

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI

XX. NEMZETKÖZI
TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

APELE MINERALE
DIN REGIUNEA
CARPATICĂ

MINERAL WATERS
IN THE
CARPATHIAN BASIN

A XX-A CONFERINȚĂ
ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ

20TH INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONFERENCE

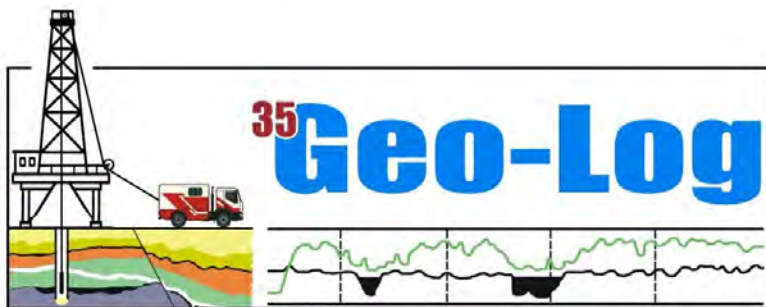


CSÍKSZEREDA
· 2026 ·
MIERCUREA-CIUC

TÁMOGATÓK – SPONSORI – SPONSORS

*Perla
Harghutei*[®]
iubește Natura


Spring[®]
HARGHITA



**A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
XX. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA**

**APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A XX-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ**

**MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
20th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE**

Csíkszereda • 2026 • Miercurea-Ciuc

Szerkesztő – Redactor – Editor

dr. Máthé István

A kötetben megjelent cikkeket lektorálta – Publicațiile apărute în volumul conferinței au fost lectorate de către – The articles published in the conference volume were reviewed by

dr. Máthé István, dr. Szép Sándor

Műszaki szerkesztés – Tehnoredactare – Technical editing

Russu-Bors Tibor, Székely Gabriella



*A kötet megjelenését a Magyar Tudományos
Akadémia támogatta.*

ISBN 978-606-556-207-3

A címlapon – Pe coperta din față

A csíkszentkirályi Somlyó-kútja – Izvorul Somlyó din Sâncrăieni
(fotó: Russu-Bors Tibor)

Kiadja a PRO-PRINT Könyvkiadó

Felelős vezető: Burus Endre

Csíkszereda, 2026

Készült a PRO-PRINT Könyvkiadó

Digitális Nyomdájában

Felelős vezető: Burus Endre igazgató

www.proprintkiado.ro

**A KONFERENCIA SZERVEZŐ BIZOTTSÁGA
MEMBRII COMITETULUI DE ORGANIZARE
MEMBERS OF THE ORGANIZING COMMITTEE**

Társelnökök – Copreședinți – Co-chairmen

dr. Máthé István – dr. Szűcs Péter – dr. Lénárt László – dr. Tometz Ladislav

Szervezési titkárság – Secretariatul organizatoric – Organizing secretariat

Laczkó Izabella, dr. Máthé István

Szervezők – Organizatori - Organizers

Sapientia EMTE – Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék és
Élelmiszertudományi Tanszék

Universitatea Sapientia – Facultatea de Științe Economice, Socio-Umane și
Inginerești, Departamentul de Bioinginerie și Departamentul de Științe Alimentare
din Miercurea Ciuc

Sapientia Hungarian University of Transylvania, Faculty of Economics, Socio-
Human Sciences and Engineering, Department of Bioengineering, Department of
Food Science

Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet – Universitatea din Miskolc,
Institutul de Management al Mediului – University of Miskolc, Institute of
Environmental Management

Felszín Alatti Vizekért Alapítvány – Fundația pentru Apele Subterane din Ungaria
– Foundation for Groundwaters (Hungary)

Kassai Műszaki Egyetem, Földtudományi Intézet – Universitatea Tehnică din
Košice, Institutul de Științe Geologice – Technical University of Košice, Institute
of Geosciences

Kolozsvári Akadémiai Bizottság – Filiala din Cluj a Academiei Maghiare de
Științe – Regional Committee in Cluj of the Hungarian Academy of Sciences

Medusa Laboratories

Carpathian Mofettes & Springs

TARTALOMJEGYZÉK – CUPRINS

Content	10
Előszó	13
MÁTHÉ ISTVÁN	
Foreword	15
MÁTHÉ ISTVÁN	
Székelyföldi gázömlések, ásványvizek és fürdők helynevei	17
JÁNOSI CSABA, BERSZÁN JÓZSEF, PÉTER ÉVA, JÁNOSI CSANÁD	
A Szobránci Gyógyfürdő ásványvíz-felhasználási terve	28
TOMETZ LADISLAV	
Mennyire természetes a palackozott „természetes ásványvíz”? – a szén-dioxid útja a természetes forrásoktól a modern élelmiszeriparig	38
MIHOK EMŐKE, ANDRÁS CSABA DEZSŐ, SZÉP SÁNDOR	
A palackozott természetes ásványvizek kémiai és érzékszervi jellemzői: fogyasztói szempontok és elektronikus vizsgálati lehetőségek	50
MIHOK EMŐKE	
Szendró és környéke ásványvizeinek fiziko-kémiai vizsgálata és története	57
KÁRPI MARCELL, TÓTH MÁRTON, BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN, SZALAI SÁNDOR	
Gyergyóremete borvízkincsei	72
BALÁZS ENIKŐ, ZSIGMOND ANDREEA-REBEKA, MÁTHÉ ISTVÁN	
Ivóvízből izolált baktériumok antibiotikumokkal szembeni rezisztenciájának vizsgálata	81
GYÖRGY ÉVA	
A Kárpátok szén-dioxidban gazdag gázömléseinek geokémiája	93
KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ, SZALAY RÉKA, CARACAUȘI ANTONIO, RANDAZZO PAOLO, TÓTH M. TIVADAR, PALCSU LÁSZLÓ, ORSOVSZKI JUDIT, AIUPPA ALESSANDRO, GRASSA FAUSTO, HARANGI SZABOLCS	
A Csiszárfürdőn lejátszódó geológiai folyamatok nyomában	98
VARGA BALÁZS, BODOR Botond, BENKŐ MÁTYÁS, DOBRI DÁVID, KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ	
Egy szén-dioxid- és kén-hidrogén-feláramlás által formált talajszelvény a Csomád–Bálványos vulkáni terület Apor-lányok feredője völgyében (Büdös-hegy, Keleti-Kárpátok, Románia)	101
DOBOS ENDRE, KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ, DOBOS ANDRÁS	

Kihívások a magyarországi hévízkészletek fenntartható hasznosításában	106
SZÚCS PÉTER, NYIRI GÁBOR	
CO₂ és Rn-222 együttes foglalkozási expozíció geotermikus energiatermelő létesítményekben és termálvíz-hasznosítás kapcsán: kockázatbecslési és szabályozási kihívások	116
ZÁKÁNYI BALÁZS, ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS RENÁTA, BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN	
Mélyfúrási hőcserélők teljesítményét befolyásoló tényezők vizsgálata robusztus neurális modell alkalmazásával	132
PAP JÓZSEF, BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN	
Ásványkoncentráció dinamikája álló- és folyóvízben	140
MÁTYÁS LÁSZLÓ, MIHOK EMŐKE, MÁTHÉ ISTVÁN	
Kivonatok	149
A Büdös-hegy válogatott borvizes medencéinek kémiai összetétele	150
ZSIGMOND ANDREEA-REBEKA, MÁTHÉ ISTVÁN, KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ, URÁK ISTVÁN	
Európai ásványvizek hidrogeokémiai mintázatai	155
BODOR KATALIN, BODOR ZSOLT	
Forrás- és felszíni vizek trícium aktivitáskoncentrációjának vizsgálata a Kárpát-Medencében	157
TÓTH PIROSKA, NOVÁK MÁTÉ, HEGEDŰS MIKLÓS, GUSYEV MAKSYM, COPIA LORENZO, KOVÁCS TIBOR, TÓTH-BODROGI EDIT	
Ásványvizek hatása a mikrobiális kávéfermentációra	160
TAMÁS NORBERT, KRISTÁLY NOÉMI, ALBERT CSILLA, ORBÁN KÁLMÁN CSONGOR	
A Romániával közös hazai termálvíztestek állapota és balneológiai hasznosítási gyakorlata	163
JUHÁSZ ELEONÓRA, SZILÁGYI SZABINA, BIHARYNÉ JUHÁSZ GITTA, KISS-TÓTH EMŐKE	
A gyógyvízben végzett subaqualis torna hatásának vizsgálata térdprotézis műtét utáni korai rehabilitációs szakaszban	165
HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA, HIDVÉGI REBEKA, AMBRUS ESZTER KRISZTINA, NUSSER NÓRA	
Gyógyvizek szerepe a civilizációs betegségek kezelésében	168
HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA	
A kombinált szárazföldi és sós vízben végzett fizioterápia hatásságának vizsgálata csuklótörést követő rehabilitációban	170
SZILÁGYI SZABINA, LUKÁCS BENCE JÓZSEF, GUZI BARBARA	

Ásványvizek kozmetikai alkalmazhatóságának értékelése humán bőrsejt modellen	173
PÉTER IZABELLA, DOMOKOS EMESE, KRISTÁLY NOÉMI, CSATÓ-KOVÁCS ERIKA, TÁNCZOS SZIDÓNIA, ALBERT BEÁTA	
Alsósófalva, nyílt sókarsztos formák és beavatkozási kísérletek látható jelei a parajdi sóbánya védelme érdekében 2010-ben és 2014-ben	176
LÉNÁRT LÁSZLÓ	
A bödőncsiga (<i>Theodoxus prevostianus</i>) kiemelt élőhelyének, a Kácsipatak (Észak-Magyarország) Meleg-ági zárt csatornájának („alagútjának”) részletes állagfelmérése	178
LÉNART LÁSZLÓ	
A Geo-Log 36,5 éve a Kárpát-medencei vízkutatásban	180
SZONGOTH GÁBOR, FALUVÉGI BERNADETT, HEGEDŰS SÁNDOR, PÁL LÉNÁRD	
Csiklázárfalvi Nyírfürdő – Szent Anna-tó – Apor lányok feredője talajszelvény – A XX. ásványvizes konferencia szakmai tanulmányútjának útikalauza	182
KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ, MÁTHÉ ISTVÁN	
Konferencia színhelyek, tanulmányúti állomások, katalógus fotók képekönyve (2004-2026)	191
LÉNÁRT LÁSZLÓ	
A húsz ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora	193
LACZKÓ IZABELLA, MÁTHÉ ISTVÁN	

CONTENT

Content	10
Előszó	13
ISTVÁN MÁTHÉ	
Foreword	15
ISTVÁN MÁTHÉ	
Toponyms of gas emissions, mineral springs and bathing places in Szeklerland	17
CSABA JÁNOSI, JÓZSEF BERSZÁN, ÉVA PÉTER, CSANÁD JÁNOSI	
Planned use of mineral water in Sobrance Spa	28
LADISLAV TOMETZ	
How natural is bottled natural mineral water? – the journey of carbon dioxide from natural springs to the modern food industry	38
EMŐKE MIHOK, CSABA DEZSŐ ANDRÁS, SÁNDOR SZÉP	
Chemical and sensory characteristics of bottled natural mineral waters: consumer perspectives and opportunities for electronic sensing	50
EMŐKE MIHOK	
Physico-chemical investigation and history of the mineral waters in the Szendrő Basin	57
MARCELL KÁRPI, MÁRTON TÓTH, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA, SÁNDOR SZALAI	
Mineral water resources of Remetea (Harghita county, Romania)	72
ENIKŐ BALÁZS, ANDREEA-REBEKA ZSIGMOND, ISTVÁN MÁTHÉ	
Study of the antibiotic resistance of bacteria isolated from drinking water	81
ÉVA GYÖRGY	
Geochemistry of carbon dioxide-rich gas emissions in the Carpathians	93
BOGLÁRKA-MERCEDESZ KIS, RÉKA SZALAY, ANTONIO CARACASI, PAOLO RANDAZZO, TIVADAR TÓTH M., LÁSZLÓ PALCSU, JUDIT ORSOVSZKI, ALESSANDRO AIUPPA, FAUSTO GRASSA, SZABOLCS HARANGI	
Tracing the geological processes at Csiszár Baths	98
BALÁZS VARGA, Botond BODOR, MÁTYÁS BENKŐ, DÁVID DOBRI, BOGLÁRKA-MERCEDESZ KIS	

A soil profile shaped by carbon dioxide and hydrogen sulphide degassing in the Apur springs valley of the Ciomadul–Bálványos volcanic area (Puturosul Hill, Eastern Carpathians, Romania)	101
ENDRE DOBOS, BOGLÁRKA-MERCEDESZ KIS, ANDRÁS DOBOS	
Challenges in the sustainable utilization of the Hungarian thermal water resources	106
PÉTER SZÜCS, GÁBOR NYIRI	
Combined occupational exposure to CO₂ and Rn-222 during geothermal power generation and thermal water utilization: Risk assessment and regulatory challenges	116
BALÁZS ZÁKÁNYI, RENÁTA ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA	
Analysis of influencing factors on performance of deep borehole heat exchangers using a robust neural model	132
JÓZSEF PAP, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA	
Dynamics of mineral concentrations in standing and flowing waters	140
LÁSZLÓ MÁTYÁS, EMŐKE MIHOK, ISTVÁN MÁTHÉ	
Abstracts	149
Chemical composition of selected mineral water pools from the Mount Puturosu	150
ANDREEA-REBEKA ZSIGMOND, ISTVÁN MÁTHÉ, BOGLÁRKA-MERCEDESZ KIS, ISTVÁN URÁK	
Hydrogeochemical patterns of European mineral waters	155
KATALIN BODOR, ZSOLT BODOR	
Investigation of tritium activity concentration of spring and surface waters in the Carpathian Basin	157
PIROSKA TÓTH, MÁTÉ NOVÁK, MIKLÓS HEGEDŰS, MAKSYM GUSYEV, LORENZO COPIA, TIBOR KOVÁCS, EDIT TÓTH-BODROGI	
Effects of mineral waters on microbial coffee fermentation	160
NORBERT TAMÁS, NOÉMI KRISTÁLY, CSILLA ALBERT, KÁLMÁN CSONGOR ORBÁN	
Status and balneological utilization practices of Hungary's transboundary thermal groundwater bodies shared with Romania	163
ELEONÓRA JUHÁSZ, SZABINA SZILÁGYI, GITTA BIHARYNÉ JUHÁSZ, EMŐKE KISS-TÓTH	
Investigation of the effects of subaquatic exercise in Harkány medicinal thermal water during the early rehabilitation phase following knee replacement surgery	165
ZSÓFIA HIDEGNÉ BÉLY, REBEKA HIDVÉGI, ESZTER KRISZTINA AMBRUS, NÓRA NUSSER	
The role of medicinal waters in the treatment of lifestyle diseases	168
ZSÓFIA HIDEGNÉ BÉLY	

Effectiveness of combined land-based and saltwater physiotherapy in the rehabilitation following wrist fracture	170
SZABINA SZILÁGYI, BENCE JÓZSEF LUKÁCS, BARBARA GUZI	
Evaluation of mineral waters for cosmetic applications using a human skin cell model	173
IZABELLA PÉTER, EMESE DOMOKOS, NOÉMI KRISTÁLY, ERIKA CSATÓ-KOVÁCS, SZIDÓNIA TÁNCZOS, BEÁTA ALBERT	
Visible signs of intervention attempts for the protection of the salt mine of Parajd and open salt karst forms, Alsósófalva, 2010 and 2014	176
LÁSZLÓ LÉNÁRT	
Detailed condition assessment of the closed channel (“tunnel”) of the Kácsi-patak stream’s Meleg-ág, as the important habitat of <i>Theodoxus prevostianus</i>	178
LÁSZLÓ LÉNÁRT	
Geo-Log: 36.5 years of groundwater exploration in the Carpathian Basin	180
GÁBOR SZONGOTH, BERNADETT FALUVÉGI, SÁNDOR HEGEDŰS, LÉNÁRD PÁL	
Nyírfürdő at Csíklázárfalva – Lake Saint Anne – Apur Girls’ Bath soil profile – field guide to the professional study tour of the 20th Mineral Water Conference	182
BOGLÁRKA-MERCEDESZ KIS, ISTVÁN MÁTHÉ	
Illustrated book of conference venues, study tour sites and catalogue photographs (2004–2026)	191
LÁSZLÓ LÉNÁRT	
List of participants and contributors to the twenty mineral water conferences (2004–2026)	193
IZABELLA LACZKÓ, ISTVÁN MÁTHÉ	

ELŐSZÓ

Idén jubileumi, huszadik alkalomhoz érkezett ásványvizes konferenciasorozatunk. A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Csíkszeredai Karán 2004-ben került sor az első konferenciára, néhai Makfalvi Zoltán csíkszeredai geológus és Liebe Pál, a magyarországi Felszíni Vizekért Alapítvány (FAVA) kuratóriumi elnökének kezdeményezésére, dr. Lányi Szabolcs dékán támogatásával. A következő fontos állomást 2007 jelentette, amikor dr. Szűcs Péter általános rektorhelyettes és dr. Lénárt László, a FAVA kuratóriumi elnöke vezetésével a Miskolci Egyetem vállalta a konferencia megszervezését. Ezzel kezdetét vette a rendezvény vándorkonferencia-jellege: a következő években a Sapientia EMTE és a Miskolci Egyetem felváltva szervezte a szakmai találkozót. A konferenciasorozat 2015-ben újabb partnerrel bővült, amikor dr. Tometz Ladislav tanszékvezetőnek köszönhetően a Kassai Műszaki Egyetem is bekapcsolódott a szervezésbe. Ettől kezdve a rendezvény Románia, Magyarország és Szlovákia különböző helyszínei között váltakozva kerül megrendezésre.

A konferenciasorozat folytonossága az elmúlt több mint két évtizedben mindössze három alkalommal szakadt meg: 2013-ban, valamint 2020-ban és 2021-ben, utóbbi két évben a Covid-19-világjárvány következtében. A rendezvény helyszíneinek földrajzi változatosságát jól mutatja, hogy Csíkszereda és Miskolc mellett az évek során Egerszalók, Herkulesfürdő, Ránkfürdő, Mohács, Bártfafürdő, Selmecbánya–Hegybánya és Tata is vendégül látta a konferencia résztvevőit, a legutóbbi találkozóra pedig Kassán került sor.

A konferencia fő célja, hogy szakmai fórumot biztosítson mindazon szakemberek számára, akik a Kárpát-medencében található ásvány-, gyógy- és termálvizek, valamint gázömlések feltárásával, geológiai, hidrológiai, kémiai, természet- és környezetvédelmi, mikrobiológiai és gyógyászati kutatásával, tanulmányozásával, hasznosításával és védelmével, továbbá az ezekhez kapcsolódó engedélyezési folyamatokkal foglalkoznak. A rendezvény hagyományainak megfelelően a tudományos üléseket követő napon szakmai tanulmányútra kerül sor.

Ha csak a számok tükrében tekintünk a húsz ásványvizes konferenciára, akkor megállapítható, hogy a konferenciakötetekben összesen 412 teljes cikk, illetve kivonat jelent meg, 1145 szerzői közreműködéssel. Ez utóbbi szám természetesen bőven tartalmaz ismétlődéseket, hiszen sokan több tanulmánnyal is gazdagították a konferenciák szakmai anyagát. Az elmúlt 23 év során megszervezett húsz konferenciához legalább 605 különböző személy kapcsolódott előadóként, társszerzőként, hallgatóként vagy szervezőként, akiknek neve a jelen kötet végén olvasható. A szakmai kirándulások során öt országban – a szervezők országai mellett Horvátországban és Lengyelországban is – összesen 86 szakmai helyszínt kerestünk fel.

Ugyanakkor meggyőződésem, hogy az ásványvizes konferencia jóval több annál, mint amit a számok mutatni tudnak: az eszmecserék és viták mellett értékes szakmai kapcsolatok alakultak ki és ami talán a legfontosabb, életre szóló barátságok is születtek. Az ásványvizes konferenciára rendszeresen visszatérő

résztevőkből az idők során valódi közösség formálódott, amelyet nemcsak a közös szakmai érdeklődés, hanem a sok együtt töltött idő, a közös élmények és emlékek is összekötnek. Sokunk naptárában augusztus utolsó napjai már hosszú évek óta előre rögzített helyet foglalnak el és nemritkán a nyári szabadságolás részét képezik. Ilyenkor nem egyszerűen egy újabb szakmai rendezvényre érkezünk: régi ismerősökkel, kollégákkal és barátokkal találkozunk ismét, miközben minden alkalommal új résztvevők kapcsolódnak be, tovább gazdagítva az ásványvizes konferencia közösségének „szövetét”. Talán éppen ez az összetartozás és az évről évre megélt találkozások öröme az ásványvizes konferenciasorozat egyik legnagyobb értéke.

Végezetül szeretném megköszönni mindazoknak, akik az elmúlt 23 év során előadóként, társszerzőként, résztvevőként, szervezőként vagy támogatóként hozzájárultak az ásványvizes konferenciasorozat sikeréhez és fennmaradásához. Bízom benne, hogy az elkövetkező években is újra és újra találkozhatunk.

2026. augusztus 10.

Dr. Máthé István
Sapientia EMTE, Csíkszeredai Kar,
Biomérnöki Tanszék
a konferencia társelnöke

FOREWORD

This year marks a jubilee milestone for our mineral water conference series, as we celebrate its 20th edition. The first conference was held in 2004 in Miercurea Ciuc, at the Faculty of Economics, Socio-Human Sciences and Engineering of the Sapientia Hungarian University of Transylvania. It was launched on the initiative of the late geologist Zoltán Makfalvi from Miercurea Ciuc, and Pál Liebe, Chairman of the Board of Trustees of the Hungarian Foundation for Surface Waters (FAVA), with the support of then-Dean Dr. Szabolcs Lányi. The next important milestone was reached in 2007, when the University of Miskolc undertook the organization of the conference under the leadership of Dr. Péter Szűcs, Vice-Rector, and Dr. László Lénárt, Chairman of the Board of Trustees of FAVA. This marked the beginning of the conference as a traveling event, with the Sapientia Hungarian University of Transylvania and the University of Miskolc taking turns organizing the professional gathering in the following years. In 2015, the conference series welcomed a new partner when, thanks to the efforts of Department Head Dr. Ladislav Tometz, the Technical University of Košice also became involved in its organization. Since then, the conference has been held alternately at various locations across Romania, Hungary, and Slovakia.

Over the past two decades, the continuity of the conference series has been interrupted on only three occasions: in 2013, as well as in 2020 and 2021, with the latter two cancellations resulting from the COVID-19 pandemic. The geographical diversity of the conference venues is reflected in the fact that, in addition to Miercurea Ciuc and Miskolc, participants have gathered over the years in Egerszalók, Băile Herculane, Herľany, Mohács, Bardejovské Kúpele, Banská Štiavnica–Štiavnické Bane, and Tata, with the most recent conference having been held in Košice.

The main objective of the conference is to provide a professional forum for experts involved in the exploration, utilization, and protection of mineral, medicinal, and thermal waters, as well as gas emissions in the Carpathian Basin. The event covers a wide range of fields, including geological, hydrological, chemical, environmental, microbiological, and medical research, alongside the related permitting processes. In keeping with conference tradition, the day following the scientific sessions will be dedicated to a professional field trip.

If we consider the twenty mineral water conferences purely in terms of numbers, a total of 412 full papers and abstracts have been published in the conference proceedings, representing 1,145 author contributions. The latter figure naturally includes many repeated contributions, as numerous authors have enriched the scientific content of the conferences with more than one paper. Over the past 23 years, at least 605 different individuals have been involved in the twenty conferences as presenters, co-authors, attendees, or organizers, and their names are listed at the end of this volume. During the professional excursions, we visited a total of 86 sites of professional interest across five countries – including, in addition to the organizers' home countries, Croatia and Poland.

At the same time, I am convinced that the mineral water conference series is far more than what can be expressed in numbers. Alongside professional exchanges and discussions, valuable relationships have developed, and, perhaps most importantly, lifelong friendships have been formed. Over the years, the participants who regularly return have grown into a genuine community, united not only by shared professional interests but also by the time spent together and the many experiences and memories we share. For many of us, the last days of August have occupied a permanent spot in our calendars for many years, often becoming part of our summer holidays. On these occasions, we are not simply attending another professional event: we meet again with old acquaintances, colleagues, and friends, while new participants join us each time, further enriching the fabric of the conference community. Perhaps it is precisely this sense of belonging and the joy of meeting again year after year that represents the true essence of this conference series.

Finally, I would like to thank everyone who, over the past 23 years, has contributed to the success and continuity of the mineral water conference series as a presenter, co-author, participant, organizer, or supporter. I sincerely hope that we will continue to meet in the years to come.

Miercurea Ciuc, August 10, 2026.

Dr. István Máthé
Department of Bioengineering
Sapientia Hungarian University of
Transylvania
Co-Chair of the Conference

SZÉKELYFÖLDI GÁZÖMLÉSEK, ÁSVÁNYVIZEK ÉS FÜRDŐK HELYNEVEI

JÁNOSI CSABA^{1*}, BERSZÁN JÓZSEF¹,
PÉTER ÉVA¹, JÁNOSI CSANÁD¹

¹Csíki Természetjáró és Természetvédő Egyesület. 537335 Tusnád, 212.

*Kapcsolattartó szerző: cscstte@mail.com

Kivonat

Az „ezer borvizek” országaként emlegetett Székelyföld nemcsak változatos vegyi összetételű ásványvizeiről nevezetes, hanem ezen források helynévanyaga, néprajzi, nyelvi szempontból is nagy értéket képvisel. Több évtizedes terepbejárás során sikerült felleltározni a több mint ezer borvízforrás, bűdösgödör, népi feredő nevét, amelyeknek egy része sajnos már feledésbe merült. A teljesség igénye nélkül, csoportosítva tesszük közzé tanulmányunkban ezt a helynévgyűjteményt.

Abstract

TOPONYMS OF GAS EMISSIONS, MINERAL SPRINGS AND BATHING PLACES IN SZEKLERLAND

Szeklerland, often referred to as the land of ‘a thousand mineral springs,’ is renowned not only for the diverse chemical composition of its waters, but also for the significant ethnographic and linguistic value inherent in the toponymy of these sources. Through decades of fieldwork, the names of more than a thousand mineral springs, mofettes, and traditional rustic baths have been successfully cataloged, some of which have unfortunately already fallen into oblivion. Without claiming completeness, this study presents a categorized collection of these local placenames.

Székelyföldi gázömlések, ásványvizek és fürdők helynevei

A nagy mennyiségben előforduló székelyföldi szén-dioxid gázömléseknek, ásványvizeknek könyvtárnyi irodalma van. Az 1300-as évekből fennmaradt oklevelekben, peres iratokban már előfordulnak borvízre, kénköves helyekre utaló helynevek. Az 1500-as évektől kezdődően egyre szaporodnak a feljegyzések. Az erdélyi fejedelmek korában már virágzó fürdőhelyek, ismert savanyúvízforrások használatáról szólnak az okiratok. A mineralógusok, fizikusok az 1700-as évektől kezdik kutatni, a borvizek összetételét, gyógyhatását. Mária Terézia rendelete után kezdődik meg az erdélyi, köztük a székelyföldi ásványos vizek települések szerinti összeírása, vegyelemzése. Az 1800-as években indul meg a modern fürdőfejlesztés, a borvizek palackozása. A technika fejlődése az 1900-as években felgyorsítja a székelyföldi ásványvizek modern módszerekkel való vegyelemzését, nagy termelékenységű borvízpalackozók létesítését, a fürdőtelepek fejlesztését. A múlt század első felében Bányai János Borvízkutató Központot alapított. A székelyföldi ásványvízkutatás fénykora az 1970–1990-es évekre esett. Ekkor készült el Hargita és Kovászna megye ásványvizeinek felleltározása, vegyelemzése és több nagy hozamú hidrogeológiai fúrás leemélyítése. Ebben az időszakban több mint 1100 székelyföldi ásványvízforrást, mintegy 40 borvízpalackozót, 180 borvízfürdőt és 70

száraz szén-dioxid gázfeltörést, mofettát leltározunk fel. Ennek a terepbejárásnak értékes néprajzi mellékterméke a borvizekhez, gőzlőkhöz és fürdőkhez kötődő helynévanyag.

A székelyföldi száraz tiszta szén-dioxid vagy kevés kénhidrogént, metánt is tartalmazó gázömléseket бүдös, дöglesztő, erő, гőzlő, párló vagy доh néven emlegetik. A nedves, üreges helyeken felszínre törő gázok sajátos nevére utalnak a dobogó, fortyogó, posszogó, rotyogó, dungó, dongó, buffogó, puffogó, sűgő, hortyogó, tortyogó, fővő, bugyogó, buzogó, buzgó, zubogó, szortyogó, süllőgő, süttőgő hangutánzó szavak. Újabban az olasz mofetta szó van használatban, forgalomban, lassan kiszorítja a régi бүдös gödröt. Most nem gödrözünk, hanem mofettázunk.



1. ábra. A lázárfalvi Бүдöspataki Fortyogó (Fotó: Jánosi Csaba)

Székelyföld északi részén, a Kelemen-havasok előterében, a Bélbori- és a Borszéki-medencében két száraz szén-dioxid gázömlés ismert, a hurubai Madárdöglesztő és a borszéki Döglesztő vagy az egykori Ösforrás. A Gyergyói-medencében Kilyénfalván, Csomafalván a pincemofetták sorakoznak. Inczelokán ismertebb a Csata Miklós-féle бүдösgödör vagy Létramofetta. Gyergyóújfaluban a Nagykerti Süttőgő ismert természetes mofetta. Csíkszáken az egyik legismertebb mofetta, a csicsói Бүдös vagy hargitafürdői Бүдösgödör. Csíkszeredában Zsögödfürdő, a csíkszentkirályi Бүдöshely kútjai, Csíkszentimrén Бүдösfürdön van két Süllőgő, a belső, gödör jellegű, a külső Süllőgő az egykori higanybánya

aknájából nyeri a gázt. Dél felé haladva elhanyagolt gödrök vannak, Bányapataokban, Vermedpataokban és a csíkszentsimoni Kakukkhegy kráterében, a Gödörben található a Büdösgödör. Csíkverebesen, a falu központjában volt a Bolygó nevű száraz szén-dioxid gázömlés. Tusnádfürdön az Olt jobb partján, Hollópatak tövében van kiépítve a térség egyetlen orvos által felügyelt mofettája, az úgynevezett Imets-féle kengőzlő (2. ábra) vagy Kovács Károly Büdöslika, amihez egy tréfás helyi versike is kapcsolódik: „Kovács Károly бүдös lika, /Mit adhatna egyebet, /Hajolj le a fenekére, /S nem eszel több kenyeret”.



2. ábra. A tusnádfürdői Imets-féle kengőzlő (Fotó: Jánosi Csaba)

Az Imets-féle kengőzlő fölötti lejtőn van a nemrég felújított Kristó-féle gödör. A medence keleti peremén található a csíkszentgyörgyi Gatalalati Párló, a csíkbánkfalvi Adorjánfürdő Büdösgödre, a csíkszentmártoni Posszogó, a csíklázárfalvi Büdösgödör, az Erősároki-, a Büdöspataki- és a Sűgópataki gázömlések.

Háromszék, s talán egész Székelyföld mofettáiban leggazdagabb vidéke Torja határában, a Bűdös hegyen van. Legismertebbek a Kicsi-, a Bűdös-, a Timsós- és a Gyilkos-barlang, valamint a Buffogó-láp gázömlései. Bálványosfürdön, az egykori Transilvânia fürdön és Csiszárfürdön a mofetta is használatban van. Ettől délre, a Torjahágaja alatti Pokolvölgy homokkő rétegekből áramlik ki kénhidrogénes szén-dioxid gáz. Kézdivásárhely környékén a Fortyogófürdön, Hatolykán és Esztelneken van gázömlés. Orbaiszék központját, Kovásznát a mofetták városaként ismerik, ahol doh-ként emlegetik a száraz gázömléseket. A fűrészből feltörő gázt a Szív-kórház

és a nagy szállodák hasznosítják, de ismertek magánmofetták is mint a Bene-, Bardócz- és a Bánú-mofetta. A városka főterén található a fortyogó kitöréseiről nevezetes vizes mofetta, a Pokolsár.



3. ábra. Zalánpataki mofetta (Fotó: Jánosi Csaba)

Érdekesek a magánházak udvarán működő úgynevezett „lappancsos” mofetták is. A „bajára gyógyulást kereső, szénsavas gázt kereső, szénsavas gázfürdőt venni akaró” egyén úgy ült bele a gödörbe, hogy csak a feje látszott ki a magára borított fedél (lappancs) nyílásán”.

Székelyföldön egykor szén-dioxid gázt palackoztak Kovásznán, Málnásfürdőn, Bálványosfürdőn és Tusnádon.

A székely ember háromféle ásványvizet különböztet meg: szénsavas ásványvizet, savanyúvizet vagy népiesen borvizet, kénhidrogén, szelén vagy bűdös vizet és sós vagy gérás vizet.

A borvíz szó a Czuczor-Fogarasi szótár és Varga Csaba nyelvutató szerint „a bor, a forr szóval azonos, mely pezsgést jelent. Az f hang gyakorta válik b hanggá. A borvíz tehát for(r)víz, azaz pezsgő víz.” A felszálló szén-dioxid buborékok teszik azzá.

A székelyföldi ásványvízforrások nagy része szénsavas ásványvíz, azaz borvíz. Ennek következtében a helynévanyaga is a leggazdagabb. Ennek ellenére a borvízhez kapcsolódó településneveink száma elenyésző. Ide sorolhatjuk Borszéket, Bélbort és a gyimesi Borospatakát.

Annál több a borvízhez köthető helynevünk: a lázárfalvi Borvíztető, az esztelneki Borkútláb, a nagybaconi Borvízhídja, a csíksomlyói Borloka, a zaláni Bormező, a kézdiszentléleki Borvízpataka.



4. ábra. A lázárfalvi Nagyborvíz (Fotó: Jánosi Csaba)

A borvizek helynévanyagában szép számmal fordulnak elő a település-, szeg- és tízesneveket viselő: Kisbaconi borvíz, Gyergyóhollói borvíz, Remetei borvíz, Gődücnél való borvíz, Kilyénfalvi közkút, Csicsói borvíz, Somlyói borvíz, Cibrefalvi borvíz, Antalokpataki borvíz, Csatószegi borvíz, tusnádi Szeretszegi borvíz, Alszei borvíz, Csekefalvi borvíz, Pottyondi borvíz, Kiskászoni borvíz.

A székelyföldi borvízforrások nagy részének a neve a hely tulajdonosáról, foglalójáról kapta a nevét. Ez nemcsak borvíz-, hanem családnévleltár is. Gyergyótölgyesen van Sándoré borvíz, Csíkszentdomokoson Szánduly, Marosfalván Simó Feri borvize, Csíkszépvízen Dani Gergely kútja, Csíkcsobotfalván Koszáé, Csíkszentkirályon András Pista borvize, Bors Anti borvize, Csíkverebesen a Szennyes borvíz, Tusnádon a Köpe borvíz, Pallók vagy Endes borvize, Csíklázárfalván Burus János borvize, Pista Gyurka Ferenc borvize, Nagy Béláé, Csíkcskefalván Gothárd borvize, Csíkszentmártonban Bodó Dávid borvize, Csíkszentgyörgyön Báka, Kászonyjakabfalván Tubákok borvize, Erdőfűlén Pétörke borvize, Székelyszáldoboson Tót Mózi borvize, Nagybaconban Györgykovács borvíz, Sepsibükszádon Gubás borvíz, Mikóújfaluban a Bedő borvíz, Torján Füstös András borvize, Homoródfürdőn Tódor Sándor borvize,

Kovásznán Hankó kút, Zalánpatakán Mihályka borvíz és Magyarhermányban Diménysegge, Bóérsegge, Bágersegge borvize. Ezek a magyarhermányi helynevek azt igazolják, hogy a borvizek a névadó gazda földjén, vagyis a segge alatt vannak.

Gyakori a patakok, hegyek, dombok, mezők, kertek nevét viselő borvízforrás is: tusnádi Középpataktövi, Szorosárok, csíkbánkfalvi Csemetekerti, csíkszentmártoni Nyírpallagi, a csíktaplocai Borhegyesi és Zergősárok, a gyergyótölgyesi Nagyrezpataki, Deákpataki, erdőfülei Kovácpataki, nagybaconi Lágycőspataki, Fenyősorri, csíkmadarasi Tanácsossorki, csíkszentimrei Bányapataki, Istompi, Aranyliki, csíklázárfalvi Sugópataki, köpeci Kurtapataki, mikóújfalusi Gohánpataki, sepsibükszádi Tópataki, Disznópataki, torjai Begyenkö, Büdőspataki, kézdiszentkeresztii Kecskéhimpataki, kovásznai Mészpataki.

Híres történelmi személyiségekről, tudósokról, politikusokról elnevezett borvízforrások nagyrészt a székelyföldi fürdőtelepeken fordulnak elő. Bélborban ismert a Rákóczi-forrás, az Attila, a Szent István, Borszéken az Erzsébet, a Kossuth, a Petőfi, az Arany János, a Tisza Kálmán, a Pierre Curie, Tusnádfürdőn a Mikes, a Mikó, a Stănescu forrás, Bálványosfürdőn a Bányai, Kovásznán a Hankó borvíz, Előpatakon a József kút.

Egyházi, bibliai borvízforrás-nevek Tusnádfürdőn a Siloe, a Szent Anna, a Szent Ilona, Hargitafürdőn a Mária-Magdolna, Zsögödfürdőn a Szentvér, Csíksomlyón és Málnásfürdőn a Mária, Tusnádon az Ördöglíki borvíz, Árkoson a Glória, Kisbaconban az Istenkasi borvíz.

A népnevekhez kapcsolódó forrásnevek elég szegényesek. Csíklázárfalván a Cigány borvíz, Csíkverebesen a Zsidóborvíz, Kászonfáltizen a Székelyborvíz, Szépvízen az Örményfürdő ismert.

Gyógyvízként is használt borvízforrások nevei, ha a gyomorműködést segíti elő: Csíklázárfalván a Fingos, Korondon a Fingó, Csíkszentkirályon a Fingos küpü, Kászonjakabfalván a Fosató.

A borvizek minőségét a székely ember általában a borvíz szén-dioxid tartalma alapján méri. Nagybaconban az Érces és a Rezesi, a csíkzsögödi Bikavér, köpeci Jóborvíz erős borvizek. A gyenge borvízforrást Tusnádon Rosszborvíznek, Kászonban a kénhidrogéntartalmú szénsavas forrást Kotlott borvíznek nevezik.

Az előbbi csoportok mellett még megkülönböztetünk, női, férfi, növény és állatnevű forrásokat vagy a foglalásra utaló borvizeket, mint a kisbaconi és a székelyszáldobosi Szondaborvíz, a madarasi Küpüsborvíz, a csíkszentkirályi Cserefaküpus, valamint a száldobosi Likaskő. Érdekes, hogy a borvíz tárolására, szállítására használt edény nevét egyetlen székelyföldi borvíz a homoródalmási Kossós viseli.

A borvizekből kicsapódó vastól jön a tusnádi Veresvíz, a fekete vasszulfidtól a száldobosi Feketeborvíz, a fehér sziklákról a kászonfáltizi Fehérkői név.

A szejke vagy bűdös víz. A Czuczor–Fogarasi-szótár szerint a szejke szavunk „A székelyeknél jelent nehéz ital, némelyek szerint bűdösköves szagu, rosz ízű forrásvizet – marhák szeretik inni, szike vagyis szík főnévből módosult volna”. A fehéres színű, kénytelen bűdösforrásokat nézve akár az is felvethető, hogy a szejke szavunk a szóke szóból eredeztethető.

A bűdösvizek nevét a „bű v. bű, kellemetlen szagot eltaszító kedélyszótól” származtatják. Mint a „bűd, bűdös, bűdösség, bűz, bűzös, bűzit, bűzöl”. A székelyföldi bűdös vizek és szejkéek nagy része, az udvarhelyi Szejkét kivéve, a keleti térségben fordul elő. A Csíki-havasok, a Háromszéki-havasok, a Bodoki-, a Baróti-hegység, valamint a Hargita térségében törnek fel a kénhidrogénes kis hozamú források.

Érdekes néphagyomány kötődik a torjai, a bodoki, a kászoni Szemvíz-forráshoz és az oroshelyi Uruskúthoz. A szemmosó rongyokat a forrás körüli fák ágaira aggatják, s ezzel „ott hagyják a betegséget”. Hasonló szokások az ázsiai rokonnépeinknél is megfigyelhetők.

Ha külsőleg emberi vagy állati szem kúrálására használjuk a kénes, timsós, szejkes források vizét, akkor uralkodóan szemvízkét ismert a forrás. Kászonszék Szemvíz vagy Répáti Szejke, Fehérkői vagy Bűdösszéki Szejke, Kászonszék Dobolyi Szejke, Bodokon Szemvíz, Torján Szemmosókút vagy Szemvízfürdő, Csíklázárfalván Erőszárok Szemvíz, Hargitafürdőn és a csíkszentimrei Bűdösfürdőn pedig Szemvíz a neve. Az előbb felsorolt kénhidrogénes szemvízforrások mellett a következő bűdösvizes források ismertek: farkaspallói Bűdösvíz, borospataki Bűdösvíz, a csíkszenttamási Hiváki bűdösvíz, a menasági Bűdöskút, a kőszéki Bűdösvíz, a miklósvári Bűdöskút, Középpajtán a Móríczpataki Bűdöskút, a bölöni Bűdöskút, a szemerjai Bűdöskút, a zalátpataki Bűdösforrás, a sepsibesenyői Bűdöskút. Felsőcsernátonban a törpataki Bűdösvíz, kézdiszázpataki és a kézdióvári Bűdösvíz.

