi, a katasztrófavédelmi és az gazdasági kihatásai is rendkívül összetettek. A káros folyamatok nem ritkán antropogén hatásokkal együtt jelennek meg és veszélyeztetik az emberi életet és az épített, valamint a természeti környezetet. Kimondtuk, hogy nem szükségszerű, hogy a vízgazdálkodás és a talajgazdálkodás egymással szorosan összekapcsolódó kérdései csak elszenvetődői legyenek a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak, hanem tudatos klíma-adaptációs stratégiák és intézkedések bevezetésével a kedvezőtlen hatások lokális és regionális léptékben tompíthatók.

Felhívtuk a figyelmet arra, hogy a mai korszerű adatgyűjtő eljárások óriási mennyiségű és globális lefedettségű adathalmazzal látják el a klímakutatókat és a döntéshozókat. Az adatokhoz és információkhoz való hozzáférés és azok információtartalmának korszerű adatbányászati és értelmezési módszerekkel való elemzése jelentős előrelépést jelenthet a káros folyamatok és trendek megismerésében és az ok-okozati viszonyok feltárásában. A bemutatott hazai vízgazdálkodási és talajgazdálkodási rutinok és egyes szabályozások felülvizsgálata, áttekintése szükséges annak érdekében, hogy szakmailag megalapozott és egyben klímatudatos szemlélet érvényesüljön döntéseinkben.

Több hivatkozott tanulmány megállapításával összhangban a szerzők is megerősítik a széleskörű szakmai tekintés fontosságát. A jó gyakorlatként említett integrált vízkészlet-gazdálkodási szemlélet túllát egy szűkebb szakma szempontrendszerén és más tudományterületek bevonásával képes szakmailag megalapozott döntéseket hozni. Jó példa erre a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán a talajtani és vízgazdálkodási szempontok

tudatos összekapcsolása a kutatási prioritások meghatározásakor. A klímavédelem kérdéseivel foglalkozó szakemberek szükségszerű célja a társadalmi tudatosság javítása az oktatás fejlesztésén keresztül a természettudományos tárgyak és témakörök közoktatásba történő visszaintegrálása által, és szakmailag megalapozott tudatformálással.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projekt részeként készült.

IRODALOMJEGYZÉK

Buday T., Szűcs P., Kozák M., Püspöki Z., McIntosh, R.W., Bódi E., Bálint B., Bulátkó K. (2015). Sustainability Aspects of Thermal Water Production in the Region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary. *Environmental Earth Sciences*, 74, 7513–7521. <http://midra.uni-miskolc.hu/document/20841>

Darabos E., Miklós R., Kovács P., Szűcs P., Lénárt L. (2016). A bükki karsztvíz észlelő rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározásához. XII: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Beregszász. pp. 72–81.

Deepwater (2022). DEEPWATER-CE – Developing an integrated implementation framework for Managed Aquifer Recharge solutions to facilitate the protection of Central European water resources endangered by climate change and user conflict, <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/DEEPWATER-CE.html>

Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. (2018). Examination of rainfall data for 110 years using spectral and wavelet analysis. *Central European Geology*, 61(1). 1-15.

James, A.J., Bahadur, A.V., Verma, S., Reid, P., Biswas S. (2018). *Climate-Resilient Water Management: An operational framework from South Asia*; Action on Climate Today, Oxford Policy Management.

Kompár L., Szűcs P., Palcsu L., Deák J. (2017). Utánpótlási vizsgálatok az Alföldön. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. pp. 220-227.

Kovács A., Perrochet P., Darabos E., Lénárt L., Szűcs P. (2015). Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karstic aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology* 530. pp. 484-499, DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.09.058](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.058)

Madarasz T., Szűcs P., Kovács B., Lénárt L., Fejes Z., Kolencsikné Tóth A., Székely I., Kompár L., Gombkötő I. (2015). Recent trends and activities in hydrogeologic research at the University of Miskolc, Hungary. *Central European Geology* 58(1-2), pp. 171-185. DOI: [10.1556/24.58.2015.1-2.11](https://doi.org/10.1556/24.58.2015.1-2.11)

Miklós R., Lénárt, L., Darabos E., Kovács A., Czesznak L., Peczedér Á., Szűcs P. (2021). A Bükk-hegység karsztvíz készleteinek feltárása és hasznosítása. *Hidrologiai Közlöny*, 101. évf. 2. sz. pp. 31-43.

OVF (Országos Vízügyi Főigazgatóság) (2021). *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 3*. Budapest.

Szűcs P. (2017). Felszín alatt vizek. A hidrológiai ciklus láthatatlan része. *Magyar Tudomány*, 178. évfolyam, 10. szám. pp. 1184-1197.

Szucs P., Madarasz T., Civan F. (2009). Remediating over-produced and contaminated aquifers by artificial recharge from surface waters. *Environmental Modeling and Assessment*, (14). pp. 511-520. DOI: [10.1007/s10666-008-9156-4](https://doi.org/10.1007/s10666-008-9156-4)

Szűcs P., Mikita V. (2016). Felszín alatti vízkészleteink és a hidrológiai kutatások helyzete hazánkban. *Hidrologiai Közlöny*, 96. évfolyam. 1. kötet. pp. 7-20.

UNDP Cap-Net (2018). *Climate Change Adaptation and Integrated Water Resources Management*; International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management, www.cap-net.org

WMO (2021). 2021 State of climate services-water Global water stress hotspots; World Meteorological Organisation 2021. ISBN 978-92-63-11278-1

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

30 éves Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) és a rendszer legfontosabb észlelő kútja, az Nv-17

Lénárt László^{*,**}

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (Email: hgl@uni-miskolc.hu)

** Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet

Kivonat

1978-1981 között a Bükkben Böcker Tivadar (VITUKI) vezetésével, az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉVIZIG) hatósági engedélye alapján 5 db karsztvízszint figyelő kutat fúrtak. A kutak a Nagyfennsíkon vannak, 3 különböző mészkő formációban. A mélységük 200 - 350 m. Az elvégzett munka szükségességét az is alátámasztotta, hogy 1981-1995 között a Bükkben nagyon csapadékiányos időszak volt, mely a biztonságos karsztvíztermelést nagymértékben veszélyeztette. Emiatt szükségessé vált a jelzett karsztvízszint figyelő kutak műszerekkel való felszerelése, folyamatos észlelése, az adatok rendszeres felhasználása a karsztvíztermelés szabályozásában. A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszert (BKÉR-t) a Miskolci Egyetem 1992-ben hozta létre az ÉVIZIG kérésére, a bükki ivóvíztermelő szervezetek segítségével. Napjainkig a folyamatosan mérő-rögzítő műszerekkel száznál több helyen mintegy 20 000 000 vízszint/víznyomás, vízhőmérséklet és víz vezetőképesség adatot nyertünk ki. A legfontosabb mérőhelyeken – köztük a bükki karsztvízdomborzat tetőhelyzetét jelző Nv-17 kútnál – 28-30 éves vízszint adatsorok állnak rendelkezésünkre. A vízszintek emelkedési és csökkenési tendenciái lényegében hasonlóan történnek, de időbeli eltérések esetenként jelentősek. A mért adatok időszakonkénti maximumai 2010-ig emelkednek, onnan napjainkig csökkennek. Az 1960-2021 közötti, jávorkúti csapadékadatokban az 1981-1994-es időszak alacsony, az 1995-2010-es időszak magas, az 1960-1980-as és a 2011-2021-es időszak az 1960-2021-es átlag csapadékkal jellemezhető. A hidegkarsztvíz termelés maximuma 1996-ban, minimuma 2011-ben volt. A 2021-es termelés megegyezik a vizsgálat kezdetét jelző 1993-as adattal. A termálkarsztvíz mennyiségi meghatározásában igen nagyfokú a bizonytalanság. A minimum 1997-ben volt, a maximum 2006-ban, de a termelés kiegyenlítettebb, mint a hidegkarsztvíz esetében. A Mályi-kistokaji Geotermikus Rendszer 2013-ban indult, a maximális termelés (és visszasajtolás) 2019-ben történt, a kitermelt mennyiség kb. 30%-kal meghaladta a főleg fürdési célra kitermelt termálkarsztvíz mennyiségét.

Kulcsszavak

Karsztvíz, Bükk, monitoring, csapadék, karsztvíztermelés.

The 30 years old Bükk Karst Water Monitoring System (BKÉR) and the system's most important monitoring point, the Nv-17.

Abstract

Between 1978 and 1981 five karst water level monitoring wells were drilled in the Bükk Mountains under the leadership of Tivadar Böcker (VITUKI), with Northern-Hungarian Water Conservancy Directorate (ÉVIZIG) authority permit. The wells are situated on the Nagyfennsík plateau in three different limestone formations. Their depth is between 200 to 350 m. The necessity for this work was justified among other things by the low precipitation period in the Bükk Mountains between 1981 and 1995, and it put safe karst water production in a jeopardy. Therefore, it became necessary to equip the abovementioned karst water level monitoring wells with instrumentation, undertaking continuous data collection, and using the data obtained in karst water production. The Bükk Karst Water Monitoring System (Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer - BKÉR) was called to life by the University of Miskolc with the aid of other drinking water producing organizations in the Bükk by the request of the ÉVIZIG. Using the instruments which collect and record data continuously, more than 20 000 000 water level, water pressure, water temperature and water conductivity data was collected at more than hundred locations. 28 to 30 years' worth of data series is at our disposal at the most important locations (among others, at the Nv-17 well, which marks the peak location of the Bükk Mountains karst water relief). The increasing and decreasing tendencies of the water levels are taking place basically similarly, but the differences in time are sometimes significant. The period maximums of the measured data are increasing until 2010, and from that time they are decreasing. When looking at the Jávorkút precipitation data for the period between 1960 and 2021, the period of 1981-1994 is characterized by low precipitation; the period between 1995 and 2010 had high precipitation; and the periods of 1960-1980 and 2011-2021 are characterized by the average of the period. The peak of cold karst water level production was in 1996, and its minimum was in 2011. The production of 2021 is the same as the data from 1993, which marks the start of the analysis. There is significant uncertainty when it comes to defining the quantity of thermal karst water. The peak of its production was in 2006, and its minimum was in 1997, but in average, the production is more even than in case of cold karst water. The Mályi-Kistokaj Geothermic System started up in 2013. Its peak production (and injection) was in 2019. The volume produced exceeded the amount of thermal karst water (produced mainly for spa purposes) by approximately 30%.

Keywords

Karst water, Bükk Mountains, monitoring, precipitation, karst water production.

BEVEZETÉS

Miskolcon a város vezetékes ivóvízzel való ellátása a miskolctapolcai Olasz-kút 1913-as átadásával kezdődött. A város ezt követően is a bükki karsztforrások foglalásával próbálta megoldani a vízellátását. A város vízigénye az 1970-

es évektől túllépte a karsztvízbázisok kapacitását, így a parti szűrésű vízkészletek felhasználására is rákényszerült. Az átlagos vízigény ekkor meghaladta a 110 000 m³/nap értéket, mely napjainkra már csaknem 50 000 m³/nap, a 2009-es miskolci minimumtól folyamatosan emelkedő tendenciával.

1978-1981 között Böcker Tivadar vezetésével a miskolci karsztforrások védőidomának elkészítéséhez a Bükkben lefűrték az első 5 karsztvízszint figyelő kutat (*Böcker és Vecsernyés 1983*), amelyek adatait is felhasználva 1987-ben elkészült a Miskolci Vízműforrások és Termálkarsztkutak védőidoma. A karsztvízszint figyelő kutakban létesítésük után csak időszakonkénti kézi mérések történtek.

Az 1980-tól indult csapadékhiányos időszak legsúlyosabb (kulminálódó) szakasza az 1990-es évek közepére esett (*I. ábra*). A részben vagy teljes egészében bükki karsztvizet használó városok (Eger, Mezőkövesd, Miskolc) és a kisebb települések teljes vízigenye ekkor már jelentősen meghaladta a bükki karsztvíz-termelési kapacitást, melyet a hosszantartó aszályos időszak tovább rontott. A karsztvízre települt vízművek jelentős vízhiányra számíthattak, vagyis a víztermelés biztonsága az elvártól alacsonyabb volt. A víztermelés biztonságának fokozása érdekében az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉVIZIG, jelenleg ÉMVIZIG), azon belül is elsősorban Stéfán Márton főmérnök úgy vélte, hogy a bükki karsztba mélyített monitoring kutakban az állandó, folyamatos vízszintmérés, a rendszeres kiolvasás és az adatok alapján a víztermelés várható mennyiségének rendszeres előrejelzése segíthet a karsztvíztermelő, illetve a Hernád partiszűrűsű vizeit kitermelő vízellátó rendszerek egymást szükség esetén kiváltó együtt-dolgozásában. Ezért az ÉVIZIG – Almássy Endre miniszteriumi fősztályvezető hatékony szakmai támogatásával – 1989-ben felkérte a Nehézipari Műszaki Egyetemet (NME) a víztermelés biztonságát folyamatos előrejelzéssel segítő karsztvízszint figyelő rendszer terveinek kidolgozására (*Juhász 1989*), valamint az NME-t és az érintett vízműveket a monitoring rendszer létrehozására és közös, hosszútávú, folyamatos működtetésére.

A karsztvízszint figyelő rendszer műszereinek és üzemeltetésének a fedezetét a bükki víztermelésben érintett és érdekelt vízművek biztosították. Ám a BKÉR üzemeltetése – az „alapítók” egy részének és a későbbi támogatók kilépésével – komoly anyagi nehézségekbe ütközött.

A BKÉR alapvető célja a víztermelés hosszútávú biztonságának a fokozása volt és ezen belül részben az induláskor, részben „menet közben” a következő fő célok megvalósítására törekedtünk:

- az 1978-1981 között készült karsztvízszint figyelő rendszer tagjainak folyamatosan mérő-rögzítő műszerekkel való üzembe állítása,
- a mérések hosszú távú finanszírozhatóságának biztosítása,
- a mérőrendszer kibővítése, célszerű optimalizálása,
- minél hosszabb adatsorok mérése a változások minztázatának megállapítására,
- a termelési lehetőségek folyamatos (havi) előre jelzése a vízszintváltozások alapján, éves elemzés kiemelten az aszályos és az árvizes időszakokra,
- a mérési eredmények oktatásban való felhasználása és a szakmai körökben előadások, publikációk formájában történő közkinccsé tétele.

A BKÉR FEJLŐDÉSE

A karsztvízszint figyelő rendszer keretében 1992-ben megkezdtek a DATAQUA mérőműszerek telepítését. A rendszer fejlesztése, illetve bővítése az évek során folyamatos (de nem egyenletes) volt, amit a különböző projektekkel való kapcsolata is befolyásolt. A kezdeti időszakban az első műszerek telepítése és az adatok kinyerése a feladatot képezte. A későbbi terepi mérési feladatokba bekapcsolódott Sándor Csaba (1994-1998), Szabó Attila (1998-2003) és Czesznak László (2003-tól napjainkig). Az alapfeldolgozást végig magam végeztem, az időszakonkénti segítők között ki kell emelni Hernádi Béla tevékenységét. A projektek keretében végzett munkák a publikációkban jól tükröződnek vissza, ezek közül a leginkább érintett munkatársak munkáit tüntettem fel az irodalomjegyzékben.

A mérések és az adatfeldolgozások a VIMORE (2005-2008), a Karsztvízművek biztonságba helyezése (2006-2007), miskolci vízműforrások diagnosztika (2009-2011), Mályi-Kistokaji Geotermikus Rendszer (MKGR) (2012-napjainkig), Kútfő (2012-2015), Innovíz (2018-2021), Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (2021-napjainkig) projektekhez is kapcsolódtak.

- Mért jellemzők
 - csapadék (3 óránkénti, 4 napi mérésű), Jávorkúton 2005-2018 között óránként,
 - léghőmérséklet és talajhőmérséklet (3 helyen, óránként),
 - vízszint/víznyomás (minden mérőhelyen, első adat 1992-ből, a figyelőkutakban 60, a forrásokban 30, 2004-től mindenhol 15 perces mérési gyakoriság, a napi átlagok 24, ill. 48, 2004-től 96 adatból számolva),
 - vízhőmérséklet (ma már csaknem az összes mérési helyen, első adat 1992-ből, a figyelőkutakban 60, a forrásokban 30, 2004-től mindenhol 15 perces mérési gyakoriság, a napi átlagok 24, ill. 48, 2004-től 96 adatból számolva),
 - víz fajlagos elektromos vezetőképesség (a kiemelt mérőhelyeken, első adat 2010-ből, mindenhol 15 perces mérési gyakoriság, a napi átlagok 96 adatból számolva),
 - karsztvíztermelés (havi kapott termelői adatok az éves jelentéshez).
- Mérés helyek
 - termelésbe bekapcsolt/be nem kapcsolt hideg, langyos és meleg vizű forrásokban,
 - barlangi patakokban, vízmedencékben, barlangok végén lévő tavakban/szifontavakban,
 - termelő hévízkutakban (becsavarozva és/vagy belógatva a vízterbe),
 - üzemén kívüli langyos vizű, nem termelt hévízkutakban,
 - hideg vizű karsztvíz-megfigyelő kutakban.
- Mérések, mérőhelyek száma
 - nyers mérési adatok kb. 20 000 000 db,
 - napi (átlagolt vagy összegzett) adatok kb. 340 000 db,
 - mérőhelyek száma több mint 100 db,

- az Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt-től, a Heves Megyei Vízmű Zrt-től, az Északmagyarországi Vízügyi Igazgatóságtól, az egri, egerszalóki és demjéni termálkarsztvíz termelőktől kaptunk/kapunk folyamatos vagy kézi mérési adatokat,
- a BKÉR és a MKGR monitoringja 2012 óta részben átfedéssel működik.

A legelső kinyert adatunk 1992.10.10-ből származik, a felsőtárkányi Sz-5 figyelőkútból. Még ebben az évben 4 további mérőhelyet telepítettünk, köztük a legfontosabb, Nv-17 (nagymezői) figyelőkutat. Így ezek a mérőhelyek már 30 évesek, de csak kissé rövidebbek további 1 figyelőkút, 2 foglalt forrás, valamint 1 termelőkút adatai. 24 további mérőhelyen az adatsorok meghaladják a 10 évet. A 15-30 percenként mért-rögzített adatokat a Miskolc környéki kutakból, forrásokból (átfedéssel a MKGR keretében történő mérésekkel), valamint az Nv-17-ből havonta, a többieket – főleg anyagi problémák miatt – 4 havonta nyerjük ki.

A Nagymezőn lévő Nv-17-es figyelőkút a bükki karsztvízdomborzat tetőhelyzetében lévő mérőpontja, így szerepe meghatározó a bükki karsztvízrendszerben, ill. annak megfigyelésében. Jelen rövid, összefoglaló anyagunkban ezért az Nv-17 figyelőkút adatainak a bemutatására koncentrálnunk.

A finanszírozó vízműveknek és az ÉMVIZIG-nek havonta készül jelentés (Lénárt 2022b) az aktuálisan kitermelhető vízkészletről. Számukra éves jelentések is készülnek (Lénárt 2021a), melyekben az összes mérőhely adott évben történő mérései kerülnek elemzésre az adott mérőhelyek teljes adatsorával együtt. Árvizek, árvízveszélyes időszakokban – kérésre – a miskolci önkormányzat katasztrófavédelmi referense is megkapja a jelentést, a karsztvizekből keletkező árvízveszély értékelésével kiegészítve. Az érintett vízművek a monitoring tevékenységüket a hatóságok felé részben a BKÉR adatokkal teljesítik.

A BKÉR adataiból kb. 115 átfogó (éves vagy projekt) jelentés készült, a rendszeres havi értékelés száma meghaladja a kétszázat. Az egyetemi oktatásban több tárgy keretében történik az adatok felhasználása s mintegy 25 TDK dolgozat, szakdolgozat, diplomatervezés és 3 PhD dolgozat is készült a BKÉR adatainak alapján. A szakmai közönség számára mintegy 230 hazai és nemzetközi előadás hangzott el, ezeknek kb. a feléből készült publikáció, de 20, előadáshoz közvetlenül nem kapcsolódó publikáció is megjelent.

EREDMÉNYEK

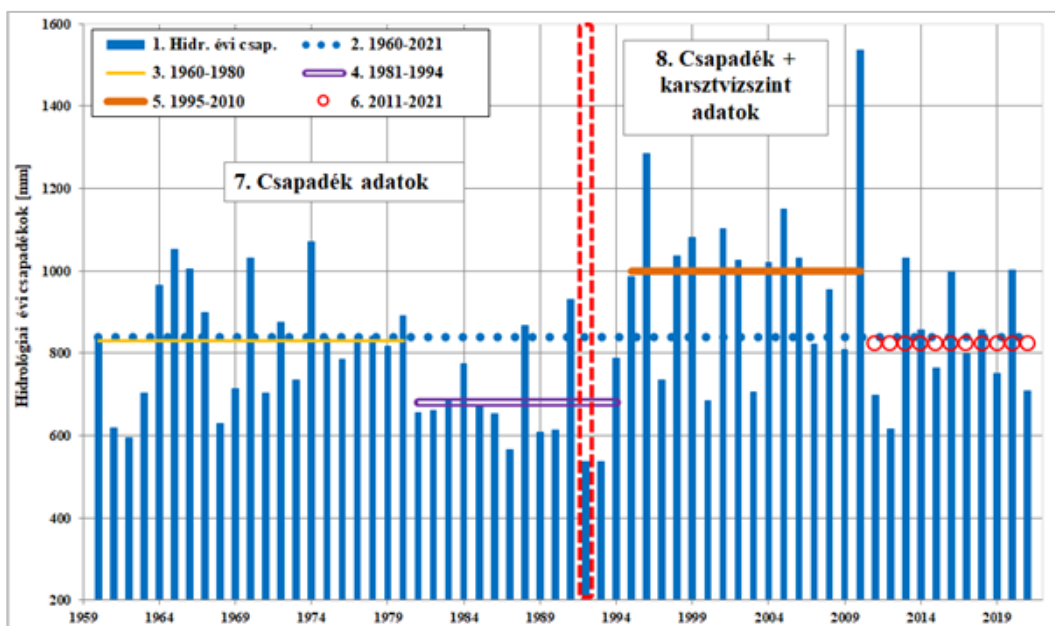
Jelen közleményben terjedelmi okok miatt nincs lehetőség részletes, elemző vizsgálatok bemutatására. A releváns kutatási témák és a publikációk egy része az alábbi:

- új figyelőkút kitéréséhez segítség (Juhász 1989),

- diagnosztikai munkálatok (Lénárt és Hernádi 2011),
- hosszú adatsorok hidrogeológiai jellegű elemzése (csaknem minden munkánkban megtörténik),
- a luniszoláris hatások kimutatása a mérőhelyeken (Lénárt 2005),
- emelkedő karsztvízszint előrejelzése (Lénárt 2005; 2006),
- hiányzó mérési adatok pótlási lehetősége (Németh és társai 2008),
- vertikális karsztosodott zóna meghatározása (Hernádi és társai 2012),
- csökkenő karsztvízszint előrejelzése (Lénárt és Szegediné Darabos 2012, Szegediné Darabos és társai 2014),
- térinformatikai feldolgozások (Hernádi és társai 2013, Hernádi 2017),
- hideg és meleg karsztvíz kapcsolatrendszere (Lénárt és Szegediné Darabos 2013, Lénárt és társai 2014, Miklós és társai 2020, 2021b),
- a karsztvízdomborzat pontosítása (Darabos és társai 2014, 2017, Darabos 2017),
- vízszinteken alapuló karsztvízkészlet meghatározás (Darabos és társai 2014, Darabos 2017),
- felszín alatti árhullámok vizsgálata (Hernádi és társai 2014),
- hisztogram elemzések (Kovács és társai 2015, Lénárt és Ilyés 2021),
- adatbázis építés (Balla és társai, 2015),
- klímaváltozási vizsgálatok (Darabos és társai 2016),
- terepi adatgyűjtési problémák és leküzdésük (Czesznak 2017),
- a BKÉR történeti áttekintése (Lénárt 2017),
- a napfolttevékenység hatása a karsztvízszint változására (Ilyés és társai 2019),
- a karsztvíz mint társadalmi érték (Lénárt 2021b, 2022a; Miklós és társai 2021a),
- folyamatos karsztvízkészlet meghatározása (évi, havi jelentések, Lénárt 2021a, 2022b).

A továbbiakban néhány ábrán bemutatásra kerülnek a víztermelés biztonságára leginkább hatással bíró összefüggések. A részletes elemzésre terjedelmi okok miatt nincs lehetőség.

Az 1. ábra a jávorkúti hidrogeológiai évi csapadékokat mutatja be 1960-2021 közötti időszakra. A 62 éves adatsorban 32 évig csak csapadék, az utána következő 30 évben mellette már folyamatos vízszint adatsorok is vannak. Ily módon a csapadék-vízszint kapcsolat vizsgálatához karszthidrogeológiai szempontból már kellő hosszúságú adatsorok állnak rendelkezésre. A csapadék adatsort négy természetes szakaszra lehet felbontani, melyek a 3. ábrán is megjelenítésre kerülnek. A csapadék karszthidrogeológiai hasznosulása (a karsztvízszint biztosítás) teljes egészében természeti folyamat.



1. ábra. Hidrológiai évi csapadék – szakaszonkénti csapadékatlagok 1960-2021 Jávorkút (kiegészítéskor Bánkút)

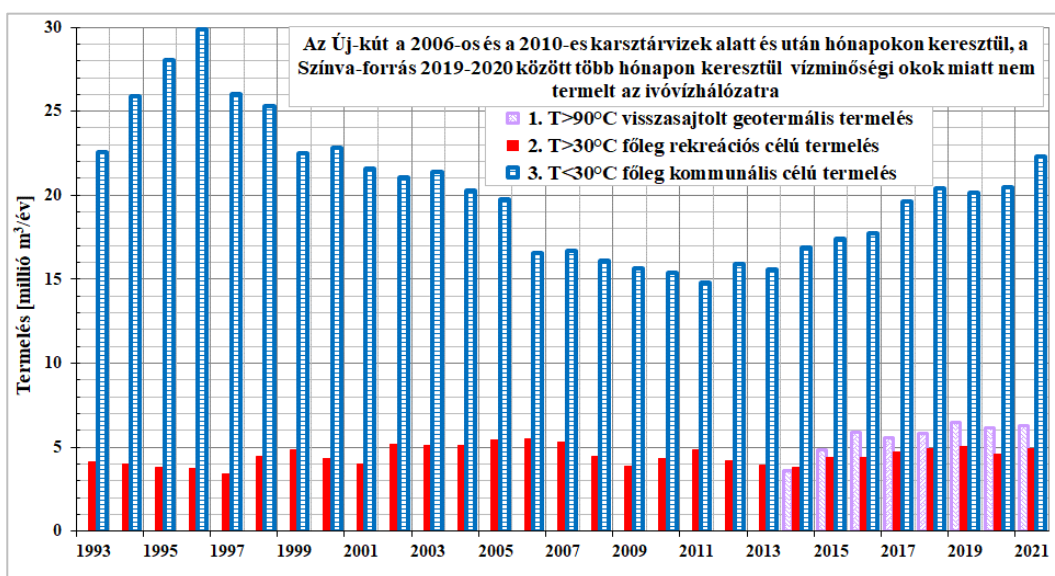
Figure 1. Hydrological annual rainfall - precipitation averages by periods 1960-2021 Jávorkút (complemented with Bánkút)

Jelmagyarázat: 1. Hidrológiai évi csapadék [mm]; 2.-6. átlagos csapadék; 7. csapadék adatok; 8. Csapadék + karsztvízszint adatok

Legend: 1. Hydrological annual rainfall [mm]; 2.-6. precipitation averages; 7. only precipitation data; 8. precipitation + karst water level data

A 2. ábrán a bükki karsztvíztermelés és visszasajtolás került bemutatásra 1993-2021 közötti időszakra víz hőmérséklet szerinti bontásban. A víztermelés változásai jól láthatóak és egyértelmű, hogy azokat nem a természeti folyamatok változtatták. A Bükk összetett, egymással szoros kapcsolatban lévő karsztvízrendszer összetevői miatt a különböző célú vízkivételek szoros összehangolása nélkülözhetetlen a hosszú távú biztonságos vízellátás érdekében. A 2010 utáni, minden mérőhelyen – és nem csak a 3. ábrán bemutatott adatsor esetében – kimutatható vízszint/víznyomás csökkenés elgondolkodtató,

pillanatnyilag még meghatározhatatlan mértékű túltermelésre utalhat. A valamilyen mértékű túltermelés gyanúja annak ellenére reális, mivel az 1992-1994-es évek 527,18 mBf-i átlagos karsztvízszintje az Nv-17 megfigyelőkútban 584 mm-es évi átlagos csapadék mellett alakult ki, viszont a 2021-2022-es időszak 527,17 mBf-i átlagos karsztvízszintjéhez már 643 mm évi átlagos csapadékmennyiség kellett. Emellett az 1980-1994-es időszakban igen jelentős csapadékhiány volt, viszont a 2021-2022-es éveket a 62 éves átlaghoz nagyon közeli csapadéktérték jellemez.

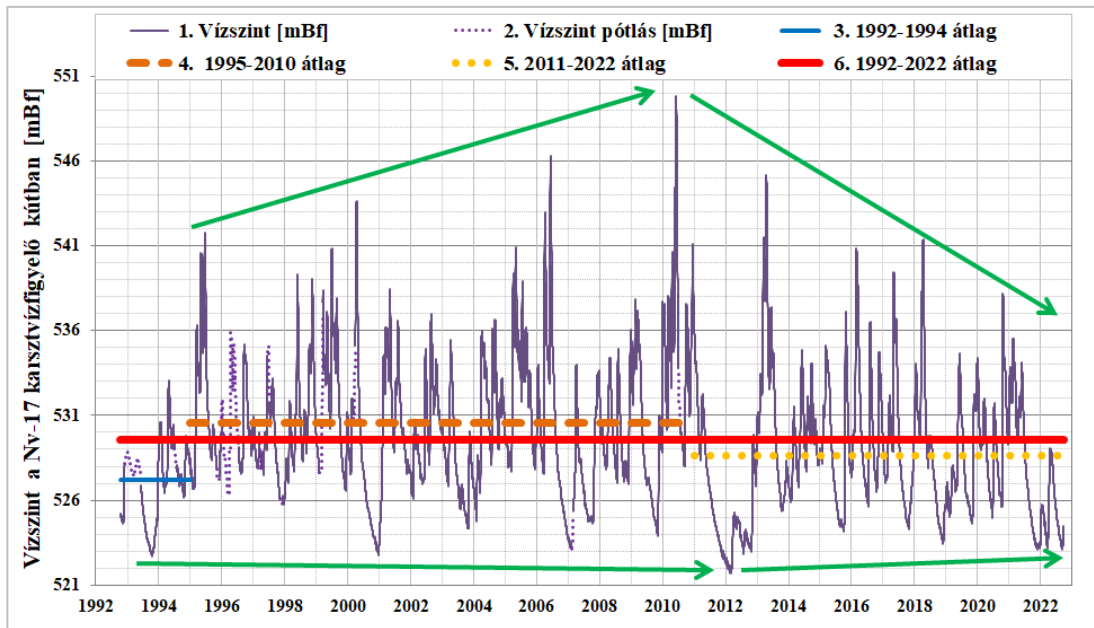


2. ábra. A víztermelők által megadott karsztvíz termelés a Bükkben 1993-2021 (Az Új-kút a 2006-os és a 2010-es karsztvízárak alatt és után hónapokon keresztül, a Szinva-forrás 2019-2020 között több hónapon keresztül vízminőségi okok miatt nem termelt az ivóvízhálózatra)

Jelölések: 1. Visszasajtolt geotermális termelés; 2. főleg rekreációs célú termelés; 3. főleg kommunális célú termelés

Figure 2. Karst water production in the Bükk, provided by water producers, 1993-2021 (The Új-kút well were not yielding to the potable water system during and after the karst water floods of 2006 and 2010. The Szinva-forrás spring was not yielding to the potable water system between 2019-2020 for several months due to quality reasons)

Legend: 1. Injected geothermic production, 2. mainly for recreational purposes, 3. production mainly for communal use Production [million m³/year]



3. ábra. Csapadékhöz illeszkedő vízszint szakaszok az Nv-17 figyelőkútban 1992-2022; 1. Vízszint [mBf]; 2. Vízszint pótlás; 3. 1992-1994 átlag; 4. 1995-2010 átlag; 5. 2011-2022 átlag; 6. 1992-2022 átlag

Figure 3. Water level sections fitting to the precipitation Nv-17 monitoring well 1992-2022; 1. Water level [m aBSL]; 2. Water level compensation; 3. 1992-1994 average; 4. 1995-2010 average; 5. 2011-2022 average; 6. 1992-2022 average

Az Nv-17 karsztvízszint figyelő kútból kinyert adatok hidrológiai évenként rendezett értékei a 4. ábrán kerülnek bemutatásra. Ugyanazon naptári napon közel sem hasonlóak a karsztvízszint értékek, bár helyenként „sűrűsödéseket” (egymáshoz közeli értékek) előfordulnak. (Ennél az ábránál a részletes jelmagyarázat nehezen lenne követhető, ezért az nincs feltüntetve.) Az 5. ábrán az előző görbeseleg egyszerűsített ábrázolása történt meg. A 30 év azonos napjain mért napi átlagértékek maximuma, átlaga és minimuma mellett a még nem teljes 2022-es hidrológiai év napi átlagértékei is feltüntetésre kerültek. A 2022-es hidrológiai év alacsony karsztvízszintű mind az átlaghoz, mind a minimumhoz viszonyítva. (Március-április és augusztus-szeptember hónapokban a 30 év azonos napjaira számított napi átlagértékek minimumai összesen 45 napon keresztül voltak a legalacsonyabbak, azaz 45 napon keresztül 2022-ben voltak a legalacsonyabbak az év azonos napjaira számított napi átlagértékek.)

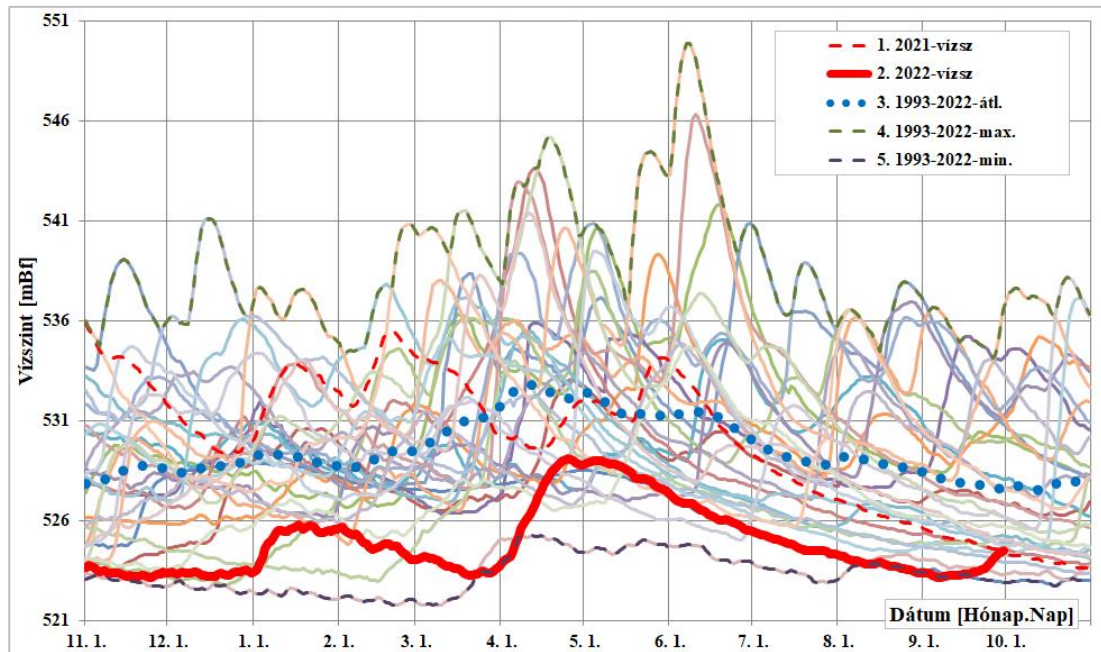
A karsztvízművek részére az egyik legfontosabb kérdés, hogy mikor van alacsony karsztvízszint, az milyen hosszán tart, valamint az adott vízszintek mellett milyen termelési lehetőségeik vannak. Emiatt a felszín alatti árhullámok apadó ága (”lecsengő szakasz”) hosszának, dinamikájának megállapítása igen fontos. A 6. ábrán azon apadó ágak vizsgálatára került sor, melyek minimuma az 529,55 mBf-i átlag alatt van 1992-2022 között, 10 m-nél nagyobb az adott apadó ág maximumának és minimumának a különbsége, valamint az adatsoron az ingadozása mértéke az 1 m-t nem haladja meg. A 9 görbe átlagára illesztett trendvonal igen szoros kapcsolatot jelez.

A vízművek részére a csapadék hatására kialakuló árhullámok emelkedő ágának várható ismerete is igen fontos. A 7. ábrán a havi átlagos fajlagos vízszintemelkedések vannak feltüntetve. Ennek a lényege az, hogy 1 mm hatékony csapadék hatására mekkora karsztvízszint emelkedés következik be az Nv-17 mérőhelyen. (Hatékony csapadéknak a 40 mm-es napi csapadékokat, hatékony csapadékcsoportnak az egymás utáni napokon hullott csapadékok összegét tekintjük, ha az eléri az 50 mm-t és a csapadékhullást legfeljebb egy napos szünet szakítja meg.) A legjelentősebb fajlagos vízszintemelkedés február-március-április, ill. október-november környékén történik, a legalacsonyabb pedig a július-augusztus-szeptemberi időszakban.

KÖVETKEZTETÉSEK

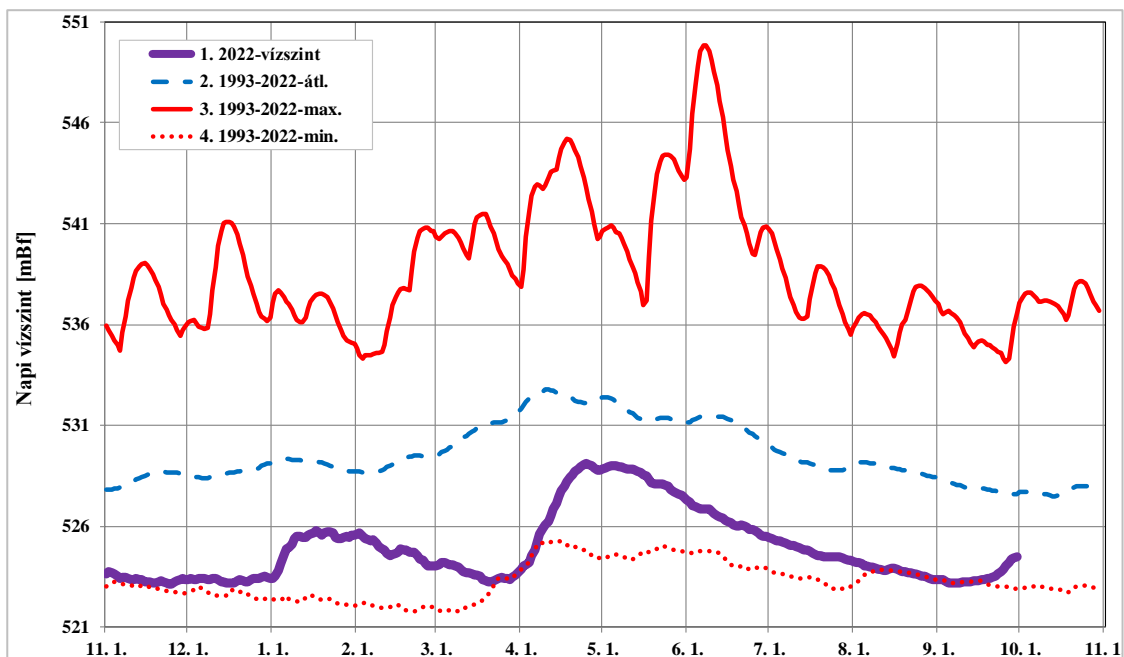
A hosszú idejű és különböző területről, mérőhelyről származó adatok alapján elég határozott természeti összefüggések körvonalazódnak. Ezen túlmenően vízszinteknek/nyomásszinteknek és a termelésnek az együttes vizsgálata alapján a Bükk egészére vonatkozó, meglehetősen bizonytalan túltermelési jeleket lehet megfigyelni.

A vizsgálatok eredményeinek bizonytalanságai miatt a meglévő karsztvízszint figyelő rendszert feltétlenül tovább kell működtetni. A bővítéseket a termálkarsztrendszerben történő folyamatok vizsgálata irányában kell célszerűen elvégezni. Az egyértelműbb összefüggések megfogalmazásához a termelési adatok pontosabb (legalább valós, napi) megadása és felhasználása nélkülözhetetlen. A sokirányú kutatások lehetőségeinek megteremtését azzal is fokozni lehetne, hogy a meglévő adattömeget elérhető publikáció formájában a szakmai közösségnek is a rendelkezésére bocsátják.



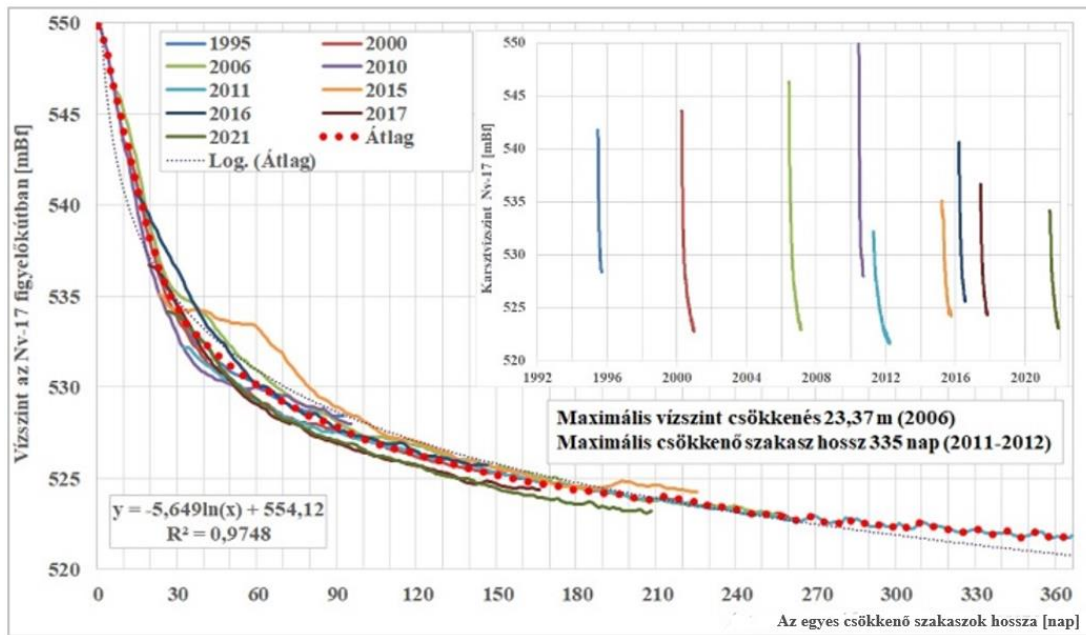
4. ábra. A hidrológiai év azonos napjain mért vízszintek az Nv-17 figyelőkútban, az átlagok, valamint a maximumokból és minimumokból szerkesztett burkológörbék. Naptári azonos napi vízszint [mBf], 2021 vízszint; 2022 vízszint; 1993-2022 átlag; 1993-2022 maximum; 1993-2022 minimum

Figure 4. Water levels measured in the Nv-17 monitoring well at the same days of the hydrological year, the averages, and the cover graphs created of the peaks and minimums. Daily water level [m aBSL], 1. 2021 water level; 2. 2022 water level; 3. 1993-2022 average; 4. 1993-2022 maximum; 1993-2022 minimum.

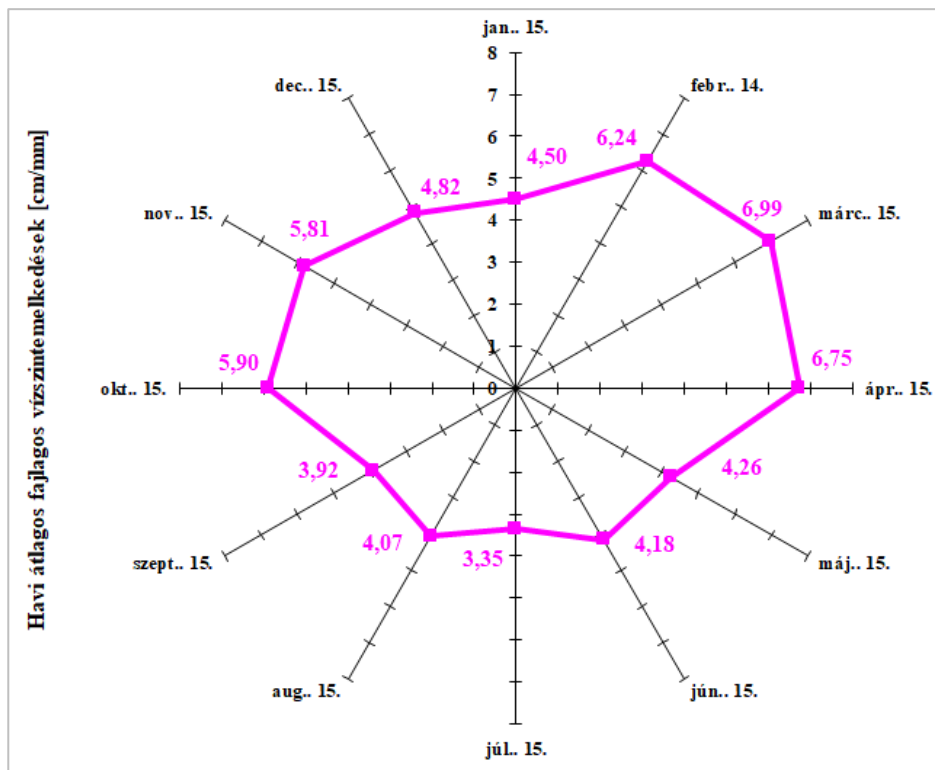


5. ábra. Az azonos napon lévő minimum, átlag és maximum, valamint a 2022-es hidrológiai év napi vízszint adatai az Nv-17 karsztvízszint figyelő kútban. Napi vízszint [mBf] 2022 vízszint; 1993-2022 átlag; 1993-2022 maximum; 1993-2022 minimum

Figure 5. The daily water level data of the Nv-17 karst water monitoring well for the 2022 hydrological year, and the minimum, average and maximum on the same day. Daily water level [m aBSL], 1. 2022 water level; 2. 1993-2022 average; 3. 1993-2022 maximum; 4. 1993-2022 minimum



6. ábra. Az Nv-17 figyelőkútban a 10 m-nél nagyobb vízszintcsökkenések időtartama és lefutása a tényleges indulási vízszinthez rendezve 1994-2022; Vízszint az Nv-17 figyelőkútban [mBf]; A csökkenési napok száma az eddigi maximális vízszintből indítva [nap]
 Figure 6. The time interval and graph of the water level drops of more than 10 m in the Nv-17 monitoring well, fitted to the starting water level 1994-2022; Water level in the Nv-17 monitoring well [m aBSL]; The number of increase days starting from the peak water level [day]



7. ábra. Az 1993-2021-es naptári évek nagy vízszintemelkedései alapján havi átlagos fajlagos vízszint emelkedések az Nv-17-ben, kördiagramon.

Figure 7. Probable specific water level increases in Nv-17 based on the great water level increases of the 1993-2021 calendar years, on a pie chart. Monthly averages water level increases [cm/mm]

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Balla B., Hernádi B., Lénárt L. (2015). A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) adatainak adatbázisba szervezése. MHT 23. Országos Vándorgyűlés, Szombathely, 7. szekció. CD.

Böcker T., Vecsernyés Gy. (1983). Miskolc város vízellátására foglalt karsztforrások védőidomának víz- és környezetvédelmi atlasza. Hungalu. Budapest.

Czesznak L. (2017). Terepi adatgyűjtés a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) keretén belül. Műszaki Földtudományi Közlemények, 86. kötet 3. szám. pp. 27-34.

Darabos E. (2017). Vízkészlet számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján. PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc. p. 113.

Darabos E., Miklós R., Kovács P., Szűcs P., Lénárt L. (2016). A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározására. XII. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia és a XIV. Szentágotthai János Transzdiszciplináris Konferencia és Hallgatói Verseny. Beregszász, 2016. június 1-4. pp. 72-81.

Darabos E., Tóth M., Lénárt L. (2014). Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján. XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia: 16th Mining, Metallurgy and Geology Conference. Székelyudvarhely. pp. 248-252.

Hernádi B. (2017). A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) adatainak térinformatikai elemzése. Műszaki Földtudományi Közlemények, 86. kötet 3. szám. pp. 35-42.

Hernádi B., Balla B., Czesznak L., Horányiné Csiszár G., Sűrű P., Tóth K. (2013). Felszíni és felszín alatti (barlangi és töbrövizgátok), valamint a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) adatainak térinformatikai rendszerbe történő szervezése. MHT XXXI. Vándorgyűlés, Gödöllő. 2013.07.03-05. (CD-n jelent meg).

Hernádi B., Lénárt L., Czesznak L., Kovács P., Tóth K., Juhász B. (2014). Karsztárterek előrejelzési lehetőségei a Szinva-patak vízgyűjtőjén. MHT XXXII. Orsz. Vándorgyűlés, Szeged, 7. szekció. CD. (ISBN 978-963-8172-32-7)

Hernádi B., Lénárt L., Horányiné Csiszár G., Tóth K. (2012). A bükki nyílt karszt vertikális karsztosodottsága. Karsztfelődés. XVII. kötet. pp. 63-78.

Ilyés Cs., Lénárt L., Tóth M. (2019). A napfolttevékenység hatása a csapadéokra és a felszín alatti vizekre. XV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár. pp. 100-105.

Juhász J. (Témavezető) (1989). Kutatási zárójelentés a Bükk hegység kitermelhető vízkészletéről. Miskolci Vízművek, Észak-magyarországi Regionális Vízművek, Heves megyei Vízművek megbízás, NME. Miskolc.

Kovács A., Perrochet, P., Darabos E., Lénárt L., Szűcs P. (2015). Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karst aquifer, Bükk Mountains, Hungary. Journal of Hydrology 530 (2015). pp. 484-499. www.elsevier.com/locate/jhydrol

Lénárt L. (2005). Some aspects of the „3E's” (Economics-Environment-Ethics) model for sustainable water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst

region based on some examples from the Bükk Mountains. PhD thesis work. TUKE. Kassa/Kosice. p. 172.

Lénárt L. (2006). A karsztvízszint emelkedésének jellemzői a bükki karsztvízszintésháló rendszer 1992 – 2005 közötti adatai alapján. A Miskolci Egyetem Közleménye, A Sorozat, Bányászat. 69. kötet. Tiszteletkötet Hahn György 70. születésnapjára. pp. 307-318.

Lénárt L. (2017). A 25 éves Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) története, adatrendszere, felhasználása, további céljaink. Műszaki Földtudományi Közlemények. 86. kötet 3. szám. pp. 18-26.

Lénárt L. (2021a). A Bükkben keletkezett kitermelhető karsztvízkészlet folyamatos meghatározásának módszere XXXI/a. (Az 1992.10.10 – 2021.01.01 közötti mérések értékelése) ÉRV Zrt, HVM Zrt. Mezőkövesdi VG Zrt. megbízás.

Lénárt L. (2021b). Karszt, karsztvíz, barlangok; természeti és társadalmi értékük, hasznosításuk, védelmük. Könyvrészlet. pp. 148-170. (In: Kocziszky, Gy. [szerk.] (2021): A Kárpát-medence régiói 15. Észak-Magyarország. pp. 1-830. HVG-ORAC. Budapest.

Lénárt L. (2022a). A 30 éves bükki karsztvízszint észlelő rendszer (BKÉR) leghosszabb adatai által dokumentált változások, a változások okai 1992-2021 között. Felszín alatti vizek - láthatóvá tenni a láthatatlant. Az MHT Borsodi Területi Szervezetének 2022. évi Víz Világnapi Ünnepi Kiadványa. pp. 41-52. http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/MHT_BTSZ_VV_Unnepi_Kiadvanya_2022.pdf

Lénárt L. (2022b). Havi jelentés a 2022.09.30-án kinyert vízszint adatok alapján.

Lénárt L., Hernádi B. (2011). A Miskolci Vízművek mennyiségi monitoring rendszerének kiegészítése barlangokban végzett hidrogeológiai mérésekkel. Miskolc Város üzemelő sérülékeny karsztos vízbázisának diagnosztika építési és tervezői feladatai. Kézirat. Miskolc.

Lénárt L., Hernádi B., Szegediné D. E., Debnár Zs., Czesznak L., Tóth M. (2014). The Importance of Bükk Karst Water Monitoring System (BKWMS) in Researching the Relations of Cold and Warm Karst Waters in the Area. Geosciences and Engineering, Vol. 3. No. 3. pp. 107-118.

Lénárt L., Ilyés Cs. (2021). Hosszú idejű (1992-2020) bükki karsztvízszint észlelő rendszer (BKÉR) adatai minitáztatának vizsgálata. XVI. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia. ELTE. 2021. márc. 30 – ápr. 1. pp. 171-180.

Lénárt L., Szegediné Darabos E. (2012). Vertikális vízmozgások vizsgálata a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján (különös tekintettel a vízszint csökkenésekre). Karsztfelődés, XVII. pp. 47-62.

Lénárt L., Szegediné Darabos E. (2013). The hydrogeological relations of the thermal karst of the Bükk mountains based on monitoring data. Geosciences and Engineering, Vol. 2. No. 3. pp. 91-100.

Miklós R., Lénárt L., Darabos E., Kovács A., Pelczéder Á., Szabó P. N., Szűcs P. (2020). Karst water resources and their complex utilization in the Bükk Mountains, northeast Hungary. an assessment from a regional hydrogeological

perspective. *Hydrogeology Journal*, Vol. 28. pp. 2159-2171. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02168-0>

Miklós R., Lénárt L., Darabos E., Kovács A., Czesznak L., Pelczéder Á., Szűcs P. (2021a). A Bükk hegység karsztvíz-készleteinek feltárása és hasznosítása. *Hidrológiai Közlöny*. 101. kötet, 2. szám. pp. 31-43, HU ISSN 0018-1323.

Miklós R., Lénárt L., Szűcs P. (2021b). Geotermikus viszonyok modellezése Demjén környékén. XVI. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia. ELTE, 2021. márc. 30 – ápr. 1. pp. 181-185.

Németh Á., Lénárt L., Kovács B. (2008). A bükki karsztvíz észlelő rendszer hiányzó mérési adatainak pótlása; vízszint előrejelzés. *Karsztfejlődés*. XIII. kötet. pp. 87-102.

Szegediné Darabos E., Lénárt L., Czesznak L., Hernádi B., Tóth K. (2014). Jelleggörbék előállítása a bükki és bükk-térségi vízszintadatokból. *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*. 2014.05.13. Elektronikus műszaki füzetek (HUISSN 2060-7954). Szolnok. pp. 319-327.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



Tél végi adatkinyerés a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) 30 éve működő legfontosabb figyelő kútjából, az Nv-17-ből (Fotó: Czesznak)

A bükki hideg és termálkarsztrendszer kapcsolatának vizsgálata statisztikai módszerekkel

Miklós Rita*, Lénárt László*, Szűcs Péter*

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: hgmr@uni-miskolc.hu)

Kivonat

Közleményünkben olyan kutatási eredményekről számolunk be, melyek a Bükk hegység hideg-, és termálkarsztrendszerének kapcsolatát vizsgálják. A számításokhoz a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer hosszú, mért adatait használtuk fel, melyeken különböző típusú statisztikai módszerek segítségével végeztünk periodicitás vizsgálatokat, és ezek eredményeit hasonlítottuk össze. Ezek tükrében elmondható, hogy a Bükkben a hideg és termálkarsztrendszer között erős hidraulikai kapcsolat áll fenn, melyet számszerűen, matematikai módszerek segítségével támasztunk alá. Az eredmények alapján a hegységben a hideg és termálkarsztos rendszert egy összefüggő, hidraulikailag folytonos hidrogeológiai rendszerként kell tekinteni, mely utánpótlását a csapadékból nyeri. Eredményeink elősegítik a hideg és termálkarsztról rendelkezésre álló információk bővülését, mely mind tudományos, mind vízgazdálkodási szempontból kiemelten fontos a hosszú távú és fenntartható vízhasználatok tervezésében.

Kulcsszavak

Karszt, karsztvíz készlet, termálkarszt, Bükk, spektrálanalízis.

Investigation of the relationship between cold and thermal karst system with statistical methods in the Bükk Mountains

Abstract

In the article we report research results which aim is to investigate the relationship between cold and thermal karst system of the Bükk Mountains. Calculations were carried out by using long term, measured data series originating from the Bükk Karst Water Monitoring System. Periodicity tests were performed by using different types of statistical methods and their results were compared. Based on them, it can be said that there is a strong hydraulic connection between the cold and thermal karst system in Bükk, which is supported numerically with the help of mathematical methods. Based on the results, the cold and thermal karst system in the Mountains should be considered as a connected, hydraulically continuous groundwater system, which is mostly recharged by precipitation. Our results help expand the available information on cold and thermal karst. This is extremely important from both a scientific and a water management point of view in the planning of long-term and sustainable water uses in the future.

Keywords

Karst, karstwater resources, thermal karst, Bükk, spectral analysis.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a kutatók, hidrogeológusok álláspontjai nagyrészt megegyeztek abban, hogy a Bükkben a hideg-, és termálkarsztrendszer kapcsolatban áll egymással, egy hidraulikai egységet alkot, és az elmúlt évek kutatásai is ezen szemlélet mentén haladtak (Lénárt 2008, McIntosh és társai 2011, Darabos és társai 2014, Lénárt 2022). Azonban mindeddig ez a kapcsolat matematikai módszerekkel, számszerűsítve nem került bizonyításra. Kutatásunk fő célkitűzése ennek a kapcsolatrendszernek a statisztikai módszerekkel való vizsgálata volt. A számítások elvégzéséhez a hegységben immár 30 éve üzemelő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer részletes, hosszú adatait használtuk fel, melyek egyedülállóak és számtalan kutatási lehetőséget rejtenek magukban.

A kutatás alapkonceptiója az volt, hogy a Bükk vagy főként a központi területén hulló csapadék biztosít utánpótlást a hegység hideg karsztvíz készletének, mellyel hidraulikai kapcsolatban áll a termálkarszt, amely így utánpótlását a hideg rendszer felől kapja. Ennek megfelelően kerültek kiválasztásra a vizsgált mérőhelyek is, melyek adatain koherencia vizsgálatokat, valamint spektrálanalízis és kereszt-spektrál analízis segítségével végeztünk periodicitás vizsgálatokat.

Mivel a régióban mind a hideg-, mind a termálkarsztvíz termelés stratégiai fontosságú (ivóvíz-ellátás, balneológia,

fűtési célú hévízkivétel is történik), ezért a kutatási eredményeket kiemelten fontosnak tartjuk a hosszú távú, fenntartható vízhasználat és vízgazdálkodás tervezésében.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Alkalmazott módszerek

A közleményben bemutatott statisztikai módszerek egyik legfontosabb követelménye, hogy a számításokhoz felhasznált adataink hiánytalanok legyenek, valamint minimum négy évet öleljenek fel (Padilla és Pulido-Bosch 1995). Számításaink során általában 96 db adatból képzett napi átlaggal dolgoztunk.

A kutatás során a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer egyes monitoring pontjainak hosszú adatait használtuk fel, melyeken többek között spektrálanalízist alkalmaztunk. Ennek érdekében a mért adatakat a tér-idő tartományból Fourier-transzformáció segítségével frekvenciatartományba alakítottuk át, az eredményt spektrumoknak nevezzük. Ezáltal a felhasznált adatainkon periodicitás vizsgálatok végezhetőek el (Chinarro és társai 2010). A művelet fordítottját inverz Fourier-transzformációnak nevezzük, melynek segítségével a spektrumok visszaállíthatóak jellé a tér-idő tartományban, és melynek segítségével konkrét számértékeket kapunk (Turai 2005).

Kereszt-spektrál analízis esetében a kereszt-korrelációs függvény asszimetriája miatt szükséges az egyszerű spektrálsűrűség komplex számokkal való kifejezése. Szá-

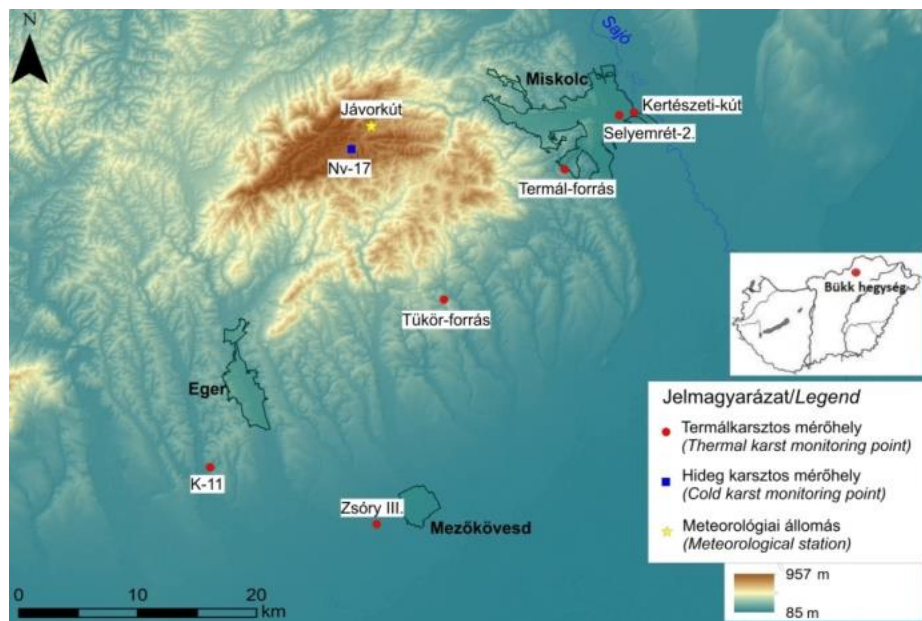
mításainkat *Padilla és Pulido-Bosch (1995)* munkája alapján végeztük el. Ennek során a keresztamplitúdó [$\alpha_{xy}(f)$] és fázis [$\Phi_{xy}(f)$] függvények f frekvencián való értelmezésében kifejezhető a négyzetes spektrum [$\Lambda_{xy}(f)$] és a kereszt-spektrum [$\Psi_{xy}(f)$], az együtthatókban jelentkező torzítást pedig egy súlyfüggvény küszöbölí ki (*Padilla és Pulido-Bosch 1995*). Hidrogeológiai adatsorok feldolgozásához az ún. Tukey ablak szűrő bizonyult a legalkalmasabbnak (*Jenkins és Watts 1968*), így számításaink során mi is ezt alkalmaztuk. E módszer alkalmazása esetén a keresztamplitúdó függvény [$\alpha_{xy}(f)$] összefüggésbe hozható a rendszer impulzusválaszának hosszával, valamint a csapadék periodikus komponensei is kiszűrhetőek. A fázis függvény [$\Phi_{xy}(f)$] megadja a csapadék és az áramlási viszonyokban bekövetkező változások közötti késleltetés mértékét különböző frekvenciákon (*Padilla és Pulido-Bosch 1995*).

A keresztamplitúdó és az egyszerű spektrálsűrűség

függvények segítségével további függvények adhatóak meg, mint például a koherencia függvény [$\kappa_{xy}(f)$], melynek kiszámításához szintén *Padilla és Pulido-Bosch (1995)* munkáját használtuk fel. A koherencia függvény eredménye megmutatja, hogy a kimenő adatsorban bekövetkező változások reagálnak-e a bemenő adatsorban bekövetkező változásokra, tehát, hogy a két adatsor között fennáll-e az információcsere (*Turai 2005*).

A vizsgálatba bevont mérőhelyek

A vizsgálatokhoz felhasznált adatsorok mind karsztos, termálkarsztos, több típusú mérőhelyről származnak a Bükk hegység és előtere területeiről (*1. ábra*). Számos korábbi vizsgálat bizonyította, hogy az *Nv-17-es kút* a hidegkarsztvíz-domborzat szempontjából tetőhelyzetben található, így ennek a vízszint adatsorát használtuk fel a hidegkarsztvízszint reprezentálására. A kút mélysége 350 m, triász korú mészkő formációban került kialakításra a szűrőzése.



1. ábra. A vizsgálatokba bevont mérőhelyek elhelyezkedése (szerzők saját szerkesztése)
Figure 1. Location of examined monitoring points (authors' own edition)

A *Kertészeti-kút* Miskolc városának keleti részén található, 464 m csövezett mélységű, szabad kifolyású, szivattyú nélkül termelő kút. A *Selyemrét-2-es kút* nem messze található a *Kertészeti-kúttól*, 592-620 méteres nyitott szakaszon lép be a termálkarsztvíz a kútba – mely a *Selyemréti Strandfürdő* vizigényét elégíti ki –, szintén szabad kifolyású, szivattyú nélkül termelő kút. A *Zsóry-III. kút* csövezett mélysége 957,6 m, termálkarsztvíz termelése 2008-ban szűnt meg, azóta a mezőkövesdi *Zsóry Gyógy- és Strandfürdő* területén megfigyelőkútként működik. A *K-11-es kút* Demjénben található, csövezett mélysége 950 m, szabad kifolyású, szivattyú nélkül termelő kút. A *Termál-forrás* Miskolc-tapolcán található langyos-melegvizes forrás, mely a *Barlangfürdő* vízellátására és ivóvízellátásra foglalt forrás. Átlagos víz hőmérséklete 30-31 °C, 2022-ben megközelíti a 32 °C-ot. A Bükk keleti részén, a Bükkfennsík Mészkő Formáció peremén helyezkedik el. A *Tükör-forrás* Kácson található, gyengén karsztosodó összletek peremén lép felszínre, átlagos víz hőmérséklete 21,8 °C.

EREDMÉNYEK

A kutatás felépítése során azt az alapkonceptiót alkalmaztuk, hogy a bükki hideg és termálkarsztos víztestek hidraulikailag folytonosak, közöttük kapcsolat áll fenn, a lehulló és beszivárgó csapadék először a hidegkarsztban szolgál utánpótlásul. A hidegvizes készlet egy része a hegységben és főként annak peremi részein források formájában megcsapolódik, a másik része pedig a termálkarsztos összletek utánpótlásaként működik. Fontos kihangsúlyozni, hogy a vizsgálataink, számításaink során ezt a koncepciót követtük, tehát az input, kiindulási adatsor mindig a hidegkarsztot reprezentáló *Nv-17-es kút* vízszint adatsora, outputként (kimenő adatsorként) pedig a különböző termálkarsztos mérőhelyek adatsorai (vízszint, nyomás) szolgálnak.

Különösen fontosnak tartjuk továbbá kiemelni, hogy a módszereket sikerrel alkalmazza a nemzetközi szakirodalom, viszont szinte csak a hideg karsztrendszerben, a csapadék-vízszint, a csapadék-forráshozam, stb. tekintetében. Ez azért lényeges, mert a klasszikus karsztrendszerben a

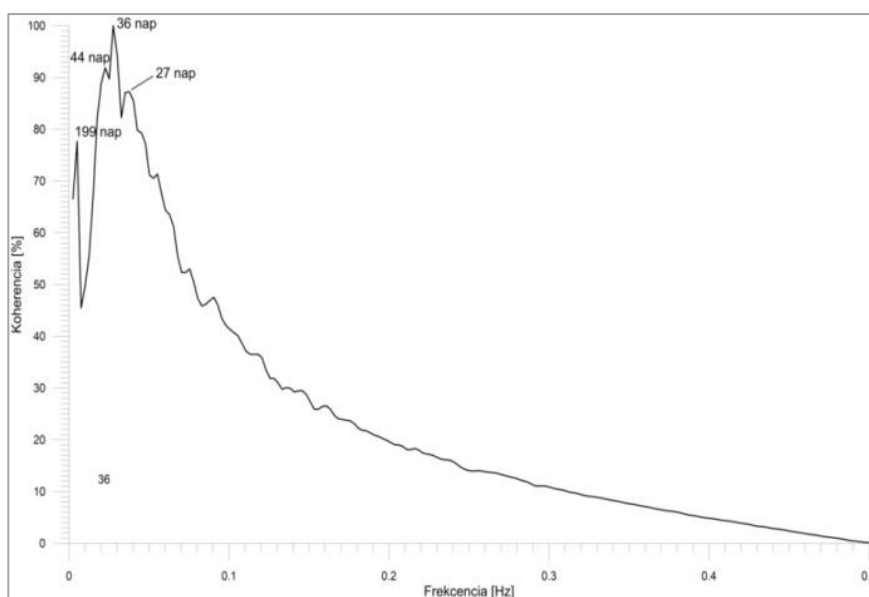
reagálási idők lényegesen gyorsabbak és egyértelműbbek. Ezzel ellentétben a Bükk esetében a hideg-, és termálkarsztrendszer között jelentős csillapítási tényezők (földtani felépítés, vertikális és vízszintes távolság, lokális hatások, termelés hatásai, hidraulikai gátak, stb.) vannak jelen, melyek számottevő tompítást okoznak a bemeneti és kimeneti jelek között, és természetesen ezen okok miatt a reagálási idők is lényegesen hosszabbak. Így az általános módszertannal ellentétben több módszert együttesen alkalmazva és értelmezve kell a számításokat, kutatásokat elvégezni.

Koherenciavizsgálatok eredményei

Két adatsorra alkalmazott koherencia függvény megmutatja, hogy az input adatsorban bekövetkező változásra

vajon reagál-e az output adatsor, tehát a két adatsor között fennáll-e az információcsere. A magas koherencia értékkel rendelkező csúcsokhoz tartozó frekvencia/idő értékek alapján a vizsgált mérőhelyek tekintetében periódusidők jelölhetőek ki a koherencia görbén. Ez azt jelenti, hogy az eredmények közül azokat a periódusidőket fogadjuk el nagy megbízhatósággal, melyekhez magas koherencia érték társul.

A kutatás során a koherencia függvény segítségével meghatároztuk a koherencia görbét az *Nv-17* és a többi vizsgált mérőhely esetére, de jelen anyagban szemléltésként csak a *Selyemrét-2-es* mérőhely eredményét mutatjuk be (2. ábra).



2. ábra. Az *Nv-17* és a *Selyemrét-2* kút koherenciagörbéje, jelölve a magas koherencia értékhez tartozó periódusokat napban
Figure 2. Coherence curve of *Nv-17* and *Selyemrét-2* wells, periods with high coherence value are marked and given in days

1. táblázat. A koherencia függvény alapján meghatározott periódusidők a vizsgált mérőhelyek esetén
Table 1. Period times defined based on the coherence function in the investigated monitoring points

Mérőhely	Periódusok (nap)
Kertészeti-kút	101, 40
Selyemrét-2-kút	199, 44, 36, 27
K-11	327, 82, 50, 41
Zsóry-III. kút	148, 74, 46, 35, 22
Tükör-forrás	365, 183, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 44, 30

Az összes mérőhelyre vonatkozó eredményeket az 1. táblázatban adtuk meg. A bükki hideg-, és termálkarsztos víztestek esetében elmondható, hogy regionális szinten kapcsolódhatnak egymáshoz és ebben a léptékben vizsgálva a rendszer igen nagy hidraulikus ellenállással rendelkezik. A koherencia függvény alapján végzett periodicitás vizsgálatok eredményei pedig azt mutatják, hogy egy ilyen típusú rendszer esetén az erős kapcsolatot jelző magas koherencia értékek alacsony frekvenciájú, magas periódusidőkben mutatkoznak meg a vizsgált hideg-, és termálkarsztos adatsorok között. Ez azt jelenti, hogy a jelentős mértékű hidraulikai ellenállás miatt a hi-

degkarsztban bekövetkező kisebb mértékű változások hatásait a rendszer elnyomja, azok a termálkarsztos adatsorokban nem mutathatók ki, ellentétben a nagy periódusidővel jellemezhető változásokkal. Összehasonlításképpen említve, a hegység központi részén a hideg karsztrendszerhez tartozó források csapadékeseményre való reagálási ideje 3-5 nap (Darabos, 2017).

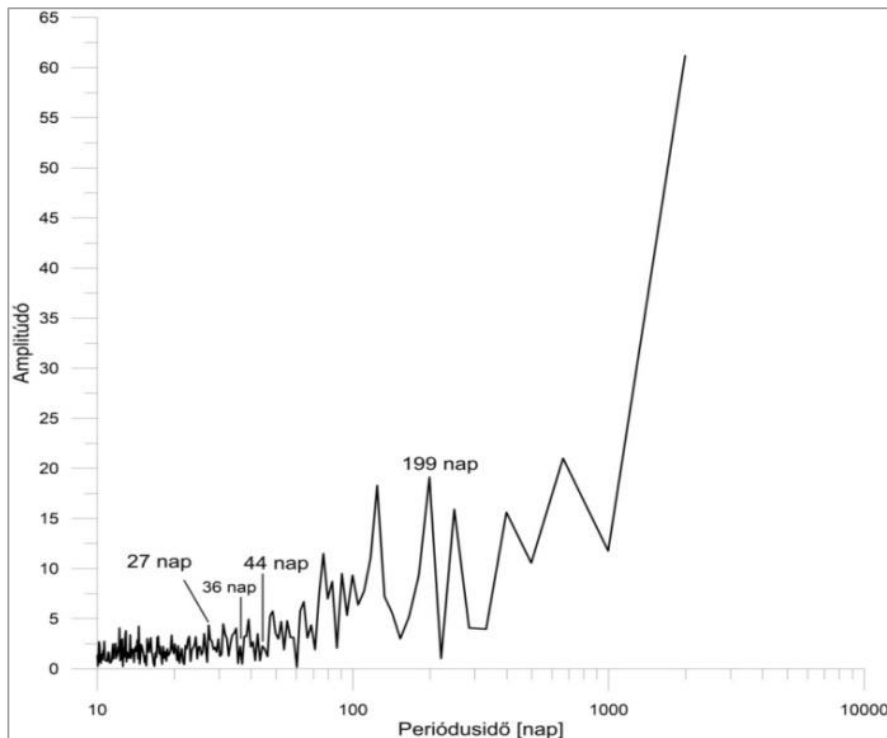
Spektrálanalízis, periodicitás vizsgálatok eredményei

Ha két Fourier-transzformált adatsort összevetünk, együttesen vizsgálunk, akkor mondható közösnek egy-egy adott periódus, ha mindkét görbén a jellegzetesebb csúcsok, törések ugyanarra az időpontra esnek, a görbék alakja, jellege nem befolyásoló tényező ebben az esetben (Jukic és Denic-Jukic 2015).

A spektrálanalízis első lépéseként elvégeztük a Fourier-transzformációt a vizsgált termálkarsztos mérőhelyek adatsorain, megkapva így a frekvenciatarománybeli értékeket. Az ábrázolt görbe alkalmas arra, hogy a csúcspontokhoz, töréspontokhoz tartozó periódusok kijelölhetőek legyenek rajta. Következő lépésben azt vizsgáltuk, hogy a koherencia vizsgálatok során meghatározott magas koherencia értékű csúcsokhoz rendelhető periódusidők megtalálhatóak-e a mérőhelyek Fourier-transzformált görbéin. Az egyes mérőhelyek Fourier-transzformáltjai esetében a

lényeg az, hogy az adatsorban található-e csúcs az adott periódus esetén, tehát nem a csúcshoz tartozó amplitúdó értéke, hanem magának a csúcsnak a megléte a feltétel.

A vizsgálatot elvégeztük minden bevont termálkarsztos mérőhely esetén, példaként a *Selyemrét-2* esetét mutatjuk be a 3. ábrán.



3. ábra. A *Selyemrét-2* kút adatsorának Fourier-transzformált görbéje, jelölve a vizsgált periódusokat napban
Figure 3. Fourier transformed curve of the data series of *Selyemrét-2* well, the investigated periods are marked in days

Az összes vizsgált mérőhelyre vonatkozó eredményeket a 2. táblázatban mutatjuk be.

2. táblázat. A spektrálanalízis alapján meghatározott periódusidők a vizsgált mérőhelyek esetén

Table 2. Period times defined based on spectral analysis in the investigated monitoring points

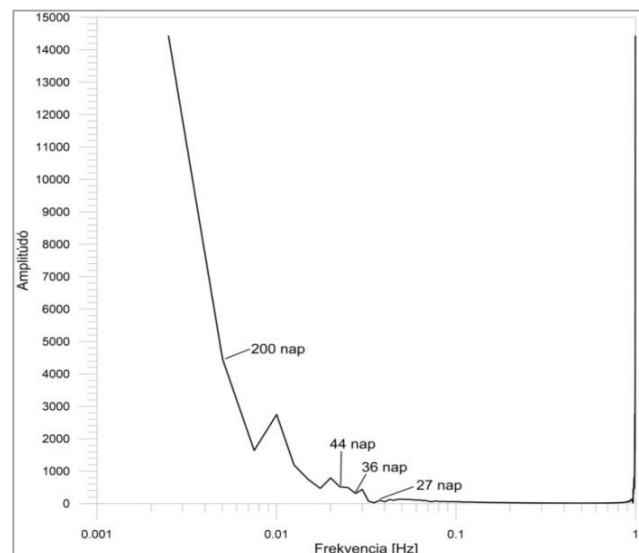
Mérőhely	Periódusok (nap)
Kertészeti-kút	102, 42
Selyemrét-2-kút	199, 44, 36, 27
K-11	327, 84, 50, 42
Zsóry-III. sz. kút	142, 47, 22
Tükör-forrás	365, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 45, 30

Keresztspektrum analízis, periodicitás vizsgálatok eredményei

A keresztspektrum analízisnél első lépésként elvégeztük az *Nv-17* és az egyes termálkarsztos mérőhelyek adatai között meghatározott keresztkovariancia értékeken a Fourier-transzformációt. Ez azért fontos, mert így csak azok a periódusok mutatkoznak a frekvenciatartománybeli görbéken, amelyek mindkét mérőhelyre jellemző közös periódusok, kiküszöbölve ezzel az esetleg más hatásokból eredő jeleket.

Következő lépésben – hasonlóan a spektrálanalízishez – azt vizsgáltuk, hogy a koherencia függvény alapján meghatározott periódusidők (1. táblázat) jelenteznek-e a ke-

resztspektrum analízis során előállított görbéken az egyes mérőhelyek vonatkozásában. Példaként ismét a *Selyemrét-2-es* kút eredményeit mutatjuk be a 4. ábrán, az összes mérőhelyre vonatkozó eredményeket összefoglalva pedig a 3. táblázatban közöljük.



4. ábra. Az *Nv-17* és a *Selyemrét-2* kút keresztspektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusokat napban
Figure 4. Result of cross-spectral analysis of *Nv-17* and *Selyemrét-2* wells, the investigated periods are marked in days

3. táblázat. A keresztspektrum analízis alapján meghatározott periódusidők a vizsgált mérőhelyek esetén
Table 3. Period times defined based on the cross-spectral analysis in the investigated monitoring points

Mérőhely	Periódusok (nap)
Kertészeti-kút	101, 41
Selyemrét-2-kút	200, 44, 36, 27
K-11	327, 82, 47, 41
Zsóry-III. kút	148, 74, 39, 28
Tükör-forrás	366, 183, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 49, 30

A különböző típusú matematikai statisztikai eredmények összegzése

A különböző típusú statisztikai vizsgálatok elvégzésének elsődlegesen az volt a célja, hogy a más és más módszerrel végzett eredmények milyen viszonyban vannak egymással. Elsődlegesen a vizsgálatok célja a közös periódusok kimutatása volt, hiszen, ha többfajta módszerrel is hasonló periódus értékek mutathatók ki, az azt jelenti, hogy a hideg-, és a termálkarsztrendszer kapcsolatban áll egymással. Fő cél nem a periódusok hosszának meghatározása és vízföldtani értelmezése volt, hanem annak vizsgálata, hogy jelentkeznek-e közös periódusok.

A különböző statisztikai módszerekkel elvégzett periodicitásvizsgálatok eredményeit, a meghatározott közös periódusokat összefoglalva a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. A koherencia vizsgálatok, a spektrálanalízis és keresztspektrál analízis eredmények alapján meghatározott periódusidők az Nv-17 és vizsgált termálkarsztos mérőhelyek tekintetében

Table 4. Period times defined based on the results of coherence analysis, spectral analysis and cross-spectral analysis in the investigated monitoring points

Mérőhely	Periódusok (nap)
Kertészeti-kút	101, 41
Selyemrét-2-kút	200, 44, 36, 27
K-11	327, 82, 47, 41
Zsóry-III. kút	148, 74, 39, 28
Tükör-forrás	366, 183, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 49, 30

KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás során hosszú és részletes mérési adatsorokat felhasználva, statisztikai módszerekkel vizsgáltuk a Bükk hegység hideg és termál karsztrendszere közötti kapcsolatot. Emellett vizsgáltuk a klasszikus karszthidrogeológiában sikerrel alkalmazott módszerek alkalmazhatóságát olyan bonyolult felépítésű, regionális szinten kapcsolódó karsztrendszer esetén, mint a Bükk. Első lépésben koherencia függvény segítségével megadtuk az Nv-17 és a vizsgált termálkarsztos mérőhelyek koherenciagörbéit. Ezeket felhasználva meghatároztuk a magas koherencia értékhez tartozó csúcsokhoz kapcsolódó periódusidőket. Ezek főként alacsony frekvenciához tartozó magas periódusidőknek adódtak.

Következő lépésben azt vizsgáltuk, hogy a koherenciagörbe alapján meghatározott periódusidők kimutathatók-e spektrálanalízis, valamint keresztspektrál analízis segítségével. A háromfajta módon elvégzett periodicitás vizsgálat eredményei alapján megadtuk az Nv-17

(mint hideg karsztot reprezentáló mérőhely), valamint a vizsgált termálkarsztos mérőhelyekre jellemző periódusokat.

A vizsgálatok eredményei azt támasztják alá, hogy a Bükkben a hideg és termál karsztrendszer erős hidraulikai kapcsolatban áll egymással: a hidegkarsztban bekövetkező változások kimutathatóak a termál karsztrendszerben is, így azok hidraulikailag folytonosak és nem szabad őket külön víztestekként kezelni. Továbbá azért sem, mert a termál karsztrendszer nyomásvizonyait alapvetően a hidegkarsztban bekövetkező változások határozzák meg, és utánpótlását a hideg rendszerből kapja. Így végső soron a termálkarszt állapotát a hegység központi részén hulló csapadékmennyiségek határozzák meg hosszú távon.

A bemutatott vizsgálati módszerek együttesen alkalmazva alkalmasak egy ilyen nagy hidraulikai ellenállással rendelkező, regionális léptékű, bonyolult felépítésű karsztrendszer vizsgálatára. Így új módszertani vizsgálati eljárást adtunk meg a bükki karsztrendszer vonatkozásában. Továbbá az is bebizonyosodott, hogy a pozitív, szabad kifolyású, nem szivattyúval termelő termálkarsztkutak alkalmasak monitoring tevékenységre és hosszú távú adatsoraik felhasználhatóak hidrogeológiai kutatásokra.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján folyó projekt részeként valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Chinarro, D., Cuchi, J., Villarroel, J. (2010). Application of Wavelet Correlation Analysis to the Karst Spring of Fuenmayor. San Julián de Banzo, Huesca, Spain. In: Advances in Research in Karst Media, B. Andreo, F. Carrasco, Durán J., (ed), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Darabos E. (2017). Vízkészlet számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján. Miskolci Egyetem. PhD értekezés.

Darabos E., Tóth M., Lénárt L. (2014). Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján. XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia: 16th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Székelyudvarhely. pp. 248-252.

Jenkins, G.M., Watts, D.G. (1968). Spectral analysis and its applications. Holden Day, San Francisco, p. 525.

Jukic, D., Denic-Jukic, V. (2015). Investigation relationships between rainfall and karst-spring discharge by higher-order partial correlation functions. Journal of Hydrology 530, pp. 24-36.

Lénárt L. (2008). Hideg, langyos és meleg karsztvíz-zónák a Bükkben és környezetében. Mineral waters in the Carpathian Basin 5th International Scientific Conference, Csíkszereda. pp. 41-50.

Lénárt L. (2022). A 30 éves bükki karsztvízszint észlelő rendszer (BKÉR) leghosszabb adatsorai által dokumentált változások, a változások okai 1992-2021 között. Felszín alatti vizek - láthatóvá tenni a láthatatlant. Az MHT Borsodi Területi Szervezetének 2022. évi Víz Világnapi Ünnepi Kiadványa. pp. 41-52.

McIntosh R., Kozák M., Plásztán, J. (2011). Geológiai értékek a leszálló és termokarszt területek morfológiájának összehasonlítása tükrében. Calandrella. 14. kötet. pp. 22-33.

Padilla, A., Pulido-Bosch, A. (1995). Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. Journal of Hydrology. pp. 73-89.

Turai E. (2005). Spektrális adat- és információfeldolgozás. Egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetem.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



A Demjéni Termál Tófürdőt és az Egri Korona Borházat kiszolgáló K-15 termálkarszt kút szerelvényei (Fotó: Lénárt)

Karsztvízkészlet meghatározási módszer fejlesztése a Bükk hegységben

Tóth-Darabos Enikő*, Tóth Márton*

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: hgtoth@uni-miskolc.hu)

Kivonat

Az évek során már többször is hallhatta a szakmai közönség a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) nevét, melynek „alapköveit” Böcker Tivadar tette le még 1978-1981 között, majd az első automata mérőműszerek 1992-ben kezdték el az adatrögzítést Lénárt László gondozásában. Az évek alatt több, mint 80 helyen történt mérés az észlelő rendszer keretein belül, ami 2022-ben ünnepli fennállásának 30. évfordulóját. A hatalmas adatmennyiségben számos kutatási lehetőség rejlik. Ezt a BKÉR-ben rejlő lehetőséget kihasználva vállalkoztunk arra a feladatra, hogy meghatározzuk a Bükk hegység vízkészletét. Munkánkat egy egyszerűsített vízföldtani kategória térkép előállításával kezdtük, melyhez Less György geológus professzor nyújtott segítséget. A Golden Software Surfer v11 program segítségével kiszámítottuk, hogy adott vízszint értékek esetében mekkora vízmennyiség található a különböző kőzet kategóriákban. Az egész hegységet lefedő vízszint adatokat a BKÉR és a Vízföldtani Információs Rendszer (VIFIR) forráskataszter szolgáltatja a számításokhoz. A telített kőzettérfogatok felső burkoló felülete egyértelműen adódott a vízszint adatokból, nem úgy az alsó határfelület, melynek meghatározásához bevezettük a gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet, lassan utánpótlódó dinamikus készlet, valamint termálkarsztvíz készlet fogalmát és technikai határát. A számításaink során függvény kapcsolatot állapítottunk meg a hegységben a betárolt vízmennyiség, vagyis a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet és egy kiemelt vízszint monitoring pont vízszint értékei között. Ez a függvénykapcsolat látszólag egy monitoring pont vízállásához köti a hegységben tárolt vízmennyiséget, de ki kell hangsúlyozni, hogy a karsztvíz domb felső burkoló felülete az összes működő monitoring pont adata alapján kerül meghatározásra.

Kulcsszavak

Bükk, karsztvíz, monitoring rendszer, vízkészlet meghatározás.

Karst water resources determination method development in the Bükk Mountain

Abstract

The name of the Bükk Karst Water Level Monitoring System (BKWLMS) could be familiar to the hydrogeologists of Hungary, whose base was established by Tivadar Böcker in 1978-1981, then the first automatic data recorders started to work in 1992 with the management of László Lénárt. During the ages, more than 80 monitoring points were involved in the monitoring system which celebrates its 30 years of existence this year (2022). The huge amount of data served by the system was the base of our research work aimed at the determination of the amount of karst water resource of the Bükk. The first step was the creation of a simplified hydrogeological map which was aided by Professor György Less. The stored water amount of different hydrogeological rock categories was calculated by Golden Software Surfer v11 related to a given water level. The water level data for all parts of the mountain was served by the BKWLMS and VIFIR spring cadaster. The upper covering water surface in the mountain was clearly created from the karst water level data but the determination of the lower surface was a more complex problem. Three types of lower boundaries were defined: quickly refilled dynamic water resource, slowly refilled dynamic water resource, and thermal water resource. During our calculation, a mathematical relation was established between the stored water amount (slowly rechargeable dynamic water resource) of the mountain and the water level of a monitoring point. According to this mathematical relation, it could seem the mountain's stored water amount is just calculated by the water level of one monitoring point but we would like to emphasize, the upper karst water level surface is determined by data of all working monitoring points of BKWLMS.

Keywords

Bükk, karst water, monitoring system, water resource determination.

BEVEZETÉS

A hagyományos vízkészlet számítási módszerek a vízháztartási egyenlet paramétereinek meghatározásán alapulnak. Ebben az esetben a rendszerben történő utánpótlódást határozzuk meg (*Cheng-Haw és társai 2006*). A vízkészlet meghatározási módszerek másik nagy csoportja a felszín alatti tározott víz térfogatának becslése. Ennek első lépése egy olyan földrajzi információs rendszer létrehozása, amely lehetővé teszi a térfogatbecslés kiszámításához szükséges adatkészlet megjelenítését és kezelését. A következő lépés maga a térfogatbecslés, mely történhet a teljes térfogat számítás, a porozitás és a telített zóna vastagsága alapján, vagy a szivattyúzással kitermelhető térfogat becslés, a fajlagos hozam, a fajlagos tározás és a nyomás alatti zóna vastagsága alapján, befejező lépésként a becslésre használt paraméterek érzékenységének meghatározásával (*Hinaman 2005*).

A Bükk hegység vízháztartása, illetve a kitermelhető – hasznosítható – vízkészletének nagysága régóta foglalkoztatja a kutatókat. A korábbi készletbecslések csaknem mindegyike vízháztartási vizsgálatokon alapult. Ezen számítások hátránya, hogy a pontos eredményhez a vízháztartási egyenlet minden elemét pontosan meg kell tudni határozni, ami a sok, nehezen mérhető paraméter, illetve a hegységben jellemző nagy fokú heterogenitás miatt nem könnyű feladat és az eredmények meglehetősen nagy hibát hordoznak magukban.

Az 1954 és 2008 között készült, összesen 13 különböző meghatározás eredményeit mutatja az *1. táblázat*, amit Kun Éva és szerzőtársai gyűjtöttek össze és tettek közzé. A számítások nagy része vízháztartási egyenleteken alapul, de a szerzők nem adtak meg bizonytalansági vagy pontossági faktort. 2008-ban a SMARAGD-GSH Kft.

munkatársai már számítógépes modell alapján határozták meg az utánpótlódó felszín alatti vízkészlet nagyságát a Bükkben. Számításaik során figyelembe vették a földtani felépítést, a talaj fizikai jellemzőit, a talaj vastagságát, a jellemző területhasználatot, éghajlati adatokat (csapadékeloszlást), illetve a felszín morfológiáját. A számításokhoz 2 szoftvert használtak:

a WHI Unsat Suite programcsomag HELP modulját és az ARCGIS 9.1 szoftvert. Eredményük nem tér el lényegesen az 1. táblázatban közölt korábbi értékektől (SMARGD-GSH 2008, Kun és társai 2010). További előny, hogy a munka során egy terjedelmes és más szakterületek számára is értékes térképgyűjteményt állítottak elő.

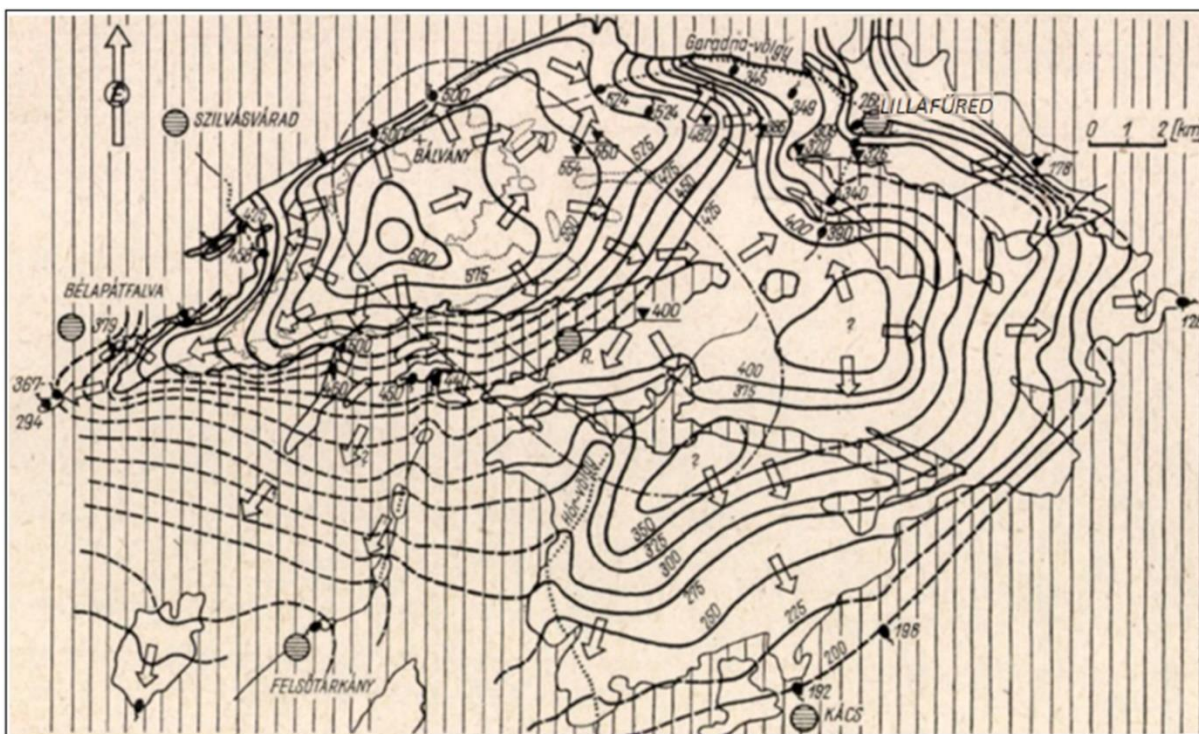
1. táblázat. Különböző szerzők által meghatározott vízkészletek a Bükkben (Kun és társai 2010)

Table 1. Calculated water resources volumes by different authors (Kun és társai 2010)

Szerző	Intézmény	Év	Vízgyűjtő terület (km ²)	Dinamikus vízkészlet (m ³ /nap)
Kessler	VITUKI	1954	199,8	113 400
Schmidt	MÁFI	1962	199,8	116 600
Sárváry	VITUKI	1964	235,2	153 400
Szlabóczky	KEVITERV	1973	450,0	191 800
Böcker	VITUKI	1977	200,0	213 700
Tóth	Egri Főiskola	1983	100,0	78 900
Dénes	VITUKI	1983	114,5	98 500
Rádai	VITUKI	1984	255,0	177 500
Maucha	VITUKI	1984	254,9	195.600
Rádai	VITUKI	1984	256,7	208.200
Rádai	VITUKI	1986	258,4	18.360
Szabó, Lénárt, Wallacher	NME	1989	230,3	153 000
Székvolgyi	Smaragd-GSH	2008	232	112 595

Tóth Géza 1976-os munkájában az akkoriban rendelkezésre álló adatok alapján (bemért karsztforrások, víznyelőn keresztül feltárt karsztvíznívó magasság, kutatófúrással feltárt karsztvíznívó) elkészítette a Bükk karsztvíztérképét (1. ábra), melyen ábrázolta a vélhető legmagasabb (a Feketesár-bérc és a

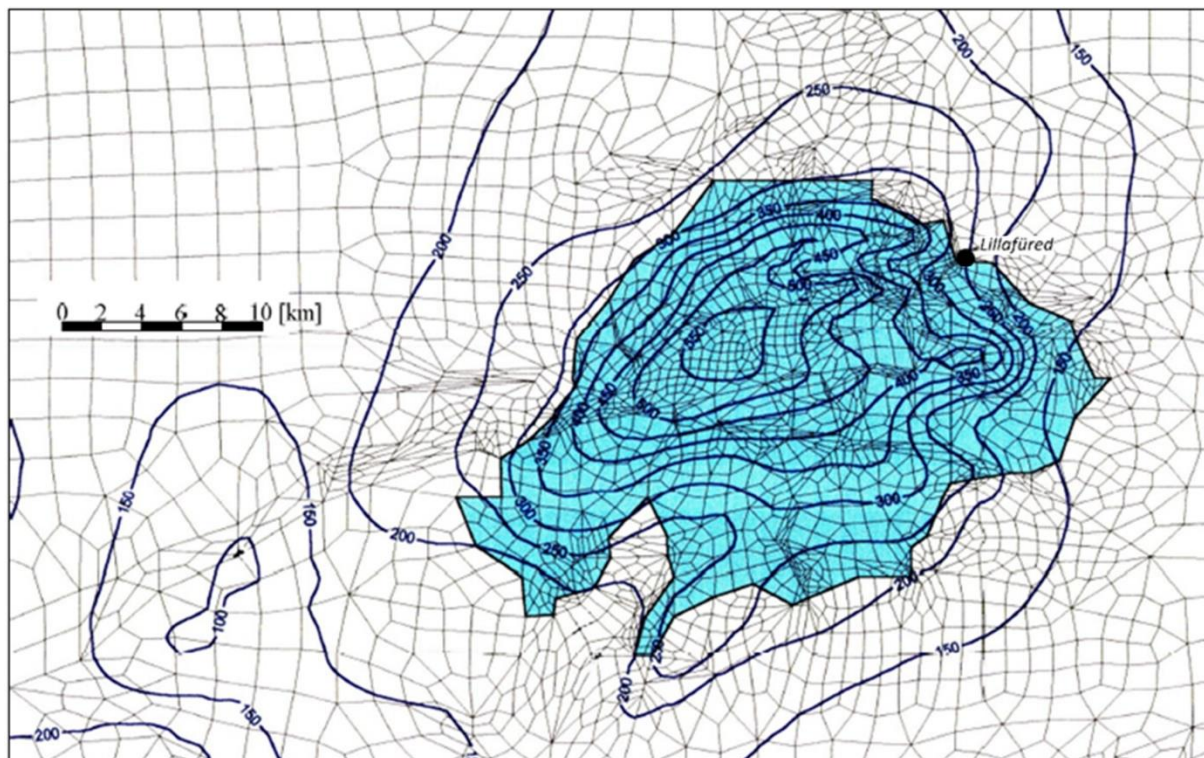
Mélyvár-bérc közötti területen, ~600 mBf) és legalacsonyabb (Lillafürednél, ~260 mBf) karsztvíz magasságát. A karsztvízforma jellegzetessége, hogy északon a vízzáró kőzetek miatt megtámaszkodik, míg délen meredek, majd enyhébb lejtővel folytatódik (fedett karszt) (Tóth 1976).



1. ábra. A Bükk karsztvíz térképe, a nyilak áramlási irányokat, a fekete pontok forrásokat, a fekete vonalak vízszint izovonalakat jelölnek (Tóth 1976)

Figure 1. The karst water level map of Bükk, the arrows show flow directions, the black dots are the springs, black lines are isolines of the water level (Tóth 1976)

Egy későbbi, számítógépes modellezés segítségével előállított vízdomborzati térkép látható a 2. ábrán (Mező 1995).



2. ábra. A Bükk és környezetének karsztvízszint térképe (háttérben a modellezéshez alkalmazott rácsháló) (Mező 1995)
Figure 2. The karst water level of the Bükk and its surroundings (with the modeling net in the background) (Mező 1995)

Szintén Tóth Géza 1984-es kutatásai során a központi Bükk déli peremén fakadó időszakos karsztforrásokkal foglalkozott (Imó-kői-, Fekete-leni-, Vörös-kői időszakos források) (3. ábra). A karsztforrások fölött a hegységben több szinten inaktív forrásbarlangok találhatóak, melyek jelzik, hogy az említett időszakos források a Bükk-fennsík összefüggő karsztvíz rendszerének déli túlfolyói. A felsorolt források vízzáró kőzetek határán lépnek a felszínre (kovapala, agyagpala), mégsem alkotnak állandó erózióbázist, mivel a vízzáró kőzetek alatt karsztvíz áramlás történik a déli, alacsonyabban fakadó karsztforrások felé. Az említett időszakos források vonalában a Bükk-fennsík karsztvíz felülete leszorított tükrű karsztvízszintbe megy át (Tóth 1984). Ennek a megállapításnak a vízdomborzati térkép szerkesztésénél van jelentősége, mivel alátámasztja, hogy a délnyugati Bükkben a várható karsztvízszintek a felszíni, nem karsztos fedőképződmények alatt, több száz méterrel mélyebben helyezkednek el, mint a hegység északi vagy keleti részén, emiatt a szerkesztéseknél nem vesszük majd figyelembe ezt a területet. Viszont az időszakos források fakadási szintjét alkalmazzuk a számítások során, a korábbi működésük alapján meghatározott vízszintértékek felett.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az általunk kidolgozott vízkészlet számítási módszer alapját domborzati, földtani információk, továbbá BKÉR megfigyelő kútjaiban és barlangi mérőhelyeken regisztrált vízszintek, valamint a VIFIR forráskataszter bükki adatai, forrásfakadási szintjei jelentik.

2005-ben Less György az egész hegységet vízföldtani alapon 3 nagy és számos kis egységre osztotta (Less 2005).

Az általa készített térképet alapul véve, a további szakmai pontosításai, illetve saját vízkémiai eredményeink figyelembevételével készítettünk egy új vízföldtani kategóriai térképet. Ez alapján a hegységben található formációk 5 csoportba sorolhatók, a rájuk jellemző porozitás (n) értékek pedig irodalmi adatok alapján kerültek meghatározásra: (1) jól karsztosodott kőzetek, $n=0,0075$, (2) gyengén karsztosodott kőzetek, $n=0,0025$, (3) nem karsztos, hasadékos kőzetek: riolit és dácit tufa, $n=0,001$, (4) nem karsztos hasadékos kőzetek: egyéb, $n=0,001$, (5) rossz vízvezető kőzetek, $n=0,0005$. A kőzetkategóriák és a BKÉR számítások során figyelembe vett mérőhelyei láthatóak a 3. ábrán.

Ezt követően Golden Software Surfer v11 programban az átlagos vízszintekből, illetve forrásfakadási szintekből a természetes szomszéd interpolációs eljárással, 5x5 m-es rácsháló alkalmazása mellett elkészítettük a Bükk vízszint-eloszlási térképét, vagy más szóval a vízdomborzat felületét (a Bükk délnyugati részét figyelmen kívül hagyva). Az alsó határfelület meghatározásával a két felület közötti telített kőzettérfogat porozitásának ismeretében számítható a betárolt víz mennyisége.

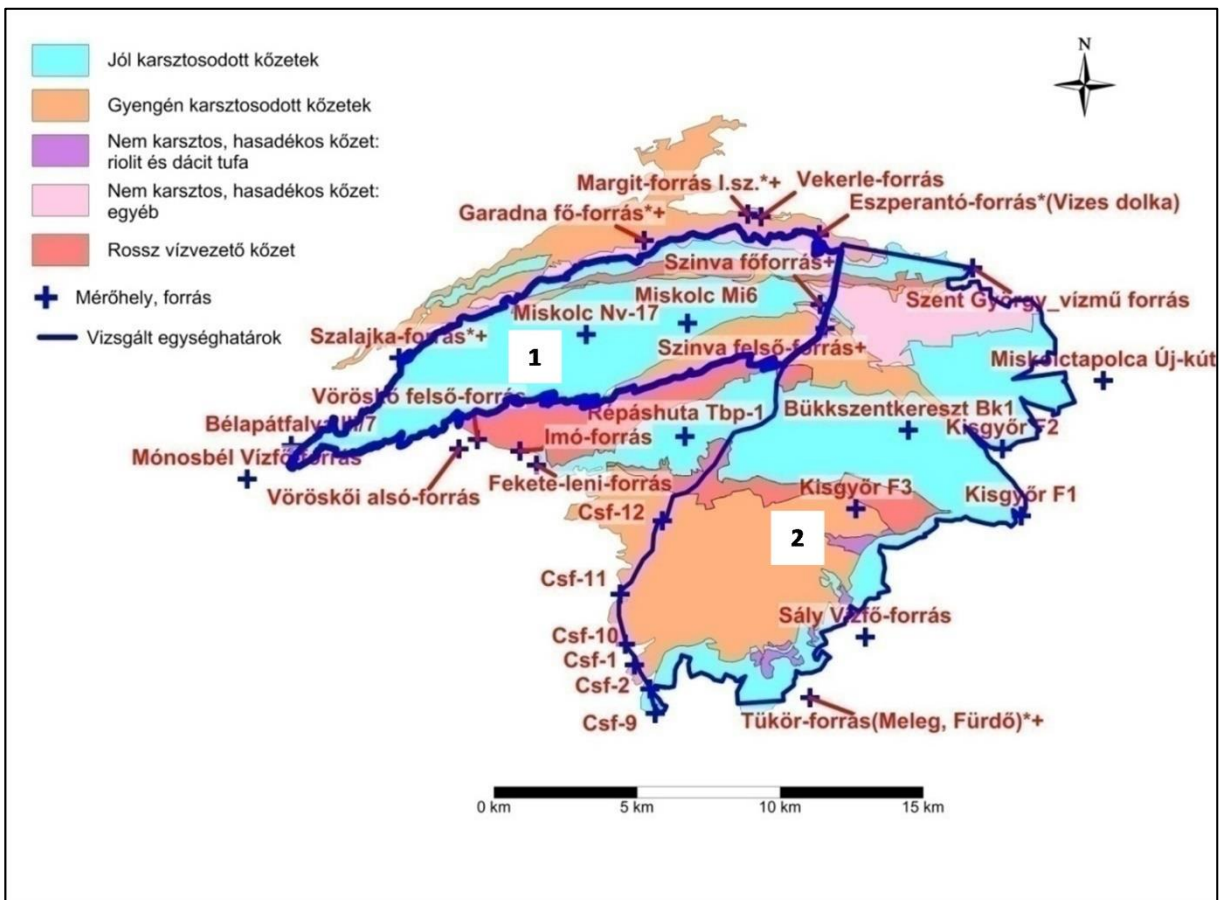
EREDMÉNYEK

Az átlagos vízszintekből előállított karsztvízszint térkép (4. ábra) egy 2 maximummal rendelkező felület, ahol a 2 maximum jól tükrözi a hegységben Sásdi által meghatározott két lefolyástalan terület helyét (Sásdi 2005). A vízszintek az Nv-17 esetében a 25 éves vizsgálati periódus alatt 55%-os gyakoriság mellett az 529,84 mBf +/- 3 m-es átlagos vízszint tartományban helyezkedtek el. A térkép szintvonalainak segítségével természetesen leolvashatóak a jellemző áramlási irányok is, mely

információ tervezői feladatok során hasznosítható. (Ezt a vízszint-eloszlás térképet elkészítettük az Nv-17 mérőhely maximum és minimum vízszintjeinek, illetve az összes mérőhely abszolút maximum és minimum vízszintjeinek figyelembevételével is.)