Sós, gérás víz. A Czuczor–Fogarasi-szótár szerint „a só nem egyéb, mint az öszverántott sav; a székelyeknél a sós tej, savanyú tej”. Ugyanitt a gera, géra szó alatt a következő magyarázatot kapjuk: „az aknából kihányt föld- és sóelegy”. Kriza J. gyűjteménye szerint: „a kiforrott sós víznek hófehér kemény tömeggé lett átalakulása”. A görbeségre utaló ger gyökből származó gera eredetileg a harang alakú sóakna felső, kerek nyílását jelenti, ahová kihúzták a sötömböket. A székelyföldi sósforrások a térség nyugati részén, az Erdélyi-medencében valamint a Keleti-Kárpátok homokkövében, a flisben fordulnak elő. Az Erdélyi-medence székelyföldi részén a legismertebb sósforrások Szovátán a Géráskút, Parajdon a Sóroszban lévő források, Korondon a Sósász és a Csigadombi. Székelykeresztúron a fiatfalvi Sós-kút, a Nagy- és Kishomoród mentén, Keményfalván, Abásfalván, Recsenyén, Szentpálon, Szentpéteren, Városfalván, Lövétén, Almáson, Karácsonyfalván van Sós-kút. Erdővidéken Felsőrákos határában ismert a Rikai és a Nádasz-pataki Sós-kút. A korábbi évszázadokban, a sóínséges időkben nagy érték volt

a sós kút. Napjainkban is, főleg ősszel és télen káposztaeltevés és disznóvágás idején a régi hagyományok szerint minden lakó „bárcára” kapja a családnak járó sós vizet. A Csíki- és a Háromszéki-havasok völgyeiben ismertek kis hozamú sósforrások. Gyimesben, Rakottyástelepen két, Tarhavasón egy sósforrás ismert. A Csíki-medencében Menaság határában a Likszéki Sósforrás, Csíkszentmártonban a Sósforrás, Kozmásán a Sószelek, Csíklázárfalvában a Sósforrás, Kászonújfaluban a Sós kút, Előpatakon a Nagysósborvíz, Árkoson a Sós kút, Oltszemen a Sós kövi, Mikóújfalun a Sósborvíz, Sepsibükszádon a Sósborvíz, Torján a Sósborvíz, a Sósmező, Kovásznán a Hankó borvíz.

Székelyföldön a borvizek iparszerű palackozása és más térségekbe szállítása a 18. század végén kezdődött el Korondon, ezt követte 1806-ban Borszelek. Változatos neveken kerültek forgalomba.

Település nevét viselő palackozott borvizek, a Bélbor, Borszelek, Tusnád, Gödemesterháza (Stânceni), Bodok, Kovászna, Málnás, Bibarcfalva, Vargyas (Vârghiș), Előpatak (Vâlcele).

Az évszázadok során gyakori volt a női nevet viselő borvizes címke. Székelyudvarhelyen, Szejkeföldön palackozták a Sarolta, Homoródfürdőn a Klotild, Mária, Lövétén a Kamilla, Felsőrákoson a Mária, Csíkszentmártonban az Anna, Hosszúaszóban az Erzsébet, Zsögödfürdőn az AnaVie, Málnásfürdőn a Mária, Bodokon a Matild és a Vilma, Torján a Diana és Kézdiszentkereszten a Mariska borvizet.

Történelmi személyek nevével került forgalomba Borszeleken a Kossuth, az Erzsébet, Gyergyótölgyesen az Attila, Bibarcfalván a Baross (5. ábra), Kászonföltizen a Báthory, Kászonjakabfalván Szent László. Kovásznán Regele Ferdinand.

Napjainkban elterjed a gyöngye utónevű palackozott vizek, mint a csíkszentkirályi Hargita Gyöngye, kászonjakabfalvi Kászon Gyöngye, a szentkatolnai Kovászna Gyöngye. A tulajdonosváltás során gyakran változott a forrás neve is. Polyán híres borvizét a Vénus-forrást palackozták Székely-forrás, Mariska Székely-forrás, Nemere, Poian, Cristal néven is. Kászonjakabfalván a Veresszékit palackozták Pán, Salutaris, Salvus, Boldizsár néven, Mikóújfaluban töltötték a Hunniát, Lövétén Székely-Selterst, Málnásfürdőn Siculiát, Árkoson Glóriát, Kovásznán Horgáczt, a Hegyek Harmatját, Vargyason a Silvanát és a Borsilt.

Gázömlésekben, ásványvízforrásokban gazdag székelyföldi településeken számos famedencés népi feredő ismert, amelyek közül csak kevés fejlődött ki nagyobb fürdővé, és van gondozott állapotban. Megkülönböztetünk borvízfürdőt, bűdösfürdőt, sósfürdőt, gázfürdőt. Hőmérsékletük szerint megkülönböztetünk hideg, langyos és meleg ásványvízfürdőket. A székely ember a nyaranta is 5–6 °C hőmérsékletű fürdőket Vallatónak nevezi, mert ha beleül, még azt is bevallod amit nem csináltál. Vallató nevű fürdő van Hargitafürdőn és Sepsibükszádon. Langyos

fürdők ismertek Maroshévízen az Urmánczy, Csíkdánfalván a Dugásfürdő, Csíkmadarason a Melegfürdő, Csíkrákoson a Bogátfürdő, a Csíkszeredában a Helwig- vagy Katalin fürdő és Tusnádfürdőn a Tiszás, a Rezső vagy Ilona. Forró vizű fürdő a térségben csak Parajdon a Termálfürdő (52 °C) és Tusnádfürdőn az Élmenyfürdő (63 °C), Szentegyházán az úgynevezett Nosztalgia termálfürdő (41 °C) van.



5. ábra. A bibarcfalvi Baross borvíz korabeli reklámja (Fotó: Jánosi Csaba)

A fürdővíz színe szerint van a bodoki Veresborvíz feredő, a csiszfürdői Hammas, Csokoládés, valamint a sepsibükszádi Cseresfürdő.

A székelgyöföldi fürdők nagy része a település nevét viseli: Borszéklfürdő, Szovátafürdő, Parajdfürdő, Korondfürdő, Székelyszáldobosi fürdő, Bibarcfürdő, Kisbaconi feredő, Remetefürdő, Borzsovai fürdő, Zsögödfürdő, Sötétpataki fürdő, Csíkszentimrei Búdösfürdő, Tusnádfürdő, Kászonfürdő, Málnásfürdő, Előpataki fürdő, Martonosi fürdő, Hatolykafürdő és Kovásznafürdő.

Hangutánzó nevet visel a torjai Buffogó, a székelypetőfalvi Fortygófürdő, a sepsiszentgyörgyi Sugásfürdő, a sepsibükszádi Bugyogó (6. ábra) és Hortygó, a székelyszáldobosi Buzgófürdő, a szentkeresztbányai Dobogófürdő, a csíkszentmihályi Bugyogósfürdő.

Történelmi személyiségek nevét viseli a maroshévízi Urmánczy, a Bánffy, a hargitafürdői Apaffi, a szentkeresztbányai Ugronfürdő, a székelyszáldobosi Bethlen- vagy Báthory-fürdő, a csíkszentkirályi Borsfürdő és a sepsibükszádi Mikes, a bélbori Erzsébetfürdő, a kisbaconi Elekapó feredéje.



6. ábra. A sepsibükszádi Bugyogós borvíz (Fotó: Jánosi Csaba)

Helyi, fürdőt építő, -használó személy nevét viseli a mikóújfalusi Sántafürdő, a sepsiszentgyörgyi Györgybíró-fürdő, a sepsibükszádi Antalkák feredéje, a csíkbánkfalvi Adorjánfürdő, a csatószegei Sölön feredéje, a fitódi Kőszegi-fürdő, a gyergyócsomafalvi Tokányé gübüje, a székelykeresztúri Gyárfás sósfürdő, a nagybaconi Gecsefürdő.

A csíkszentkirályi Cigányok feredéje és a csíkszentmihályi Örményferedő, maroshévízi Zsidófürdő neve népcsoporthoz kapcsolódik.

Növény- és állatnévből származó fürdőnév kevés. Ide tartozik a tusnádi Nádasfürdő, a lövétei Nádaszéki- és a csíklázárfalvi Nyír-fürdő. Állati eredetű fürdőnév a nagybaconi Pisztrángosfürdő, a csernátoni Csíkásferedő és a homoródalmási Kecskésferedő. A kecskéhez kapcsolódik a székelyföldi borvízfürdők gyógyhatásának felfedezése. A hagyományok szerint a pásztorok miután, a borvízbe megfürösztték a rühös kecskéiket azok meggyógyultak. Érdekes, hogy mindig csak a kecskét feresztik, nem a juhót. Tudjuk, hogy a görög mitológiában a kecske, a félig kecske, félig ember Pan a pásztorok és a természet Istene.

Egyházi eredetű fürdőnév a csíksomlyói Barátok feredéje, a baróti és a szépvízi Papfürdő, a székelyudvarhelyi Kápolnásfürdő.

A legtöbb székelyföldi borvízferedő neve a korábbi dűlőnévhez kötődik: a székelyudvarhelyi Budvárfürdő, Fekete-fürdő, a szentegyházi Majzosfürdő, a lövétei Hargtaligeti fürdő, a gyergyócsomafalvi Felsőnyírkerti fürdő, a karcfalvi Nagyloki borvízfürdő, a csobotfalvi Kerekeger fürdő, a csíkszentkirályi Borsárosfürdő, a csíkszentimrei Bányapataki fürdő, a csíkkozmási Sószezfürdő, a Zalánpataki Csuklyoni fürdő, az oltszemi Sütei borvízfürdő, torjai Szejpespataki fürdő, a dálnoki Mungocsi, Vízisztája és Kenderesi fürdő.

A teljes székelyföldi helynévanyag közzététele nélkül is, a fenti sorok bizonyítják a borvízforrások, bűdösgödrök, népi fürdők névanyagának sokszínűségét.

Irodalomjegyzék

- Bányai, J. 1938. A Székelyföld természeti kincsei és csodás ritkaságai. Könyvnyomda R. – T. Odorhei.
- Incze, R., Jánosi, Cs., Kisgyörgy, Z., Tatár, M. 2017. Székelyföldi mofettás könyv. Háromszék Vármegye kiadó. Sepsiszentgyörgy.
- Jánosi, Cs., Péter. É. (szerk.) 2003. A Hargita-hegység és környéke ásványvizes fürdői.
- Jánosi, Cs. 2008. A székelyföldi ásványvizek helynévanyaga. In. Kútfü. IV. évf.1-2.(7-8) szám. 92–95.
- Jánosi, Cs., Péter. É. (szerk.) 2009. Székelyföld borvizei. Polgártárs Alapítvány. Csíki Természetjáró és Természetvédő Egyesület. Csíkszereda.
- Jánosi, Cs., Berszán, J., Péter, É. 2013. Székelyföld fürdői. Csíki Természetjáró és Természetvédő Egyesület. Csíkszereda.

PLANNED USE OF MINERAL WATER IN SOBRANCE SPA

TOMETZ LADISLAV

Institute of Geosciences, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and
Geotechnologies, Technical University of Košice. Park Komenského 15.,
040 01 Košice, Slovakia
E-mail: ladislav.tometz@tuke.sk

Abstract

The Sobrance Spa (“Salus per Aquam”) is historically known for its healing mineral waters and is recognized as a monument for its cultural significance. Despite its rich tradition and well-documented healing effects, the spa ceased its activities in 2004 and is currently in disrepair. However, renewed interest from the Košice Self-Governing Region has prompted efforts to resume its activities. To support this initiative, a hydrogeological survey was carried out by the Technical University of Košice with the aim of providing a comprehensive assessment of the potential for utilizing the target mineral water source for future spa treatments.

Kivonat

A SZOBRÁNCI GYÓGYFÜRDŐ ÁSVÁNYVÍZ-FELHASZNÁLÁSI TERVE

A szobránci fürdő („Salus per Aquam”) történelmileg gyógyhatású ásványvizeiről ismert, kulturális jelentősége révén pedig műemléki védettséget élvez. Gazdag hagyományai és jól dokumentált gyógyhatása ellenére a fürdő 2004-ben beszüntette működését és jelenleg leromlott állapotban van. A Kassai Kerület részéről megnyilvánuló újbóli érdeklődés azonban a tevékenység újraindítására irányuló törekvéseket eredményezett. Ezen kezdeményezés támogatása érdekében a Kassai Műszaki Egyetem hidrogeológiai felmérést végzett, amelynek célja az érintett ásványvízforrás jövőbeli fürdőkezelési célú hasznosítási lehetőségeinek átfogó értékelése volt.

Keywords: Sobrance; Mineral water; Current hydrogeological assessment; Future use possibilities

Introduction

In the past, a survey was carried out to determine the protection of the mineral waters of the Sobrance Spa (Mlynarčík and Petrivaldský, 1985), within which a large group of hydrogeological wells was carried out, three of which were retained for further use. The TMS-2 well, situated in the centre of the spa, plays a particularly important role in this regard.

The Technical University of Košice conducted a long-term, 45-day hydrodynamic test on the TMS-2 well during the detailed hydrogeological survey stage, which confirmed the current possibility of using mineral water from this well for therapeutic purposes.

However, this fact was already known in the past, but for the future use of mineral water from the TMS-2 well, it was necessary to carry out a current assessment of the quantity and quality of this mineral water for its future application during the detailed survey stage.

Material and method

The materials for the article in question were obtained from the final report of a detailed hydrogeological survey carried out during the years 2024 to 2026. To carry out the survey in question, a geological project plan was developed, which was approved by the Ministry of the Environment of the Slovak Republic.

Based on the project in question, work was proposed, the results of which were processed in the final report. This document is currently being approved by the Commission for the Classification of Groundwater Quantities at the Ministry of the Environment, as well as the Spa Commission at the Ministry of Health of the Slovak Republic.

The decisive basis for the above approval of the mineral water source in question are the results of the semi-operational hydrodynamic test carried out at the TMS-2 well, as well as the sampling of mineral water from this well and its physico-chemical analysis.

An important basis for assessing the suitability of groundwater from the TMS-2 well for therapeutic purposes was also the contribution provided by Musaab et al. (2025).

Results

Geology

The Sobrance Spa is located near Sobrance town, eastern Slovakia, within the Košice self-governing region (Fig. 1. and 2.). It falls within a complex geological and hydrogeological environment, influenced by tectonic activity. The geological and tectonic setting of the studied area is characterized by a complex structural history, spanning from the Palaeozoic through the Quaternary. The oldest rock complex found in this region is of the Palaeozoic era. These rocks are primarily composed of strongly calcareous, consolidated greenish-grey shales. Additionally, dark graphitic slates, isolated gypsum, and siliceous limestones occur sporadically. With increasing depth, these shales become more consolidated, transitioning into phyllites. Stratigraphically, this sequence is assigned to the Upper Permian to the Carboniferous (Magyar & Rudinec 1980).

The Mesozoic rocks in the region primarily consist of carbonate sequences deposited from the Triassic to the Middle Cretaceous. Their depth varies, ranging between 200 and 400 m based on drilling and seismic surveys. However, Middle Triassic dolomites were found at a shallow depth of only 8 m, indicating substantial structural relief (Žec ed. 1997a, b). The Triassic sequence includes the Gutenstein limestones, Ramsau dolomites, and the clayey-sandy shales Carpathian Keuper Formation. Jurassic sedimentation in the region is represented by the Kopienec Formation, Allgäu Formation, and Hierlatz limestone. The Kopienec Formation consists of dark gray, fine-grained sandy-crinoïdal limestones, occasionally



Fig. 1. Location of the study area on the map of Slovakia



Fig. 2. Location of the study area on the basic map

interbedded with black marly-sandy shales. The Allgäu Formation comprises dark gray marly limestones and brownish weakly marly shales. The Hierlatz limestones are distinctively pinkish-purple to red, massive, and contain well-sorted crinoid fragments. Cretaceous formations in the region include the Mráznica Formation and the Poruba Formation. The Mráznica Formation represents Lower Cretaceous sedimentation and forms a transitional unit between the Jurassic and Cretaceous (Jacko et al. 2022). It consists of pelagic, silty dark grey to grey-brown marly limestones, frequently containing dark chert nodules. The Poruba Formation, the youngest Mesozoic sequence, emerges sporadically in the northern regions of the study area (Fig. 3.).

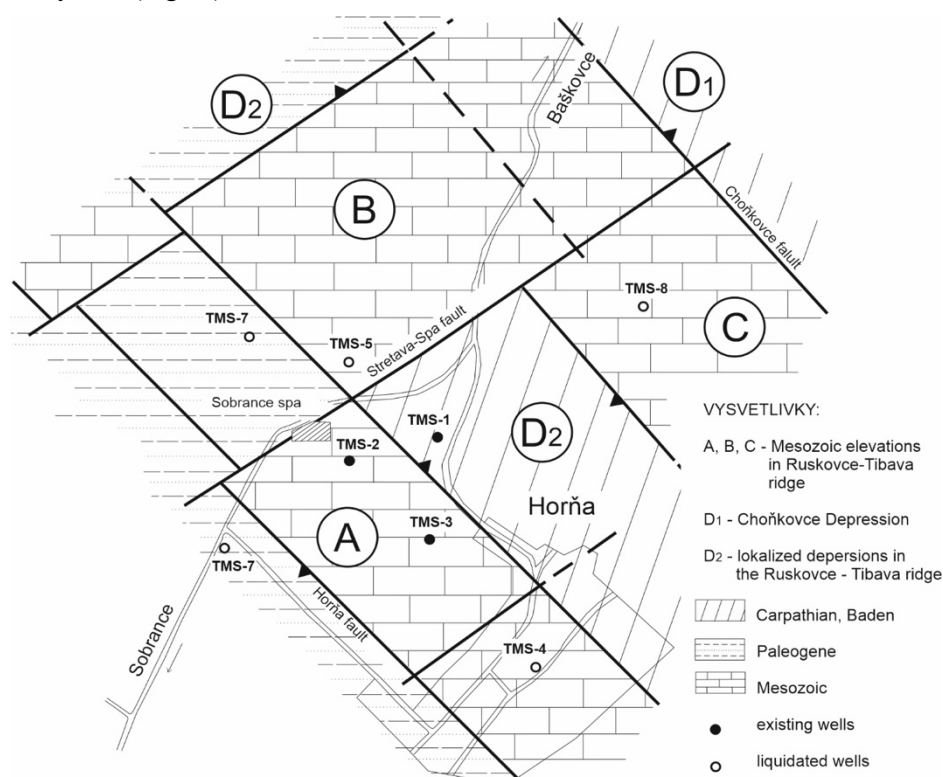


Fig. 3. Structural-tectonic scheme of the Sobrance Spa (Mlynarčík & Petrivaldský 1985)

The Paleogene and Neogene successions overlying the Mesozoic units indicate a shift from deep-marine to shallow-marine and continental environments. These deposits are primarily composed of claystones, siltstones, sandstones, and conglomerates, often interspersed with volcanic layers. The Neogene extensional phase played a crucial role in shaping the East Slovak Neogene Basin, leading to

significant subsidence and the formation of grabens filled with thick sedimentary sequences (Žec ed. 1997a, b).

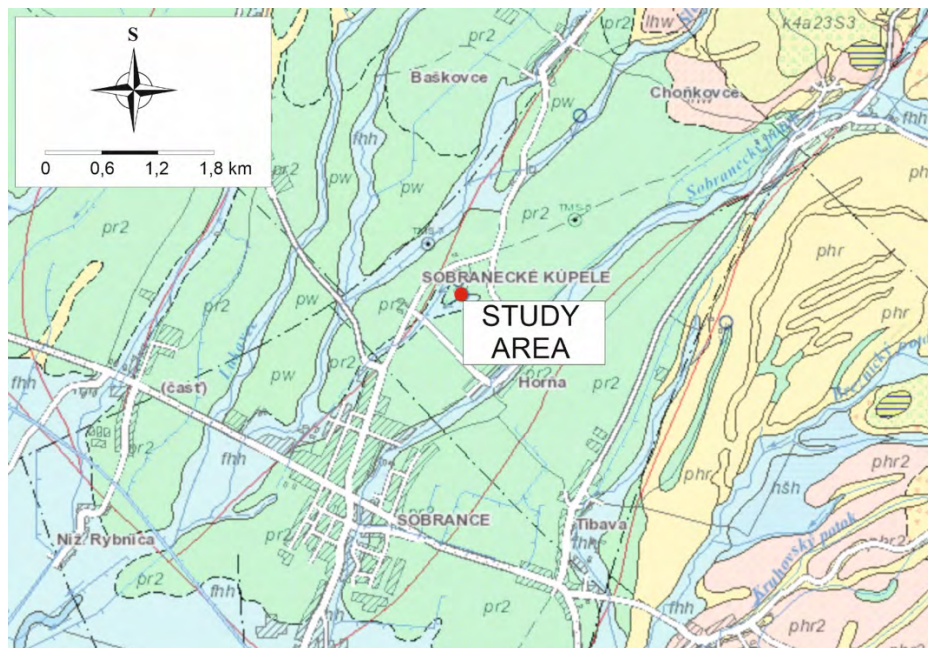


Fig. 4. Geological map of the study area and its surroundings

Legend for Fig. 4.: Quaternary, Holocene fhh – fluvial sediments: undifferentiated floodplain loams, or sandy to gravelly loams of valley floodplains and mountain stream floodplains; hsh – proluvial sediments: predominantly loams and sandy loams with rock fragments and clayey gravels in alluvial fans; Pleistocene lhwh – aeolian-deluvial sediments: non-calcareous loess loams and loess-like soils; pr2 – proluvial sediments: clayey and sandy gravels with rock fragments to residual deposits in lower-middle alluvial fans; phr – proluvial sediments: clayey to sandy-clayey gravels with rock fragments in middle alluvial fans with a cover of deluvial wash deposits; phr2 – proluvial sediments: clayey and sandy gravels with rock fragments in lower-middle alluvial fans with a cover of loess and deluvial wash deposits; pw – proluvial sediments: clayey and sandy gravels with rock fragments in low alluvial fans. Neogene, Middle Miocene, Late Sarmatian, andesitic volcanics of the Vihorlat Mountains k4a23S3 – epiclastic volcanic breccias, conglomerates, and sandstones of pyroxene andesites (Kučera et al. 2008).

During the Quaternary, continued tectonic activity resulted in further subsidence and uplift events, accompanied by extensive erosion and sediment redeposition. Alluvial and fluvial sediments, consisting of sands, gravels, and clays, dominate the surface geology, forming terraces along major river valleys (Fig. 4.).

The interplay of tectonics and sedimentation throughout the geological history of the area has resulted in a highly diverse stratigraphic and structural framework, making it an important region for geological research and resource exploration.

Hydrogeology

The hydrogeological properties of the lithological-stratigraphic units in the studied area, ranging from the oldest Mesozoic rocks to the youngest Quaternary sediments, reveal a complex groundwater system shaped by the geological history and tectonic activity. The Mesozoic rocks form highly productive fractured and karstified aquifers (Mlynarčík and Petrivaldský 1985). These rocks host mineralized Na-Cl type groundwater with high total dissolved solids. The piezometric levels in these aquifers range from 143 to 150 m above sea level, and pumping tests in wells have confirmed significant yields, with water temperatures reaching up to 29.5 °C. Hydraulic parameters include a transmissivity (T) of $1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, storativity (S) of 2.5×10^{-3} , hydraulic diffusivity (a) of $0.062 \text{ m}^2/\text{s}$ indicating the high productivity and storage capacity of these aquifers. In the Mesozoic carbonate unit, springs discharge rapidly due to natural artesian pressure and favourable topographic conditions, whereas wells exhibit a slower but continuous flow driven by lower-pressure gradients.

Overlying the Mesozoic rocks, the Paleogene formations, consisting of clay-sandstone sequences, exhibit productive fractured and porous aquifers. The average T of these rocks is $4.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, which reflects their moderate productivity compared to the Mesozoic aquifers. The Neogene sediments consist of two main lithological assemblages: clays and tuffs with andesite boulders and thin lignite interlayers, and more permeable tuffs and sandstones, with rare lignite interlayers. The latter assemblage forms good aquifers with positive piezometric levels and distinct groundwater regimes. While hydraulic parameters for these sediments are not explicitly quantified in the available data, the sandstones and tuffs are noted for their favourable properties. The Quaternary sediments, representing the youngest geological unit, are characterized by solifluctional-proluvial and fluvial deposits. These sediments exhibit significant heterogeneity, with well yields typically ranging from 0.05 to 1 l.s^{-1} , rarely reaching 2.0 l.s^{-1} (Mlynarčík & Petrivaldský 1985). South of Sobrance, resedimented fluvial-gravel-sand deposits, up to 30 m thick, display higher permeability, with hydraulic conductivity values between 1×10^{-4} and $1 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. Recharge occurs mainly through precipitation, infiltration from surface streams, and groundwater transfers from pre-Quaternary aquifers, with the general flow direction from northeast to southwest.

A 45-day hydrodynamic test was conducted to verify the usable groundwater yield from borehole TMS-2 (Photo 1 – 4). At the start of the test, an overflow – or wellhead pressure indicating a water level 2.5 m above ground level – was observed. Prior to the test itself, the overflow yield had been monitored over a long period; however, this flow was regulated by a device installed at the wellhead.



Photo 1. TMS-2 borehole site



Photo 2. Closure of the well site **Photo 3.** Groundwater discharge from the overflow **Photo 4.** Reconstruction of the TMS-2 borehole wellhead

Groundwater pumping from the borehole commenced on March 25, 2026, and continued until April 18, 2026. Subsequently, the recovery of the groundwater level following the pumping phase was monitored until May 3, 2026, at which point overflow resumed at borehole TMS-2 (i.e., the water level returned to 2.5 m above ground level). The groundwater extraction rate was 4.0 L/s (240 L/min), with a maximum drawdown of 8.19 m below the reference point (2.5 m above ground level).

The subsequent recovery of the groundwater level was gradual; overflow resumed—and the water level returned to 2.5 m above ground level 15 days after the start of the recovery test.

Based on the results of this hydrodynamic test, a permanent extraction rate of 4.0 L/s (240 L/min) was proposed for borehole TMS-2, with a maximum drawdown of 8.20 m below the reference point (2.5 m above ground level).

Naturally, the quality of the water is the decisive factor for the potential future use of mineral water from the TMS-2 borehole. Laboratory analysis results for groundwater samples from the borehole—obtained both from the natural overflow and, more importantly, during the pumping test—were available for this assessment.

During the pumping of water from borehole TMS-2, groundwater samples were also collected for comprehensive analysis to evaluate its suitability as mineral water. The results of these analyses, as well as earlier groundwater tests from the borehole, confirmed its therapeutic properties. However, this fact has long been known.

According to Decree No. 100/2006 Coll. of the Ministry of Health of the Slovak Republic regarding the classification of mineral waters, this is a highly mineralized, sodium-chloride, cold, hypotonic mineral water with average total of dissolved solids of 10,300 mg/L, CO₂ content of approximately 1,970 mg/L, and a water temperature of up to 19.10 °C.

Table 1. below presents the processed data on basic physicochemical parameters derived from analyses conducted as part of the geological project in question.

Based on the current results of these analyses, the chemical composition of the mineral water from borehole TMS-2 can be characterized as follows:

- total mineralization ranged from 10,000 mg/L to 10,300 mg/L
- sodium dominates the cation component (Na = 2,560 mg/L)
- chlorides dominate the anion component (Cl = 4,860 mg/L)
- according to Palmer indices, the water was characterized by a predominance of first salinity (S1 75.822) and second alkalinity (A2 13.454).

Table 1. Basic physicochemical parameters of mineral water from borehole TMS-2

Date of analysis	TDS	pH	Temperature	CO ₂	H ₂ S	Na ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	S1 (Cl)	S2 (SO ₄)	A2
	[mg.L ⁻¹]		[°C]									
30.05.23	10099	6.30	18.7	942	-	2850	519	4548	1307	75.82	5.78	1345
25.10.25	9790	6.30	18.1	-	0.31	2769	482	5363	2144	-	-	-
07.04.26	10300	6.66	19.8	1970		2560	504	4870	1420	73.26	13.13	13.61
14.04.26	10000	6.55	19.2	1580	0.05	2550	514	4710	1350	73.13	6.12	13.40

Conclusions

The results of the hydrogeological survey conducted as part of the "Sobrance Spa – Mineral Waters" project will be used to secure approval for the mineral water from borehole TMS-2 for use as a natural medicinal mineral water. All technical, hydrogeological, and hydrogeochemical parameters indicate that this water can be used for the treatment of conditions, particularly skin diseases.

References

- Jacko, S., Babicová, Z., Thiessen, A.D., Farkašovský, R., Budinský, V. 2022. The use of multi-geophysical methods to determine the geothermal potential: a case study from the Humenné Unit (The Eastern Slovak Basin) Appl. Sci, 12.
- Kučera, M., Maglay, J., Pristaš, J. 2010. Sobrance – geologická mapa kvartéru. ŠGÚDŠ Bratislava.
- Magyar, J., Rudinec, R. 1980. Nové poznatky o podloží neogénu pozdišovsko-iňačovského bloku na východnom Slovensku (vrt Bunkovce-1). Mineralia Slovaca 12, ŠGÚDŠ Bratislava, vyd. Košice, pp. 53 – 62.
- Mlynarčík, M., Petrivaldský, P. 1985. Sobranecké kúpele – ochranné pásma. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠDGÚDŠ Bratislava, 221 p. Arch. č. 63270.
- Musaab, A. A. M., Tometz, L., Szabó, P. N., Szűcs, P. 2025. Physicochemical and microbial characteristics of medicinal groundwater at Sobranecké Spa, a Slovakian heritage site: Implications for balneotherapy. Environmental Challenges 20: 101242, 18 p.
- Tometz, L., Jacko, S., Kondela, J., Mlynarčík, M. 2024. Sobranecké kúpele – minerálne podzemné vody. Projekt geologickej úlohy. Manuskript – archív Ústavu geovied FBERG TU v Košiciach, 28 p.
- Tometz, L., Jacko, S., Mlynarčík, M. 2026. Sobranecké kúpele – minerálne podzemné vody. Záverečná správa geologickej úlohy. Manuskript – archív Ústavu geovied FBERG TU v Košiciach, 44 p.
- Žec, B., (ed.), Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Jacko, S. ml., V., Karoli, S., Baňacký, V.,
- Potfaj, M., Rakús, M., Petro, Ľ., Spišák, Z., 1997. Geologická mapa Vihorlatských a Humenských vrchov 1:50 000. MŽP SR – GSSR Bratislava.
- Žec, B. (ed.), Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Jacko, S. ml., Baňacký, V., Karoli, S.,
- Potfaj, M., Rakús, M., Petro, Ľ., Spišák, Z., Bodnár, J., Jetel, J., Boorová, D., Zlinská, A. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Vihorlatských a Humenských vrchov 1:50 000 GSSR, Bratislava, 254 p.

MENNYIRE TERMÉSZETES A PALACKOZOTT „TERMÉSZETES ÁSVÁNYVÍZ”? – A SZÉN-DIOXID ÚTJA A TERMÉSZETES FORRÁSOKTÓL A MODERN ÉLELMISZERIPARIG

MIHOK EMŐKE^{1*}, ANDRÁS CSABA DEZSŐ¹, SZÉP SÁNDOR¹

¹Élelmiszertudományi Tanszék, Csíkszeredai Kar, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Szabadság tér 1, 530104 Csíkszereda

*Kapcsolattartó szerző: mihokemoke@uni.sapientia.ro

Kivonat

A szén-dioxid a természetes savanyúvizek meghatározó alkotója, ugyanakkor a modern élelmiszeripar egyik sokoldalúan hasznosítható anyaga. Erdélyben Nyulas Ferenc már 1800-ban tudományos igénnyel vizsgálta a Radna-vidéki borvizek összetételét, köztük azok gáztartalmát és sajátos tulajdonságait. Munkássága a természetes ásványvizek megismeréséhez járult hozzá, míg néhány évtizeddel később Jedlik Ányos arra keresett műszaki megoldást, hogyan lehet a természetes savanyúvizekhez hasonló szénsavas vizet mesterségesen előállítani. E történeti ívből kiindulva a tanulmány végig követi a szén-dioxid útját a természetes forrásoktól, a szikvíz megjelenésén keresztül, az élelmiszeripari minőségű gáz előállításán, tisztításán és mai felhasználásán át egészen a körforgásos technológiákig. A fermentáció során felszabaduló szén-dioxid ugyanis nem csupán melléktermék: megfelelő tisztítást követően visszanyerhető, majd a bor-, sör-, habzóborok- és más italipari technológiákban ismét felhasználható. A szén-dioxid hozzájárul az italok jellegzetes ízéhez, frissességéhez és szájérzetéhez, emellett védőgázként, szabályozott légterű tárolásban, valamint szuperkritikus állapotban kíméletes extrakciós oldószerként is alkalmazható. A természetes eredet, a technológiai kezelés és a címkén közölt információk hitelességének megítélését stabilizotóp-vizsgálatok is segíthetik. A szén-dioxid története így a természetes borvizektől a modern, fenntartható élelmiszeripari alkalmazásokig vezet.

Kulcsszavak: természetes ásványvíz; szén-dioxid; szikvíz; ipari szén-dioxid; élelmiszeripari alkalmazás

Abstract

HOW NATURAL IS BOTTLED NATURAL MINERAL WATER? – THE JOURNEY OF CARBON DIOXIDE FROM NATURAL SPRINGS TO THE MODERN FOOD INDUSTRY

Carbon dioxide is a defining component of naturally carbonated mineral water and, at the same time, a versatile substance used in the modern food industry. As early as 1800, Ferenc Nyulas conducted a scientific investigation into the composition, gas content and distinctive properties of mineral waters from the Radna region of Transylvania. His work contributed to a better understanding of natural mineral waters, while a few decades later Ányos Jedlik sought an engineering solution for the artificial production of carbonated water resembling naturally occurring acidulous waters.

Building on this historical perspective, the present study traces the journey of carbon dioxide from natural sources and the emergence of soda water through the production and purification of food-grade gas to its modern applications and use in circular technologies. Carbon dioxide released during fermentation is not merely a by-product: after appropriate

purification, it can be recovered and reused in the production of wine, beer, sparkling wine and other beverages. Carbon dioxide contributes to the characteristic taste, freshness and mouthfeel of beverages. It is also used as a packaging gas, in controlled-atmosphere storage and, in supercritical state, as a gentle extraction solvent. In the case of bottled mineral waters, stable isotope analysis can also help determine the origin of carbon dioxide, identify technological treatments and verify the accuracy of label information. The history of carbon dioxide thus extends from natural mineral waters to modern and sustainable food-industry applications.

Keywords: natural mineral water; carbon dioxide; soda water; carbon dioxide capture; food-industry applications

Bevezetés

A természetes ásványvíz-palackozás több évszázadra nyúlik vissza. Ha eleinte inkább a forrás vizének töltéséről beszélhetünk (San Pellegrino ásványvíz töltésének kezdeteit cserépkorsóba 1395-től), a XVIII. század végére, de főleg a XIX. században terjedt el az üvegpalack alkalmazása. Így nemcsak a töltőde, hanem a palackelőállító huta is a forráshoz közel került (erre jó példa a borszéki ásványvíz töltés kezdete (Janitsek & Farkas 2008)). A forrásvíz jótékony hatásának megőrzését célzó rendelkezések – a töltés a forrás közelében, minimális beavatkozás a kútból a töltődéig, a tartalom védelme megfelelő zárással stb. – egyre nagyobb fontossággal bírnak a tömeges termelés megjelenésével. A hamisítás visszaszorítása és a márkavédelem érdekében eleinte nemzeti, majd nemzetközi szabályzások lépnek érvényben (Codex Standard 108/1981), melyek betartására hivatottak a nemzeti, az uniós és a világkereskedelmi ásványvíz-felügyelő és fogyasztóvédelmi hatóságok. A 2009/54/EK európai uniós irányelv szabályozása szerint a természetes palackozott ásványvíz „olyan felszín alatti forrásból származó víz, amely mindenféle szennyeződés – fizikai, kémiai, mikrobiológiai – ellen védve van”. Mikrobiológiai szempontból eredendően biztonságos, kémiai összetétele szavatolt, kezelni csak a megengedett módon lehetséges (részleges szén-dioxid-deszorpció, vas- és mangánmentesítés, szűrés, telítés, esetleg hűtés), a víznyerőhely közelében megfelelő higiéniai óvintézkedés mellett lehet palackozni (szállítása csak palackozva engedélyezett), zárjellel kell ellátni, forgalmazása csakis a hatóság által engedélyezettnek lehetséges, amit évente közzétesznek az EU Hivatalos Lapjában. Az EU piacán nagyon sokféle összetételű, jellegű, hatású „természetes”-nek titulált ásványvizet forgalmaznak, melyeknek oldott szervesetlen anyagtartalma 50 mg/L és néhány ezer mg/L között mozog (Bodor et al. 2023). Ami a szabad szén-dioxid tartalmat illeti (oldott és gázhalmazállapotban) a palackozott természetes ásványvizek lehetnek (Liger-Belair 2019):

- természetes szén-dioxid tartalommal,
- szén-dioxiddal dúsítottak
- csökkentett szén-dioxid tartalmúak,
- szén-dioxid mentesek.

Ami a szén-dioxiddal dúsítottokat illeti, itt is lehetséges többféle ásványvíz:

- az ásványvíz kezeléséből származó szén-dioxiddal dúsítva,
- természetes, vulkanikus kőzetből kiáramlott és felfogott szén-dioxiddal dúsítva,
- iparilag előállított, élelmiszer minősítésű szén-dioxiddal dúsítva,
- levegőből kivont szén-dioxiddal dúsítva.

Természetes ásványvíz dúsítása szén-dioxiddal

Hogy miért is kell dúsítani a természetes ásványvizet szén-dioxiddal, arra nehéz mindenki által elfogadott választ adni. Az azonban ismert, hogy a savas ásványvizek hazájában - gondolunk itt Háromszékre - a szén-dioxid jelenlét talán magától érthetődő, hisz a borvizet, ami majdnem minden portán saját kútból meríthető (Kisgyörgy 2013), sok mindenre felhasználják, kezdve a fő, hidratáló szerepétől, a gyógykezelésen át, egészen a palacsinta sütésig. De mégis mi lehet a szén-dioxid szerepe, hogy olyan sokan kedvelik a borvizet és a szénsavas üdítőket? A szén-dioxid adja a víz savas jellegét, de azon túlmenően a további jellemzők nem közismertek, erre főleg az ásványvíz-kóstolók (sommelier) és a táplálkozástannal foglalkozók adják a választ. Mascha osztrák természetesásványvíz-szakértő szerint az élelmiszerről alkotott benyomás a következőképpen írható le (Feru 2012):

$$Aroma = Íz + Illat + Állag$$

Az ásványvíz esetében az ízvilág egy kissé másképp alakul, hisz a víz csak a sós, édes, savanyú és keserű ízek receptorait ingerli, elmarad az umami. A természetes ásványvíznek nincs illata, de ha mégis azt érezzük, akkor bizony szennyeződésre kell gondolni (kénhidrogén, kőolaj, tisztítószer stb.). Míg az élelemre jellemző az íz, illat és állomány, az ásványvíz esetében az illat hiányzik és az állag elég komplex. Épp ezért az ásványvíz érzékszervi minősítése hosszú gyakorlást igényel, ami az ízlelésen túl megfelelő nyelvezet és kultúrtörténet elsajátítást is igényli. Azt azonban jó megjegyezni, hogy a sommelierek általában 12-17 °C hőmérsékletre hűtött vizet ajánlják (itt is eltérés van az összes oldott anyag függvényében), amikor a minősítésben a szén-dioxid tartalom 75%-ban, a pH 5%-ban és az ásványi anyag tartalom 20% számít be (Feru 2012). Ez az utóbbi akkor fontos, ha a víz minimum 30...50 mg/L ásványi anyagot tartalmaz, de ami nem haladja túl a 800 mg/L. Ajánlott koncentráció 200-400 mg/L (Platikanov et al. 2013).

Az ásványvízben és az üdítőitalokban lévő szén-dioxid hozzájárul „csípősség” érzet kialakuláshoz, mivel a CO₂ jelentős stimuláló hatással van az orr és a szájüreg szagló- és ízlelősejtjeire (Kaliyan et al. 2007). Étél bevitelkor tapasztalhatjuk, hogy egyes ásványvizek kiemelik, mások eltompítják az ételek ízét. Épp ezért tanácsos megfelelő vizet választani ételeinkhez és azt szén-dioxid tartalmuk függvényében párosítani és hűteni.

Ahol nem volt természetes ásványvíz, szükség volt „az ízletes szénsavas vízre”, amit először az oxigén felfedezője, Joseph Priestley állított elő 1767-ben Angliában,

amiért 1773-ban megkapta a Royal Society Copley-érmét is. Néhány évvel később, 1771-ben Torbern Olof Bergman svéd vegyész kereskedelmi szinten készített szénsavas vizet (vagyis szódavizet). Az 1783-ban Johann Jacob Schweppe kidolgozott egy hatékony módszert a szénsavas víz előállítására (mészke és sav reakcióból nyerte a szén-dioxidot) és Genfben megalapította a Schweppe Company-t, ahonnan világhódító útra indult (Abu-Reidah 2020). A szódaszifont Charles Plinth szabadalmaztatta 1813-ban.

E nemzetközi előzményekkel párhuzamosan Erdélyben is megindult az ásványvizek tudományos vizsgálata. Ennek egyik legjelentősebb alakja Nyulas Ferenc (1758–1808), Erdély főorvosa volt. 1800-ban saját költségén Kolozsváron jelentette meg „Az Erdély országi orvos vizeknek bontásáról közönségesen” című háromkötetes művét, amely az első magyar nyelvű analitikai kémiai könyv. Első kötetében az ásványvizek vizsgálati módszereit rendszerezte, a másodikban a Radna-vidéki vasas borvizek összetételét és gáztartalmát elemezte, a harmadikban pedig azok orvosi hatásait és alkalmazását tárgyalta. A dombháti borvízben mangán-karbonátot azonosított és hangsúlyozta a forrás helyszínén végzett elemzés fontosságát. A mangán jelenlétét összehasonlító kísérlettel is ellenőrizte: mesterségesen készített, mangánt tartalmazó szénsavas vízzel ugyanazt a zöld színreakciót idézte elő, amelyet a dombháti víz hevítésekor megfigyelt. Ez analitikai modellkísérlet volt, nem üzemszerű szikvíz-előállítás.