Az átlagos – a maximum, a minimum vagy az éppen aktuális – vízszintekből előállított vízdomborzat meghatározza a vízadó felső burkoló felületét, viszont meg kell még határozni az alsó határfelületet, vagyis azt, hogy milyen mélységig terjedjen ki a számítás. Ehhez kapcsolódóan új fogalmakat és technikai határokat vezetünk be a számításokba: gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet, lassan utánpótlódó dinamikus készlet, valamint termálkarsztvíz készlet.

Gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet: hatékony csapadékesemény vagy csapadékesoport(ok) által előidézett vízszinttetőzés utáni csökkenésből számítható vízkészlet, amit a BKÉR mérőhelyeken regisztrált hidrográfok vízszint változásaiból számíthatunk. A számításhoz használt adatokat az Nv-17 mérőhelyen regisztrált rész hidrográf maximum és minimum időpontjához kötjük. (A felső és alsó határ-vízdomborzat meghatározásához az ezekben az időpontokban érvényes vízszint adatokat kell figyelembe venni minden további mérőhelyen, a forráskataszterből származó forrásfakadási szintek konstansak a számítás során.) Ezt a vízmozgást közvetlenül az aktuális meteorológiai viszonyok határozzák meg.



3. ábra. A Bükk földtani formációira karstosodottság szerint felállított kategóriák, illetve a vizsgált egységhatárok (1: központi Bükk, 2: keleti Bükk) (alaptérkép: Less 2005)

Figure 3. Geological formations of Bükk in the karstification categories and the investigated units' boundaries (1: central Bükk, 2: east Bükk) (chart base: Less 2005)

Lassan utánpótlódó dinamikus készlet: a vizsgált vízgyűjtő területen lévő legalacsonyabb forrás szintje fölött elhelyezkedő vízkészlet, melyet érdemben a hosszú távú meteorológiai viszonyok befolyásolnak. A Bükk esetében ez a készlet a miskolctapolcai Új-kút 127 mBf-i szintje fölött elhelyezkedő víztérfogatot. Ezt a határt azzal tudjuk indokolni, hogy amennyiben a vízszintek a hegységben ez alá a szint alá süllyednének, akkor a hegység hideg vizes rendszere tulajdonképpen gravitációsan nem működne tovább. Ez alapján ezt a szintet tekinthetjük a hideg vizes rendszer alsó és a termálkarsztos rendszer felső technikai határának. Ez az érték kisebb részegységekre is meghatározható, ebben az

esetben mindig a terület legalacsonyabban fekvő forrását kell figyelembe venni. Például a központi Bükk esetében a térfogatszámítás alsó határa a Szinva-forrás fakadási szintje.

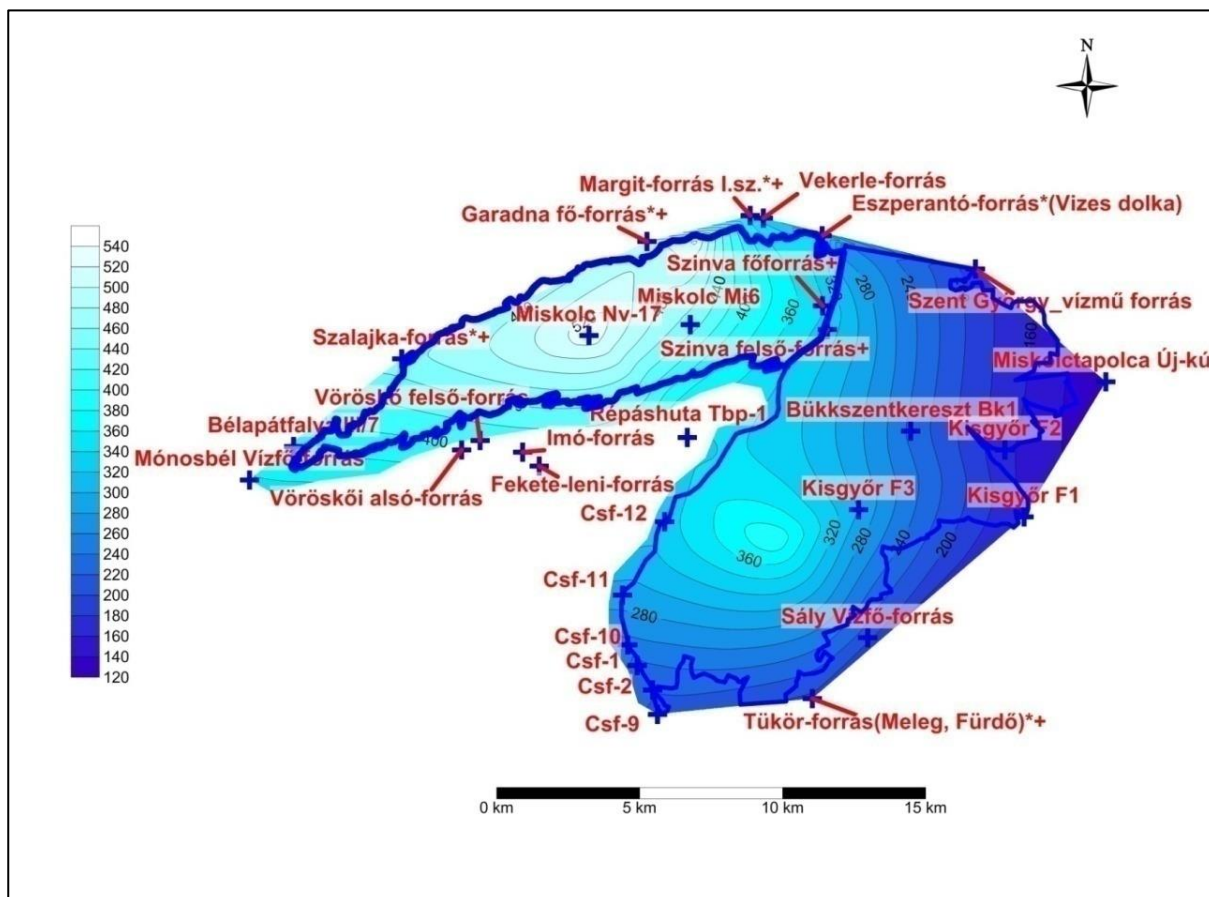
A lassan és gyorsan utánpótlódó dinamikus készletek összege a hegység teljes vízgyűjtőjére értelmezve a teljes, gravitációsan rendelkezésre álló hideg vízkészlet.

A lassan utánpótlódó dinamikus készletekhez kapcsolódóan egy technikai határt jelöltünk ki, amit a hegységben a legalacsonyabb hideg víz, gravitációsan felszínre lépő forrás szintje képvisel (a Bükk esetében: 127 mBf, Miskolctapolca, Új-kút). Ez alatt a szint alatt lassú

áramlás jellemző, mely alapját képezi a termál rendszer létrejöttéhez szükséges felmelegedésnek, vagyis ez alatt a szint alatt található a termálkarsztvíz készlet. Ennek alsó határát nem lehet megállapítani, ám ideiglenes határként a Bükk előterében lévő legmélyebb termálkút vízbelépési pontja kijelölhető.

A gyorsan és lassan utánpótlódó dinamikus készletet különböző vízállások mellett kiszámítottuk, majd az eredményeket két módszerrel validáltuk. Ezek közül az első, hogy egy-egy csapadékcsoport által generált vízszintemelkedés utáni csökkenési periódusra kiszámítottuk az abban az időszakban generálódott

gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet mennyiségét a központi Bükkben és ezt összevetettük a területen található jelentős források átlagos vízhozamával. Ezt azért tartjuk indokoltnak, mert egy csökkenő periódusban kiválasztott két vízszint érték között számított vízkészlet legnagyobb része a forrásokon távozik (ez eredményezi a vízszintgörbe csökkenését). A keletkezett gyorsan utánpótlódó dinamikus készletnek összevethető nagyságrendűnek kell lennie a nagy források átlagos hozamával. Az eredmények azt mutatják, hogy a számított és mért értékek nagyságrendileg megegyeznek és elfogadható hibahatáron belül vannak (+/- 20%).



4. ábra. A Bükk átlagos vízszintekből és forrásfakadási szintekből szerkesztett karsztvízszint térképe (alaptérkép: Less 2005)
Figure 4. Karst water level map of the Bükk drawn from mean karst water levels and spring levels (chart base: Less 2005)

A számítási módszer helyességének igazolásának a másik lehetősége, hogy korábbi, más módon számított készletekkel is összehasonlítjuk az eredményeket. Székvölgyi Katalin (Smaragd GSH) a 2008-as évre végzett számításainak eredményét (SMARAGD GSH 2008) vetettük össze a saját, 2008-ra végzett számításunkkal. Az összehasonlíthatóság érdekében az eredményeket egységnyi vízgyűjtő területre számítottuk át. Az adatok alapján meghatároztuk az összes csökkenő periódushoz tartozó maximum és minimum érték közötti térfogat különbséget. Ezek összege számításaink szerint

megegyezik a gyorsan utánpótlódó dinamikus készlet nagyságával a 2008-as hidrológiai évben és így a Székvölgyi Katalin által számított értékkel is közel egyeznie kell. Az eredmények ebben az esetben is jó egyezést mutatnak. Mivel mindkét ellenőrzési mód azt mutatja, hogy a számítás megbízható, így a továbbiakban ez a módszer a bükki készletszámításokhoz felhasználható. A 2. táblázatban a központi és a keleti Bükkben tárolt, a fent ismertetett módszer és alapadatok segítségével meghatározott, lassan utánpótlódó dinamikus készlet mennyisége látható.

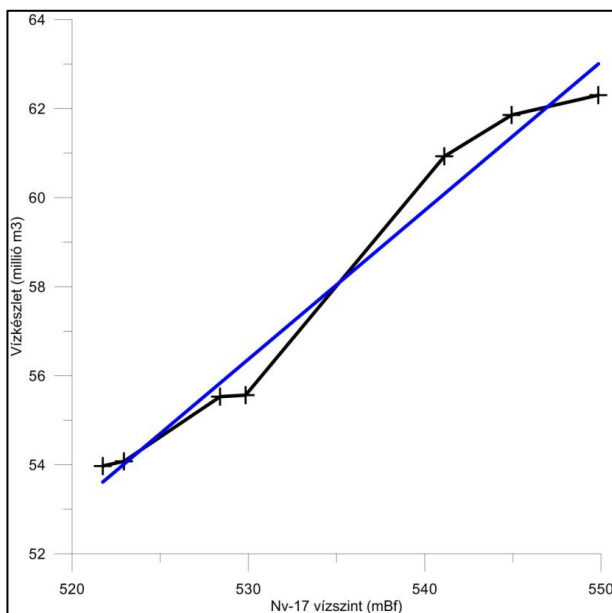
2. táblázat. Az átlagos vízszintek alapján kőzetekategóriánként számított teljes gravitációsán rendelkezésre álló hideg vízkészlet a Bükkben (1: jól karsztos, 2: gyengén karsztos, 3: nem karsztos, hasadékos, riolit-, dácit tufa, 4: nem karsztos hasadékos, egyéb, 5: rossz vízvezető)

Table 2. The total gravitational cold water resource of the Bükk in the karstification categories calculated from mean karst water levels (1: well karstified, 2: weakly karstified, 3: non-karstified, fractured rock, rhyolitic-, dacitic tuff, 4: non-karstified, fractured rock, other, 5: aquitard rocks)

	Kőzetekategória	1	2	3	4	5	Összesen
Központi Bükk	Kőzettérfogat (millió m ³)	16 152,1	2 577,2	-	699,7	957,4	
	Porozitás	0,0075	0,0025	0,0005	0,001	0,001	
	Alapszint (mBf)	127	127	127	127	127	
	Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m ³)	121,1	6,4	-	0,7	1	129,2
Keleti Bükk	Kőzettérfogat (millió m ³)	6 355,2	8 357,5	274	1 382,6	1 481,1	
	Porozitás	0,0075	0,0025	0,0005	0,001	0,001	
	Alapszint (mBf)	127	127	127	127	127	
	Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m ³)	47,7	20,9	0,1	1,4	1,5	71,6
Lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m³)		168,8	27,3	0,1	2,1	2,4	200,8

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett számítások eredményeként kapott görbe (5. ábra) segítségével a térfogat meghatározásokhoz szükséges számításokat nem kell mindig elvégezni, mivel az Nv-17 mérőhely vízszintadataihoz köthető, számított vízkészletekre egy lineáris függvény illeszthető, így az értékek egyetlen vízszintadatról megállapíthatóak. (Természetesen a készletet nem egy pontból számítjuk, hanem a BKÉR minden aktív monitoring pontjából származó adatokat felhasználjuk az elkészített vízdomborzaton keresztül.) Ezután különböző időpontokban, különböző vízállások mellett a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet értékét kiszámítjuk és az így kapott eredményeket az Nv-17 figyelőkút aktuális értékeinek függvényében ábrázoljuk.



5. ábra. A vízkészlet és az Nv-17 vízszintje közötti függvénykapcsolat ($R^2=0,97$)

Figure 5. The mathematical relation between the volume of water resource and water level of Nv-17 ($R^2=0,97$)

A függvény a gyakorlati alkalmazás könnyítését szolgálja, a számítható szükséges képlet a következő (1. egyenlet):

$$V_k = 0,334 \cdot V_{sz} - 120,7 \quad (1)$$

ahol V_k a lassan utánpótlódó dinamikus vízkészlet (millió m³), V_{sz} pedig az Nv-17 monitoringpont vízszintje (mBf).

IRODALOMJEGYZÉK

Cheng-Haw, L., Wei-Ping, C., Ru-Huang, L. (2006). Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base-flow-record estimation and stable-base-flow analysis, *Environmental Geology* 51., pp. 73-82.

Hinaman, K. (2005). Hydrogeologic Framework and Estimates of Ground-Water Volumes in Tertiary and Upper Cretaceous Hydrogeologic Units in the Powder River Basin, Wyoming pp. 6-11. USA. Virginia: U.S. Geological Survey.

Kun É., Gondárné S. K., Köncöl N., Weiser L. (2010). A Kenderföldi Demjén K-11-es jelű termálkút védőidomának meghatározása. Kézirat. Budapest, pp.34.

Less G. (2005). In: Pelikán, P.: A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet. pp. 284

Mező G. (1995). Távlati vízbázisok biztonságba helyezésének programja, A bükki karszt-rendszer földtanivízföldtani és szimulációs modellje. BKMI Kutatási jelentés, kézirat. pp. 1-32. Miskolc.

Sásdi L. (2005). In: Pelikán, P.: A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet.

SMARGD GSH (2008). Vízgazdálkodási döntéseket támogató monitoring rendszer megvalósítása a Bükkvidéken a fenntartható fejlődés érdekében. VIMORE (Projekt azonosítója: GVOP-3.1.1.-2004-05-0530/3.0, Konzorciumi tagok: ÉKÖVIZIG, Miskolci Egyetem). Miskolc-Budapest.

Tóth G. (1976). A Központi-Bükk karsztvízterképe, Hidrológiai Közlöny. 64. évf. 3. szám. pp.169-178.
Hidrológiai Közlöny 56. évf. 10. szám. pp. 444-450.

Tóth G. (1984). A Magas-Bükk déli peremén fakadó időszakos karsztforrások karszthidrográfiai jellemzése, A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



A Garadna-forrás (Bükk hegység) működése a 2006-os nyári karsztárvíz idején (Fotó: Lénárt)

A parádi fürdővíz előállításának vizsgálata, valamint különleges kémiai összetételű természetes vizek kutatása Parád körül

Toth Márton*, Ilyés Csaba***, Szűcs Péter***

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (hgtoth@uni-miskolc.hu)

** Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (hgilyes@uni-miskolc.hu, hgyszucs@uni-miskolc.hu)

Kivonat

Parádon az Állami Kórházban különleges eredete van a gyógyvíznek, mert Magyarországon egyedülállóan nem a felszín alatti víz-adókból kerül kitermelésre, hanem áztatókádákban lúgozzák ki az Egyezség-táróból származó pirites kőzetekből. A gyógyvíz előállítása egy rég bevált módszer szerint zajlik, ezért érdemes volt megvizsgálni, hogy lehet-e a hatékonyságát növelni. Kutatásunk elsődleges célja, hogy megismerjük a kőzet kimerülésének időbeli folyamatát az áztatás során. Mivel a felületnövekedés mindig a kioldás hatékonyságát növeli, ezért a vizsgálatainkat az eredeti 80-120 mm-es mérettartományú kőzettel és egy 8-32 mm-es szemcsemérettartományba aprított frakcióval végeztük el. Hét feltöltési-leöntési periódus után mindkét frakció esetében még az tapasztalható, hogy az oldat kémhatása erősen savas – pH 2-2,5 körüli érték –, ugyanakkor a kioldott összesanyag mennyiség rohamosan csökken, ami a fájlagos vezetőképesség és a fő- és nyomelem koncentráció változásain keresztül követhető. A kilúgzással előállított oldatok fő eleme a vas, aminek értelemszerűen az anion párja a szulfáton, a pirit bomlásából adódóan. Nagy koncentrációban jelenik meg még a kationokban a mangán, a cink és a réz.

Kutatómunkánkat a Miskolci Egyetem Egészségtudományi Karával és a Parádi Állami Kórház munkatársaival együtt végezzük, ezért felmerült az igényként, hogy a környékbeli már ismert források vizét terápiás szemszögből is minősítsük. Ezért a kioldási vizsgálatok mellett a különleges kémiai összetételű természetes vizek felkutatását is elkezdtük Parád környékén, felhasználva a korábbi irodalmi adatokat. Számos különleges összetételű vizet találtunk, mint a Clarissa-forrás, az Almás- és Büdös-kút, de ezek vízminősége messze eltér a Kórházban alkalmazott víz minőségétől, így nagy valószínűséggel nem lesznek alkalmazhatók az ott végzett jelenlegi kezelésekhez.

Kulcsszavak

Parád, gyógyvíz, pirites kőzet, kilúgzási vizsgálat, vízkémiai elemzés.

Investigation of medicinal water production of Parád and exploration of special natural water composition in the region of Parád

Abstract

The origin of medicinal water in the State Hospital of Parád is very special because this water is not extracted from deep aquifers but is produced from pyrite-bearing rock found in the mine tunnel called Egyezség. The procedure of water production is an old method, and a question was raised: is the procedure's efficiency high enough? The main goal of the research was to know the exhausting of pyrite-bearing rock during the solution process. Two grain sizes of the rock were investigated in the static leaching process, the original 80-120 mm grain size and a shredded 8-32 mm grain size. 300 g of rock was placed into leaching pots where 500 ml of distilled water was added to the solid. The water was changed in every 24 hours (one interval was 72-hour-long) in which pH, ORP, and EC were measured. Samples were also collected from the leachates to determine their macro and microelement content. After 7 fill-decant cycle, the reaction of leachate was strongly acidic around pH 2-2.5 while the total dissolved solid content of the leachate started to decrease quickly which was shown by the EC value and macro components concentration change. The main element of leachates was iron while on the side of anion its pair was the sulfate caused by pyrite oxidation of course. The concentration of manganese, zinc and copper was also high in the leachates.

Our research work is a common work together with researchers of the Faculty of Health Sciences of the University of Miskolc and the State Hospital of Parád, and there was an idea to investigate the water of the known springs of the region to evaluate them from the aspect of medicinal application. Exploration of springs with special chemical composition was performed in the region of Parád based on the earlier experimental notes. Some special water compositions were found like Spring Clarisse, Well Almás and Well Büdös, but their water quality is different from the water quality of therapeutic water of the Hospital, so their medicinal applicability is questionable.

Keywords

Parád, medicinal water, pyrite rock, extraction investigation, water chemical investigation.

BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi (Szűcs és Mikita 2016) és az Egészségügyi Kar munkatársai a Parádi Állami Kórház munkatársaival együttműködve egy összetett kutatásba kezdtek 2018-ban azzal a céllal, hogy felülvizsgálják a fürdő gyógyvízkészítésének módszerét, terepi kutatómunka során felmérjék az eddig ismert különleges összetételű vizeket Parád környékén, értékeljék azokat terápiás célra való felhasználás szempontjából, valamint új gyógyászati alkalmazásokat dolgozzanak ki (Szűcs és társai 2019).

Parádon a fürdővíz előállítás egészen a 18. századig nyúlik vissza, melynek alapját a fehérvári Egyezség-táróból származó kőzet adja. Papp Ferenc (1938) és Kisvársányi Géza (1954) nyomán tudjuk, hogy négyféle kőzet található a volt timsóbányában: pirites-timsós tufa; pirites-kaolinos timsós tufa; limonitos-kaolinos, pirites agglomerátum; kaolinosan bomlott pirites-kovás dácit (Ligetiné Reviczky 1958).

A fürdővíz előállításának módszertana (Szűcs és társai 2019): a kitermelt kőzetet áztató medencébe helyezik, ahol

csapadék-, vagy hálózati víz rátöltésével történik a kőzet kilúgzása. A képződött vasas-timsós víz ezt követően betonmedencékben kerül tárolásra, ahonnan egy 5 m³-es polipropilén tartályba jut, mely közvetlenül be van kötve a kezelőkádákhoz, ahol a személyzet állítja be a megfelelő hígítást a fürdőkúrákhoz a hozzáadott hideg, meleg hálózati vízzel. Kezdetekben 1:10 arányú hígítást kellett alkalmazni a kezelővíz előállítására. Jelenleg – tekintettel a gyógyvíz ásványi összetételének változékonyságára – a kezelés hatékonyságának biztosítása érdekében naponta végzett helyszíni mérés alapján határozzák meg az aktuális hígítás mértékét (Szűcs és társai 2019).

A fürdővíz előállításának vizsgálatával először Ligetiné Reviczky Alice (Ligetiné Reviczky 1958) foglalkozott. A korábban említett 4 közettípust vizsgálta egy 8 napos és egy azt követő 3 napos áztatás esetén. Vizsgálatai során azt találta, hogy a kaolinosan bomlott pirités-kovás dácit kőzet inkább mellőzendő, míg a pirités-timsós tufa és a pirités-kaolinos timsós tufa limonitos-kaolinos, pirités agglomerátum megfelelő kivonatot eredményez és hígítással jól alkalmazható. Megállapította a laboratóriumi kísérletek során, hogy a frissen készített vasas-timsós víz tízszeres hígítása önmagában még nem elég ahhoz, hogy a fürdőben alkalmazott vízminőséget kapja vissza. További nátrium-hidroxid, vagy nátrium-karbonát hozzáadására van szükség, hogy a vas tartalom – csökkenéssel –, a víz kémhatása pedig – emelkedéssel – a kívánt szintet érje el. Javaslatára szerint az áztatott kőzetet zúzni kellene és főleg nyáron végezni az áztatást, mivel a felületnövekedés és a magasabb hőmérséklet kedvez a szilikátok bomlásának, mely folyamathoz még a pirit oxidáció során keletkezett kénsav is hozzájárul (Ligetiné Reviczky 1958).

Korábbi cikkünkben (Szűcs és társai 2019) már vizsgáltuk vízkémiai laboratóriumunkban a többszöri felöntés hatását a kőzeten, de csak 3 ciklusban és csak a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség adatokon keresztül követtük a kilúgzási folyamat fejlődését 0-25 mm-es és 80-120 mm-es frakciókban. Vizsgálatunkat továbbfejlesztve hét leöntési-feltöltési ciklusból származó oldaton végeztünk mérést. Nemcsak a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség, de az oldatok kémiai össze-tételének a meghatározását is elvégeztük. A korábbi kutatómunkában (Ligetiné Reviczky 1958) ilyen jellegű elemzés nem történt, így ezek a vizsgálatok új információval szolgálnak.

Mint korábban említésre került, kutatómunkánkat az Egészségtudományi Kar, valamint a Parádi Kórház munkatársaival együtt végezzük, így az is felmerült lehetséges kutatási irányként, hogy a környék már ismert különleges kémiai összetételű vizeit fürdőterápiás alkalmazhatóság szempontjából is megvizsgáljuk. Ennek megfelelően kezdődött el a Parád környéki források felkutatása és a napjainkban történő mintázása. Az eredményeket az ANYAG ÉS MÓDSZER fejezetben mutatjuk be.

Ebben a témában részletes korabeli forrásokra támaszkodhatunk, úgymint Marschall (1929), Cziráky és Schiefner (1962), valamint Dobos és Scheuer (2015)

közleményei. Időben a legkorábbi, tudományos igényességű információ a Parád környéki különleges vizeket illetően Marschall Ferenctől (Marschall 1929) származik, aki munkájában a Szent István csevicekutat vizsgálta. A kút geológiai környezete különleges, ami magyarázatot ad a benne lévő felszín alatti víz nem mindennapi minőségére. A 21 m-es kút biotit-amfibolandezitben áll, amit posztvulkanikus hatás ért. Ennek a hatásnak a következtében érces kiválások keletkeztek. Ebből adódik a víz viszonylag magas vas és mangán tartalma, de a magas szabad szénsav tartalom oka egy törésvonal, amin keresztül jelenleg is posztvulkanikus eredetű szén-dioxid jut a vízádába. Típusát tekintve a víz kalcium-magnézium-bikarbonátos, jelentős szénsav- és vastartalommal (Cziráky és Schiefner 1962).

Különleges vízminőség jellemzi a parádóhuta Clarissa-forrást is, ami Papp Ferenc (1938) szerint az andezit nyirok és az andezit kőzet határán fakad. Kémiai összetétele alapján a kalcium-magnézium-bikarbonátos típusba tartozik, magas szénsav- és vastartalommal. A víz jellegét tekintve hasonlít a Szent István csevicekút vizére, bár szabad szénsavtartalma kevesebb (Cziráky és Schiefner 1962).

Mátraderescsken több csevicés (szénsavas) kút is található, amit feltehetően a posztvulkanikus működés és a törésvonal(ak) eredményez(nek) együttesen. Cziráky és Schiefner (1962) több kút vízminőségét is leírta, melyek közül kettőt emelnénk ki. Az Almáskút utcában elemezték egy kút vizét, ami kalcium-magnézium-bikarbonátos jelleget mutatott, magas szabad szénsav tartalommal. Terepi kutatómunkánk során az Almáskút utca elején kiépített forrást (Almáskút-forrás) mintáztuk. A másik kútra Cziráky és Schiefner (1962) „a malom melletti csökök”-ként hivatkozik, turista térképeken napjainkban Büdös-víz, Büdös-kút (Kovács és Horváth 2020) névvel találhatjuk a Kanászvár út végén. A forrás különlegessége az erős záptojás szag, ami kénhidrogén jelenlétére utal. Minőségét tekintve kalcium-magnézium-bikarbonátos víz, a környékbeli kutakhoz viszonyítva magasabb nátriumtartalommal és egy nagyságrenddel kevesebb szabad szénsav tartalommal.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A fehérkői Egyezség-tároból származó kőzetmintákkal végeztük a kioldási vizsgálatokat, melyek a makro-és nyomelem vizsgálatokon keresztül többlet információt szolgáltatottak, mint a korábban publikált munkánk (Szűcs és társai 2019). A kőzetminta egy részét meghagytuk eredeti (ahogyan azt a bányából kaptuk) méretében (80-120 mm), míg a másik részét tervezetten kalapácsos törőben tovább aprítottuk. Az aprított közettömegből szitával leválogattuk a 8-32 mm-es szemcsefrakciót. Az aprított és az eredeti méretű kőzet kioldásos vizsgálata 3-3 ismétlésben készült. A kőzetmintákból mind az aprított, mind az eredeti méretű frakció esetében 300 g körüli mennyiséget mértünk az üveg áztató edényekbe. A mennyiségeket pontosan rögzítettük – a későbbiekben bemutatott kioldott anyagmennyiségek egységnyi közettömegre vannak normálva –, majd 500 ml desztillált vizet töltöttünk azokra. Az így végzett vizsgálatokra számos példa található az irodalomban (Méndez-Ortiz és

társai 2007, Miller és társai 2010, Carbone és társai 2013, Fan és társai 2022). Az első rátöltést követő 4 napban 24 óránként cseréltünk vizet a kőzetmintákon, ezt követően egy 72 órás áztatási periódus következett, majd még 2 darab 24 órás, melyekkel le is zárult a vizsgálat. A leöntött oldatokban azonnali pH, vezetőképesség és redukciós-oxidációs potenciál mérést végeztünk egy Hach HQ40d típusú terepi multiméterrel, majd 10 ml szűrt mintát salétromsavval tartósítva előkészítettünk fő- és nyomelem tartalom elemzésre.

A makro- és nyomelemek elemzését egy Agilent 4210 típusú mikrohullámú plazma atomemissziós spektrofotométerrel (MP-AES) végeztük (Balaram 2020). A műszer különlegessége, hogy az ICP-hez hasonlóan plazmában történik az atomizálás és a gerjesztés. Ez a mikrohullámmal gerjesztett plazma, nitrogén gáz alapú, amit egy nitrogén generátor dúsít a gép számára a levegő nitrogénjéből. A plazma hőmérséklete 6000 °C, ami miatt az érzékenysége elmarad az ICP-hez képest, így a kimutatási határ a mért elemtől, valamint a háttér mátrixtól függően a ppm és ppb tartomány között mozog. Az ICP-hez hasonlóan multieleemes mérést tesz lehetővé ez a készülék is.

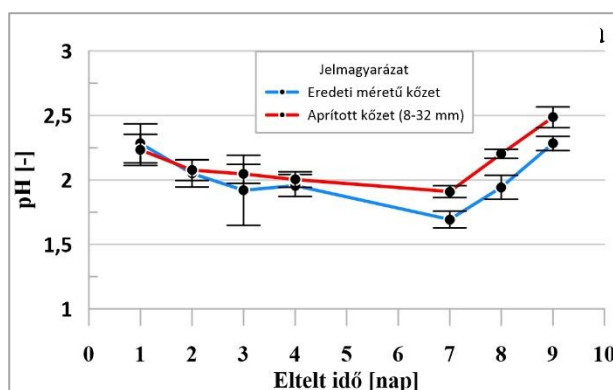
A különleges kémiai összetételű természetes vizek vizsgálata során az előbb bemutatott terepi és laboratóriumi felszerelésekkel dolgoztunk. A vizsgált forrásokat a hazai Forráskataszter (OVF-VITUKI 1998) alapján kutattuk fel Parád környékén. A mintavételi pontokon pH, vezetőképesség és redukciós-oxidációs potenciál mérés történt, az anion és kation elemzéshez 1000 ml tartósítatlan és 10 ml savval tartósított mintát vettünk. A minták karbonát és hidrogén-karbonát mennyiségét az MSZ 448/11-86-os szabvány alapján fenolftalein és metilnarancs indikátorokat alkalmazva, 0,1 mólos sósav oldattal titrálva határoztuk meg. A minták kloridion mennyiségét szintén titrálással, az MSZ 448/15-82 szabvány alapján 100 g/l kálium-dikromát indikátort alkalmazva, ezüst-nitrát mérőoldattal határoztuk meg. A minták szulfáttartalmának meghatározására egy Hach DR2000 spektrométert használtunk, ami bárium-klorid reagens hozzáadásával képződött bárium-szulfát csapadék következtében kialakuló transzmittancia (átlátszóság) csökkenéséből határozza meg a szulfát mennyiségét egy, már a készülékben előre tárolt kalibrációs görbe alapján.

EREDMÉNYEK

Az eredményeket bemutató grafikonokon (1. ábra, 2. ábra, 3. ábra, 4. ábra) az adott méretű kőzet adott mintavételi időpontjához tartozó oldatban mért paraméterek három ismétléses mérési eredményeiből adódó átlag értékei láthatóak. Ennek következtében a szórás is számítható, amit szintén feltüntettünk az egyedi mérési eredményeknél.

A kőzetek kilúgzódásával keletkező oldatok pH értéke 2 és 2,5 között változott. A pH a legalacsonyabb pontot a 7. nap körül érte el, ahonnan a kísérlet végéig már emelkedő tendenciát mutatott (1. ábra). Az aprított és az eredeti méretű kőzet oldatainak kémhatás-változása között jelentős különbség nem tapasztalható a vizsgálati

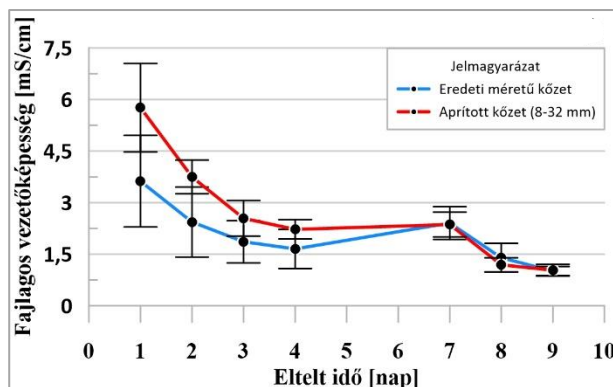
időtartam alatt. A kísérlet alapján úgy tűnik, hogy a kőzet savtermelő potenciálja csak kissé függ a kőzetmérettől.



1. ábra. A kőzetek oldatcserés, áztatásos vizsgálatának kémhatás eredményei

Figure 1. The reaction of leachate results of rock's leaching test

Az oldatokban mért fajlagos vezetőképesség értékek a kőzet szemcseméretétől való függése viszont már annál inkább kimutatható (2. ábra). Az aprított kőzet esetében az első oldatban, tehát 24 órával a ráöntés után, 6 mS/cm-es fajlagos vezetőképesség érték mérhető, míg az eredeti kőzetméret esetében csak 4 mS/cm-es ez az érték. A kezdeti különbség az idő előrehaladtával csökken, míg a vizsgálati periódus végére el is tűnik. A mérési eredményeket tekintve főleg az első mintavételi pontoknál viszonylag nagy szórás értékek társulnak az átlagos fajlagos vezetőképesség értékekhez mind az aprított, mind pedig az eredeti méretű kőzet esetében. Ez valószínűleg abból adódik, hogy még a 8-32 mm-es frakciónak is nagy az inhomogenitása az aprítás ellenére, nemhogy az eredeti 80-120 mm-es frakciónak. A fajlagos vezetőképesség 1 mS/cm-es értékre csökken a vizsgálat végére.

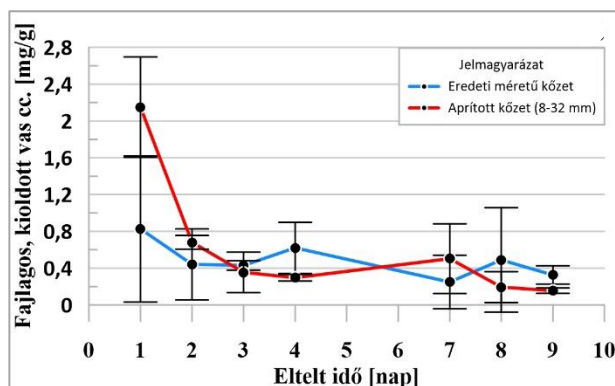


2. ábra. A kőzetek oldatcserés, áztatásos vizsgálatának fajlagos vezetőképesség eredményei

Figure 2. The specific conductivity results of leaching test of rock

A kioldott fajlagos elemkoncentrációk közül a vas és a mangán koncentráció változását emeljük ki (3. és 4. ábra), mert látható, hogy ezek az elemek az oldatok meghatározó összetevői, legalábbabbis az első kivonatokban (1. táblázat). A grafikonokon az értékek mg/g értékekben vannak megadva, vagyis, hogy 1 g száraz kőzetből mennyi anyag oldódik ki. A 2,2 mg/g-os vas koncentráció tehát azt jelentette (3. ábra), hogy 300 g kőzetből 660 mg vas oldódott ki a desztillált vízbe, ami 500 ml-es oldat térfogat esetén, 1320 mg/l-es vas koncentrációnak felel meg. Az

aprított kőzetnél látható, hogy a felületnövelés kedvez a kioldott anyagmennyiségeknek, de az első két kivonatot követően már nincs különbség a kioldott elemkoncentrációkban az aprított és az eredeti méretű kőzet között.



3. ábra. A kőzetek oldatcserés, áztatásos vizsgálatának fajlagos kioldott vaskoncentráció eredményei

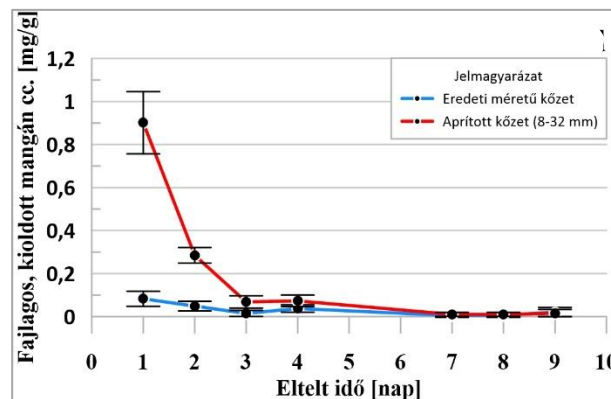
Figure 3. The specific dissolved iron concentration results of leaching test of rock

1. táblázat. Az aprított és eredeti méretű parádi kőzetből előállított első kivonatok fő- és nyomelemeinek átlagos koncentrációi (három ismétlésből számítva)

Table 1. The concentration of macro and trace elements in the first leachate of rock of Parád in case of grounded and the original grain size (calculated from three replication)

		Aprított 8-32 mm-es frakció		Eredeti 80-120 mm-es frakció	
		átlag	szórás	átlag	szórás
Al	mg/l	153,3	45,1	96,7	28,9
Ba	mg/l	0,1	0,0	0,1	0,1
Ca	mg/l	230,0	20,0	100,0	55,7
Cd	mg/l	1,4	0,4	0,3	0,5
Co	mg/l	4,2	1,4	0,8	0,4
Cu	mg/l	32,1	3,4	9,5	11,3
Fe	mg/l	1 266,7	509,6	476,7	488,1
K	mg/l	5,1	1,9	2,7	0,4
Mg	mg/l	263,3	63,5	63,3	30,6
Mn	mg/l	523,3	167,7	50,0	26,5
Na	mg/l	4,1	0,8	1,0	0,4
Sc	mg/l	0,3	0,1	0,1	0,1
Si	mg/l	2,1	1,0	0,6	0,7
Sr	mg/l	0,2	0,0	0,1	0,0
Y	mg/l	4,7	1,8	0,4	0,2
Zn	mg/l	360,0	40,0	160,0	95,4

A parádi kőzet áztatásos vizsgálata mellett természetes előfordulású, különleges összetételű vizeket is kerestünk Parád körül. A korabeli feljegyzésekre támaszkodva számos helyen vettünk mintát, de ebben a részben csak néhányat mutatunk be. A különleges összetételű vizek között említhetjük a mátradereskei Almás- és Büdös kutakat, valamint a parádóhutai Clarissa-forrást. Előbbi kettő a Than-féle nevezéktan alapján kalcium-



4. ábra. A kőzetek oldatcserés, áztatásos vizsgálatának fajlagos kioldott mangánkoncentráció eredményei

Figure 4. The specific dissolved manganese concentration results of leaching test of rock

A fajlagos vezetőképesség értékét tehát a vas és a mangán (szulfát) alakítja, de ezek mellett említésre méltó koncentrációban jelenik meg még a cink, a magnézium, a kalcium és az alumínium is az első kivonatokban (1. táblázat).

magnézium-bikarbonát-szulfátos víz, míg az utóbbi kalcium-magnézium-bikarbonátos, melyek különleges összetételű vizek, de minőségüket tekintve messze eltérnek a fürdőfürókra használt víztől. Nyomelemtartalmuk alig van, ami végül is nem csoda, tekintve, hogy közel semleges kémhatás jellemzi a vizsgált vizeket, így a legtöbb nyomelem már csapadék formában eltávozott az oldatból.

2. táblázat. Néhány, a terepi felmérés során vizsgált forrásvíz fő ionjainak koncentrációi
(A méréseket végezte Tóth Márton – Miskolci Egyetem – 2019. október)
Table 2. Chemical composition of special sampling points of the spring exploration work
(Measured by Márton Tóth – University of Miskolc – October 2019)

	pH	Vezető- képesség	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
	[-]	[μS/cm]	mg/l							
Almáskút-forrás	6,38	1 604	157,3	47,2	28,4	12,1	0,1	277,6	54,4	225,0
Büdöskút-forrás	6,83	1 130	75,9	65,8	66,0	11,5	0,1	463,6	11,9	160,0
Clarissa-forrás	6,19	1 710	163,3	75,8	57,4	37,8	11,3	899,8	33,1	35,0
Hurok-forrás	8,11	-	28,0	12,8	5,5	3,5	0,5	204,4	3,0	30,0
Disznókői-forrás	7,81	-	22,3	10,7	3,4	4,0	0,1	207,4	1,0	25,0
Szent István-kút*	5,40	-	94,4	20,1	38,9		2,4	274,5	6,0	167,4
			Than %							
Almás-kút			58,9	29,5	9,3	2,3	0,0	42,2	14,2	43,5
Büdös-kút			30,5	44,1	23,1	2,4	0,0	67,4	3,0	29,6
Clarissa-forrás			44,5	34,4	13,6	5,3	2,2	89,9	5,7	4,4
Hurok-forrás			49,8	37,9	8,5	3,2	0,6	82,5	2,1	15,4
Disznókői-forrás			49,3	39,4	6,5	4,5	0,2	86,1	0,7	13,2
Szent István-kút								55,2	2,1	42,8

*a Szent István-kút kémiai összetételére vonatkozó adatokat Cziráky és Schiefner (1962) közleményéből vettük át

*data on the chemical composition of the Szent István well are taken from Cziráky and Schiefner (1962)

KÖVETKEZTETÉSEK

A fürdőkúra során használt víz vastartalma 12 mg/l, szulfát tartalma 1 360 mg/l, míg a kémhatása 3,15 volt (Ligetiné Reviczky 1958). Összehasonlítva ezeket az értékeket a kioldási vizsgálatok során, mindkét méretfrakció esetén tapasztalt értékekkel megállapíthatjuk, hogy kémhatás szempontjából még a hetedik feltöltési ciklus (pH 2,5) is savasabb kémhatású oldatot eredményez, mint a fürdővíz. Tehát koncentráltabb oldat keletkezik, mint a fürdővíz. Ugyanez elmondható a vas koncentrációjáról is, vagyis az oldat vastartalma olyan magas, hogy még tízszeres hígítás esetén is magasabb koncentrációt eredményez, mint a fürdővíz vaskoncentrációja. Meg kell jegyezni, hogy bár a frissen készített oldatban magas az oldott vas koncentrációja, a „víz érlelése” során a pH növekedés következtében a vas kicsapódása beindul, így nincs szükség pH növelő vegyszerre (Ligetiné Reviczky 1958).

Az előbbiekből tehát megállapítható, hogy a kőzet „kimerülése” a vizsgált méretfrakciókban nem megy végbe a hét feltöltési ciklus alatt, így a továbbiakban mindenképp érdemes megismételni a vizsgálatot és a kőzet kilúgzását legalább addig a kémhatásig elvégezni, ami a fürdővizet jellemzi.

A Parád környékén természetesen előforduló vizek különleges minőségéről elmondható, hogy azok eredete majd minden esetben visszavezethető a posztvulkáni működéshez. Akár az irodalmi információkat tekintjük, akár a saját méréseinket, a legtöbb esetben a kalcium-magnézium-bikarbonátos víztípus a jellemző, magas szabad szén-sav és vastartalommal. A vizsgált vizek kémhatása, vas és szulfát-tartalommal is jelentősen eltérnek a Parádi Állami Kórházban alkalmazott víztől, így azok fürdőkúrákban történő alkalmazhatóságát nem lehet egyértelműen megállapítani, mindenképp további balneológiai vizsgálatok szükségesek

az Egészségtudományi Kar munkatársainak bevonásával. A források esetében meg kell említeni azt a sajnálatos tény is, hogy nagyon alacsony hozammal rendelkeznek, ami tovább korlátozza a fürdőkúrákban való felhasználásukat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program „Természeti erőforrások optimalizálása korszerű technológiákra alapozva: Energetikával, vízzel, anyagfejlesztéssel és smart technológiákkal kapcsolatos kutatások” program keretében valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Balaram, V. (2020). Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications – A critical review, *Microchemical Journal*, 159, 105483.

Carbone, C., Dinelli, E., Marescotti, P., Gasparotto, G., Lucchetti, G. (2013). The role of AMD secondary minerals in controlling environmental pollution: Indications from bulk leaching tests. *Journal of Geochemical Exploration*, 132. pp. 188-200.

Cziráky J., Schiefner K. (1962). A Mátra-vidéki szén-savas források. *Hidrológiai Közöny*. 42. évf. 5. szám. pp. 439-448.

Dobos I., Scheuer G. (2015). Szén-savas források, kutatás makro- és mikroelem vizsgálata Parádsasváron és Parád környékén. *Hidrológiai Közöny*. 95. évf. 1. szám. pp. 53-61.

Fan, R., Qian, G., Li, Y., Short, M.D., Schumann, R.C., Chen, M., Gerson, A.R. (2022). Evolution of pyrite oxidation from a 10-year kinetic leach study: Implications for secondary mineralisation in acid mine drainage control, *Chemical Geology*, 588, 120653.

Kisvarsányi G. (1954). Parádfürdő környéki ércesedés, *Földtani Közöny*. 84. évf. 3. szám. pp. 191-200.

Kovács A.G., Horváth J. (2020). Mátra turistakalauz. Budapest: Cartographia. p. 115.

Ligetiné Reviczky A. (1958). A parádi fürdővíz-készítés technológiájának vizsgálata. Hidrológiai Közlöny. 38. évf. 6. szám. pp. 477-483.

Marschall F. (1929). A parádi Szent István gyógyforrás vizének vegyi vizsgálata. Hidrológiai Közlöny. 9. évf. 1. szám. pp. 100-103.

Méndez-Ortiz, B., Fernández, M., Carrillo-Chávez, A. (2007). Acid rock drainage and metal leaching from mine waste material (tailings) of a Pb-Zn-Ag skarn deposit: Environmental assessment through static and kinetic laboratory tests, *Revista mexicana de ciencias geológicas*, ISSN 1026-8774, Vol. 24, N° 2, pp. 161-169

Miller, S.D., Stewart, W.S., Rusdinar, Y., Schumann, R.E., Ciccarelli, J.M., Li, J., Smart, R.S. (2010). Methods for estimation of long-term non-carbonate neutralisation of acid rock drainage, *Science of the Total Environment*, 408. pp. 2129-2135.

OVF-VITUKI (1998). Magyarország Forrásainak Katasztere III/2. kötet (Börzsöny-, Cserhát-, Karancs-

Medves-, Mátra-, Upponyi-hegység, Gödöllői-, Heves-Borsodi-dombság, Pesti-síkság). OVF-VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete. Budapest. p. 368.

Papp F. (1938). A Recsk-környéki ércelőfordulárról. *Bányászati és Kohászati Lapok*. 86. évf. 23. szám. pp. 373-377.

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

Szűcs P., Kiss-Tóth E., Ilyés Cs., Tóth M., Juhász E., Dojcsákné Kiss-Tóth É., Juhászné Szalai A., Rabóczky A. (2019). Balneológiai és gyógyvíztechnológiai vizsgálatok Parádfürdőn. *Hidrológiai Közlöny*. 99. évf. 3. szám. pp. 14-23.

MSZ 448/11-86 – Ivóvízvizsgálat. Lúgosság meghatározása titrálással, a hidrogén-karbonátion-, a karbonátion- és a hidroxilion-tartalom kiszámítása.

MSZ 448/15-82 – Ivóvízvizsgálat. Kloridion meghatározása.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



Az Ivó-forrás foglalása a Parád környéki Mátrában (Fotó: Lénárt)

Különböző szennyeződések hatása az agyagos talajok szivárgási tényezőjére

Szász Noémi*, Kolencsikné Tóth Andrea*

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros

(E-mail: hgsgzn@uni-miskolc.hu, hgandi@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A talajba kerülő antropogén szennyeződések két jelentős csoportja a szénhidrogének és a detergensok (más néven tenzidok). Ezek az anyagok hatással vannak a talaj szerkezetére, annak közzetfizikai, mechanikai és szivárgáshidraulikai tulajdonságaira. A vizsgálatok során a laboratóriumi mérőeszközök szennyeződésmentes és szennyezett agyagos talajmintákon történtek. A talajok 50 m/m%-os töménységű oldatokkal (szénhidrogén és detergens) kerültek elszennyezésre. Az alapfeltételezés az volt, hogy a szennyezőanyagok jelenléte mellett a talaj szivárgási tényezője megváltozik, korábbi szakirodalmi kutatások alapján feltételezhetően csökken. A mérések egy flexibilis falú permeabiméter segítségével történtek. A mérőeszköz eredményei azt mutatták, hogy mindkét típusú szennyeződés jelenléte jelentősen megváltoztatta a talaj eredeti szivárgási tényezőjét. Az eredmények feldolgozása során úgynevezett egyszempontos varianciaanalízis alkalmazására is sor került. A módszer segítségével lehatárolhatóvá válnak azok a szisztematikus tényezők, amelyek statisztikailag ténylegesen befolyásolják az adott adatsort, míg ezzel szemben a véletlenszerű tényezők nem. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a módszer segítségével különböző csoportok közötti kapcsolat azonosítására adódik lehetőség. A kapott adatok egytényezős varianciaanalízise (ANOVA) megerősítette, hogy a tiszta és a szennyezett minta közötti különbséget a szennyezőanyag jelenléte okozza, nem pedig az adatsort befolyásoló véletlenszerű tényező.

Kulcsszavak

Agyag, detergens, flexibilis falú permeabiméter, szénhidrogén, szivárgási tényező, talajszennyezés.

Effects of various contaminations on the hydraulic conductivity of clayey soils

Abstract

Two significant groups of anthropogenic contaminants entering the soil are hydrocarbons and detergents (also known as surfactants). In the case of detergents, in contrast to hydrocarbons, the remediation process is a less complex problem, but the substance can cause significant parameter changes if it remains in the soil. During the tests, the series of laboratory measurements were performed on uncontaminated and contaminated samples. The soil was contaminated with solutions with a concentration of 50 m/m% (hydrocarbon and detergent). The basic assumption was that the hydraulic conductivity of the soil changes as a result of this pollutant and, based on previous literature research, presumably decreases. The measurements were made by a flexible wall permeameter. The results of the series of measurements showed that the presence of contamination had a significant effect on the hydraulic conductivity of the soil. During the processing of the results, the so-called one-way analysis of variance (ANOVA) was used. This method was chosen because the only difference between the samples was the presence of contamination. With the help of the method, it becomes possible to delineate the systematic factors that statistically actually influence the given data set (while, on the other hand, random factors do not influence it). In practice this means that with the help of the method, it is possible to identify the relationship between different groups. This allows us to conclude that there is a systematic factor in the system – in this case, the presence of the detergent – that statistically actually influences the data series (rather than just a random factor). A one-way analysis of variance of the obtained data confirmed that the difference between the clean and contaminated samples was due to the presence of the detergent and not a random factor affecting the data set.

Keywords

Clay, detergent, flexible wall permeameter, hydrocarbon, hydraulic conductivity, soil contamination.

BEVEZETÉS

A talajok olyan összetett rendszereket alkotnak, amelyek ásványi- és szervesanyag, valamint folyadéktartalma rendkívül változatos. Természetes állapotukban szennyeződésmentes formában található meg a litoszféra felső szegmensében. Az emberi tevékenység (pl. ipari, mezőgazdasági) következtében különböző összetételű szennyező anyagok kerülhetnek a talajba. A jelenséget a terminológiában antropogén szennyezésnek nevezik. Ezen szennyeződések nem csupán magát a talajt, de annak környezetét – vízkészlet, ökoszisztéma, humán hatásviselők – is veszélyeztetik. A talajszennyezés leginkább a városokban és az ipari létesítményekben fordul elő. Utóbbi hazánkban is kiemelendő probléma, hiszen számos olyan ipari terület található az országban, ahol komoly talajszennyezés történt a létesítmény nem megfelelő üzemeltetése miatt.

Ezen területek újbóli használatba vétele csak komplex kármentesítési folyamatokkal valósítható meg, amely eljárások sem tudják garantálni a talaj természetes állapotának visszaállítását. A 219/2004. (VII.21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről meghatározza a (D) kármentesítési célállapot határtértékét, amely kimondja, hogy a „*hatósági határozatban előírt koncentráció, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében; meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérésen alapul a területhasználat figyelembevételével*” (219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről).

A kármentesítési munkálatok során ez a célérték gyakran nem felel meg az eredeti környezet által adott háttérértékeknek. Ennek oka egyrészt a terület és a szennyezőanyag sajátosságai, a kármentesítési módszer hatékonysága és nem utolsósorban a költséghatékonyság biztosításának kérdése. Az így meghatározott célérték ezért sok esetben egy területspecifikus érték lesz, ami akár többszöröse is lehet az iménti kormányrendeletben meghatározott (B) szennyezettségi határértéknek: „*jogszabályban, illetve ennek hiányában hatósági határozatban meghatározott olyan szennyezőanyag-koncentráció, illetve egyéb minőségi állapotjellemzők olyan szintje a felszín alatti vízben, a földtani közegben, amelynek bekövetkeztekor a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezettnek minősül, figyelembe véve a felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztémák, továbbá a felszín alatti víztől függő szárazföldi ökoszisztémák igényeit, földtani közeg esetében pedig a talajok többes rendeltetését és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységét*” (219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről).

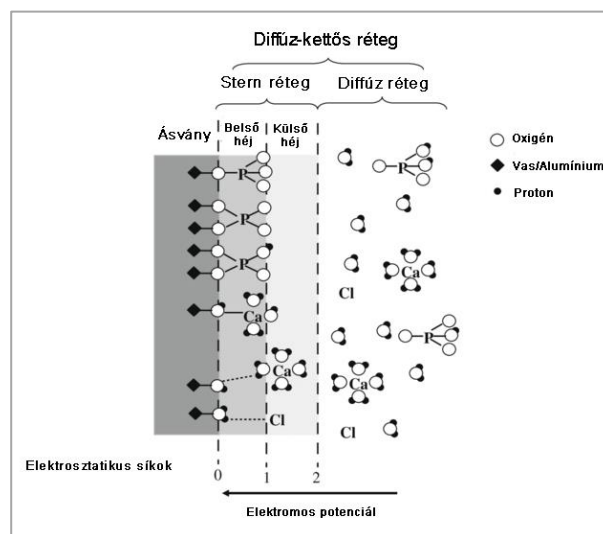
Mindezek mellett a kármentesítési technológia során a kívánt cél elérése érdekében gyakran használnak további mesterséges anyagokat, mint például oldószereket, felületaktív anyagokat. Egyre elterjedtebb kármentesítési folyamat a szennyeződés koncentrációjának természetes csökkenése folyamatos kontroll mellett. Természetesen ez az eljárás csak akkor alkalmazható, ha az adott szennyeződés nem jelent környezeti kockázatot.

Az antropogén szennyeződések jelenléte miatt a talajok kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságai megváltozhatnak. Ezek a változások a talaj számos tulajdonságában megfigyelhetők, legyen szó a talajban lévő szerves anyagok mennyiségi és minőségi változásairól, vagy akár a talaj szivárgási tényezőjéről. Jelen tanulmány célja a szennyeződés hatására az agyagos talajok hidraulikai tulajdonságaiban bekövetkező módosulások megértése, különös tekintettel a szivárgási tényező változásaira. A változások megértése, számszerűsítése és rendszerbe foglalása nagyban segítheti a kármentesítési munkálatok mind technológiai, mind finanszírozhatósági hatékonyságát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Néhány szót érdemes ejteni az agyagásványok felületi tulajdonságairól, mivel ezek jelentősen befolyásolják az agyagos talajok viselkedését a szennyeződésekkel szemben. Az agyagásványok számos egyedi tulajdonsággal rendelkező anyagcsoportot alkotnak. Rétegszerkezetük (egy dimenzióban) a nanométeres tartományba esik, az 1:1 (TO) szerkezet vastagsága (agyagásványokra jellemző) körülbelül 0,7 nm, míg a 2:1 (TOT) szerkezet vastagsága 1 nm. Továbbá a rétegek és a részecskék anizotróp elrendezése figyelhető meg. Az egyedi attribútumokra példaként hozhatóak fel a 2:1-es rétegszerkezetű csoport ásványai, amelyek a következő tulajdonságokkal rendelkeznek: a részecskék kolloid méretűek; jelentős fajlagos felülettel rendelkeznek; nagy a kicserélhető anionok száma (ami kevésbé függ a környezet pH-jától); mérsékelt a töltés a rétegek között; víz hatására rétegek közötti duzzadás figyelhető meg. Nem csak az ásványok szerkezetét, de azok felületi sajátosságait is fontos kiemelni. Ezen felületi saját

tosságokat elsősorban a kémiai összetétel, az ásványszemcséken található atomok jellege (oxigén és hidrogén), a felületi hibák típusa és mértéke, valamint a réteg töltése és a kicserélhető kationok típusa határozza meg.



1. ábra. A kettős diffúz réteg vastagsága (ami több tényező függvénye) jelentősen befolyásolja az adott talaj viselkedését (Devau és társai 2009)

Figure 1. The thickness of the double diffuse layer (which depends on several factors) significantly affects the behavior of the given soil (Devau et al. 2009)

Az agyagásványokra jellemző az úgynevezett diffúz kettős réteg határfelületi jelenség, amely az agyagszemcsék és különböző folyadékok határán alakul ki (1. ábra). Ahhoz, hogy megértsük az agyagok viselkedését a geotechnikai gyakorlatban, figyelembe kell vennünk ezt a tényezőt (Devau és társai 2009). Az agyagok szemcseméretük miatt a kolloidok közé sorolhatók, a kolloid micellák felületén folyamatos átmenetet képeznek a szilárd (micelláris mag) és a folyékony fázis (diszpergált réteg) között (Stefanovits és társai 1999). Ez a határréteg eltérő tulajdonságokkal rendelkezik, mint a folyékony és a szilárd fázis, és fontos szerepet játszik a határfelületeken zajló ioncsere- és adszorpciós folyamatokban. A kolloid részecskéktől távolodva az adszorbeálható kationok koncentrációja csökken, míg az anionkoncentráció nő. Ebből arra lehet következtetni, hogy a részecske felületéhez közelebb eső kationok erősebb kötődéssel kötődnek a felülethez, egy rendezettebb réteget alkotva (ún. Stern réteg). A távolabbi rétegek rendezetlenebb formában diffúz réteget alkotnak. A kolloid részecske felületén egy erősen irányított vízmolekulák alkotta réteg található, a külső oldalán kationokkal, amelyek a Stern réteget alkotják. Ennek eredményeként a talajoldat és a részecske felületén potenciálkülönbség képződik, amely ettől a határfelülettől távolodva exponenciálisan csökken, és a szolvárréteg külső határához érve 0-val ekvivalenssé válik. Ezt az eloszlástípust diffúz-kettős réteggel nevezük.

A diffúz kettős réteg vastagságának vizsgálata hasznos lehet geotechnikai gyakorlatban a talajok szennyezőanyagokkal szembeni várható viselkedésének megértése és becslése tekintetében (Szabó és Tóth 2019). A kialakuló talajszerkezet több tényező kombinációjának együttes

eredménye, amely függ egyrészt az agyagásvány rácszerkezetétől, felületi töltésétől, ioncseréjétől, adszorpciójától, másrészt az összetételétől, koncentrációjától, az ionok töltésétől, a permittivitástól, a hőmérséklettől és egyéb külső körülményektől (pl. terhelés).

A laboratóriumi vizsgálatok elvégzéséhez a Mályi mellett található bányából származó szürke agyag került felhasználásra. Az elnevezés a később elvégzett szemeloszlási, valamint konzisztencia határ vizsgálatok elvégzése után szürke agyagos-iszapra módosult. A minta közepes plaszticitású, sovány agyagos-iszap, amely szervesanyag tartalma alacsony, vízfelvevő képessége 50%. A röntgendiffrakciós mérések (X-Ray Diffraction - XRD) alapján megállapíthatóvá vált, hogy a minta legnagyobb arányban kvarcot, illitet, muszkovitot és albitot tartalmaz.



1. kép. A finomszemcsés anyagok szivárgási tényezőjének mérésére használt flexibilis falú permeabiméter (A szerzők saját felvétele)

Photo 1. Permeameter with flexible walls used to measure the hydraulic conductivity of fine-grained soils (The photo of authors)

A szivárgási tényező laboratóriumi körülmények között történő méréséhez egy ún. flexibilis falú permeabiméter használatára került sor (1. kép). Az eszközt alacsony áteresztőképességű, finomszemcsés anyagok esetén célszerű alkalmazni. A minta egy triaxiális, folyadékkel töltött cellában helyezkedik el, ahol az oldalnyomást maga a folyadék biztosítja. A mintán a folyadékot az oldalnyomásnál kisebb nyomással (0,1-0,2 MPa különbség) préseljük át, tehát egy tetszőleges hidraulikus gradiens érték állítható be. A szivárgási tényező méréséhez használt mintákat (100 mm átmérőjű és 20 mm magasságú agyag „korongok”) a vizsgálat megkezdése előtt előkonzolidáljuk ödométer segítségével (1 bar-on). A konszoli-

dációs vizsgálatok eredményeiből is hasonló következtetések kerültek levonásra, mint jelen tanulmány esetében. Ugyanilyen metodika szerint – mint jelen tanulmányban – tiszta és szennyezett mintákon (csak detergens volt a szennyező, 50%-os töménységű oldatban keverve a talajhoz) került a talajmintában végbemenő konszolidáció vizsgálatra. A mérések után megállapítottuk, hogy a szennyezés hatására megnőtt a konszolidációs idő, illetve a konszolidáció foka jelentősen lecsökkent. Ez a csökkenés betudható a szennyezőanyag magas koncentrációjának és az ezáltal okozott lubrikáns, szemesek körül létrejövő buroknak.

A szivárgási tényező mérése során leolvasott víznívó süllyedések értékéből az alább leírt egyenlet segítségével határozható meg a minta szivárgási tényezője:

$$k = \frac{f \cdot l}{F} * \frac{1}{h_w} * \frac{\Delta h}{\Delta t}; \quad (1)$$

ahol, f – a nyomócső keresztmetszete [mm], F – a talajminta keresztmetszete [mm], l – a talajminta hossza [mm], h_w – pedig a vízszlop magasság – nem állandó érték [mm].

Az eredmények feldolgozása során az ún. egyszempontos varianciaanalízis (one-way ANOVA) került alkalmazásra. A varianciaanalízis segítségével lehatárolhatóvá váltak azok a szisztematikus tényezők, amelyek statisztikailag ténylegesen befolyásolják az adott adatsort (míg ezzel szemben a véletlenszerű tényezők nem befolyásolják azt). Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a módszer segítségével különböző csoportok közötti kapcsolat azonosítására adódott lehetőség. Az analízis eredménye az ún. F-arány, amely lehetővé tette a minták, valamint a mintákon belüli különbségek értelmezését. A varianciaanalízis során fontos, hogy a minták függetlenek legyenek egymástól, normál eloszlású sokaságból származzanak és a sokaságok varianciája azonos legyen. Az egyszempontos analízisre jellemző, hogy általában párhuzamos elrendezésű csoportok folytonos, normál eloszlású tulajdonságainak az átlagát hasonlítja össze, ezen belül azonban csupán egy szempont eltérésére összpontosít.

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

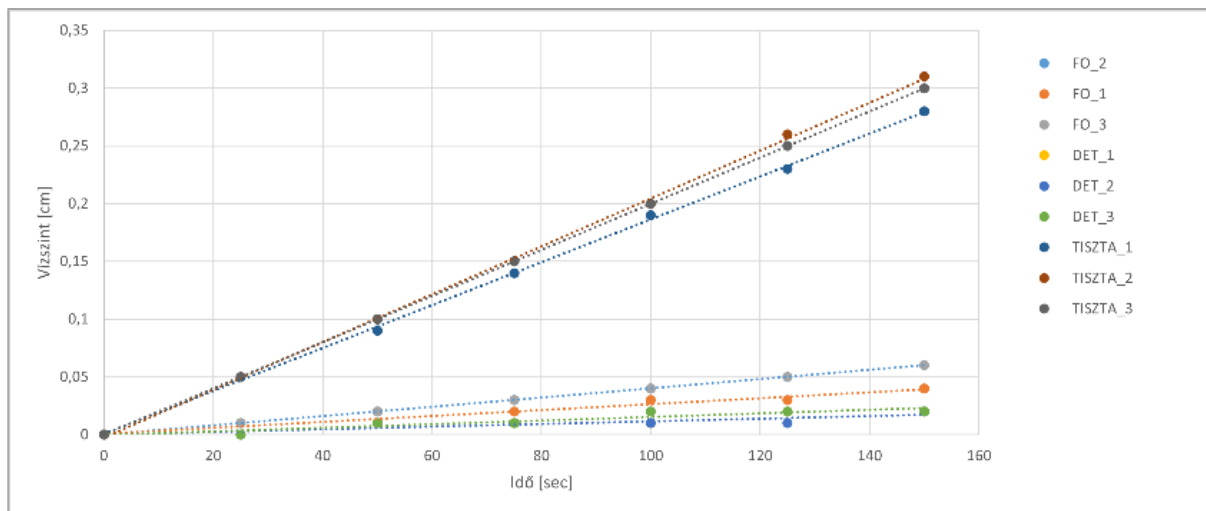
A szivárgási tényező vizsgálata az előző fejezetben leírtaknak megfelelően történt, 3 tiszta, valamint 3-3 szennyezett mintán. A szennyezőanyagként használt „modellanyagok” mosószer, valamint fékolaj voltak (mindkét esetben 50 m/m%-os töménységű oldatként). A vizsgálat alapkoncepciója szerint ezen fajta szennyezőanyagok jelenlétének hatására megváltozik a talaj szivárgási tényezőjének értéke. A talajminták a manuális elszennyezést követően 1 hónapot álltak légmentesen zárt tárolódobozokban. Az egy hónap alatt a talajszemcsék és a szennyeződés között kémiai reakciók léphettek fel vagy akár egyenlítődhettek ki.

1. táblázat. A flexibilis falú permeabiméterrel a különböző típusú mintákon mért szivárgási tényező értékek összefoglalása
Table 1. Summary of hydraulic conductivity values measured on different types of samples, with the flexible wall permeameter

Minta típusa	Tiszta	Detergensevel szennyezett	Szénhidrogénnel szennyezett
Szivárgási tényező [m/s]	1,47E-09	7,47E-11	1,61E-10
	1,61E-09	6,58E-11	1,77E-10
	1,58E-09	9,07E-11	1,62E-10

A tiszta mintákon mért értékek korrelálnak a gyakorlatban jegyzett (1) alacsony szervesanyag tartalmú, kis plasticitású, iszapos agyagokéval ($5.00E-10$ és $5.00E-08$ m/s közötti tartomány). A detergenssel szennyezett minták műszerbe építése után szükségessé vált megnövelni a minta telítődési idejét. Általában ez egy 24 órás intervallum, azonban itt 48 órát vett igénybe, ugyanis korábbi mérések során

1 nap alatt nem tudott végbemenni a telítődés, így a szivárgási tényező mérése sem volt lehetséges. Látható, hogy az amúgy agyagos talajokra jellemzően alacsony szivárgási tényező értékét a detergens jelenléte két nagyságrenddel lecsökkentette. Az bizonyos, hogy mivel a víznél sűrűbb, viszkózusabb anyagról van szó, már önmagában emiatt is hatással lehet a szivárgási tényező csökkenésére.



2. ábra. A szivárgási tényező mérések során bekövetkező vízszint változások a különböző mintatípusokra vonatkoztatva (FO=Fékolaj, szénhidrogén); DET=Detergens

Figure 2. Water level changes occurring during hydraulic conductivity measurements for different sample types (FO=Brake oil, hydrocarbon); DET=Detergent

A szénhidrogénnel szennyezett talajminták esetében is hasonló módon történtek a mérések, azonban itt elegendő volt a 24 órás telítődési periódus. A detergenssel szennyezett mintákhoz hasonlóan itt is csökkenés figyelhető meg a szivárgási tényező értékét illetően, azonban ebben az esetben ez az érték egy nagyságrendbeli különbség. A 2. ábra is ezeket a jelentős különbségeket mutatja, a különböző típusú mintákban zajló vízszintváltozásokon keresztül. Korábbi szakirodalmakban is foglalkoztak hasonló vizsgálatokkal, ahol a szénhidrogénnel szennyezett talajok (agyagos-homokos talajok) esetében a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a szivárgási tényező csökkenésének oka mikroszkópikus szinten keresendő, ugyanis a szennyeződés burkot képez a szemcse körül –ami által egyébként a fajlagos felülete is csökken a szemcsének –, eltömítve a pórusokat (Safehian és társai 2018).

Egyváltozós varianciaanalízis (ANOVA)

Mivel az elvégzett varianciaanalízis egyváltozós, így két csoport került lehatárolásra a számítások során: tiszta és szennyezett minták. Tehát két kezelésszámmal (v) és három ismétlésszámmal (r) – amely az adott mintacsoporton belüli mérések ismétlésének száma – történt az analízis lefuttatása (2. táblázat). Az analízis során az úgynevezett F-próba alkalmazásával a szórásnégyzetek egyenlősége vizsgálható, amely segítségével megtudható, hogy a két csoport (tiszta és szennyezett) között szignifikáns-e az eltérés. Ennek vizsgálata úgy történik, hogy az F-arány és az F5%-os inverz függvény értéke kerül összehasonlításra (gyakorlatban általában az F5%-ost szokták választani), és az ezek között fellépő különbség szignifikanciáját vizsgálják. Ez arra enged következtetni, hogy a rendszerben olyan szisztematikus tényező – jelen esetben a detergens és szénhidrogén jelenléte – van, amely statisztikailag ténylegesen befolyásolja az adatsort (2. táblázat) és nem pedig csupán egy véletlenszerű tényezőről van szó.

2. táblázat. A varianciaanalízis során használt adatok összefoglalása
Table 2. Summary of data used during variance analysis

Ismétlés	ism_1	ism_2	ism_3
Tiszta – szivárgási tényező [m/s]	1,47E-09	1,61E-09	1,58E-09
Szennyezett_detergens – szivárgási tényező [m/s]	7,47E-11	6,58E-11	9,07E-11
Szennyezett_szénhidrogén – szivárgási tényező [m/s]	1,61E-10	1,77E-10	1,62E-10
Kezelésszám (v)	2		
Ismétlésszám (r)	3		
	F-arány	F5%	
Tiszta / szennyezett_detergens	1 046,2	7,70865	
Tiszta / szennyezett_szénhidrogén	1 169,1	7,70865	

Mindkét szennyeződés (detergens és szénhidrogén) esetében végzett analízis eredményeiből látható, hogy az összehasonlítás tárgyát képző értékek (F-arány és F5%) között nagyságrendbeli különbségek vannak, így az a konklúzió vonható le, hogy az eredmények között szignifikáns differencia figyelhető meg, és nem csupán egy véletlenszerűen jelentkező tényező befolyásolja az adatsort.

ÖSSZEFOGLALÁS

A talajba kerülő antropogén szennyeződések két jelentős csoportja a szénhidrogének és a detergensok (más néven tenzidok). Jelen mérésorozatban különböző típusú szennyeződések adott talajtípus szivárgási tényezőjére gyakorolt hatásának vizsgálata történt meg.

A szivárgási tényező vizsgálatok egy flexibilis falú permeabiméter segítségével zajlottak, amelyet ödométerrel történő konszolidáció előzött meg. Már a konszolidáció során rögzített „real-time” idő-elmozdulás görbékből is láthatóvá vált, hogy a szennyeződés hatására megváltozott a talajminta szerkezete a tiszta állapothoz képest. Ennek megfelelően a szivárgási tényezőben is változásokra lehetett számítani. A nyers adatok feldolgozása után kijelenthető, hogy mindkét szennyeződés szivárgási tényező redukcióját okozta, a detergens két nagyságrendi eltéréssel, míg a szénhidrogénnel eggyel. Mindkét anyag esetében ez a csökkenő jelleg a szerkezeti szinten végbemenő változások eredménye lehet. A sűrűbb, az agyagszemcsék felületéhez erősebben kötött szennyeződés hatására megnő az áramoltatott folyadék viszkozitása, valamint megjelenik a szemcsék körül egy szennyező burok, amely gátolja a folyadék természetes módon történő áramlását a talajpórusok között.

A kapott eredmények további feldolgozása egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) történt. Az analízis megerősítésül szolgált az eredmények értelmezésében, miszerint a szivárgási tényezőben bekövetkező változások értéke egy szignifikáns statisztikai változás részei és nem csupán egy véletlenszerű hiba következményei.

Az eredmények pontosabb értelmezése érdekében a jövőben a strukturális, mikroszkópikus szintű változások vizsgálata lenne célszerű. Ehhez az úgynevezett SEM (Schematic Electron Microscope) mérések elvégzése szükséges, amely segítségével vizsgálhatóvá válnának a talajszemcsék felületén végbemenő változások, legyen szó akár a fajlagos felület csökkenéséről, vagy akár a héjszerű szennyezőréteg képződéséről. Továbbá a tervek között szerepel a vizsgálatok kiterjesztése eltérő típusú (kövér és soványabb agyagok) illetve keverék talajokra (homokos-agyagok, agyagos-homok) is. A különböző szennyezések által kifejlesztett hatásmechanizmusok vizsgálata fontos támpontul szolgálhat szennyezett területek rekultivációja, vagy a talajok pl. hulladéklerakók aljzatszigetelő rétegeként történő felhasználása során.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baráth Cs., Ittész A., Ugródy Gy. (1996). *Biometria*. Mezőgazda Kiadó.
- Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, P., Jaillard, B., Gérard, F. (2009). Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches, *Applied Geochemistry*. 24. pp. 2163-2174.
- Safehian, H., Rajabi, A., Ghasemzadeh, H.M. (2018). Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil, *Engineering Geology* 241 (2018). pp. 55–63.
- Stefanovits P., Filep Gy., Fülek Gy. (1999). *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó. pp. 72-74.
- Szabó I., K. Tóth A. (2019). *Környezetvédelmi geotechnika*. Miskolci Egyetem, ISBN 978-963-358-188-9, Miskolci Egyetemi Kiadó – GEON System Kft. pp. 109-113.
- 219/2004. (VII.21.) Kormányrendelet a felszíni vizek védelméről.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

A karsztvízszint emelkedés veszélyének számszerűsítése Tata és térségének példáján

Kovács Balázs*, Mikita Viktória*, Molnár Mária**, Modrovits Kamilla**, Gondárné Sőregi Katalin**

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: kovacs.balazs@gama-geo.hu)

** Smaragd GSH Kft., Budapest

Kivonat

Magyarországon a Dunántúli-középhegység területén a bányászathoz kapcsolódó intenzív víztermelés 1988-tól fokozatosan, majd 1990-től hirtelen lecsökkent. Ennek következtében a karsztvízszintek emelkedni kezdtek, aminek kedvező hatásai – pl. elapadt források újraéledése vagy a Tapolcai Tavasbarlangban a víz megjelenése – mellett valós vagy potenciális kedvezőtlen hatásai is vannak. Egyes mélyebben fekvő, időközben beépítésre került hidrogeológiai szempontból kiáramlási területeken zizenyős térségek, beépítésknél pincevizesedések jelentek meg, a korábbiakban nem tapasztalt helyeken források fakadtak. Ilyen szempontból különös helyzetben van Tata, „a vizek városa”, ahol a nagy tavak (Öreg-tó, Cseke-tó, Derítő-tó stb.) mellett korábban számos vízben gazdag patak futott és sok bővízü forrással (Fényes- források, belvárosi, angolparki és kálvária-dombi forráscsoportok) is rendelkezett. A bányászat hatására ezek jelentős része teljesen elapadt, majd napjainkra többségük ismét megjelent, ezért az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) megbízásából a Smaragd GSH Kft. vezetésével „A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögzítése, a várható emelkedés modellezése” címmel a KEHOP-1.1.0-15-2017-00010 számú projekt keretén belül külön megvizsgáltuk Tata és környékének karsztvízszint változásait, valamint ennek a vizsgálatnak a keretében értékeltük az emelkedés következtében kialakuló lehetséges veszélyeket. A pályázat szerint egy bináris (veszélyeztetett/nem veszélyeztetett) értékelést kellett elvégezni, azonban Tata esetében az ismeretek alapján egy fokozatmentes veszélyeztetettségű számítást is elkészítettünk, amelyek alapján a térség veszélyeztetettsége nagyobb felbontásban volt tanulmányozható.

Kulcsszavak

Karsztvíz, vízszintemelkedés, veszélyeztetettség, Tata, Dunántúli-középhegység.

Possibilities of quantifying the risks of karst water level rise on the example of Tata and its surroundings

Abstract

In Hungary, intensive dewatering associated with bauxite mining in the Trans Danubian Range has been abruptly reduced since 1988-1990, causing karst water levels to rise, with real or potential negative effects in addition to positive ones, such as the revival of dry springs or the appearance of water in the Tapolca Lake Cave. In some deeper located hydrogeological discharge areas, which have been built up in the meantime, wetlands have formed, meanwhile karstic water appeared in the basements of buildings, and springs have sprung up in places not previously experienced. In this respect, Tata, that also called as the ‘city of waters’, is in a highlighted position, as it used to have a number of large lakes (Öreg-tó, Cseke-tó, Derítő-tó etc.), numerous streams and many springs with large fluxes (Fényes-springs, the springs in the town centre, in the English garden and on the Calvary). Due to mining, most of these springs dried up completely, but nowadays most of them have reappeared, so the General Directorate of Water Management (OVF) commissioned Smaragd GSH Ltd. to carry out a KEHOP-1.1.0-15-2017-00010 project to investigate the changes in the karst water level in Tata and its surroundings and assessed the risks caused by the rise. The application required a binary (at risk/not at risk) assessment, but for Tata we also performed a step-free hazard calculation method based on the knowledge available, which allowed us to study the hazard of the area at a higher resolution.

Keywords

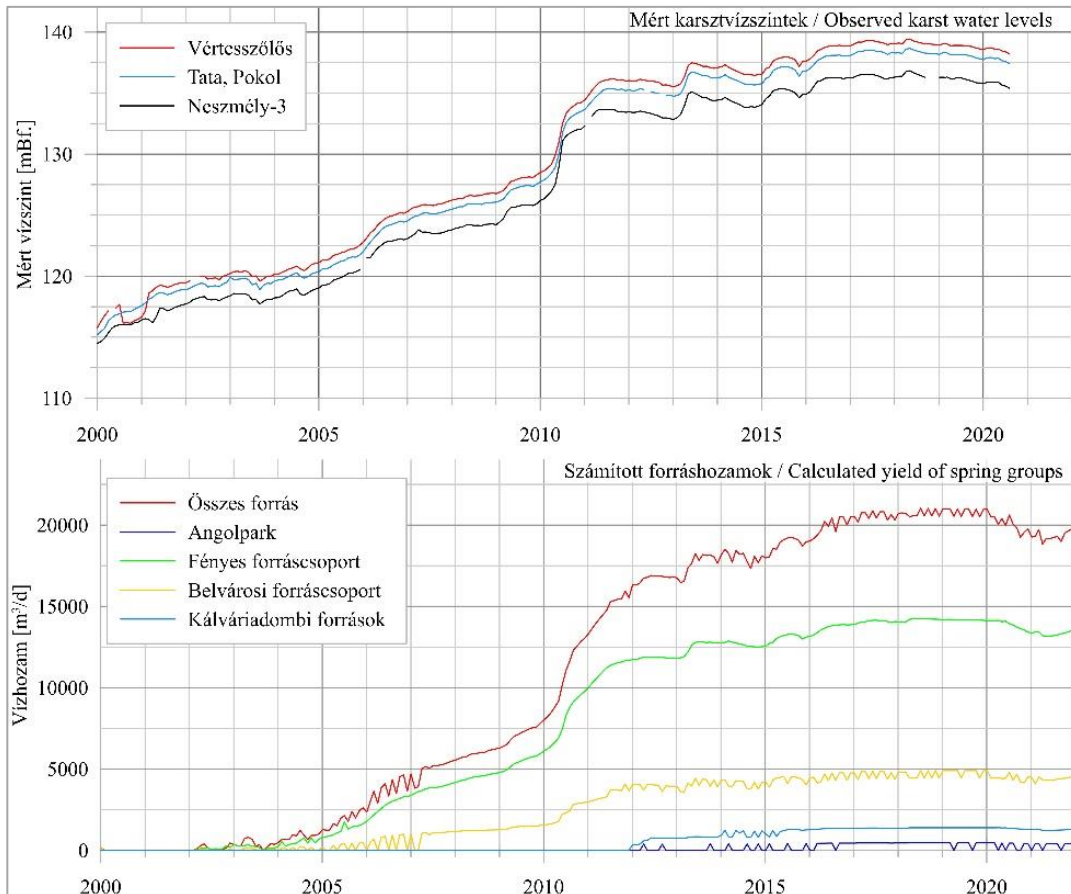
Karstic water, water level rise, risk assessment, Tata, Trans Danubian Range.

BEVEZETÉS

A bányászati víztermelés hatására a Dunántúli-középhegységben 1990-ig Nyírad térségében 80-120 m, a Bakonyban átlagosan 40-60 m, Tata térségében 40-50 m karsztvízszint-süllyedés alakult ki. A karsztvíz emelése az 1987. évi 850 m³/perc hozamról 1991-re 400 m³/percre, majd 2004-re fokozatosan 220 m³/percre csökkent (Csepregi 2007), aminek következtében azonnal megkezdődött a karsztvíztározó visszatöltődése, amit a térségi monitoringkutak folyamatos vízszintemelkedései (I. ábra) is mutattak. A vízszint-emelkedés üteme 2015-től csökkent, sőt 2018-2020 között a szintek süllyedni kezdtek, egy új dinamikus egyensúlyi állapot alakult ki. Mind a vízszint csökkenését, mind az emelkedését és az ezzel járó hidrogeológiai fo-

lyamatokat számos publikáció feldolgozta (Alföldi és Kapolyi 2007, Ballabás 2004, Horváthy és Lénárt 2009, Hydrosys 2013, Hydrosys és Smaragd GSH 2015, Maller 2012, 2018, Sashegyi 1976, Schmieder és Szilágyi 1988, Tóth 2002).

A Smaragd GSH Kft. az OVF megrendelésére „A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögzítése, a várható emelkedés modellezése” című KEHOP-1.1.0-15-2017-00010 projekt keretében előbb összegyűjtötte és rendszerezte a területre rendelkezésre álló földtani és vízföldtani adatokat (pl. rétegsorok, karsztvízszintek, termelési adatok, források adatai stb.) (Smaragd GSH 2019), majd ezen információk alapján a teljes, határon is átnyúló víztest végesselemes hidrodinamikai modelljét készítette el (Smaragd GSH 2020a, b, c).

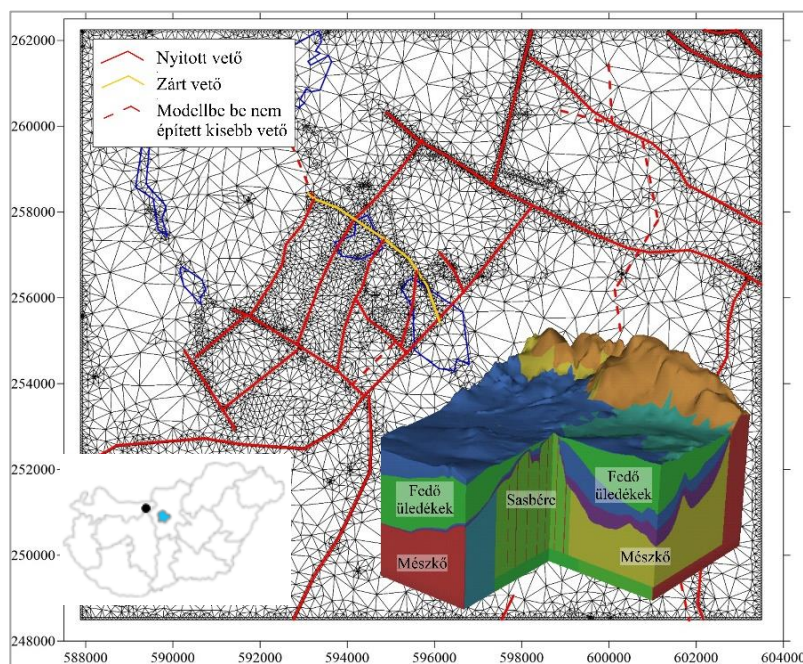


1. ábra. A térségi monitoringkutakban mért karsztvízszint változások és számított forráshozamok (Kovács szerkesztés)

Figure 1. The observed karst water levels in monitoring wells and the calculated yield of spring groups in the area (Edited by Kovács)

A modell nem csak arra volt alkalmas, hogy a vízmérleg éves alakulásának változásait meghatározza, hanem kiválasztott részterületek nagyobb felbontású modelljei részére a peremfeltételeket is biztosította. Az egyik kiválasztott terület Tata és térsége volt, amely tér-

ségre egy nagyfelbontású FEFLOW végeelemes hidrodinamikai modell készült el (2. ábra), mellyel a karsztvízszintek és a vízmérleg elemeinek (pl. beszívárgás, forráshozamok stb.) múltbeli, illetve várható jövőbeli alakulását számítottuk.

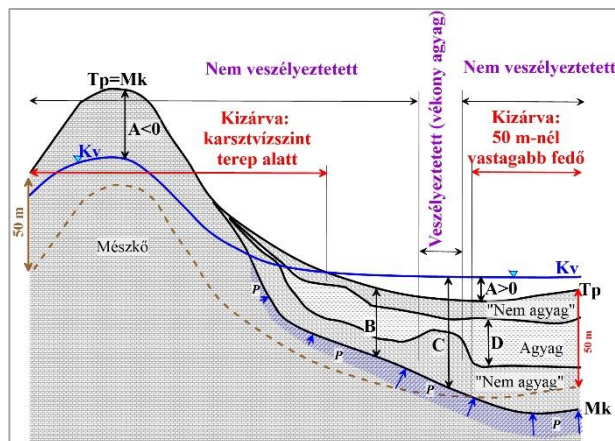


2. ábra. A FEFLOW modell rácsháló kiosztása és geometriai felépítése

Figure 2. The grid and the geometric setup of the FEFLOW model

A VESZÉLYEZTETETTSÉG MEGHATÁROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

A projekt egyik célja a karsztvízszint emelkedés okozta potenciálisan veszélyeztetett területek lehatárolása volt (*Smaragd GSH Kft 2020d*), amihez szintén a készített tatai lokális végeselemes modellt használtuk, és aminek meghatározásához az OVF pályázati útmutatója egy, a bányászati vízvédő pillér-méretezési elvén alapuló módszertant írt elő (*OVF 2017, Maller 2012*) (3. ábra).

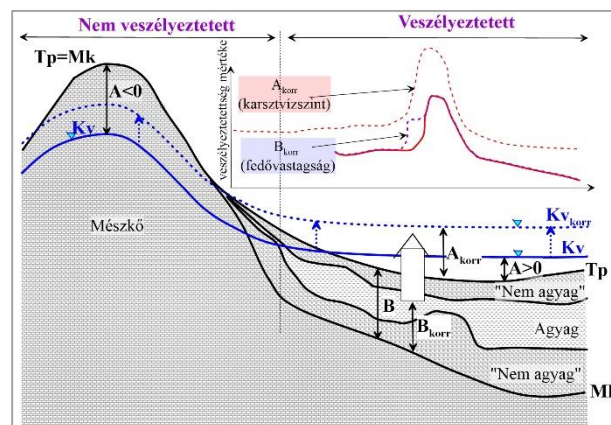


3. ábra. A karsztvízszint emelkedés okozta veszélyek meghatározása a pályázati útmutató módszerével (Kovács szerkesztés)
Figure 3. Determination of hazards due to karst water level rising (tender guidance method)(Edited by Kovács)

Az előírás szerint a veszélyeztetett területek lehatárolásához meg kell határozni a karsztvízszint (Kv) és a terepszint (Tp) különbségét ($A = Kv - Tp$), illetve a karsztvíztározó tetőszintjének (Mk) tereptől számított mélységét ($B = Tp - Mk$). Azokat a területeket kell vizsgálni, ahol a karsztvízszint a felszín fölé emelkedik ($A > 0$), és az alaphegység a felszíntől 50 m-nél közelebb van ($B < 50$ m). Ezekben a területeken a fúrési rétegsorok alapján meg kell határozni a fedőben az agygrétegek (védőréteg) vastagságát (D), illetve a fedő fekéjére ható víznyomás mértékét, melyet a $C = Kv - Mk$ alapján számolunk ki, ezt pedig átváltjuk bar-ba, a $P = C/9,81$ m/bar képlettel. Ezt követően meghatározzuk az 1 bar vízszolpnymásra eső védőréteg vastagságot, tehát a fajlagos védettséget ($v = B / P$, mivel az agyagvastagság a teljes területen nem ismert, a fedőrétegvastagsággal számoltunk). A veszélyeztetett területek a $v \leq 2$ m/bar határérték alapján jelölendők ki. A javasolt robusztus módszerrel elkülöníthetők a veszélyeztetett területek és a nem veszélyeztetett területek, ami Dunántúli-középhegység léptékben teljesen megfelelő, de nagyobb felbontásban ennél érzékenyebb megoldást is kerestünk.

A másik alternatíva a veszélyeztetettség meghatározására a vertikális hidraulikus módszer, ahol a karsztot fedő összletre ható átlagos hidraulikus gradienseket számítjuk ki (4. ábra). Ebben az esetben is meg kell határozni a karsztvízszint (Kv) és a terepszint (Tp) különbségét ($A = Kv - Tp$), ami a felfelé történő szivárgás hajtóereje, illetve a karsztvíz-tározó fedőszintje (Mk) tereptől számított mélységét ($B = Tp - Mk$), azaz a fedőösszlet vastagságát, ami a szivárgást gátló tényező. A két tényező hányadosa az $i = A/B$ vertikális hidraulikus gradiens. Ennél a számításnál a

kizárások vizsgálatának (karsztvízszint a terep alatt, illetve vastag fedőréteg) nincs értelme, mert ha a karsztvízszint a terep alatt van, akkor a gradiens negatív, ha vastag a fedő, akkor pedig elhanyagolhatóan kicsi lesz. Ilyen módon ezek az értékek alapértelmezetten kikerülnek a veszélyeztetett területek köréből.



4. ábra. A karsztvízszint emelkedés okozta veszélyek meghatározása vertikális hidraulikus gradiens módszerrel (Kovács szerkesztés)

Figure 4. Determination of hazards due to karst water level rising (vertical hydraulic gradient method)(Edited by Kovács)

A két módszer nagyon hasonló, de eltérő egyszerűsítésekkel él. A pályázati útmutató alapján kidolgozott módszer nem veszi figyelembe az agyagtól eltérő képződmények hidraulikai ellenállását, illetve nem veszi figyelembe azt sem, hogy a fedőrétegen belül hol található az agyagos kifejlődésű rész. Ha az agyag közel húzódik a mészkőfelszínhez vagy közvetlenül arra települ, amit egy változó vastagságú, ennél a számításnál inerte tekintett összlet fed az sokkal kedvezőbb a veszélyeztetettség szempontjából, mintha az agygréteg a felszín közelében vagy a felszínen települ. Ez utóbbi esetben például egy antropogén beavatkozás vagy bármilyen felszín alatti létesítmény, mélygarázs, vezetéképítés stb. a védőréteget érdemben lecsökkentheti. Éppen ezért van szükség a biztonság javára történő elhanyagolásokat is magába foglaló >2 m/bar kritérium alkalmazására. Ebben az esetben ezen tényezők hatása kizárható.

A vertikális gradiens módszer hátránya, hogy nem veszi figyelembe a képződmények típusát, azaz alapértelmezetten ugyanakkora veszélyeztető hatása van egy agyaggal vagy egy kavicsal borított mészkőfelszínnek, bár ez közetvastagság és szivárgási tényezők ismeretében a sorba kötött ellenállások elvén számított $K_{\text{átl}}$ átlagos szivárgási tényezővel történő súlyozással kompenzálható.

$$K_{\text{átl}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n m_i K_i} \quad (1)$$

Kisebb területeken ugyanakkor számíthatunk a fedőképződmények egyveretőségére, illetve arra, hogy minden szelvényben valahol megtalálható egy rosszul vezető szekvencia. A sorba kötött ellenállások elve alapján ugyanis a vertikális értelemben értelmezett szivárgási tényezőket a legrosszabb vezetőképességű képződmény szivárgási tényezője (ellenállása) határozza meg és nem annak vastagsága (ami egyben a pályázati útmutató alapján kidolgozott

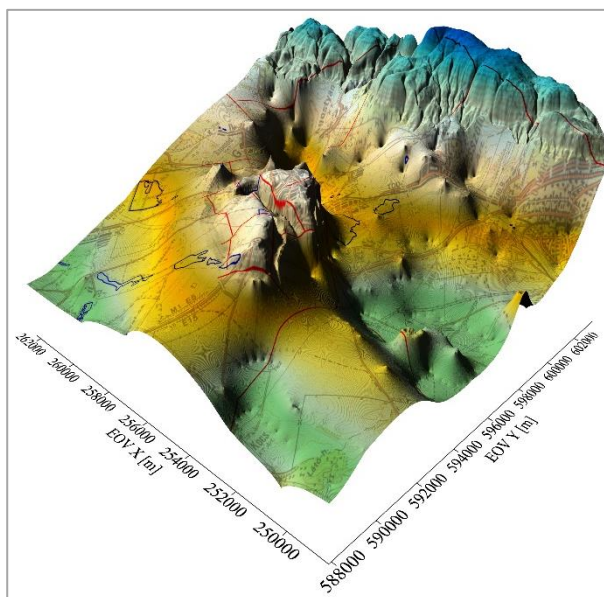
módszer kritikája). A vertikális hidraulikus gradiens módszer előnye az egyszerűség, valamint az, hogy egyszerűen figyelembe vehetők pl. az antropogén hatások és azok veszélyeztető potenciálja. Amennyiben a T_p terepszint helyett az antropogén beavatkozás mélységhatárát (alapozási sík, munkagödör fenékszíntje stb.) adjuk meg, akkor eddig a megváltozott B_{kor} szintig számított vertikális gradienseket kapunk. Amennyiben a potenciálszintek emelkednek nedves vagy szárazabb időszakok hatására (Kv_{kor}), akkor a megváltozott A_{kor} szint alapján számoljuk a „hajtóerőt”.

A két módszer különbségét a következő példán szemléltetjük. Tételezzük fel, hogy a 10 m mélységben található karszt felett közvetlenül 5 m vastag agyag települ és ezen a területen 2,5 m mélységű garázst építenek. Mivel a garázs nem érinti az agyagréteg vastagságát és nem érinti a kialakuló potenciálszinteket sem, ezért a terület veszélyeztetettségi besorolása nem változik a pályázati útmutatóban meghatározott módszer esetén (csak akkor, ha az agyagvastagság helyett a teljes fedőrétegvastagsággal számolunk). A vertikális hidraulikus gradiens viszont a védőréteg 10 m-ről 7,5 m-re csökkenése miatt 4/3-szorosára emelkedik. Természetesen, ha az agyag a felszínen van, akkor a pályázati útmutató alapján kidolgozott módszerrel számított fajlagos védettség a felére csökken (bár ennek figyelembevételére az útmutató nem tért ki, csak a fűrésos rétegsor vizsgálatára).

A lényegi különbség a két eljárás között a megjelenítésben és az értékelésben az, hogy a pályázati útmutató alapján kidolgozott módszer veszélyeztetett és nem veszélyeztetett területrészeket térképi foltokként különít el, a vertikális hidraulikus gradiens módszer pedig folytonos térfüggvények formájában jeleníti meg a veszélyeztetettség mértékét. Ez utóbbi felület deriválásával kijelölhetőek olyan térrészek, ahol a veszélyeztetettség mértéke hirtelen változik meg, ami azt jelenti, hogy ezeken a területrészeken a földtani és vízföldtani környezet érzékeny a változásokra, és ezeken a helyeken valószínűleg a meghatározás pontossága is alacsonyabb.

A PÁLYÁZATI ÚTMUTATÓ ALAPJÁN KIDOLGOZOTT ÉS A VERTIKÁLIS HIDRAULIKUS GRADIENS MÓDSZER ALKALMAZÁSA

A két módszer kipróbálására és eredményeinek összevetésére az említett projekt keretében készített Tatai Lokális Modell (TLM) nyújtott lehetőséget. A TLM határát a regionális modell alapján határoztuk meg, figyelembe véve a Tatai-források utánpótlási területét, mely a k.1.2 jelű, Tatai- és Fényes-források vízgyűjtője elnevezésű karsztvíztestet érinti. Földrajzilag a lokális modell a Vértes északi előterét, valamint a Gerecse nyugati részét és előterét fedi le, melynek határoló EOY koordinátái: 587880 – 603500 m és 248500 – 262250 m. A modell hat rétege a sasbérc-szerűen kiemelkedő és a Kálvária dombnál felszínre is bukkanó karsztvíztárolót és annak fedőképződményeit reprezentálja (5. ábra).

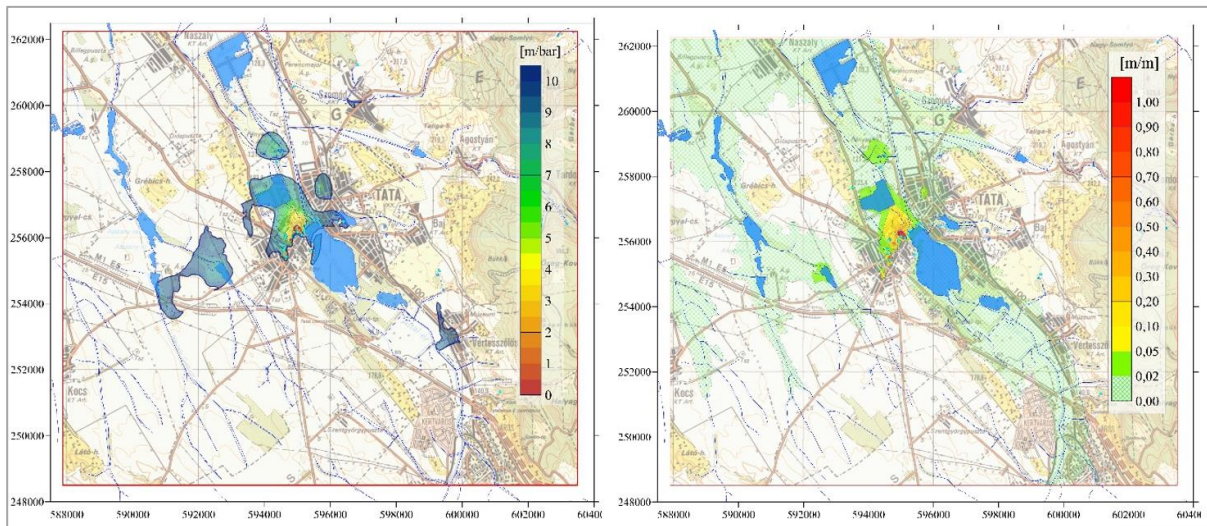


5. ábra. A karsztvíztároló perspektivikus képe
Figure 5. Perspective view of the karst surface

A rendszer modelljének megalkotásánál különösen fontos volt a sasbérc és fedőképződményei geometriájának minél pontosabb leképezése, a tektonikai vonalak modellbe illesztése, illetve a térség felszíni vízhálózatának pontos modelladaptációja. Az ehhez szükséges végelemek rácsháló egy felületen 13 291 db csomópontot és 25 794 db elemet tartalmazott, a 6 rétegű numerikus modell így összesen 93 037 db csomópontból és 154 764 db véges elemből állt. A TLM vízföldtani paraméterezőit és peremfeltételrendszerét a regionális modellből vettük át (*Smaragd GSH 2020b*).

A tranziens modellel a 2000. január 1. és 2030. január 1. közötti időszakot vizsgáltuk. A kezdeti vízszinteket a Dunántúli-középhegység 1999. évi karsztvízszint-térképe alapján adtuk meg. A modell havi időlépcsőnként számította a potenciálszinteket, így összesen 358 időpontra végeztük el a számítást 2030. január 1-ig. A 2019. január 1-e a modellben 6 940 napnak (19 évnek), a 2020. január 1. 7 305 napnak (20 évnek), a 2030. január 1. 10 958 napnak (30 évnek) felel meg. A modellel a 2000-2020 időszak kalibrálása alapján 10 éves (2020-2030) prognózisokat készítettünk eltérő hidrometeorológiai helyzetekre.

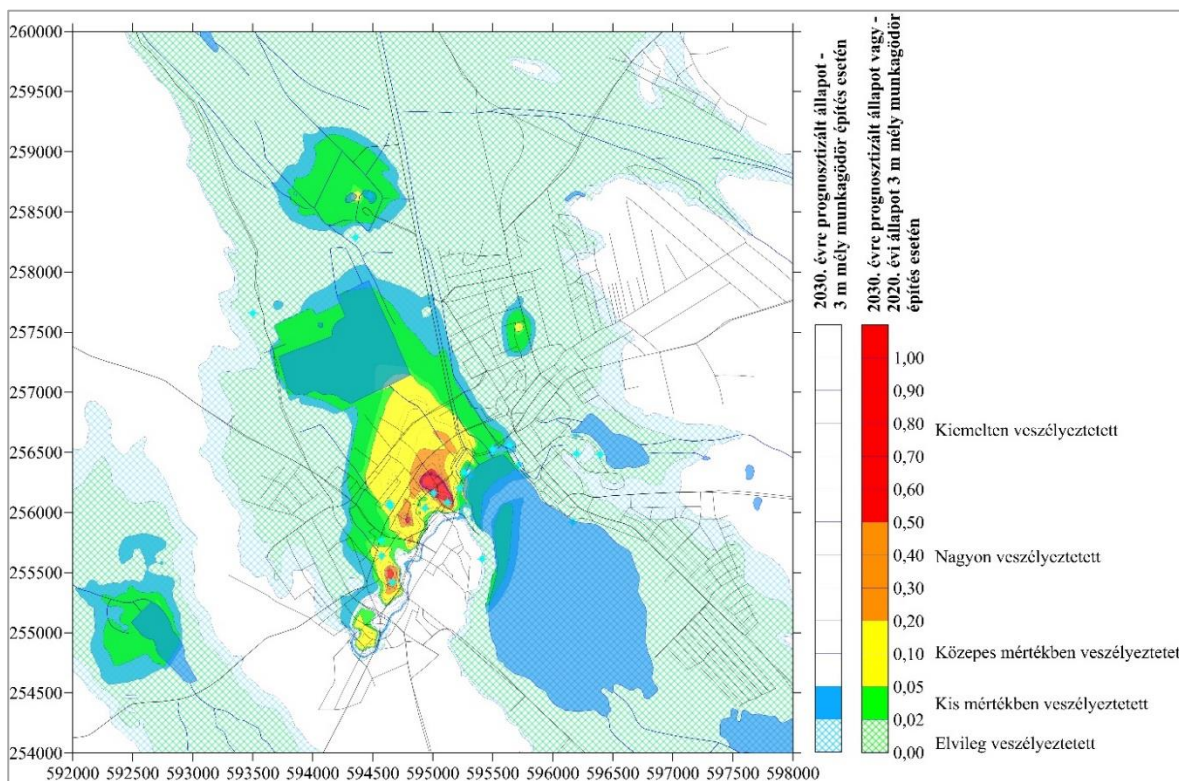
A modellel meghatároztuk a karsztos vízadóban a potenciálszintek eloszlását 2020-ra, illetve 2030-ra a vízszintemelkedések szempontjából kedvezőtlen csapadékos (az utolsó évtizedben a legcsapadékosabb évtizednek megfelelő állapot feltételezésével) és igen csapadékos helyzetekre (mint az előbb említett állapot, csak annak a végén a legcsapadékosabb évek ismétlődnek). Ezek és a modell geometriája szolgálták a veszélyeztetettség meghatározásának alapjául. A veszélyeztetettség számításokat mindkét korábban említett metódika alapján elvégeztük (6. ábra).



6. ábra. A csapadékos időszakra számított veszélyeztetettségi térkép a pályázati útmutató alapján kidolgozott metodika alapján (bal) és a vertikális hidraulikus gradiens alapján (jobb) (módosítva Smaragd GSH 2021 nyomán)
 Figure 6. The calculated hazard map for wet periods based on the required methodology (left) and the vertical hydraulic gradient (right) (modified after Smaragd GSH 2021)

Ahogy az a 6. ábrán is látszik, a két módszerrel meghatározott kiemelten veszélyeztetett területek helye azonos, ami mutatja a két módszer rokonságát. Ugyanakkor a vertikális gradiens módszerrel a kevésbé veszélyeztetett, időszakos nedvesedésre, vizenyősödéssel hajlamos nagyobb

területek is le tudunk határolni. A módszerrel egyszerűen számíthatók lettek például egy 3 m mélységű antropogén beavatkozás esetén a veszélyeztetett zónák határai, ami a térképeken a veszélyeztetett zóna laterális kiterjedésének a megnövekedésében mutatkoznak meg (7. ábra).