Nyulas a szén-dioxid tartósító hatását gyakorlati kísérletben is vizsgálta. Meleg nyári időben friss dombháti borvízben szombat déltől a következő csütörtök estig romlás nélkül tartott marhahúst, miközben a borvizet nyolcóránként cserélte. Megfigyelése szerint a hús nem romlott meg, hanem puhábbá és kellemesebb ízűvé vált; a konzerváló hatást a borvízben oldott szén-dioxidnak tulajdonította. Munkássága tehát a természetes erdélyi borvizek tudományos megismerését alapozta meg (Nyulas 1800; Paczolay 2007).

Jedlik Ányos ettől eltérő, műszaki feladatot oldott meg: a természetes savanyúvizekhez hasonló szénsavas víz, vagyis a szikvíz folyamatos, üzemszerű előállítására dolgozott ki eljárást. Az 1829–1830-ban közölt berendezése a szén-dioxid fejlesztését, 3-4 atmoszféra nyomásra történő sűrítését és vízben való elnyelését kapcsolta össze; 1841-ben Pesten szikvízüzemet is létesített. Nyulas munkája így a természetes erdélyi borvizek tudományos megismerését, Jedliké pedig azok műszaki utánzását és gyakorlati hasznosítását képviseli (Jedlik 1829–1830; Mayer 2010).

Történelmi érdekességként – részben legendaként – Jedlik nevéhez kapcsolják a fröccs történetét is. A hagyomány szerint 1842. október 5-én Fóton, Fáy András társaságában mutatta be a szódavízzel hígított bort, amelyet eredetileg spriccernek neveztek, Vörösmarty Mihály azonban fröccsre magyarosította a nevét. A Fóti dalban az ital látványát is megörökítette: „fölfele megy a borban a gyöngy”.

Jelenleg is sok helyen népszerűek a szén-dioxiddal dúsított ásványvizek. A szén-dioxid adagolásának ugyanakkor műszaki jelentősége is van, különösen akkor,

ha a vizet pillepalackban hozzák forgalomba. A fajlagos polietilén-tereftalát (PET) palackok tömegének csökkentésével egyidőben, a palackon feltüntetett összetétel betartásának kötelezettsége és a biztonságos szállítás által megkövetelt gyűjtőcsomagolás és raklap alkalmazás, mind kapcsolatba hozható a szén-dioxid telítéssel. Ha a PET-palack fajlagos tömegcsökkentését vesszük alapul, ez úgy érhető el, hogy a palack falvastagságát is csökkentjük, ezzel pedig akarva-akaratlan megnő a szén-dioxid-veszteség. Ahhoz, hogy a szavatossági idő végén is a címkén megjelölt szabad szén-dioxid-tartalom (3500 mg/L) teljesüljön szükséges túltelíteni a palackban lévő vizet. Ez pedig magasabb nyomáson való telítést igényel, ami biztosítja a kezdeti 6900...7000 mg/L koncentrációt (Szép et al. 2023). Ennek hatására a gyűjtőcsomag teherbírása megnő, ami a raklap teherbírását is megemeli, így kevesebb raktár és szállító felületre van szükség. Ez a szén-dioxid koncentrációban fellépő különbséget sok esetben nem lehetséges megoldani a kitermelt víz kezdeti szén-dioxid-gazdálkodással. Épp ezért szükséges más megoldást keresni a szén-dioxid szükséglet biztosítására. Mint említettük, ezt lehet saját szén-dioxid generátorral biztosítani, vagy szén-dioxid beszállítókra hagyatkozunk. Ebben az esetben nem a szén-dioxid eredete, hanem annak igazolt élelmiszeripari minősége és tisztasága a meghatározó. A különböző forrásokból származó szén-dioxid megfelelő tisztítást és ellenőrzést követően széles körben alkalmazható az élelmiszeriparban, ami megbízhatóságát és sokoldalúságát is alátámasztja.

Élelmiszeripari minőségű szén-dioxid előállítási módszerek

A közvetlen környezetünkben a szén-dioxid úgy a levegőben (kb. 0,03%) mint megkötve karbonátok formájában (mész, dolomit, márvány, magnezit, kréta stb.) megtalálható. Míg a levegőből adszorpciós vagy abszorpciós módszerrel kinyerhető, a karbonátokból savval való kezeléssel, illetve hőbontással lehet előállítani. Szén-dioxid keletkezik a különböző halmazállapotú tüzelőanyag égetéséből (földgáz, kőolajtermékek, szén, növényi anyagok), illetve a fermentációs folyamatok melléktermékeként. Ugyancsak szén-dioxidot tudunk előállítani több ipari karbonátból savas (foszforsav, kénsav, sósav) kezeléssel, mint például a nátrium- vagy kálium-hidrogén- karbonátokból, valamint semleges karbonátokból. Nagy mennyiségű szén-dioxid szabadul fel az energia-, a vegy- és a környezetiparban és mivel ez üvegházhatással is bír, ezek felhasználása kettős haszonnal jár: egyfelől csökkentjük az alaptechnológia szén-dioxid lábnyomát, másfelől használható terméket nyerünk, mellyel megnöveljük a szén-dioxid tartózkodási idejét. A legnagyobb szén-dioxid kibocsátás az energetikában történik (Cebrecan et al. 2014). A leválasztás módszereit a betáplált gáz összetétele és a füstgázban mért szén-dioxid parciális nyomása határozzák meg (Hara et al. 2023), ami kb. 13–15% (Wang et al. 2017) koncentrációnak felel meg. Ami az élelmiszeriparban alkalmazott szén-dioxid előállítást illeti, itt is az energetikai füstgázok jönnek számításba, főleg a jó minőségű, kénmentes gáznemű és

cseppfolyós tüzelőanyagok által szolgáltatott véggázok. Ezekből hűtéssel leválasztják a vizet, majd főleg abszorpciós (mono-etanol-amin, kálium-karbonát vizes oldata) módszerrel leválasztják a szén-dioxidot. A keletkezett oldatból majd deszorpcióval kinyerik a nedves szén-dioxid gázt. Ezt zeolit és/vagy aktív szén alkalmazásával szárítják, végül sajtolják és cseppfolyósítják (Pragadeesh et al. 2025). Többlépcsős tisztítással, amely az utóbbi időben a membránszűrést is alkalmazza 99,1...99,95% tisztaságú cseppfolyós szén-dioxidot állítanak elő. Ez már minőségileg vetekedik a fermentációs módszerrel (az utóbbi időben a bioetanol gyártás melléktermékéből elállított) változattal.

Fermentációs eredetű szén-dioxid visszanyerése és felhasználása

Az alkoholos fermentáció során az élesztők a cukrokból etanolt és szén-dioxidot képeznek, ezért a bor-, sör- és bioetanol-gyártás gázárama visszanyerhető technológiai melléktermék. A nyers fermentációs gáz vízgőzt, alkoholokat, illó szerves vegyületeket és kisebb mennyiségű levegőkomponenst is tartalmazhat, ezért kondenzátumleválasztás, mosás, kompresszió, szárítás, szagtalanítás, majd szükség szerint cseppfolyósítás vagy kriogén tisztítás szükséges. A cukornád-etanol gyártását vizsgáló tanulmányban 1000 kg etanol előállításához megközelítőleg 950 kg szén-dioxid keletkezését becsülték és 99,90%-os tisztaságú terméket állítottak elő (de Assis Filho et al. 2013). A megtisztított gáz ugyanazon üzemben tartályok védőgázolására, áttöltési műveletekre, karbonizációra és csomagolásra is visszaforgatható. A bor- és sörgyártásban csökkentheti az oxigénfelvételt, valamint segítheti a kívánt szén-dioxid-tartalom beállítását. A hagyományos pezsgőben a másoderjedés során képződő oldott szén-dioxid a termék élvezeti értékének egyik meghatározó eleme: a buborékok, a csípős szájérzet, az aromafelszabadulás és a látvány együtt alakítják az érzékszervi élményt (Liger-Belair & Lecasse 2025).

A visszanyerés körforgásos előnye, hogy egy egyébként kibocsátott melléktermék külső forrásból származó szén-dioxidot helyettesíthet. Ez nem jelent végleges szénmegkötést, mivel a gáz a felhasználás után ismét felszabadulhat, de csökkentheti a frissen előállított vagy kitermelt szén-dioxid iránti igényt és javíthatja az anyaghatékonyságot.

A szén-dioxid élelmiszeripari alkalmazásai

A szénsavas üdítőkön és a dúsított természetes ásványvizeken túlmenően a szén-dioxid nagyon sok területen alkalmazza az élelmiszeripar, mint ahogy az 1. táblázat is tükrözi. Alkalmazhatósága a szén-dioxid jellegzetes tulajdonságainak és biokémiai folyamatok végtermék-jellegének tulajdonítható. A molekulaszervezete teszi lehetővé antimikrobiális hatását, részben bizonyos enzimek aktivitásának gátlásával (Kaaber et al. 2002). Főleg magas nyomáson és szuperkritikus állapotban visszaszorítja vagy megszünteti a mikrobák (baktériumok és gombák) fejlődését (Parton et al. 2007; András et al. 2010; Andriago et al. 2025), bizonyos körülmények között spórák inaktíválására is alkalmas (Hart et al. 2022). A szuperkritikus állapotú

CO₂ legfontosabb alkalmazása a bioaktív komponensek (aromaanyagok, színezékek, gyógyhatású összetevők) kíméletes kivonása növényi alapanyagokból, (fűszernövények, gyümölcs-feldolgozási maradék, gyógynövények) anélkül, hogy oldószer nyomok maradjanak a termékben. A szuperkritikus oldószerként alkalmazható CO₂-nak élelmiszeripari minőségűnek kell lennie, nagyon alacsony nedvességtartalommal (András et al. 2005).

1. táblázat. A szén-dioxid élelmiszeripari alkalmazásai
(Kaliyan et al. 2007 alapján)

Halmazállapot	Alkalmazási terület
Gáz	• a szénsavas italok gyártásában • módosított atmoszférájú csomagolásában • szabályozott atmoszférájú tárolásában
Magasnyomású gáz	• mikroorganizmusok és enzimek inaktiválására hőérzékeny élelmiszerekben
Cseppfolyós/szuperkritikus	• élelmiszerek hűtésében és fagyasztott tárolásában • „természetes” élelmiszer-összetevők és • funkcionális élelmiszerek kinyerése • speciális olajok és aromák kinyerése folyékony és a szuperkritikus állapotú szén-dioxiddal • mikroorganizmusok szuperkritikus inaktiválása • a kémiai és enzimes reakciók, • átkristályosítások, • szuperkritikus fluidkromatográfia • extrudálási technológia, • tejpor szárítás előtti kezelése
Szilárd (szárazjég)	• hűtés, • kriogén alkalmazások

Mivel a fiziológiai folyamatok metabolitja, a szén-dioxid gátló hatással lép fel a gabonák, zöldségek és általában a gyümölcsök betakarítás utáni életfolyamatában. Alkalmazzák gabonaraktározásnál, mint légzésgátló, kontrolált körülményű levegő (szén-dioxiddal dúsított) előállítására főleg a hosszú ideig tárolt gyümölcsök (alma, körte, szilva stb.) raktározásában. A szén-dioxidot húsiparban is használják nemcsak a gyorsítási műveletekben, hanem már a vágóhídi folyamatokban is. A levágásra szánt állatokat szén-dioxiddal dúsított levegőt tartalmazó alagútba vezetik, ahol elkábulva esnek a szállítószalagra, ami közvetlenül a vágóterületre szállítja. A magas szén-dioxid vérkoncentráció növeli az állat vérnyomását, ami segít a kivéreztetésben. A szén-dioxidos kábítás sertések esetében jobb húsmínőséget eredményezett a szokásos elektromos kábítási módszerhez képest (Channon 2002). A 20%-os CO₂-tartalmú gázatmoszféra hatékonynak bizonyult a

nyálkát termelő baktériumok növekedésének gátlásában a húsban, még magasabb tárolási hőmérséklet és magas relatív páratartalom mellett is (Huffman et al. 1975), több országban a kiskereskedelmi húst szén-dioxid atmoszférába csomagolják (Bhattacharyya 1993).

A címke-hitelesség bizonyítása

Mint ismert a palackozott természetes ásványvízcímkével szembeni uniós elvárás megköveteli a forrás és az összetétel megjelenítésén túlmenően a kezelésre vonatkozó információkat is. Ami a szén-dioxiddal kapcsolatos információkat illeti, ezek lehetnek:

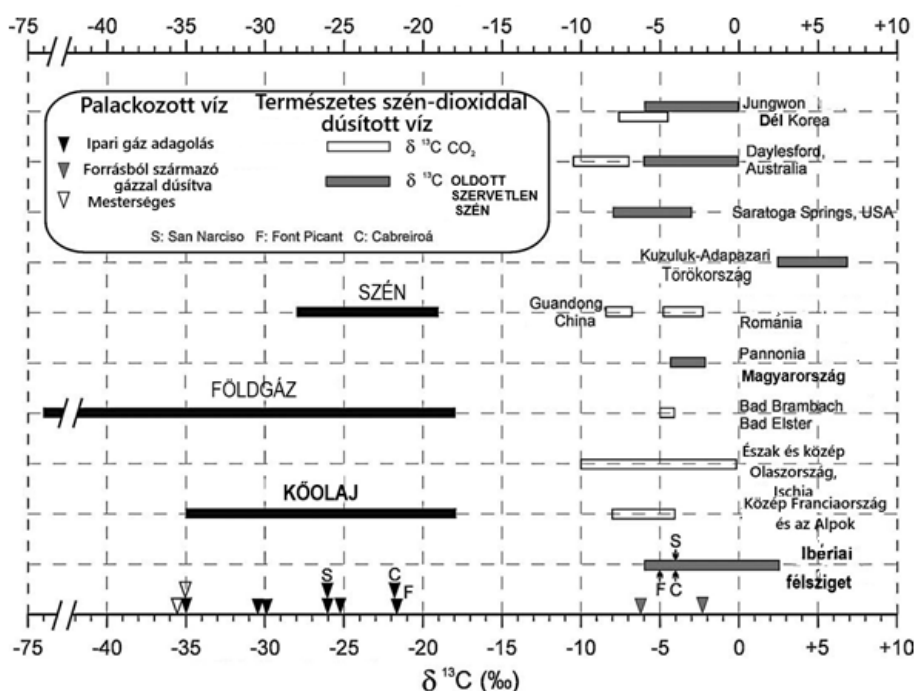
- szén-dioxiddal dúsított természetes ásványvíz,
- szén-dioxiddal enyhén dúsított természetes ásványvíz,
- szénsavmentes természetes ásványvíz.

Sokszor reklámcélból megjelentetik a szén-dioxid forrást is, ami lehet természetes és mesterséges. Épp ebből a marketing fogásból származtak néhány nézeteltérés a nemzetközi ásványvízpiacon. Ilyen esetről számol be Redondo és Yelamos, akik megemlítik, hogy „1990-ben az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) arra kényszerítette a Perriert, hogy távolítsa el a "Természetesen szénsavas" feliratot a címkéjéről, mivel a nyomozók felfedezték, hogy a Perrier mesterségesen szénsavasította a vizét, miután azt a víztartó rétegből kiemelte” (Redondo & Yelamos 2005). De hogyan is lehet ezt kimutatni egy olyan összetett esetben, mint a természetes ásványvíz? Itt főleg a geofizikusok által kifejlesztett izotóp vizsgálatok jöttek előtérbe. A 70-es évektől számos izotópos technikát találhatunk a szén-dioxid eredetének kimutatására. Ismert, hogy a természetes ásványvíz szén-dioxid tartalma több forrásból származhat. Lehet a levegőből a beszivárgás előtti csapadékba beoldott szén-dioxid, a talajból, az ún. organikus szén-dioxid (szerves vegyületek bomlásából keletkező), a magmatikus kőzetekből kigőzölt és a víztestbe oldódott és természetesen a savanyúvíz karbonátokkal való kölcsönhatásából keletkezett. A vízzel való kölcsönhatás következtében a következő ionok és molekulák jelennek meg:

$CO_{2aq}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, H_2CO_3$, amelyek közül a szénsav elhanyagolható. Tehát az oldott szén-dioxid egy része hidrogén karbonát és semleges karbonátként van jelen egy összetett, nyomástól, hőmérséklettől és mineralizációtól függő egyensúlyban. Ezekben a komponensekben található stabil szénizotópok arányából lehet következtetni a szén-dioxid eredetére. A szén két stabil izotópjának (^{13}C és ^{12}C) előfordulása körülbelül 98,9%, illetve 1,1%, a ^{14}C aránya pedig kevesebb, mint $10 \pm 12\%$ (Redondo & Yelamos 2005). Az arányt ($^{13}C/^{12}C$), általában δ vagy $\delta^{13}C_{PDB}$ (‰) jelölik és a következő összefüggéssel definiálják:

$$\delta^{13}C = 10^3 \cdot \left(\frac{R_{minta}}{R_{standard}} - 1 \right)$$

A fenti képletben az $R_{standard}$ a kalcium-karbonátnak megfelelő $R=0,0112372$, melyre $\delta=0$. A pozitív $\delta^{13}C$ az anyag nehéz izotópban való relatív dúsulását jelenti a standardhoz képest, a negatív $\delta^{13}C$ értékek pedig a standardnál könnyebb összetételt jelentenek. A $\delta^{13}C$ alapján lehetséges megállapítani a szén-dioxid eredetét. A különböző típusú természetes ásványvizekkel kapcsolatos izotópméréseket Redondo és Yelamos összegezte, ennek alapján készült az 1. ábra. Látható, hogy a természetes eredetű szén-dioxid esetében a $\delta^{13}C$ értékek $-8...+7\%$ között mozognak, míg az ipari különböző tüzelőanyagból származó szén-dioxid esetében -20% -nél kisebb értékeket mutatnak. Megállapítható, hogy minél kisebb a $\delta^{13}C$ érték, annál nagyobb a valószínűsége az ipari eredetű szén-dioxiddal való dúsításnak. Bár a mészkövek bomlásából származó szén-dioxiddal való dúsítást nem lehet igazolni ezzel a módszerrel, a többi ipari forrásból származó szén-dioxid esetében alkalmas a címkén levő állítás megerősítésére vagy megcáfolására.



1. ábra. Különböző természetes ásványvíz, dúsított ásványvíz és szénsavas víz szén-dioxid eredete (Redondo & Yelamos 2005 alapján)

Következtetés

A szén-dioxid nemcsak a borvíz vizsgálatban, a szikvíz mesterséges előállításában kerül előtérbe, hanem sok modern élelmiszeripari alkalmazásban is fontos szerepet tölt be. Napjaink biztonságos élelmiszeripari alkalmazása alapján egészségügyi szempontból nem indokolt különbséget tenni a természetes, a fermentációs vagy az ipari eredetű szén-dioxid között, amennyiben a felhasznált gáz megfelel az élelmiszeripari tisztasági követelményeknek. Bár a szén-dioxid-molekula két stabil szénizotópja különbséget mutat a természetes és ipari eredet függvényében, a telítésre használt gáz viselkedésében a nyers gázban jelen lévő kísérőkomponensek jelenthetik a problémát. Ezek korszerű, többlépcsős tisztítással eltávolíthatók, ezért a felhasználhatóságot nem önmagában a származási hely, hanem az igazolt tisztaság, a nyomon követhetőség és a megfelelő technológiai kezelés határozza meg. Ez teszi lehetővé azt is, hogy a fermentáció során keletkező szén-dioxid megfelelő tisztítás után visszanyerhető és ismét felhasználható legyen.

A palackozott természetes ásványvizek esetében ugyanakkor a forrás saját szén-dioxidjának visszanyerése és felhasználása szakmailag és gazdaságilag is kézenfekvő megoldás. A legtöbb kút és forrás vizének szén-dioxid-telítettségét figyelembe véve a termékalka összetétele határozza meg, hogy a vízből eltávolított gáz elegendő-e a szénsavas termékek dúsításához. Ha a szén-dioxid-mentesített termékek a termékpaletta legalább kétharmadát teszik ki, a leválasztott gáz a fennmaradó termékek dúsításához felhasználható; ellenkező esetben más eredetű, megfelelően tisztított, élelmiszeripari minőségű szén-dioxid bevonására lehet szükség. Mindez nem változtatja meg a termék biztonságosságát, az eredetet és az alkalmazott kezelést azonban a címkén egyértelműen fel kell tüntetni. Ez minden termelőtől elvárt annak érdekében, hogy a fogyasztó valós tájékoztatást kapjon és a „természetes” megjelölés ne váljon megtévesztővé.

Irodalomjegyzék

- Abu Reidah, I. 2020. Carbonated beverages In: Galanakis, C.M. (ed.) Trends in Non-alcoholic Beverages, Elsevier-Academic Press, Amsterdam, 1–37.
- András, C. D., Csajági, C., Orbán, C. K., Albert, C., Ábrahám, B., Miklóssy, I. 2010. A possible explanation of the germicide effect of carbon dioxide in supercritical state based on molecular-biological evidence. Medical Hypotheses, 74(2), 325–329.
- András, C. D., Simándi, B., Örsi, F., Lambrou, C., Missopolinou-Tatala, D., Panayiotou, C., Domokos, J., Doleschall, F. 2005. Supercritical carbon dioxide extraction of okra (*Hibiscus esculentus* L) seeds. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(8), 1415–1419.
- Andrigo, P., Spilimbergo, S., Zambon, A. 2025. Supercritical carbon dioxide inactivation technology for food product preservation. International Journal of Food Microbiology, 111573.

- Bhattacharyya, S.K. 1993. Modified atmosphere packaging of fish and fishery products, *In*: Gopakumar, K. (ed.) *Fish Packaging Technology: Materials and Methods*, Concept Publishing Company, New Delhi, 133–138.
- Bodor, K., Tokos, B., Bodor, Zs., Keresztesi, É., László, Sz., Garbacea, G., Szép, R. 2023. Hydro-geochemical characterization of the main European mineral water brands. *Journal of Food Composition and Analysis*, 122, 9, 105438.
- Cebrucean, D., Cebrucean, V., Ionel, I. 2014. CO₂ Capture and storage from fossil fuel power plants. *Energy Procedia* 63: 18–26.
- Channon, H.A., Payne, A.M., Warner, R.D. 2002. Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Science* 60(1): 63–68.
- Codex Standard 108/198 Codex Standard for Natural Mineral Water, Adopted 1981, Amendment 2001 and 2011.
- de Assis Filho, R.B., Danielski, L., de Carvalho, F.R, Stragevitch, L. 2013. Recovery of carbon dioxide from sugarcane fermentation broth in the ethanol industry. *Food and Bioproducts Processing*, 91: 287–291.
- Feru, A. 2012. Ghidul Apelor Minerale, Patronatul APEMIN, Bucuresti.
- Hara, N., Taniguchi, S., Yamaki, T., Nguyen, T. T. H., Kataoka, S. 2023. Bi-objective optimization of post-combustion carbon dioxide capture using methyldiethanolamine. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 122: 103815.
- Hart, A., Anumudu, C., Onyeaka, H., Miri, T. 2022. Application of supercritical fluid carbon dioxide in improving food shelf-life and safety by inactivating spores: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 417–428.
- Huffman, D.L., Davis, K.A., Marple, D.B., McGuire, J.A. 1975. Effect of gas atmosphere on microbial growth, colour and pH of beef. *Journal of Food Science*, 40: 1229–1233.
- Janitsek, J., Farkas, A. 2008. Borszék története és névanyaga, Státus Kiadó, Csíkszereda.
- Jedlik, Á. 1829-1830. Bereitung künstlicher Säuerlinge. *Zeitschrift für Physik und Mathematik*, 7: 47–58.
- Kaaber, L., Martinsen, B.K., Brathen, E., Shomer, I. 2002. Browning inhibition and textural changes of pre-peeled potatoes caused by anaerobic conditions. *LWT - Food Science and Technology*. 35(6): 526–531.
- Kaliyan, N., Gayatri, P., Alagusundaram, K., Morey, R. V., Wilcke, F, W. 2007. Applications of carbon dioxide in food and processing industries: Current status and future thrusts, 2007 ASABE Annual International Meeting, Minneapolis Convention Center, Minneapolis, Minnesota 17–20 June.
- Kisgyörgy, Z. 2013. Háromszéki borvízkönyv, Háromszék Vármegye Kiadó, Sepsiszentgyörgy.

- Liger-Belair, G. 2019. Carbon dioxide in bottled carbonated waters and subsequent bubble nucleation under standard tasting condition *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 4560–4567.
- Liger-Belair, G., Lecasse, F. 2025. Decoding the visual aesthetics of bubble trains in sparkling drinks. *Current Opinion in Food Science*, 66: 101360.
- Mayer, F. 2010. Epizódok Jedlik Ányos életéből. Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest.
- Nyulas Ferentz 1800. Az Erdély országi orvos vizeknek bontásáról közönségesen. Hochmeister Márton, Kolozsvár.
- Paczolay, G. (szerk.) 2007. Az Erdély országi orvos vizeknek bontásáról közönségesen. Öt tanulmány az első magyar nyelvű analitikai kémiai munka szerzőjéről, Erdély főorvosáról, Nyulas Ferencről (1758–1808). Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest.
- Parton, T., Bertucco, A., Elvassore, N., Grimalizzi, L. 2007. A continuous plant for food preservation by high pressure CO₂. *Journal of Food Engineering*, 79(4): 1410–1417.
- Platikanov, S., Garcia, V., Fonseca, I., Rullán, E., Devesa, R., Tauler, R. 2013. Influence of minerals on the taste of bottled and tap water: A chemometric approach, *Water Research*, 47(2), 693–704.
- Pragadeesh, P., Madane-Prerana, C., Mahendran, R. 2025. Carbon dioxide Capture, purification, and utilizing for food processing applications, *Journal of Food Process Engineering*, 48: e70134.
- Redondo, R., Zelamos, J.G. 2005. Determination of CO₂ origin (natural or industrial) in sparkling bottled waters by ¹³C/¹²C isotope ratio analysis, *Food Chemistry*, 92, 507–514.
- Standen, A. 1967. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Szép, A., György, É., Szilágyi, J. 2023. A természetes ásványvíz-palackozás technológiája, Editura Cermi, Iași.
- Wang, Y., Zhao, L. Otto, A. Robinius, M., Stolten, D. 2017. A review of post-combustion CO₂ capture technologies from coal-fired power plants. *Energy Procedia* 114: 650–665.

A PALACKOZOTT TERMÉSZETES ÁSVÁNYVIZEK KÉMIAI ÉS ÉRZÉKSZERV JELLEMZŐI: FOGYASZTÓI SZEMPONTOK ÉS ELEKTRONIKUS VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEK

MIHOK EMŐKE

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar,
Élelmiszer tudományi Tanszék, 530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.
Kapcsolattartó szerző: mihokemoke@uni.sapientia.ro

Kivonat

A palackozott természetes ásványvizek kémiai összetétele az érzékszervi tulajdonságaik egyik meghatározó tényezője. A fogyasztói döntés azonban ennél összetettebb folyamat. A közlemény négy Romániában forgalmazott természetes ásványvíz – a Borsec, a Tuşnad, az Aqua Carpatica és a Perla Harghitei – címkén feltüntetett kémiai jellemzőit hasonlítja össze és szakirodalmi, valamint nyilvánosan elérhető piaci adatok alapján tárgyalja azok várható érzékszervi jelentőségét. A termékek kalcium-, magnézium-, nátrium- és hidrogén-karbonát-tartalmukban, mineralizációjukban és szén-dioxid-tartalmukban is különböznek. Ezek az eltérések befolyásolják az ízt és a szájérzetet, miközben a vásárlói döntést az ár, a márkaismertség és a korábbi tapasztalat is alakítja. Az „elektronikus nyelv” a hagyományos érzékszervi (szakértői, illetve fogyasztói) bírálatot kiegészítve alkalmas lehet a kisebb összetételbeli különbségek és a termékazonosság objektív követésére. Az „elektronikus orr” és az „elektronikus szem” elsősorban az idegen szagok, valamint a megjelenési hibák felismerésében nyújthat további információt.

Kulcsszavak: természetes ásványvíz, kémiai összetétel, érzékszervi vizsgálat, fogyasztói döntés, elektronikus nyelv.

Abstract

CHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BOTTLED NATURAL MINERAL WATERS: CONSUMER PERSPECTIVES AND OPPORTUNITIES FOR ELECTRONIC SENSING

The chemical composition of bottled natural mineral water is an important determinant of its sensory properties, although consumer choice is influenced by a broader set of factors. This paper compares the label-declared chemical characteristics of four natural mineral waters marketed in Romania (Borsec, Tuşnad, Aqua Carpatica and Perla Harghitei) and discusses their expected sensory relevance using scientific literature and publicly available market data. The products differ in calcium, magnesium, sodium and bicarbonate concentrations, total mineralization and carbon dioxide content. These differences may affect taste and mouthfeel, while price, brand recognition and previous experience also influence purchasing decisions. Used alongside conventional sensory evaluation, an electronic tongue may support the objective detection of subtle compositional differences and product identity. Electronic nose and eye systems may provide additional information primarily by detecting off-odours and visual defects.

Keywords: natural mineral water, chemical composition, sensory evaluation, consumer choice, electronic tongue

Bevezetés

A természetes ásványvizek összetételét a vízáadó réteg földtani felépítése, a víz–kőzet kölcsönhatások és a felszín alatti tartózkodási idő határozza meg. Ezért az egyes forrásokból származó vizek fő ionjainak mennyisége és teljes mineralizációja jelentősen eltérhet. A romániai palackozott természetes ásványvizek összetétel szerinti csoportosíthatóságát korábbi tanulmány is igazolta (Bodor et al. 2021).

A mészkő és a dolomit oldódása elsősorban kalciummal, magnéziummal és hidrogén-karbonáttal gazdagíthatja a vizet, míg a vulkanikus kőzetek mállása és az ioncsere-folyamatok a nátrium-, kálium- és egyéb komponensek arányát is módosíthatják. A Keleti-Kárpátok vulkáni utóműködéséhez kapcsolódó szén-dioxid növeli a víz oldóképességét és elősegíti az ásványi anyagok kioldódását. Ennek mértéke azonban vízenként eltérhet, mivel a teljes mineralizációt a szén-dioxid mellett a kőzettani háttér, a felszín alatti áramlási útvonal és a tartózkodási idő is befolyásolja. A földtani háttér ezért már a felszín alatt megalapozza a víz ásványos, testes, sósabb vagy természetesen szénsavas érzékszervi karakterét (Szép et al. 2023).

Mind a négy vizsgált termék forrásvidéke a Keleti-Kárpátok térségéhez kapcsolódik, ahol a vulkáni és utóvulkáni folyamatok, a víz–kőzet kölcsönhatások és a mélyből származó szén-dioxid jelentős szerepet játszanak az ásványvizek kialakulásában (Feru 2012; Szép et al. 2023). A négy víz nem ugyanabból a vízádóból származik, ezért a kőzettani háttér és a felszín alatti áramlási útvonal különbségei eltérő kémiai összetételt és érzékszervi karaktert eredményezhetnek.

A természetes ásványvizek sajátos összetételének megőrzését jogszabályok biztosítják. Az Európai Unió 2009/54/EK irányelve csak korlátozott kezeléseket engedélyez: eltávolíthatók bizonyos instabil összetevők, szabályozható a szén-dioxid-tartalom, a fertőtlenítés azonban tilos és a víz jellegét meghatározó lényeges összetevők nem változtathatók meg. Emiatt a palackozott termék érzékszervi sajátosságai nagyrészt a forrás, valamint kút természetes adottságait tükrözik. A „természetes ásványvíz” megnevezés nem a szén-dioxid jelenlétére, hanem a víz eredetére és jogszabályban meghatározott tulajdonságaira utal. A termék szénsavmentes, természetesen szénsavas, szén-dioxiddal dúsított, valamint részben vagy teljesen szén-dioxid-mentesített változatban is forgalomba kerülhet. A címkén a forrás nevét és helyét, a víz analitikai összetételét, valamint a megengedett kezelésre való utalást fel kell tüntetni (European Parliament and Council 2009).

Az ásványi anyagok a vízben oldott ionok, például Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- és HCO_3^- formájában vannak jelen, a szervezet ezekből is képes hasznosítani őket. Kontrollált humán vizsgálatokban az ásványvízből származó kalcium biológiai hozzáférhetősége nem különbözött a tejből és az étrend-kiegészítőből származó kalciumétól. A magnézium esetében sem találtak különbséget az ásványvizek, a kenyér és a magnézium-kiegészítő között (Greupner et al. 2017; Schneider et al. 2017). A kalciumban és magnéziumban gazdag ásványvíz tehát hozzájárulhat e két

ásványi anyag beviteléhez. Ennek mértéke azonban a víz összetételétől és az elfogyasztott mennyiségtől függ és nem helyettesíti a változatos étrendet.

Az összetétel az ízt és a szájérzetet is alakíthatja, de a fogyasztó az észlelt eltérést nem feltétlenül kapcsolja egy meghatározott ionhoz. A fogyasztói kiválasztást az érzékszervi élmény mellett az ár, a szénsavasság, a márkaismertség, az elérhetőség és a korábbi tapasztalat is befolyásolja.

A közlemény célja négy Romániában forgalmazott ásványvíz címkeadatainak összehasonlítása, valamint annak bemutatása, hogy a kémiai összetétel, az érzékszervi bírálat és az elektronikus érzékelők együttes alkalmazása hogyan támogatja a termékek pontosabb jellemzését.

Anyag és módszer

Az összehasonlítás a Borsec, a Tuşnad és az Aqua Carpatica szénsavas, valamint a Perla Harghitei csökkentett szén-dioxid-tartalmú („ușor carbo”, a gyártó megnevezése szerint részben szénsavmentesített) változatára terjedt ki. A címkeadatokat 2026 júliusában, kereskedelmi forgalomban elérhető termékekről rögzítettem; a címkén nem szereplő paraméterek esetében a gyártók hivatalos termékoldalait is ellenőriztem. A kalcium-, magnézium-, nátrium-, kálium- és hidrogén-karbonát-tartalmat, a száraz maradékot, a pH-t és a szén-dioxid-tartalmat a termékek címkéjén, valamint szükség esetén a gyártók hivatalos termékoldalain feltüntetett adatok alapján vetettem össze. A hiányzó számszerű adatokat „n.a.” jelölés mutatja.

Az összetétel várható érzékszervi szerepét és az elektronikus érzékelés lehetőségeit szakirodalmi közlemények alapján mutatom be. A fogyasztói szempontok ismertetéséhez nyilvánosan elérhető romániai piaci és fogyasztói adatokat használtam. Ezekből az adatokból nem állapítható meg közvetlen ok-okozati kapcsolat a kémiai összetétel és a piaci részesedés között.

Eredmények és tárgyalás

Az összehasonlításba bevont ásványvizek kémiai jellemzői

A négy termék mindegyike hidrogén-karbonátban gazdag, de a fő ionok koncentrációja, a mineralizáció és a szén-dioxid-tartalom eltérő (1. táblázat). A 180 °C-on meghatározott száraz maradék a mineralizáció egyik összegző jellemzője, önmagában azonban nem jelent minőségi rangsort. A táblázatban erre csak a Borsec és a Perla Harghitei esetében áll rendelkezésre számszerű adat, ezért ez a paraméter a négy termék teljes körű összehasonlítására nem használható. Érzékszervi jelentősége az egyes ionok és a szén-dioxid mennyiségével együtt értelmezhető (Feru 2012; Platikanov et al. 2013). A Borsec, a Tuşnad és az Aqua Carpatica kalcium-, magnézium- és hidrogén-karbonát-tartalma a Perla Harghitei megfelelő értékeinél nagyobb, ezért ezeknél erőteljesebb ásványos jelleg várható. A négy termék közül a Tuşnad nátriumtartalma a legnagyobb, ami a sós érzethez is hozzájárulhat. A Perla Harghitei esetében a hidrogén-karbonát- és a szén-dioxid-

tartalom egyaránt kisebb, ezért ez a változat várhatóan kevésbé pezsgő és lágyabb érzetű. Az ízt nem egyetlen összetevő határozza meg, hanem az ionok aránya, a teljes mineralizáció, a pH és a szén-dioxid együttes hatása. A szén-dioxid adja a pezsgő, csípős érzet jelentős részét, míg a hidrogén-karbonát a víz sav-bázis egyensúlyában és ezáltal az összhatás alakításában vesz részt (Chandrashekar et al. 2009). Ezért a szén-dioxid-tartalmat nem célszerű a víz többi összetevőjétől elkülönítve értékelni.

1. táblázat. Az összehasonlításba bevont romániai palackozott természetes ásványvizek címkén feltüntetett kémiai összetétele

Termék	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Száraz maradék	pH	CO ₂
Borsec, természetes szénsavas	308	101	69,2	n.a.	1588	1024	5,6	≥2500
Tuşnad, természetes szénsavas	217	70,8	137	13,0	1160	n.a.	n.a.	≥2500
Aqua Carpatica, természetes szénsavas	261	82,5	7,05	n.a.	1290	n.a.	n.a.	>2500
Perla Harghitei, csökkentett CO ₂ -tartalmú („uşor carbo”)	97	39,8	60,3	9,32	682	625	6,1	≤1700

Megjegyzés: Az értékek – a pH kivételével – mg/L-ben értendők. Az „n.a.” jelölés azt mutatja, hogy az adott paraméter számszerű értéke a termék címkéjén vagy a gyártó hivatalos termékoldalán nem szerepelt.

Képzett bírálókkal végzett vizsgálatban a mérsékelt összesoldottanyag-tartalmú, valamint nagyobb hidrogén-karbonát-, kalcium- és magnéziumtartalmú vizeket több esetben kedvezőbben ítélték meg. A nagyobb nátrium-, kálium- és kloridtartalom ezzel szemben több mintánál alacsonyabb kedveltséggel járt együtt (Platikanov et al. 2013). Ebből azonban nem következik, hogy a nagyobb hidrogén-karbonát-tartalom minden víznél csökkenti a szén-dioxid csípős érzetét vagy növeli a fogyasztói kedveltséget; ennek igazolásához azonos körülmények között végzett érzékszervi és fogyasztói vizsgálatra lenne szükség.

Fogyasztói választás és piaci helyzet

Egy 2023-ban végzett, 1005 fős romániai online felmérésben – amely a 18 év feletti internetfelhasználókat reprezentálta – a válaszadók 33%-a leggyakrabban szénsavmentes, 12%-a pedig szénsavas palackozott vizet fogyasztott. A kedvező ár a szénsavmentes víz vásárlóinak 56%-ánál, a szénsavas víz vásárlóinak 50%-ánál volt meghatározó; a víz összetételét a szénsavmentes termékek vásárlóinak 31%-a említette fontos szempontként (Reveal Marketing Research 2023).

A választást nemcsak a víz összetétele és érzékszervi tulajdonságai, hanem a címke megjelenése és az információk elhelyezése is befolyásolhatja. Silva-Paz et al. (2024) vizsgálatában a címke egyes elemei hatással voltak a fogyasztói preferenciára, a vásárlási szándékra és a termék egészségesességének megítélésére.

A Ziarul Financiar által közölt Euromonitor-adatok szerint 2024-ben a teljes romániai palackozottvíz-értékesítésből a Borsec 24.4%-kal, az Aqua Carpatica pedig 10.4%-kal részesedett (Nițu 2024). Az adatok a két márka erős piaci helyzetét mutatják, de nem bizonyítják, hogy azt önmagában az ásványianyag-összetétel határozná meg. A hivatkozott forrás a Tușnad és a Perla Harghitei márkákra nem közöl külön piaci részesedési adatot, ezért piaci helyzetük e forrás alapján nem hasonlítható közvetlenül össze a Borsec-kel és az Aqua Carpaticával.

Az emberi és elektronikus érzékszervi vizsgálatok szerepe

Az emberi érzékszervi vizsgálat megmutatja, hogy a bírálók milyen különbségeket érzékelnek és melyik terméket kedvelik. Eredményét azonban az egyéni érzékenység, a képzettség, a minta hőmérséklete, a szén-dioxid-tartalom és a kóstolási sorrend is befolyásolhatja.

Az ásványvizek érzékszervi tulajdonságai étkezés közben különösen fontossá válhatnak. Feru (2012) Mascha (2006) nyomán a víz ételhez való társításában a szén-dioxid-tartalomnak és az általa kialakított textúrának 75%-os, a mineralizációnak 20%-os, a pH-nak pedig 5%-os jelentőséget tulajdonít. A pH szerepe főként a szénsavmentes vizeknél érvényesül. Ezek az arányok nem a víz általános minőségét vagy fogyasztói kedveltségét számszerűsítik, hanem az egyes tulajdonságok érzékszervi összhangban betöltött jelentőségét szemléltetik. A szén-dioxid által kialakított pezsgő, csípős szájérzet kiegészítheti az étel textúráját és egyes ízérzeteket is felerősíthet. Az érzékszervi benyomást a víz hőmérséklete is befolyásolja. Feru (2012) a fogyasztási hőmérsékletet a szén-dioxid-tartalomhoz igazítja: a szénsavmentes vizeknél 11–12 °C-ot, az enyhén szénsavas változatoknál 13–14 °C-ot, a klasszikusan szénsavas vizeknél 15–16 °C-ot, az erősen szénsavasoknál pedig 16–17 °C-ot javasol.

Az elektronikus nyelv szelektív szenzorok együttes válaszából hoz létre a mintára jellemző értékelést. A jeleket többváltozós statisztikai módszerekkel, például főkomponens-elemzéssel vagy osztályozási modellekkel értékelik. Sipos et al. (2012) vizsgálatában a különböző eredetű vizek elkülönítése kémiai elemzéssel

és elektronikus nyelvvel pontosabbnak bizonyult, mint az érzékszervi bírálat. Ez a minták azonosítására vonatkozott, nem a fogyasztói kedveltség meghatározására.

Az elektronikus orr és a képalapú elektronikus érzékelés az élelmiszerek vizsgálatában az illékony komponensek, valamint a vizuális tulajdonságok objektív követésére alkalmazható (Grassi et al. 2023). Ásványvizeknél ezek további vizsgálati lehetőséget jelenthetnek: az elektronikus orr az idegen szagok, az elektronikus szem pedig a szín, a zavarosság és az esetleges üledékképződés követését segítheti. Hasznosságukat azonban a vizsgált ásványvizeken külön is igazolni kell. A műszerek nem helyettesítik az emberi bírálatot: ismételterően különíthetnek el mintákat, de a kellemes íz és a vásárlási hajlandóság továbbra is csak emberek bevonásával állapítható meg.