7. ábra. A számított szintetizált veszélyeztetettségi térkép
 Figure 7. The calculated synthesized hazard map

Tata térségében a karsztvízszint emelkedések miatt a Kálvária domb környéki alacsonyabb fekvésű területek a leginkább veszélyeztetettek, ahol a fedőréteg elvékonyodik és amely

területrészeket is le tudunk határolni. A módszerrel egyszerűen számíthatók lettek például egy 3 m mélységű antropogén beavatkozás esetén a veszélyeztetett zónák határai, ami a térképeken a veszélyeztetett zóna laterális kiterjedésének a megnövekedésében mutatkoznak meg (7. ábra).

ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a munka több célt is szolgál. Egyfelől szeretnénk volna bemutatni, összehasonlítani a karsztvízszint emelkedések veszélyeztető hatásának meghatározására szolgáló két módszert, a pályázati útmutató alapján kidolgozott és a vertikális hidraulikus gradiens módszereket, az utóbbival sikerült a vízenyösödésre hajlamosabb területek lehatárolása, illetve könnyebben számíthatók az antropogén beavatkozások hatásai. Másfelől szeretnénk volna felhívni a figyelmet arra, hogy a 2018-2021 években a Dunántúli-középhegység határon átnyúló víztestjére és annak részterületeire olyan végeselemes, regionális és részterületi hidrodinamikai modellek készültek, melyek segítségével a térség és legkritikusabb részterületei (pl. Hévízi-tó és környéke, Tata és környéke stb.) vízkészletgazdálkodási problémái nagy felbontásban vizsgálhatók. Ez a regionális modell és részterületi modelljei az érintett vízügyi igazgatóságok rendelkezésére állnak és lehetőséget adnak olyan szcenáriók vizsgálatára, mint pl. a 2022-es extrém aszályos időszak, amikre a KEHOP projekt nem nyújtott lehetőséget. A munka során meghatározott térképek a vízügyi szakemberek részére rendelkezésre állnak, köztük a jelen cikkben bemutatott eltérő elméleti megfontolásokon alapuló veszélyeztetettségi térképek is. Sajnos számos esetben beigazolódott, hogy a társadalmi emlékezőképesség ritkán mutat generációkon túl, az emberiség beépíti az évtizedekig száraznak talált területeket, majd meglepetten tapasztalja, hogy évtizedek múltán részben a meteorológiai viszonyok megváltozásával, részben az emberi tevékenység jellegének vagy intenzitásának megváltozásával visszatér a korábbi állapothoz, vagy legalábbis egy másik, ahhoz közelítő helyzet felé mozdul el. A Tatai Lokális Modell (TLM) segítségével kijelölt veszélyeztetett területeket szükséges lenne a helyi építési szabályzatokban, területrendezési tervekben figyelembe venni, mivel ezen területeken azok földtani vízföldtani viszonyai vagy éppen elhelyezkedésük okán valós veszélye van (vagy lehet a jövőben) annak, hogy az ott végzett tevékenység megnehezídjék vagy ellehetetlenüljön.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka „A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése” című, KEHOP-1.1.0-15-2017-00010 azonosító számú projekt keretében az Országos Vízügyi Főigazgatóság szakmai irányításával, a Smaragd GSH Kft. koordinálásával és munkájával, külső szakértők közreműködésével valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Alföldi L., Kapolyi L. szerk. (2007). Bányászati karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-középhegységben. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.

Ballabás G. (2004). Visszatérő karsztforrásokkal kapcsolatos településfejlesztési és környezetvédelmi lehetőségek és veszélyek Tata város példáján. Geográfus Doktoranduszok VIII. Országos Konferenciája. Szeged. SZTE TTK Természeti és Geoinformatikai Tanszék. CD kiadvány, <https://docplayer.hu/2985296-Visszatero-karsztforrasokkal>

kapcsolatos-településfejlesztési-es-környezetvédelmi-lehetosegek-es-veszelyek-tata-varos-peldajan-ballabas-gabor-1.html és http://geogr.elte.hu/TGF/TGF_Cikkek/ballabas2.pdf

Csepregi A. (2007). A karsztvíztermelés és hatása a Dunántúli-középhegység vízháztartására. In: Szerk: Alföldi L. Kapolyi L. A bányászati karsztvízszint süllyesztés a Dunántúli-középhegységben. pp. 77-112.

Horváthy L., Lénárt L. (2009). Tata, Fényes-fürdő, fakadó ásványvizek okozta havaria-helyzet - a megoldása annak gazdasági értékei mentén. Miskolci Egyetem Közleménye. A sorozat. Bányászat. 77. kötet. pp. 47-64.

Hydrosys Kft. (2013). Víz- és Környezetvédelmi Fejlesztő Szolgáltató Kft. A Dunántúli-középhegység főkarsztvíztárolójának 2013. évi állapotértékelése. Jelentés. KDTVIZIG adattár.

Hydrosys Kft.- Smaragd GSH Kft. (2015). A Dunántúli-középhegység karsztos víztestjei. Vízügytő-Gazdálkodási Terv. Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása. 6-4-5 háttéranyag. Jelentés. OVF adattár.

Maller M. (2012). Tata városközpont forrásainak hidrológiai vizsgálata, diplomamunka. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Maller M. (2018). A tatai Fényes-források összes vízhozamának meghatározása, Hidrológiai Közöny, 98. évfolyam, 4. szám. pp. 17-23.

Országos Vízügyi Főigazgatóság (2017). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése, KEHOP-1.1.0-15-2017-00010, feladat kiírás. Kézirat.

Sashegyi L. (1976). A karsztforrások megszűnése utáni állapot Tata térségében. Hidrológiai Tájékoztató. pp. 29-32.

Schmieder A., Szilágyi G. (1988). Dunántúli-középhegység főkarsztrendszerének terhelése és terhelhetősége. Bányászati és Kohászati Lapok 121. évf. 2. különszám. pp. 72-89.

Smaragd GSH Kft. (2019). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Források felmérése, forráskataszter készítése zárodokumentáció. Jelentés.

Smaragd GSH Kft. (2020a). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése. KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Vízháztartási modellezés és állapotértékelés – I. kötet. A vízháztartási modell alapjául szolgáló földtani modell és a vízmérleg elemek bemutatása, valamint a karsztvízszint hosszú távú alakulása. Jelentés.

Smaragd GSH Kft. (2020b). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotörögztítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Vízháztartási modellezés és állapotértékelés – II. kötet. A regionális numerikus hidrodinamikai modellezés menetének és eredményeinek bemutatása. Jelentés.

Smaragd GSH Kft. (2020c). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapot-rögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Vízháztartási modellezés és állapot-értékelés – III. kötet. A karsztvíztároló állapotának összefoglaló értékelése. Jelentés.

Smaragd GSH Kft. (2020d). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapot-rögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Veszélyeztetett területek lehatárolása. Jelentés.

Smaragd GSH Kft. (2021). A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapot-rögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Lokális modellek készítése, Tata lokális modell. Jelentés.

Tóth M. (2002). A tatai források visszatérésének prognózisa, *Vízügyi Közlemények* LXXXIV. évfolyam, 2. füzet. pp. 194-213.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



Forrásfakadási helyek víznyomjelzések vizsgálata Tatán, a Fényes-források területén, a Sarki-forrás tóban (Készítette: Lénárt)

Tartózkodási idő vizsgálata csápos kutak esetében

Nyiri Gábor*, Kovács Balázs*, Zákányi Balázs*, Szűcs Péter***

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: hgnyg@uni-miskolc.hu)

** MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet

Kivonat

Magyarországon a parti szűrésű rendszereken alapuló ivóvízellátás aránya 35-40%, de a távlati ivóvízbázisaink jelentős része is ilyen rendszerekre települ. Ezen vízbázisok fontos paramétere az elérési – vagy más szemszögből megközelítve – a tartózkodási idő, amely megmutatja, hogy a folyóból adott pillanatban a vízáradóba jutó vízrészecske mennyi idő alatt éri el a termelőkutakat, valamint ebből kifolyólag mennyi ideig tartózkodik a vízáradó rétegben a szűrési fázis alatt. Munkánkban a parti szűrésű vízbázisok jellemző víztermelő műtárgyával, a csápos kutakkal foglalkozunk részletesebben, amelyek a magyarországi parti szűrésű vízbázisok termelésében kiemelt szerepet játszanak. Előnyük a függőleges kutakkal szemben, hogy a horizontális kialakítással egy kút telepítése esetén megnövekszik a hasznos szűrőfelület, így nagy mennyiségű víz kitermelésére alkalmasak. Ezen kúttípusok esetében speciális kialakításuk miatt az elérési-, illetve a tartózkodási idő értelmezése nem magától értetődő. Tanulmányunkban véges differencia módszert alkalmazva vizsgáljuk a csápos kutakhoz tartozó tartózkodási időt és annak változását.

Kulcsszavak

Parti szűrés, csápos kút, elérési idő, tartózkodási idő, MODFLOW modell.

Investigation of residence time in case of horizontal collector wells

Abstract

In Hungary, the proportion of drinking water supplied by riverbank filtration systems can reach 35-40%, however a significant part of our long-term perspective drinking water bases also relies on this type of groundwater. An important parameter of these water bases is the access time – or approached from a different perspective – the residence time, which shows how long it takes for the water particle seeping into the aquifer from the river at a given moment to reach the production well and, as a result, how long it stays in the aquifer layer during the filtration process. In our work we deal with the characteristic water-producing artefact of riverbank filtered water bases, the horizontal collector wells, which account for a significant proportion of the production of riverbank filtered water bases in Hungary. Their advantage over vertical wells is that with the horizontal design, when installing a well the useful filter surface increases, so they are suitable for extracting a large amount of water. In the case of these types of wells – due to their special design – the interpretation of the reach and residence time is not self-evident. In our study, we use the finite difference method to examine the residence time of horizontal collector wells and its changes.

Keywords

Riverbank filtration system, horizontal collector well, access time, residence time, MODFLOW model.

BEVEZETÉS

Parti szűrés során a felszíni víz közelében telepített víztermelő műtárgyak (aknakút, csőkút, csápos kút, galéria) segítségével vizet termelünk, amely során depressziós tér alakul ki a kutak környezetében. A víztermelés eredményeképpen a műtárgy környezetében a hidraulikus gradiens is változik (Rózsa 2000, Kármán 2013). A hidraulikus gradiens változásával szivárgás indul meg a folyó és a háttér felől egyaránt. Megfelelő mederkapcsolat esetén a folyó felől nagyobb arányban (több, mint 50%-ban) történik az utánpótlódás, ekkor beszélhetünk parti szűrésről (Ray és társai 2002). A folyamat során olyan természetes szűrési folyamat alakul ki a felszín alatti üledékes közegben, amelyek eredményeképpen a termelt víz akár ivóvíz minőségűre is tisztulhat. A parti szűrésű vízbázis jogszabályban megfogalmazott definíciója a következő: „felszíni víz közelében lévő felszín alatti vízbázis, melyben a vízkivételi művek által termelt víz utánpótlódása 50%-ot meghaladó mértékben a felszíni vízből történő beszivárgásból származik” (123/1997 (VII. 18.) Korm. rendelet). Tehát a jelenlegi jogszabályi környezet nagymértékben támaszkodik a folyóhányad mértékére, de nem tárgyalja az elérési időt, ami alatt a vízrészecske a folyóból a termelőkútig eljut. A jogszabályban lévő fogalom tehát nem köti elérési időhöz a parti szűrés fogalmát, azonban ezen rendszerek biztonságos üzemeltetése

esetében fontos tudnunk azt, hogy az adott vízrészecske milyen úton és mennyi idő alatt éri el a termelőkutakat, vagyis fontos ismernünk azt, hogy a termelt víz mennyi ideig tartózkodik a vízáradó rétegben. A tartózkodási idő magasabb értéke esetén ugyanis a víztermelő rendszer kedvezőbb vízminőséget biztosít számunkra (Öllös 1998).

ALKALMAZOTT MÓDSZER

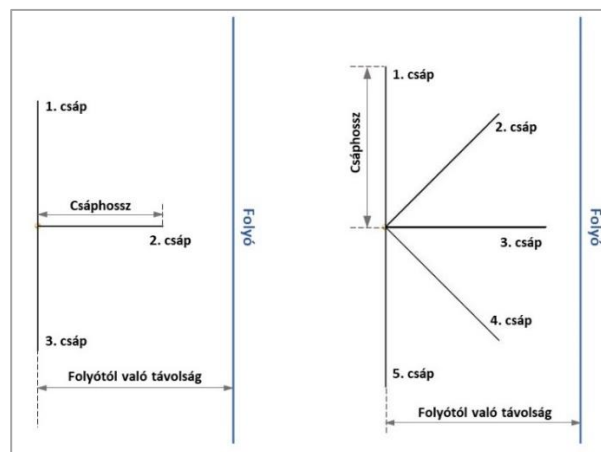
Munkánkban a hidrodinamikai modellezés eszközt választva vizsgáltuk a csápos kutakhoz tartozó elérési időt. A számításokhoz a Groundwater Modeling System 10.1-es verzióját alkalmaztuk, a szimulációkat MODFLOW környezetben végeztük el. A véges differencia módszert alkalmazó MODFLOW szoftver egyik modulja a Revised Multi-Node Well (MNW2) csomag, amelyet több szinten szűrőzött kutak, horizontálisan, valamint ferdén fúrt kutak hidraulikai modellezésére fejlesztettek ki (Konikow és társai 2009). Korábbi munkáinkban már igazoltuk, hogy ezen modul alkalmas a csápos kutak radiális kialakítását is kezelni, ezáltal megbízhatóan használható csápos kutak hidraulikai szimulációjára is (Nyiri és társai 2019, Székely és társai 2021). A tartózkodási idő vizsgálata a MODFLOW MODPATH moduljával történt, amely a vízrészecskék útjának és vízáradóban eltöltött idejének követését teszi lehetővé (Kovács 2004). Az elérési idő fogalma alatt klasszi-

kus értelemben véve azt az időtartamot értjük, ami alatt a folyó medréből a vízadó rétegbe belépő vírzészecske a függőleges kút szűrőjéig, vagyis a kút által meghatározott henger palástjáig elér. Csápos kutak esetében viszont a kút geometriája miatt ez a megközelítés nem alkalmazható. A csápok különböző irányban, hosszban és magasságban történő kihajtása miatt a szűrőfelület nem egy függőleges hengerpalásstal, hanem vízszintesen orientált, több irányban kinyúló hengerpalásstal közelíthető. Ennek vizsgálatára korábbi munkánk folytatásaként (Nyiri és társai 2019) olyan elméleti modellt építettünk, aminek segítségével a termelt hozam és a folyó kölcsönhatása figyelhető. A modell főbb paramétereit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. Az alkalmazott modell főbb paramétereit
Table 1. Main parameters of the applied model

Modellparaméter	Érték
Modell vastagsága (m)	24
Modell hossza K-Ny irányban (m)	850
Modell hossza É-D irányban (m)	600
Folyó szélessége (m)	250
Folyó mélysége (m)	12
Mederkapcsolati hatásfok (m ² /nap)/(m ²)	170
Csápok mélysége (m)	21
Csápos kút hozama (1. eset) (m ³ /d)	60 000
Csápos kút hozama (2. eset) (m ³ /d)	40 000
Csápos kút hozama (3. eset) (m ³ /d)	20 000
Csáphossz (m)	60
Csápok belső sugara (m)	0,15
Szivárgási tényező (m/s)	$1,7 \times 10^{-3}$
Vertikális anizotrópia (K_h/K_v) (-)	1

A modellszámítások során két kúttípust alkalmaztunk (1. ábra). A kúttípusok közös jellemzője, hogy a csápok a folyó felé, vagy a folyóval párhuzamosan vannak kihajtva, a háttér felé nincs kialakítva csáp, valamint alkalmazásuk gyakorinak mondható a parti szűrős rendszerek víztermelésénél (Houben és társai 2021). Ezen csápelrendezés használata akkor kerül előtérbe, amikor a folyó felőli utánpótlódást kívánjuk megnövelni (Moore és társai 2011). Ezen kúttípusok kiválasztásának másik oka, hogy a véges differencia módszerrel alkalmazott rácsháló ezen csápirányok esetén fedi le egyértelműen a csápokat, ezáltal biztosítva azt, hogy a cellákban a vízforgalom egyértelműen definiálható legyen. A kutak elhelyezéséről elmondható, hogy a kútakna a modellezett terület közepére került, ezáltal minden csáp a cellák közepén halad át. A közepre történő elhelyezés biztosítja a modell szimmetriáját, tehát a hozamértékek és a kialakuló áramvonalak a modell Kelet-Nyugat irányú középvonalára szimmetrikusak. A szimulált csápos kutak csápjai 60 m hosszúak, átmérőjük pedig 0,3 m. Ezen kúttípusok folyóhoz viszonyított helyzetét 10 m és 80 m-es intervallumban változtattuk. Ezzel a vizsgálattal elsősorban a folyóhoz közeli régióban történő változásokat szeretnénk volna követni, mivel ezekben a távolságokban érvényesülhet legmarkánsabban a folyó hidraulikai hatása. A csápos kút és a folyó elrendezésének sematikus vázlatát az 1. ábra mutatja.



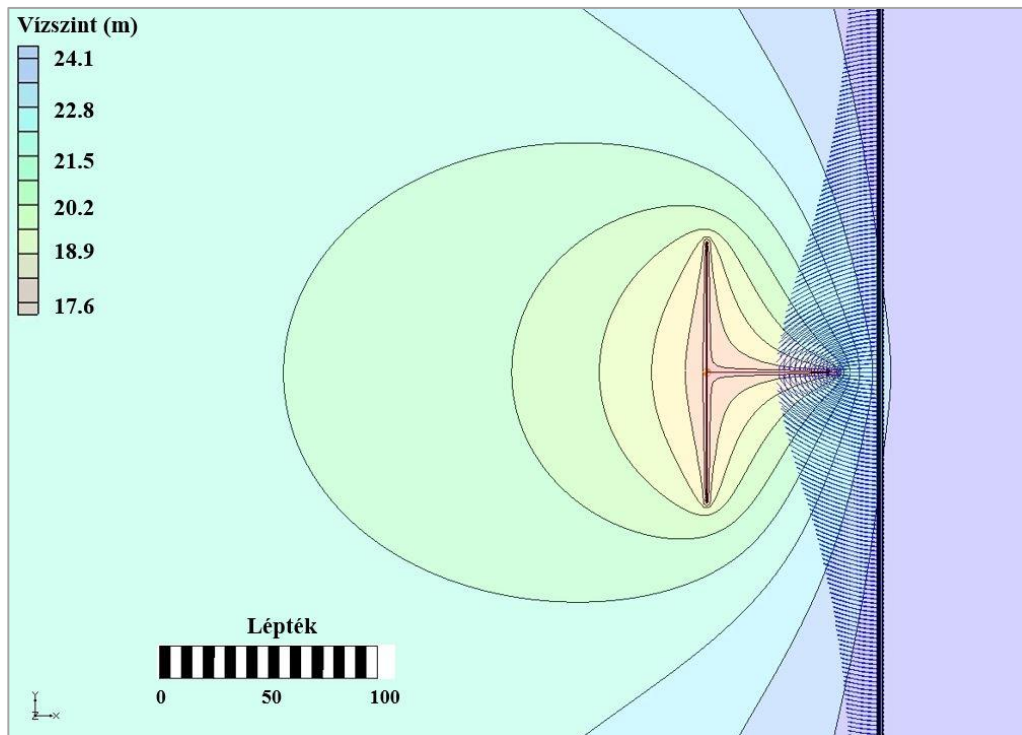
1. ábra. A vizsgált csápos kúttípusok csápjainak elrendezése
Figure 1. The arm-layout of the investigated well types

A MODELLSZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI

A parti szűrős rendszerekre telepítendő kutak esetében több tényező befolyásolja a kitermelhető hozamot, a kialakuló potenciálszinteket, valamint a termelt víz vízadóban eltöltött idejét. A fenntartható módon kitermelhető vízmennyiséget befolyásolja maga a földtani környezet, ahova az adott csápos kút telepítjük, a kút műszaki kialakítása, valamint a folyóhoz viszonyított helyzete. Ezek közül a földtani adottság egy olyan tényező, amelyet csak nagyon kis mértékben, vagy egyáltalán nem tudunk megváltoztatni. Ilyen tulajdonság a vízadó réteg szivárgási tényezője, porozitása, a mederkapcsolati hatásfok, az inhomogenitás stb. Egy új kút telepítésénél azt tudjuk megadni, hogy milyen távol legyen a kútakna a folyótól, valamint a csápokat milyen számban, irányban és hosszban hajtsuk ki. Megválaszthatjuk továbbá a kút üzemelése során termelt hozamot, amely a vízigényekhez kell, hogy igazodjon. Ezen műszaki paraméterek optimális megválasztásával el tudjuk azt érni, hogy a csápos kút üzemelése során kedvező hidraulikai körülmények alakuljanak ki. Ilyen optimális körülmény lehet például, hogy a kút kevés vizet termeljen a háttérből és a vízadóban való minimális tartózkodási idő kritériuma is teljesüljön. A csápos kutak telepítése esetén az alábbi követelményeket támasztjuk tehát az üzemelő rendszerrel szemben:

- képes legyen a vízigény kielégítésére,
- a háttérből származó víz aránya alacsony legyen,
- a termelt víz töltsön elég időt a vízadó rétegben annak érdekében, hogy a parti szűrés folyamata a legnagyobb tisztítási hatásfokkal működjön.

A megfelelő kialakítás megválasztásához azonban tudnunk kell, hogy milyen mechanizmusok játszódnak le a csápok számának és irányának változtatása esetén, illetve a folyótól való távolság változtatásának esetén. Munkánk során ezen mechanizmusokra próbáltunk rávilágítani. Első lépésként a folyóból indított vírzészecskék útvonalát vizsgáltuk meg, amelynél rögtön szembetűnik az a jelenség, hogy a folyóból indított vírzészecskék nem egy időpontban érik el a csápokat. Lesz olyan vírzészecske, ami hamar odaér a csáp falához és van olyan, ami hosszabb időtartamot tölt a vízadó rétegben. Ezt a jelenséget szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. A vízrészecskék 1 nap alatt megtett útjának áramvonalai a 3 csáppal rendelkező kút esetében
 Figure 2. Pathlines of water particles in 1 day in the case of a well with 3 arms

Ha egy csápos kúthoz tartozó tartózkodási időt szeretnénk meghatározni, akkor az könnyen belátható, hogy a legrövidebb idő alatt eljutó vízrészecske tartózkodási ideje fontos, azonban nem elégséges paraméter, hiszen ennek segítségével nem jellemezhető teljes mértékben a termelt víz tartózkodási ideje. Ennek oka egyrészt, hogy a csáp mentén nem konstans a beáramló hozam (*Houben és társai 2021, Székely és társai 2021*), másrészt a különböző irányban kihajtott csápok különböző szakaszai más-más távolságokban vannak a folyótól. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy a következő tényezők befolyásolják az adott csápszakaszhoz tartozó elérési időt:

- a csápszakasz folyótól való távolsága,
- a csápszakasz által termelt hozam.

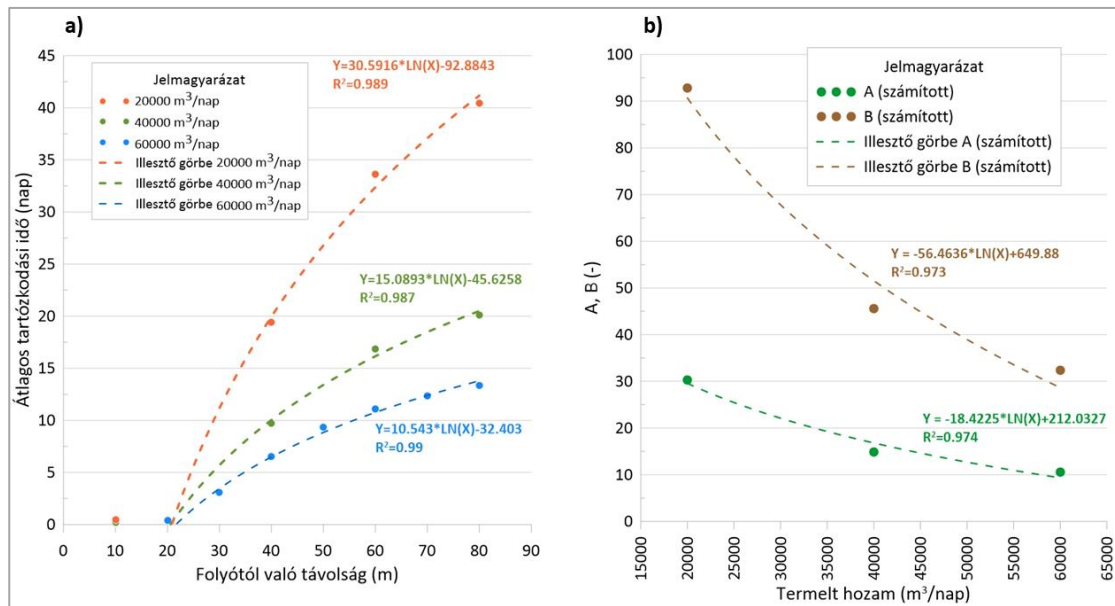
A modellben cellánként vizsgált tartózkodási idő értéke fontos, azonban önmagában nem ad elégséges információt a kútaknába beérkező és onnan kitermelt víz vízadó rétegben eltöltött tartózkodási idejéről. Ahhoz, hogy egy jellemző paramétert kapjunk a termelt víz tartózkodási idejéről, figyelembe kell vennünk az adott csápszakasz által kitermelt hozamot is. A modellezés során elég sűrű cellaosztás esetén meghatározható az adott cella vízforgalma. A vízforgalom meghatározása mellett lehetőség adódik az adott cellából vízrészecskéket indítani a tartózkodási idő meghatározásához. Ha tudjuk, hogy az adott csápos kút milyen hozamot termel és a hozam hogyan oszlik el a csápok mentén, akkor megtehetjük azt, hogy a cellákhoz tartozó tartózkodási időt ezzel a hozammal súlyozzuk. Ezáltal

megkaphatjuk a kútaknából termelt kevert víz átlagos tartózkodási idejét. Ez a paraméter információt ad számunkra a kútaknából kitermelt kevert víz vízadóban eltöltött idejéről. Az átlagos tartózkodási idő kiszámításának matematikai összefüggését az alábbi összefüggés adja meg.

$$T_{\text{átl}} = \frac{\sum q_{i,j} \cdot t_{i,j}}{\sum q_{i,j}} \text{ [nap]} \quad (1)$$

ahol $T_{\text{átl}}$ – átlagos tartózkodási idő, $q_{i,j}$ – i -edik csáp j -ik cellájának hozama, $t_{i,j}$ – pedig az i -edik csáp j -ik cellájához tartozó tartózkodási idő.

Munkánk folytatásaként az átlagos tartózkodási idő változását vizsgáltuk a folyótól való távolság függvényében. Célunk az átlagos tartózkodási idő jelleggörbéjének meghatározása volt. A csápos kút folyótól való távolságának növelésével a folyónak egyre kisebb hatása van a csápok által kialakított potenciáeloszlásra és ezáltal a tartózkodási időre. A csápos kutakból történő vízmintavétel esetén ritkán és csak megfelelő körülmények esetén van lehetőségünk a csápokból vízmintát venni. Az „üzemszerű” vízmintavételek a kútaknában történnek, ami azt eredményezi, hogy a vízminta vízminőség és tartózkodási idő szempontjából kevert víz lesz. Ezért tehát az átlagos tartózkodási idő egy jó paraméter annak becslésére, hogy milyen tartózkodási idővel jellemezhető a kútaknából kitermelt kevert víz. A három csáppal rendelkező kút esetében a 3. ábra mutatja az átlagos tartózkodási idő folyótól való távolságának függvényét, valamint a függvény paramétereinek változását a hozam függvényében.



3. ábra. A három csáppal rendelkező csápos kúthoz tartozó átlagos tartózkodási idő jelleggörbéje (a), valamint a jelleggörbét leíró függvény A és B paramétereinek változása (b) a termelt hozam függvényében

Figure 3. Characteristic curve of the average residence time for a horizontal collector well with three arms (a) and the change in parameters A and B of the function describing the characteristic curve (b) as a function of the produced yield

A 3a. ábra esetében 30 m távolságban egy hirtelen emelkedést figyelhetünk meg az átlagos tartózkodási idő értékében. Ennek oka, hogy a kút olyan távolságban van, ahol már érezhető a folyó hidraulikai hatásának csökkenése. Ebben a távolságban a csápok egymásra hatása olyan jelenséget indukál, amely folytán a folyóra merőlegesen kihajtott csáp „aktiválja” a háttérből érkező talajvízes áramlást. Ez a hatás megnöveli a kútakna környezetében a tartózkodási idő értékét, és ezáltal növeli az átlagos tartózkodási időt. Tovább távolodva az átlagos tartózkodási idő monoton növekszik, azonban itt már egy logaritmus jellegű növekedést láthatunk. A logaritmus jelleg mutatja a folyó hidraulikai hatásának csökkenését. A számított értékek változását két részre kell bontanunk annak érdekében, hogy meg tudjuk határozni az átlagos tartózkodási idő folyótól való távolságának függvényét. A folyóhoz közel eső rész egy minimális átlagos tartózkodási idővel jellemezhető, amely egészen addig tart, amíg a folyó hidraulikai hatása lecsökken annyira, hogy a folyóval párhuzamos csápok kútaknához közeli szakaszából induló áramvonalak a háttér felé indulnak el.

A 4. ábrán látható az öt csáppal rendelkező csáposkút átlagos elérési idejének változása a folyótól való távolság függvényében, több hozamértékkel számolva. Ugyanezen ábra b) része mutatja a függvény A és B paramétereinek változását a hozam függvényében. A jelleggörbe trendje az előző esethez hasonló. A folyóhoz közel minimumértéket vesz fel az átlagos tartózkodási idő értéke. Az átlagos tartózkodási idő értékének markáns növekedése itt a folyóhoz közelebb következik be, mint az előző, három csáppal rendelkező kút esetében. Ennek oka, hogy a folyó felé több csáp van kialakítva, amelyek a kútakna környezetében nagyobb depressziót okoznak, ezáltal kisebb távolságban is tapasztalható a háttér felé beáramlás. Ennek következménye, hogy kisebb távolságban érzékelhető az átlagos tartózkodási idő megemelkedése. A vizsgált két csápos kúttípus esetében elmondható, hogy az átlagos tartózkodási idő jelleggörbéje logaritmus emelkedést mutat és az alábbi függvénnyel leírható:

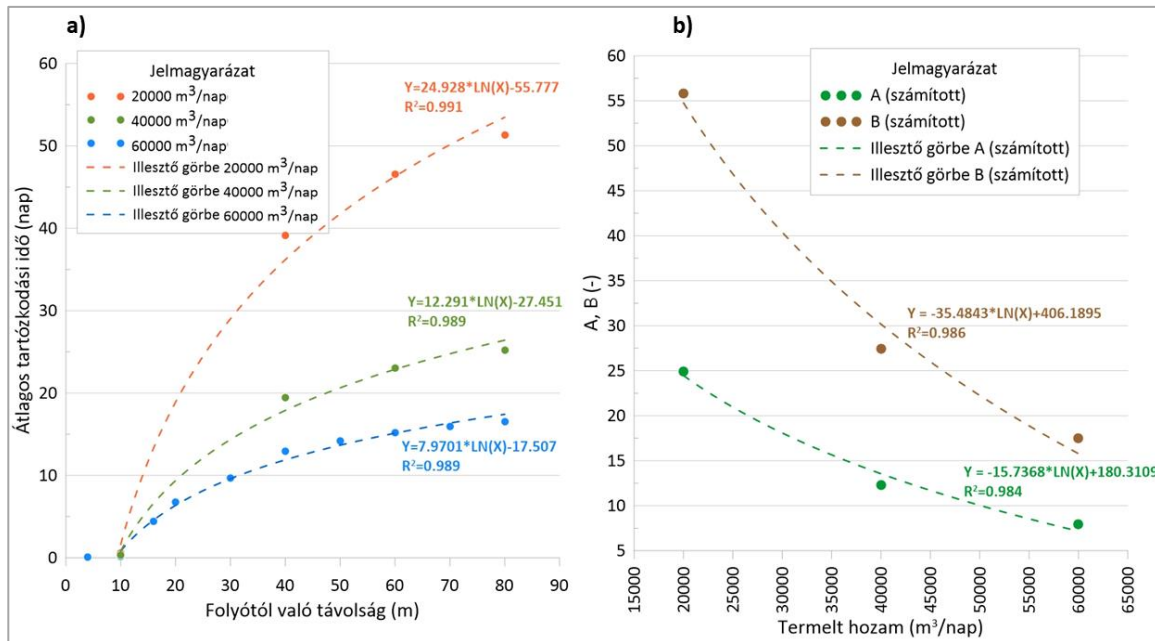
$$f(x) = A \cdot \ln(x) - B \quad (2)$$

A fenti függvény egy természetes alapú logaritmus függvény, amely két paraméterrel jellemezhető. Az A paraméter a függvény meredekségét hivatott jellemezni, míg a B paraméter megmutatja, hogy a függvény értéke mennyi lesz az $x=1$ helyen. Mindkét paraméter függvénye a termelt hozamnak, amely ugyancsak egy természetes alapú logaritmus függvénnyel jellemezhető (3b. és 4b. ábra).

Mindezek alapján sikerült meghatározni egy olyan eljárást, amellyel az általunk vizsgált csápos kúttípusok termelése során becsülhető az átlagos tartózkodási idő mértéke. Az átlagos tartózkodási idő meghatározása a vizsgált körülmények között az alábbi lépésekből áll:

1. Csápos kúttípus kiválasztása.
2. A termelt hozam megválasztása.
3. A 3b. valamint a 4b. ábrák segítségével az átlagos tartózkodási idő függvény A és B paramétereinek meghatározása.
4. A meghatározott A és B paraméterek segítségével átlagos tartózkodási idő függvény definiálása.
5. A megfelelő távolság megválasztása annak érdekében, hogy a csápos kút termelése során a megfelelő mértékű tartózkodási idő rendelkezésre álljon.

Ennek a rendszernek tulajdonsága, hogy permanens állapotban jellemzi az átlagos tartózkodási idő értékének változását a folyótól való távolság függvényében. Ez alkalmazkodik a kutak védőterületéhez kapcsolódó szabályozáshoz is, hiszen a védőterület meghatározása is permanens állapotban történik. Ennek a rendszernek a hiányossága, hogy vizsgálataink során a vízadó szivárgás-hidraulikai paramétereit, a mederkapcsolati hatásfokot nem változtattuk, így az átlagos tartózkodási idővel kapcsolatos további kutatási feladataink is kijelöltek tekinthetők. Ezen további vizsgálatok célja az is, hogy megismerjük a módszer különböző parti szűrészű területeken való alkalmazhatóságát.



4. ábra. Az öt csáppal rendelkező csápos kúthoz tartozó átlagos tartózkodási idő jelleggörbéje (a), valamint a jelleggörbét leíró függvény A és B paramétereinek változása (b) a termelt hozam függvényében

Figure 4. Characteristic curve of the average residence time for a horizontal collector well with five arms (a) and the change in parameters A and B of the function describing the characteristic curve (b) as a function of the produced yield

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a parti szűrésű rendszerek egyik fontos paraméterének, a tartózkodási időnek a vizsgálatát tűztük ki célul. A csápos kutak speciális kialakítása okán a tartózkodási idő nem jellemezhető egy értékkel. A legrövidebb tartózkodási idő mellett az átlagos tartózkodási idő értéke is fontos számunkra, hiszen a kútaknába beérkező kevert vízre vonatkozóan ez az érték ad releváns információt. Vizsgáltuk az átlagos tartózkodási idő változását a folyótól való távolságának függvényében két kúttípus esetében. Megállapítható, hogy az átlagos tartózkodási idő logaritmikus jellegű változást mutat a folyótól távolodva. Ezen függvény hozamtól függő A és B paramétereinek változását is meghatároztuk. Mindezek által felépíthető egy olyan módszer, amely segítségével a csápos kutak átlagos tartózkodási ideje becsülhető. Az első modellezési munkák homogén, izotróp közegben kerültek kivitelezésre. Jövőbeli vizsgálati irányaink között szerepel az anizotrópia átlagos tartózkodási idő jelleggörbére gyakorolt hatásának vizsgálata, valamint más csápelrendezéssel rendelkező csápos kutak vizsgálata. Ezen további vizsgálatok elengedhetetlenek annak érdekében, hogy különböző területeken megismerjük a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a 2018-1.2.1-NKP-2018-00011 azonosító számú „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztóig” című projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

123/1997. (VII. 18) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási munkák védelméről.

Houben, G.J., Collins, S., Bakker, M., Daffner, T., Triller, F., Kacimov, A. (2021). Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells, *Hydrogeology Journal*, <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02425-w>

Kármán K. (2013). A parti szűrésű vízbázisok és jelentőségük. *Magyar Tudomány*. 174(3). pp. 1300-1307.

Konikow, L.F., Hornberger, G.Z., Halford, K.J., Hanson, R.T., Harbaugh, A.W. (2009). Revised multi-node well (MNW2) package for MODFLOW ground-water flow model. *Techniques and Methods 6–A30*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. p. 67.

Kovács B. (2004). Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben). Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék. GAMA-GEO Kft. ISBN 963 661 636 1.

Moore, R., Kelson, V., Wittman, J., Vern, R. (2011). A modeling framework for the design of collector wells. *Ground Water*, 50(3). pp. 355-366.

Nyiri G., Székely F., Zákányi B., Szűcs P. (2019). Horizontális és csápos kutak hidraulikai modellezése különböző számítási eljárások segítségével. *Hidrologiai Közönlöny*. 99. szám 4. kötet. pp. 35-41.

Öllös G. (1998). *Víz tisztítás – Üzemeltetés*. Egri nyomda Kft. ISBN 9639060 23 2. p. 965.

Ray C., Grischek T., Schubert J., Wang J., and Speth T.F. (2002). “A perspective of riverbank filtration.” *J. Am. Water Works Assoc.*, 94(4). pp. 149–160.

Rózsa A. (2000). Beszivárgás vizsgálatok a Szentendrei-Duna medrében. *Hidrologiai Közönlöny*. 80. évfolyam 2 szám. pp. 119-125.

Székely F., Nyiri G., Szűcs P., Zákányi B. (2021). Analytically supported numerical modeling of horizontal and radial collector wells. *Journal of Hydrologic Engineering*. 26(12).

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

A Tokaji-hegység komplex hidrogeológiai modellje

Fejes Zoltán*, Fekete Zsombor**, Szűcs Péter***

* BorsodChem Zrt., 3700Kazincbarcika, Bolyai tér 1. (E-mail: zoltan.fejes87@gmail.com)

** Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: hgzsom@uni-miskolc.hu)

*** Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (E-mail: hgszucs@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A Tokaji-hegység Magyarország északkeleti részén fekvő vulkanikus eredetű hegységünk, mely főként a hazai borkultúra egyik kiemelt zászlóshajójaként vált ismertté. A területen található számos bánya miatt sekély földtanáról igen részletes ismeretanyaggal rendelkezünk, de a mélyebb rétegek hidrogeológiai és geotermikus tulajdonságairól sajnos kevés információval bírunk. A hegység területén végzett néhány vízföldtani kutatástól eltekintve nem történt összefüggő elemzés a hegység áramlási viszonyairól, sem a geotermális vízkutatás, sem a potenciális ivóvízkészlet mennyiségi és minőségi felmérését illetően. A Tokaji hegységben eddig elvégzett geotermikus, geofizikai, geokémiai és hidrogeológiai vizsgálatok, valamint a Miskolci Egyetem által lebonyolított „Kútfő” Projekt során elvégzett számos területet magába foglaló komplex kutatás eredményeinek felhasználásával fő célunk egy olyan regionális nagyságú hidrogeológiai modell elkészítése volt, mely alkalmas a hegység vízmérlegének és áramlási rendszereinek meghatározására. Az összegyűjtött adatok és a területről szerzett ismereteink alapján elkészítettük a hegység koncepcionális áramlási modelljét, háromdimenziós földtani modelljét, majd annak felhasználásával a hidrogeológiai modellt is. Ez a hidrogeológiai modell képezi az alapját a hegység vízföldtani szempontú értelmezésének, így lehetőségünk nyílik átlátni a regionális viszonyokat is, melyek segítségével segíthetnek a későbbi geotermikus kutatásokban, valamint a Tokaji-hegység pontosabb vízmérlegének kialakításában. A modell segítségével meghatározhatóak a további termálvízkutatás szempontjából kiemelt potenciállal bíró területek, a fenntartható módon kinyerhető hideg- és termálvíz vízkészletek, a felszín alatti víztestek pontos alakja, a hegység felszín alatti kinyerhető vízkészleteinek vízmérlege. A felszín alatti víztestek pontosítása és egy a valóságnak megfelelő vízmérleg felállítása kiemelten fontos feladat a jövő számára, hiszen a klímaváltozás okozta egyre hosszabb aszályos időszakok hatásainak enyhítéséhez elengedhetetlen a kinyerhető felszín alatti vízkészleteink megfelelő ismerete.

Kulcsszavak

Tokaj, geotermikus, vízmérleg, víztest, termálvíz, hidrogeológiai modell.

Complex hydrogeological model of the Tokaji Mountains

Abstract

The Tokaji Mountains are our volcanic mountains in the north-eastern part of Hungary, which have become known as one of the most important flagships of Hungarian wine culture. Due to the many mines in the area, we have very detailed knowledge of its shallow geology, but unfortunately, we have little information about the hydrogeological and geothermal properties of the deeper layers. Apart from some hydrogeological research in the mountains, no coherent analysis has been made of the flow conditions in the mountains, neither in terms of geothermal water research nor in terms of quantitative and qualitative assessment of potential drinking water resources. Using the results of the geothermal, geophysical, geochemical, and hydrogeological studies carried out in the Tokaji Mountains and the complex research carried out during the „WELL aHEAD” Project managed by the University of Miskolc, our main goal was to create a regional hydrogeological model suitable for determining the water balance of the mountains. Based on the collected data and our knowledge of the area, we created a conceptual flow model of the mountains, a three-dimensional geological model, and then the hydrogeological model using these. This hydrogeological model forms the basis for the hydrogeological interpretation of the mountains, so we can see the regional conditions, which can help in future geothermal research and the development of a more accurate water balance in the Tokaji Mountains. With the help of the model, it is possible to determine the areas with high potential for further thermal water research, the cold and thermal water resources that can be extracted in a sustainable way, the exact shape of the groundwater bodies, and the water balance of the groundwater resources that can be extracted in the mountains. The refinement of groundwater bodies and the establishment of a realistic water balance are of paramount importance for the future, as adequate knowledge of our extractable groundwater resources is essential to mitigate the effects of the prolonged droughts caused by climate change.

Keywords

Tokaj, geothermal, water balance, water body, thermal water, hydrogeological model.

BEVEZETÉS

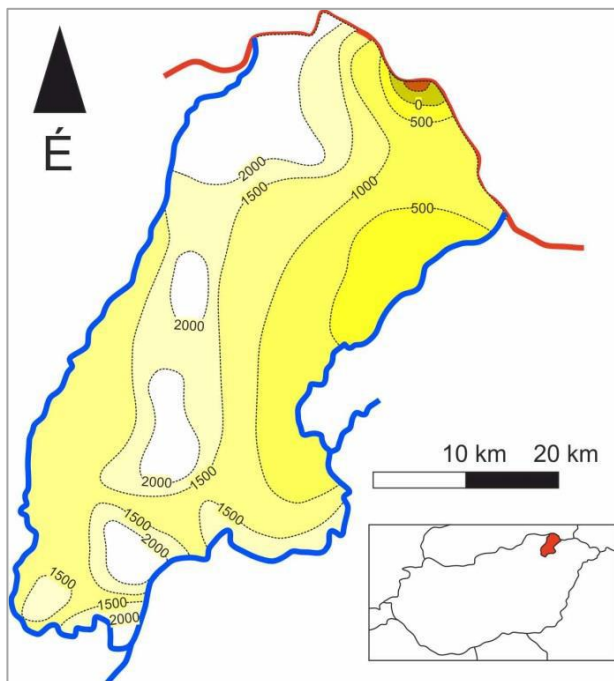
A Tokaji-hegység, bár borászati szempontból kiemelt jelentőségű, de turisztikai jelentősége sajnos az utóbbi évtizedekben nem fejlődött kiemelt mértékben. A hegység településeinek az utóbbi évtizedekben többször próbáltak olyan fejlesztéseket végrehajtani, melyek célja a terület turisztikai és gazdasági potenciáljának növelése volt. Az egyik kiemelt fejlesztési lehetőség a terület geotermikus potenciáljának a kihasználása, mivel az itt található termálvízkészletek komoly balneológiai, illetve egyéb gazdasági lehetőségeket hordoznak. A kellően részletes termálvízkutatás egyik leg-

nagyobb hátráltató tényezője a hegység előzetes komplex geotermikus és hidrogeológiai vizsgálatainak hiánya. A hegység területén elvégzett néhány vízföldtani kutatástól eltekintve nem történt részletes vizsgálat az áramlási viszonyokra sem a geotermális vízkutatás, sem a potenciális ivóvízkészlet mennyiségi és minőségi felmérését illetően. A Tokaji-hegység valódi geotermikus potenciáljának feltérképezése és összefoglalása érdekében elengedhetetlené vált egy regionális léptékű ismeretanyag és komplex hidrogeológiai modell elkészítése, mely komoly alapot nyújt a jövőbeli termálvízkutatások és vízhasználatok számára.

KUTATÁSI TERÜLET BEMUTATÁSA

A Tokaji-hegység Magyarország északkeleti részén fekvő vulkanikus eredetű hegység, mely nem rendelkezik egyértelmű természetes határokkal minden irányból. A hegység tovább folytatódik Szlovákiában egészen Eperjesig. A magyarországi részét a geológusok Tokaji-hegységnek (a geográfusok szerint Zempléni-hegység), míg a Szlovákiában húzódó részt Szalánci-hegységnek nevezik. A kutatásunkban a hegység Magyarországra eső részét vizsgáltuk. Vizsgálataink során, ahol csak lehetőségünk volt rá, a kutatási terület kijelölésénél figyelembe vettük a hegység természetes határvonalait. Nyugati irányból a Hernád-folyó, délről a Sajó- és a Tisza-folyók, keletről a Bodrog-folyó jelöli ki a hegység természetes határait. Északi irányból csupán egy mesterséges határvonalat jelöltünk ki, mely egybeesik a Magyar-Szlovák országhatárral.

A Tokaji-hegység földtani felépítése rendkívül sokszínű, bonyolult összetételű. Az alaphegység mélységi elhelyezkedése az eddigi fúrási tapasztalatok alapján nem egyértelmű, azonban a területről több medencealjzati térkép is készült, melyek alapján elmondható, hogy a hegység kb. 1 500-2 000 méteres mélységbe zökkent a Hernád-vonaltól keletre. A legpontosabb képet az alaphegység elhelyezkedéséről a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) által 1991-ben készített Zempléni-hegység regionális geofizikai kutatási programja szolgáltatja, ahol nagy behatolású geofizikai módszerek jó becslést adtak a medencealjzat helyzetéről (1. ábra) (Zalai 1991).



1. ábra. A Tokaji hegység alaphegységének mélységi elhelyezkedése (Zalai 1991 alapján Fejes módosítása)

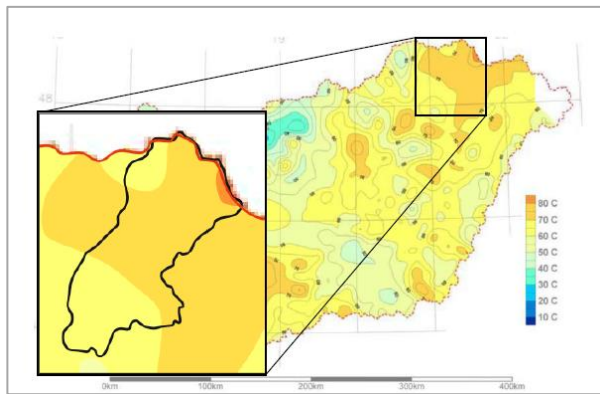
Figure 1. Depth location of the base mountain of the Tokaji Mountains (modified by Fejes based on Zalai 1991)

Az alaphegység anyaga valószínűleg a Vilyvitány térségében a felszínre került metamorfizált csillámpala (Budai és Konrád 2011), vagy a területen a Miskolci Egyetem által korábban elvégzett xenolitikus kutatás eredményei alapján csillámpala, fekete pala vagy csillámos homokkő (Szűcs és

Fejes 2014), de az bizonyos, hogy valamilyen rossz vízvezető képességű kőzet. A triászban megindult a karbonátos sekélytengeri üledékképződés, melyet a mélybe süllyedt sárosataki termálkarszt is bizonyít. Ennek pontos mélységéről keveset tudunk, mivel alig pár fúrás érinti a karbonátos kőzeteket, de az elmondható, hogy főként triász mészkő és dolomit képviseli a mezozoikumot (Szűcs és Ritter 2008). A hegység fő tömegét alkotó neogén vulkanitok több száz, helyenként több ezer méteres vastagságban települtek az alaphegységre, illetve a mezozoós rétegekre (Lengyel 1959). A rendkívüli vastagság oka a területen több millió éven át zajló erőteljes vulkanikus tevékenység, melynek vulkáni anyagszolgáltatása néhány rövid szünettől eltekintve folyamatos volt (Zelenka 1964). A felső-miocénben kialakult Pannon beltó fokozatosan kiédesedett és a beleömlő folyók hordalékai miatt lassan feltöltődött. Sekély fúrásokból megfigyelhető, hogy a pliocén törmelékes üledékei a vizsgált terület déli részén jelennek meg először, majd az Alföld felé továbbhaladva vastagságuk és mélységük folyamatosan nő. A vizsgálati területünkön csak a peremeken fordulnak elő pliocén üledékes kőzetek, mivel a hegység nagy része a pliocén korszak alatt szárazulat volt, ezért az folyamatosan lepusztult. A pliocén képződményekre települt pleisztocén folyóvízi üledékek egyes területeken igen nagy vastagságban fordulnak elő, melyekre a legfelső holocén rétegek elhanyagolható vastagságban rakódtak le.

A hegység területén az utóbbi évtizedekben több száz kút létesült, melyek többsége sekély mélységű, de számos több száz méteres mélységű is akad. Ezek vízhozama jelentős eltérést mutat egymástól, mivel az nagyban függ a törésrendszertől, illetve annak hidrogeológiai tulajdonságaitól. A hegység belső területein elhelyezkedő kutak általában sekélyek, hidegvizűek és korlátozott utánpótlódásúak. Kivételt képeznek a hegység belső területein kialakult törésrendszereket szűrő kutak, melyek jóval nagyobb utánpótlódással rendelkeznek, de a sekély áramlási pálya miatt szintén hidegvizűek. Maga a hegység egy észak-déli irányú süllyedéket követ, melyben a törések fő irányvonala szintén észak-déli irányú. Az észak-déli irányú törések vízföldtani és geotermikus szempontból kiemelten fontosak (Havassy, 2007). Az egyik legjelentősebb észak-dél irányú törésvonal a nyugati hegységperemen helyezkedik el, s Kékedtől Göncön, Korlátón, Abaújszántón keresztül egészen Szerencsig mutatható ki. Mivel a törés a Szerencs-patak vonalát követi, ezért a Szerencs-törés nevet kapta, s a hegység legjelentősebb langyosvízü feláramlásai figyelhetők meg a közvetlen környezetében (Szófogadó 1961). Általánosságban elmondható, hogy a hegység áramlási pályáit nagymértékben befolyásolja a topográfia, a vulkanikus rétegek elhelyezkedése és hidrogeológiai paraméterei, valamint a tektonizmus során létrejött törésszónák és vetők.

A Tokaji-hegység lényegében egy vulkáni piroklastikummal feltöltött medence, melyben a kristályos alaphegység jó hővezető képességgel bír, de a felette lévő több száz, helyenként több ezer méter vastag vulkáni lávakőzet és tufa némileg rosszabb paraméterekkel rendelkezik. A felszín alatti hőmérsékletet 1 000 m mélységben a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Hőmérséklet 1000 m-es mélységben a felszín alatt (Dövényi és társai 2001 alapján Fejes módosítása)

Figure 2. Temperature at a depth of 1000 m below the surface (modified by Fejes based on Dövényi et al. 2001)

Mivel a vulkáni piroklasztikumban a felszín alatti víz csak a repedésrendszerben és vetőkben képes áramlani, ezért a hegység szerkezetföldtana, hidrogeológiai rendszerei és geotermikus potenciálja között szoros kapcsolat áll fenn. A 2. ábrán bemutatott geotermikus térképek azonban regionális szinten ábrázolják a geotermikus gradienseket, a lokális hatások nem jelennek meg rajtuk. A hegység részletes geotermikus potenciáljának feltérképezése érdekében azonban elengedhetetlen a lokális terepi kutatás elvégzése. A továbbiakban a kutatási területen elvégzett geológiai, hidrogeológiai és geotermikus kutatásokat és azok eredményeit mutatjuk be.

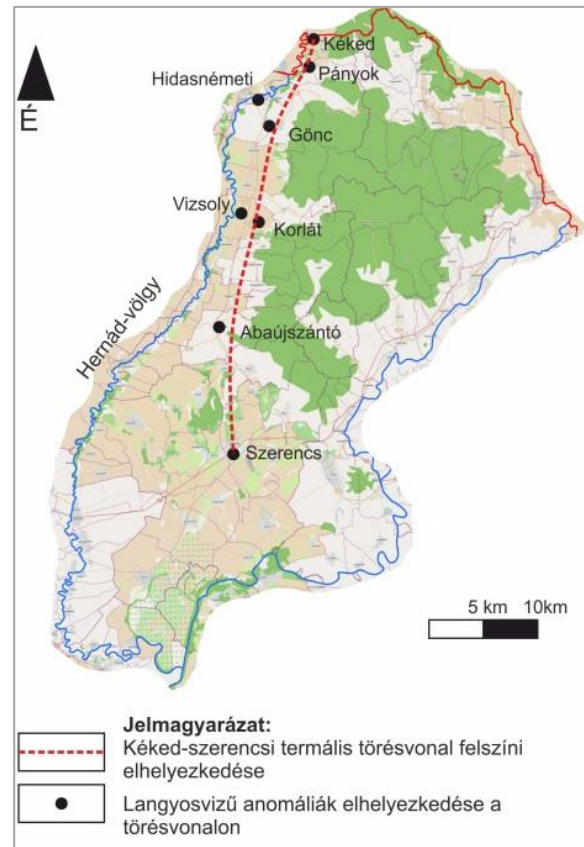
A REGIONÁLIS MODELL ALAPADATAI

A kutatásunk egyik alapvető célja a Tokaji-hegység víz-háztartási vizsgálatokra alkalmas regionális léptékű hidrogeológiai modelljének elkészítése. A modell megalkotásához nem álltak rendelkezésre kellően pontos vagy részletes alapadatok a hegység hidrogeológiáját illetően, ezért szükségessé vált ezen tényezők meghatározása.

Terepi geofizikai vizsgálatok

Az egyik legjelentősebb, ismert termális törésvonal Kékedtől indul, s egészen Szerencsig nyomon követhetőek a langyosvízű vízfeltörések (Szófogadó 1961). E törésvonal mentén feláramló langyos vizek közül néhány már több évtizede ismert, bár kellően részletes kutatás eddig nem történt, ezért esett a választás a hegység nyugati oldalára a terepi vizsgálatok helyszínéül. A Kéked-Szerencs termális törésvonal feltételezett felszíni elhelyezkedését, illetve a langyosvízű anomáliák helyét a 3. ábrán mutatjuk be.

Annak érdekében, hogy a langyos vízű anomáliák eredetéről és így a mélységi vízvezető törésekről a legtöbb információt kaphassuk meg, Pányokon, Korlátan, Abaujszántón és Szerencsen is végeztünk felszíni geofizikai vizsgálatokat (Vertikális Elektromos Szondázás és multielektrodás geofizikai vizsgálatok). A felszíni geofizikai vizsgálatok segítségével sikerült feltárni több felszín alatti melegvízvezető törésrendszert, melyek kiemelten fontosak a termálvízkészlet meghatározása szempontjából. A geofizikai vizsgálataink eredményeit összevetettük a korábban a területen elvégzett szeizmikus, karotázs és egyéb geofizikai vizsgálatokkal, melynek eredményeképpen sikerrel pontosítottuk a mélységi langyosvízvezető törésrendszer elhelyezkedését (4. ábra).



3. ábra. A szerencsi termális törésvonal elhelyezkedése a felszíni langyosvízű anomáliákkal (Fejes szerkesztése)

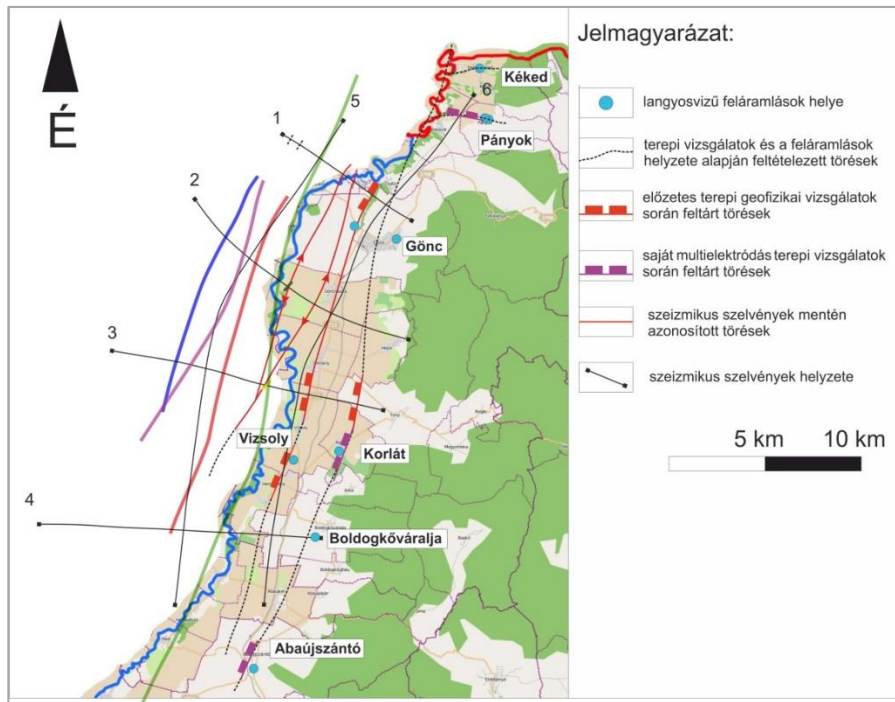
Figure 3. The location of the Szerencs thermal fault line with surface lukewarm water anomalies (Edited by Fejes)

Kutak és források hidrogeológiai és geotermikus paraméterei

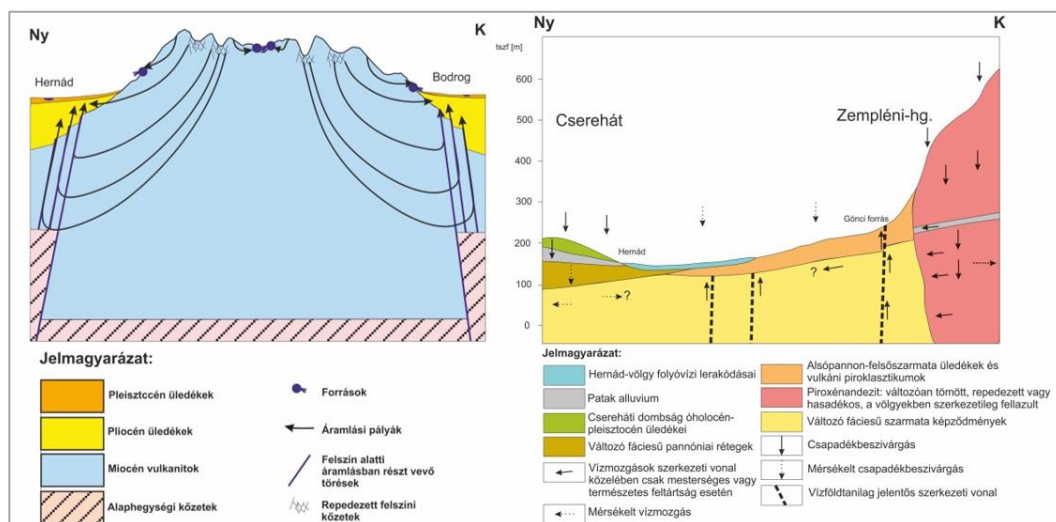
A kutatásunk során a Tokaji-hegység eddig feltárt és vizsgált forrásainak és kutjainak hidrogeológiai és geotermikus paramétereit gyűjtöttük össze és ezekből egy regionális szintű hidrogeológiai és egy vízkémiai adatbázist építettünk fel. A modellezéshez az általunk megalkotott Hidrogeológiai Adatbázist használtuk fel, amely több mint 800 kút és forrás legfontosabb vízföldtani paramétereit foglalja magába, többek között a források/kutak koordinátáit, a vízáadó rétegek adatait, a kúthidraulikai paramétereiket és a források és kutak geotermikus paramétereit. Az itt összegyűjtött adatok szolgáltatták az alapját a Tokaji-hegység hidrogeológiai modelljének. A repedezett kőzetek vízáadó tulajdonságai igen széles skálán mozognak a vulkanikus területek hidrogeológiájával foglalkozó szakirodalmak alapján, ezért kiemelt célunk volt minél több kúthidraulikai paraméter összegyűjtésével meghatározni a Tokaji-hegységre jellemző vízföldtani és geotermikus adatok tartományát.

Tokaji-hegység koncepcionális áramlási modellje

A területen végzett eddigi hidrogeológiai kutatások és tapasztalatok alapján elkészítettük a hegység koncepcionális áramlási modelljét, mely összhangban áll Erhardt György koncepcionális áramlási modelljével, de a mélyebb áramlási pályákat is tartalmazza a modell (Erhardt 1989) (5. ábra).



4. ábra. A szerencsi törés geofizikai vizsgálatokkal pontosított helyzete (Bodor 2011 alapján Fejes módosítása)
Figure 4. The position of the Szerecs fault confirmed by geophysical tests (modified by Fejes from Bodor 2011)

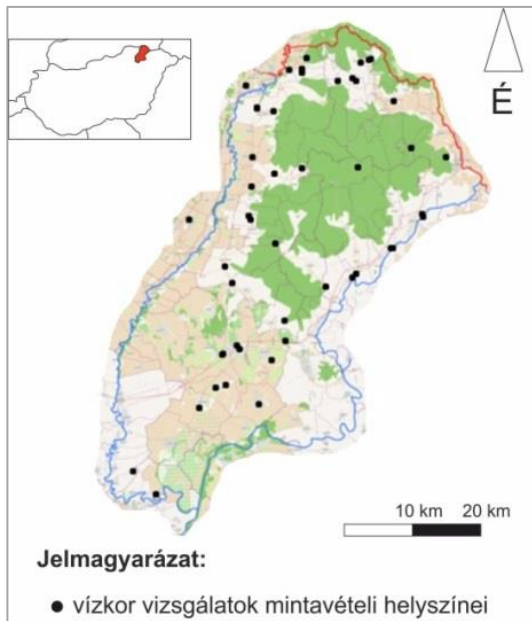


5. ábra. A Tokaji-hegység új koncepcionális áramlási modellje (balra) és Erhardt György által készített modell (jobbra)
(Erhardt 1989)
Figure 5. The new conceptual flow model of the Tokaji Mountains (left) and the model created by György Erhardt (right)
(Erhardt 1989)

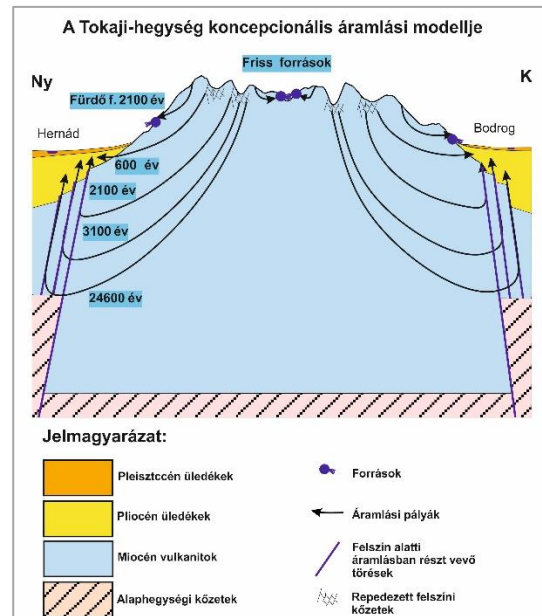
A hegység magasabban fekvő peremi területein a beszivárgó csapadék a felső mállott tufa zónákon keresztül, illetve a felszín közeli töredezett zónákon át lokális áramlási rendszert hoz létre, melynek felszíni kibukkanásai az időszakos források. Ezek nagyban függenek a felszíni behatásoktól (csapadék, párolgás stb.), így hőmérsékletük, vízhozamuk, oldott ásványi anyag tartalmuk igen ingadozó, gyakran teljesen kiszáradnak. A regionális áramlási pályák esetén a beszivárgást követően a csapadék a sekély mélységben lévő repedéshálózaton keresztül a mélyebb rétegekbe jut, innen a nagy mélységbe lehatoló tö-

réseken keresztül egyre mélyebbre kerül és végül a hegység peremén futó törésrendszereken (Szerecs-törés, Bodrog-vonal stb.) át feláramlik. A koncepcionális modellt a peremi részeken található kutak és források kifolyó vizének magasabb hőmérséklete, valamint markánsan nagyobb és stabilabb hozama is igazolja, ezen kívül az olyan paraméterek, mint a feláramló vizek izotóp és vízkémiai összetétele.

A Tokaji-hegység és környezetének kutatása során 34 település területén, 50 forrás és kút vizéből vettünk vizmintát vízkor meghatározás céljából (6. ábra).



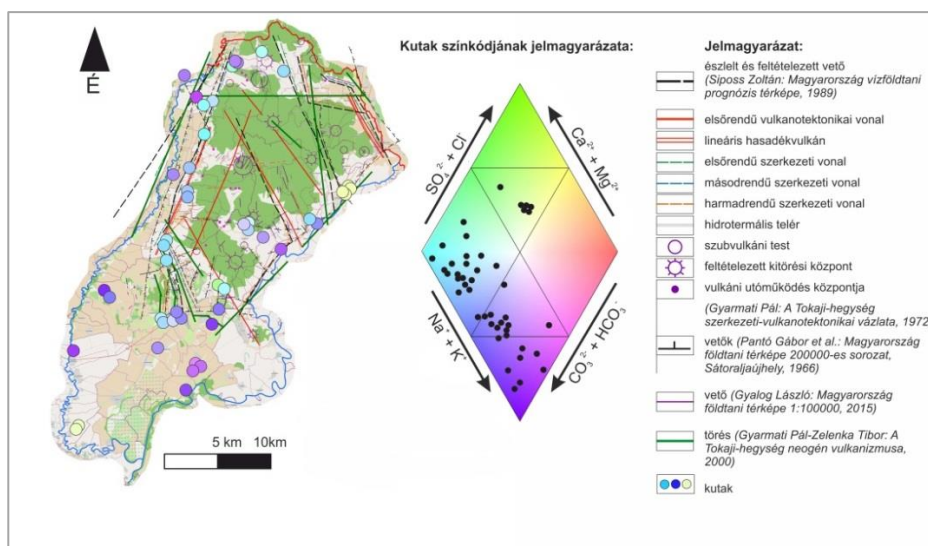
6. ábra. Vízkor vizsgálatok mintavételi helyszínei (Fejes szerkesztése)
 Figure 6. Sampling locations for water age tests (Edited by Fejes)



7. ábra. Vízkor vizsgálatok eredményei a gönci kutakban (Fejes szerkesztése)
 Figure 7. Results of water age tests in the Gönc wells (Edited by Fejes)

A vízminták vízkorai is igazolják a terület felszín alatti vizeire készített koncepcionális áramlási modell helyességét. A koncepcionális modell által leírt áramlási pályák legjobban Gönc területén mutathatóak be (7. ábra), ahol viszonylag kis területen belül több kút is található, melyek mind eltérő mélységben lévő vízáadó töréseket szűrőznek. A mélység felé haladva a kitermelt vizek látszólagos kora egyre magasabb értéket mutat. A legmélyebb, 760-869 m között szűrőzött víz kora meghaladja a 24 600 évet. A legsekélyebb (19-25 m) kút vízének magas 14C, és 2,3 TU trícium tartalma ezzel szemben azt mutatja, hogy ez a kút kapja legközelebről a vízutánpótlást. A gönci Fürdő-forrás vízének 2 100 éves kora és magasabb hőmérséklete (20,6 °C) egy idősebb és melegebb vízáram hozzákeverését jelzi.

A Tokaji-hegység forrásainak és kutjainak vízminőségével több szerző is foglalkozott ezt megelőzően (Mátyás 1984, Havassy 2004, Szűcs és Ritter 2008). A kutatási területen lévő kutak és források vízmintáinak elemzésével számos információ kinyerhető a mélységi viszonyok helyzetéről és az áramlási pályák elhelyezkedéséről. A kutatás során összesen 37 vízmintát vettünk, melyek eredményeinek felhasználásával az eddigi mérésekkel együtt létrehoztunk egy egységes vízkémiai adatbázist. Az adatbázis 70 település, több mint 240 db forrásának és kutjának, több mint 880 db vízkémiai elemzését tartalmazza. A vízkémiai paraméterek térképi ábrázolása is bizonyítja a koncepcionális modell helyességét (8. ábra), miszerint az eltérő mélységű szerkezeti törésekkel kapcsolatban lévő források és kutak eltérő vízkémiai összetétellel rendelkeznek.



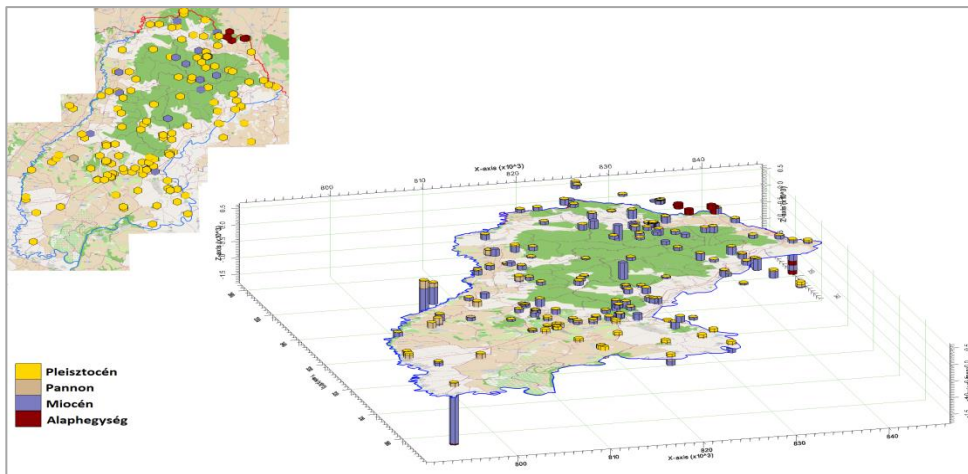
8. ábra. Vízkémiai elemzések eredményeinek ábrázolása a hegység szerkezeti térképén (Fejes szerkesztése)
 Figure 8. Representation of the results of water chemistry analyzes on the structural map of the mountain range (Edited by Fejes)

Beszivárgási, utánpótlódási vizsgálatok a hegységben

A Tokaji-hegység felszín alatti vizeinek utánpótlódása a hegység magasabban fekvő területein lehulló csapadék beszivárgásából származik, azonban a hegység beszivárgási viszonyainak vizsgálatáról nem történt részletes kutatás ezt megelőzően. A hidrodinamikai modell beszivárgási viszonyainak, és így utánpótlódásának meghatározása érdekében terepi vizsgálatokat végeztünk a hegységben. A Guelph permeabilitással kapott eredményeket, valamint a területről származó egyéb földtani és vízföldtani paramétereket felhasználva a beszivárgási viszonyokat a HELP (Hydraulic Evaluation of Landfill Performance) szoftver alkalmazásával határoztuk meg. Az andezites és riolituffos területeken meghatároztuk a beszivárgás sokéves átlagértékét, melyet felhasználtunk a modell elkészítése során.

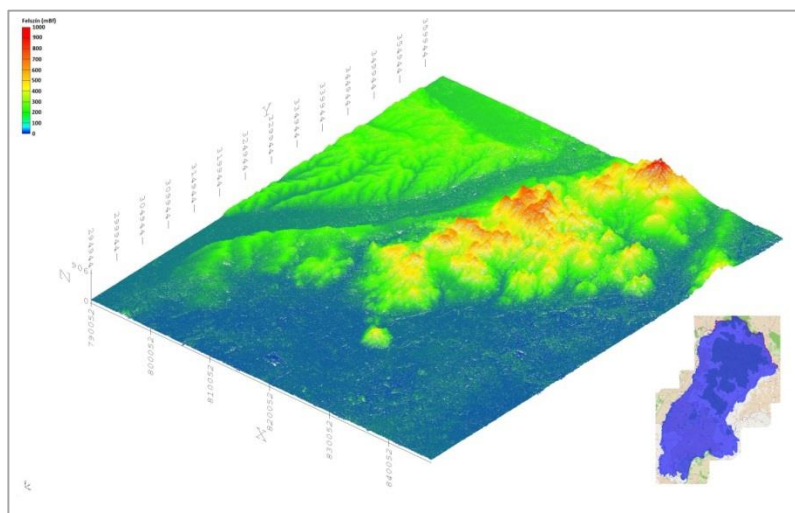
A TOKAJI-HEGYSÉG HIDROGEOLÓGIAI MODELLJÉNEK ELKÉSZÍTÉSE

Az előzőekben bemutatott terepi geofizikai és hidrogeofizikai vizsgálatok eredményeinek felhasználásával lehetőségünk nyílt felépíteni a Tokaji-hegység regionális hidrogeológiai modelljét (Fejes és társai 2013). A modell fő célja a hegységben működő áramlási rendszerek megértése, a termálvizek feláramlási zónáinak vizsgálata és a hegység vízmérlegének elkészítése a kinyerhető vízkészletek meghatározása céljából. A hidrogeológiai modell felépítésének első lépése a földtani modell elkészítése. A földtani modellhez 173 db fúrási rétegsort, több sekély és mély geoelektromos geofizikai vizsgálatot, szeizmikus vizsgálatokat és a területről ez idáig készített szerkezetföldtani térképeket használtunk fel. A földtani modellhez felhasznált kutatásokat a 9. ábrán mutatjuk be.



9. ábra. A Tokaji-hegység földtani modellje a modellalkotáshoz felhasznált fúrásokkal és kutakkal (Fejes szerkesztése)
Figure 9. The geological model of the Tokaji Mountains with the boreholes and wells used to create the model (Edited by Fejes)

A modellezett terület domborzatát SRTM digitális műholdképről vettük át (10. ábra), amely természetesen a modell felső határa is egyben.



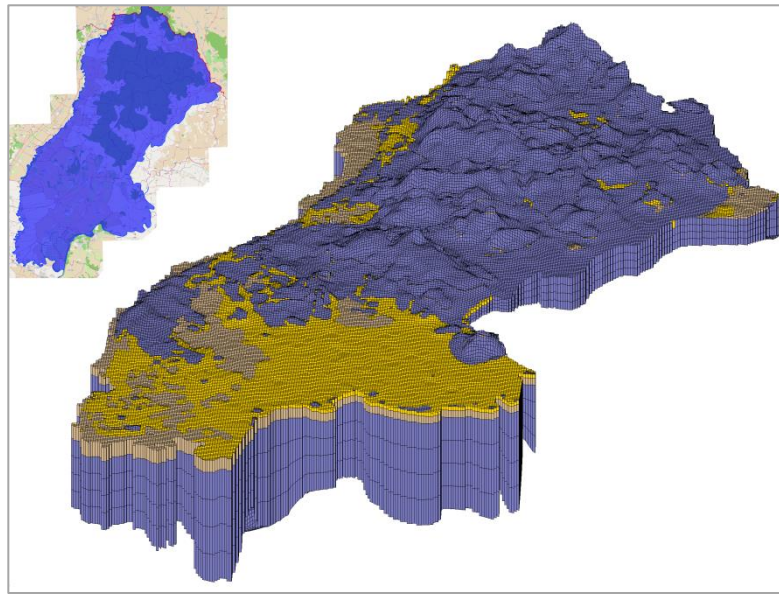
10. ábra. A modellezett térrész felső rétege (Fejes szerkesztése)
Figure 10. The upper layer of the modeled area (Edited by Fejes)

A vizsgált térbeli test alsó határát, az alapkőzet mélységét geofizikai mérések alapján készítettük el és digitalizálással helyeztük be a GMS programba. A modellezett terület összetettsége miatt egyszerűsítettük a geológiai fel-

építést és összesen 4 db eltérő vízföldtani paraméterekkel rendelkező modelltérteget alakítottunk ki. A rétegek esetén megkülönböztettük az alapkőzetet, az arra települő repedezett miocén vulkanit réteget, a hegységperemi völgyek-

ben és a vizsgált terület déli részén elhelyezkedő pliocén üledékes képződményeket, valamint a felszíni kvarter réteget. Ezeket a rétegeket tovább bontottuk vertikálisan az

áramlási rendszer jobb szimulálhatósága érdekében, így végül összesen 7 rétegből állt össze a földtani modell. A modell térbeli felbontását a 11. ábrán mutatjuk be.



11. ábra. A Tokaji-hegység modelljének rétegtani felépítése (Fejes szerkesztése)
Figure 11. Stratigraphic structure of the model of the Tokaji Mountains (Edited by Fejes)

A modellezett térrész alakja egy szabálytalan sokszög, mely egy 48 x 77 km nagyságú téglalappal fedhető le, de komoly szerepet játszottak a lehatárolásban a feltárások és fúrások elhelyezkedése, valamint a hegység természetes határai is. A numerikus modell elkészítéséhez a területet 200 x 200 m-es cellákra bontottuk, így egy 372 sorból és 290 oszlopból álló rácshálót kaptunk. Minden modellréteg fekvését térben változóan vettük fel, oly módon, hogy a fúrási ré-

tegorok és a kutak vízföldtani naplóinak alapján kapott rétegvastagságokat interpoláltuk a modellezett területre. A korábban bemutatott vízföldtani paraméterek földtani modellbe való beillesztésével kialakíthatóvá vált a Tokaji-hegység hidrogeológiai modellje. Az egyes földtani rétegekhez hozzárendeltük a szakirodalom (Ducci 2010), a terepi vizsgálatok és a laborban végzett számítások alapján kapott szivárgási tényező, porozitás és vízszint értékeket (1. táblázat).

1. táblázat. A modellezett terület földtani egységeinek hidrogeológiai paramétereit
Table 1. Hydrogeological parameters of the geological units of the modelled area
Megjegyzés: Kh-horizontális szivárgási tényező, Kv-vertikális szivárgási tényező, n_0 -effektív porozitás
Legend: Kh-horizontal hydraulic conductivity, Kv-vertical hydraulic conductivity, n_0 -effective porosity

Földtani egység	Modellréteg	Földtani képződmények	Kh (m/d)	Kv (m/d)	n_0 (-)
1	1, 4.	Miocén (repedezett) képződmények	0,1-0,01	0,003-0,03	0,1
2	2.	Kvarter képződmények	0,1-10	0,03-3	0,15
3	3.	Pliocén képződmények	0,1-20	0,03-5	0,2-0,3
4	5-7.	Miocén (tömör) képződmények	0,001	0,001	0,05

A modell északi részén áramlásmentes, míg a többi részen állandó nyomású határfeltételt állítottunk be a peremeken. A modellszámításoknál az alapkőzetet kvázi víz-zárónak feltételeztük. A vertikális szivárgási tényezőket a vízföldtani jelleg alapján határoztuk meg, azon tapasztalatra támaszkodva, hogy a vető/törés zónák nyújthatnak lehetőséget jelentősebb vízforgalomra a vulkáni övezetekben, illetve, hogy a vulkanitoknál az anizotrópia szerepe és mértéke kisebb. A megadott rétegeket vegyes tükrűnek tételeztük fel, ami jelentősebb számítási igényhez vezetett ugyan, de nagyobb volt a modell szabadsági foka is. Az így kialakított modellben összesen 164 kút ada-

it használtuk fel, melyek kielégítik azon követelményeket, hogy rendelkeznek hidrogeológiai naplóval, végeztek bennük próbaszivattyúzást, valamint rendelkezünk ismeretanyaggal a vízáadó kőzetekkel kapcsolatban. A rétegek nyugalmi vízdomborzatának elkészítésekor figyelembe vettük a fúrt kutak vízszint adatait, illetve a források felszínre bukkanásának helyeit. A magasabb területeken a nagyobb lefolyás miatt kisebb, míg a völgyekben nagyobb beszivárgási értékeket állítottunk be. Annak érdekében, hogy a beszivárgás minél jobban megközelítse a valós helyzetet, figyelembe vettük a hegység területén lévő vízfolyásokat is.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az elkészült regionális szintű hidrogeológiai modell a vízgazdálkodás számos területén tud segítséget nyújtani. Az eddigi Vízyűjtő Gazdálkodási Tervekben úgy tapasztaltuk, hogy a víztest felosztás nem veszi figyelembe kellő súllyal a mélységi miocén repedések fontosságát a hegységtől távolabbi területeken. Az általunk elkészített áramlási modell segítségével meghatároztuk a Tokaji-hegység egészére vonatkozó egyszerűsített vízmérleget, pontosítottuk a felszín alatti víztestek kiterjedését és alakját, valamint a felszín alatt lévő, fenntartható módon hozzáférhető termálvíz készlet mennyiségét is. A Tokaji-hegységből fenntartható módon kitermelhető vízkészletek mennyiségi

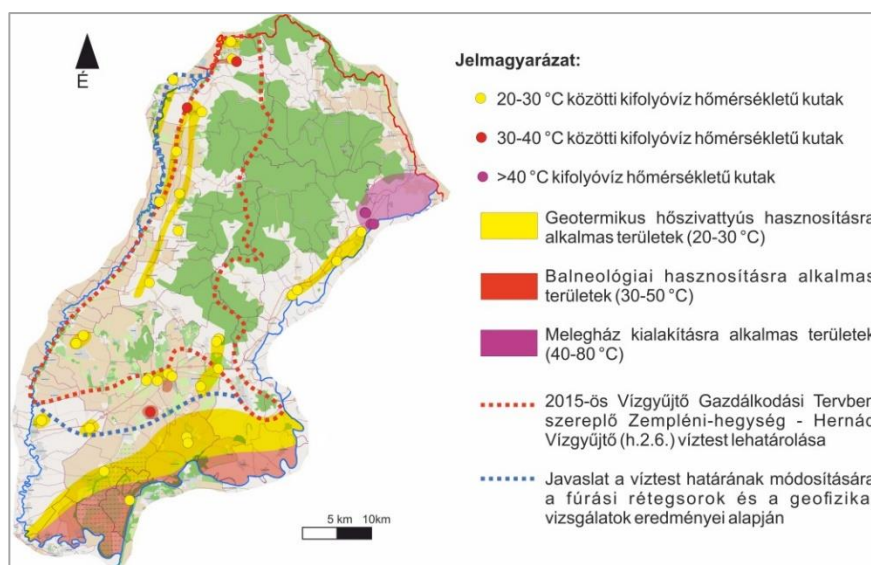
becslése kiemelten fontos kérdés, melynek ismerete elengedhetetlen a jövőbeli hideg- és termálvíz hasznosítás megtervezéséhez (Virág és társai 2014). A Tokaji-hegység felszín alatti vizeinek utánpótlódását a területre hulló csapadék biztosítja, melynek csupán átlagosan 7,5 százaléka szivárog be a felszín alá. A beszivárgó csapadékvizek egy része a forrásokat, valamint a kutakat táplálja, a másik része viszont leszivárog a mélyebb rétegekbe és a repedések mentén a hegység peremi részei felé áramlik. A modellbe beillesztettük a korábban bemutatott hidrogeológiai adatbázisban szereplő források vízhozam értékeit. A modell alapján sikeresen határoztuk meg a felszíni vízfolyások, valamint a felszín alatti vízáramlások hozamát (2. táblázat).

2. táblázat. A Tokaji-hegység vízháztartási paramétereit
Table 2. Elements of the water balance of the Tokaji Mountains

Vízmérleg alapadatok	Mértékegység	Érték
Modellezett terület nagysága	km ²	1 919
Éves csapadék átlagos mennyisége	mm	600
Csapadékból történő beszivárgás	m ³ /nap	236 589
Források hozama	m ³ /nap	19 054
Kutak hozama	m ³ /nap	30 802
Vízfolyások a hegység területén (kivéve a Bodrog és a Hernád)	m ³ /nap	50 918
Mélységi beszivárgó vízmennyiség	m ³ /nap	186 733
Hegységtől nyugatra történő vízáradás (Hernád mentén)	m ³ /nap	74 469
Hegységtől délre történő vízáradás (Hernád és a Bodrog között)	m ³ /nap	72 452
Hegységtől keletre történő vízáradás (Bodrog mentén)	m ³ /nap	39 811

A hosszútávon kitermelhető vízkészlet mennyiségének becslése érdekében 20 db fiktív kutat helyeztünk el a törések mentén és azt vizsgáltuk, hogy mekkora az a hozam, amely még nem okoz jelentős depressziót a vízáradó rétegben. A fiktív kutak mindegyike a repedezett miocén rétegből kap utánpótlást, mivel az eddig megismert langyosvizet termelő kutak is ezt a réteget szűrőzik. A kutaknál többféle hozammal is lefuttattuk a modellt, de végül a kutanként 250 m³/nap-os termelési intenzitást mutatta fenntarthatónak. A fiktív kutak vízhozam értékei alapján megállapítottuk, hogy a Tokaji-hegység területén a jó vízadó jú töredezett miocén rétegekben a hozzáférhető és

hosszú távon kitermelhető termálvíz készlet mennyisége optimális esetben elérheti a 4 500-5 000 m³ mennyiséget naponta. Ezek a vizek jellemzően 30-40 °C-os termálvizek, melyek főként hőszivattyús rendszerek, kisebb fürdők, fóliasátrak működtetésére alkalmasak (Buday és társai 2014, Bódi és társai 2014). A hideg és meleg felszín alatti vízkészletek meghatározásán kívül a területen lévő kutak fúrási rétegsorai, valamint az elvégzett felszíni geoelektromos VESZ mérések és a kutatási eredményei alapján sikeresen pontosítottuk a „Zempléni-hegység-Hernád-vízgyűjtő” nevű, h.2.6 kódú, hegyvidéki típusú felszín alatti víztest alakját (12. ábra).



12. ábra. A Tokaji-hegység hőhasznosítási térképe a 2015-ös Vízyűjtő Gazdálkodási Terv víztestjeinek módosításával (VGT2 2015) (Fejes szerkesztése)

Figure 12. Heat utilization map of the Tokaji Mountains with modifications of the water bodies of the 2015 Watershed Management Plan (VGT2 2015) (Edited by Fejes)

A modellezés eredményeként meghatározott fenntartható módon kitermelhető termálvízkészlet hasznosítására többféle lehetőség adódik. A hegységről szerzett eddigi hidrogeológiai, geológiai és geofizikai ismereteink alapján feltérképezhetővé vált a kutatási terület eddig bizonyított geotermikus potenciálja, illetve az ehhez köthető hasznosítási lehetőségek kijelölhetőek. Az eddigi tapasztalatok alapján elkészítettük a Tokaji-hegység potenciális langyos- és termálvíz kinyerésére alkalmas területeinek térképét, feltüntetve a langyos- és melegvízű kifolyó vizzel rendelkező kutakat, valamint a potenciális hasznosítási lehetőségeket (12. ábra). Az itt bemutatott térkép segítséget nyújthat a hegység területén tevékenykedő magánszemélyek és önkormányzatok számára a területek termálvíz potenciáljának kihasználhatóságát illetően.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Tokaji-hegység Magyarország északkeleti részén fekvő vulkanikus eredetű hegységünk. A kis számú, a hegységet regionálisan nem vizsgáló előzetes tanulmány (Erhardt 1989, Szófogadó 1961, Szűcs 2008) miatt viszonylag kevés ismeretanyaggal rendelkezünk a terület hidrogeológiai és geotermikus sajátosságait illetően. Kutatásunk fő célja a Tokaji hegységben eddig elvégzett geotermikus kutatásoknak és hidrogeológiai vizsgálatoknak a bemutatása, az ezekből származó információk egy egységes adatbázisba gyűjtése, valamint egy regionális léptékű, vízháztartási számításokra alkalmas hidrogeológiai modell elkészítése. A terület regionális szintű ismeretanyagának összeállítása érdekében összegyűjtöttük a Tokaji-hegységről szerzett eddigi hidrogeológiai, földtani és geotermikus ismereteket, melyeket kiegészítettünk saját kutatási eredményeinkkel. A hegység nyugati oldalán futó Szerencs-törés mentén több langyos és melegvízű feláramlás is tapasztalható, mely területeken részletes geofizikai kutatást végeztünk a langyosvizek eredetének feltárása érdekében. A kapott adatok és a területről szerzett ismeretek alapján elkészítettük a Tokaji-hegység háromdimenziós földtani modelljét, majd annak felhasználásával a hidrogeológiai modellt. Ez a hidrogeológiai modell képezi az alapját a hegység vízföldtani szempontú értelmezésének, így lehetőségünk volt átlátni a regionális viszonyokat is, melyek segítségül szolgálhatnak a későbbi geotermikus kutatásokban, valamint a Tokaji-hegység pontosabb vízmérlegének meghatározásában. A modell segítséget nyújt a kinyerhető vízkészletek mennyiségi becslésében és a víztestek lehatárolásában, ami így jóval pontosabb képet ad a terület regionális vízbázisáról. A modell segítségével megbecsültük az egy nap alatt fenntartható módon kitermelhető termálvíz mennyiségét, melynek mértéke 4 500-5 000 m³ optimális esetben. A felszín alatti víztestek pontosítása és egy pontosabb vízmérleg felállítására kiemelten fontos feladat a jelenkor és a jövő számára, ugyanis a klímaváltozás okozta egyre hosszabb aszályos időszakok hatásainak enyhítéséhez elengedhetetlen a kinyerhető felszín alatti vízkészleteink pontos ismerete. A modell által megbecsült adatok alapján lehetőség nyílt arra, hogy javaslatokat tegyünk a területek potenciális kitermelhető termálvízkészleteinek hasznosítási lehetőségeire.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bodor B. (2011). A Hernád-árok szerkezetföldtani vizsgálata. Szakdolgozat. pp. 83.
- Bódi E., Buday T., Csákerényi-N. G. (2014). Geotermikus hőhasznosítási módszerek telepítési és működtetési feltételeinek összehasonlítása alacsony hőmérsékletű hőhasznosítás esetén. A Környezettudatos energiatermelés és felhasználás III. konferenciáján megtartott előadás, Debrecen, 2014; Debrecen, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság. pp. 64-70.
- Budai T., Konrád Gy. (2011). Magyarország földtana. Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Pécs. pp. 8-9.
- Buday T., Lázár I., Tóth T., Bódi E., Csákerényi-N. G. (2014). Kis méretű üvegházak és fóliasátrak energiaigényének biztosítása megújuló energiaforrásokból - a sekély geotermia lehetőségei. A Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban c. konferencián megtartott előadás. Szolnok, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. pp. 73-80.
- Dövényi P., Drahos D., Lenkey L. (2001). Magyarország geotermikus energiapotenciáljának feltérképezése a felhasználás növelése érdekében. Hőmérsékleti viszonyok. Scientific Report for the Global Environment. Eötvös Loránd Tudományegyetem. pp. 1-10.
- Ducci D. (2010). Aquifer Vulnerability Assessment Methods: The Non-Independence of Parameters Problem. Journal of Water Resource and Protection, 2. p. 305.
- Erhardt Gy. (1989). Irodalmi adatgyűjtemény és értékelés a Szerencsre tervezett termálkút kitűzéshez.
- Fejes Z., Szűcs P., Szlabóczky P. (2013). Hidrogeofizikai kutatások a Tokaji-hegység déli részén. Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban c. konferencia. Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. pp. 66-73.
- Havassy A. (2004). A Tokaji-hegységi Herceggúti-patak forrásainak hidrogeológiai és természetvédelmi szempontú vizsgálata és értékelése. Doktori (PhD) értekezés. Debreceni Egyetem. p. 164.
- Havassy A. (2007). A Zempléni Tájvédelmi Körzet; Vízrajzi és vízföldtani viszonyok, víztani értékek. Bükki Kiadó, Eger. pp. 95-104.
- Lengyel E. (1959). Földtani és közettani megfigyelések a Tokaji-hegységben. Földtani Közöny. 89. kötet. 4. füzet. pp. 381-392.
- Mátyás E. (1984). Hidrogeológiai kutatások a mádi Bomboly-völgyben. Földtani Kutatás. 84. évfolyam 3. kötet. pp. 29-49.
- Szófogadó P. (1961). A göncz-szerencsi törés vízföldtani jelentősége, különös tekintettel az abaújszántói strandfürdő vízellátására. Hidrológiai Közöny. 41. kötet, 2. szám. pp. 145-148.
- Szűcs P., Ritter Gy. (2008). Sárospatak-Végardó Termálfürdő hévízkútjainak hidrodinamikai modellezése. A Kárpát-medence Ásványvizei. V. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2008, Miskolci Egyetem. pp. 1-10.

Szűcs P., Fejes Z. (2014). Vízkémiai vizsgálatok a Tokaji-hegységben. MultiScience - XXVIII. microCAD Nemzetközi Multidiszciplináris Tudományos Konferencia. Miskolci Egyetem.

VGT2 (2015). Magyarország felülvizsgált, 2015. évi Vízyűjtő-gazdálkodási Terve. BM-OVF. <http://vizeink.hu/korabbi-vizgyujto-gazdalkodasi-tervek/vizgyujto-gazdalkodasi-terv-2015/>

Virág M., Szűcs P., Fejes Z., Csegény J. (2014). A termálvízkészlet-gazdálkodás időszzerű kérdései az Észak-

magyarországi régió területén, A Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban c. konferencia Szolnok, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. pp. 360-366.

Zalai P. (1991). A Zempléni-hegység regionális geofizikai kutatási programja. ELGI Adattár, Budapest.

Zelenka T. (1964). A "Szerencsi-öböl" szarmata tufaszintjei és fáciesei. Földtani Közöny. 94. évf. pp. 33-52.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



A Kősvényes-forrás Abaujszántón a régi Fürdőház közelében (Fotó: Lénárt)

Vízhozam mérések a Speizi-barlangban és Szepesi-Láner-barlangrendszerben

Fekete Zsombor*, Lénárt László*

* Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: hgzsom@uni-miskolc.hu)

Kivonat

A barlangi lefolyás és a felszíni csapadékok hatásának jobb megértése érdekében vízhozammérő bukógátakat telepítettünk a Bükk hegység azonos vízrendszerén levő két barlangjába, a Speizi-barlangba és Szepesi-Láner-barlangrendszerbe. A rendszer egy 22 hektár körüli nem karsztos felszíni vízgyűjtővel rendelkezik. A mérések célja elsősorban az árhullámok levonulásának vizsgálata volt, bár a barlangi adottságok a legnagyobb árhullámok mérését már nem tették lehetővé. A mérések kezdete óta eltelt 6-7 évben több kisebb-nagyobb árhullám levonulását sikerült rögzíteni. A két, vízfolyás szerint egymást követő mérési hely jó betekintést nyújt a barlangjáratok hidraulikai működésébe. A tartóssági görbék alapján mindkét barlangra erőteljes időszakosság jellemző: az idő döntő többségében 1 l/s alatt van a vízhozam, ám 5 l/s-nál nagyobb vízhozam csak 2%-os tartóssággal rendelkezik, a legnagyobb hozamok pedig meghaladják a 60 l/s-ot. A vízfolyás szerint magasabban elhelyezkedő mérési pontra kiemelten jellemző ez az egyenlőtlenesség, míg az alsó valamivel kiegyenlítettbb hozameloszlást mutat. Hasonló képet mutat az árhullámok gyakorisága is. A felszínhez közelebb eső mérési ponton a kisebb csapadékesemények is viszonylag jól érvényesülnek.

Kulcsszavak

Vízhozammérés, bukógát, Bükk hegység, barlang, karszt.

Flow rate measurements in Speizi cave and Szepesi-Láner cave system

Abstract

To gain a better understanding of the runoff through caves and the effect of precipitation events, continuous flow rate measurement facilities were installed in two caves of the Bükk mountains, Northeast Hungary (Speizi cave and Szepesi-Láner cave system). The system gains water from an overland non-karstic watershed of about 22 hectares. The main purpose of measurements was to investigate flood propagation in the caves, although due to lack of space the largest floods were impossible to measure. During the 6-7 years of operation several flood waves have been observed, which give a good insight into the hydraulic processes. The duration curves reflect a strong intermittent characteristic: the flow is dominantly below 1 l/s. Flows exceeding 5 l/s has a duration of only 2% (the largest flows being above 60 l/s). This inequality is more pronounced in the upstream measurement point, while the downstream one is being more equalized. This difference is also reflected by the flood frequencies. The upstream point is more sensitive to smaller precipitation events.

Keywords

Flow rate measurement, weir, Bükk Mountains, cave, karst.

BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

A karsztforrások jelentőségét a Bükk hegységben és számos egyéb karszterületen nehéz lenne eltúlozni. Ezekre alapoz Miskolc vízellátása is (bár van egy megfelelő rugalmassága az átmeneti esetekre). Az, hogy a karsztforrások védelme túlmutat a megfelelő forrásfoglalás kialakításán és fenntartásán, már rég ismert. Az ezirányú tevékenység az 1970-es években kezdődött (*Juhász 1975, Lénárt 2003*). A védelem fontos előfeltétele a megismerés, ami többek közt rendszeres mérések végzését is igényli. Az utóbbi évtizedekben a Bükk karsztja igen sokrétű vizsgálatok célterülete volt. Hidrológiai szempontból kiemelendő a számos víznyomjelzési vizsgálat (*Sásdi 2017*) és a 30 éve működő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (*Lénárt 2022*). Az utóbbi idők talán legátfogóbb kutatása a miskolci vízmű által használt források védelmét szolgálta („Miskolc város üzemelő sérülékeny karsztos vízbázisának diagnosztikai vizsgálata” című program).

A folyamatos mérések elsősorban vízszintmegfigyelésre terjednek ki. Vízhozammérések a források esetében történtek. A karszt vízháztartásának megismerése érdekében számos esetben végeztek csepegésméréseket is barlangokban (*Böcker 1975, Lénárt 1986*). A jelen mérések közvetlen előzményeként árvízleflyási szimulációkat végeztünk a Speizi-barlang és a Szepesi-Láner-barlangrendszer időszakosan aktív patakos ágára (*Fekete és*

Sűrű 2014). A hidraulikai szimuláció pontosítása érdekében vált szükségessé a rendszeres vízhozammérés az említett barlangokban.

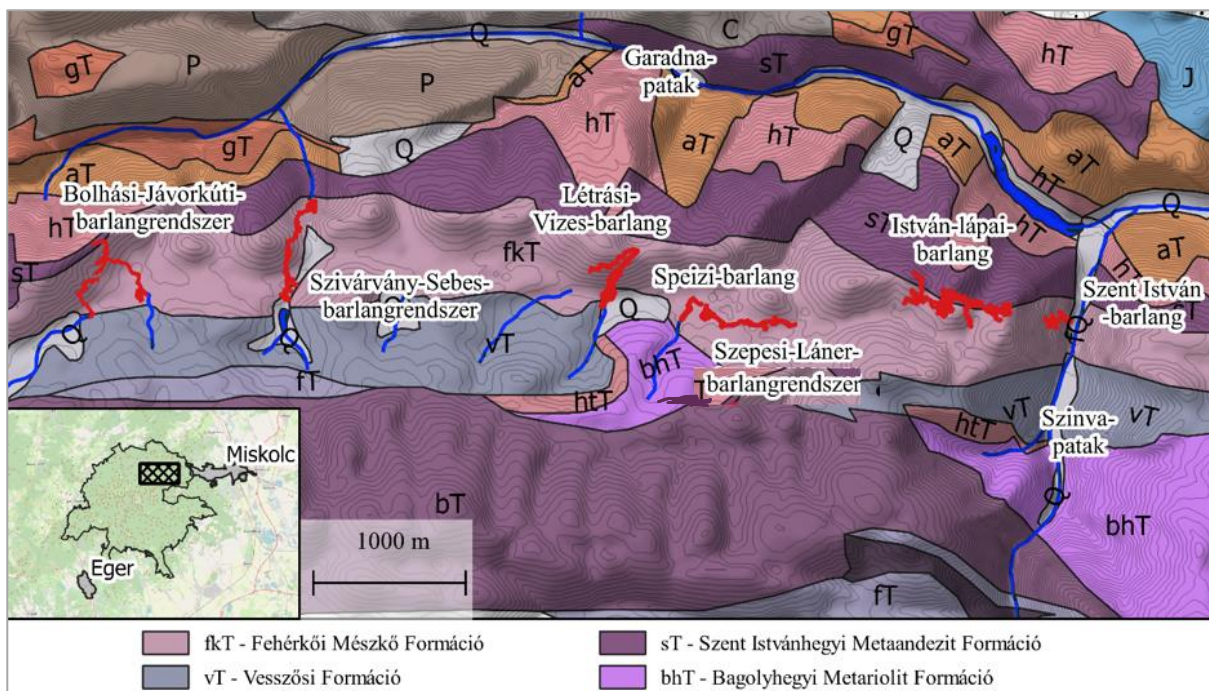
A terepbejárások és tervezés során két barlangi mérési helyet és egy felszíni mérési helyet jelöltünk ki a Szepesi-Láner-barlangrendszer (kataszteri száma: 5372-3, hossza: 2 446 m, mélysége: 159 m) Szepesi-barlangjában (*Lénárt 1978*), a Speizi-barlangban (kataszteri száma: 5372-47, hossza: 718 m, mélysége: 96 m) és a Speizi-barlangot tápláló víznyelőnél. Mindkét barlangban működött korábban folyamatos vízszint-mérés az alsó végponti szifonban. A folyamatos vízszintregisztráció 2004-2005-ben kezdődött és a Szepesi-barlang Keleti ágában jelenleg is folyamatosan működik.

FÖLDTANI ÉS BARLANGTANI INFORMÁCIÓK

A kutatott terület a Bükk-fennsík ÉK-i peremén húzódik. A középső-felső-triász Fehérkői Mészke Formáció itt egy hosszú K-Ny. irányú sávot alkot (*1. ábra*). A mészke világos szürke színű és pados, vastagpados megjelenésű, amit néhol a metamorf hatások felülírtak (*Pelikán 2005*). A jól karsztosodó mészkeövet északról és délről nem karsztos egységek határolják. Ezek közül esetünkben a délről szomszédos Vesszősi Formáció fontosabb, ami felszíni nem karsztos vízgyűjtőt is szolgáltat. Anyagát tekintve változatos, meszes agyagpala, homokkő, mészkevek, áthalmazott vulkáni anyagok. Néhol az agyagpala felszíni elterjedése elvékonyodik, mint ahogy a vizsgált barlangok közelében

is. Itt a felszíni vízgyűjtőt az ugyancsak nem karsztosodó Bagolyhegyi Metariolit Formáció alkotja. A mészkősávot északról a Szent Istvánhegyi Metaandezit Formáció hatá-

rolja, ami a felső, repedezett részein ugyan képes vízvezetésre, de döntően vízzáróként működik (Baráz 2002), főleg a jól karsztosodó mészkővel kontrasztba állítva.



1. ábra. A barlangok földtani környezete (Less, 2002 és az Országos Barlangnyilvántartás felmérései alapján)
Figure 1. Geological settings of the study area (based on Less, 2002 and surveys from the Hungarian Cave Register)

A földtani és domborzati adottságok miatt a mészkősáv karsztosodásában jelentős az allogén táplálás: számos víznyelő táplálja a patakos barlangokat. Jávorkúttól keletre több ilyen vízrendszer is elkülönül (Sásdi 2017), melyek különböző forrásokban csapolódnak meg és egymás között kizárható az átjárhatóság. A mészkősáv Jávorkúttól nyugatra eső részei döntően a Garadna-forrás vízgyűjtőjéhez tartoznak. A Jávorkúttól keletre eső részen az első vízrendszer a Bolhási-Jávorkúti-barlangrendszer, ami a Garadna-forrás felé, majd a Sebesvíz és Fenyves-rét környékére vezeti a vizet, ami a Sebes-völgyben fakadó Huba-forrásban csapolódik meg. Ettől keletre már egy összetettebb, több barlangot is magába foglaló vízrendszer húzódik, aminek a megcsapolása a Szinva völgyébe történik Lillafüred területén. A rendszer egyik fő forrása a Soltész-kerti forrás, aminek árvízi túlfolyói a Szent István-barlang, illetve a Szinvaparti-barlang. Ehhez a vízrendszerhez tartozik a hozzámérések helyszínéül szolgáló Speizi-barlang és Szepesi-Láner-barlangrendszer is.

Korábbi elképzelések (Sárváry 1969) szerint a vízrendszer a Létrási-Vizes-barlang nyelőjével kezdődik és a patak „felfűzi” a Szepesi-barlangot, az István-lápai-barlangot. A képet finomították a későbbi feltárások és kutatások. Egyrészt víznyomjelzési eredmények (Sásdi 2006, Sásdi és Szilágyi 1995) is arra utaltak, hogy inkább párhuzamos ágakról lehet szó, amik valahol egymásba torkollnak, másrészt a Speizi-barlangban történő feltárások és földtani megfigyelések (Dobos és társai 2007) vezettek arra a következtetésre, hogy a Speizi-barlang a Szepesi-Láner-barlangrendszerben folytatódik és a Létrási-vizesbarlang egy ezzel párhuzamos ágat képez a mészkősáv északi részén.