Következtetések és jövőbeli lehetőségek

A címkeadatokból jól látszik, hogy a négy palackozott természetes ásványvíz összetétele nem egyforma, ezért az ízük és a szájérzetük is eltérhet. Ezek az adatok azonban önmagukban nem mutatják meg melyik vizet kedvelik jobban a fogyasztók és azt sem, hogy mitől erősebb valamelyik márka piaci helyzete. Az előbbi megállapításához azonos körülmények között végzett szakértői érzékszervi bírálatra és fogyasztói kedveltségi vizsgálatra, az utóbbi értékeléséhez pedig piaci elemzésre lenne szükség.

Az elektronikus nyelv jól használható az ásványvizek összehasonlítására és a termékazonosság ellenőrzésére, mivel ismételterően képes jelezni az összetételi mintázatok közötti kisebb különbségeket is. Az elektronikus orr az idegen szagok, az elektronikus szem pedig a megjelenési eltérések felismerésével egészítheti ki a vizsgálatot. Ha a műszeresen kimutatott különbségek a fogyasztói kedveltséggel is összefüggést mutatnak, meghatározhatók azok a kémiai és érzékszervi tulajdonságok, amelyek hozzájárulhatnak egy termék kedvezőbb megítéléséhez és piaci versenyképességéhez. Az elektronikus érzékelőrendszerek azonban nem helyettesítik, hanem kiegészítik a szakértői érzékszervi bírálatot. Annak megállapításához, hogy melyik vizet kedvelik jobban a fogyasztók, továbbra is fogyasztói kedveltségi vizsgálatra van szükség. A piaci helyzet értékeléséhez emellett az ár, a márkaismertség és a termék elérhetőségének vizsgálata sem hagyható figyelmen kívül.

Irodalomjegyzék

- Bodor, K., Bodor, Z., Szép, A., Szép, R. 2021. Classification and hierarchical cluster analysis of principal Romanian bottled mineral waters. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100: 103903.
- Chandrashekar, J., Yarmolinsky, D., von Buchholtz, L., Oka, Y., Sly, W., Ryba, N.J.P., Zuker, C.S. 2009. The taste of carbonation. *Science*, 326(5951): 443–445.

- European Parliament and Council 2009. Directive 2009/54/EC on the exploitation and marketing of natural mineral waters. Official Journal of the European Union, L 164: 45–58.
- Feru, A. 2012. Ghidul apelor minerale naturale. APEMIN, București.
- Grassi, S., Benedetti, S., Casiraghi, E., Buratti, S. 2023. E-sensing systems for shelf life evaluation: A review on applications to fresh food of animal origin. Food Packaging and Shelf Life, 40: 101221.
- Greupner, T., Schneider, I., Hahn, A. 2017. Calcium bioavailability from mineral waters with different mineralization in comparison to milk and a supplement. Journal of the American College of Nutrition, 36(5): 386–390.
- Mascha, M. 2006. Fine Waters: A Connoisseur's Guide to the World's Most Distinctive Bottled Waters. Quirk Books, Philadelphia.
- Nițu, F. 2024. Românii beau 2,4 miliarde de litri de apă îmbuteliată anual, iar apa plată reprezintă 70% din vânzări. Ziarul Financiar. <https://www.zf.ro/companii/romanii-beau-2-4-miliarde-de-litri-de-apa-imbuteliată-anual-iar-apa-22515039> (Hozzáférés: 2026. 07. 27.)
- Platikanov, S., Garcia, V., Fonseca, I., Rullán, E., Devesa, R., Tauler, R. 2013. Influence of minerals on the taste of bottled and tap water: A chemometric approach. Water Research, 47(2): 693–704.
- Reveal Marketing Research 2023. Bottled water consumption in our country is losing ground to tap water. <https://reveal.ro/en/retail-en/reveal-study-water-consumption/> (Hozzáférés: 2026. 07. 27.)
- Schneider, I., Greupner, T., Hahn, A. 2017. Magnesium bioavailability from mineral waters with different mineralization levels in comparison to bread and a supplement. Food & Nutrition Research, 61(1): 1384686.
- Silva-Paz, R.J., Prada-Linarez, T.A., Rivera-Ashqui, T.A., Apaza-Humerez, C.R., Eccoña-Sota, A., Verde-Luján, H.E. 2024. Effect of label elements in bottled water: Impact on consumer preferences, purchase intentions and health perception through affective sensory tests. Heliyon, 10(13): e35106.
- Sipos, L., Kovács, Z., Sági-Kiss, V., Csiki, T., Kókai, Z., Fekete, A., Héberger, K. 2012. Discrimination of mineral waters by electronic tongue, sensory evaluation and chemical analysis. Food Chemistry, 135(4): 2947–2953.
- Szép, S., György, É., Szilágyi, J. 2023. A természetes ásványvíz-palackozás technológiája. Cermi Kiadó, Iași. 215 p.

SZENDRŐ ÉS KÖRNYÉKE ÁSVÁNYVIZEINEK FIZIKO-KÉMIAI VIZSGÁLATA ÉS TÖRTÉNETE

KÁRPI MARCELL^{1*}, TÓTH MÁRTON²,
BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN¹, SZALAI SÁNDOR^{3,4}

¹Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

²Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, Miskolci Egyetem

³HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, Sopron

⁴Geofizikai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

*Kapcsolattartó szerző: marcell.karpi@uni-miskolc.hu

Kivonat

A Szendrő környéki ásványvizeket (Szendrő, Meszes és Szalonna forrásait) a 18. század óta már írásosan is jegyzik, Dombi Sámuel 1763-as leírásai elsősorban minőségi megfigyeléseken alapultak. Jelen összefoglaló ezeket az ismereteket terepi mérésekkel és képi dokumentációval egészíti ki. A vizsgálatok kiterjednek a pH-érték, a hőmérséklet, a hozam, az elektromos vezetőképesség és az ásványianyag-összetétel meghatározására a kijelölt forrásoknál. A tanulmány rövid vízföldtani kitekintés keretében foglalkozik a felszíni vízrendszerrel, különös tekintettel a Bódva folyóra és mellékpatakjaira, valamint a völgyben található történelmi malmok szerepére. Ezek az elemek szoros kapcsolatban állnak a helyi ásványvizekkel, befolyásolják azok keveredését, hígulását és hozzáférhetőségét. Az eredmények hozzájárulhatnak a Szendrő-vidék ásványvíz-készletének alaposabb megismeréséhez, állapotának dokumentálásához és a hasznosítás lehetőségeinek feltárásához.

Abstract

PHYSICO-CHEMICAL INVESTIGATION AND HISTORY OF THE MINERAL WATERS IN THE SZENDRŐ BASIN

The mineral waters in the vicinity of Szendrő (the springs of Szendrő, Meszes and Szalonna) have been recorded since the 18th century; Sámuel Dombi's descriptions from 1763 were based primarily on qualitative observations. The present summary supplements this knowledge with field measurements and photographic documentation. The investigations cover the determination of pH, temperature, discharge, electrical conductivity and mineral composition at the selected springs. Within a brief hydrogeological overview, the study examines the surface water system, with particular attention to the Bódva River and its tributaries, as well as the role of the historic mills in the valley. These elements are closely linked to the local mineral waters and influence their mixing, dilution and accessibility. The results may contribute to a more thorough understanding of the mineral-water resources of the Szendrő region, the documentation of their present condition, and the exploration of possibilities for their utilization.

Bevezetés

Magyarország ásvány- és gyógyvizei már évszázadok óta tudományos és gyakorlati érdeklődés tárgyát képezik. A 18. században Dombi Sámuel részletesen leírta Borsod vármegye gyógyvizeit (Dombi 1763), köztük a Szendrő környéki langyos és vastartalmú forrásokat is. Ezek a korabeli megfigyelések értékes történeti

alapot jelentenek, ugyanakkor elsősorban minőségi és érzékszervi jellegűek voltak. A Szendrő környéki ásványvizek – Szendrő, Meszes, Martonyi és Szalonna forrásai – ma is relevánsak lehetnek hidrogeológiai, potenciális gyógyászati és kulturális szempontból. Ugyanakkor a modern, kvantitatív adatok és a források jelenlegi állapotát dokumentáló felmérések hiánya indokolja az újabb vizsgálatokat. Jelen tanulmány ezt a hiányt kívánja pótolni: terepi mérésekkel egészíti ki a Szendrő környéki ásványforrásokról meglévő ismereteket. A mérések kiterjednek a pH-értékre, a hőmérsékletre, a hozamra, az elektromos vezetőképességre és az ásványianyag-összetételre. A felmérést képi dokumentáció is alátámasztja, amely bemutatja a források jelenlegi fizikai állapotát, környezetét és esetleges változásait a történelmi leírásokhoz képest.



1. ábra. A szendrői medence és főbb vízfolyásai, valamint a Rakaca-víztározó
(Forrás: Online vízföldrajzi atlasz)

A Bódva folyó és kisebb mellékpatakjai szoros kapcsolatban állnak a helyi ásványvizekkel: a keveredés, a hígulás és az áradások hatásai már a 18. században is megfigyeltek voltak. Ebben a kontextusban szó esik a Bódva-völgy történelmi malmairól is, amelyek a langyos vizek és a felszíni vízrendszer hasznosításában jelentős szerepet játszottak.

1. A Szendrői-medence

A Szendrői-medence az Alsó-Bódva-völgy északi szakaszán helyezkedik el, ahol a Bódva folyó széles völgye találkozik a Cserehát dombvidékével és az Aggteleki-karszt peremével. Ez a kisebb kiterjedésű medence a Szendrői-rögvidék és a környező alacsony hegységi keretek között fekszik, jellemzően 150–250 méteres tengerszint feletti magasságokkal, melyet a folyó és mellékvizei alakítottak ki évezredek során (1. ábra).

A vízrajzi rendszer központi eleme a Bódva, amely északról déli irányba haladva átszeli a medencét, kisebb patakokkal és időszakos vízfolyásokkal kiegészülve. A medence földrajzi elhelyezkedése miatt jelentős ökológiai folyosóként is funkcionál, összekötve az északi karsztvidékeket a déli tájakkal. A Szendrői-medence így egy átmeneti jellegű, a Bódva által erősen formált kis medence, ahol a felszíni vízrendszer és a domborzat szorosan összefonódik a helyi természeti és történelmi tájkép kialakításában.

Az első és második katonai felméréseken (Farkas 2013) megfigyelhető, hogy a régió vízrajzi képe rengeteget változott a folyószabályozások óta. Szendrő a régi térképek szerint számos szigetből állt, amelyeket ma is megfigyelhető száraz holtágak vesznek körül a római katolikus templom szigeténél, a Németvárosnál és az alsó vár dombjánál (2. ábra).



2. ábra. Az első katonai felmérés szendrői részlete (Forrás: maps.arcanum.com)

A városon keresztül utazva a malom holtág árka szintén a mai napig bejárható. A Várhegy mögött Galvács irányában a Verbéna-patak húzódott, amelyben már évtizedek óta nem folyik víz. Keleti irányban a vasútállomástól nem messze a Lipócz-patak medre figyelhető meg, amely szintén régóta ki van száradva. Északkeleten pedig az Urbán-patak határolja a várost, mely a főút mellett ömlik a Bódvába. Szendrő és Szalonna között az első katonai felmérés a Körmendi-patakot, a Kő-patakot és a Rakaca-patakot jelzi, amelyek a mai térképeken is szerepelnek. Megszűnt azonban a területen a Bódva-folyó számos holtága, illetve félúton a két település között működött a Csehi-malom, amelynek ma már csak duzzasztógátromjai láthatók. Az első katonai felmérés térképe Szalonna keleti határában is jelez egy malmot, Anya-malom néven.

Szendrőtől délre a Bódva jelentősen el lett terelve, egy nyugatra kanyarodó nagy ívet vágtak le és egyenesítették ki a Hajnácsó-pusztá és az Ivánka-tábla között. Hozzávetőleg itt ömlik bele a Bódvába a Csákány-patak, amelynek neve a régi vasbányászati tevékenységre is utal a hegyekben. A mai térképek ezt már Abod-patakként jegyzik. A legnagyobb felszíni víztest a régióban a Rakaca-víztározó. Helyét a Rakaca-patak Meszes és Szalonna közötti szakaszán jelölték ki, völgyzáró gátjának építését 1958-ban kezdték meg, amely 850 m hosszú és 8 méter magas méretekkkel bír.

Történeti háttér és hidrogeológiai összefüggések

A 18–19. században készült katonai felmérések térképei értékes információt szolgáltatnak a felszíni vízhálózat és a kutak, források elhelyezkedésének rekonstruálásához (Első Katonai Felmérés, 1782–1785; Második Katonai Felmérés, 1819–1869). Ezek a felmérések már rögzítették a Bódva folyó és mellékpatakjai akkori állapotát, valamint a források közelében található települési és mezőgazdasági területeket. A Bódva völgyének történelmi vízgazdálkodását és a források környezetét Dobány Zoltán részletesen feldolgozta a Sajó-Bódva köze történeti földrajzában (Dobány 2010). Munkája szerint a völgyben a 18–19. században több vízimalom működött, amelyek kis duzzasztógátakkal befolyásolták a helyi vízszintet és vízeloszlást. Ezek a létesítmények nemcsak gazdasági célt szolgáltak, hanem közvetve hatottak a felszín alatti vizek mozgására és a források hozamára is. A malmok jelenléte jól illusztrálja, hogyan integrálódott a helyi vízkészletek hasznosítása a mindennapi életbe.

A 19. és 20. században végrehajtott folyószabályozások és mederrendezések jelentősen átalakították a Bódva völgyének hidrológiai viszonyait. Ezek a beavatkozások – amelyek hatásait a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek is részletesen elemzik (ÉMVIZIG, 2015/2021) – megváltoztatták az árvízi lefolyást, a talajvízszintet és a mellékpatakok kapcsolatát a főággal. Farkas Péter árvízi vizsgálatai rámutatnak arra, hogy a Bódva vízjárása és a mellékvizek hozzájárulása hosszú távon is meghatározó maradt a vidék vízháztartásában (Farkas 2013). A 2010-es év rendkívüli csapadékmennyisége Magyarországon rekordárvizeket

okozott a Bódva folyón is (Holocén Természetvédelmi Egyesület 2013). Májusban és júniusban egymást követő árvízi hullámok vonultak le, amelyek több helyen is meghaladták a korábbi maximális vízállásokat. A Szendrőnél mért legmagasabb vízállás júniusban 325 cm volt, míg Hidvégardónál és Szalonnánál is új rekordok születtek. Az áradások jelentős károkat okoztak a völgy településein, köztük Szendrőben, Edelényben és Szendrőládon is. A hidrológiai elemzések szerint a júniusi árvízi hullám visszatérési ideje a magyarországi szakaszon több helyen a 100–200 éves események közé sorolható.

2. Dombi Sámuel 1763-as leírásai a Szendrő környéki vizekről

Dombi Sámuel Borsod vármegye gyógyvizei című munkájában (1763) nemcsak a vizek kornak megfelelő módon megvizsgált tulajdonságait, hanem azok környezeti kapcsolatait és használati módjait is megörökítette. Az alábbiakban ennek a történelmi munkának a jelen tanulmányban vizsgált vizekről szóló részei kerülnek bemutatásra.

2.1. A szendrői langyos víz

A szendrői langyos forrás Szendrő városánál, a Bódva folyó medrében fakad, ahol vize erősen keveredik a folyó vizével. A forrás kelet felől a Csáky-kastéllyal szemben helyezkedik el, a településsel együtt valamivel magasabb térszínen, míg nyugati oldalát közvetlenül a folyó határolja. Déli irányban sík terep terül el, amely kedvező lehetőséget kínálna egy alternatív meder kialakítására, észak felé pedig szántóföldek és a szomszédos Szalonna község látható. A víz hőmérsékletét a hideg folyóvízzel való intenzív keveredés miatt nehéz pontosan meghatározni. A korabeli megfigyelések szerint „a legmelegebb rész ott található, ahol a felszálló buborékok a folyó félhüvelyknyi vizében látszanak”. Tiszta, nem kevert langyos vizet nem sikerült kiemelni, ezért a vizsgálatokat a folyóvízzel keveredett forrásvízen végezték. A „folyékony kémlelőszertől” (sav-bázis indikátortól) nem keletkezett mozgás, a „viola sziruptól” (természetes pH-indikátortól) enyhén zöld lett, a „gubacsporról” (tannintartalmú anyaggal) elszíneződést nem tapasztaltak, a borkősav-oldattól (kálium-hidrogén-tartarát oldattól) pedig kevés fehér por ülepedett le. Teljes bepárlás után kénes elemek jelenlétét állapították meg, amit a kénes gőz szaga is igazolt a folyóparton sétálva. Ezt alátámasztotta egy egyszerű kísérlet: erős apadáskor meggyújtott szalmacsomót dobva a folyóba, a víz „tüzet fogott” és fényes láng terjedt a felszínén. A szendrői langyos forrás egy tipikus kevert jellegű, redukáló környezetű felszínközeli ásványvíz, amelynek tulajdonságait jelentősen befolyásolja a Bódva folyó dinamikája.

Dombi úgy vélte, hogy ha a folyót a legközelebbi síkság felé eltérítenék, a langyos víz önmagában maradna és rövid időn belül híressé válna ivóvízként és gyógytulajdonságai miatt. Az 1959-es kiadású Szendrő történeti összefoglaló (Horváth et al. 1959) említi, hogy pár évtizedig már a Csáky-család idejében is működött gyógyfürdő. Gróf Csáky István 1690-ben írt levelében molnárokat kért a

vármegyétől, hogy fürdőházat építhessen. Ennek a fürdőháznak a Dombi Sámuel felmérésekor már csak a romjai voltak meg. Dombi beszámolójának idején már csak kenderáztatásra és ruhamosásra használta a lakosság a forrást.

2.2. A szalonnai langyos víz

A szalonnai langyos víz a hegy keleti lábánál tör elő egy sziklás, rendkívül tágas nyíláson keresztül. Szántóföldek és rétek területnek el közte és Szalonna falu között. A víz télen erősen, tavasszal és ősszel kevésbé, nyáron csak kis mértékben meleg és elég nagy területet lát el vízzel a falu felé haladva, ádáz fagytól és téli hidegtől mentesen. A forrásnál végzett keverési kísérletek során Dombi nem talált különleges tulajdonságot, kivéve, hogy a borkósav-oldat kevésbé zavarja meg a vizet. Teljes bepárlással „hét orvosi font vízből 4 granum alkálisót és 18 granum hamuszerű, porított mészkövet” nyert. A vizet ivóvízként és gazdasági célokra használták. A Polgár-forrás nyáron, amikor kissé lehűl, „mindennapi italt nyújtott”, amit egészségesnek és ajánlhatónak tartottak. A környékbeli tó langyos vize különösen alkalmasnak bizonyult kender-áztatásra, amiből minden évben jelentős mennyiséget szállítottak ide.

2.3. A szendrői savas (vastartalmú) víz

A szendrői vastartalmú víz Szendrő város északi részén, a Bódva mellett ered. Íze és összetétele nagyjából megegyezett a tapolcsányi vastartalmú vízzel, de a polgárok nem becsülték és Dombi maga is véletlenül fedezte fel. A vízben illékony vastartalmú elem található, amit „gubacsporral, fekete-bíbor színnel lehetett kimutatni” – távolabbról szórva azonban nem jelentkezett a várt változás. „Eddig az ismeretlenség homályában rejtőzött, gyógyító tulajdonságairól nem tudtak”. Dombi azonban úgy vélte, hogy ha megvédik a folyó áradásától és megfelelően használják ivóvízként és gyógyításra, emésztést könnyítő és erősítő képessége nagy hasznára lehet a polgároknak és a betegeknek.

Dombi Sámuel leírásai jól mutatják, hogy a Szendrő környéki vizeket nem szabad figyelmen kívül hagyni, értékes tulajdonságaik és kiaknáztatlan lehetőségeik miatt. Ugyanakkor ezek a megfigyelések elsősorban érzékszervi és egyszerű kémiai próbákra alapultak és a Bódva-folyóval való keveredés miatt pontosabb méréseket nem tettek lehetővé. A következő fejezetekben a fenti források mai fiziko-kémiai jellemzőit modern módszerekkel végzett vizsgálati eredményei kerülnek prezentálásra, a történelmi ismereteket kiegészítőleg.

2.4. A Bódva-völgyi malmok

A Bódva völgyében a 18–19. században számos vízimalom működött, amelyek a folyó és mellékpatakjai (így például a Rakaca-patak) mentén helyezkedtek el (Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság 2014). Bár pontos, teljes névsoruk nem maradt fenn, a korabeli források és helytörténeti adatok szerint a magyarországi szakaszon körülbelül 15 db malom üzemelt, többségük kisebb, családi vagy helyi

közösségi tulajdonban lévő létesítmény volt, amelyből a szendrői volt az egyik legnagyobb (3. ábra).



3. ábra. A szendrői malom épületének mai állapota (Saját fotó)

Ezek a malmok jellemzően kis duzzasztógátakkal vagy bukógátakkal emelték meg a vízszintet a felső szakaszon, hogy biztosítsák a vízikerek meghajtásához szükséges esést. A mesterségesen megemelt vízszint nemcsak a malmok zavartalan működését szolgálták, hanem közvetett módon kedvezett a környező mezőgazdasági területeknek is: a magasabb talajvízszint és a szabályozottabb vízeloszlás jótékonyan hatott az ártéri rétek és szántóföldek nedvességviszonyaira, csökkentve az aszályos időszakok kockázatát. A 19. század végi és 20. századi folyószabályozások, valamint a villamosítás térhódítása azonban fokozatosan tették lehetetlenné a hagyományos vízimalmok üzemeltetését, így ezek kivétel nélkül megszűntek.

3. A mintavételezett források

3.1. Rakacai-víztározó északi partján lévő jelöletlen forrás

A Rakaca-tavi üdülőövezetet éppen elhagyva Meszes irányában az út bal oldalán egy lépcső vezet le a névtelen forráshoz (4. ábra). Vízének íze semleges, a tanulmányhoz kapcsolódó mérések idejében (2026. júliusában) hőmérséklete 12 °C és egyszerű köböléssel mért hozama 185 liter/óra, kifolyása a víztározóba csatlakozik annak északi partján.

3.2. Meszes Svarcz Mózes-forrás

A forrás Meszes falu északi táblájánál kialakított autós pihenőjénél található (5. ábra). Az öntött vas forrásfoglaláson a következő felirat áll: Svarcz Mózes 1875.

Szabadkifolyású, a Rakaca patakba van kivezetve. Saját mérés után meghatározott hozama 267 liter/óra, hőmérséklete 13 °C. A lakosság aktívan használja ivásra, valamint a felfrissülni vágyó kerékpárral túrázók kedvelt forrása. Enyhén vasas íze megosztó az élvezeti faktor terén, ám paraméterei bizonyítják jótékony hatású összetételét.



4. ábra. A Rakacai-víztározó melletti forrás.
Koordináták: 48°27'09.6"N, 20°47'49.3"E (Saját fotó)



5. ábra. Meszes Svarcz Mózes-forrás.
Koordináták: 48°26'41.8"N, 20°47'47.5"E (Saját fotó)

3.3. Meszes Templomhegy-forrás

A forrás a meszesi református templom hegyének déli lábánál ered (6. ábra). Kiépítettsége a másik két meszesi forráshoz képest jobb, lévén, hogy a központban található és ezt használja a lakosság ivásra legintenzívebben. Saját mérés után meghatározott hozama 487 liter/óra, hőmérséklete 15,5 °C.



6. ábra. Meszes Templomhegy-forrás.
Koordináták: 48°26'13.4"N, 20°47'48.8"E (Saját fotó)

3.4. Szendrői strandforrás

A 20. században igazolhatóan végig működött, mint fürdő, kavicsos ágyazattal, természetes vízcserélődéssel, a Bódvába kivezetve. A nagymedencében 24 °C-os langyos víz, a kismedencében hűvösebb, valószínűleg a folyóvízzel jobban kevert felszínre kilépő forrás volt (7. ábra).

Az első hiba, amit a városvezetés elkövetett a stranddal, az aljzat lebetonozása volt. Több, műszakilag tapasztalt és jó rálátással bíró képviselő tiltakozása ellenére a beruházás megtörtént és az egykori vízszintet többé soha nem tudták elérni, a betonozás miatt a feltörő víz egy része elvándorolt máshová. Nem sokkal a beruházás után egészségügyi szabályokra hivatkozva az akkori ÁNTSZ a 2000-es évek elején bezáratta gépi vízforgató rendszer hiánya miatt. Nagy tragédiája ez a városnak, a lakosság azóta is hiányolja a meleg nyári napokon az egykor szebb napokat is látott szendrői strandot (8. ábra).

3.5. Szalonna II/C víztermelő telep

Az Északmagyarországi Regionális Vízművek Zrt. által működtetett vízbázis négy település vezetékes víz igényét látja el. Helyileg Szalonna nyugati határában

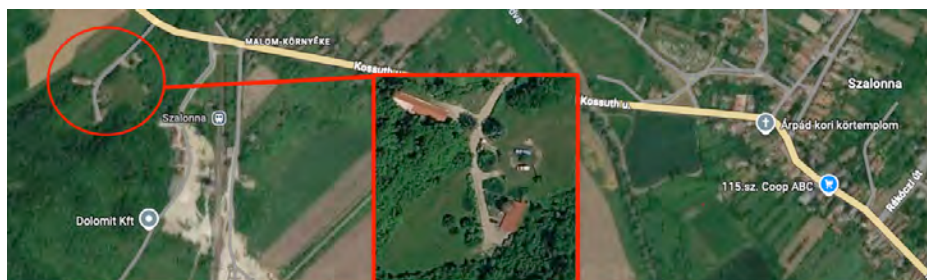


7. ábra. Szendrő strandforrás. A langyos víz a nagymedencében érkezik a felszínre. Koordináták: 48°24'25.6"N, 20°43'36.9"E (Saját fotó)



8. ábra. Régi képeslap Szendrőről. Megfigyelhető a strand parkosítottága és a fürdő végében magasló régi ugrótorony. (Forrás: dka.oszk.hu)

található (9. ábra), a vasúton áthaladva Perkupa irányában a mészkőbánya után 50 méterrel balra vezet hozzá egy út. Az ÉRV saját honlapján közölt hozamérték 3000 m³/nap, a hőmérséklet 24 °C, a helyszínen dolgozó szakemberek elmondása szerint vize sávos-pados barlangrendszerben szűrődik 13 éven keresztül, a Telekes-völgyben víznyelőkön keresztül beszivároghat, majd a szalonnai meddőhányó mellett érkezik felszínre.



9. ábra. A Szalonna II/C forrásra épült telep.

Koordináták: 48°26'58.0"N 20°43'08.9"E. (Forrás: Google műholdfelvétel)

4. A laborvizsgálat eredményei

Az 1. táblázat öt Szendrő környéki forrás (Rakacai, Meszes Schwarz Mózes-forrás, Meszes Templomhegy-forrás, Szendrő strandforrás és Szalonna II/C) laboratóriumi eredményeit mutatja be.

1. táblázat. Laborvizsgálati eredmények összefoglaló táblázata

Forrás neve	pH	EC [μS/cm]	T [°C]	Szulfát [mg/L]	Bikarbo- nát [mg/L]	Klorid [mg/L]
1. Rakacai üdülőövezet forrás	7,19	686	12	20	455	6
2. Meszes Svarcz Mózes forrás	7,19	662	13	15	473	9
3. Meszes Templomhegy forrás	7,21	638	15,5	15	403	7
4. Szendrő strandforrás	6,92	1353	24	280	525	53
5. Szalonna II/C	7,38	1124	24	130	630	29

A pH-értékek 6,92 és 7,38 közöttiek, ami enyhén savas-semleges tartományt jelent, jellemző a karsztos/karbonátos vizekre. Az elektromos vezetőképesség (EC) jelentős különbségeket mutat: a legmagasabb érték a Szendrő strandforrásnál (1353 $\mu\text{S}/\text{cm}$) látható, ami magasabb ásványianyag-tartalmat jelez, míg a meszesi források (638–686 $\mu\text{S}/\text{cm}$) és a Rakacai (686 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mérsékeltbb mineralizációt mutatnak. A hőmérséklet-adatok 12–24 °C közöttiek, amely alapján a szalonnai és a szendrői forrás langyosvízként kategorizálható.

4.1. Főbb ionok és ásványi anyagok

A vizsgálatok során a szendrői medence forrásainak vízminőségét széles körű kémiai elemzésnek vetettük alá. A laboratóriumi vizsgálatok kiterjedtek a fő anionokra (szulfát, bikarbonát, klorid), valamint a 2. táblázatban feltüntetett fémek és félfémek koncentrációjára. Csak az említésre méltó koncentrációkat emeljük ki, míg az összes mért értéket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A laborvizsgálat tárgyát képező összes elemre vonatkoztatott koncentráció

	1. Rakacai üdülőövezet forrás	2. Meszes Svarcz Mózes forrás	3. Meszes Templom- hegy forrás	4. Szendrő strandforrás	5. Szalonna II/C
Al [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
B [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	0,8	0,4
Ba [mg/L]	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Ca [mg/L]	220,8	154,7	137,7	286,5	181,5
Cd [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Co [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu [mg/L]	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
Fe [mg/L]	0,3	1,1	1,1	0,1	0,1
K [mg/L]	8,9	2	1,5	10,6	6,3

	1. Rakacai üdülőövezet forrás	2. Meszes Svarcz Mózes forrás	3. Meszes Templom- hegy forrás	4. Szendrő strandforrás	5. Szalonna II/C
Li [mg/L]	<0,01	1	<0,01	0,2	0,1
Mg [mg/L]	31	12,1	9,4	17	30,2
Mn [mg/L]	0,1	0,1	0,1	<0,01	0,1
Na [mg/L]	23,8	9,3	5,5	26,5	28,6
Ni [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Si [mg/L]	11,5	10,3	10,2	17,3	6,9
Sr [mg/L]	1,9	1,7	2,5	25,2	2,2
Ti [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
V [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zn [mg/L]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

A kalcium (Ca) szinte minden forrásban kiemelkedő értékeket mutat (137–286 mg/L), különösen magas a Szendrő strandforrásnál (286,5 mg/L), ami erős kalcium-karbonátos jelleget ad a víznek. A magnézium (Mg) mérsékelt (5,5–31 mg/L), a nátrium (Na) és kálium (K) alacsonyabb értékeket mutat. A szulfát (SO₄) és bikarbonát (HCO₃) tartalom változatos, a strandforrásnál magasabb szulfáttartalom (280 mg/L) figyelhető meg. A klorid (Cl) általában alacsony, kivéve a Szendrő strandforrást (53 mg/L). A nehézfémek (pl. Cd, Co, Cr, Pb, Hg) szinte minden esetben a kimutatási határ alatt vannak, ami a források jó minőségét támasztja alá.

A vizsgált források közül a Meszes Schwarz Mózes-forrás a legjellegzetesebb fém tartalommal rendelkezik: vas-tartalma 1,10 mg/L, ami jelentősen magasabb a többi forrásnál és egyértelműen magyarázza a jellegzetes „vasas” ízét. Emellett réz-tartalma (0,40 mg/L) is kiemelkedő a csoporton belül. A Szendrő strandforrás stroncium-tartalma (25,20 mg/L) emelkedik ki, ami a kalciumos jelleg mellett további ásványi sajátosságot ad. A többi forrás (Rakacai, Meszes Templomhegy és Szalonna) mérsékeltebb, kiegyensúlyozottabb elem tartalommal bír, így kevésbé jellegzetesek, de stabilabb ivóvíz-minőséget mutatnak.

A Szendrő környéki források paraméterei hazai viszonylatban átlagos–közepes mineralizációjú, jó minőségű vizeket mutatnak. A kalcium-tartalom és a mérsékelt magnézium-értékek tipikus karsztos jellegre utalnak, míg a Szendrő strandforrás magasabb szulfát- és stroncium-tartalma már inkább a gazdagabb ásványvizek felé közelít. A Meszes Schwarzs Mózses-forrás vas-tartalma és enyhe réz-dúsulása kiemelkedik, ugyanakkor a többi forrás kiegyensúlyozottabb összetételű. Összességében ezek a források nem tartoznak a legmagasabb mineralizációjú magyar gyógyvizek közé, de stabil minőségük, a helyi ivóvíz-ellátásban betöltött szerepük és turisztikai értékük miatt fontosak a Bódva-völgy hidrogeológiai örökségében.

5. Összefoglaló

A Szendrő környéki medence vízrajza az elmúlt évszázadokban jelentős átalakuláson ment keresztül. Az országos szárazodási tendencia itt is egyértelműen megfigyelhető: a hegyi patakok jelentős része időszakosan vagy tartósan kiszárad, ami a felszíni vízhálózat gyengülését jelzi. Ugyanakkor a 2010-es év emlékeztetett a völgy hidrológiai szélsőségeire is. Az akkor bekövetkezett nagy árvíz során a meglévő védművek nem voltak megfelelő állapotban ahhoz, hogy jelentősebb károk nélkül elvezethessék a rekordközeli vízhozamokat.

A vizsgált források közül a szendrői strand jelenti a legnagyobb elvesztegetett potenciált. A városnak érdemes lenne visszatérnie a történelmi fürdőkultúrájához, ahogyan azt minden olyan település teszi, ahol melegvíz vagy gyógyvíz áll rendelkezésre. A Meszes környéki források hozama nem elegendő gépesített közművesítésre, a jelen tanulmányban elvégzett minőségvizsgálatok azonban megerősítik, hogy ezek a kis források továbbra is figyelmet érdemelnek: kedvelt megállóhelyek a túrázók és utazók számára, valamint kiegészítő vízellátó forrásként szolgálnak a helyi lakosság mindennapjaiban. A Szalonnai nagy forrás, amely Szendrőt és további három települést is ellát, a Telekes-völgyből kapja vizét és hatalmas hozama napjainkban is stabilan biztosított. A szerzők javasolják a meszesi kis források attraktív műtárgyak építésével való korszerűsítését, a túrázók figyelmének tanösvényekkel való felkeltését. A szendrői strandforrás esetében javasolják geofizikai módszerek (mérések geoelektromos és szeizmikus eljárásokkal) alkalmazását a pontos szerkezetfeltáráshoz, amely támogatná a fürdő restaurálását. A szerzők remélik, hogy munkájukkal hozzájárultak a régió vízföldtanának szélesebb körű ismertetéséhez, valamint a helyi ásványforrások és a Bódva-völgyi vízrendszer történeti és jelenkori értékeinek megőrzéséhez.

Irodalomjegyzék

- Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság 2014. A Bódva-völgy és Sas-patak-völgye Natura 2000 fenntartási terve. Jósvafő.
- Dobány, Zoltán 2010. A Sajó-Bódva köze történeti földrajza (18–20. század). Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, Jósvafő (ANP Füzetek IX.).

- Dombi, Sámuel 1763. Borsod vármegye gyógyvizei. (Borsod vármegye tiszti főorvosának korabeli leírása a megye ásvány- és gyógyvizeiről).
- ÉMVIK: Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (2015/2021): Vízügyi-gazdálkodási Terv 2–6. Sajtó a Bódvával alegység. Miskolc.
- Farkas, Péter 2013. Bódva árvízi vízjárásának hidrológiai elemzése. Hadmérnök, 8. évfolyam, 3. szám.
- Holocén Természetvédelmi Egyesület 2013. A Nemzeti Vízstratégia – Bódva-völgyi esettanulmány.
- Első (1782–1785) és Második Katonai Felmérés (1819–1869). Arcanum Digitális Tudománytár / Országos Széchényi Könyvtár.
- Horváth Mihály, Koritsánszky Dezső, Lukács János, Rozsnyai Géza (1959): Szendrő - Képek a volt város és várának történetéből (1959) Borsod megyei Nyomdaipari V., Miskolc.

GYERGYÓREMETE BORVÍZKINCSEI

BALÁZS ENIKŐ¹, ZSIGMOND ANDREEA-REBEKA², MÁTHÉ ISTVÁN^{3*}

¹Csíkszereda

²Sapientia EMTE, Kolozsvári Kar

³Sapientia EMTE, Csíkszeredai Kar

*Kapcsolattartó szerző: matheistvan@uni.sapientia.ro

Kivonat

A Gyergyói-medence ásványvízforrásai jelentős hidrogeológiai és balneológiai értéket képviselnek, amelyek kialakulása a Keleti-Kárpátok utóvulkáni folyamataihoz, valamint a mélyből felszálló szén-dioxidban gazdag vizek és a kőzetek közötti hosszú távú kölcsönhatásokhoz kapcsolódik. Jelen vizsgálat célja két gyergyóremetei ásványvízforrás, a Központi borvízkút és a Túlamarosi borvíz higiéniai-bakteriológiai és fizikai-kémiai jellemzése volt.

A mikrobiológiai vizsgálatok során meghatároztuk az aerob heterotróf baktériumok összcsíraszámát 22 °C-on és 37 °C-on, valamint vizsgáltuk a közegészségügyi szempontból jelentős indikátormikroorganizmusok – coliform baktériumok, *Escherichia coli*, fekális enterococcusok, *Pseudomonas aeruginosa* és szulfitredukáló anaerob baktériumok (*Clostridium* spp.) spóráinak – jelenlétét. A fizikai-kémiai vizsgálatok során meghatároztuk a minták hőmérsékletét, pH-ját, elektromos vezetőképességét, redoxpotenciálját, fő ion- és nyomelem-összetételét.

Az eredmények alapján mindkét vízminta mikrobiológiai szempontból megfelelő minőségűnek bizonyult, az indikátorszervezetek jelenléte nem volt kimutatható. A fizikai-kémiai paraméterek alapján mindkét forrás nagy mineralizációjú, nátrium-kalcium-magnézium-hidrogén-karbonátos ásványvíznek tekinthető. A Központi borvízkút vize nagyobb elektromos vezetőképességet, valamint magasabb nátrium-, hidrogén-karbonát-, klorid-, bór- és lítiumtartalmat mutatott, míg a Túlamarosi borvízben a kalcium-, magnézium-, vas-, mangán-, bárium- és stronciumkoncentráció volt magasabb. A negatív redoxpotenciál, valamint az emelkedett vas-, mangán- és ammóniumtartalom mindkét forrás esetében redukzív hidrogeokémiai környezetre utal.

A vizsgálatok alapján a két forrás ugyanazon regionális hidrogeológiai rendszer részét képezi, azonban eltérő vízfejlődési folyamatokat és víz-kőzet kölcsönhatásokat tükröz. A vizsgált gyergyóremetei borvizek jelentős természeti értéket képviselnek, és megfelelő minőségük alapján fontos szerepet tölthetnek be a helyi ásványvíz-hasznosításban.

Abstract

MINERAL WATER RESOURCES OF REMETEA (HARGHITA COUNTY, ROMANIA)

The mineral water springs of the Gheorgheni Basin represent significant hydrogeological and balneological resources, their formation being associated with the post-volcanic processes of the Eastern Carpathians and with long-term interactions between carbon dioxide-rich deep waters and surrounding rocks. The aim of this study was to characterize two mineral water sources from Remetea (Romania), namely the Central Mineral Water Well and the Túlamaros Mineral Water Spring, from hygienic-bacteriological and physicochemical perspectives.

Microbiological investigations included the determination of aerobic heterotrophic bacterial counts at 22 °C and 37 °C, as well as the detection of hygienically relevant indicator microorganisms, including coliform bacteria, *Escherichia coli*, faecal enterococci, *Pseudomonas aeruginosa*, and spores of sulphite-reducing anaerobic bacteria (*Clostridium* spp.). Physicochemical analyses included measurements of temperature, pH, electrical conductivity, redox potential, major ions, and trace element composition.

The results showed that both water samples were microbiologically suitable, with no detectable presence of the investigated indicator microorganisms. Based on their physicochemical characteristics, both sources can be classified as highly mineralized sodium–calcium–magnesium bicarbonate mineral waters. The Central Mineral Water Well showed higher electrical conductivity and elevated concentrations of sodium, bicarbonate, chloride, boron, and lithium, whereas the Túlamaros mineral water contained higher levels of calcium, magnesium, iron, manganese, barium, and strontium. The negative redox potential and increased concentrations of iron, manganese, and ammonium indicate reducing hydrogeochemical conditions in both water sources.

The results suggest that the two springs belong to the same regional hydrogeological system but reflect different water evolution pathways and water–rock interaction processes. The studied mineral waters represent valuable natural resources of Remetea and may contribute to the sustainable utilization of local mineral water resources due to their favourable quality characteristics.

Bevezetés

Gyergyóremete Hargita megye egyik legnagyobb községe, a Gyergyói-medence északkeleti részén, a Görgényi-hegység vulkáni vonulatának előterében, átlagosan 750 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el (Laczkó & Szentmiklósi 2003). A település és környéke kiemelkedően gazdag ásványvíz-előfordulásokban, amelyek kialakulása a Keleti-Kárpátok utóvulkáni működéséhez kapcsolódik. A mélyből felszálló szén-dioxid-gázok a tektonikai törésvonalak mentén felszínre jutó felszín alatti vizekkel keveredve nagy ásványianyag-tartalmú, szénsavas borvizeket hoznak létre. A helyi borvizek kalcium-, magnézium-, vas- és hidrogén-karbonát-tartalmát, valamint gyógyhatását már a XX. század elején felismerték, és részletesen ismertették a korabeli kutatások (Szabó & Selényi 1974).

A Gyergyóremete környéki borvízforrások évszázadok óta fontos szerepet töltenek be a helyi lakosság életében. A Túlamarosi borvíz mellett a Réti borvíz, a Gődücnél fakadó borvíz, a Sorokalji (Veresmarti) borvíz, a Nyírszezi borvíz, valamint a borvízfürdő forrásai is a Gyergyói-medence jelentős ásványvíz-előfordulásai közé tartoznak (Balázs et al. 2006). Napjainkban a Központi borvízkút és a Túlamarosi borvíz tekinthető a legjelentősebb víznyerő helynek.