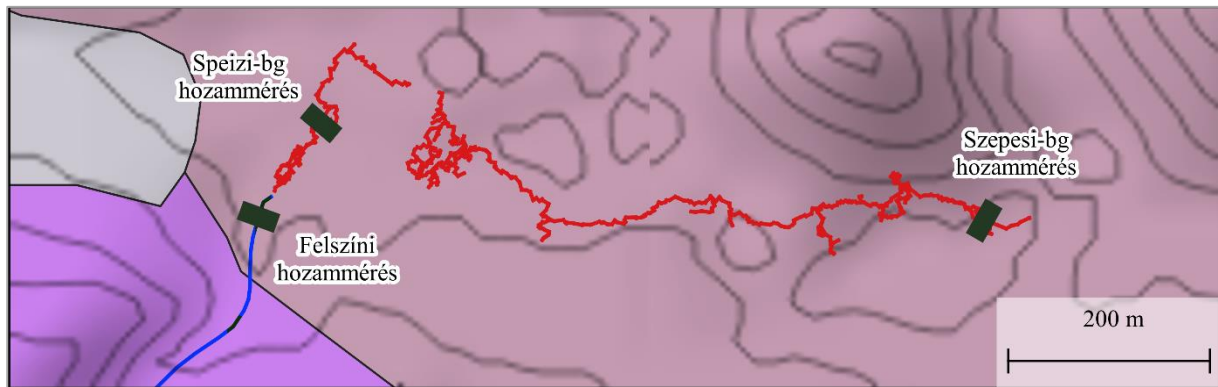
A mérések szempontjából viszonylag egyszerű a kép. A Speizi-barlang víznyelőjében elnyelődik a nem karsztos

(Vesszősi Formáció) felszínről származó patak, majd végigfolyik a barlangon és át a Szepesi-Láner-barlangrendszer Láner Olivér-barlangja felé, onnan pedig a Szepesi-barlangba, ahol végig jól követhető a víz útja. Bár időszakos nyelőként kezelik, a legszárazabb időszakokat leszámítva történik egy minimális vízbetáplálás. A barlangokban viszont kisvizek esetén csak néhol van aktív vízfolyás, feltehetőleg egy mélyebb szinten vezetődnek le a vizek. Ugyanakkor egy kisebb csapadék is elég, hogy a patak újra megjelenjen a barlangok járható szintjén.

A Speizi-barlang vízgyűjtője a nagy pontosságú domborzati modellen végzett számítások alapján 22 ha és az itt helyileg kibukkanó Bagolyhegyi Metariolit Formáción húzódik.

A MÉRŐHELYEK KIALAKÍTÁSA

Az előzményként szolgáló árvízi vízhozamszimulációk révén adott volt, hogy a hozzáméréseket a felszíni lefolyás – Speizi-barlang – Szepesi-Láner-barlangrendszer mentén végezzük. Ezek pontos helyének meghatározása több szempont figyelembevételét igényelte. Ezek között kiemelten említendő a bukógátakra vonatkozó mérnöki szempontok, a természet- és barlangvédelmi szempontok, a helyszíni adottságok, valamint a gyakorlati szempontok. Végül egy felszíni és két barlangi mérőhely kialakítása mellett döntöttünk (2. ábra). A felszíni mérőhely a Speizi-barlang víznyelőjénél, felvízi irányban néhány méterre került kialakításra, ahol a meder kicsit kimélyül, lehetővé téve a visszaduzzasztást. A Speizi-barlangban a jelenleg elérhető végpont (szifon) fölött kb. 20 méterrel alakítottuk ki a mérőhelyet. A Szepesi-Láner-barlangrendszerben ugyancsak az alsó végpont közelébe került a mérőhely a Szepesi-barlang Keleti ágában, a tótól mintegy 40 méterre.



2. ábra. A folyamatos vízhozammérések helye
Figure 2. Locations of the continuous flow rate measurements

A helyszíni adottságok egyrészt a felvízi oldali merderrel szemben támasztott követelményekben kényszerítettek kompromisszumos megoldásra, ez pedig hatással lehet a mért hozamok pontosságára. A hiba mértékét nem tudjuk számszerűsíteni, viszont kisvízes időszakban és kisebb árhullámok mellett több ellenőrző mérést is végeztünk köbözéssel és a mérési eredmények megbízhatónak bizonyultak. A köbözéseket a szokásostól eltérően nem vödörrel végeztük, hanem a barlangi körülményekhez igazodva egy műanyag zsákba gyűjtöttük a vizet (1. kép), aminek a tömegét egy kézi horgászmerleggel határoztuk meg. A térfogatmérést így tömegmérésre vezettük vissza és sokkal kompaktabb eszközökkel volt lehetőségünk viszonylag nagy hozamokat is mérni. A nagyobb árhullámok során ilyen ellenőrző méréseket nem tudtunk végezni, így pont ezeknek a hozamoknak az értékeiben lehet nagyobb hibát feltételezni.



1. kép. A bukógát és az ellenőrző hozammérés a „köböző zsákkal” (Fotó: Fekete)

Photo 1. Verification measurement of flow rate using a plastic bag and a fishing scale (Photo: Fekete)

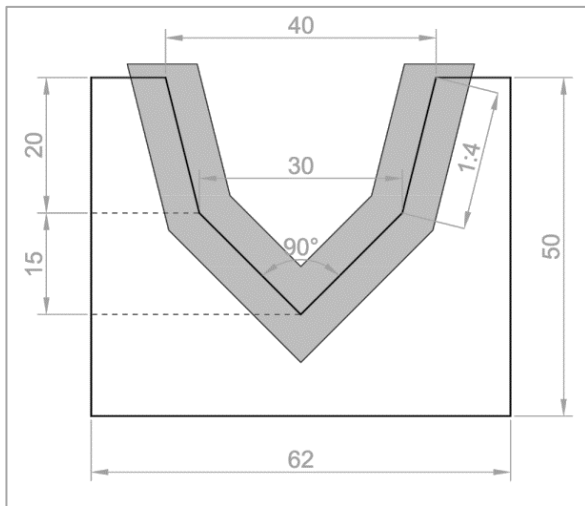
Másrészt annak érdekében, hogy minél nagyobb vízhozamokat legyünk képesek mérni a szűk helyen, összetett szelvényű bukónylást alkalmaztunk (3. ábra). Az első 15 cm magasságig a szabványos 90°-os nyílást, fő-

lötte pedig 4:1 meredekségű (28°-os) nyílást alakítottunk ki. A 35 cm magasságú nyílással így egy kb. 57 l/s maximális hozam mérésére van lehetőség. A vízhozam számításánál Starosolszky és társai (1971) az összetett szelvényű bukókra javasolt megoldását alkalmaztuk. Mivel ez elsősorban egyre növekvő nyílású bukókra volt leírva, a mi esetünkben pedig fordított a helyzet, az eljárást számítógépes áramlástanai szimuláció segítségével is ellenőriztük (Fekete 2017).

A bukólemez anyaga 10 mm vastagságú PVC lemez, aminek a bevágását megfelelően leperemeztük 45°-ban. Később a vízszög megfelelő elválása érdekében egy 1 mm vastagságú alumínium lemezből alakítottuk ki a végleges koronát.

A hozammérő helyek kialakítása 2015 folyamán történt meg. Az elkészült bukógátak rendszeres karbantartást igényelnek. Javításokra főleg az első években volt szükség. Előfordult, hogy az agyagtömítést kimosta a patak, vagy egyéb okból történt elszivárgás a bukólemez mellett. A későbbiekben a karbantartások elsősorban a visszaduzzasztott medence takarításából álltak, mivel az rendszeresen feltelt a patak által szállított hordalékkal. A vízszintregisztráló rögzítési pontja szintén rendszeres ellenőrzést igényelt. Ezeket a karbantartásokat összekötöttük az adatrögzítő kiolvasásával. A bukóépítés és az azt követő karbantartás és adatkiolvasás során a Speizi-barlangba 15, míg a Szepesi-barlangba 18 alkalommal történt leszállás. Megbízható vízhozam adat a Szepesi-barlangból 2015 októbertől, a Speizi-barlangból 2016 júliustól áll rendelkezésre.

A felszíni bukógát sajnos nem volt hosszú életű. Az egyetlen, a fenti szempontokból kompromisszumosan, de megfelelő helyen a víz sodrása okozott problémát és egy nagyobb árhullám teljes mértékben elpusztította a bukógátat és az adatrögzítőt. Ezek után ezt a mérési helyet felhagytuk. A kinyert idősor a lefolyásvizsgálat szempontjából elhanyagolható jelentőségű. A két barlangi mérési pont viszont többé-kevésbé azóta is folyamatosan működik.



3. ábra. A barlangokban használt bukógát profilja (mértékek cm-ben)

Figure 3. The profile of the weirs installed in the caves (measurements in cm)

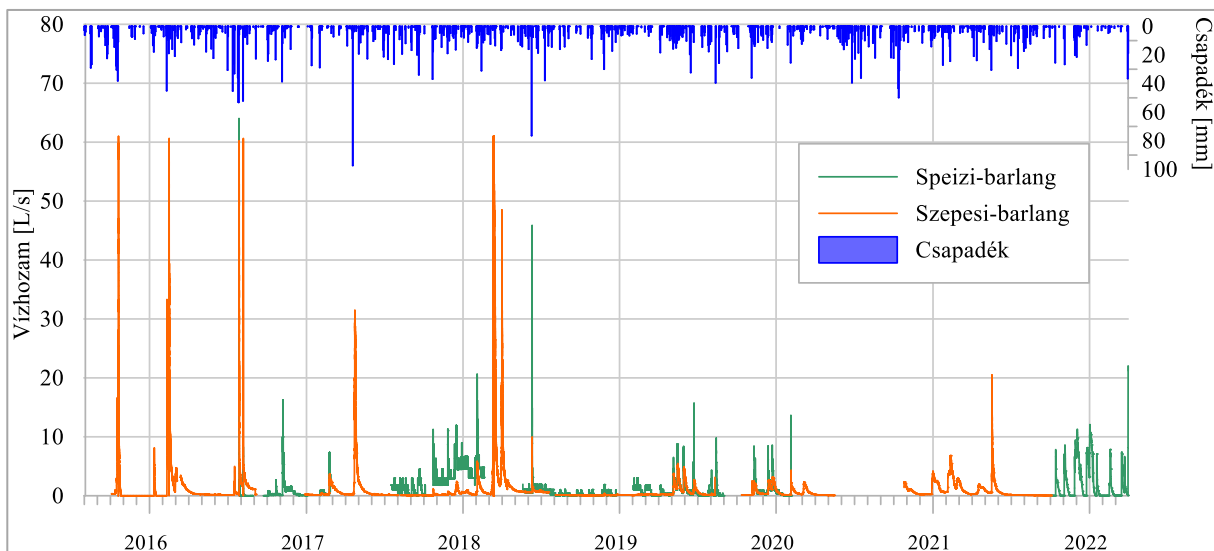
A bukógátak átbukási vízszintjét folyamatos vízszint-regisztrálóval mértük. A mérési periódusidő 10 perc volt. Csapadék idősorok a jávorkúti automata mérőállomásból

érhetőek el (légvonalban 4 km, a mintaterülettel azonos környezetben).

EREDMÉNYEK

A 2015 és 2016 környékén kialakított hozammérési helyek telepítése és használata óta eltelt 6-7 év során jelentős mennyiségű adatot sikerült gyűjteni. Sajnos különböző okokból adathiányok is vannak, így folyamatos idősról kevésbé beszélhetünk. Az adathiányok okai sokfélék voltak. A leggyakoribb ok az adatregisztráló meghibásodására vagy az elmaradt karbantartásokra, javításokra vezethető vissza. Sajnos ezekre általában csak az adatkinyerés célú leszállások során derült fény. A legnagyobb árhullámok meghaladták a bukógát által mérhető vízhozamot és bár rövid idejű, de fontos adatoktól estünk el. Egy másik adathiányt a hosszú csapadékmentes időszakokban szárazra kerülő vízszintregisztráló okozott. Az ilyen időszakok érdektelenek számunkra, joggal feltételezhető a zero vízhozam.

Mindkét barlangban számos árhullámot sikerült regisztrálni (4. ábra), ezek több esetben is meghaladták a maximálisan mérhető 60 l/s körüli hozamot. Időbeli eloszlásukat tekintve az első években több ilyen árhullámot észleltünk.

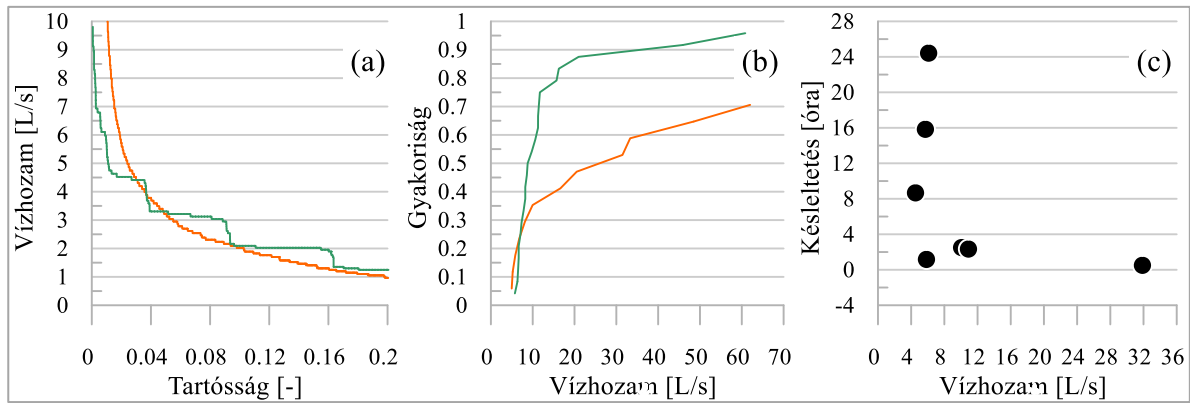


4. ábra. A mért vízhozamok időszora a két barlangban és a Jávorkúton mért napi csapadékösszegek
Figure 4. Time series of the measured flow rates and daily precipitation data from Jávorkút

A tartóssági görbék (5a. ábra) alapján mindkét mérési pontban jól elkülönül az alaphozami állapot, ami az idő döntő többségében jellemzi a rendszert és a nagyobb vízhozamok, ami a teljes időtartamhoz képest elenyésző tartósságúak. A Q10 mindkét esetben 2 l/s, az 5 l/s és előtti vízhozamok pedig már csak 2% tartóssággal rendelkeznek. A felszínhez közelebb eső, a patak mentén magasabban elhelyezkedő mérési pontban (Speizi-barlang) ez az egyenlőtlenség még hangsúlyosabb. A víznyelőtől távolabb eső mérési pontban (Szepesi-barlang) már valamivel kiegyenlítettebb képet kapunk. Jelentős eltérés csak a kb. 1%-nál alacsonyabb tartósságok esetében van. Az egyes árhullámokat összehasonlítva szintén látható,

hogy a Szepesi-barlangba leérkezve már csillapodik a maximális hozam. A teljes lefolyó vízmennyiség azonban nem csökken, sőt az oldalágakból betáplált vizek miatt inkább kicsit nő.

Az árhullámok gyakoriságát tekintve (5b. ábra) szintén tapasztalható, hogy a víznyelőhöz közelebb eső mérési pontban (Speizi-barlang) a felszíni csapadékok jobban érvényesülnek: kisebb csapadékesemények hatása is jól érezhető. A távolabbi mérési pontban ezek már nem vagy gyengébben észlelhetők. Ebben a mérési pontban jellemzően csak a nagyobb árhullámok észlelhetők.



5. ábra. A vízhozamok eloszlások jellemzői: (a) tartóssági görbe, (b) árhullámgyakoriság, (c) késleltetési idők
 Figure 5. Characteristic of flow rate distribution: (a) duration curves, (b) flood frequencies, (c) transit times

Az árhullámok tetőzési hozamai és a két mérési pont közötti késleltetési idők közötti kapcsolat jellege nem egyértelmű (5c. ábra). Azt viszont meg lehet állapítani, hogy a nagyobb, 10 l/s-ot meghaladó árhullámok késleltetése 1-2 óra, a 30 l/s-ot is meghaladó árhullámok esetében pedig akár fél órára is csökkenhet. Ezekről jelentősen eltérnek a kisebb, 5 l/s körüli árhullámok, amik nagyobb késleltetési tartományba esnek és már inkább fél-egy nap késleltetéssel jellemezhetőek. Az eddigi adatok azt is sejtetik, hogy a kisebb árhullámok esetében jelentős lehet a csapadékot megelőző állapot hatása, tehát ilyen esetekben nem mindegy, hogy a barlang mennyire száraz vagy nedves már eleve. Nagyobb árhullámok esetében a megelőző állapot hatása kevésbé tűnik jelentősnek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 2015 és 2016 környékén kialakított vízhozammérési helyek jelentős mennyiségű információt szolgáltatnak a barlangi árvizek vizsgálatához. Sajnos a körülményekből adódóan komoly adathiánnyal is terheltek az idősorok. Ennek ellenére számos árhullámot sikerült észlelni és azok jellemzőit megismerni. Az eredmények alapján a két barlangi mérési pontban a hozameloszlás és az árhullámok nagyhasonlóságot mutatnak, a két pont közötti járatszszakaszok jellege ellenére is: több helyen összeszűkül vagy éppen homokkal és kavicsal kitöltött szifonok akadályozzák a vízáramlást. Az eltérések abban jelentkeznek, hogy a tetőzési hozamok csillapodnak és a hozamok tartóssága is kiegyenlítettebb képet mutat a víznyelőtől távolabb eső mérési pontban.

Mivel a módszerből adódóan a monitoring üzemeltetése erőforrásigényes, kérdéses, hogy ezt meddig sikerül fenntartani. Ha a jövőben is fennmaradnak a mérési helyek, akkor két dologban érdemes előrelépést tervezni: egyrészt a jövőbeli mérések esetében az adathiányok csökkentése másrészt a hozammérési helyek számának növekedése, elsősorban a víz kilépésénél a forrás közelében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg. Szintén köszönet illeti a Marcel Loubens Barlangkutató Egyesületet és tagjait egyrészt a kutatáshoz nyújtott infrastrukturális segítségért, másrészt, hogy a barlangászcsapat mindig kíséretet adott és segített a leszállások során.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baráz Cs. (szerk.) (2002). A Bükki Nemzeti Park: Hegyek, erdők, emberek. Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, p. 621.
- Böcker T. (1975). A barlangi csepegés és a beszivárgás kapcsolata a Bükk-hegység keleti részén. Karszt és barlang 1975. évf., I-II. füzet, pp. 5-8.
- Dobos T., Kovács Zs., Sűrű P. (2007). Régi elképzelés, új felfedezés - láthatáron a Speizi-Szepesi-Láner-barlangrendszer. Barlangkutatók Szakmai Találkozója Jószafo, 2007.11.9-11., Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat. p. 8. https://www.mlbe.hu/evkonyv/evk07/Speizieloadas2007Joszafo_.pdf (letöltés dátuma: 2022.07.06.)
- Fekete Zs., Sűrű P. (2014). Egy bükki kisvízgyűjtő karszt árvizeinek modellezése. Karsztfejlődés, XIX. Szombathely, 19. kötet. pp. 91-103.
- Fekete Zs. (2017). Összetett szelvényű bukók Q(H) kapcsolatának meghatározása numerikus szimulációval. Esettanulmány. XIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Sapientia EMTE. pp. 81-82.
- Juhász A. (1975). A bükk-hegységi karsztforrások vízminőségvédelmének lehetőségei. Karszt és barlang, I-II. félév. pp. 1-4.
- Less Gy. (2002). Bükk hegység földtani térképe 1:50 000. Magyar Állami Földtani Intézet.
- Lénárt L. (1978). A Szepesi-barlang bejárasi útmutatója. Bejárasi útmutató a Karszt és Barlangkutatók I. Országos Tudományos Diákköri Találkozója tanulmányútjához. NME-MKBT. pp. 4-7., térképmelléklettel.
- Lénárt L. (1986). A Létrási-vizes-barlang komplex barlangtani vizsgálatának főbb eredményei. NME Közleményei, Miskolc, I. Sorozat, Bányászat. 33. kötete 1-4. szám. pp. 33-45.
- Lénárt L. (2003). A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése. Felszín alatti vizeink kutatása, feltárása, hasznosítása és védelme. Ia. kötet: Karsztvízkutatás Magyarországon. Felszín Alatti Vizekért Alapítvány https://fava.hu/publikaciok/jubileumi_kiadvanyok/tanulmányok_pdf/lenart.pdf (letöltés dátuma: 2022.05.10.)
- Lénárt L. (2022). A 30 éves bükki karsztvízszint észlelő rendszer (BKÉR) leghosszabb adatsorai által dokumentált változások, a változások okai 1992-2021 között.

MHT Borsodi Területi Szervezete – 2022. évi Víz Világnapi ünnepi kiadvány. pp. 41-52.

Pelikán P. (szerk.) (2005). A Bükk hegység földtana. Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000). Magyar Állami Földtani Intézet. p. 284.

Sárvány I. (1969). A Létras-Istvánlápai-barlangrendszer. Karszt és barlang 1969. 2. félév. pp. 53-56.

Sásdi L. (2006). Víznyomjelzéses vizsgálatok a Bükk-hegységi Létras- és Nyavalyás-tető térségének fokozottan védett barlangjaiban. Karszt és barlang, 1995-96. pp. 29-34.

Sásdi L. (2017). A Bükkben végzett víznyomjelzéses vizsgálatok ismertetése és értékelése. p. 99.

Sásdi L., Szilágyi F. (1995). An experimental study of the connection between karst waters in the area of Létras-tető, Bükk Mountains, Hungary. A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése 1994-95. pp. 147-151.

Starosolszky Ö., Muszkalay L., Börzsönyi A. (1971): Vízhozammérés. VITUKI, Budapest. p. 611.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.



Vízszint és vízhőmérséklet mérés az István-lápai barlang (Bükk hegység) 2. sz. szifontavában (Fotó: Juhász)

Innovatív mérési módszerek a geotechnikában

Kántor Tamás*, Kovács Balázs*

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros
(E-mail: hgkt83@uni-miskolc.hu, modflow@gmail.com)

Kivonat

A Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének kiemelt oktatási és kutatási területe a talajmechanika és a geotechnika. A 35 éves fennállás alatt – különböző formákban és szinteken – a talajok teherviselő képességével és mechanikai tulajdonságaival foglalkozó tárgyak és kutatások az Intézet életében mindig jelen voltak. Jelen közleményben a 2007-ben létrehozott Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratórium kutatási eredményeit mutatjuk be. A 2007 és 2019 közötti időszak meghatározó feladata a laza mezőgazdasági talajok viselkedésének megismerése volt, amit Európa meghatározó gumigyártójának felkérésére, velük együttműködve végeztünk. A kutatásaink fontos szerepet játszottak a gumiipari vállalat agrár divíziójának abroncsfejlesztési tevékenységében. Az eredményeink helyességét a ma már piacon kapható, kutatásaink alapján gyártott abroncsok bizonyítják. A kutatómunka során több olyan, a hagyományos gyakorlatban alkalmazott mérési eljárás megreformálása vált szükségessé, ami jelentős innovációnak számít a tudományterületen belül. Ilyenek voltak a nyomá szenzoros technika bevezetése az ödométeres- és nyíróvizsgálatokba, a nagyméretű talajnyíró berendezés kifejlesztése, illetve korábban erre a célra nem használt anyagmodellek alkalmazása, továbbgondolása. A kutatási eredményeket folyamatosan beépítettük az oktatásba, valamint a tehetséges, érdeklődő diákok TDK (Tudományos Diák Kör), illetve diplomamunka kutatásait is végezheték a Laboratóriumokban. Az évek során diákok tucatjaival sikerült megszerettetni a talajmechanikát és a geotechnikát, akik közül többen a mai napig ezzel foglalkoznak.

Kulcsszavak

Talajmechanika, geotechnika, laza talajok, nyírás, összenyomódás.

Innovative laboratory measurement methods in geotechnics

Abstract

The priority teaching and research areas of the Institute of Environmental Management of the University of Miskolc are soil mechanics and geotechnics. During its 35 years of existence, objects and research dealing with the load-bearing capacity and mechanical properties of soils have always been present in the life of the Institute, in various forms and levels. In this thesis, we present the research results of the Geotechnical Soil Testing Laboratory established in 2007. The defining task of the period between 2007 and 2019 was to learn about the behavior of loose agricultural soils, which we conducted at the request of Europe's leading rubber manufacturer and in cooperation with them. Our research was an important part of the tire development activities of the agricultural division of the rubber company. The quality of our results is proven by the tires manufactured based on our results that are available on the market today. During the research work it became necessary to reform several measuring procedures used in traditional practice, which are considered a significant innovation within the field of science. Such were the introduction of pressure sensor technology in oedometer and shear tests, or for example the development of large-scale soil shearing equipment, as well as the application and development of material models. The research results were continuously incorporated into the education, and the talented and interested students could also conduct their TDK (Scientific Students' Associations) and thesis research in the Laboratories. Over the years, dozens of students have managed to fall in love with soil mechanics and geotechnics, many of whom are still engaged in this field today.

Keywords

Soil mechanics, geotechnics, loose soils, direct shear, compression.

BEVEZETÉS

A geotechnika, azon belül is a talajmechanika alig kevesebb, mint százéves múltra tekint vissza (*Kézdi 1972*). A talajmechanika egy multidiszciplináris tudományterület, ami a mai napig nagyfokú fejlődést mutat. Az innováció, a más tudományágak fejlődéséből átvett újítások segítik a talajmechanika laboratóriumi, terepi és elméleti hátterének fejlődését, valamint új utakat nyitnak az egyre bonyolódó problémák megoldásában.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A fejezetben bemutatásra kerülnek azok a főbb újítások, amelyeket a laza talajok vizsgálata során fejlesztettünk ki. Az innovatív megoldások elsősorban a felmerülő problémák megoldása miatt valósultak meg.

Vizsgált talajok

Kutatásunk célja a laza, konszolidálatlan talajok talajmechanikai szemléletű vizsgálata volt. Laza konszolidált talajokkal leggyakrabban erdészeti, terepi („offroad”), sivatagi és mezőgazdasági művelés alatt álló területeken találkozhatunk.

Terhelés hatása alatti viselkedésük vizsgálatának jelentőségét elsősorban a fent említett területeken mozgó járművek optimalizálása és a talajok tömörödésének hatására bekövetkező esetleges mezőgazdasági terméskiesés is indokolja.

Kutatásaink során három különböző, Magyarországról származó talajt vizsgáltunk, melyek a következő területekről származtak:

- Nyírtelek, Ferenc tanya (jelölése: NYT, talajosztályozás alapján: iszapos homok);
- Megyaszó, Újvilág tanya (jelölése: MA, fizikai talajfélesége: iszap);
- Taktaharkány, Rónahát-dűlő (jelölése: TH, fizikai talajfélesége: iszapos agyag).

Egyedi mintatömörítő berendezés

A laza, konszolidálatlan talajok vizsgálata gyakran új megoldási módokat követelt meg mind a minta-előkészítés (konszolidálatlan minták előállítás), mind a mérések végrehajtása és az eredmények rögzítése szempontjából.



1. kép. Innovatív mintatömörítő berendezés (Fotó: Kántor)
Photo 1. Innovative soil sample preparator machine (Photo: Kántor)

A laboratóriumi mérések mintatest igénye igen kötött. Fő szempont, hogy a vizsgálat megkezdése előtt a minta öntartó legyen, valamint, hogy a vizsgálatok ismételhetősége miatt a mintatest alakja, formája, kezdeti tömörsége, nedvességtartalma stb. megegyezzen az ismételni kívánt méréseknél.

A laboratóriumba érkező mintákat a vizsgálatokat megelőzően kalapácsos törő segítségével 0,5 cm alatti maximális aggregátum méretig aprítottuk. A mintatesteket a vizsgálatokat követően szintén kalapácsos törő segítségével viszaportítottuk, így kevesebb mintaanyagra volt szükség.

Laboratóriumi vizsgálataink során különböző eszközöket használtunk a laza, telítetlen, konsolidálatlan talajok talajmechanikai paramétereinek meghatározására, így a mintaelőkészítéshez is több, különböző eljárást kellett alkalmaznunk. Az eltérő formájú és méretű mintatestek eltérő, olykor innovatív megoldásokat kívántak. A Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriuma ezért irányított fejlesztést hajtott végre a mérések meggyorsítása és a mérések minél jobb ismételhetősége érdekében

(1. kép). A fejlesztések során mind innovatív eszközök és metodikák kerültek bevezetésre a laboratóriumi gyakorlatba, melyek a talajmechanikai labormérések új generációját képviselhetik.

Triaxiális mérőberendezés

Kutatásaink során kiemelt hangsúlyt kapott a Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában található triaxiális vizsgáló berendezés (2. kép).

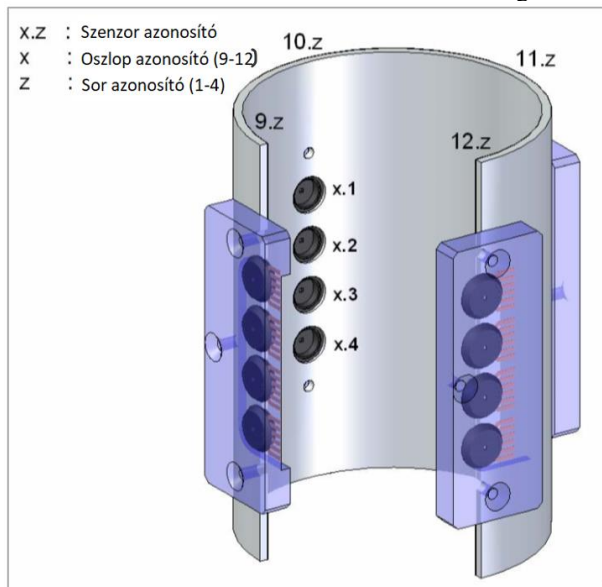
A talajok rugalmas, képlékeny és nyírószilárdsági paramétereinek méréséhez egy digitális adatgyűjtővel ellátott teljes mértékben automata, számítógép vezérelt rendszert fejlesztettünk ki, amely az olasz Controls vállalat által forgalmazott, kereskedelmi forgalomban kapható triaxiális és ödométeres mérőrendszer módosított változata. A berendezés kiegészítésre került egy, a kutatási céloknak jobban megfelelő térfogatmérő egységgel, amely lehetővé teszi a minták térfogatváltozásának szélesebb tartományon való mérését. Ez különösen fontos laza, konsolidálatlan talajok esetén, ahol nagymértékű deformációkra számíthatunk.



2. kép. Triaxiális vizsgáló berendezés a Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában (Fotó: Kántor)
Photo 2. Triaxial cell in the Geotechnical Soil Testing Laboratory (Photo: Kántor)

Nyomásmérősenes ödométeres cella

A konszolidálatlan talajok összenyomódás vizsgálata a hagyományos, talajmechanikai gyakorlatban használt ödométeres eszközökkel nem minden esetben megoldható.



1. ábra. Nyomásmérő oldalszenzorokkal szerelt innovatív ödométeres cella

Figure 1. Oedometric cell with built-in stress sensors

A vonatkozó szabvány alapján (MSZE CEN ISO/TS 17892-5:2017) a minta mérete jól definiált. A minta átmérője legalább 35 mm, magassága legalább 12 mm legyen,

az átmérő és magasság aránya (D/H) pedig legalább 2,5. A laboratóriumi tapasztalat viszont azt mutatja, hogy előtömörítés vagy konszolidáltság hiányában a várható deformációk olyan nagyok lehetnek, hogy a tengelyirányú deformációk kívül esnek a mérési tartományon és a szabványban előírt méretek mellett nem valósítható meg a konszolidáció mérése.

A konszolidálatlan, laza talajok vizsgálatára új, innovatív mérőberendezés fejlesztésére volt szükség. A fejlesztésben a Miskolci Egyetemen működő Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratórium, valamint a miskolci székhelyű Pedinfo Kft. vett részt.

Laza talajok ödométeres vizsgálatánál azonban figyelniünk kell a hagyományostól eltérő, nagyfokú, tengelyirányú alakváltozásra is, ezért kompromisszumos megoldásként a mintatestek magasságának növelése mellett döntöttünk. A mintatestek méretarányainak eltolása a talajban kialakuló feszültségterek inhomogenitását okozták. A talajmintában kialakuló feszültségtér mérésére fejlesztettük ki a szenzoros ödométeres eszközt (1. ábra).

Nagyméretű direkt nyíróberendezés

A Miskolci Egyetem egyedi gyártású, speciális vezérlőszoftverrel irányított nagyméretű nyíróberendezése első ránézésre méreteiben tér el egy hagyományos nyíróberendezéstől. A fizikai méreteken túl azonban fontos tényező még az a széles terhelési tartomány is, amin a szerkezet dolgozni képes.



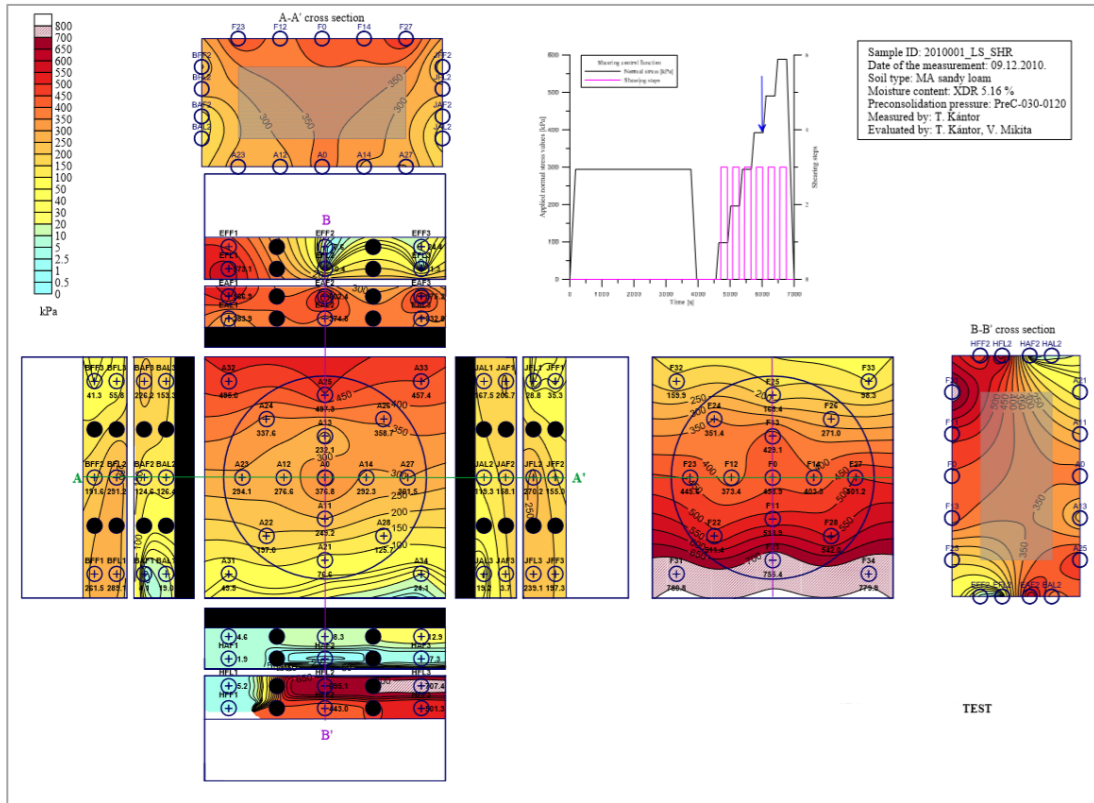
3. kép. Nagyméretű direkt nyíróberendezés (Fotó: Kántor)

Photo 3. Large scale direct shear machine (Photo: Kántor)

A szerkezet befoglaló méretei impozánsak, szélessége 1 400 mm, hosszúsága 4 600 mm, magassága pedig eléri a 2 300 mm-t, össztömege meghaladja az 5,5 tonnát. Ezen kívül a gép része még egy elektromos és kommunikációs szekrény, valamint a hidraulikus rendszert ellátó hidraulika-szivattyú.

A nagyméretű nyírógép továbbfejlesztéseként hozta létre a Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló La-

boratóriuma, a G-Key Terv Kft. és a Pedinfo Kft. a közepes méretű (400 x 400 x 300 mm) nyíródobozzal kompatibilis, nyomásmérő szenzorokkal ellátott betétet. A betét ugyan 350 x 350 mm-re csökkenti a nyíródoboz hasznos felületét, viszont a beépített, a mintát körülvevő 82 darab feszültségmérő szenzor jelentős többletinformációval szolgál a talajokban létrejövő feszültségek eloszlásáról. Az elv megegyezik a korábban bemutatott szenzoros ödométeres egységével.



2. ábra. Nagyméretű nyíróvizsgálat során, száraz iszaptalajban kialakult feszültségtér
 Figure 2. Stress field analysis with large scale shear machine

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

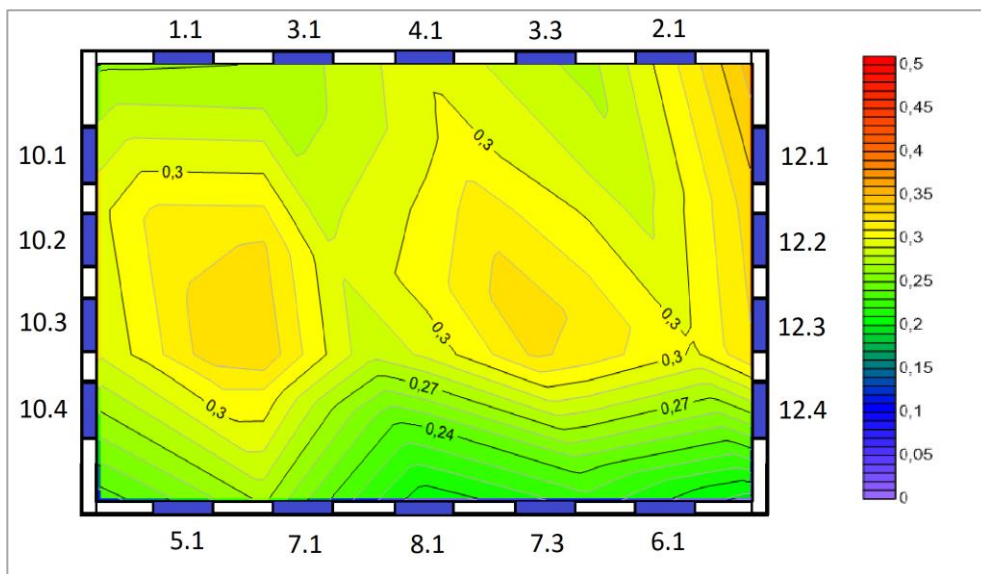
A fentebb bemutatott újítások szélesebb spektrumú eredményeket szolgáltatnak. A hagyományos talajfizikai paraméterek mellett lehetőségünk van a mintatestekben kialakuló feszültségtér szemléltetésére és elemzésére, vagy talajparaméterek újraértelmezésére.

Nagyméretű direkt nyíróberendezés eredménye
 A szenzorok által lehetőség van a mintában nyíró- és

nyomóterhelések hatására létrejövő talajparaméter változások roncsolásmentes követésére. A beépített szenzorokkal a 0 - 800 kPa-os tartományon belül tudunk talajfeszültségeket mérni (2. ábra).

Poisson tényező meghatározása nyomásszenzoros ödométerrel

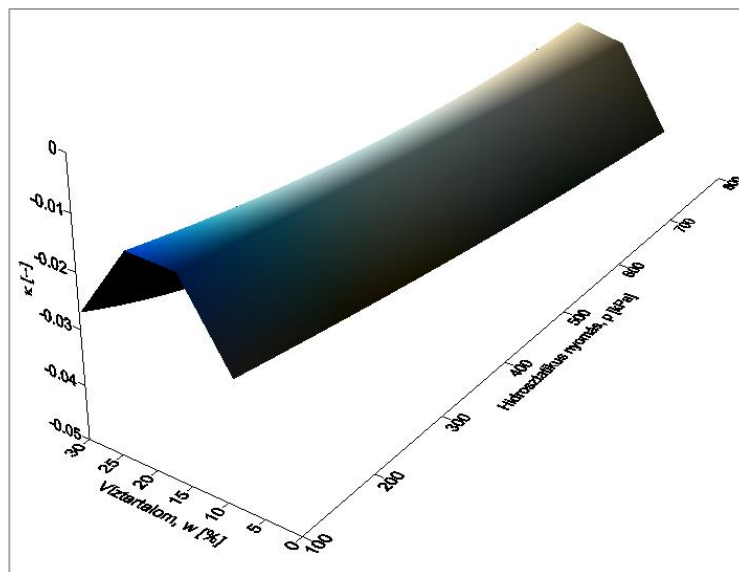
A harántkontrakciós tényező vizsgálati a laza, konszolidálatlan mintán belüli talajtulajdonságok inhomogenitását erősítették meg.



3. ábra. Harántkontrakciós (Poisson) tényező eloszlása egy homokmintán belül, ödométeres mérés során
 Figure 3. Poisson number distribution analysis with sensoric oedometer measurement

A minta keresztmetszetére számított horizontális és vertikális feszültegeloszlásokból számolt harántkontrakciós tényező értékeit mátrix formában elemeztük. A mátrix elemei a talaj keresztmetszeti sík-

jának egyes pontjaiba számított harántkontrakciós tényezők voltak (3. ábra). A 81 oszlopból és 49 sorból álló mátrixok jó felbontást biztosítottak az adatok elemzéséhez.



4. ábra. Iszaptalaj rugalmasságának változását bemutató felület a víztartalom és a terhelés függvényében
Figure 4. Elastic behaviour change of silty soil due to stress and water content

Iszaptalaj rugalmas viselkedésének vizsgálata triaxiális berendezéssel

A talajok víztartalmának, valamint annak változásának hatása a talajok tömörödő képességére és rugalmas viselkedésére ismert, viszont kevés tapasztalat és mérési eredmény áll rendelkezésre eddig a laza, konszolidálatlan talajok ilyen irányú vizsgálatára (Kovács és társai 2008).

A víztartalom hatásának vizsgálatához leválogatásra kerültek az egyes víztartalmi kategóriákba tartozó mérési eredmények, majd ezek statisztikai elemzése után a különböző terhelési lépcsőkhöz tartozó rugalmassági paraméterek (κ) átlagát használtuk a további elemzéshez (4. ábra).

ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben a talajmechanika egy eddig kevésbé kutatott területével, a laza, konszolidálatlan talajok talajmechanikájával foglalkoztunk. A téma aktualitását elsősorban a terepen mozgó járművek járószerkezete és a talaj között kialakuló kölcsönhatások vizsgálata adta, de szisztematikus módszerfejlesztéssel eredményeink alapján egyéb laza, kis konszolidáltsági fokú anyagok (hulladékok, pernyék, mezőgazdasági termények stb.) viselkedésének megértését is segíthetik.

A szenzoros mérés technika, a triaxiális rendszer átalakítása (nagy méretű térfogatmérő és szenzortechnika), a nagyméretű nyíróberendezés és a feszültségmérőkkel ellá-

tott ödométeres mérőberendezés mind a laza talajok talajtulajdonságainak pontosabb meghatározását segítették elő. Ezek az innovatív mérőberendezések részét képezhetik a következő évek talajkutatásainak is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti mindazokat, akik a több, mint 10 éves kutatási munkában részt vettek, anyagi, erkölcsi vagy tudásbeli segítséget nyújtottak a dolgozatban bemutatott eredmények létrejöttéhez.

IRODALOMJEGYZÉK

- Kántor T. (2019) Innovatív mérési megoldások alkalmazásainak vizsgálata a geotechnikában. PhD értekezés. p. 119.
- Kézdi Á. (1972). Talajmechanika I. Budapest: Tankönyvkiadó. p. 618.
- Kovács, B., Kriston, S., Kántor, T., Mikita, V., Sárközi, L. (2008). Triaxial testing of nyírtelek sand, megyszó sandy loam and taktaharkány clay agricultural soils to determine cam-clay parameters. University of Miskolc: Research Group of Agrogeotechnics. p. 158.
- MSZE CEN ISO/TS 17892-5:2017. (2010.). Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata, 5. rész: Ödométeres vizsgálat lépcsőzetes terheléssel. Szabvány.

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

Környezetipari célú szűrők kísérleti előállítás 3D nyomtatással

Székely István*, Madarász Tamás*, Kémenes Hortenzia**

* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: hgszi@uni-miskolc.hu, hgmt@uni-miskolc.hu)

** Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros (E-mail: kemenes.hortenzia@student.uni-miskolc.hu)

Kivonat

Napjainkban a 3D nyomtatás az egyik legdinamikusabban fejlődő eljárás, amit szinte már majdnem minden iparágban előszeretettel és hatékonyan alkalmaznak. Nagyarányú elterjedését a nyomtatáshoz alkalmazható anyagok széles palettája, valamint az egyedi geometriák könnyű tervezhetősége biztosítja. A közleményünk átfogó képet ad a 3D nyomtatás történeti fejlődéséről, működési mechanizmusáról, legismertebb alkalmazási területeiről és a nyomtatáshoz leggyakrabban alkalmazott anyagokról. Az eddig ismert technológiai alkalmazások mellett, jelen tanulmányban bemutatjuk a hazai tulajdonú és az innovatív filamentek (nyomtatókhöz felhasznált anyagok) fejlesztésében nemzetközileg is élenjáró Filamania Kft-vel közösen megkezdett útkeresésünket azért, hogy a még kiaknázatlan környezetipari alkalmazások lehetőségét feltérképezzük. Külön fejezetben mutatjuk be azokat a laboratóriumi nyomtatási tesztek, alkalmazott anyagokat és áteresztőképesség vizsgálati eredményeket, amelyeket a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában végeztünk. A laboratóriumi vizsgálatok célja az, hogy a 3D nyomtatással tervezhető porozitású és áteresztőképességű mechanikai és fizikai-kémiai filtereket hozzunk létre. Ennek sikeressége érdekében a kutatás kiindulópontjaként ismert receptúrájú filamentek különböző nyomtatási beállításaiából (nyomtatási sebesség, hőmérséklet, kitöltés típusa, irányultsága) eredő paraméterek változékonyságának meghatározása volt a cél. A különböző nyomtatási beállítások mellett tervezett mintatestek porozitásának és áteresztőképességének meghatározásából egy olyan adatbázis készíthető, amely alapján a későbbiekben tervezhetővé válnak a megfelelő mechanikai szűrési tulajdonságokkal és funkciókkal ellátott szűrők.

Kulcsszavak

3D nyomtatás, PLA, porozitás, szivárgási tényező, filter.

Experimental production of environmental industry filters using 3D printing

Abstract

3D printing is one of the fastest growing technologies of our days and it is being used in almost every industry with great popularity and efficiency. Its widespread application is driven by the wide range of materials that can be used for printing and the ability to easily design unique shapes and features. This article provides a comprehensive overview of the historical development of 3D printing, its operating mechanisms, its best-known applications and the materials most commonly used for printing. In addition to the technological applications known so far, in this study we present our pioneer work started jointly with the Filamania Kft., which is an international flagship company in the development of innovative filaments. Our common goal is to map the potential of yet unexploited environmental applications of 3D printing. In a separate chapter, we present laboratory printing tests, materials used, and permeability test results conducted in the soil testing laboratory of the Institute of Environmental Management, University of Miskolc. The goal of the laboratory tests is to create mechanical and physico-chemical filters with designable porosity and permeability by 3D printing. In order to achieve this, our aim was to determine the variability of parameters resulting from different printer settings (printing speed, temperature, type of filling, orientation, etc.) of filaments with known recipe. Based on the porosity and permeability of the samples designed at different printing settings, a database can be generated, which will allow the design of filter media with appropriate mechanical filtration properties and functions.

Keywords

3D printing, PLA, porosity, hydraulic conductivity, filter.

BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás története

A 3D nyomtatás története évszázadokra nyúlik vissza, mégis új technológiának tekinthetjük. A mai számítógépes 3D nyomtatás alapjául szolgáló technológiát 1860-ban találta fel Francois Willème francia festő, fényképész és szobrász. Willème 24 szögből készített fényképeket tárgyról, személyekről és így hozta létre a 3 dimenziós hasonmásukat. Az Amerikai Egyesült Államokban Joseph E. Blather térképész, térben ábrázolt szintvonalas térképeket 1892-ben. Blather találmányát sok kísérlet követte, de nagy áttörést egyik sem hozott egészen az 1980-as évekig (Horváth és Kurucz 2017).

A mai modern 3D nyomtatás prototípusa 1983-ra tehető, amikor Charles W. Hull feltalálta a sztereolitográfiát (SLA). Az eljárás lényege az, hogy UV fényben a folyé-

kony polimerek megkeményednek. 1986-ban megalapította a 3D Systemet, amely a mai napig piacvezető vállalat. 1987-ben megalkották a 3D System SLA1-et, ez volt az első sztereolitográf gép, amelyet már piaci alkalmazás céljára készítettek (Savini és Savini 2015).

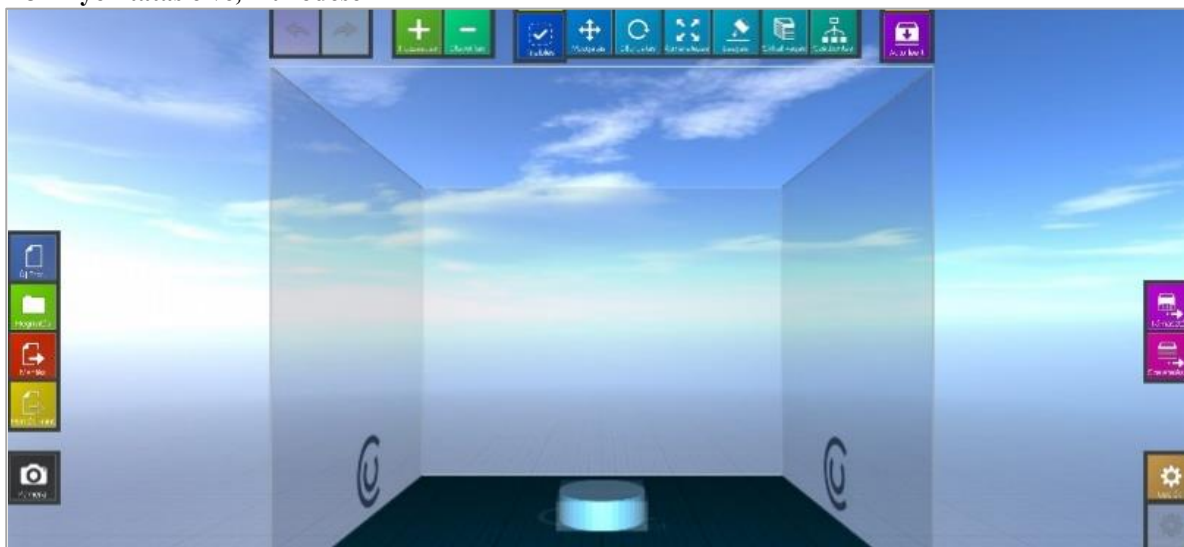
Hull fejlesztésével párhuzamosan több kutató is foglalkozott a témával, mígnem a Texasi Egyetem kutatója, Carl Deckard 1987-ben megalkotta a lézeres szinterezést (SLS). A találmány lényege, hogy lézerek segítségével megolvastja a porszemcséket. Ugyanebben az évben Scott Crump kidolgozta a Fused Deposition Modelling (FDM) eljárást, amely a termoplasztikus anyagok rétegenként történő leválasztásán alapul (<https://www.3dsystems.hu/hu/>).

A 2000-es évek elejéig a magas költsége miatt a 3D nyomtatást csak az iparban használták 2005-ben indult az

a kezdeményezés, amelynek célja az olcsóbb nyomtatók gyártása volt, lehetőséget teremtve arra, hogy a technológia magánszemélyek számára is hozzáférhető legyen. A projekt a RepRap (Replicating Rapid Prototyper) nevet

kapta, amelynek alapját a Scott Crump által kidolgozott „szálolvastásos” módszer adta. A kezdeményezéseknek köszönhetően világszerte egyre elterjedtebbé vált a 3D nyomtatás (Horváth és Kurucz 2017).

A 3D nyomtatás elve, működése



1. kép. A 3D modell szoftveres szeletelése – CraftWare 1.18.1 szoftver (A szerzők saját felvétele 2022)
Photo 1. Software slicing of the 3D modell – CraftWare 1.18.1 software (Own photo of authors 2022)

A 3D nyomtatás saját anyagából építi fel a modellt, nem pedig egy tömbből faragja le a felesleges anyagot. Ennek köszönhetően kevesebb hulladék keletkezik és összetettebb geometriák nyomtatására is képes. A nyomtatási technológia folyamatát tekintve az első lépés a 3D CAD modell megtervezése. A modellt ezt követően a nyomtató szoftvere vékony rétegekre szeleteli, majd meghatározza a nyomtatófej útját és a felhasználni kívánt anyag mennyiségét (1. kép). A nyomtató a kiválasztott anyagból rétegről rétegre hozza létre a szoftverben tervezett modellt (Thakar és társai 2021).