A település központjában található Központi borvízkút hosszú évtizedeken keresztül hagyományos kerek kútként szolgálta a lakosságot, és a község egyik meghatározó jelképévé vált. A régi kút 2019. július 14-én, a falunapok alkalmával egy új, modern kialakítású ivókúttal váltották fel (1. ábra), amelyet a csíkszeredai Dóczy András szobrászművész készített. A kút napjainkban is a település egyik

fontos közösségi találkozóhelye, ahol a lakosság és a látogatók egyaránt hozzáférhetnek a természetes ásványvízhez.



1. ábra. Központi borvízkút (Fotó: Máthé István)

Gyergyóremete ásványvízkultúrájának jelentős részét képezte az a gyógyfürdő, amely a település Túlamarosi részén működött. Az első fürdőt már az 1880-as években építette a Mélik család, amelyet az 1913. évi árvíz elpusztított. Másodjára Zakariás Antal 1924-ben hozott létre egy újabb fürdőt, amelyet az 1932. évi marosi árvíz ismét elpusztított (Nagy 2023). Újjáépítését 1953-ban kezdték meg a községi tanács és a gyergyói nyugdíjasok önszervező pénztárának támogatásával (Asztalos et al. 1974). Az új fürdőt 1968-ban nyitották meg.

A fürdő fénykorát az 1970-es években élte. Ekkoriban évente mintegy tízezer ember látogatott el Gyergyóremetere gyógyulni és üdülni, sőt külön autóbuszjárat is szállította ide a Gyergyói-medence lakóit. Ezt követően egészen 1990-ig, tizennégy káddal felszerelt borvízfürdőként működött, és a térség egyik jelentős balneoterápiás központjának számított. A fürdőkezeléseket elsősorban szív- és érrendszeri betegségek, magas vérnyomás, belső elválasztású mirigyek betegségei, nőgyógyászati és reumás, valamint anyagcsere-betegségek gyógyítására használták. Ivókúraként savhiányos gyomorhurut, epe- és vesekőbetegségek, cukorbetegség és másodlagos vérszegénység eseteiben használták Dr. Asztalos László fürdőorvos javallására. A gyógyfürdő működése jelentősen hozzájárult a helyi ásványvízforrások gyógyászati hasznosításához és a település egészségturisztikai jelentőségének növekedéséhez.

A rendszerváltást követően a fürdő megszűnt, majd a „Borvizek útja” program keretében 2011-ben rendezték a területet. A hajdani fürdő helyén ma egy fából épült pavilon található, amely a forrás elapadása miatt elsősorban pihenőhelyként szolgál.

A Túlamarosi borvíz (Nagyborvíz) Gyergyóremete külterületén, a Maros bal partján található, és napjainkban a település legjelentősebb fűrt ásványvízforrásának tekinthető (2. ábra). A kutat „Borvizek útja” regionális fejlesztési program keretében, 2009-ben mélyítették, mélyfúrásos technológiával, mintegy 70 m mélységig. A Maros hordalékos ártéri zónája alatt elhelyezkedő, mélyebb víztartó rétegeket csapolták meg, biztosítva a magas tisztaságú, stabil fizikai-kémiai paraméterekkel rendelkező ásványvizek felszínre hozatalát. A forrás a Gyergyói-medence Maros menti borvízövezetéhez tartozik, ahol az ásványvíz-előfordulások mintegy 2,5 km hosszú és 300–400 m széles sávban követik a folyó völgyét. A területen számos természetes borvízforrás, mofetta és szén-dioxid-feltörés ismert, amelyek egyértelműen a Keleti-Kárpátok utóvulkáni folyamataihoz kapcsolódnak. A mélyből származó ásványvizek kémiai összetétele általában állandó (Kis et al. 2020), és mikrobiológiai szempontból is kedvezőnek tekinthető, azonban a forrásfoglalás állapota, a felszíni szennyeződések, az állati vagy emberi eredetű terhelések, illetve a nem megfelelő higiéniai körülmények kedvezőtlenül befolyásolhatják mikrobiológiai minőségüket. Ennek következtében a mikrobiológiai vizsgálatok alapvető jelentőségűek a természetes ásványvizek higiéniai állapotának, biztonságosságának és minőségének értékelésében (Máthé et al. 2010, Marwene et al. 2023). Quattrini et al. (2016) kiemeli az ásványvizek összetevőinek szerepét az általános egészségi állapot fenntartásában. Például, ha

egy víz 600 mg/L-nél több hidrogén-karbonátot tartalmaz, kedvezően hathat az emésztési folyamatokra. A kalciummal (>150 mg/L) és magnéziummal (>50 mg/L) együtt a csontanyagcserében is jelentős hatása lehet. A nátriumion magasabb koncentrációban (>200 mg/L) fontos szerepet tölt be az elektrolit- és folyadékegyensúlyban, a magasabb kloridion mennyiség (>200 mg/L) pedig a gyomor-bélrendszer működését stimulálja. Exley et al. (2002) és Jones et al. (2017) munkássága alapján kiderült, hogy a magas oldott kavasvartartalmú (ill. szilíciumtartalmú) vizek csökkenthetik a szervezet alumíniumterhelését azáltal, hogy a kovasav és az alumínium között oldhatatlan vegyületek képződnek, amelyek aztán kiürülnek a szervezetből.



2. ábra. Túlamarosi borvíz (Fotó: Balázs Enikő)

A jelen kutatás előzményeként Balázs és munkatársai 2006-ban három gyergyóremetei ásványvízforrás mikrobiológiai és kémiai vizsgálatát végezték el. A kutatás célja a forrásvizek higiéniai megfelelőségének felmérése, valamint alapvető kémiai jellemzőik meghatározása volt. Az eredmények rámutattak arra, hogy a természetes ásványvizek minőségét nemcsak a hidrogeológiai adottságok, hanem a források műszaki kialakítása, állapota és a környező területek higiéniai viszonyai is jelentősen befolyásolják (Balázs et al. 2006).

Anyag és módszer

A vizsgálatok során 2026-ban két gyergyóremetei ásványvízforrás, a Központi borvízkút és a Túlamarosi borvíz higiéniai-bakteriológiai, valamint fizikai-kémiai jellemzőit vizsgáltuk. A vízmintákat steril üvegedényekbe gyűjtöttük, majd hűtve szállítottuk laboratóriumba, ahol a mikrobiológiai vizsgálatokat elvégeztük.

A mikrobiológiai vizsgálatok során meghatároztuk az aerob baktériumok összcsíraszámát 22 °C-on és 37 °C-on az ISO 6222:1999 szabvány szerint. Emellett vizsgáltuk a közegészségügyi szempontból jelentős indikátor mikroorganizmusok jelenlétét, így a coliform baktériumokat, az *Escherichia coli*-t, a fekális enterococcusokat, a *Pseudomonas aeruginosa*-t, valamint a szulfitredukáló anaerob baktériumok (*Clostridium* spp.) spóráit. A koliform baktériumok és az *Escherichia coli* kimutatását az ISO 9308-1:2014+A1:2017, a fekális enterococcusok meghatározását az ISO 7899-2:2000, a *Pseudomonas aeruginosa* kimutatását az ISO 16266:2006, míg a szulfitredukáló anaerob baktériumok spóráinak meghatározását az ISO 26461-2:1993 szabvány szerint végeztük.

A romániai jogszabályok szerint a természetes ásványvíz aerob heterotróf baktériumainak összcsírszáma 22 °C-on nem haladhatja meg a 100 telepkepző egységet (TKE)/ml, 37 °C-on pedig a 20 TKE/ml értéket. Coliform baktériumok, *Escherichia coli*, enterococcusok, szulfitredukáló anaerob baktériumok (*Clostridium* spp.) spórái és *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok 250 ml vízmintában nem lehetnek jelen.

A fizikai-kémiai vizsgálatok során a helyszínen WTW 3320 típusú multiparaméteres műszerrel meghatároztuk a víz hőmérsékletét (°C), pH-ját, elektromos vezetőképességét (mS/cm) és redoxpotenciálját (mV). A Központi borvízkút vízhozamát mérőhenger és stopperóra segítségével határoztuk meg (L/perc). Laboratóriumi körülmények között titrimetriás módszerrel meghatároztuk a hidrogén-karbonát- és kloridion-koncentrációt, spektrofotometriás módszerrel pedig a szulfát- és ammóniumion-tartalmat. A makroelemek (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), valamint a mikro- és nyomelemek (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Li^+ , Rb^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Si és B) koncentrációját mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometriával (MP-AES) határoztuk meg.

A kapott eredményeket a természetes ásványvizekre vonatkozó romániai előírásokkal (HG 1020/2005, módosítva és kiegészítve a HG 532/2010 határozattal) vetettük össze. A vizsgált komponensek közül a jogszabály báriumra 1 mg/L

maximális megengedett koncentrációt ír elő, míg a mélységi eredetű vizek esetében az ammóniumion megengedett legnagyobb koncentrációja 5 mg/L.

Eredmények és következtetések

Az elvégzett bakteriológiai vizsgálatok során – amelyek magukban foglalták az aerob mezofil baktériumok összcsíraszámának meghatározását 22 °C-on és 37 °C-on, valamint az egészségvédelmi és higiéniai szempontból kiemelten fontos indikátorszervezetek (koliformok, fekális koliformok, szulfít-redukáló anaerob spórás baktériumok, valamint a *Pseudomonas aeruginosa* és az *Enterococcus faecalis*) jelenlétének ellenőrzését – minden mért mutató maradéktalanul megfelelt a természetes ásványvizekre vonatkozó romániai előírásoknak (HG nr. 1020/2005 és módosításai), továbbá az ivóvíz minőségére vonatkozó OG nr. 7/2023 által előírt mikrobiológiai követelményeknek is. A vizsgált paraméterek alapján a víz biológiailag tiszta, így korlátozás nélkül, biztonságosan fogyasztható.

A fizikai-kémiai vizsgálatok alapján mindkét vízminta nagy mineralizációjú, nátrium–kalcium–magnézium–hidrogén-karbonátos ásványvíz. A magas hidrogén-karbonát-, nátrium-, kalcium- és magnézium-koncentráció a karbonátos kőzetekkel történő hosszan tartó víz–kőzet kölcsönhatásra utal. A negatív redoxpotenciál (ORP), valamint a magas vas-, mangán- és ammóniumtartalom reduktív hidrogeokémiai környezetet jelez, amely mélyebb eredetű rétegvizekre jellemző. A viszonylag magas bór- és lítiumkoncentráció a mély cirkulációjú vizek, illetve a térség utóvulkáni folyamataihoz kapcsolódó geokémiai hatások szerepét is valószínűsíti.

A két vízminta kémiai összetétele alapvetően hasonló, ugyanakkor néhány jellegzetes különbség is megfigyelhető. A Központi borvízkút nagyobb elektromos vezetőképességgel (EC) és magasabb hidrogén-karbonát-, nátrium-, klorid-, bór- és lítiumtartalommal rendelkezik, ami nagyobb mineralizációra, valamint hosszabb tartózkodási időre és mélyebb vízáramlási pályára utalhat. Ezzel szemben a Túlamarosi borvíz magasabb kalcium-, magnézium-, vas-, mangán-, bárium- és stroncium-koncentrációt mutat, ami a karbonátos kőzetek intenzívebb oldódására, illetve a vízáradó kőzetek eltérő ásványtani összetételére utalhat.

Az eredmények alapján a két forrás ugyanazon regionális hidrogeológiai rendszerhez tartozik, azonban eltérő áramlási útvonalon és eltérő mértékű víz–kőzet kölcsönhatás mellett fejlődött. Mindkét víz hidrogén-karbonátban gazdag, nagy mineralizációjú ásványvíznek tekinthető, amelyet reduktív hidrogeokémiai viszonyok, valamint jelentős oldott ásványianyag-tartalom jellemez. A Gyergyóremetén feltörő borvizek nátrium-magnézium-hidrogénkarbonát-klorid és kalcium-nátrium-hidrokarbonát-szulfát típusú vizek csoportjába tartoznak.

Egészségügyi szempontból elmondhatjuk, hogy ezek a vizek különösen jó hatással lehetnek az emésztőrendszerre, segítve az emésztést és a perisztaltikát, a csontrendszer egészségére nézve, a szervezet elektrolit-háztartására, valamint a magas szilíciumtartalom révén a szervezet alumíniumterhelésének csökkentésére.

1. táblázat. A két gyergyóremetei borvízforrás fizikai-kémiai elemzéseinek eredményei

Paraméter	Központi borvízkút (R1)	Túlamarosi borvíz (R2)
t (°C)	16,8	12,2
EC (mS/cm)	4,5	3,9
pH	6,02	6,01
ORP (mV)	-4,6	-5,6
HCO ₃ ⁻	2484	2406
Cl ⁻	389	274
SO ₄ ²⁻	3,1	3,3
Ca ²⁺	277	337
Mg ²⁺	181	196
Na ⁺	548	385
K ⁺	68,5	48,0
Fe ²⁺	6,76	7,23
Mn ²⁺	0,23	0,32
Al ³⁺	0,010	0,006
B	13,7	11,8
Rb ⁺	0,30	0,17
Ba ²⁺	0,343	0,474
Sr ²⁺	1,43	1,51
Li ⁺	1,70	0,89
Si	43,4	39,4
NH ₄ ⁺	2,29	1,45

Irodalomjegyzék

- Asztalos, L., Szabó-Selényi, Zs. 1974. Remete-fürdő – Hargita megye új fürdőhelye. In: Hargita megye természetes gyógytényezői, Csíkszereda.
- Balázs, E., Máthé, I., Cazacu, L. (2006): Gyergyóremete ásványvizeinek mikrobiológiai és kémiai vizsgálata. In: A Kárpát-medence ásványvizei III. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Sapientia EMTE, Csíkszereda, 2006. július 27-29., konferenciakötet, pp. 199–204.
- Exley, C., Schneider, C, Doucet, F.J. 2002. The reaction of aluminium with silicic acid in acidic solution: an important mechanism in controlling the biological availability of aluminium? *Coordination Chemistry Reviews* 228: 127–135.
- Jones, K., Linhart, C., Hawkins, C., Exley, C. 2017. Urinary excretion of aluminium and silicon in secondary progressive multiple sclerosis. *EBioMedicine* 26: 60–67.
- Kis, B.M., Baciú, C., Zsigmond, A.R., Kékedy-Nagy, L., Kármán, K., Palcsu, L., Máthé, I., Harangi, S. 2020. Constraints on the hydrogeochemistry and origin of the CO₂-rich mineral waters from the Eastern Carpathians–Transylvanian Basin boundary (Romania). *Journal of Hydrology* 591: 125311.
- Laczó-Szentmiklósi, E. 2003. Gyergyóremete – település ismertető. Mark House Kiadó, Gyergyószentmiklós.
- Máthé, I., Tancsics, A., György, É., Pohner, Z., Vladár, P., Székely, A.J., Márialigeti, K. 2010. Investigation of mineral water springs of Miercurea Ciuc (Csíkszereda) region (Romania) with cultivation-dependent microbiological methods. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 57: 109–122.
- Nagy, J., ed. (2023) "Szülőfalumat gyermekeim szeressék...": Gyergyóremete a források tükrében, Gyergyószentmiklós.
- Quattrini, S., Pampaloni, B., Brandi, M.L. 2016. Natural mineral waters: chemical characteristics and health effects. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism* 13: 173–180.
- Szabó-Selényi, Zs. 1974. A Gyergyói medence borvizeinek jellemzése. In: Hargita megye természetes gyógytényezői, Csíkszereda.
- Toumi M, Máthé I, Tóth Á, Sztráda N, Farkas R, Jurecska L, Tóth E. 2023. Microbial community associated with ground waters discharge in Transylvania (Romania) and Balaton Highland (Hungary), 4(3): 485–501.

IVÓVÍZBŐL ISOLÁLT BAKTÉRIUMOK ANTIBIOTIKUMOKKAL SZEMBENI REZISZTENCIÁJÁNAK VIZSGÁLATA

GYÖRGY ÉVA

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Élelmiszertudományi Tanszék, RO-
530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1. szám.

E-mail: gyorgyeva@uni.sapientia.ro

Kapcsolattartó szerző: gyorgyeva@uni.sapientia.ro

Kivonat

Az emberi fogyasztásra használt víz mikrobiológiai vizsgálata biztosítja, hogy az ivóvíz egészségügyi szempontból biztonságos legyen és ne jelentsen fertőzésveszélyt a fogyasztók számára. A vízi környezet fontos szerepet játszhat az antibiotikum rezisztens baktériumok és a rezisztenciagének terjedésében. A kutatás során 6 ivóvízként használt vízminta: két természetes ásványvíz, három kútvíz és egy hálózati víz mikrobiológiai minőségének vizsgálatára került sor tenyésztési mikrobiológiai vizsgálatokkal. A különféle szelektív táptalajokon magasabb csíraszámú kifejlődött baktériumokat izoláltuk és MALDI-TOF módszerrel azonosítottuk. A *Leclercia adecarboxylata*, a *Brevundimonas diminuta*, a *Hafnia alvei*, a *Pseudomonas brassicacearum*, a *Buttiauxella agrestis*, az *Aeromonas bestiarum* és az *Acinetobacter junii* izolált baktériumok rezisztenciájának vizsgálata 16 különféle antibiotikummal szemben történt. Az eredmények alapján a vizsgált vízmintákban opportunista kórokozó, többféle antibiotikummal szemben rezisztens baktériumok is előfordultak.

Abstract

STUDY OF THE ANTIBIOTIC RESISTANCE OF BACTERIA ISOLATED FROM DRINKING WATER

Microbiological study of water intended for human consumption is essential for ensuring the microbiological safety of drinking water and protecting consumers from waterborne infections. The aquatic environment can play an important role in the spread of antibiotic-resistant bacteria and resistance genes. During the research, we examined the microbiological quality of six water samples used for drinking: two natural mineral waters, three well waters and one tap water, using culture-based microbiological tests. We isolated the bacteria that had grown to higher colony-forming units on various selective media and identified them using the MALDI-TOF method. We investigated the resistance of the isolated bacteria *Leclercia adecarboxylata*, *Brevundimonas diminuta*, *Hafnia alvei*, *Pseudomonas brassicacearum*, *Buttiauxella agrestis*, *Aeromonas bestiarum* and *Acinetobacter junii* to 16 different antibiotics. The results revealed the presence of opportunistic multidrug-resistant bacteria in the analyzed water samples.

Bevezetés

A biztonságos ivóvízhez való hozzáférés alapvető feltétele az emberi méltóságnak és a fenntartható fejlődésnek. A vízminőség közvetlenül összefügg az emberi egészséggel és jóléttel. Globális szinten az Egészségügyi Világszervezet (WHO) olyan vízbiztonsági terveket javasol, amelyek a forrástól a fogyasztóig

terjedő összes szakaszt lefedik és amelyek célja a veszélyek azonosítása és a szennyeződés megelőzése. A WHO becslései szerint közel 2 milliárd ember fogyaszt még mindig fekáliával szennyezett vizet, ami hasmenéses betegségekhez, kolerához, vérhashoz, hepatitisz A-hoz és tífuszhoz vezet (Pereira et al. 2026). Világszerte mintegy 2,5 milliárd embernek nincs hozzáférése megfelelő szennyvízelvezetéshez és 663 millióan nem jutnak biztonságos ivóvízhez lakóhelyük közelében. Számos, egymással összefüggő biológiai, fizikai és kémiai tényező lehet felelős az ivóvíz minőségének romlásáért több országban (Tufail et al. 2025).

Az *Escherichia coli* az ivóvíz fekáliás szennyeződésének fő indikátora. Jelenléte bélrendszeri kórokozók, köztük vírusok, protozoonok és baktériumok lehetséges terjedésére utal és egészségügyi kockázatot jelez. Specifikussága, könnyű kimutathatósága és az egészségügyi következményekkel való szoros összefüggése miatt az *E. coli* továbbra is az ivóvíz-ellenőrzés elsődleges mikrobiológiai paramétere marad (Pereira et al. 2026).

Az antibiotikum-rezisztencia napjainkban az egyik jelentős veszélyt jelenti az egészségre és az élelmiszer biztonságra. Az antibiotikum-rezisztencia természetes úton is kialakul, de az antibiotikumok emberi és állati felhasználásának helytelen alkalmazása felgyorsítja ezt a folyamatot.

A környezeti tényezőket fontosnak tartják az antibiotikum-rezisztencia terjedése szempontjából, az ivóvíz szerepe azonban még nem került kellőképpen feltárássra. Csapvízben, a víztisztító telepeken kezelt és a vízszolgáltató hálózaton keresztül ivóvízként eljuttatott vízben vizsgálták az antibiotikum rezisztenciát a Nyugat-Csendes-óceáni régióban és Európában. Több antibiotikummal szembeni rezisztenciaprofílt azonosítottak heterotróf baktériumok, a nem tuberkulózisos mikobaktériumok különböző fajai, a *Pseudomonas* és az *Aeromonas* fajok esetében, amelyek különösen rezisztensek voltak a penicillinekre, a cefalosporinokra, valamint a makrolidokra (eritromicin) és a tetraciklinekre. Széleskörű antibiotikum-rezisztencia volt jellemző a fekáliás eredetű baktériumokra is, pl. az *Enterobacteriaceae* család képviselői, ahol gyakori volt a (fluor)kinolonok és a szulfonamidok csoportjaival szembeni rezisztencia. A leggyakrabban kimutatott antibiotikum rezisztencia gének a β -laktám-, szulfonamid- és tetraciklin-típusokhoz tartoztak. Ezen kívül mobilis genetikai elemeket is találtak (pl. *int1* és *tnpA*) (Federigi et al. 2024).

A kutatás célja néhány véletlenszerűen kiválasztott, emberi fogyasztásra használt vízminta mikrobiológiai minőségének vizsgálata. Az általánosan nem jellemző szennyező baktériumok azonosítása és antibiotikum rezisztenciájának vizsgálata.

Anyag és módszer

A baktériumok izolálása és azonosítása

A vizsgálatok során hat ivóvízként használt vízminta: két természetes ásványvíz, három kútvíz és egy hálózati víz mikrobiológiai minőségének vizsgálata történt tenyésztési mikrobiológiai módszerekkel. A mezofil aerob és a pszichrotrof baktériumok összcsíraszámának meghatározása Nutrient táptalajon lemezöntéssel valósult meg, az inkubálás 37 °C-on, illetve 22 °C-on történt 48 óráig. A fekális koliform baktériumok kimutatása céljából alkalmazott táptalaj a Chromogenic Coliform agar, az *Escherichia coli* esetében TBX szelektív táptalaj, a *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok kimutatására pedig a Pseudomonas Agar Base táptalaj. Az említett baktériumok sejtszámának meghatározása szélesztéssel történt, inkubálás 37 °C-on 48 óráig. Az anaerob spórás szulfit-redukáló baktériumok kimutatása Clostridial Differential Broth táplevesben történt, szükséges a vizsgált minták előzetes hőkezelése 80 °C-on 10 percre, az anaerob körülmények biztosítása céljából paraffint használunk, inkubálás 44 °C-on 48 óráig.

A különféle szelektív táptalajokon magasabb csíraszámban kifejlődött, jellegzetes telepmorfológiájú baktériumok izolálását követően tiszta tenyészeteket hoztunk létre. Az izolált baktériumok azonosítása MALDI-TOF módszer segítségével történt.

Az izolált baktériumok antibiotikum rezisztenciájának vizsgálata

Az azonosított baktériumok antibiotikumokkal szembeni érzékenységének vizsgálata 16 különféle antibiotikum esetében történt agardiffúziós módszerrel antibiotikum korongok segítségével. Az alkalmazott antibiotikumok a következők: amikacin (AK 30 µg), ampicillin (AMP 25 µg), azitromicin (AZM 15 µg), cefoperazon (CFP 75 µg), ceftazidim (CAZ 30 µg), cefotaxim (CTX 30 µg), ceftriaxon (CTR 30 µg), klóramfenikol (C 10 µg), klindamicin (CD 10 µg), eritromicin (E 15 µg), gentamicin (GEN 50 µg), kanamicin (K 5 µg), nalidixsav (NA 30 µg), ofloxacin (OFX 5 µg), sztreptomycin (S 10 µg), vankomicin (VA 30 µg).

Nutrient táptalajt tartalmazó Petri csészékbe felületi szélesztéssel leoltunk 0,1 ml-t a vizsgált baktériumok szuszpenziójából. Ezt követően a megfelelő antibiotikum korongokat a táptalaj felületére helyezük. Az inkubálás 37 °C-on történt 24 óráig.

A kialakult gátlási zónák mérete alapján az Antibiotikum-érzékenységi Vizsgálatok Európai Bizottsága ajánlásának megfelelően meghatározzuk a baktériumok érzékenységét vagy rezisztenciáját a vizsgált antibiotikumok esetében (EUCAST 2026). Mivel a vízmintákból izolált legtöbb baktériumtörzsre, illetve az alkalmazott korongok egy részére az EUCAST nem határoz meg referencia adatokat, az eredményeket elsősorban a gátlási zónák átmérőjének mértéke (mm) alapján értékeljük.

Eredmények

A vizsgált vízminták tenyésztéses mikrobiológiai vizsgálati eredményei alapján (1. táblázat) a minták mikrobiológiai szempontból nem alkalmasak emberi fogyasztásra, mivel meghaladták az összcsíraszámra vonatkozó megengedett határértékeket (20 TKE/ml 37 °C-on, 100 TKE/ml 22 °C-on), valamint a kútvíz 1 minta kivételével a többi esetében jelen voltak a fekális koliform baktériumok. A második természetes ásványvízben az *Escherichia coli* is kimutatható volt magas csíraszámmal.

1. táblázat. A tenyésztéses mikrobiológiai vizsgálatok eredményei

Vizsgált minta	Mezofil aerob baktériumok TKE/ml	Pszichrotróf baktériumok TKE/ml	Fekális koliformok TKE/ml	<i>Escherichia coli</i> TKE/ml
Ásványvíz 1	$1,24 \cdot 10^2$	$2,48 \cdot 10^2$	$1,83 \cdot 10^3$	0
Ásványvíz 2	$1,23 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^2$	$1,09 \cdot 10^3$
Kútvíz 1	$1,06 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10$	0	0
Kútvíz 2	$1,52 \cdot 10^2$	$1,63 \cdot 10^2$	$1,55 \cdot 10^3$	0
Kútvíz 3	$1,94 \cdot 10^2$	$1,37 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10$	0
Hálózati víz	$1,20 \cdot 10^2$	$8,2 \cdot 10$	$1,8 \cdot 10^2$	0

Pseudomonas aeruginosa és szulfitredukáló anaerob spórák baktériumok nem voltak jelen a vizsgált mintákban.

Az ásványvíz 1 minta esetében a koliform és a *Pseudomonas* szelektív táptalajokról izoláltunk baktériumokat, melyek nagyobb csíraszámban fejlődtek ki (2. táblázat).

A MALDI-TOF módszerrel történő azonosítás alapján a *Leclercia adedecarboxylata* és a *Brevundimonas diminuta* baktériumok voltak jelen ebben a mintában. Az ásványvíz 2, kútvíz 1, kútvíz 2 és a hálózati víz minták esetében a koliform táptalajról izolált baktériumok azonosítására került sor, ezek képviselői: a *Hafnia alvei*, a *Pseudomonas brassicacearum*, a *Buttiauxella agrestis* és az *Aeromonas bestiarum*. A kútvíz 3 minta esetében a *Pseudomonas* szelektív táptalajon fejlődött ki számos azonos morfológiájú telep ($1,61 \cdot 10^3$ TKE/ml), az azonosítás eredményeként ezek az izolátumok az *Acinetobacter junii* baktériumnak felelnek meg.

A vizsgált *Leclercia adedecarboxylata* izolátum esetében nagy gátlási zónák alakultak ki a harmadik generációs cefalosporinok (cefotaxim, ceftriaxon, ceftazidim, cefoperazon), valamint az aminoglikozidok (amikacin, gentamicin) és az ofloxacin hatására. Ezzel szemben az eritromicin, a klindamicin és a vankomicin

Ivóvízből izolált baktériumok rezisztenciájának vizsgálata

kisméretű gátlási zónát eredményezett, ami összhangban van a Gram-negatív baktériumok, illetve a *Leclercia adecarboxylata* ismert természetes rezisztenciájával. Hat antibiotikum esetében (ofloxacin, amikacin, cefotaxim, ceftazidim, ceftriaxon, azitromicin) lehetett alkalmazni összehasonlító jelleggel az EUCAST *Enterobacterales*-re vonatkozó adatait. Ezek alapján a vizsgált izolátum érzékeny ezekre az antibiotikumokra.

2. táblázat. MALDI-TOF módszerrel azonosított baktériumok

Vizsgált minta	Azonosított baktériumok	Szelektív táptalaj	TKE/ml
Ásványvíz 1	<i>Leclercia adecarboxylata</i>	Chromogenic Coliform Agar	$1,83 \cdot 10^3$
	<i>Brevundimonas diminuta</i>	Pseudomonas Agar Base	$1,3 \cdot 10^3$
Ásványvíz 2	<i>Hafnia alvei</i>	Chromogenic Coliform Agar	$9,1 \cdot 10^2$
Kútvíz 1	<i>Pseudomonas brassicacearum</i>	Chromogenic Coliform Agar	$4 \cdot 10$
Kútvíz 2	<i>Buttiauxella agrestis</i>	Chromogenic Coliform Agar	$1,55 \cdot 10^3$
Kútvíz 3	<i>Acinetobacter junii</i>	Pseudomonas Agar Base	$1,61 \cdot 10^3$
Hálózati víz	<i>Aeromonas bestiarum</i>	Chromogenic Coliform Agar	$1,8 \cdot 10^2$

A *Brevundimonas diminuta* izolátum teljes rezisztenciát mutatott ampicillinnel, ceftazidimmal és ceftriaxonnal szemben, míg a cefotaxim esetében csak minimális gátlási zóna volt megfigyelhető. Ezzel szemben az amikacin, gentamicin, azitromicin, eritromicin, klindamicin jelentős méretű gátlási zónákat eredményeztek.

A *Hafnia alvei* izolátum esetében nagyobb gátlási zónák a cefoperazon, az ofloxacin, a cefotaxim antibiotikumok hatására alakultak ki, a baktérium a legtöbb alkalmazott antibiotikummal szemben érzékeny.

A *Pseudomonas brassicacearum* négy antibiotikummal szemben rezisztenciát mutatott, ezek a következők: eritromicin, klindamicin, vankomicin és ampicillin. A többi vizsgált antibiotikum esetében (kivéve a nalidixsav és a klóramfenikol) fokozott érzékenység volt megfigyelhető.

A kútvíz 2 mintából izolált *Buttiauxella agrestis* a vizsgált 16 különféle antibiotikum közül 13 esetében érzékenységet mutatott a kialakult gátlási zónák mérete alapján (3. táblázat).

A hálózati vízből kimutatott *Aeromonas bestiarum* rezisztenciát mutatott a cefoperazon, az ampicillin és a vankomicin antibiotikumokkal szemben, fokozott

érzékenység volt megfigyelhető a cefotaxim, az ofloxacin, a ceftriaxon, a ceftazidim, a gentamicin és az amikacin antibiotikumok hatására.

3. táblázat. A vizsgált antibiotikumok hatására kialakult gátlási zónák (mm, n=10)

Vizsgált antibiotikum	<i>Leclercia ade-carboxylata</i>	<i>Brevundimonas diminuta</i>	<i>Pseudomonas brassicaearum</i>	<i>Buttiauxella agrestis</i>	<i>Hafnia alvei</i>	<i>Aeromonas bestiarum</i>	<i>Acinetobacter junii</i>
Cefoperazon (CFP 75 µg)	34,6	14,5	36,6	30,7	30,6	0	19,3
Sztreptomycin (S 10 µg)	20,2	24,6	38,7	17,9	19,7	26,4	10,2
Ofloxacin (OFX 5 µg)	34,3	20,1	45,7	31,8	32,5	30	30,2
Eritromicin (E 15 µg)	19,3	30,7	0	11,9	12	15,4	29,9
Nalidixsav (NA 30 µg)	27,9	25	20,9	27,2	26,9	24,7	22
Gentamicin (GEN 50 µg)	29	30,2	40	30,1	28,9	28,2	31
Amikacin (AK 30 µg)	24,9	30	41,4	26,6	23,5	25,1	29,6
Cefotaxim (CTX 30 µg)	34,2	7,5	33	30,5	30,5	40	10,2
Klóramfenikol (C 10 µg)	30	19,7	20,9	31,1	22,5	24,8	11,9
Ceftazidim (CAZ 30 µg)	28,6	0	37,5	30,4	22,4	30	0
Azitromicin (AZM 15 µg)	23,3	30,6	41	25	22	23,5	30,6
Ceftriaxon (CTR 30 µg)	31,4	0	30	31	24,7	40	0
Kanamycin (K 5 µg)	21,2	24,7	40	25,2	22	23,9	21,7
Klindamicin (CD 10 µg)	14,5	30	0	25	16,5	20,3	0
Vankomicin (VA 30 µg)	10	21,8	0	11	8	11,6	25,2
Ampicillin (AMP 25 µg)	25,4	0	0	25	21,1	13	0

A *Pseudomonas* szelektív táptalajról, a kútvíz 3 mintából izolált *Acinetobacter junii* baktérium hat vizsgált antibiotikummal szemben rezisztens, ezek a következők: sztreptomycin, cefotaxim, klóramfenikol, ceftazidim, ceftriaxon, klindamicin, ampicillin. Az EUCAST *Acinetobacter* spp.-re vonatkozó javaslatai alapján az *A. junii* az amikacinra és a gentamicinre érzékeny. Az antibiotikumok hatására kialakult gátlási zónák mérete alapján érzékeny az ofloxacin, eritromicin, azitromicin és a vankomicin antibiotikumokra is.

Tárgyalás

A mikrobiológiai vizsgálati eredmények alapján a véletlenszerűen kiválasztott 2 ásványvízforrás, 3 kút és egy hálózati rendszer vizének a mikrobiológiai, higiéniai minősége kifogásolható az érvényben lévő előírásoknak megfelelően. Az ásványvíz 1 mintában két Gram-negatív baktérium (*Leclercia adecarboxylata*, *Brevundimonas diminuta*) nagyobb csíraszámban való jelenléte a jellemző. A *L. adecarboxylata* az *Enterobacteriaceae* családba tartozó, mozgásra képes, aerob baktérium. Elsősorban élelmiszerekből, vízből, környezeti forrásokból vagy állati mintákból izolálták. Klinikai mintákból, többek között vérből, székletből, köpetből, vizeletből és sebgennyből is izolálható. MALDI-TOF MS segítségével jelenleg lehetséges e kórokozó pontos azonosítása. A *L. adecarboxylata* egy új ritka humán kórokozó, amely főként immunhiányos egyéneket érint, vagy immunokompetens betegeknél polimikrobiális fertőzéseket okoz. A baktérium jelenleg érzékeny a szokásos antibiotikumokra, viszont vannak szakmai adatok széles spektrumú β -laktamáz (ESBL) termelő törzsekről is (Zayet et al. 2021). A *L. adecarboxylata* rezisztenciája a teljesen érzékeny állapottól a karbapenem-rezisztensig fokozatosan emelkedett, ami annak köszönhető, hogy olyan hidrolizáló enzimeket termel és hordoz, amelyek kihívást jelentenek a mindennapi klinikai gyakorlat számára. A hagyományos PCR-vizsgálat két rezisztenciagén-populáció, a VIM-1 és az OXA48 jelenlétét mutatta ki (Al Shuhoumi et al. 2023). Kórházi mintákból származó izolátumok rezisztensek voltak az aztreonamra, a cefalosporinokra, a karbapenemekre, a trimetoprim/szulfametoxazolra és érzékenyek a gentamicinre, a tetraciklinre és a kolisztinre. Alacsonyabb érzékenységet figyeltek meg a levofloxacinra (51,6%) és a ciprofloxacinra (22,6%) vonatkozóan (Garza-González et al. 2023). Az antibiotikum rezisztencia vizsgálati eredményeink alapján a természetes ásványvíz 1 mintából izolált *L. adecarboxylata* baktérium érzékeny az alkalmazott antibiotikumokra, kivételt képez az eritromicin, a klindamicin és a vankomicin. Immunhiányos gyermekeknél a *L. adecarboxylata* számos fertőzést okozhat, beleértve a cellulitist, a peritonitist és a bakterémiát (Thiamprasert et al. 2026).

A *Brevundimonas diminuta* egy Gram-negatív, oxidáz-pozitív, nem fermentáló baktérium, amely talajban, vízben és növényi anyagokon fordul elő. Mozgékony, obligát aerob mikroorganizmus, alkalmazkodott az alacsony tápanyag tartalmú környezetekben való túléléshez. Az utóbbi időben opportunistá kórokozóként került

előtérbe, különösen immunhiányos betegek esetében. A baktériumot számos fertőzéssel hozták összefüggésbe, többek között tüdőtályoggal, bakterémiával, pleuritisszel, cellulitisszel és fertőzött sebekkel, ami bizonyítja klinikai jelentőségét. β -laktamázokat termel és változó antibiotikum-rezisztenciát mutat.

A *B. diminuta* antibiotikum-rezisztenciaprofilja a különböző tanulmányokban jelentősen eltér, ami a földrajzi különbségeket, a betegpopulációkat, valamint esetleg a helyi antibiotikum-használati szokások eltéréseit tükrözi (Caceros et al. 2024). Ez a megfigyelés jellemző az ásványvíz 1 mintából izolált *B. diminuta* törzs antibiotikumokkal szembeni érzékenységére is, viszont az eredmények nagyrésze megegyezik a szakirodalmi adatokkal.

A klinikai izolátumokban előforduló Gram-negatív kórokozók körében a karbapenem-rezisztencia megjelenése világszerte növekvő tendenciát mutat. A karbapenemázokat termelő fajok, például a metallo- β -laktamázokat termelők, a legnagyobb aggodalmat keltik, mivel fennáll a rezisztenciagének patogén fajokra történő horizontális génátvitelének veszélye. Ez azért jelentős, mert a karbapenem-típusú antimikrobiális szereket gyakran alkalmazzák végső megoldásként a multirezisztens (MDR) fertőzések kezelésére.

A *Hafnia alvei* az *Enterobacteriaceae* családba tartozó Gram-negatív baktérium. A *H. alvei* által okozott emberi fertőzések ritkák és jellemzőik kevésbé ismertek. Laboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy a *H. alvei* kromoszómában kódolt AmpC β -laktamázokkal rendelkezik. A *H. alvei* által okozott bakterémia gyakran társul a hasnyálmirigy- és epeúti rákhoz és gyakran epeúti fertőzésből ered (Kim et al. 2026). A *Hafnia alvei*-t azonosították a szerzett karbapenem-rezisztencia rezervoárjaként, amely ertapenem-rezisztens fenotípust mutat. A *H. alvei*-t általában emberek, állatok és madarak székletéből izolálják, ezért jelenléte az ivóvízben széptikus tartályok szivárgásából vagy olyan mezőgazdasági gyakorlatokból eredhet, mint a gazdálkodás vagy a trágyaszórás. A szakirodalomban leírt karbapenem-rezisztens *H. alvei*-vel fertőzött beteg valószínűleg az ivóvízforrásból került kapcsolatba a kórokozóval. Az elmúlt években a mikroorganizmus által okozott fertőzések száma elsősorban a hasüregi gócokban és az immunszuppresszált betegek körében nőtt (Alawi et al. 2024).

A *Pseudomonas brassicacearum* elsősorban talajban és az *Arabidopsis thaliana* és a *Brassica napus* növények gyökérzónájában fordul elő (Ortet et al. 2011), nem jellemző vízi mikroorganizmus. Képes gátolni a növényi kórokozókat olyan gombaellenes vegyületek termelésével, mint a 2,4-diacetil-floroglucinol és a cianid (Ortet et al. 2011). A vizsgált kútvíz 1 mintába valószínű szennyeződés útján jutott. A *P. brassicacearum* érzékeny számos Gram-negatív baktérium ellen használt antibiotikumra.

A *Buttiauxella agrestis* az *Enterobacteriaceae* család tagja, kisméretű Gram-negatív, fakultatív anaerob baktérium, amely talajban, vízben, halakban, puhatestűekben fordul elő. Csak néhány klinikailag releváns esetet írtak le a

szakirodalomban (vakbélgyulladás, sebfertőzés, császármetszés utáni műtéti sebhelyen kialakult fertőzés). Korlátozott számú érzékenységi vizsgálatot végeztek a *B. agrestis* fajon (Antonello et al. 2014). A kútvíz 2 mintából izolált *B. agrestis* a szakirodalmi adatokhoz hasonlóan érzékeny volt a gentamicinnel, amikacinnal, ceftriaxonnal és az ampicilinnel szemben.

Az *Aeromonas* fajok széleskörben előforduló, vízben élő baktériumok, amelyek a vízi (elsősorban halak) és szárazföldi állatok körében számos betegség kialakulásáért felelősek, valamint az ember számára is jelentős kórokozók (Turska-Szewczuk et al. 2010). Az *Aeromonas* fajok gyakori előfordulása az ivóvízben felvetette a valószínűségét annak, hogy bélrendszeri kórokozóként is szerepet játszik, mivel enterotoxinokat és/vagy adhezineket termel (Atobatele & Owoseni 2023). Az *A. bestiarum* ritkán fordul elő ivóvizekben, gyakrabban található meg halgazdaságokban. Opportunista kórokozó, elsősorban immungyenge egyének veszélyeztetettek.

Az *Aeromonas* fajok esetében növekvő rezisztenciát jelentettek a penicillinek, a cefalosporinok és a karbapenemek esetében. A kolisztin-rezisztenciát biztosító mobilis gének jelenlétét is leírták és a rezisztencia aránya egyes esetekben meghaladja a 30%-ot. A kolisztin-rezisztencia ezen fejlődése valószínűleg összefüggésben áll annak az akvakultúrában való alkalmazásával és a β -laktám-rezisztencia növekedésével együtt az *Aeromonas*-t a rezisztencia-gének jelentős rezervoárjává alakíthatja, amelyek potenciálisan átkerülhetnek olyan fajokba, amelyek gyakrabban társulnak emberi fertőzésekhez, mint például az Enterobacterales rendbe tartozó fajok (Calvo Sánchez et al. 2025). A vizsgált *A. bestiarum* antibiotikumokkal szembeni viselkedése jellemző az *Aeromonas* nemzetség képviselőire, kivételt a cefoperazon antibiotikummal szembeni rezisztencia képez. Az EUCAST ceftazidim antibiotikumra megadott határértéke alapján érzékeny.