Az 1980-as években kifejlesztett módszerek, mint az FDM (Fused Deposition Modelling), az SLS (Selective Laser Sintering) és az SLA (sztereolitográfias gyártástechnológia) napjainkban is a leginkább használatosak (Gajdács és Szűcs 2020). Az SLA a legrégebb (1986) óta alkalmazott technológia, amely a fotopolimerizáció elvén alapszik. Az adott hullámhosszú fény hatására a folyékony halmazállapotú műanyag megszilárdul. A folyamat során a tervezett modell egy tálcán jön létre, amelyet a fotopolimerrel töltött kád felszíne alá helyeznek. A fény a folyadék felszínét pásztázza, majd a modell térfogatában a fotopolimer megszilárdul, miközben a tálcát egyre mélyebbre süllyed a kádban, míg a végleges forma el nem készül. Nagy előnye, hogy bonyolult geometriájú, üreges szerkezetű polarizálható és ragasztható tárgyak is nyomtathatóak, ellenben csak fotoérzékeny anyagok nyomtatására alkalmas, amelyek szilárdsága alacsony.

A legelterjedtebb 3D nyomtatási technológia az FDM, anyaga minden esetben hőre lágyuló műanyag, amit 1,75 mm és 2,85 mm átmérőjű szálban feltekercselve hoznak forgalomba. A szál egy léptetőmotor mozgatja a fűthető nyomtatófej felé, ahol a megolvastott anyag a fűvókán

keresztül kerül a munkaasztalra. A nyomtatófej X és Y koordináta síkban hozza létre a modellt rétegről rétegre haladva, miközben a munkaasztal Z irányban követi a mozgását. Az FDM előnye a széles alapanyagválaszték és a berendezés könnyű üzemeltetése. A falvastagság és sűrűség szabályozhatóságával erős, de könnyű alkatrészek gyártását teszi lehetővé kedvező áron.

A szelektív lézeres szinterezés (SLS) finomszemcséjű por állagú, hő hatására megolvastható alapanyagokkal dolgozik. Működése során a munkafelületen a kívánt rétegvastagságban elteríti az anyagot, majd a föllette elhelyezkedő lézert a mozgó tükör segítségével végigpásztázza a modell geometriáját, miközben a por szinterződik (El Sayegh és társai 2020).

A 3D nyomtatás alkalmazási területei és felhasznált alapanyagai

A 3D nyomtatás technológiája mára már számos ipari alkalmazásban jelen van. A repülőgép- és az autógyártásban a technológia lehetővé tette könnyű alkatrészek gyártását, valamint új szerkezetek tervezését és gyors, egyedi elkészítését. Alkalmazása jelentősen csökkenti az energiaigényt, a keletkező hulladékok mennyiségét és az új tervek gyors tesztelését. A NASA és a SpaceX által finanszírozott „Rapid Analysis and Manufacturing Propulsion Technology” (RAMPT) projekt – amelynek célja a rakétagyártás előállítás költségeinek és idejének csökkentése volt – szintén 3D technológiát alkalmaz. A RAMPT rakéta biztosítana az emberek számára egy jövőbeli Marsra szállást. A Local Motor 2014-ben készítette el az első 3D nyomtatott elektromos autóját (Shahrubudin és társai 2019, Sai Saran és társai 2022).

Az alkatrészgyártás mellett az elmúlt években kiemelt figyelmet kapott és egyre elterjedtebbé válik a 3D nyomtatás az építőiparban is. 2020 novemberében fejeződött be

az a projekt, amely a világ első lakóépületét nyomtatta ki a COBOD nyomtatóval, az 1 m/s nyomtatási sebességet is elérve. Alkalmazhatóságának előnyei között itt is a gyorsaság, a fajlagosan kisebb költségek, a nagyobb geometriai szabadság és a kevesebb hulladék keletkezése említhető meg (*Sai Saran és társai 2022*). A fentiek mellett már nem meglepőek az orvosi, transzplantációs és gyógyszeripari alkalmazásról szóló híradások vagy az élelmiszeripar által nyomtatott ételek fejlesztése sem (*Shahrubudin és társai 2019*).

Az alkalmazási lehetőségek széles tárháza mellett a 3D nyomtatáshoz használt anyagok köre is rohamosan növekszik. A fémek és ötvözetek mellett a különböző kompozitok, kerámiák, bioanyagok, építőanyagok, okos anyagok és polimerek a leggyakrabban felhasznált nyomtatási kellékek. A legelterjedtebb anyagok a 3D nyomtatásban a polimerek, ennek oka a költséghatékonyság, a széleskörű elérhetőség, a jó mechanikai tulajdonság és a nyomtatási technikákhoz való jó alkalmazkodás. A polimerek közül is leggyakrabban alkalmazottak: a nylon, akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), polietilén-tereftalát (PA6,6), ütésálló polisztirol (HIPS), polikarbonát (PC), polylactic acid (PLA), termo-műanyag poliészter (TPC) és poli(éter-éter-keton) (PEEK) (*Ranjan és társai 2022*).

ANYAG ÉS MÓDSZER



2. kép. A laboratóriumi szivárgási tényező mérésekhez nyomtatott mintatestek (A szerzők saját felvétele 2022)

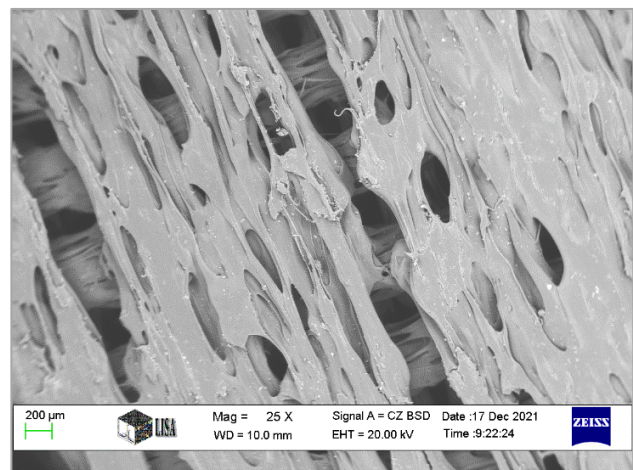
Photo 2. Samples printed for laboratory hydraulic conductivity measurements (Own photo of authors 2022)

A 3D nyomtatással kapcsolatos kutatási tevékenységünk előterében az az ötlet állt, hogy a nyomtatás-vezérlő szoftverek segítségével adott geometriájú és térszerkezetű hálók nagy pontossággal állíthatók elő, ami a vízipari szűrők esetében kritikus kérdés. A szűrők esetében a lyukméret és azok szűrőn belüli változásának precíziós előállítása volt a célunk. Egy hazai 3D nyomtatáshoz szükséges filamenteket előállító és fejlesztő céggel, a Filamania Kft.-vel együttműködve megkezdjük újszerű anyagok tesztelését is, amellyel funkcionális (kémiai) reakciókra is alkalmas térszerkezetet hozunk létre, vagy a kialakított térszerkezetre utólagos bevonat felhordásával a környezetipar új alkalmazási lehetőségei nyílhatnak meg. A Környezetgazdálkodási Intézet Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában kezdtük meg a különböző nyomtatási paraméterekkel előállított mintatestek pórusgeometriájának, sűrűségének és áteresztőképességének vizsgálatát. A

filamentek fejlesztésével foglalkozó céggel hamar megfogalmazódott a közös fejlesztési irány, a habosodásra hajlamos szálak fejlesztése és vizsgálata, amelyekkel tervezett és mesterségesen előállított kettős porozitású rendszereket tudunk elkészíteni. A mintatestek nyomtatásához egy, a feladatra kifejezetten alkalmas robosztus CraftBot Plus típusú eszközt választottunk.

A laboratóriumi szivárgási tényező mérésekhez nyomtatott (4,6 cm átmérőjű; 1,6 cm magasságú) mintatestek (2. kép) alapanyagaként két ismert receptúrájú filamentet választottunk, amelyek a Filaticum PLA és Filaticum Foam voltak. A Filaticum PLA termékek a nyomtatószálak többségétől abban különböznek, hogy összetett (kompozit) anyagok. Az alap polimeren és színező anyagokon kívül a 3D nyomtatási folyamatot elősegítő, illetve a kész termékek színét, mechanikai tulajdonságait módosító összetevőket, adalékanyagokat tartalmaznak. Az összetevők speciális adagolása miatt a megszokottnál sokkal könnyebben nyomtatható 3D tárgyak készíthetők a „lágyabb” filamentnek köszönhetően.

A Filaticum Foam anyagokból a Filaticum PLA-tól eltérően a kinyomtatott testek habos, szivacsos szerkezetűek (3. kép). A habszerkezetnek köszönhetően a rétegek alig láthatóak és sima felületűek. A hab szerkezete, struktúrája a nyomtatási beállítások változtatásával, mint a hőmérséklet (190-250 °C), a filament adagolás (40-120%), a sebesség (20-100 mm/s) és a fúvóka méret (0,2-1 mm) nagymértékben befolyásolható. Magasabb hőmérsékleten, nagyobb fúvóka átmérő mellett, kisebb adagolással és sebességgel alakítható ki a legkönnyebb hab. A Filaticum Foam szálból készült test sűrűsége a standard PLA-ból nyomtatotténak akár 50-60%-a is lehet, beállítástól függően akár 0,6-1,2 g/cm³ között változtatható. Mindkét anyag típusra egyaránt igaz, hogy természetes alapanyagokból készülnek és ipari komposztálási körülmények között lebomlanak (<https://filaticum.com/termek>).



3. kép. Pásztaó elektronmikroszkóp (SEM) felvétel a habosodó szerkezetről (A szerzők saját felvétele 2022)

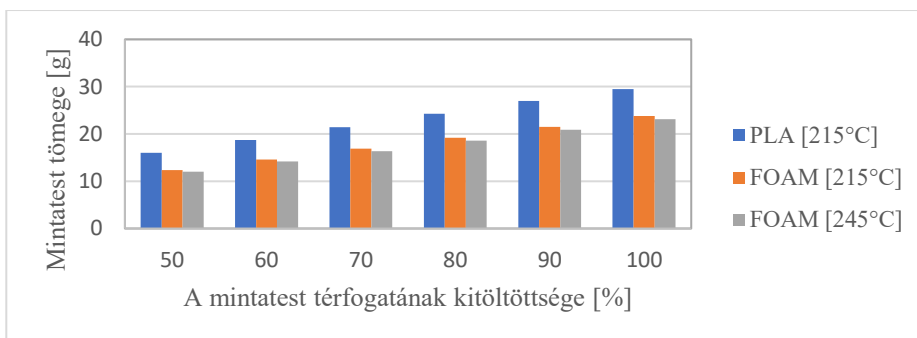
Photo 3. Scanning Electron Microscope (SEM) photo of the foaming structure (Own photo of authors 2022)

A kutatás kiindulópontjaként a fent említett, ismert receptúrájú filamentek különböző nyomtatási beállításaiából (nyomtatási sebesség és hőmérséklet, kitöltés tí-

pusa és irányultsága) eredő paraméterek változékonyságának meghatározása volt a cél. Ennek érdekében a különböző nyomtatási beállítások mellett azonos magasságú (1,6 cm) és átmérőjű (4,6 cm) mintatestek kerültek nyomtatásra. A kinyomtatott mintatestek térfogatának és tömegének ismeretében meghatározásra kerültek azok sűrűség és porozitás értékei. Ezt követően merev falú állandó nyomású permeabiméterrel és flexibilis falú permeabiméterrel megmértük azok vízáteresztő képességét.

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A mintatestek CraftWare 1.18.1 szoftver segítségével történő tervezésekor az egyes paraméterek hatásának vizsgálata érdekében bizonyos paramétereket változatlanul hagytunk, így minden esetben a nyomtató fúvóka mérete 0,4 mm, míg a nyomtatási sebesség 60 mm/s volt. A tervezés és nyomtatás során változó paraméterek a filament anyaga, a nyomtatás hőmérséklete, a térfogat kitöltöttsége és a kitöltés típusai voltak.

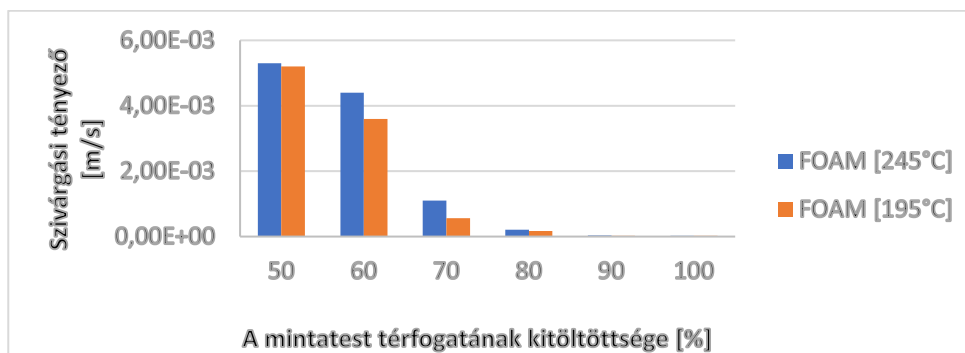


1. ábra. A tömeg változása a térfogati kitöltöttség függvényében
Figure 1. Change in mass as a function of volumetric filling

Az 1. ábrán a Filaticum PLA-ból és a Filaticum Foam-ból 3D nyomtatott testek tömegeinek változása látható a térfogat kitöltési hányad függvényében. A Filaticum PLA-ból a mintatestek 215 °C, míg a Filaticum Foam-ból 215 °C és 245 °C nyomtatási hőmérsékleten készültek.

A Filaticum Foam habosodó szerkezetének köszönhetően ugyanolyan nyomtatási beállítások mellett jóval kisebb sűrűségű mintatestek előállítása lehetséges. Ennek

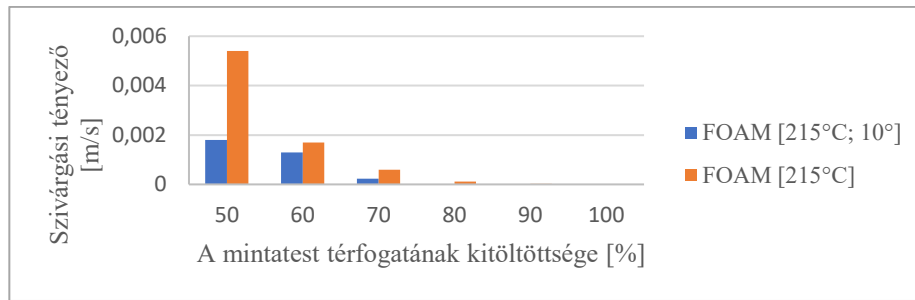
egyik oka, hogy míg a Filaticum PLA testek csak szimplán a térfogat kitöltöttségéből eredően porózusak, addig a Filaticum Foam esetében a habosodás következtében vannak kettős porozitású rendszerré. Ugyanakkor az is látható, hogy a hőmérséklet növelésével (245 °C) a mintatestek sűrűsége tovább csökkenthető. Ez azzal magyarázható, hogy a magasabb hőmérséklet hatására az anyag időben később szilárdul meg, így több ideje van a habosodásra és lesz porózusabb a szerkezete.



2. ábra. A szivárgási tényező változása a nyomtatási hőmérséklet függvényében
Figure 2. Variation of hydraulic conductivity as a function of printing temperature

A hőmérséklet növelésével járó intenzívebb habosodás következtében a szivárgási tényező értékei is értelemszerűen nőnek (2. ábra). Megfigyeltük, hogy a másodlagos porozitás csak bizonyos térfogat kitöltöttség mellett játszik szerepet. Az 50%-os térfogat kitöltöttség mellett a másodlagos porozitás kevésbé jelentős és a 80% fölötti térfogatkitöltöttség esetében is a 195 °C-on és a 245 °C-on nyomtatott Filaticum Foam minták közel azonos szivárgási tényező értékeket adtak. Ennek oka, hogy az általunk alkalmazott fúvókaméret (0,4 mm) már nem elég precíz a tervezett rétegek nyomtatására a túl vastag extrudált szálak miatt.

A 3D mintatestek tervezése és nyomtatása során nem csak a térfogat kitöltöttsége és annak típusa, hanem a kitöltöttség irányultsága is szabályozható, különböző dőlésszögek megadásával. Ennek köszönhetően ugyanolyan mértékű térfogatkitöltöttség és hőmérséklet mellett is változtatható a mintatest szivárgási tényező értéke, amit a 3. ábra is jól mutat. A nyomtatott rétegek dőlésszögének 10°-os változtatásával a szivárgási tényező értéke azonos térfogatkitöltöttség és porozitás mellett alacsonyabb értéket vesz fel, mint a vízszintes rétegek esetében, ami a megnövekedett szivárgási útvonalaknak köszönhető.



3. ábra. A kitöltés irányultságának hatása a szivárgási tényező értékére
Figure 3. The effect of the orientation of the filling on the hydraulic conductivity factor

A kezdeti mérési eredmények is igazolják, hogy 3D nyomtatással előállíthatóak olyan tervezett porozitású, áteresztő képességű mechanikai-kémiai szűrők, amelyek a jövőben alkalmazhatóak lehetnek a víztisztításban és a környezetiparban. Annak érdekében, hogy ezek a rendszerek optimálisan tervezhetőek legyenek, a nyomtatási paraméterek hatásának további laboratóriumi vizsgálata szükséges.

Az áteresztőképesség mérések mellett a jövőben a ket-tős porozitás kialakulásához vezető habosodás jobb meg-értése érdekében pásztázó elektron mikroszkópos (SEM) felvételek készítése és értékelése jelenthet továbblépést. Továbbá szükséges a már piacon lévő filamentek alkalmazhatóságának vizsgálata, illetve új anyagok adaptálása a 3D nyomtatásba.

ÖSSZEFOGLALÁS

Mára a 3D nyomtatás szinte minden iparágban képviselteti magát az autógyártástól az élelmiszeriparig. Előnyét az egyedi tervezhetőség és a nyomtatáshoz alkalmazható anyagok széles választéka adja. Az egyedi tervezhetőségi előnyök adták jelen tanulmány ötletét is, hogy tervezhető porozitású és áteresztő képességű szűrőket hozzunk létre. A kutatás ezen szakaszában elsősorban egyes nyomtatási paraméterek porozításra és áteresztőképességre gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kezdeti eredmények igazolták, hogy nem csak létjogosultsága, de még számos kiaknázatlan lehetősége is van az ilyen irányú kutatásoknak és fejlesztéseknek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében, az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

El-Sayegh, S., Romdhane, L., Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. Archives of Civil and Mechanical Engineering.

Gajdács L., Szűcs V. (2020). A 3D-nyomtatás gyártás-technológiai, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál. Repüléstudományi Közlemények. 32. évfolyam 1. szám. pp. 101–110. DOI: 10.32560/rk.2020.1.7

Horváth H., Kurucz A. (2017). A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései. In.: Reisinger Adrienn, Kecskés Petra (szerk.): "Ifjúság - jövőképek": Kautz Gyula Emlék-konferencia 2016. június 15. elektronikus formában megjelenő kötete. Széchenyi István Egyetem.

Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., Chandra Moi, S. (2022). A critical review on Classification of materials used in 3D printing process, Materials Today.

Sai Saran, O., Prudhvidhar Reddy, A., Chaturya; L., Pavan Kumar, M. (2022). 3D printing of composite materials: A short review, Materials Today Materials Today: Proceedings Volume 64, Part 1. pp. 615-619.

Savini-G, A., Savini, G. (2015). A Short History of 3D Printing, a Technological Revolution Just Started, Conference: 2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference, pp. 1-8, DOI:10.1109/HISTELCON.2015.7307314,

Shahrubudin, N., Lee, T.C., Ramalan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications/ Procedia Manufacturing. Volume 35. pp. 1286–1296.

Thakar, C.M., Parkhe, S.S., Jain, A., Phasinam, K., Murugesan, G., Ventayen, R.J.M. (2021). 3D printing: Basic principles and applications. Materials Today: Proceedings. pp. 842-849.

<https://www.3dsystems.hu/hu/>
(Letöltés dátuma: 2022.05.10.)

<https://filaticum.com/termek>
(Letöltés dátuma: 2022.05.10.)

A szerzők bemutatása a 93-95. oldalon.

A kötetben megjelent közlemények szerzői



SZŰCS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kitüntetési 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 szerezte meg az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált (Dr. habil.) a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai - Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik, 2010-től a tanszék vezetője. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport vezetője volt 2012-től 2022-ig. Publikációinak száma több, mint 560. 2022-ben az MTA levelező tagjává választották. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



MADARÁSZ TAMÁS 1995-ben végzett okleveles geológusmérnökként, PhD értekezését kockázat alapú kármentesítés kritikai értékelése címmel védte meg 2005-ben. A Környezetgazdálkodási Intézet oktatója, jelenleg igazgatója. Kutatási tevékenysége leginkább a szennyezett területek kármentesítése, kockázatbecslés és geotermikus rendszerek kockázatelemzése területét érinti. Az elmúlt 15 évben kiemelkedő eredményeket ért el az intézet hazai és nemzetközi kutatási pályázati aktivitásának élénkítése és lebonyolítása terén.



KOLENCSIKNÉ TÓTH ANDREA a Miskolci Egyetemen szerzett környezetmérnöki diplomát 2003-ban. Ezt követően környezetvédelmi és hidrogeológiai témájú nemzetközi kutatásokban vett részt, részben külföldön. 2007-től egy mérnökirodában dolgozott, majd 2012-től a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetében oktat, jelenleg egyetemi docensként. A vízkészlet-gazdálkodás, vízkutatás, környezetvédelmi geotechnika és adatfeldolgozás tárgyak oktatását végzi magyarul és angolul. PhD oklevelet 2007-ben szerzett, kutatási irányai szennyezett területek hidrogeológiája körül csoportosulnak.



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. Szakterületei: hidrodinamikai és transzportmodellek alkalmazása, vízjogi és környezetvédelmi jogi eljárások, projekt menedzsment, hidrogeológia.



ZÁKÁNYI BALÁZS 2006-ban végzett okl. környezetmérnökként a Miskolci Egyetemen. 2009-től dolgozik a Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézetében, jelenleg egyetemi docens 2018-tól. Nemzeti Kiválóság Program – Jedlik Anyos doktorjelölti ösztöndíjas (2013). Fő kutatási területe a speciális felszín alatti szennyezőanyagok (DNAPL) vizsgálata, modellezése és kármentesítése, valamint árvízvédelmi gátak hidraulikai modellezése – az előbbiből PhD fokozatot szerzett 2014-ben. Tevékenységi és érdeklődési köre a környezetvédelem, a hidrogeológia és a kármentesítés területén sokirányú. Az International Association of Hydrogeologists Magyar Nemzeti Tagozatának elnökségi tagja. Publikációinak száma 160.



SZABÓ IMRE okleveles geológusmérnök (Miskolci Egyetem, 1967), alapozási szakmérnök (Budapesti Műszaki Egyetem, 1971), dr. techn. (1979), CSc (1989), dr. habil. (2005). 1967-1975: egyetemi tanársegéd, 1975-1990 egyetemi adjunktus, 1990-2006: egyetemi docens, 2006-2014 egyetemi tanár, 1995-2011: tanszékvezető (Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék), jelenleg prof. emeritusz. Széchenyi Professzori Ösztöndíj (1998-2002), Széchenyi István ösztöndíj (2003-2005), Széchy Károly díj (2022). Publikációinak a száma 155, 15 könyv, monográfia, egyetemi tankönyv szerzője, több, mint 500 szakértői jelentés, tanulmány készítője. Kutatási területei: geotechnika, környezetvédelmi geotechnika, hulladékelhelyezés, hulladéklerakók rekultivációja, szennyezett területek kármentesítése.



BÓHM JÓZSEF 1971-ben szerzett bányamérnöki oklevelet az NME Bányamérnöki Kar bányaművelő szakán. 1998-ban a műszaki tudomány kandidátusa, majd PhD doktori fokozatot szerzett. 1971-2015 között a Miskolci Egyetemen dolgozott különböző beosztásokban, jelenleg nyugdíjas, címzetes egyetemi tanár. 1998-2009 között a Környezetgazdálkodási Intézet, 2009-2012 között a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet igazgatója. 1987-2001 között dékánhelyettes, 2001-2009 között a Műszaki Földtudományi Kar (korábban Bányamérnöki Kar) dékánja. Oktatási és kutatási területe az előkészítéstechnika, a nyersanyagelőkészítés, fenntartható természeti erőforrás-gazdálkodás. Több hazai és nemzetközi szakmai tudományos bizottságban tevékenykedett. A publikációi száma közel 200, több, mint 150 hazai és nemzetközi kutatási munkában vett részt, 7 jegyzet, oktatási segédlet társszerzője. Munkásságát számos kitüntetéssel

ismerték el.



KOVÁCS BALÁZS a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán hidrogeológiai-mérnökgeológiai ágazaton szerzett bányamérnöki oklevelet 1989-ben. Oktatói és kutatói pályáját a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéken kezdte, de 2004-2014 között a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén is dolgozott. 1999-ben PhD doktori oklevelet szerzett, 2020-ban a Szegedi Tudományegyetemen habilitált. 1989-2015 között a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozott, 2010-2015 között a Környezetgazdálkodási Intézet igazgatója volt. 2015-től címzetes egyetemi docens, 2019 óta címzetes egyetemi tanár. Szakterületei: hidrogeológia, numerikus módszerek alkalmazásai a vízbázisvédelemben és a kármentesítésben, geotermia.



LÉNÁRT LÁSZLÓ 1974-ben geológus mérnöki, 1990-ben környezetmérnöki diplomát szerzett. 3 év széngeológiai, ill. talajmechanikai-hidrogeológiai ipari munkák után került a Miskolci Egyetemre, innen 2016-ban ment nyugdíjba. Címzetes egyetemi tanárként ma is ott oktat, ipari munkákat végez, publikál, szerteágazó szakmai-társadalmi munkát végez. Publikációi száma meghaladja a 320-at, kéziratot jelentései száma hasonló nagyságú. Kutatási területei a radonkutatás barlangokban, forrásokban, lakóépületekben, barlangi denevérvédelem, barlangklimatológia- és terápia, karszthidrogeológia- és hidrológia, víz- és vízbázisvédelem, vízkutatás, vízbeszerzés (termálkarsztkút tervezés). Fő szakmai tevékenységének az 1992-ben indított Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) létrehozását, mai napig tartó folyamatos működtetését tartja.



KÁNTOR TAMÁS 2007-ben végzett okleveles környezetmérnökként a Miskolci Egyetemen. 2020-ban szerzett PhD fokozatot a Miskolci Egyetemen természettudományok tudományterületen, földtudományok tudományágból. 2014 óta főállású oktató, jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán egyetemi adjunktus.



TÓTH MÁRTON környezetmérnök egyetemi diplomáját 2010-ben szerezte a gödöllői Szent István Egyetemen. Doktori képzését 2011-ben kezdte meg a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolában, ahol 2018-ban PhD doktori oklevelet szerzett. Jelenleg a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetében dolgozik egyetemi adjunktusként. Az intézetben vízkémia és geokémia témakörökben végez kutatásokat.



TÓTH-DARABOS ENIKŐ környezetmérnök egyetemi diplomáját 2009-ben szerezte a Miskolci Egyetemen. Doktori képzését 2009-ben kezdte meg a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolában, ahol 2018-ban PhD doktori oklevelet szerzett. Munkahelye jelenleg a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete. Kutatásait karszthidrogeológia, vízkészlet-meghatározás témakörökben végzi.



FEKETE ZSOMBOR 2011-ben végzett okleveles hidrogeológus mérnökként a Miskolci Egyetemen. Jelenleg tudományos segédmunkatárs a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán. Főbb kutatási területe a szivárgáshidraulikai és hidrogeológiai témakörök. Barlangkutatóként gyakran foglalkozik karszthidrogeológiai kérdésekkel is a Miskolci Egyetemen.



ILYÉS CSABA az ELTE-n szerzett meteorológia szakirányon földtudományi kutató BSc diplomát 2011-ben, 2013-ban közgazdászként végzett a BGF-n, kereskedelem és marketing területen. 2014-ben a Miskolci Egyetemen okleveles hidrogeológus mérnök diplomát szerzett. 2017-ben abszolutóriumot szerzett a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolában, 2017-től a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének tudományos segédmunkatársa, valamint 2017-2022 között az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport tagja tudományos segédmunkatársként. 2014 óta a Magyar Hidrológia Társaság tagja. Kutatási területe a hosszú távú idősorok statisztikai és spektrális módszerekkel való elemzése.



MIKLÓS RITA 2016-ban a Miskolci Egyetemen szerzett kiegészítő hidrogeológus mérnöki diplomát. A Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola PhD hallgatója volt, doktori disszertációjának témája a bükki termálkarszt. Jelenleg a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének tudományos segédmunkatársa.



NYIRI GÁBOR 2013-ban végzett a Miskolci Egyetemen környezetmérnök alapszakon, majd tanulmányait a Miskolci Egyetem hidrogeológus mérnöki mesterszakán folytatta, ahol 2015-ben szerzett okleveles hidrogeológus mérnök végzettséget. 2015-től 2016-ig az Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. környezetvédelmi megbízottja. 2016-tól a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója. Fő kutatási területe a parti szűrősű rendszerekhez, valamint a csáspos kutakhoz kapcsolódik. Abszolutóriumot 2021. július 12-én szerzett, PhD értekezését 2022 júliusában sikeresen megvédte.



SZÉKELY ISTVÁN hidrogeológus mérnöki diplomáját 2013-ban szerezte a Miskolci Egyetemen, jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Környezetgazdálkodási Intézet tudományos segédmunkatársa. Kutatási területe a szennyezett területek kármentesítése, szennyezőanyagok terjedése.



SZÁSZ NOÉMI 2020-ban végzett okleveles hidrogeológus mérnökként (MSc) a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán. 2020-tól doktorandusz hallgató a Környezetgazdálkodási Intézetben. Doktori kutatási témája a „Szennyezőanyag hatásának vizsgálata a talaj, illetve különböző módszerekkel javított, erősített talaj köztérfizikai-, geotechnikai- és szennyezőanyag visszatartási tulajdonságaira”. MSc diplomamunkájával III. díjat nyert a Magyar Hidrológiai Társaság Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatán 2020 őszén, valamint 2021-ben a Magyar Mérnöki Kamara Környezetvédelmi tagozatának környezetvédelmi diploma díjában részesült.



GONDÁRNÉ SŐREGI KATALIN az Eötvös Loránd Tudományegyetem geológus szakán, vízföldtan-szénhidrogénföldtan szakirányú képzéssel szerzett geológus oklevelet 1986-ban. 1987-1998 között a Magyar Állami Földtani Intézet tudományos munkatársa volt, először az Észak-magyarországi Osztályon térképező geológusként, majd a Vízföldtani Osztályon dolgozott. 1998-tól a Smaragd GSH-ban dolgozik ügyvezetőként, majd ügyvezető helyettes és projektvezetőként. A Kft. alapító tulajdonosa. A vízgazdálkodásban végzett munkájáért a FAVA Ezüstpohár Díját 2005-ben, az MHT PRO AQUA emlékérmét 2012-ben kapta meg. Szakterületei: hidrogeológia, vízbázisvédelem, területi vízgazdálkodás, karsztok hidrogeológiája, vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés, projektvezetés.



FEJES ZOLTÁN 2011-ben végzett okleveles hidrogeológus mérnökként a Miskolci Egyetemen, 2022-ben szerzett PhD fokozatot a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájában hidrogeológia tudományágból. Kutatási témája a Tokaji-hegység termál és langyos vizeinek feltárása és hasznosítási lehetőségeinek meghatározása. 2016 óta a BorsodChem Zrt. Környezetvédelmi Osztályán dolgozik, mint környezetvédelmi specialista.



KÉMENES HORTENZIA középiskolai tanulmányait a helyi Salamon Ernő Gimnáziumban végezte (2014-2018) filológia szakon. Földrajz alapszakos diplomáját 2021-ben szerezte a Miskolci Egyetemen, szakdolgozatának témája: A társadalmi gazdasági tényezők és a közigazgatás kapcsolata Gyergyószentmiklóson. Jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudomány Kar 2. éves hidrogeológus mérnök hallgatója.



MOLNÁR MÁRIA az ELTE Természettudományi Karán okleveles geológusként végzett 2014-ben. A Smaragd GSH Kft. munkatársa 2015 óta. A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán 2019-ben szerzett hidrogeológus mérnöki diplomát angol nyelven. Szakterületei: hidrogeológia, hidrodinamikai és transzportmodellezés, numerikus modellezés a vízbázisvédelemben.



MODROVITS KAMILLA az Eötvös Loránd Tudományegyetem Földtudományi alapszakán szerzett BSc oklevelet 2015-ben, majd ugyanitt folytatta tanulmányait geológus mesterképzésen, ahol 2017-ben szerezte meg oklevelét „hidrogeológia-szénhidrogénföldtan-környezettöldtan” szakirányon. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskolájának PhD képzésében is részt vett, ahol 2022-ben szerzett abszolutóriumot. Szakterületei: hidrogeológia, geomatematika, numerikus modellezés, vízbázisvédelem.

Megemlékezés

Lénárt László emlékezik Urbancsek János hidrogeológusra.

Urbancsek János (1919-2006) hidrogeológusra emlékezünk az oktatásban betöltött szerepe és a „Magyarország mélyfúrású kutjainak katasztere I-XI. kötet” című életműve kapcsán, a Fiumei Úti Sírkertben lévő sírjánál születésének 100. évfordulóján elhangzott beszéd gondolatainak felidézésével.



Urbancsek János és felesége emléktáblája, Budapest, a XIV. ker. Fogarasi út 89. szám alatti ház falán (Fotó: Somogyi)

Nagyon hálás szerepet kaptam, hiszen nekem most a jóról és a hasznosról, a jól végzett munkáról, egy szakmailag sikeres geológusról kell megemlékezni Urbancsek János születésnapjának századik évfordulóján! Az általa adott jót és hasznosat én is bőségesen megtapasztaltam, annak ellenére, hogy ennek a jónak és hasznosnak a megálmodóját, kigondolóját és véghez vivőjét nem is biztos, hogy személyesen ismertem.

Bizonytalanságomnak több oka is van. 1977. augusztus végén kerültem tanársegédként a Miskolci Egyetem Földtan-Teleptani Tanszékére – amit akkor Nehézipari Műszaki Egyetemnek hívtak – , ahol abban az évben Urbancsek János meghívott előadóként a „Magyarország hidrogeológiája” című tárgy oktatója volt.

Urbancsek János a törmelékes, mélységi vízadókra koncentrált, mint geológus, én pedig mint a Bükk barlangjai környékén felnőtt geológus mérnök, a karsztokra, a karsztos vízadókra. De milyen érdekes is a sors! A Miskolci Egyetemen a tanszékvezetőm, Jeneyné Jambrik Rozália 1997-ben bekövetkezett halála után „rám maradt” a „Magyarország hidrogeológiája” című tárgy oktatása. Ehhez nagy segítséget jelentett Jambrik Rozália félkész jegyzete, melyben bőséges volt az Urbancsek Jánostól származó anyag és kutatási eredményeire való hivatkozás. Kiemelném, hogy Magyarország felszín alatti vízadóinak csoportosítása során 1977-ben Urbancsek János tektonikai és földtani-vízföldtani alapokon 27 negyedidőszaki vízföldtani egységet különített el, melyeknek a mélyfúrású kutak által nyújtott ismeretei a felszín alatti vízkutatás eredményesebbé tételéhez nagyban hozzájárultak.

De nem csak előadásokat kellett tartanom a megadott tárgy keretében, hanem gyakorlatokat is. Ehhez a legnagyobb segítséget az 1963-ban indított „Magyarország mélyfúrású kutjainak katasztere” című kiadványsorozat hatalmas adattömege jelentette, melyekből a hallgatóknak

kellett kibányászni a megfelelőeket az egyes kötetekből. Ez pedig nem volt könnyű feladat, hiszen az „Urbancsek-biblia” az 1963-1986. közötti időszakban 11 kiadást ért meg az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) kezelésében. Megjegyzem, én is sokszor keresgéltem ezekben a könyvekben, amikor vízkutatással, vízbeszerzéssel kapcsolatos ipari feladatokat kellett megoldanom.



Dr. Urbancsek János és felesége arcképe, előtte a „Magyarország mélyfúrású kutjainak katasztere” első 10 kötet (Fotó: Lénárt)

Az első, 1963-ban kiadott két kötet általános földtani-vízföldtani ismereteket nyújtott, mintegy „visszafelé” gyűjtötte össze a meglévő, mélyfúrással készült kutak szolgáltatta földtani-vízföldtani ismereteket, az 1962-ig fűrt 35 000 kút mintegy 33%-ának az adatait feldolgozva. Az első két kötetbe csak a "szakmailag teljes értékű" kútdatok kerültek be, bízva abban, hogy Magyarország hidrogeológiai viszonyainak tisztázására azok elégségesek lesznek. Később kiderült, hogy a részadatokat adó kutakat sem célszerű kihagyni az ismeretanyagból. Az 1966-1975. között kiadott III.-IV.-V.-VI. kötetek az 1962-1974. között fűrt kutak adatait dolgozták fel, egyre több helyrajzi, műszaki, vízföldtani, vízkémiai és karotázis adattal. Az 1977-ben kiadott VII. kötetben 54 873 kút adatát közölte a „Pannóniai medence mélységi víztárolói” címmel. Újdonság

volt a számos vonal menti szelvény, amiket 1978-ban a VIII. kötetben tömbszelvények egészítettek ki. 1980-ban, a IX. kötetben az 1825-1962. közötti, eddig a részleges adathiány miatt nem közölt kutak adatai kerültek pótlólag közlésre, a lehető legteljesebbé téve az ismereteinket az első kútfúrástól kezdve 1962-ig. 1981-1986. között adták ki a X -XI. köteteket.

Természetesen egy ilyen nagy munka nem készülhet el előzmények és konkrét igények nélkül. 1960-ban az Országos Vízügyi Hivatal a földhő felhasználására készített munkatervet, majd az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság meghirdette geotermikus energiahasznosítási programját. Urbancsek János szerint a tervezett mélyfúrási kútkataszter összerendezett adatai a fenti célok megvalósítását alapjaiban segítették és támogatták. Ezt a véleményt az OVF elfogadta, a munka lehetőségét jogszabályilag és munkaerővel biztosították, aminek következtében Urbancsek János tudását, szervező-vezető képességeit maximálisan kihasználva a kataszter mintegy 5 000 oldalon elkészült és közkinccsé vált.

A kútkataszter szükségessége ma is élő probléma. Hosszú ideig a VITUKI végezte a gyűjtés munkáját, annak igencsak vitatott megszüntetéséig. Az utolsó „hivatalos VITUKI adat” 1994-ből származik és 56 849 kutat lajstromozott hazánkban. A kútkataszterek további elkészítését a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), majd az átszervezések után a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSz), illetve a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SzTFH) végezte/végzi. Ma viszont a legnagyobb gond az, hogy nagyon sok mélyfúrású kútról a hatóságnak nincs tudomása, vagy pontos információja, így a szükséges döntésekhez nincs minden esetben megfelelő mennyiségű és minőségű új információ.

A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatnál 2012 óta történik ivó- és öntözővizet adó rétegek szisztematikus, nagy felbontású térképezése. Az adatbázis építés neve „Urbancsek-alprogram” és a cél az „Urbancsek-adatbázis” kiépítése, a 11 kötetes Urbancsek életmű „online” hozzáféréseinek megszervezése, melyben oroszánrészt vállal Püspöki Zoltán és munkacsoportja.

Az erősen személyes indíttatású megemlékezést szeretném néhány fontosabb életrajzi adattal kiegészíteni, alapjában véve Dobos Irma „eurogeológus” munkássága, publikációi alapján. Urbancsek János 1938-tól tanítói majd két tanári diplomát szerzett, valamint 1947-ben doktorált Horusitzky Ferencnél földrajz, ásványtan és földtan tárgyból. Ipari tevékenysége után 1951-ben a Magyar Állami Földtani Intézetbe került geológusként, ahol síkvidéki földtani térképezést végzett. 1954-ben a Ceglédi Mélyfúró Vállalathoz helyezték, ahol 1956-ban főgeológusi beosztást kapott. 1958-ban megalakult az Országos Vízkutató és Fúró Vállalat, ahol a Vízföldtani Osztályt vezette. Fő feladata a mélyfúrási kútkataszter összeállítása volt. 1961 végére 34 302 kút adata szerepelt a kataszterben, mely 1963-ban mindenki számára elérhetővé vált. Urbancsek János 1968-tól az Országos Vízügyi Hivatalban dolgozott szakmai vezető pozíciókba, majd innen ment nyugdíjba 1980-ban.

A szakmai társadalmi szervezetekkel – Magyarhoni Földtani Társulat, Magyar Hidrológiai Társaság, Magyar Földrajzi Társaság, Felszín Alatti Vizekért Alapítvány – a kapcsolatot haláláig tartotta. A Magyar Hidrológiai Társaság 1963-ban Bogdánfy Ödön emlékérmét, 1983-ban Vásárhelyi Pál díjat adományozott szakmai munkásságáért és publikációs tevékenységéért. A Felszín Alatti Vizekért Alapítvány Kuratóriuma 2003-ban ezüstpohárral ismerte el szakmai érdemeit. Állami kitüntetései közül a legmagasabb a „Munka Érdemrend ezüst fokozata” volt.

Összesen 44 önálló publikációja jelent meg, melyek közül kiemelkedőek a már jelzett kataszterek. Szakmai munkásságának szerves részét képezi az Alföld Földtani Atlaszban megjelent 13 térképe. Részben társszerzőként 16 kéziratot jelentése található a Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattárban.

Urbancsek János egész életében olyan munkát végzett, ami nemcsak saját korának, de az utókornak is szól. Ezt a munkát köszönöm meg most én is a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara, a Felszín Alatti Vizekért Alapítvány és a Magyar Hidrológiai Társaság, valamint a saját nevében.

*Dr. Lénárt László
geológus mérnök*

Dr. Urbancsek János életéről, szakmai munkásságáról az alábbi visszaemlékezésekben olvashatunk, illetve hallhatunk részleteket:

Dobos I. (2006). Dr. Urbancsek János (1919-2006). A Felszín Alatti Vizekért Alapítvány. Ezüstpoharasok. http://fava.hu/silvercv/urbancsek_janos.pdf

Dobos I. (2008). Dr. Urbancsek János (1919-2006). Földtani Közöny. 138. évfolyam, 4. füzet. pp. 419–423.

Dobos I. (2010). Dr. Urbancsek János (1919-2006) sírköavatása. Hidrológiai Közöny. 90. évfolyam 3. szám. pp. 64-65.

Gimes J. (2019). Dr. Urbancsek János születésének 100. évfordulója. Rádióriport Dr. Tóth Álmossal. Kossuth Rádió. 2019.10.24. Felfedező. Budapest.

Nehézipari Műszaki Egyetem Évkönyv (1977/78). Meghívott előadó. Dr. Urbancsek János, Magyarország hidrogeológiája. p. 55.

Nehézipari Műszaki Egyetem Évkönyv (1978/79). Meghívott előadó. Dr. Urbancsek János, Magyarország hidrogeológiája. p. 55.

Nehézipari Műszaki Egyetem Évkönyv (1979/80). Meghívott előadó. Dr. Urbancsek János, Magyarország hidrogeológiája. p. 43.

Nehézipari Műszaki Egyetem Évkönyv (1980/81). Meghívott előadó. Dr. Urbancsek János, Magyarország hidrogeológiája. p. 60.

Püspöki Z., Fogarassy-Pummer T., Szöcs T., Gál N., Maigut V., Angyal J., Pálóczy P. (2019). Ivó- és öntözővizet rétegeink nagy felbontású rétegtani tagolása fácies korrelációs és klimatosztratigráfiai módszerekkel. NosztalGeo 2019 konferencia. Szeged.

Urbancsek Á., Urbancsek J. (2019). Meghívó Dr. Urbancsek János születésének 100. évfordulóján tartandó ünnepi megemlékezésre.

Események

Az alábbiakban a 16. Ivóvízbiztonsági szakmai napról számolunk be.

16. Ivóvízbiztonsági szakmai nap 2022. október 4.

Az MHT Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály, a Vízellátási Szakosztály és a Magyar Víziközmű Szövetség rendezésében, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék továbbá a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium támogatásával került megrendezésre a 16. Ivóvízbiztonsági szakmai nap. Tematikája volt az ivóvízellátási lánc kockázatfelmérése, valamint a megelőző és az alkalmazott kockázatkezelésre alapozott üzemeltetése, az üzemeltetői tervezési és fejlesztési irányok az ivóvízellátó rendszereknél, valamint a népegészségügyi követelmények.

A 16. IVÓVÍZBIZTONSÁGI SZAKMAI NAP ELŐADÓI AJÁNLÁSAI

1. A különböző hatóságok jogszabályi kockázatelemzési követelményeinek összehangolása a vízbiztonsági terv helyességét és az üzemeltetésben történő hatékony alkalmazását segíti elő. A kezelői rutin napi gyakorlatá válik, mely a kockázatok csökkentésében jelentős szerepet játszik.

2. A Gördülő Fejlesztési Terv (GFT) készítésére vonatkozó jogszabályi előírásból kimaradtak fontos feladatok, amelyek eredményeinek beépítése a GFT-be jelentősen javítaná a fejlesztések költséghatékonyságát, valamint az ellátás biztonságát. Lényeges a rendszerek kapcsán, hogy a hibastatisztikák szisztematikus kiértékelése műszaki és gazdasági szempontból, az illetékes népegészségügyi szerv által jóváhagyott vízbiztonsági terv figyelembevételével történjen. Az ellátásbiztonság mennyiségi fenntartása miatt a közműves ivóvízellátást érintő Tervnek aktuális adatokat tartalmazó vízigény-számításon, illetve – ha a fejlesztés indokolja – hálózathidraulikai modellezésen kell alapulnia.

3. A magasabb szintű ivóvízminőség-felügyelet érdekében kockázatértékelésen alapuló vizsgálatok, monitoring rendszerek és értékelés szükséges, végig vezetve a teljes vízellátó rendszeren a nyersvizek vízgyűjtő területeitől a fogyasztói csapig. A kockázat alapú szemlélet és gondolkodásmód beépítése a mindennapi munkafolyamatokba egyaránt feladatként jelentkezik a szolgáltatóknál, az ellenőrző hatóságnál, az érintett államigazgatási szerveknél és a megvalósítás csak szoros együttműködésben képzelhető el.

4. Kutatás-fejlesztés az ivóvíz klorát ion koncentrációjának minimalizálása témakörben, egyetemek, kutatóintézetek, víziközmű vállalatok, ipari partnerek, népegészségügyi szervezet együttműködése keretében. A szakmai szervezetek bevonása annak érdekében, hogy megfelelő platformok biztosításával segíteni tudják az együttműködést.

5. Az ivóvízbiztonsági tervek (VBT) folyamatos aktualizálása a közüzemi ivóvíz szolgáltatók feladata. Az üzemeltetői javaslat, hogy az Ivóvízbiztonsági terv a veszélyelemzés és kockázatértékelés folyamatos aktualizálásakor, illetve felülvizsgálatakor a Nemzeti Népegészségügyi Központ főosztálya szempontrendszerének ajánlása, a népegészségügyi hatósági ellenőrzések elvárásai a víziközmű szolgáltatók felé tájékoztatásra kerüljön.

6. Feltétlenül szükséges lenne a vízbiztonsági tervekben foglaltak és a folyamatirányító rendszerek összehangolása. Mind a megelőző, mind a korrekciós tevékenységek naprakész információk alapján lehetnek a leghatékonyabbak. Egy veszély lehetséges okai automatikus úton is megjeleníthetők lennének és azonnal beavatkozási javaslat is adható. Felmerül, hogy a vízbiztonsági terv üzemeltetés hatósági felügyeleti díjai a vízkészletjárulékból leírhatók legyenek, továbbá, hogy a hatósági felülvizsgálatok gyakorisága az egyszerűbb ivóvízellátó rendszerek esetén akár 10 év is lehetne.

7. A 2184/2020 módosult EU „ivóvíz irányelv” magyar nyelvű szövegéből kiindulva az új hazai rendelet és a kapcsolódó jogszabályok módosítását előkészítő munkacsoport tervezete szerinti kötelezettségek és feladatok a lakosságot kiszolgáló ivóvízellátási lánc egyes szereplői számára nem, vagy alig körvonalazódnak. A célszerű időbeni tájékoztatás szolgálhatja, hogy a kötelező alkalmazás határidejére az ivóvízbiztonságot a korábbiaknál jobban szolgáló kötelezettségek teljesítésére az ivóvízszolgáltatók tájékozottak és felkészültek is legyenek.

8. Ivóvízkezelő létesítmény megvalósításához, megújításához kapcsolódó szakfelügyelettel megbízott szakembernek az ivóvízkezelésben képzettnek, elismerten és igazoltan jártasnak kell lennie az ellenőri, terv felülvizsgálói feladatok ellátásához, a kivitelezés, az üzembe helyezés és a próbaüzem ellenőrzéséhez, továbbá a kivitelezésre vállalt jótállási időszakban és az utó felülvizsgálati eljárásban felmerülő szakkérdések kezeléséhez.

A rendezvény közérthető anyagai a Magyar Hidrológiai Társaság Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztályának felületén érhetőek el: <https://tinyurl.com/4xydhemv>

Dr. Borsányi Mátyás
a Vízminőségi és víztechnológiai Szakosztály elnöke



A Lillafüredi vízesés télen (Fotó: Madarász)



Karsztvízszint-figyelő kút felcsövezve Tatán, a Fényes-források tanösvényen (Fotó: Lénárt)

A **HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY** első sorban hidrológiával, vízgazdálkodással és a kapcsolódó szakterületeket érintő tudományos megalapozottságú szakmai közlemények megjelentetésére ad teret. Ezek mellett a **FÓRUM** rovatban lehetőség van szakmai érdekességek, újdonságok közzétételére is. A **TÖRTÉNELMI PILLANATKÉP** rovatban a régmúlt vízügyi eseményeinek állítunk emléket. Módot adunk továbbá szakkönyvek bemutatására a **KÖNYVISMERTETÉS** rovatban.

A közlésre szánt kéziratot elektronikus formában lehet benyújtani Word (.doc vagy .docx) állományban, maximum 30 oldal terjedelemben a hk@hidrologia.hu e-mail címre. Eredeti műveket, azaz más folyóiratban, kiadványban korábban még nem közölt kéziratokat fogadunk el. Amennyiben a kézirat tartalma már valamilyen formában megjelent hazai vagy külföldi (idegennyelvű) kiadványban, illetve másodközlésnek minősül, azt a kézirat beküldésekor jelezni kell.

A kézirat beérkezését követően a Szerkesztőbizottság visszaigazolást küld a szerzőnek és a közleményt szakmai bírálóknak adja ki. A bírálatok alapján a kéziratot a Hidrológiai Közlöny: a) elfogadja megjelentetésre; b) javításokat, kiegészítéseket, módosításokat javasol; c) nem fogadja el közlésre. A közlésre elfogadott kézirat esetében a grafikus elemeket (ábra, kép, táblázat) külön elektronikus állományban is meg kell küldeni a Szerkesztőség részére.

FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Kérjük, közleményük készítésekor tanulmányozzák a részletes közlési útmutatót (http://www.hidrologia.hu/mht/letoltes/hk_kozlesi_utmutato.pdf), melyből közzéteszünk néhány előírást:

A szakmai közlemény kötelező részei: cím, szerző(k) teljes neve, a szerző(k) munkahelye és e-mail címe, magyar nyelvű kivonat, magyar kulcsszavak, angol nyelvű cím, angol kivonat (Abstract), angol kulcsszavak (Keywords), törzsszöveg fejezetekre tagolva, irodalomjegyzék, szerző(k) életrajzi adatai és fényképe (portrékép). Az ábra-, kép- és táblázatcímek angol változatát is meg kell adni.

A használt betűtípus: Times New Roman, szimpla sorközzel, sorkizárt rendezéssel. Az oldal A4-es méretű, 2,5 cm-es margóval.

A közleményben más szerzők műveiből átvett szövegrészeknél, ábráknál, fényképeknél, táblázatoknál, internetes forrásoknál, adatbázisoknál feltétlenül hivatkozni kell a felhasznált forrásra. Kérjük, hogy lábjegyzetet ne használjanak.

A Hidrológiai Közlöny fontos célkitűzése a szakmai anyanyelv ápolása, ezért kérjük, hogy ügyeljenek a magyar szakmai nyelv megfelelő használatára és alkalmazzák a magyar helyesírási szabályokat (<http://helyesiras.mta.hu/helyesiras/default/akh12>).

A Hidrológiai Közlöny Szerkesztőbizottsága