Atobatele és Owoseni ázott kutak vizében vizsgálták a Gram-negatív baktériumok előfordulását és azok antibiotikum rezisztenciáját (Atobatele & Owoseni, 2023) és 11 baktérium nemzetség jelenlétét mutatták ki: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Morganella*, *Neisseria*, *Proteus*, *Providencia*, *Salmonella*, *Serratia* és *Pseudomonas*. A cefixim és a cefuroxim iránti antibiotikum-rezisztencia aránya 92,6%, illetve 90,9% volt. A 169 (96,6%) izolátum MAR index értéke meghaladta a 0,2-t.

Az *Acinetobacter* nemzetségbe tartozó patogén fajok az antibiotikumokkal szembeni fokozott rezisztencia, valamint a kórházi fertőzések, a közösségben szerzett fertőzések, illetve a háborúkhöz és természeti katasztrófákhoz kapcsolódó fertőzések széles körével való összefüggése miatt a közegészségügy szempontjából komoly aggodalmat keltő kórokozók közé sorolhatók. Bár széles körben elterjedt mikroorganizmusokként ismertek, a nemzetség különböző patogén fajainak élelmiszer-forrásokban és az ivóvízben való előfordulási gyakoriságáról kevés információ áll rendelkezésre (Carvalho et al. 2021).

Az *Acinetobacter junii* egy oportunista emberi és állati kórokozó, amelyről eddig nagyon kevés kutatás készült. A baktérium világszerte elterjedt. Az ember esetében bakterémiát vagy szemfertőzéseket okozhat. Az *A. junii* baktériumot összefüggésbe hozták a szarvasmarhák tüdőgyulladásával. Az emberi, de egyes nem emberi izolátumok is rendelkeznek klinikailag fontos antibiotikum-rezisztenciáért felelős génekkel és ezek közül néhány gén plazmidokon található (Aguilar-Vera et al. 2024). A kútvíz 3 mintából izolált *A. junii* antibiotikum rezisztenciával kapcsolatos eredményei hasonlóságot mutatnak a szakirodalmi adatokkal. A cefotaxim, ceftriaxon és a ceftazidim esetében kapott eredmények β -laktám rezisztenciára utalnak.

Vízforrásainkban antibiotikum-rezisztens heterotróf baktériumok élnek, amelyek betegségeket okozhatnak, különösen a legyengült immunrendszerű személyek esetében. E baktériumok antibiotikum-rezisztenciája rendkívül aggasztó, mivel veszélyezteti az antibiotikumok hatékonyságát, amelyek elengedhetetlenek a különféle fertőzések kezeléséhez. E baktériumok jelentős hányadánál virulenciafaktorokat mutattak ki, ami rávilágít a közegészségre jelentett fokozott kockázatokra. Szükség van a vízkezelési folyamatok fejlesztésére, a vízminőség szigorú ellenőrzésére, valamint olyan stratégiák kidolgozására, amelyekkel leküzdhető az antibiotikum-rezisztencia a környezetben (Molale-Tom et al. 2024).

Következtetések

A tenyésztési mikrobiológiai vizsgálatok során kapott eredmények alapján a vizsgált minták minősége mikrobiológiai és higiéniai szempontból kifogásolható. A szelektív táptalajon nagyobb csíraszámokban kifejlődött baktériumok között voltak az emberi egészségre veszélyt jelentő, kevésbé ismert oportunista kórokozók is, mint például az *Acinetobacter junii*, az *Aeromonas bestiarum*, *Brevundimonas diminuta* és a *Leclercia adecarboxylata*. A vizsgált antibiotikumok esetében az *Acinetobacter junii* baktériummal volt megfigyelhető a legnagyobb mértékű rezisztencia.

Az antibiotikum-rezisztencia vizsgálata lehetővé teszi annak megítélését, hogy a vízben jelen lévő baktériumok milyen mértékű közegészségügyi kockázatot jelentenek, valamint segít nyomon követni és megelőzni az antibiotikum-rezisztencia környezeti terjedését.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszer-mikrobiológia, -higiénia és -biztonság Tanszék munkatársainak az izolált baktériumok MALDI-TOF módszerrel történő azonosítása során nyújtott segítségéért.

Irodalomjegyzék

- Aguilar-Vera, A., Bello-López, E., Pantoja-Núñez, G.I., Rodríguez-López, G.M., Morales-Erasto, V., Castillo-Ramírez, S. 2024. *Acinetobacter junii*: an emerging One Health pathogen. *mSphere*, 9(5): 00162-24.
- Alawi, M., Smyth, C., Drissner, D., Zimmerer, A., Leupold, D., Müller, D., Do, T.T., Velasco-Torrijos, T., Walsh, F. 2024. Private and well drinking water are reservoirs for antimicrobial resistant bacteria. *npj Antimicrobials and Resistance*, 2(7).
- Al Shuhoumi, M.A., Al Mhrooqi, A., Al Rashdi, A., Kumar, R., Al Jabri, A., Al Kalbani, A., Al Jardani, A. 2023. First clinical case of VIM-1-producing *Leclercia adecarboxylata*: A case report and literature review. *Medicine in Microecology*, 15: 100075.
- Antonello, V.S., Dallé, J., Domingues, G.C., Ferreira, J.A.S., Fontoura, M.C.Q., Knapp, F.B. 2014. Post-cesarean surgical site infection due to *Buttiauxella agrestis*. *International Journal of Infectious Diseases*, 22: 65–66.
- Atobatele, B.O., Owoseni, A. 2023. Distribution of multiple antibiotic-resistant Gram-negative bacteria in potable water from hand-dug wells in Iwo, Nigeria. *H₂Open Journal*, 6(1).
- Caceres, M.M.F., Caceres, E.Z., Silva M.A.A., Rosas, L.A. 2024. *Brevundimonas diminuta* bacteremia in a case of adrenal insufficiency: A case report and literature review. *Cureus*, 16(12): e75943.
- Carvalho, A., Silva, J., Teixeira, P. 2021. *Acinetobacter* spp. in food and drinking water - A review. *Food Microbiology*, 95: 103675.
- Calvo Sánchez, N., Sancha Domínguez, L., Cotos Suárez, A., MuñozBellido, J.L. 2025. *Aeromonas* infections in humans - Antibiotic resistance and treatment options. *Pathogens*, 14: 1161.
- European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST) 2026: Clinical breakpoints and dosing of antibiotics.
- Federigi, I., Bonetta, S., Tesaro, M., De Giglio, O., Conti, G.O., Atomsa, N.T., Bagordo, F., Bonetta, S., Consonni, M., Diella, G., Ferrante, M. Grasso, A., Macrì, M., Montagna, M.T., Verani, M., Carducci, A. 2024. A systematic scoping review of antibiotic-resistance in drinking tap water. *Environmental Research*, 263(1): 120075.
- Garza-González, E., Bocanegra-Ibarias, P., Rodríguez-Noriega, E., González-Díaz, E., Silva-Sanchez, J., Garza-Ramos, U., Iván Fernando Contreras-Coronado-Tovar, I.F., Santos-Hernández, J.E., Gutiérrez-Bañuelos, D., Mena-Ramirez, J.P., Ramirez-De-los-Santos, S., Camacho-Ortiz, A., Morfín-Oteroet, R. 2021. Molecular investigation of an outbreak associated with total parenteral nutrition contaminated with NDM-producing *Leclercia adecarboxylata*. *BMC Infectious Diseases*, 21:235.
- Kim, J., Choi, Y., Sung, H., Kim, S-H., Lee, S.-O., Choi, S-H.. 2026. Clinical characteristics and outcomes of adult patients with *Hafnia alvei* bacteremia

- in a tertiary care hospital. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 115(1): 117301.
- Pereira, E.A.A., Cabral de Araujo, M.M., Nascimento de Sousa, A.F., de Souza Batista, G., de Lacerda, M.C., Cunha, P.H., Silva, V.F. 2026. Microbial contamination in drinking water sources: a study on safety and public health. *Total Environment Microbiology*, 2(3): 100095.
- Molale-Tom, L.G., Olanrewaju, O.S., Kritzing, R.K., Fri, J., Bezuidenhout, C.C. 2024. Heterotrophic bacteria in drinking water: evaluating antibiotic resistance and the presence of virulence genes. *Microbiology Spectrum*, 12(2).
- Ortet, P., Barakat, M., Lalaouna, D., Fochesato, S., Barbe, V., Vacherie, B., Santaella, G., Heulin, T., Achouak, W. 2011. Complete genome sequence of a beneficial plant root-associated bacterium, *Pseudomonas brassicacearum*. *Journal of Bacteriology*, 193(12).
- Thiamprasert, T., Ruangsirinusorn, P., Lektrakul, Y., Thanee, C. 2026. *Leclercia adecarboxylata* cellulitis in a neutropenic Thai child with acute myeloid leukemia. *IDCases*, 45: e02688.
- Tufail, M., Nasir, M.J., Rahman, A., Kakakhel, S.I., Ashraf, M., Tariq, A. 2025. Community perceptions of potable water quality and public health implications in flood-affected areas of Nowshera District, Pakistan. *World Development Perspectives*, 38: 100679.
- Turska-Szewczuk, A., Kozinska, A., Russa, R., Holst, O. 2010. The structure of the O-specific polysaccharide from the lipopolysaccharide of *Aeromonas bestiarum* strain 207. *Carbohydrate Research*, 345: 680–684.
- Zayet, S., Lang, S., Garnier, P., Pierron, A., Plantin, J., Toko, L., Royer, P.-Y., Villemain, M., Klopfenstein, T., Gendrin, V. 2021. *Leclercia adecarboxylata* as emerging pathogen in human infections: Clinical features and antimicrobial susceptibility testing. *Pathogens*, 10: 1399.

A KÁRPÁTOK SZÉN-DIOXIDBAN GAZDAG GÁZÖMLÉSEINEK GEOKÉMIAJA

KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ^{1,2,3*}, SZALAY RÉKA¹, CARACAUSI
ANTONIO⁴, RANDAZZO PAOLO⁴, TÓTH M. TIVADAR⁵,
PALCSU LÁSZLÓ⁶, ORSOVSZKI JUDIT⁷, AIUPPA ALESSANDRO⁸,
GRASSA FAUSTO⁴, HARANGI SZABOLCS^{2,3}

¹ Babeş-Bolyai University, Biológia és Geológia Kar, Geológiai Intézet, M. Kogălniceanu utca 1., 400084 Kolozsvár, Románia, boglarka.kis@ubbcluj.ro

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Közettani és Geokémiai Tanszék, Pázmány P. sétány 1/C., 1117 Budapest, Magyarország

³ MTA–HUN-REN CSFK Lendület „Momentum” Pannon-Vulkán Kutatócsoport, Földtani és Geokémiai Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budaörsi út 45., 1112 Budapest, Magyarország

⁴ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo, Via Ugo La Malfa 153., 90146 Palermo, Olaszország

⁵ Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszék, Egyetem utca 2., 6722 Szeged, Magyarország

⁶ HUN-REN Atommagkutató Intézet, Bem tér, 18/C, 4026 Debrecen, Magyarország

⁷ Isotoptech Zrt., Bem tér 18/C., 4026 Debrecen, Magyarország

⁸ Università di Palermo, DiSTeM, Via Archirafi 36., 90123 Palermo, Olaszország

*Kapcsolattartó szerző: boglarka.kis@ubbcluj.ro

Kivonat

A gyűrődéses hegységrendszerekben gyakoriak a mélyből feltörő fluidumok, amelyek eredete azonban sokféle lehet, keletkezésük mechanizmusait pedig nem ismerjük eléggé. A Kárpátok Európa egyik legnagyobb összefüggő hegységrendszere (~1300 km) és annak ellenére, hogy jól ismertek az itt fellelhető gázömlések, ezek a globális felmérésekből mégis kimaradtak. Dolgozatunkban elsőként összegeztük és állítottuk össze a Nyugati- és Keleti-Kárpátok szén-dioxid- és metán-kibocsátásának teljes hegységövre kiterjedő geokémiai adatbázisát és térképét, amely a kémiai és izotópos elemzéseket közettani és szerkezeti adatokkal kapcsolja össze (Kis et al. 2026). A szén-dioxid feltörések a neogén–negyedidőszaki vulkáni ívhez, valamint a tektonikailag felszabdalt szuturazónak menti, karbonátban gazdag flistakarókhhoz (pl. Magura, Pieniny, Ceahlău–Severin) kötődnek. A flistakarók külső övét termogén eredetű metán dominálja.

A heliumizotópok arról tanúskodnak, hogy a köpeny- és a kéreganyagból származó fluidumok változó arányban keverednek a hegységrendszer területén: a hosszan szunnyadó vulkáni területek, például a Csomád közelében mért magas R/R_a értékek (>3) tartósan fennmaradó, mélyben rejlő magmakamrák kigázasodására utalnak, ahonnan a hélium 60–70%-a magmás eredetű; a flis- és metamorf területeken ezzel szemben a radiogén eredetű hélium dominál ($R/R_a \sim 0,02$). A köpenyből származó héliumot elsősorban a szén-dioxid szállítja a felszínre. A kéreg eredetű szén-dioxid fő forrása azonban, amint azt a termodinamikai modellezés is megerősíti, a flisben lévő márgák és karbonátok 5–20 km mélységben végbemenő metamorf devolatilizációja. Ez összhangban van a más

hegységrendszerekben leírt „orogén eredetű szén-dioxid-kigázasodással”. A szénizotópok és a $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ arányok arra utalnak, hogy a szén sokféle forrásból származik egy köpeny–karbonát keveredési vonal mentén: a kéreg eredetű szén-dioxid mennyisége a nem-vulkáni területeken 80–95%, a vulkáni területeken 40–70%.

A gázfeltörések a takaróhatárok és a vetőzónák mentén sűrűsödnek, ahol a megnövekedett permeabilitás lehetővé teszi, hogy a fluidumok gyorsan a felszínre jussanak. A Kárpátok fluidum-geokémiai bélyege megegyezik más, a Tethys-óceán bezáródásából született hegységrendszerek jellemzőivel, mint például a Pireneusok, Alpok, Kaukázus, Himalája rendszereivel. Mindez a Kárpátokat a Föld egyik számottevő természetes gázkibocsátási területévé teszi.

Abstract

GEOCHEMISTRY OF CARBON DIOXIDE-RICH GAS EMISSIONS IN THE CARPATHIANS

Degassing of deep-seated fluids is a key process in orogenic systems, yet its sources and controlling mechanisms remain poorly constrained. The Carpathians form one of Europe's largest continuous orogenic belts (~1300 km) and a major degassing province yet have been largely absent from global degassing surveys. We present the first orogen-scale geochemical dataset and map of carbon dioxide and methane emissions across the Western and Eastern Carpathians, integrating chemical and isotopic analyses with lithological and structural constraints. Carbon dioxide emissions concentrate in the Neogene–Quaternary volcanic arc and in carbonate-rich flysch nappes along tectonized suture zones (e.g. Magura, Pieniny, Ceahlău–Severin), whereas mostly thermogenic methane dominates the Outer Flysch belt. Helium isotopes reveal variable mantle-crustal mixing: elevated R/R_a values (>3) near long-dormant volcanic centres, especially Ciomadul, reflect persistent deep magmatic reservoirs supplying 60–70% mantle/magmatic helium, whereas radiogenic ${}^4\text{He}$ dominates non-volcanic flysch and metamorphic regions ($R/R_a \sim 0.02$). Carbon dioxide is the primary carrier of mantle helium. Metamorphic devolatilization of marls and carbonates at 5–20 km depth, supported by thermodynamic modelling, provides the principal crustal carbon dioxide source, consistent with “orogenic carbon dioxide degassing” in other collisional belts. Carbon isotopes and $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ ratios indicate a heterogeneous carbon source along a mantle–limestone mixing line, with crustal-derived carbon dioxide of 80–95% in non-volcanic areas and 40–70% in volcanic areas. Degassing sites cluster along nappe boundaries and fault zones, where enhanced permeability enables rapid volatile ascent. The Carpathians share the volatile-geochemical signature of other Tethyan orogens (Pyrenees, Alps, Caucasus, Himalayas), establishing them as a globally significant degassing province.

Bevezetés

A Kárpátok Európa egyik leghosszabb összefüggő hegységrendszere, amelyet a földből feltörő, szén-dioxidban gazdag gázok természetes kibocsátása jellemez. Ezek a gázok egyrészt a vulkáni ívek mentén, másrészt a karbonátban gazdag, tektonikailag szabdalt szaturazónákban törnek fel, míg a flistakarók külső övében inkább a termogén eredetű metán a jellemző. A földkéreg és a földköpeny kölcsönhatásainak megértése, valamint a Föld szénkörforgásának megértése céljából, tudnunk kell, honnan erednek, hogyan keletkeznek és mekkora

mennyiségben törnek fel/gázasodnak ki ezek a fluidumok (Kis et al. 2026, Werner et al. 2019, Fischer & Aiuppa 2020).

Anyag és módszer

Kutatásunkban elsőként állítottuk össze a Nyugati- és Keleti-Kárpátok szén-dioxid- és metánkibocsátásának átfogó, az egész térségre kiterjedő geokémiai adatbázisát és térképét. Ehhez többféle vizsgálatot kapcsoltunk össze. Romániában 158 helyszínen gyűjtöttünk gázmintákat: száraz gázfeltörésekből, buborékoló forrásokból, fúrásokból és ásványvízforrásokból. A gázok összetételét 143 ponton, közvetlenül a helyszínen, Multi-GAS műszerekkel mértük. A minták laboratóriumi elemzése során nemesgázokat (hélium-izotópokat), szén-izotópokat ($\delta^{13}\text{C}$) és $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ arányokat határoztunk meg, hogy elkülöníthessük a köpenyből, a kéregből, illetve a biológiai aktivitásból származó gázokat. Az új méréseket korábbi adatokkal is kiegészítettük, amelyek Lengyelország, Szlovákia, Ukrajna és Románia területén összesen 749 helyszínt fednek le. A gázok eredetét és a felszínre vezető útjukat közettani és szerkezeti adatokkal, valamint termodinamikai számításokkal (modellezéssel) értelmeztük (Kis et al. 2026).

Eredmények

A feltörő gázokat többnyire szén-dioxid és metán alkotja: a vulkáni területeken a szén-dioxid mennyisége akár a 100%-ot is elérheti, míg a flisövben a metán mennyisége jelentős. A hélium-izotópok aránya (R/R_a) azt mutatja, hogy a köpeny- és a kéreganyagból származó fluidumok változó mértékben keverednek. A hosszan szunnyadó vulkáni központok, például a Csomád közelében magas R/R_a értékeket (>3) mértünk, ami azt jelzi, hogy a mélyben levő magmakamrák még ma is kigázasodhatnak. Itt a hélium 60–70%-a a köpenyből/magmás eredetű kigázasodásból származik. A nem-vulkáni területeken ezzel szemben alacsony az R/R_a érték ($\sim 0,02$), vagyis a hélium jórészt a kőzetek radioaktív bomlásából származik.

A szén-izotópok és a $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ arányok alapján a szén-dioxid többféle forrásból származik. A felszínre jutó szén-dioxid túlnyomó része a kéregből ered (a nem-vulkáni területeken 80-95%, a vulkáni területeken 40-70%), a biológiai eredet pedig elenyésző. A minták nagy része egy köpeny-karbonát keveredési vonal mentén helyezkedik el (Kis et al. 2026). A gázfeltörések nem véletlenszerűen jelennek meg: a takaróhatárok és a vetőzónák mentén sűrűsödnek, ahol a kőzet áteresztőképessége lehetővé teszi a gáz gyors felszínre jutását.

Tárgyalás

A Kárpátok fluidumgeokémiai szempontból hasonlítanak más, a Tethys-óceán bezáródásából született hegységrendszerekre, például az Alpokra, a Kaukázusra vagy a Himalájára, ahol a szén-dioxid-feltörés a karbonátok és márgák termikus átalakulásához és ennek következtében az illóanyagok felszabadulásához kötődik

(Kerrick & Caldeira 1998, Groppo et al. 2017). A köpenyből származó illóanyagok a vulkáni központok közelében jelennek meg, máshol viszont a kéregben lezajló átalakulási folyamatok az elsődleges fluidum-generáló folyamatok. Vizsgálatunk rámutat, hogy ez az „orogén eredetű szén-dioxid-kigázásodás” a légköri szén-dioxid egy jelentős, eddig alábecsült forrása.

A gázok felszínre jutását a szerkezeti elemek, takaróhatárok és vetők szabályozzák: ezek olyan csatornaként működhetnek, amelyek mentén a mélyből érkező fluidumok felfelé és oldalirányban egyaránt vándorolhatnak. Mindezek alapján a Kárpátok a Föld egyik számottevő természetes gázkibocsátó területe.

Következtetések

A Kárpátok a Föld egyik jelentős természetes gázkibocsátó területének bizonyulnak, ahol a szén-dioxid egyaránt feltör a vulkáni ívek mentén és a karbonátban gazdag varratzónákban (Kis et al. 2026). A becslés szerint a köpenyből évente 4,66 millió tonna szén-dioxid szabadul fel, ami más működő hegységrendszerekével összemérhető és a világ vulkáni és tektonikus eredetű szén-dioxid-kibocsátásához mérten is számottevő.

A Kárpátokban feláramló szén-dioxid részben a köpenyből, részben a kéregből származik. A köpenyből származó szén-dioxid a nyugvó vulkáni központok, például a Csomád környékén a jellemző, ahol a mélyben tartósan megmaradtak a magmás gyűjtők. A nem vulkáni területeken viszont a kéregből származó szén-dioxid van túlsúlyban, amely főként abból keletkezik, hogy a márgák és a karbonátok 5–20 km mélységben, a hő hatására gázt bocsátanak ki – ezt nevezik „orogén szén-dioxid-kigázolásnak” (Kis et al. 2026). A felszínre jutó szén-dioxid túlnyomó része tehát a kéregből ered (a nem vulkáni területeken 80-95%, a vulkáni területeken 40–70%), az élővilág hozzájárulása pedig elenyésző.

Eredményeink rávilágítanak, hogy ez az orogén eredetű szén-dioxid-kigázásodás (a hegységképződés során, a megnövekedett hőmérséklet és nyomás következtében átalakuló kőzetekből felszabaduló szén-dioxid) a földtani eredetű szén-dioxid egy jelentős, korábban alábecsült forrása (Kis et al. 2026, Zhang et al. 2024). Azt, hogy hol törnek fel ezek a mélységi-eredetű fluidumok, függetlenül attól, hogy kéreg vagy magmás eredetűek, a terület tektonikai és szerkezeti elemei határozzák meg, mint például a takaróhatárok és a vetőzónák. Ezek olyan csatornaként működnek, amelyeken a mélyből érkező gázok gyorsan a felszínre, majd a levegőbe juthatnak (Kis et al. 2026).

A Kárpátok területén feltörő szén-dioxid mennyisége hasonló a más hegységrendszerekben leírtakhoz, például az Alpokéhoz vagy a Himalájáéhoz, ami megerősíti, hogy ezek a területek fontos szerepet játszanak a Föld szénkörforgásában (Kis et al. 2026).

Köszönetnyilvánítás

Jelen dolgozat a Magyar Tudományos Akadémia János Bolyai Kutatási Ösztöndíja, valamint az MTA–HUN–REN CSFK Lendület „Momentum” Pannon Vulkan Kutatócsoport kutatási projektjének (Magyar Tudományos Akadémia, LP2024-9/2024 projektszám) támogatásával jelent meg.

Irodalomjegyzék

- Kis, B.M., Szalay, R., Caracausi, A., Randazzo, P., Tóth, M.T., Palcsu, L., Orsovski, J., Aiuppa, A., Grassa, F., Harangi, Sz. 2026. Geochemistry of CO₂-rich gas emissions in the Carpathians: Multiscale geological sources and implications for orogenic degassing. *Earth-Science Reviews*, 279: 105528.
- Werner, C., Fischer, T.P., Aiuppa, A., Edmonds, M., Cardellini, C., Carn, S., Chiodini, G., Cottrell, E., Burton, M., Shinohara, H., Allard, P. 2019. Carbon dioxide emissions from subaerial volcanic regions: two decades in review. In: Orcutt, B., Alvarez, D., Dasgupta, R. (eds), *Deep Carbon: Past to Present*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 188–236.
- Fischer, T.P., Aiuppa, A. 2020. AGU centennial grand challenge: volcanoes and deep carbon global CO₂ emissions from subaerial volcanism — recent progress and future challenges. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21(3): e2019GC008690.
- Kerrick, D.M., Caldeira, K. 1998. Metamorphic CO₂ degassing from orogenic belts. *Chemical Geology*, 145(3-4): 213–232.
- Groppo, C., Rolfo, F., Castelli, D., Mosca, P. 2017. Metamorphic CO₂ production in collisional orogens: Petrological constraints from phase diagram modeling of Himalayan, scapolite-bearing, calc-silicate rocks. *Journal of Petrology*, 58(1): 53–84.
- Zhang, M., Xu, S., Sano, Y. 2024. Deep carbon recycling viewed from global plate tectonics. *National Science Review*, 11: nwae089.

A CSISZÁRFÜRDŐN LEJÁTSZÓDÓ GEOLÓGIAI FOLYAMATOK NYOMÁBAN

VARGA BALÁZS¹, BODOR BOTOND¹, BENKŐ MÁTYÁS¹,
DOBRI DÁVID¹, KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ^{1,2}

¹Babeş-Bolyai University, Biológia és Geológia Kar, Geológiai Intézet, M. Kogălniceanu utca 1., 400084 Kolozsvár, Románia

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Kőzettani és Geokémiai Tanszék, Pázmány P. sétány 1/C., 1117 Budapest, Magyarország

*Kapcsolattartó szerző: vargabala18@gmail.com

Kivonat

A Csomád vulkáni dóm-komplexum és ezen belül a Büdös-hegy környékén fekvő Csiszárfürdő egy geodinamikailag aktív terület közelében található, ahol a mélyben levő, feltehetően olvadéktartalmú magmatározó folyamatosan kigázasodik és ezáltal meghatározza a felszíni jelenségeket. A gázmérések azt igazolják, hogy ezekben a széndioxid dominál, a feláramlás pedig nem egyenletes, hanem a térség tektonikai törésvonalai mentén, pontszerű zónákban koncentrálódik. Az ásványvizek fizikai-kémiai jellemzői, mint a savas pH és a változatos nagyságrendű elektromos vezetőképesség, szoros összefüggésben állnak a gázok jelenlétével és az általuk felerősített közetmállási folyamatokkal. Az 1895-ben alapított fürdő ma is aktív rendszert alkot, amelynek gyógyászati potenciálja mellett a biztonságos használat érdekében elengedhetetlen a gázkoncentrációk térképezése.

Abstract

TRACING THE GEOLOGICAL PROCESSES AT CSISZÁR BATHS

Csiszár Baths lie in the Ciomadul volcanic dome system area, near the Puturosul volcano, close to a geodynamically active area where a deep, potentially melt-bearing magma reservoir releases gas continuously and shapes the surface processes. Gas measurements show that carbon dioxide is the dominant gas phase in the gas emissions. The gas does not rise evenly but is concentrated along small fracture zones. The physical and chemical properties of the mineral waters, such as the acidic pH and the varied electrical conductivity, are closely linked to these gases and to the rock weathering they intensify. The spa was founded in 1895 and still forms an active system. Besides its therapeutic value, mapping the gas concentrations is essential for safe use.

Bevezetés

A kutatás a Keleti-Kárpátok belső ívén helyezkedő, Csomád vulkáni dómkomplexum, Csomád–Bálványos térségében található Csiszárfürdőn zajlott. A Csomád a Kárpát–Pannon térség legfiatalabb vulkánja, a mintegy 160 km hosszú Kelemen–Görgényi–Hargita vulkáni lánc legdélibb pontján helyezkedik el (Szakács & Seghedi 1995, Seghedi et al. 2011). A Kelemen–Görgény–Hargita vulkáni aktivitása északnyugatról délkelet felé haladva mutat egyre fiatalabb kort (Seghedi et al. 2011), ami a Csomád esetében éri el a végpontot. A vulkán utolsó kitörése mintegy 30-32 ezer évvel ezelőtt történt (Harangi et al. 2015, 2017). A mélységi

magmakamra biztosítja a felszínen észlelhető intenzív szén-dioxid-kibocsátást (Kis et al. 2017, 2019).

Csiszárfürdőt 1895-ben alapította Csiszár Dénes, miután egy vadászat során szénsavas forrást fedezett fel. A területen 16 gyógyforrás található, amelyekből medencéket, mofettákat és ásványvízforrásokat alakítottak ki. A fürdő a 20. század második felében élte virágkorát, majd a rendszerváltás utáni hanyatlást követően 2012-ben indult meg a felújítása a Taiierling Péter és Johann testvérek, Csiszár Dénes leszármazottjai és a helyi közösség összefogásával. A térség gazdag ásványvízforrásokban, illetve más természetes eredetű turisztikai látványosságokban, ilyen például a Torjai Büdös-barlang vagy a Szent Anna-tó.

Anyag és módszer

A területen több paramétert mértünk, más és más műszerekkel, ilyen volt például a West Systems típusú fluxusmérő, amellyel egy 2 méteres négyzethálós rendszerben (K–Ny irányban) a talajon haladva mértük a talajfluxust és úsztatókamrával a medencék vízfelszínén.

A szén-dioxid-, metán- és kén-hidrogén gázkoncentrációkat Multi-GAS műszerrel mértük (Kis et al. 2022). A vízkémiai paramétereket a Thermo Fisher multiparaméteres műszerrel vizsgáltuk, amely megállapította számunkra a pH-t, a hőmérsékletet és az elektromos vezetőképességet.

Eredmények

A vízhőmérsékleti eredményeink 11,5 °C és 24 °C között váltakoztak, amely értékeket befolyásolhatta a napsugárzásnak való kitettség. Az elektromos vezetőképesség széles skálán mozgott (457,1–5338 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ami a rendszer és az oldódási folyamatok változatosságára ad bizonyítékot. A vizek savas tartományba estek (pH 2,77 – 6,06). A mért gázkoncentrációk közül a szén-dioxid dominál (>91–96%), a metán jelenléte pedig minimális (2–5%). A Hamvas medencében mértük a legmagasabb kén-hidrogénértéket (200 ppm), ami mélyebb eredetű fluidumokra és redukzív környezetre utal. A talajfluxus eloszlása egy EK–DNy irányú ívet mutat.

Tárgyalás

A hőmérsékleti mérések során megfigyelt lokális eltérések, például a Hamvas és az Aranyos medence közötti több mint 2 °C-os különbség, nem csupán a napsugárzásnak, hanem a különböző mélységből származó fluidumok és a felszínközeli meteorikus vizek keveredési arányainak tulajdoníthatók. A vízkémiai heterogenitást, különösen a kiugróan magas elektromos vezetőképességet a szén-dioxid jelenléte által irányított intenzív kőzetmállási folyamatok magyarázzák. A savas pH-érték közvetlen bizonyítéka annak, hogy a feltörő gázok alapvetően meghatározzák a vizek kémiai fejlődését, mivel az oldódó szén-dioxid szénsavvá alakulva folyamatosan átalakítja a környező kőzetek ásványi anyagait.

A fluxusmérések során kirajzolódó feltételezett törések bizonyítják, hogy a gázok a legkisebb ellenállás irányába, a természetes repedések és a talaj laza üledékei felé terelődnek.

Következtetés

Csiszárfürdőn és környezetében, bár nincs aktív vulkáni tevékenység, a folyamatos szén-dioxid-áramlás jelzi, hogy a mélyben lévő folyamatok aktívak. A gázok térbeli felmérése nagyon fontos a gyógyturizmus biztonságos fejlesztéséhez, mivel a magas szén-dioxid- és kén-hidrogén-koncentráció kockázatot is jelenthet, ugyanakkor újabb potenciális kis mofetták és medencék létesítéséhez is alkalmas.

Köszönetnyilvánítás

A jelen kutatást a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta. Köszönetünket fejezzük ki Dr. Urák Istvánnak, a területről biztosított drónfotóért.

Irodalomjegyzék

- Harangi, Sz., R. Lukács, A.K. Schmitt, I. Dunkl, K. Molnár, B. Kiss, I. Seghedi, Á. Novothny, Molnár, M. 2015. Constraints on the timing of Quaternary volcanism and duration of magma residence at Ciomadul volcano, east-central Europe, from combined U-Th/He and U-Th zircon geochronology, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 301, 66–80.
- Harangi, Sz., Kiss, B., Molnár, K., Kis, B.M., Lukács, R., Seghedi, I., Novák, A., Dunkl, I., Schmitt, A., Bachmann, O., Mészáros, K., Ionescu, A., Vinkler A. P., Jankovics M. É., Szepesi, J., Soós, I., Guillong, M., Laumonier, M., Molnár, M., Palcsu, L., Novothny, Á., Pál-Molnár, E., Szarka, L. 2017. Egy hosszan szunnyadó dácit vulkán anatómiája: a Csomád kutatásának legújabb eredményei, 8. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szihalom, 2017. szeptember 7–9.
- Kis, B., M. Szalay, R., Aiuppa, A., Bitetto, M., Palcsu, L., Harangi, Sz. 2022. Compositional measurement of gas emissions in the Eastern Carpathians (Romania) using the Multi-GAS instrument: Approach for in situ data gathering at non-volcanic areas, *Journal of Geochemical Exploration*, 240: 107051
- Seghedi, I., Downes, H., Szakács, A., Mason, P.R.D., Thirlwall, M.F., Roşu, E., Pécskay, Z., Márton, E., Panaiotu, C. 2011. Neogene-Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian-Pannonian region: a synthesis. *Lithos*, 72(3-4): 117–146.
- Szakács, A., Seghedi, I. 1995. The Călimani-Gurghiu-Harghita volcanic chain, East Carpathians, Romania: volcanological features. *Acta Vulcanologica*, 7(2): 145–153.

EGY SZÉN-DIOXID- ÉS KÉN-HIDROGÉN-FELÁRAMLÁS ÁLTAL FORMÁLT TALAJSZELVÉNY A CSOMÁD- BÁLVÁNYOS VULKÁNI TERÜLET APOR-LÁNYOK FEREDŐJE VÖLGYÉBEN (BÜDÖS-HEGY, KELETI- KÁRPÁTOK, ROMÁNIA)

DOBOS ENDRE¹, KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ^{2,3*}, DOBOS ANDRÁS¹

¹Miskolci Egyetem, Föld- és Környezettudományi Kar, Természetföldrajz-
Környezettudományi Intézeti Tanszék, Miskolc-Egyetemváros A/4, 3515
Miskolc, Magyarország

²Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Biológia és Geológia Kar, Geológiai Intézet, M.
Kogălniceanu utca 1., 400084 Kolozsvár, Románia

³Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Közettan-
Geokémiai Tanszék, Pázmány P. sétány 1/C., 1117 Budapest, Magyarország

*Kapcsolattartó szerző: boglarka.kis@ubbcluj.ro

Kivonat

A Keleti-Kárpátok déli részén elhelyezkedő Csomád vulkáni dóm-komplexum a Kelemen–Görgényi–Hargita vulkáni ív legfiatalabb tagja, amelynek területén ma is intenzív, magmás eredetű szén-dioxid- és kén-hidrogénfeláramlás zajlik. A Bálványos és a Büdös-hegy vulkáni dómok közelében, az „Apor-lányok feredője” völgyében végzett talajtani terepbejárás során négy talajszelvényt tártunk fel és mintáztunk laboratóriumi elemzés céljából. A diffúz gázfeláramlás rendkívül savanyú, redukzív mikrokozmoszt hoz létre, amely alapvetően módosítja a talajképződést, az ásványok stabilitását és a talajszintek kialakulását és fejlődését. A völgyfenék aktív feláramlási zónájában feltárt szelvény egy savanyú, redukzív, szén-dioxid- és kén-hidrogéngázok által módosított szulfidos barna erdőtalaj, amely a Kárpát-medencében csak igen kis kiterjedésben, lokálisan fordul elő. E szelvényt a Magyar Talajtani Társaság a 2026. évi „Év Talaja” közönségzavazásán díjazta, elsőként határon túli területről. A tanulmány a különleges, gáz-által vezérelt talajgenetikai folyamatokat mutatja be, összekapcsolva a geokémiai hátteret a terepi talajtani megfigyelésekkel.

Abstract

**A SOIL PROFILE SHAPED BY CARBON DIOXIDE AND HYDROGEN SULPHIDE
DEGASSING IN THE APOR SPRINGS VALLEY OF THE CIOMADUL-
BÁLVÁNYOS VOLCANIC AREA (PUTUROSUL HILL, EASTERN
CARPATHIANS, ROMANIA)**

The Ciomadul volcanic dome complex, located at the southern end of the Călimani–Gurghiu–Harghita volcanic chain in the Eastern Carpathians, is the youngest volcanic centre of the range and hosts intense, magmatically derived carbon dioxide and hydrogen sulphide degassing. During pedological fieldwork carried out in the Apor Springs Valley near the Bálványos and Puturosul (Büdös-hegy) volcanic domes, four soil profiles were excavated and sampled. The diffuse degassing generates strongly acidic, reducing microenvironments that fundamentally modify pedogenesis, mineral stability and horizon development. The profile exposed in the active degassing zone of the valley floor is an acidic, reductive,

sulphidic brown forest soil modified by carbon dioxide and hydrogen sulphide gases, a rare and highly localized soil type in the Carpathian Basin, awarded the 2026 "Soil of the Year" public prize of the Hungarian Soil Science Society, the first winner from beyond Hungary's borders. This contribution presents these gas-driven pedogenetic processes, linking the geochemical setting to field pedological observations.

Bevezetés

A talaj életünk egyik legkevésbé észrevett alapja, holott a talajtípusok sokfélesége eltérő kémiai, biológiai és fizikai jellemzőket takar. A gázfeláramlások által formált talajok e sokféleség különösen szemléletes és ritka példái. A mélységi fluidumok diffúz gáz kibocsátása, elsősorban a szén-dioxid és a kén-hidrogén gáz, helyi léptékben olyan talajkémiai környezetet teremt, amely a megszokott talajképződési folyamatokat gyökeresen átírja. A vizsgált terület, a Csomád–Bálványos vulkáni komplexumhoz tartozó Büdös-hegy térsége ma is aktív gázfeláramlásairól nevezetes és egyben mélyen beágyazódik a Székelyföld fürdőkultúrájába és kulturális örökségébe.

A mofetták, gázömlések és szénsavas források évszázadok óta a helyi gyógyászati hagyományok részét képezik; a Büdös-hegy környékét már a 18–19. században is látogatták, elsősorban reumatikus és keringési panaszok enyhítésére. A helyi hagyomány szerint az Apor-lányok feredője nevét egy régi történet őrzi, amelyben a nemesi Apor család nőtagjai a gyógyhatású gázok és vizek miatt keresték fel a völgyet; Jókai Mór *Bálványosvár* című regényének cselekménye is ezen a tájon zajlik, a közeli Torjai Büdös-barlangot pedig a kiáramló gázok miatt „a pokol tornácának” nevezi az író.

Jelen munka célja, hogy a terület egyedülálló, gáz által vezérelt talajszelvényét talajtani és talajkémiai szempontból bemutassa és ezzel a tudományos érték mellett a talaj kultúrtörténeti jelentőségére is felhívja a figyelmet.

A Csomád vulkáni komplexum a Hargita-hegység déli végén, a Kelemen–Görgényi–Hargita vulkáni ív legfiatalabb központjaként helyezkedik el (Szakács & Seghedi, 1995). A mintegy 160 km hosszú vulkáni lánc a 12–0,03 millió év közötti, ütközés utáni vulkáni fázisban jött létre (Seghedi et al. 2011). A Csomád vulkáni dóm-komplexum e vulkáni fejlődés utolsó állomása, a legutóbbi kitörések pedig mintegy 30 ezer évvel ezelőtt zajlottak (Molnár et al. 2019). Cirkon-geokronológiai és termikus modellezési adatok egy legalább 1,5 millió éve fennálló, sekély kéregbeli magmakamra jelenlétére utalnak, a geofizikai vizsgálatok pedig 8–20 km mélységben olvadékot tartalmazó rezervoárt jeleznek (Harangi et al. 2015, Lukács et al. 2021). A gázok nemesgáz-izotóp-összetétele a Csomád alatti mélybeli magmakamrából történő folyamatos kigázasodásra utal (Kis et al. 2017, 2019). A felszínre jutó gázokban a szén-dioxid koncentrációja elérheti a 98%-ot, a kén-hidrogén pedig helyenként 200–600 ppm mennyiségben van jelen (Kis et al. 2019). E diffúz, magmás eredetű gázkiáramlás erősen savanyú, redukzív

mikrokörnyezeteket hoz létre, amelyek jelentősen módosítják a felszín alatti vizek kémiaiáját, a talajképződést és az ásványok stabilitását.

Anyag és módszer

A talajtani terepbejárás az Apor-lányok feredője völgyének felső és alsó szakaszán, a Bűdös-hegy (Puturosul románul) vulkáni dóm területén zajlott. Összesen négy talajszelvényt tártunk fel, mindegyikből mintát vettünk laboratóriumi elemzésre. Két szelvényt a völgy alsó részén, az intenzív szén-dioxid- és kén-hidrogénfeláramlás zónájában, két további pedig az erdőben, egyet a völgy felső, egyet az alsó szakaszán ástunk. A mintákat szintenként, jelölt mintazacskókban tároltuk, majd az egyes laboratóriumi eljárások igényei szerint elkülönítettük és előkészítettük.

A gázösszetétel mérése hordozható Multi-GAS műszerrel történt, amely alacsony hőmérsékletű, szén-dioxidban gazdag gázkibocsátások mérésére készült: két, szén-dioxidra és metánra érzékeny infravörös spektrométert, valamint egy kén-hidrogén-szelektív elektrokémiai szenzort tartalmaz. Minden mérés előtt a műszert környezeti levegővel tisztítottuk és atmoszférikus viszonyokra kalibráltuk. A terepi megfigyelések a talajszintek leírását, a fizikai féleség, szín és növényzet rögzítését, valamint szintenkénti fajlagos elektromos vezetőképesség-, nedvességtartalom- és hőmérséklet-mérést foglaltak magukban. A vezetőképesség a sótartalomra és a bázistelítettségére utal: ahol a sótartalom csökken, ott a talaj a savanyú pH-tartomány felé tolódik.

Eredmények

A völgy felső szakaszán, a CO₂-feláramlásos völgy közelében feltárt szelvény jellegzetes, fejletlen kambikus talaj (kezdeti Cambisol), amely megindult a talajfejlődés útján, de még kezdetleges tulajdonságokat mutat. Savanyú kémhatását a sűrű áfonyacserjékből álló aljnövényzet jelzi. A lejtő alján, a felhalmozódott törmelékben feltárt szelvényből, ahol a felszínen sárga terméskén-kiválás jelezte az aktív gázkiáramlást, hiányzik a humuszos O-szint, a növényzet rendkívül szegényes. A nagyfluxusú gáz a kőzeteket elszínezi, a repedések mentén a kén kicsapódik és a gáz típusától függően új ásványok képződését indíthatja el.

A völgyfenék aktív feláramlási zónájában feltárt szelvény a legösszetettebb és egyben a legkülönlegesebb. Felső része egy erősen kilúgzott, savanyú (pH 3–4) barna erdőtalaj, amelynek jellemző növényzete az áfonya. A 40–50 cm alatti zónában a talaj hirtelen mélyszürke árnyalatba vált, vízzel telítette válik és a feláramló szén-dioxid és kén-hidrogén hatására szétizapolódik, miközben a csillám- és kvarctartalmú homokrétegek időszakosan kivörösödnek, majd újra beszürkülnek. Az agyag jobban tartja a vizet, ezért szürke marad, míg a csillámos-kvarcos homok kivörösödik. A 70–90 cm közötti rétegben a vezetőképesség szélsőségesen megugrik (1548–1682 mS/m), a magyarországi szolonyec talajok (magas sótartalmú talajok) értékeihez hasonlóan, itt terméskén-kiválások jelennek

meg és a szervesanyag redukálódik. E mélyebb, szürke, finomabb szemcséjű, helyben maradt réteg állandóan érintkezik a feláramló gázokkal és a talajvízzel, ezért víztartó és iszapos; a felette lévő porózus zónával érintkezve a határfelületen oxidált vas csapódik ki. Összességében ez egy savanyú, reduktív, szén-dioxid- és kén-hidrogén-gázok által módosított szulfidos barna erdőtalaj.

A völgyfenék erdejében, két kigázasodó folt közötti kis gerincen feltárt negyedik szelvény agyagbemosódásos barna erdőtalaj, feltehetően flis alapkőzetén. A geomorfológia előrevetíti a feláramlási zónákat, mert ahol a szén-dioxid feljut a felszínre, ott a növényzet hiányzik és a talaj szétiszapolódik.

Tárgyalás

A négy szelvény együttesen a gázfeláramlás talajképződésre gyakorolt hatásának térbeli változékonyságát tükrözi. Az aktív feláramlási zónától távolodva a talajok a „normális”, éghajlat és növényzet vezérelte fejlődés jeleit mutatják (Cambisol, agyagbemosódásos barna erdőtalaj), míg a feláramlási zóna közvetlen közelében a gázgeokémia veszi át a vezérlő szerepet. A völgyfenéki szelvény kettős természetű: felső része egy meredek lejtőn folyamatosan áthalmozódó, kilúgzott erdőtalaj, alsó része viszont egy, helyben maradt, állandóan gáztelített, reduktív, szulfidos zóna. A vezetőképesség 70 cm alatti hirtelen megugrása egyértelmű anyagfelhalmozódásra és a redukciós front megjelenésére utal; a terméskén-kiválás a kén-hidrogén oxidációs-redukciós átalakulásának közvetlen terepi bizonyítéka.

E talaj genézise szorosan függ a mélyből feláramló, geológiai eredetű szén-dioxid és kén-hidrogén jelenlététől és szerkezetében, színében, valamint vezetőképességében is egyértelműen tükrözi a mofettás környezet hatását. A talajtípus a Kárpát-medencében ritka, kiterjedése kicsi és lokális. A gázfeláramlás által vezérelt savanyú-reduktív talajok tágabb tudományos jelentősége abban áll, hogy természetes analógiát kínálnak a mélységi fluidumáramlás, a talaj-gáz kölcsönhatás és az ásványstabilitás tanulmányozására, egyszersmind a talajok sokféleségének bemutatására is alkalmasak.

Következtetések

A Csomád-Bálványos vulkáni terület Apor-lányok feredője völgyében feltárt szelvények igazolják, hogy a diffúz, magmás eredetű szén-dioxid- és kén-hidrogén-feláramlás alapvetően átírja a talajképződést. A völgyfenék aktív feláramlási zónájában egy savanyú, reduktív, gázok által módosított szulfidos barna erdőtalaj alakult ki, amelyet a mélységi vezetőképesség-anomália (1548–1682 mS/m) és a terméskén-kiválás jellemez. E ritka talajtípus, amelyet a 2026. évi „Év Talaja” közönségsválasztás elsőként határon túli győzteseként ismert el a Magyar Talajtani Társaság, egyszerre tudományos és kultúrtörténeti érték. A további kutatásokban a szelvények részletes ásványtani, vízkémiai és talajkémiai vizsgálata teszi majd lehetővé a gáz által vezérelt talajgenetikai folyamatok pontosabb megértését.

Köszönetnyilvánítás

A jelen kutatást a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta. A szerzők köszönetüket fejezik ki mindazoknak, akik a terepi munkában és a talajszelvények feltárásában közreműködtek.

Irodalomjegyzék

- Harangi, Sz., Novák, A., Kiss, B., Seghedi, I., Lukács, R., Szarka, L., Wesztergom, V., Metwaly, M., Gribovszki, K. 2015. Combined magnetotelluric and petrologic constrains for the nature of the magma storage system beneath the Late Pleistocene Ciomadul volcano (SE Carpathians). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 290: 82–96.
- Kis, B.-M., Ionescu, A., Cardellini, C., Harangi, Sz., Baciú, C., Caracausi, A., Viveiros, F. 2017. Quantification of carbon dioxide emissions of Ciomadul, the youngest volcano of the Carpathian-Pannonian Region (Eastern-Central Europe, Romania). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 341: 119–130.
- Kis, B.-M., Caracausi, A., Palcsu, L., Baciú, C., Ionescu, A., Futó, I., Sarbu, S., Cardellini, C. 2019. Noble gas and carbon isotope systematics at the seemingly inactive Ciomadul volcano (Eastern-Central Europe, Romania): evidence for volcanic degassing. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(6): 3019–3043.
- Lukács, R., Caricchi, L., Schmitt, A.K., Bachmann, O., Karakas, O., Guillong, M., Molnár, K., Seghedi, I., Harangi, Sz. 2021. Zircon geochronology suggests a long-living and active magmatic system beneath the Ciomadul volcanic dome field (Eastern-Central Europe). *Earth and Planetary Science Letters*, 565: 116965.
- Molnár, K., Lukács, R., Dunkl, I., Schmitt, A.K., Kiss, B., Seghedi, I., Szepesi, J., Harangi, Sz. 2019. Episodes of dormancy and eruption of the Late Pleistocene Ciomadul volcanic complex (Eastern Carpathians, Romania) constrained by zircon geochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 373: 133–147.
- Seghedi, I., Downes, H., Szakács, A., Mason, P.R.D., Thirlwall, M.F., Roşu, E., Pécskay, Z., Márton, E., Panaiotu, C. 2011. Neogene-Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian-Pannonian region: a synthesis. *Lithos*, 72(3-4): 117–146.
- Szakács, A., Seghedi, I. 1995. The Călimani-Gurghiu-Harghita volcanic chain, East Carpathians, Romania: volcanological features. *Acta Vulcanologica*, 7(2): 145–153.

KIHÍVÁSOK A MAGYARORSZÁGI HÉVÍZKÉSZLETEK FENNTARTHATÓ HASZNOSÍTÁSÁBAN

SZÜCS PÉTER^{1*}, NYIRI GÁBOR¹

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: peter.szucs@uni-miskolc.hu, gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu

*Kapcsolattartó szerző: peter.szucs@uni-miskolc.hu

Kivonat

A Kárpát-medence és benne Magyarország geológiai adottságai révén geotermikus hasznosítás szempontjából jó lehetőségekkel bír. A földi hőáram és a geotermikus gradiens pozitív anomáliája révén, valamint a medencejelleg miatt jó geotermikus rezervoárokat találunk, amelyek hasznosítása már évtizedekkel ezelőtt elkezdődött. A gyógy- és wellnesssturizmus, a távhőszolgáltatás, valamint az agrárgazdaság is kedvező feltételek mellett működhet, azonban nem szabad megfeledkeznünk ezen hévízhasználatok környezeti hatásairól sem. A klímaváltozás hatásai, valamint a növekvő energiaigények ezen szektorban is éreztetik hatásukat. Tanulmányunkban a hazai hévízkészlet-hasznosítás kihívásait és a fenntartható hasznosítás feltételeit összegezzük.

Abstract

CHALLENGES IN THE SUSTAINABLE UTILIZATION OF THE HUNGARIAN THERMAL WATER RESOURCES

The Carpathian Basin and Hungary have good opportunities for geothermal utilization due to their geological characteristics. Due to the positive anomaly of the ground heat flow and the geothermal gradient, as well as the nature of the basin, we find good geothermal reservoirs, and their utilization began decades ago. Medical and wellness tourism, district heating services, and the agricultural economy can also operate under favorable conditions, but we must not forget about the environmental and geological impacts of these thermal water uses. The effects of climate change and higher energy needs are also making their impact felt in this sector. In our study, we summarize the challenges of domestic thermal water resource utilization and the conditions for sustainable utilization.

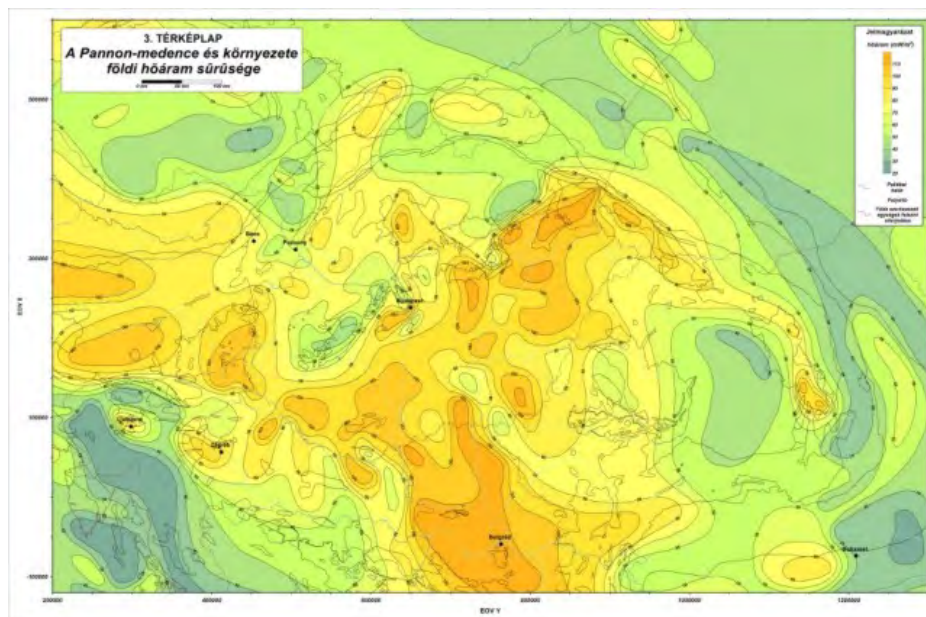
Bevezetés

Magyarország jelentős hévízkészletekkel és kiemelkedő geotermikus adottságokkal rendelkező ország. A Kárpát-medence földtani szerkezete miatt a geotermikus gradiens jelentősen meghaladja az európai átlagot, amely kedvező feltételeket biztosít a termál- és hévízkészletek hasznosításához (Szűcs & Nyiri 2025). A hévízkészletek balneológiai célú hasznosítása mellett a geotermikus energia egyre fontosabb szerepet tölt be az energiafüggetlenség, az energiabiztonság és a klímavédelmi célok megvalósításában. A hazai hévízhasznosítás több területen is meghatározó jelentőségű: a gyógy- és wellnesssturizmusban, az agrárgazdaságban, a távfűtésben, valamint egyre inkább az ipari hőenergiaellátásban is. A növekvő energiaigények és a fosszilis energiahordozóktól való függőség csökkentésének igénye tovább növeli a geotermikus energia

stratégiai jelentőségét. Ugyanakkor a hévízkészletek intenzív hasznosítása számos vízgazdálkodási, környezetvédelmi és technológiai kihívást is vet fel. A fenntartható hasznosítás alapvető feltétele, hogy a kitermelés hosszú távon ne veszélyeztesse a felszín alatti vízrendszerek állapotát.

A hazai hévízkészletek és geotermikus adottságok jelentősége

Magyarország geotermikus potenciálja európai viszonylatban kedvező. A Pannon-medence középső és déli része, illetve az Alpok egyes területei a szárazföldi átlagnál magasabb, helyenként azt lényegesen meghaladó hőáramértékekkel rendelkeznek (1. ábra). Ezek az értékek különösen magasak az alföldi mélymedencékben (pl. Alsó-tiszai-síkvidék, Jászság, Békés–Csanád). Jellemzően alacsony hőárammal jellemezhetők a karsztvidékek, elsősorban a Dunántúli-középhegység, a Bükk térsége, valamint a Gömör–Tornai-karszt. Ennek oka, hogy ezeken a területeken érvényesül a mészkőhegységek karsztos tetőszintjén a mészkőtestbe beáramló nagy mennyiségű hideg víz hűtő hatása. Ugyanakkor elmondható az is, hogy ezek a beáramló vizek fokozatosan felmelegsznek és a karsztos hegységek peremén gyakran már meleg vizű források formájában érik el újra a felszínt (Hévízi-tó, budai melegvizes források) (Timár et al. 2024). A geotermikus gradiens általában 45–60 °C/km közötti, amely lehetővé teszi a gazdaságos hőenergia-kitermelést.

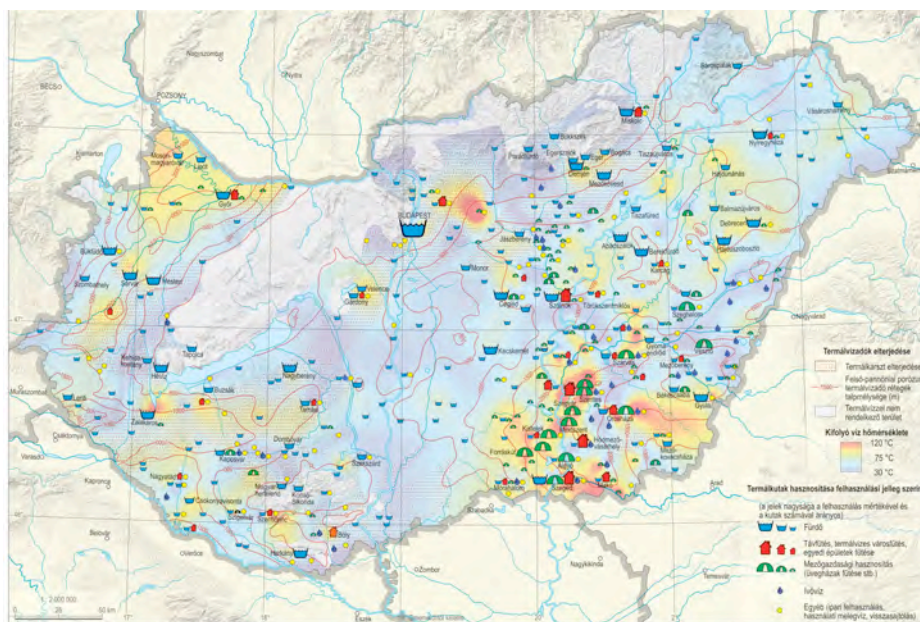


1. ábra. A földi hőáram sűrűsége a Pannon-medence területén (Gábris et al. 2024)

A legjelentősebb termálvízadó rendszerek az Alföld porózus üledékes medencében találhatók, amelyek homok és homokkő rétegekből állnak (Tóth 2012). A porózus rendszerek mellett hasadékos és karszt víztestek adják a másik jelentős termálvízkészletet. Ezek a Bükk hegységben, valamint a dunántúli és budai karsztos térségekben találhatók (Mohammed et al. 2025). Ezek a komplex hidrogeológiai rendszerek hosszú idő alatt alakultak ki, ezért különösen fontos a körültekintő és tudományos alapokon nyugvó hasznosítás.

A geotermikus energia egyik legfontosabb előnye, hogy helyben rendelkezésre álló, megújuló jellegű energiaforrás, amely alacsony szén-dioxid-kibocsátással jár.

A hévízhasznosítás Magyarországon hosszú múltra tekint vissza: gyógyturizmus, balneológia, mezőgazdasági fűtés, kommunális energiaellátás és egyre inkább ipari energetikai célok kapcsolódnak hozzá (2. ábra). Magyarországon kb. 950 működő termálkút található. A felhasznált termálvíz készlet jelentős részét fürdési, továbbá mezőgazdasági és ipari céllal hasznosítják. Az energetikai célú közvetlen hőfelhasználás kisebb mértékű. Magyarország 95 településén összesen kb. 650 000 lakásban van jelen a távfűtés (Haas et al. 2024). Az elmúlt évek energiaár-emelkedése és az energiabiztonság kérdése tovább növelte a geotermikus energia jelentőségét. Ugyanakkor a fokozódó víz- és energiaigény, az éghajlatváltozás, valamint a felszín alatti vízkészletek érzékenysége miatt egyre fontosabbá válik a fenntartható hasznosítás kérdése.



2. ábra. Geotermikus adottságok, hévizek Magyarországon (Haas et al. 2024)

Kihívások a hévízkészletek hasznosításában

A túlzott mértékű vízkivétel problémája

A fenntartható hasznosítás egyik legnagyobb kihívása a természetes utánpótlódást meghaladó hévíztermelés. Számos hazai térségben megfigyelhető a rétegyomás csökkenése és a vízszintek jelentős süllyedése, amely hosszú távon veszélyeztetheti a hévízkészletek (termál víztestek) mennyiségi és minőségi állapotát. Különösen érzékeny pl. a budapesti termálkarszt rendszer, ahol a termálvízhasználat több mint egy évszázados múltra tekint vissza. Az alföldi porózus vízadók esetében szintén jelentős problémát jelenthet a túlzott kitermelés Szentes és Hódmezővásárhely térségében. A fenntarthatóság alapelve szerint a kitermelésnek összhangban kell lennie a természetes utánpótlódás mértékével. Ennek biztosítása csak korszerű monitoringrendszerekkel és megbízható hidrodinamikai modellezéssel lehetséges. A megbízható monitoring-tevékenységre jó példa lehet a BKÉR (Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer) amely több mint 35 éve biztosít adatot a bükki karszt vízszintjeiről és annak változásáról (Miklós et al. 2021).

A visszasajtolás jelentősége és nehézségei

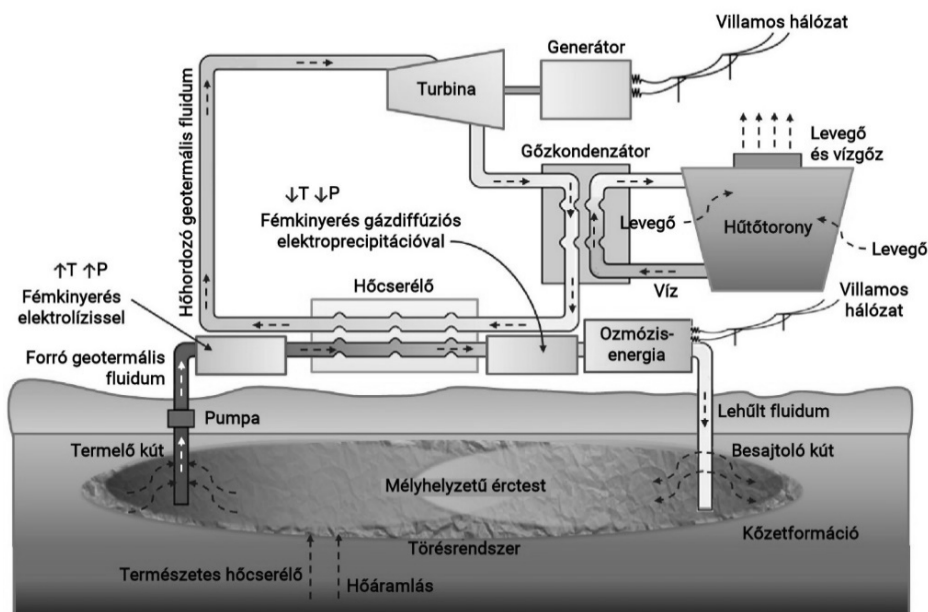
A mélyben található geotermikus rendszerek hosszú távú fenntarthatóságának egyik kulcsa a visszasajtolás alkalmazása. A visszasajtolás során a lehűlt termálvizet tervezett módon visszajuttatják a vízadó rétegekbe, amely hozzájárul a rétegyomás fenntartásához és a vízkészlet védelméhez. A jövőbeli villamosenergia-termelésben (illetve kapcsolt áram- és hőtermelés) nagy szerepet játszó perspektivikus területek a medencealjzatban 3–5 km közötti mélységben található kristályos (uralkodóan gránitos) kőzetek, amelyek a mesterségesen fejlesztett földhőrendszereket (EGS) célzó projektek kulcsterületei.

A visszasajtolás ugyanakkor jelentős műszaki kihívásokkal jár. Gyakori problémát jelent a hazai hidrogeológiai viszonyok mellett:

- az eltömődés: a porózus tározókban gyakran megfigyelhető gyors eltömődés. Az injektálhatóság helyreállítására több dokumentált műszaki megoldással rendelkezünk.
- a korrózió és vízkőképződés: ezek a problémák számos rendszerben előfordulnak, de a geotermikus folyadékok kémiai összetételéhez igazított, helyspecifikus műszaki megoldásokkal kezelhetők.
- a kedvezőtlen vízkémiai folyamatok: koncentrációváltozások különböző negatív hatású vízkémiai folyamatokat indíthatnak el.
- indukált szeizmikus események (EGS rendszereknél): nagy mennyiségű és nagy nyomással történő injektálás szeizmikus eseményeket válthat ki (Huenges 2016).

Emellett a visszasajtoló rendszerek beruházási és üzemeltetési költségei is igen magasak. Ennek ellenére hosszú távon a visszasajtolás elengedhetetlen az egyedülálló hévízkészleteink fenntartható kezelése szempontjából. Fontos

megemlítenünk azokat a komplex rendszereket is, amelyek a hévízhasznosítás mellett más nyersanyagkitermelési funkcióval is bírnak. Ilyen megoldásokat kutattunk a CHPM (Combined Heat, Power and Metal Extraction) projekt keretein belül is, ahol a kitermelt hő mellett különböző fémek kinyerésének lehetőségeit kutattuk (3. ábra).



3. ábra. Hévíz rendszerek CHPM-technológia szerinti komplex hasznosítása

Hazánk tekintetében nem szabad elmenünk amellett, hogy szénhidrogén kutatások révén rengeteg olyan kút létezik, amely szénhidrogénre meddő volt, viszont a későbbiekben megfelelő feltételek mellett hasznosíthatók termelő- vagy visszasajtoló kutakként (4. ábra). Ezen kutak hasznosítása függ a kút műszaki állapotától, a kitermelhető vízhozamtól, a kitermelhető energiamennyiségtől, valamint a kút környezetében lévő infrastruktúrától is (Szűcs et al. 2022).

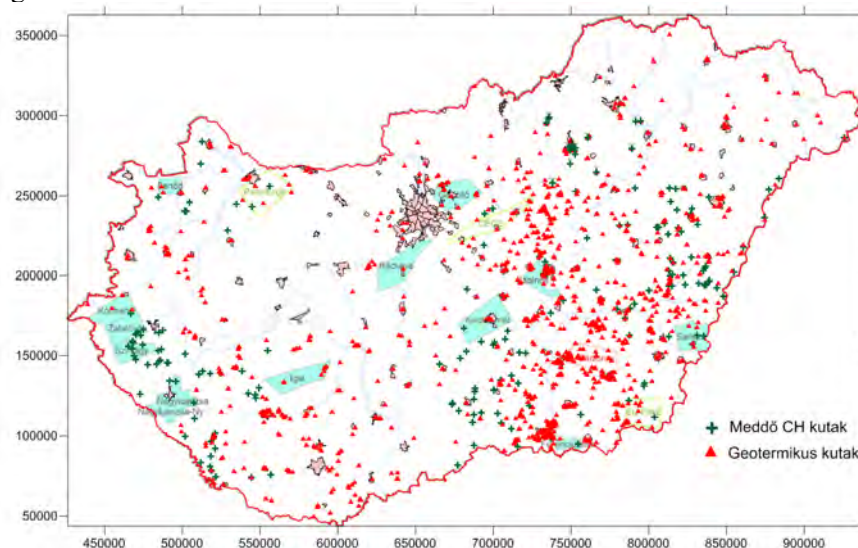
Környezetvédelmi és vízminőségi kérdések

A termálvizek gyakran magas oldottanyag-tartalommal rendelkeznek. A nem megfelelő vízelhelyezés jelentős környezeti terhelést okozhat elsősorban a befogadó felszíni vizeinkben, de akár a mezőgazdaságra és az ivóvízkészleteinkre is. Ezek a folyadékok gyakran nagy koncentrációban tartalmaznak különböző sókat, fémionokat, valamint oldott gázokat, például ammóniát. A hőszennyezés egy másik kritikus, vízzel kapcsolatos hatást jelent. A hő bevezetése a talajvíztartó rétegekbe – különösen a már meglévő szennyeződéssel terhelt városi vagy mezőgazdasági területeken – jelentős biogeokémiai eltolódásokat válthat ki (Griebler et al. 2016).

A legfontosabb környezeti kockázatok:

- felszíni vizek sóterhelése,
- talajszikesedés,
- ökológiai károk,
- biodiverzitás csökkenés
- szennyezőanyagok mobilizálódása,
- hőszennyezés (Yilmaz et al. 2017).

A környezetvédelmi előírások szigorodása miatt egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a korszerű vízkezelési technológiák és az integrált vízgazdálkodási megközelítések.

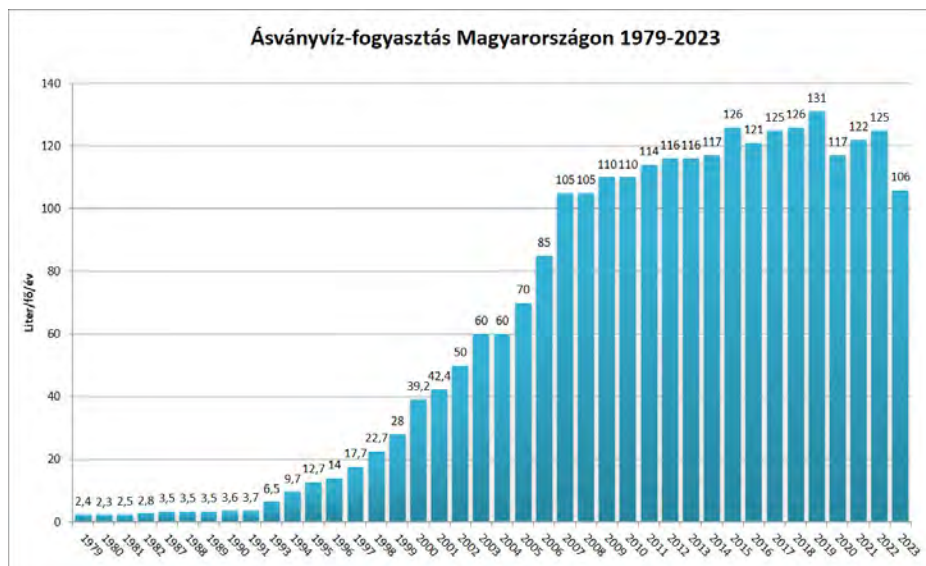


4. ábra. Jelentős számú használaton kívüli, hévíztermelésre alkalmas hévízkút Magyarországon

A klímaváltozás lehetséges hatásai a magyarországi hévízkészletekre

Az éghajlatváltozás több, egymással összefüggő módon hat a fenntartható magyarországi hévízgazdálkodásra. A legfontosabb összefüggés az, hogy a geotermikus rendszerek ugyan energetikai rendszereknek tűnnek, valójában azonban érzékeny felszín alatti vízrendszerekhez kapcsolódnak. Ezért a klímaváltozás hidrológiai és vízgazdálkodási következményei közvetlenül befolyásolják a hévízkészletek hosszú távú állapotát. Csökkenhet a felszín alatti vízkészletek természetes utánpótlódása Magyarországon. Ez az éghajlatváltozás egyik legfontosabb következménye. Ez hosszabb távon eredményezheti, hogy csökken a mélyebb vízáadó rendszerek utánpótlódása is. Az alföldi porózus rendszerek, valamint a karsztos termálvízádók egyaránt érzékenyek lehetnek ezen

hatásra. Az utánpótlódás csökkenése a termálvízadók mellett a hazai alacsony hőmérsékletű ásványvízkészletre is hatással lehet, valamint az ásványvíz fogyasztás növekvő tendenciájára (5. ábra) is negatív hatást gyakorol.



5. ábra. Ásványvíz-fogyasztás Magyarországon 1979–2023

Hőmérséklet: Hazánk éves és évszakos középhőmérsékleteinek emelkedést mutató idősora a globális tendenciákkal összhangban alakul. A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) számának csökkenése és a hóhullámos napok (napi középhőmérséklet $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) számának növekedése egyaránt a melegedő tendenciát jelzi. A kilencvenes évektől szembetűnő az extrém meleg időjárási helyzetek gyakoribbá válása is.

Csapadék: A csapadék hosszútávú átlaga egyelőre nem változik érdemben, tér és időbeli eloszlása viszont rapszodikusan alakul. Csökken a csapadékos napok száma, viszont a 20 mm-t meghaladó csapadékos napok növekedést mutatnak és a száraz időszakok hossza (amikor a napi csapadék nem éri el az 1 mm-t) is nőtt a XX. század eleje óta. A napi csapadékontenzitás, más néven átlagos napi csapadékosság a nyári időszakban szintén növekedett, ami arra utal, hogy a csapadék egyre inkább rövid ideig tartó, intenzív záporok, zivatarok formájában hull le. Ez a jelenség sok esetben veszélyes villámárvizek kialakulásához vezethet, másrészt kedvezőtlenül hat a felszín alatti vizek utánpótlódására (Ilyés et al. 2022).

Területi egyenlőtlenségek: Az egyre hosszabb csapadékmentes időszakok az emelkedő hőmérséklettel párosulva egyre szélsőségesebb aszályokat eredményeznek. A 2024. évi nyári aszály majd a szeptemberi nagy árvíz a Dunán és az azzal egyidőben jelentkező rekordközeli alacsony vízállás a Tiszán

megtapasztalhatóvá tette, hogy az éghajlatváltozás hatására a csapadék tér- és időbeli eloszlása jelentősen változik. Rámutatott arra, hogy a magyarországi időjárási és vízrajzi változások megértéséhez a tágabb környezetet is szükséges vizsgálni.

Párolgás: A csapadék vizsgálata mellett – amely vízbiztonságunk szempontjából a hidrológiai ciklus legnagyobb tényezője a bevételi oldalon – a kiadási oldalon jelentkező legjelentősebb tagnak, a párolgásnak alakulását is szükséges elemezni. A hazánkban lehulló csapadék közel 90%-a elpárolog. A csapadék mellett a párolgás havi eloszlásának elemzése is fontos tendenciát mutat az elmúlt mintegy 60 éves időszakban. A párolgás értéke a Duna vízgyűjtőjén korábban – az 1961–1990 időszakban – egy hónapban haladta meg a csapadék értékét. A következő 30 éves időszakban, 1991–2020 között a nyári félévben már 4 hónapban volt több a párolgás, mint a csapadék. A párolgás és a potenciális párolgás között is nyílik az olló, vagyis a vízgyűjtők egyre szárazabbá válnak. A gyakorlat oldaláról nézve ez azt jelenti, hogy az eddigi öntözési megoldások nem elegendőek, a vízviSSzatartás jelentősége megnőtt.

Felszín alatti vizek: A szárazabb és romló talajállapotok miatt a felszín alatti vizeket tápláló természetes csapadék-utánpótlás általános csökkenése várható. Arányaiban ez az Alföldön lesz a legnagyobb mértékű, ami ott a talajvízszint csökkenésben is tetten érhető. Az átlagos talajvízszint több méteres csökkenést mutat számos helyen az elmúlt három évtized vonatkozásában. Fokozottan veszélyeztetett jelentős vízhiányt mutat a Duna-Tisza közti hátság, a Nyírség és a Hajdúság. A helyzet súlyosságát jól jelzi, hogy ma már hazánkban is számos olyan terv készült, amely a felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlását célozza meg. A prognózisok alapján az Alföldön jelentősen csökken a kitermelhető felszín alatti víz mennyisége, legyen szó ivóvízről, vagy akár hévízről. A szárazabb időjáráshoz kapcsolható romló ökológiai állapot mellett a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák, vizes élőhelyek válhatnak veszélyeztetetté a klímaváltozás következtében. Egyértelműen látszanak a szélsőséges időjárási viszonyok hatásai a Bükk-hegységben és a Dunántúlon található karsztvízkészletek esetében is. Az ún. partiszűrős vízáradókra is hatással vannak a klimatikus változások. Különösen Budapest vízellátása lehet érintett, hiszen az itt élő közel kétfélmillió ember vízellátását jelentős kiterjedésű partiszűrős vízáradók biztosítják (Fekete et al. 2026).

Összefoglalás

A hazai hévízkészletek stratégiai jelentőségű természeti erőforrások. Magyarország hévízhasznosítása főként a balneológiára, a mezőgazdaságra, valamint a távhőszolgáltatásra korlátozódik, energetikai hasznosítása jelenleg elenyésző. Ezen erőforrásokkal való gazdálkodást nagymértékben befolyásolják a geológiai, a műszaki és klímaváltozás okozta körülmények. Ahhoz, hogy ezen fontos természeti erőforrás a jövőben is rendelkezésre álljon, komplex, összehangolt műszaki, tudományos és gazdasági tevékenység szükséges. A fenntartható

hasznosítás legfontosabb feltételei a következők:

- a készletek tudományos alapú menedzsmentje,
- a visszasajtolás fejlesztése,
- az integrált vízgazdálkodási szemlélet,
- a korszerű monitoring és modellezés,
- a stabil szabályozási környezet,
- az innováció és kutatás támogatása.

A geotermikus energia nemcsak energetikai kérdés, hanem hosszú távú vízgazdálkodási és fenntarthatósági kihívás is. A jövő egyik kulcskérdése az lesz, hogy miként tudjuk úgy növelni a geotermikus energia szerepét az energiaátmenetben, hogy közben megőrizzük felszín alatti vízkészleteink hosszú távú állapotát.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.”

Felhasznált irodalom

- Bobok E., Tóth A. (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. Magyar Tudomány, 171, 8, 926–936.
- 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.
- Fekete, E., Tóth, A., Nyiri, G., Madarász, T., Szűcs, P. (2026): Insights into riverbank filtration hydraulics through high temporal resolution analysis of transit time distributions. Appl Water Sci 16: 177
- Gábris, Gy., Pécsi M., Schweitzer F., Telbisz T. (2024): Domborzat. In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. 2., átdolg. kiad. Budapest, HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet. pp. 42–57. In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet.
- Griebler, C., Brielmann, H., Haberer, C.M., Kaschuba, S., Kellermann, C., Stumpp, C., Hegler, F., Kuntz, D., Walter-Hertkorn, S., Leuders, T. (2016) Potential impacts of geothermal energy use and storage of heat on groundwater quality, biodiversity, and ecosystem processes. Environ Earth Sci 75: 1391
- Haas, J., Brezsnyánszky, K., Budai, T., Fodor, L., Gál, N., Gombárné, F. I., Gyalog, L., Katona, G., Kovács, G., Kövér, Sz., Lesták, F., Nádor, A., Nagymarosy, A., Prakfalvi, P., Rotárné, Sz. Á., Scharek, P., Síkhegyi, F., Sszepessy, G., Szöcs, T., Török, Á., Vatai, J., Viktor, Zs., Zilahi-Sebess, L. (2024): Földtan, In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. 2. á k. Budapest, HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet.

- Huenges, E. (2016): Enhanced geothermal systems: Review and status of research and development (pp. 743–761). Woodhead Publishing.
- Ilyés, Cs., Szűcs, P., Turai, E. (2022): Appearance of climatic cycles and oscillations in Carpathian Basin precipitation data, *Hungarian Geographical Bulletin*, 71(1), 21–37.
- Mádl-Szőnyi, J., Pulay, E., Tóth, Á., Kovács-Bodor, P. (2015): Regional Underpressure: A Factor of Uncertainty in the Geothermal Exploration of Deep Carbonates, Gödöllő Region, Hungary. *Environmental Earth Sciences*, 74, 12, 7523–7538.
- Miklós, R., Lénárt, L., Darabos, E., Kovács, A., Czesznak, L., Pelczéder, Á., Szűcs, P. (2021): A Bükk hegység karsztvízkészleteinek feltárása és hasznosítása, *Hidrológiai Közöny*, 101(2), 31–43.
- Mohammed, M.A.A., Miklós, R., Darabos, E., Tóth, M., Lénárt, L., Mohammed, S. H., Szabó, N. P., Szűcs, P. (2025): Machine learning-driven imputation and short-term forecasting of water levels in the karstic system of the Bükk Mountains, Northern Hungary. *Hydrogeol J* 33, 1803–1823.
- Szanyi, J., Kovács, B. (2010) Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. *Geothermics*, 39, 357–364.
- Székel F. (2010): Hévízeink és hasznosításuk. *Magyar Tudomány*, 171, 12, 1473–1485.
- Somlyódy L. (szerk.) (2011): Köztestületi Stratégiai Programok. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Budapest: MTA.
- Szűcs, P., Kompár, L., Palcsu, L., Deák, J. (2015): Estimation of Groundwater Replenishment Change at a Hungarian Recharge Area. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10, 4, 227–246.
- Szűcs, P., Nyiri, G. (2025): A klimatikus változások hatása a hazai felszín alatti vízkészletekre, *Scientia et Securitas*, 6(1-2): 107–115.
- Szűcs, P., Turai, E., Márai, V., Vass, P., Miklós, R., Zákányi, B., Ilyés, Cs., Fekete, Zs., Kilik, R., Móricz, F., Nyiri, G., Szilvási, M., Szabó, N., P. (2022): Innovation in assessment of the geothermal energy potential of abandoned hydrocarbon wells in the southern and southeastern foreground of the Bükk Mountains, northeast Hungary. *Hydrogeol J* 30, 2267–2284.
- Timár, G., Fancsik, T., Galsa, A., Mónus, P., Tóth, L. (2024): Geofizika. In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. 2., átdolg. kiad. Budapest, HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet. pp. 36–38.. In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet.
- Tóth, A. (2012): Geothermal energy production and utilization in Hungary, *Geosciences and Engineering* 1(1), 315–319.
- Yilmaz, E., Kaptan, M. A., (2017): Environmental impact of geothermal power plants in Aydin, Turkey, *International Conference Energy, Environment and Material Systems*, 19.

CO₂ ÉS Rn-222 EGYÜTTES FOGLALKOZÁSI EXPOZÍCIÓ GEOTERMIKUS ENERGIATERMELŐ LÉTESÍTMÉNYEKBEN ÉS TERMÁLVÍZ-HASZNOSÍTÁS KAPCSÁN: KOCKÁZATBECSLÉSI ÉS SZABÁLYOZÁSI KIHÍVÁSOK

ZÁKÁNYI BALÁZS^{1*}, ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS RENÁTA²,
BARACZA MÁTYÁS KRISZTIÁN²

¹Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet (VKGI), 3515 Miskolc-
Egyetemváros, balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, 3515 Miskolc-
Egyetemváros

*Kapcsolattartó szerző: balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

Kivonat

A geotermikus energiatermelő létesítményekben és a termálvíz-hasznosítás során a fluidumból felszabaduló nem kondenzálható gázok (NCG) – elsősorban szén-dioxid (CO₂) és radon (Rn-222) – egyidejűleg vannak jelen a munkaterületen. Bár mindkét ágens önmagában is szabályozott, együttes foglalkozási expozíciójuk lehetséges fiziológiai kölcsönhatása és annak sugárvédelmi jelentősége eddig nem képezte szisztematikus tudományos elemzés tárgyát. Jelen szisztematikus irodalmi áttekintés célja a CO₂-indukált hiperventiláció által fokozott Rn-222 inhalációs dózis mechanizmusának feltárása, a hazai és EU-s szabályozási keretek hiányosságainak azonosítása, valamint integrált kockázatértékelési módszertan javaslata. Az ICRP Publication 137 dózismodelljére épülő elméleti megközelítés alapján a CO₂ által kiváltott légzésfokozódás potenciálisan növelheti a radon-leányelemek inhalációjából származó tüdődózist, amely hatást a jelenlegi határértékrendszer nem vesz figyelembe.

Magyarországi vonatkozásban a Rudas-fürdő forrásaiban ~600 Bq/L, az Egri Török Fürdőben 301–403 Bq/m³ beltéri radonkoncentrációt dokumentáltak; az egyedüli ismert hazai forrásban – Mátraderecskei Szén-dioxid Gyógygázfürdő (mofetta) – egyidejűleg 85 tf% CO₂ és 110–120 kBq/m³ Rn mérték. A „Magyarország mélyfűrésű kútjainak katasztere” (SZTFH, 2024) rendszeres CO₂- és Rn-adatot nem tartalmaz – ez önmagában is fontos kutatási hiányosság.

Kulcsszavak: geotermikus energia; radon; szén-dioxid; foglalkozási expozíció; hiperventiláció; kockázatértékelés; TENORM; Pannon-medence

Abstract

COMBINED OCCUPATIONAL EXPOSURE TO CO₂ AND Rn-222 DURING GEOTHERMAL POWER GENERATION AND THERMAL WATER UTILIZATION: RISK ASSESSMENT AND REGULATORY CHALLENGES

In geothermal energy facilities and thermal water utilization systems, non-condensable gases (NCGs) released from the geothermal fluid – primarily carbon dioxide (CO₂) and radon (Rn-222) – may be simultaneously present in the occupational environment. Although both agents are individually regulated, the potential physiological interaction between their combined occupational exposure and its radiological significance have not yet been systematically assessed.

The aim of this systematic literature review is to examine the mechanism by which CO₂-induced increases in pulmonary ventilation may influence the inhalation dose arising

from radon progeny, to identify gaps in Hungarian and European regulatory frameworks, and to propose an integrated risk assessment approach. Based on a theoretical interpretation of the ICRP Publication 137 dose model, increased respiratory ventilation caused by elevated CO₂ concentrations may lead to an increased inhalation dose from radon decay products; however, this effect is not explicitly considered in currently applied occupational exposure limits and dose assessment methodologies.

In Hungary, radon concentrations of approximately 600 Bq/L have been reported in the thermal springs of the Rudas Bath, while indoor radon concentrations of 301–403 Bq/m³ have been documented in the Eger Turkish Bath. In addition, the only nationally recognized therapeutic gas for which both parameters have been reported contains approximately 85 vol% CO₂ and 110–120 kBq/m³ Rn. The Hungarian deep-well register (SZTFH, 2024) does not systematically include either CO₂ or Rn data, highlighting a significant research and monitoring gap.

The results suggest that the potential relationship between CO₂-induced ventilation changes and radon dose assessment warrants further experimental investigation and may have implications for occupational radiation protection and geothermal workplace safety.

Keywords: geothermal energy; radon; carbon dioxide; occupational exposure; hyperventilation; risk assessment; TENORM; Pannonian Basin

1. Bevezetés

Magyarország a Pannon-medence kedvező geotermikus adottságainak köszönhetően Európa egyik legjelentősebb közvetlen geotermikusenergia-hasznosító országa. Az átlagos geotermikus gradiens mintegy 45 °C/km, míg a hőáram 90–100 mW/m², ami Közép-Európában kiemelkedően kedvező értéknek számít (Szanyi et al. 2021). A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) nyilvántartása szerint hazánkban 1622 regisztrált geotermikus kút üzemel, amelyek évente összesen mintegy 25 millió m³ termálvizet termelnek (Tóth & Nyikos 2017). Budapest termálvíz-hasznosítása több mint 2000 éves múltra tekint vissza. A Rybach (2019) által összefoglalt európai adatok szerint Magyarország az EU geotermikus hőfelhasználásában vezető helyen szerepel.

A geotermikus fluidumokból felszabaduló nem kondenzálható gázok (non-condensable gases, NCG) összetételének 85–99 tf%-a szén-dioxid (CO₂); emellett hidrogén-szulfid (H₂S), ammónia, nitrogén, metán és radon (Rn-222) is jelen van (DiPippo 2015; Ármannsson 2017). Míg a H₂S alacsony koncentrációban is érzékelhető jellegzetes szaga révén, a CO₂ és a Rn-222 szín- és szagtalan gázok, amelyek szenzoros észlelés nélkül érhetik el a veszélyes koncentrációt. A Bükkszéki Salvus (540 m, 39–40 °C) 22 205 mg/L összes oldottanyag-tartalmával, a savanyúvizek (Balatonfüred, Mihályi, Répcelak) magas szabad CO₂-tartalmával, a Rudas-fürdő ~600 Bq/L radonkoncentrációjával (Baradács et al. 2001), illetve az Egri Török Fürdő 301–403 Bq/m³ beltéri radonszintjével (Shahrokhi et al. 2016) jól illusztrálják, hogy a magyarországi termálvíz-hasznosítás nemcsak gazdaságilag, hanem munkavédelmi szempontból is kiemelkedő relevanciával bír.

A munkavédelmi irodalom mindkét ágensre kiterjedt kutatási bázissal rendelkezik: a CO₂ foglalkozási határértékei és élettani hatásai jól dokumentáltak

(ACGIH 2017; NIOSH 1976), a radon tüdőrák-kockázata szintén alaposan vizsgált (BEIR VI 1999; ICRP 115, 2010). Egyidejű, azonos munkahelyen megjelenő CO₂- és Rn-222-expozíció esetén fellépő lehetséges fiziológiai kölcsönhatásokkal azonban a szakirodalom eddig nem foglalkozott szisztematikusan. A feltételezett kölcsönhatás mechanizmusa az alábbi folyamaton alapul: a megemelkedett CO₂-koncentráció légúti kemoreceptor-stimuláción keresztül hiperventilációt vált ki, növelve a percventilációt. A magasabb percventiláció – azonos Rn-aktivitáskoncentráció mellett – arányosan fokozza a radon-leányelemek (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) inhalációs dózisát (NRC 1991; ICRP Publication 137, 2017). Ezt az összefüggést a jelenlegi munkahelyi határértékek egyike sem veszi figyelembe.

Jelen tanulmány célkitűzései: (1) a CO₂-expozíció és a radondózis közötti potenciális fiziológiai kapcsolat értelmezése az ICRP dózismodellek tükrében; (2) a hazai és EU-s szabályozói keret elemzése; (3) magyarországi mérési adatok és adatbázisok feltárása; (4) integrált kockázatértékelési módszertani javaslat kidolgozása.

2. Anyag és módszer

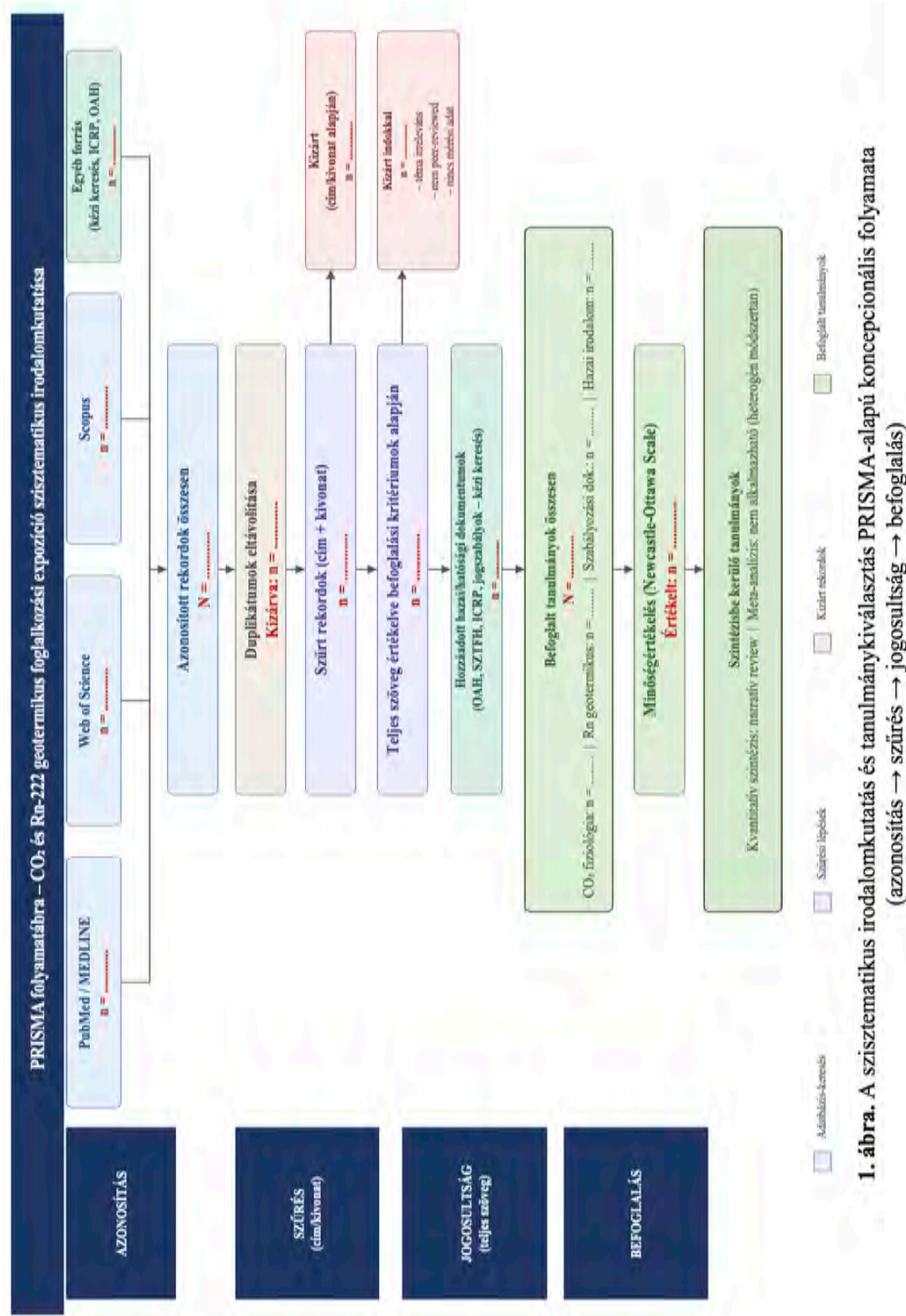
2.1. Irodalomkutatási stratégia

Jelen tanulmány szisztematikus irodalmi áttekintés (systematic review) módszertanával, a PRISMA 2020 irányelvek alapján készült. Az irodalomkutatás 2026 januárjától március végéig tartott a PubMed/MEDLINE, Web of Science Core Collection, Scopus és Google Scholar adatbázisokban. A keresési időhorizont 1990–2026, kiegészítve klasszikus alapmunkákkal (BEIR VI 1999; ICRP Publication 66, 1994; Glatte et al. 1967).

Az alkalmazott keresési karakterláncok: (geothermal OR "thermal water" OR "hot spring") AND (radon OR "Rn-222") AND (occupational OR worker OR workplace); ("carbon dioxide" OR CO₂) AND radon AND (synergism OR hyperventilation OR "breathing rate"); (TENORM OR "naturally occurring radioactive") AND geothermal. A találatokat két független értékelő szűrte befoglalási/kizárási kritériumok alapján.

Befoglalási kritériumok: peer-reviewed eredeti közlemények és szisztematikus áttekintők (1990–2026); ICRP, WHO, EU jogszabályok és technikai dokumentumok; hazai jogszabályok és hatósági dokumentumok; angol, magyar és olasz/izlandi (geotermikus témában) nyelvű közlemények.

Kizárási kritériumok: <10 vizsgálati alanyt tartalmazó esettanulmányok (kivéve egyedi hazai adatközlések); 1990 előtti közlemények (kivéve nevesített alapmunkák); nem foglalkozási expozíciót vizsgáló radon-lakóépületi tanulmányok (ha nem tartalmaz geotermikus adatot). Az irodalomkutatás és a tanulmánykiválasztás módszertani felépítését a PRISMA alapelvek szerint kialakított folyamatábra szemlélteti (1. ábra). A keresés során azonosított rekordok, a kizárási lépések és a végül bevont közlemények számát a 2. ábra mutatja be.



1. ábra. A szisztematikus irodalomkutatás és tanulmánykiválasztás PRISMA-alapú koncepcionális folyamata (azonosítás → szűrés → jogosultság → befoglalás)



2.2. Adatkinyerés és minőségértékelés

Az adatkinyerés standardizált űrlapokkal történt, amelyek rögzítik: helyszín, létesítménytípus, mért CO₂- és Rn-koncentrációk, munkavállalói expozíciós adatok, dózisbecslési módszer, jogszabályi kontextus, CO₂–Rn kölcsönhatásra vonatkozó adatok. A tanulmányok minőségét a Newcastle-Ottawa Scale (NCS) alapján értékelték.

2.3. Hazai adatbázisok vizsgálata

A magyarországi geotermikus vízminőségi adatok feltárásához a következő forrásokat vizsgáltuk: SZTFH Országos Kútataszter (XLVI. kötet, 2023); HUGEO (Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár); OAH sugárvédelmi nyilvántartások; NNK vízminőségi adatok. A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet előírja a termelt víz gáztartalmának vizsgálatát, ezért egyes vízföldtani naplókban CO₂-adatok is szerepelhetnek.

3. Eredmények

3.1. A CO₂ mint foglalkozási veszély geotermikus létesítményekben

A geotermikus fluidum szén-dioxid-tartalma rendkívül tág határok között változik: az izlandi flash-erőművekben ~0,34 kg CO₂/MWh, az olasz szárazgőz-üzemekben (Larderello, Mt. Amiata) akár 330 kg CO₂/MWh is lehet (Bertani & Thain 2002; Fridriksson et al. 2016). Zárt gépházi terekben, kútpincékben és szeparátor-karbantartás során a CO₂-koncentráció elérheti az 5000–20000 ppm-es tartományt. A CO₂ sűrűsége (~1,98 kg/m³ 15 °C-on) meghaladja a levegőét (~1,22 kg/m³), ezért mélyfekvésű, zárt terekben feldúsulhat és az oxigén kiszorítása révén halálos baleseteket okozhat (Carfora et al. 2019; Durand & Scott 2005).

A CO₂ ventilációs stimulációs hatása jól dokumentált: a belégzett CO₂ 1%-os emelkedése az alveoláris P_{CO₂}-t ~8 Hgmm-rel emeli, ami 2–3 L/min percventiláció-növekedéssel jár; 3%-os belégzett CO₂-nál a ventiláció megközelítőleg megduplázódik (Glatte et al. 1967; Schaefer 1958; Read 1967). Jelenleg érvényes határértékek: Magyarország (5/2020. ITM r.): ÁK = 9000 mg/m³ ≈ 5000 ppm (8 óra TWA); ACGIH TLV-TWA: 5000 ppm; EU 2017/164/EU irányelv: 9000 mg/m³. Kritikus: a CO₂ közvetlen toxicitása alapján meghatározott határértékek nem veszik figyelembe annak radon-dózisra gyakorolt közvetett hatását (Azuma et al. 2018).

3.2. A Rn-222 mint foglalkozási veszély – hazai és nemzetközi adatok

A Rn-222 (felezési idő: 3,82 nap) a geotermikus fluidumban oldott Ra-226 bomlástermékeként képződik és a kitermelés során a fluidumból kigázosodik. A geotermikus csőrendszerek, hőcserélők és szeparátorok belső felületén rádiumban dúsult TENORM-lerakódás (scale) képződik, amely potenciális másodlagos radonforrásként működhet és hozzájárulhat a munkahelyi Rn-222 koncentráció kialakulásához – karbantartási munkák során ez fokozott expozíciót jelent (Shinonaga et al. 2023; Leonardi et al. 2024).

1. táblázat. Geotermikus munkahelyi főbb gázkomponensek és vonatkozó munkahelyi határértékek

Komponens	Forrás a rendszerben	Tipikus koncentráció	Munkahelyi határérték (Magyar)
CO ₂	NCG 85–99 t%-a; fluidum kigázósodása	500–5000 ppm (gépház); >5000 ppm (akna)	ÁK: 9000 mg/m ³ (5000 ppm)/8 óra – 5/2020. ITM r.
Rn-222	Ra-226 bomlása; TENORM-lerakódás	100–1000 Bq/m ³ (üzem); >1000 Bq/m ³ (karbantartás)	Referencia: 300 Bq/m ³ éves átlag – 2/2022. OAH r.
H ₂ S	Kénes geotermikus rendszerek	0,01–10 ppm (normál); >10 ppm veszélyes	ÁK: 7 mg/m ³ (1 ppm)/8 óra – 5/2020. ITM r.
O ₂ -hiány	CO ₂ és H ₂ S kiszorítása	<19,5 tf % → veszélyes tér	Min. 19,5 tf % O ₂ (zárt téri belépési korlát)

Megjegyzés: a koncentrációtartományok tájékoztató jellegűek; helyszínspecifikus mérések szükségesek.

Az IARC a Rn-222-t bizonyított humán karcinogénnek (1-es csoport) minősíti. A BEIR VI (1999) alapján a nominális kockázati koefficiens $\sim 2,8 \times 10^{-4}$ /WLM, amelyet az ICRP 115 (2010) 5×10^{-4} /WLM értékre emelt. Az európai pooled analízis (Darby et al. 2005) 13 eset-kontroll vizsgálat adatai alapján kimutatta, hogy a lakóépületekben mért radonkoncentráció 100 Bq/m³-rel történő növekedése 16%-kal növeli a tüdőrák kockázatát 95% CI: 5–31%.

Magyarországi vonatkozásban kiemelkedő adatot közöl Baradács et al. (2001): a Rudas-fürdő (Budapest, Gellért-hegy) forrásaiban ~ 600 Bq/L radonkoncentrációt mértek – ez hazánk felszín alatti vizeinek egyik legmagasabb ismert értéke. Shahrokhi et al. (2016) három magyar gyógyfürdőben (Eger, Parádszék, Igal) végzett CR-39 passzív detektoros mérései szerint az egeri Török Fürdő főmedencéjében 403 Bq/m³, kis medencéjében 315 Bq/m³, pezsgőfürdőjében 354 Bq/m³ éves átlagos beltéri radonkoncentrációt regisztráltak – mindhárom érték meghaladja a 2/2022. OAH rendelet 300 Bq/m³ referenciaszintjét. A Hévízi-tó melletti kórházban dolgozók sugárterhelése 2,15–3,95 mSv/év volt (Somlai et al. 2007).

3.3. CO₂ és Rn-222 együttes expozíció – egy potenciális dóziszfokozó mechanizmus

A CO₂–Rn-222 együttes foglalkozási expozíció esetén feltételezett dóziszfokozó hatás alapja a légzés szabályozásának élettani mechanizmusában

keresendő. A CO₂ a leghatékonyabb ventilációs stimuláns: a medulla oblongata centrális kemoreceptorai a vér P_{CO₂}-jának növekedésére válaszul fokozzák a légzési frekvenciát és a tidal volument (Duffin 2005). Az ICRP humán légúti modell (ICRP Publication 66, 1994) a tüdő dózis kiszámításakor expliciten alkalmaz légzési paramétereket; az ICRP Publication 137 (2017) külön dóziskoefficienseket közöl ülő, könnyű és nehéz munkát végző személyre (Harrison & Marsh 2012).

2. táblázat. Rn-222 mérési adatok magyarországi geotermikus és gyógyvíz-létesítményekből

Helyszín	Rn-koncentráció (vízben)	Beltéri Rn (levegőben)	Forrás
Rudas-fürdő (Budapest)	~600 Bq/L	Nem mért	Baradács et al. 2001
Gellért-fürdő, Rác-fürdő (Budapest)	<100 Bq/L	Nem mért	Baradács et al. 2001
Mezőkövesd gyógyfürdő	Kiemelkedő Ra-226 (>1 Bq/L)	Nem mért	Baradács et al. 2001
Egri Török Fürdő	Nem mért	301–403 Bq/m ³ (>referencia!)	Shahrokhi et al. 2016
Parád gyógyfürdő	Nem mért	159 ± 19 Bq/m ³	Shahrokhi et al. 2016
Igal gyógyfürdő	Nem mért	176 ± 27 Bq/m ³	Shahrokhi et al. 2016
Hévíz (kórházi dolgozók)	Nem mért	Dózis: 2,15–3,95 mSv/év	Somlai et al. 2007
Magyarországi termálfürdők a V4 összehasonlító vizsgálatban	0,5–384 Bq/L	<400–>1000 Bq/m ³	Müllerová et al. 2016

Forrás: Baradács et al. (2001), Shahrokhi et al. (2016), Somlai et al. (2007), Müllerová et al. (2016).

CO₂-indukált hiperventiláció esetén a percventiláció meghaladja a „nehéz fizikai munka” ICRP-kategória értékét. Emelkedett CO₂-koncentráció esetén a percventiláció fokozódása várható, amely a belélegzett radon-bomlástermékek mennyiségét is növelheti. Az ICRP jelenlegi dózismodelljei a fizikai aktivitásból

származó ventilációváltozást kezelik, ugyanakkor a környezeti CO₂-koncentráció által módosított légzési válasz explicit figyelembevételét nem tartalmazzák. A jelenség szemléltetésére egy egyszerűsített koncepcionális összefüggés javasolható:

$$D_{\text{kor}} = D_{\text{alap}} \times f_{\text{CO}_2} = D_{\text{ICRP}} \times (MV_{\text{CO}_2} / MV_{\text{alap}})$$

ahol D_{alap} az ICRP Publication 137 szerinti dózis a mért Rn-koncentráción és munkakategórián; MV_{CO_2} a CO₂-indukált periventiláció; MV_{alap} az adott munkakategória alapventilációja; $f_{\text{CO}_2} \approx 1 + 0,0003 \times (C_{\text{CO}_2} - 400)$. Az összefüggés kizárólag szemléltető célú közelítésként értelmezendő; alkalmazhatóságának megítéléséhez és paramétereinek meghatározásához célzott kísérleti validáció szükséges.

3. táblázat. A periventiláció lehetséges hatása a radonból származó inhalációs dózisra – koncepcionális szemléltető modell

Légzési állapot / CO ₂ szint	Percventiláció (m ³ /h)	ICRP kategória	Relatív radon-dózis (ülő-munka = 1,0)
Ülő irodai munka (<1000 ppm CO ₂)	0,45	Ülő (ICRP Publication 137)	1,0
Könnyű fizikai munka (1000–2000 ppm CO ₂)	0,86	Könnyű munka (ICRP Publication 137)	~1,9
Közepes fizikai munka (2000–5000 ppm CO ₂)	1,20	Nehéz munka (ICRP Publication 137)	~2,7
Becsült CO ₂ -indukált hiperventiláció (>5000 ppm)	1,5–2,5*	Extrapoláció (nem modellezett)	~3,5–5,5*

* A táblázat utolsó sorában szereplő értékek koncepcionális, szemléltető becslések, nem pedig közvetlen mérési eredmények. Az alkalmazhatóság igazolásához célzott kísérleti validáció szükséges.

Az egyedüli ismert hazai forrás, ahol a CO₂ és Rn-222 egyidejűleg dokumentált: a hazai elismert gyógygáz (mofetta, Mátraderecske), amely 85 tf% CO₂-t és 110–120 kBq/m³ radont tartalmaz. Ez az adat jól szemlélteti a jelen tanulmányban tárgyalt potenciális kölcsönhatás gyakorlati jelentőségét.

3.4. A hazai szabályozási keret és hiányosságai

Magyarországon a geotermikus létesítményekben foglalkoztatottak CO₂- és Rn-expozícióját két párhuzamos szabályozási rendszer fedi le, amelyek között intézményi és módszertani részonosítható. A kémiai expozíciót az 5/2020. ITM rendelet, a sugárvédelmi expozíciót a 2/2022. OAH rendelet szabályozza, a TENORM-lerakódásokat a 47/2003. ESzCsM rendelet érinti. Nincs egyetlen jogszabály, amely a CO₂ és Rn-222 együttes expozícióját geotermikus összefüggésben kezelné.

4. táblázat. A geotermikus CO₂–Rn foglalkozási expozíció hazai szabályozási kerete

Jogszabály	Tárgya	Geotermikus vonatkozás
5/2020. (II. 6.) ITM rendelet	Kémiai kóroki tényezők	CO ₂ ÁK: 9000 mg/m ³ ; H ₂ S ÁK: 7 mg/m ³ ; kockázatértékelési kötelezettség
2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet	Ionizáló sugárzás elleni védelem	Rn-222 referencia: 300 Bq/m ³ ; foglalkozási dózishatár: 20 mSv/év; 6 mSv/év felett a munkavégzés tervezett foglalkozási expozíciónak minősül.
47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet	TENORM-szabályozás	Ra-226/Ra-228 dúsulás; geotermikus termálvizek kezelése a TENORM-tevékenységek listáján szerepel
1114/2019. (III. 13.) Korm. határozat	Nemzeti Radon Cselekvési Terv	Fokozott kockázatú munkahelyek monitoring kötelezettsége
203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet (Bt. Vhr.)	A bányászati törvény végrehajtása	Geotermikus energia engedélyezési szabályai (Bt. 22/B. §-hoz); geotermikus munkavédelmi rendelkezések hiányoznak
1993. évi XLVIII. tv. (Bányatörvény)	Bányászati tevékenység	§22/B geotermikus energia; alaptörvényi keret

Forrás: Magyar jogszabályok; saját elemzés

Azonosított hiányosságok: (1) nincs egységes CO₂+Rn integrált mérési kötelezettség geotermikus létesítményekre; (2) a Nemzeti Radon Cselekvési Terv (1114/2019 Korm. hat.) nem nevesíti a geotermikus létesítményeket fokozott kockázatú munkahelyként; (3) a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény és

végrehajtási rendelete [203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet] a geotermikus energia engedélyezésére vonatkozó rendelkezései nem tartalmazzak gázmonitoring-vonatkozású munkavédelmi előírásokat; (4) a „Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere” (SZTFH, XLVI. kötet, 2024) nem tartalmaz rendszeres CO₂- és Rn-adatokat.

3.5. Hazai geotermikus adatbázisok és a CO₂–Rn adathiány

A Pannon-medence mélységi vizeinek $\delta^{13}\text{C}$ -adatai magmás/köpenyi CO₂-eredetre utalnak (Varsányi et al. 1997). A termálvízzel érintkező felszíni vízfolyásokban a CO₂ kigázosodása karbonátkiválást okoz – ez csak magas oldott CO₂-tartalom esetén lehetséges (Kovács-Bodor 2020). A 101/2007. KvVM rendelet előírja a gáztartalom vizsgálatát; a vízföldtani naplókban szereplő CO₂-adatok az SZTFH HUGEO adattárából e-papíron igényelhetők (Magyar Vízkútőrők Egyesülete 2023).

Egységes, nyilvánosan elérhető, CO₂- és Rn-t egyidejűleg tartalmazó hazai geotermikus kút-adatbázis jelenleg nem létezik. Ez a hiány munkavédelmi (határértékek ellenőrzése), szabályozási (monitoring kötelezettség igazolása), TENORM-kezelési és tudományos (a feltételezett CO₂–Rn kölcsönhatás empirikus validálása) szempontból egyaránt kritikus.

4. Tárgyalás

A szerzők ismeretei szerint jelen áttekintés az elsők között vizsgálja a CO₂-expozíció és a radondózis közötti potenciális kapcsolatot geotermikus munkakörnyezetben. A tanulmány legfontosabb eredménye annak bemutatása, hogy a CO₂-indukált légzésfokozódás élettani mechanizmusa alapján összefüggésbe hozható a radonból származó inhalációs dózis növekedésével, amelynek mennyiségi meghatározása további méréseket és validációt igényel.

A geotermikus munkavállalói egészségügyi irodalom (Bustaffa et al. 2020; Hansell et al. 2006) elsősorban a H₂S epidemiológiai hatásait vizsgálja; a CO₂-expozíció és a radondózis közötti kapcsolat kutatása jelenleg kevésbé vizsgált terület. Az egyetlen közvetetten kapcsolódó közlemény Shahrokhi et al. (2015), amely a CO₂-koncentráció és a RAD7 radonmérő hatékonyságának összefüggését vizsgálta – ez módszertani, nem dózisbiológiai szempont. A TENORM-irodalom (Shinonaga et al. 2023; Leonardi et al. 2024) a karbantartási munkások belső dózisértékeit elemzi, de CO₂-korrekciót nem alkalmaz.

Magyarországi vonatkozásban a Shahrokhi et al. (2016) által mért, a 300 Bq/m³ referenciaszintet meghaladó egri értékek (303–403 Bq/m³) különösen figyelemre méltók: ha a munkavállalók egyidejűleg CO₂-expozíciónak is ki vannak téve – ami geotermikus forrású termálvíz esetén valószínű –, a tényleges radon-dózis bizonyos esetekben eltérhet a jelenlegi standard modelleken alapuló becsléstől, amelynek mértékét helyszíni mérésekkel szükséges tisztázni. A Somlai et al. (2007) által közölt 2,15–3,95 mSv/év dolgozói dózis a 2/2022. OAH rendelet 6 mSv/év tervezett

expozíciós küszöbéhez közelít; a CO₂-indukált ventilációváltozás figyelembevétele egyes esetekben a becsült dózis növekedését eredményezheti, ennek mértéke azonban további validációt igényel.

A tanulmány fő korlátai: (1) közvetlen mérési adatok hiánya – a CO₂-indukált ventilációs korrekció empirikus validálása geotermikus munkakörülmények között nem történt meg; (2) az ICRP Publication 137 dóziskoefficiensek általános munkakörülményekre vonatkoznak; a geotermikus aeroszol-összetétel (hőmérséklet, páratartalom, részecske-méreteloszlás) specifikus számítást igényelne; (3) hazai geotermikus létesítményekből szisztematikus munkavállalói expozíciós adatok nem állnak rendelkezésre; (4) a CO₂-légzési válasz egyéni variabilitása (COPD, asztma) nem modellezett.

5. Következtetések

Jelen szisztematikus irodalmi áttekintés alapján az alábbi következtetések és kutatási hipotézisek fogalmazhatók meg:

- A CO₂ és Rn-222 együttes foglalkozási expozíció magyarországi geotermikus és termálvizes létesítményekben fennáll, különösen zárt gépházi terekben, kútpincékben és karbantartási munkák során. Az egyidejű monitoring hiánya komoly munkavédelmi kockázatot jelent.
- A CO₂-indukált légzésfokozódás potenciálisan növelheti a radon-leányelemek inhalációjából származó sugárterhelést. Ennek nagysága jelenleg bizonytalansággal terhelt, ezért célzott munkahelyi mérések és kísérleti validáció szükséges.
- Magyarország termálvizes létesítményeiben (Rudas-fürdő, Egri Török Fürdő) mért radon-értékek részben meghaladják a 300 Bq/m³ referenciaértéket. CO₂-korrekció alkalmazása esetén a becsült sugárterhelés növekedhet, azonban ennek mértéke további helyszíni méréseket és validációt igényel.
- A hazai jogszabályi keret (5/2020. ITM r.; 2/2022. OAH r.; 47/2003. ESzCsM r.) két párhuzamos rendszerben kezeli a kémiai és sugárvédelmi expozíciót. Geotermikus kontextusban ezek szintézise, egységes monitoring kötelezettséggel, indokolt.
- Ajánlott: (a) a Nemzeti Radon Cselekvési Terv kiterjesztése geotermikus munkahelyekre; (b) a bányászati törvény végrehajtási rendeletének [203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet] kiegészítése gázmonitoring-előírásokkal; (c) az OAH és az SZTFH közös geotermikus munkahigiénés iránymutatásának kidolgozása; (d) szisztematikus CO₂ + Rn egyidejű mérési program indítása magyarországi geotermikus létesítményekben.

Irodalomjegyzék

Magyar és hazai vonatkozású irodalmak

- Baradács, E., Hunyadi, I., Dezső, Z., Csige, I., Szerbin, P. 2001. ^{226}Ra in geothermal and bottled mineral waters of Hungary. *Radiat. Meas.*, 34: 385–390.
- Kovács-Bodor, P. 2020. Termálvíz megcsapolódáshoz köthető vízkémiai és kiválási folyamatok kísérleti tanulmányozása. Doktori (PhD) disszertáció. ELTE TTK, Budapest. 173 p.
- Magyar Vízkútőrök Egyesülete. 2023. Hogyan juthat hozzá a vízföldtani adatokhoz az SZTFH adattárából? Hírek, 2023. december 4. www.vizkutfurok.hu/hirek?event=49
- Müllerová, M., Mazur, J., Blahušiak, P., Grządziel, D., Holý, K., Kovács, T., Kozak, K., Nagy, E., Neznal, M., Neznal, M., Shahrokhi, A. 2016. Preliminary results of radon survey in thermal spas in V4 countries. *Nukleonika*, 61(3): 303–306.
- Rybach, L. 2019. A geotermikus energia helyzete világszerte. *Magyar Tudomány*, 180(12): 1789–1798.
- Shahrokhi, A., Nagy, E., Csordás, A., Somlai, J., Kovács, T. 2016. Distribution of indoor radon concentrations between selected Hungarian thermal baths. *Nukleonika*, 61(3): 333–336.
- Somlai, J., Torma, Á., Dombovári, P., Kávási, N., Nagy, K., Kovács, T. 2007. Contribution of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{234}U and ^{238}U radionuclides to the occupational and patient exposure in Heviz-spas in Hungary. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 272(1): 101–106.
- SZTFH. 2024. Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere – XLVI. kötet (2023). Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Budapest. sztfh.hu/nyilvantartasok/orszagok-kutkataszter
- Szanyi, J., Nádor, A., Madarász, T. 2021. A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében. *Földtani Közlöny*, 151(1): 79–102.
- Tóth, A., Nyikos, A. 2017. The Geothermal Database and Atlas of Hungary. *GRC Transactions*, 41: 119.
- Varsányi, I., Matray, J. M., Kovács, L. Ó. 1997. Geochemistry of formation waters in the Pannonian Basin (southeast Hungary). *Chem. Geol.*, 140(1–2): 89–106.

Nemzetközi irodalom

- ACGIH. 2017. Carbon Dioxide. In: TLVs® and BEIs®. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati (OH).
- Ármannsson, H. 2017. Carbon dioxide emissions from Icelandic geothermal areas. *Procedia Earth Planet. Sci.*, 17: 104–107.

- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., Osawa, H. 2018. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments. *Environ. Int.*, 121(Pt1): 51–56.
- BEIR VI Committee. 1999. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. National Academy Press, Washington DC.
- Bertani, R., Thain, I. 2002. Geothermal power generating plant CO₂ emission survey. *IGA News*, 49: 1–3.
- Bustaffa, E., Cori, L., Manzella, A., Polvani, M., et al. 2020. The health of communities living in proximity of geothermal plants. *Sci. Total Environ.*, 706: 135998.
- Carfora, A., Campobasso, C. P., Cassandro, P., et al. 2019. Fatal inhalation of volcanic gases in three tourists of a geothermal area. *Forensic Sci. Int.*, 297: e1–e7.
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., et al. 2005. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 330(7485): 223.
- DiPippo, R. 2015. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. 4th ed. Butterworth-Heinemann (Elsevier), Oxford.
- Duffin, J. 2005. Role of acid-base balance in the chemoreflex control of breathing. *J. Appl. Physiol.*, 99(6): 2255–2265.
- Durand, M., Scott, B. J. 2005. Geothermal ground gas emissions and indoor air pollution in Rotorua, New Zealand. *Sci. Total Environ.*, 345(1–3): 69–80.
- Fridriksson, T., Mateos, A., Audinet, P., Orucu, Y. 2016. Greenhouse gas emissions from geothermal power production. ESMAP Technical Report 009/16. World Bank, Washington DC.
- Glatte, H. A., Motsay, G. J., Welch, B. E. 1967. Carbon Dioxide Tolerance Studies. USAF SAM Technical Report SAM-TR-67-77. San Antonio (TX).
- Hansell, A. L., Horwell, C. J., Oppenheimer, C. 2006. The health hazards of volcanoes and geothermal areas. *Occup. Environ. Med.*, 63(2): 149–156.
- ICRP. 1994. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. *Ann. ICRP*, 24(1–3).
- ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP*, 37(2–4).
- ICRP. 2010. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. ICRP Publication 115. *Ann. ICRP*, 40(1): 1–64.
- ICRP. 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. *Ann. ICRP*, 43(3).
- ICRP. 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. *Ann. ICRP*, 46(3/4).
- Lambertsen, C. J. 1971. Carbon dioxide tolerance and toxicity. IFEM-2-71. University of Pennsylvania, Philadelphia (PA).

- Leonardi, F., Venoso, G., Bogi, A., et al. 2024. Review of NORM occurrence and application of a tailored graded approach for the radiation protection in geothermal plants. *Eur. Phys. J. Plus*, 139: 195.
- Harrison, J. D., Marsh, J. W. 2012. Effective dose from inhaled radon and its progeny. *Ann. ICRP*, 41(3–4): 378–388.
- Mendez, D., Alshanqeety, O., Warner, K. E., et al. 2011. The impact of declining smoking on radon-related lung cancer in the United States. *Am. J. Public Health*, 101(2): 310–314.
- Ciolini, R., Mazed, D. 2010. Indoor radon concentration in geothermal areas of central Italy. *J. Environ. Radioact.*, 101(9): 712–716.
- NIOSH. 1976. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Carbon Dioxide. DHEW (NIOSH) Publication No. 76-194. Cincinnati (OH).
- NRC. 1991. Comparative Dosimetry of Radon in Mines and Homes. National Academy Press, Washington DC.
- O'Sullivan, M., Gravatt, M., Popineau, J., et al. 2021. Carbon dioxide emissions from geothermal power plants. *Renew. Energy*, 175: 990–1000.
- Read, D. J. C. 1967. A clinical method for assessing the ventilatory response to carbon dioxide. *Australas. Ann. Med.*, 16: 20–32.
- Shahrokhi, A., Burghel, B. D., Fábián, F., Kovács, T. 2015. New study on the correlation between carbon dioxide concentration in the environment and radon monitor devices. *J. Environ. Radioact.*, 150: 57–61.
- Schaefer, K. E. 1958. Respiratory pattern and respiratory response to CO₂. *J. Appl. Physiol.*, 13(1): 1–14.
- Shinonaga, T., Walther, D., Li, W. B., Tschiersch, J. 2023. Internal radiation exposure from TENORM for workers conducting cleaning activities on equipment used at geothermal energy plant. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 248: 114061.
- Walczak, K., Zmysłony, M. 2013. Estimation of effective doses derived from radon in selected SPA centers that use geothermal waters. *Med. Pr.*, 64(2): 193–198.
- WHO. 2009. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization, Geneva.

Jogszabályok és hatósági dokumentumok

- 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről. *Magyar Közlöny*, 2020/22. szám.
- 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről. *Magyar Közlöny*, 2022/65. szám.
- 47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív

- anyagok sugár-egészségügyi kérdéseiről (TENORM). Magyar Közlöny, 2003/91. szám.
- 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről. Magyar Közlöny, 2007/175. szám.
- 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásáról (a geotermikus energia engedélyezésére vonatkozó rendelkezésekkel).
- 1114/2019. (III. 13.) Korm. határozat a Nemzeti Radon Cselekvési Terv elfogadásáról. Magyar Közlöny, 2019/48. szám.
1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról (Bányatörvény). Magyar Közlöny, 1993/97. szám.
- Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Official Journal of the European Union, L13: 1–73.
- Directive 2017/164/EU establishing a fourth list of indicative occupational exposure limit values. Official Journal of the European Union, L27: 115–120.

ANALYSIS OF INFLUENCING FACTORS ON PERFORMANCE OF DEEP BOREHOLE HEAT EXCHANGERS USING A ROBUST NEURAL MODEL

JÓZSEF PAP¹, MÁTYÁS KRISZTIÁN BARACZA^{1*}

¹University of Miskolc, Research Institute of Applied Earth Sciences, 3515 Miskolc-Egyetemváros, pap.jozsef@uni-miskolc.hu

*Corresponding author: krisztian.baracza@uni-miskolc.hu

Abstract

Repurposing abandoned wells into closed-loop counter-flow borehole heat exchangers represents a promising and cost-effective approach to geothermal energy utilization. Predicting the thermal performance of these systems is a key aspect of the design process and typically requires complex numerical simulations. To overcome this limitation, we previously developed a robust artificial neural network model trained on a large database of simulation results, capable of accurately predicting wellhead temperature over a wide range of input parameters. In the present study, the relative importance of the governing geological, thermophysical, geometrical, and operational parameters was evaluated using the developed model. Their influence on system performance was quantified, and the results may support future research and engineering design efforts.

Keywords: borehole heat exchanger, geothermal energy, artificial neural network, performance prediction, feature importance analysis

Kivonat

MÉLYFÚRÁSI HŐCSERÉLŐK TELJESÍTMÉNYÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK VIZSGÁLATA ROBUSZTUS NEURÁLIS MODELL ALKALMAZÁSÁVAL

A földhőenergia hasznosításának egyik ígéretes és költséghatékony lehetősége a meddő kutak átképzésével kialakított ellenáramú, zárt rendszerű hőcserélők alkalmazása. E rendszerek teljesítményének előrejelzése a tervezés kulcsfontosságú eleme, amely jellemzően összetett numerikus modellezést igényel. Ennek kiváltására korábbi kutatásunk során egy nagyszámú szimulációs eredményen betanított, robusztus neurális hálózati modellt fejlesztettünk, amely széles paramétertartományban képes a kútfejhőmérséklet pontos előrejelzésére. Jelen munkában a modell segítségével meghatároztuk a rendszer működését befolyásoló földtani, termofizikai, geometriai és üzemi paraméterek relatív jelentőségét, valamint kvantitatív módon, különböző időablakokba sorolva értékeltük azok hatását. Az eredmények a továbbiakban kiegészítő kutatások, valamint mérnöki/tervezési feladatok alapjául szolgálhatnak.

Introduction

One promising, cost-effective, and potentially carbon-neutral approach to geothermal energy utilization is the application of counter-flow borehole heat exchangers established by repurposing mainly abandoned or non-productive oil and gas wells (Alimonti et al. 2016). These systems operate on the same fundamental principle as conventional shallow borehole heat exchangers (Alimonti et al. 2018). Compared to conventional geothermal installations, however, closed-loop systems

generally exhibit lower thermal output power; therefore, their implementation is most appropriate where favorable geological conditions, adequate well integrity, and the energy demand of the consumer collectively ensure efficient operation (Tóth et al. 2018). Accurate prediction of the thermal performance of a repurposed well is a key aspect of the design process and is typically achieved through complex numerical simulations. Nevertheless, generating large datasets by numerical modeling remains computationally expensive and time-consuming, particularly in parametric studies where numerous simulation runs are required. Consequently, machine learning-based surrogate models have recently emerged as efficient alternatives for prediction and optimization tasks in geothermal systems (Zhang et al. 2026). Recent reviews have highlighted the importance of numerical modelling and parameter sensitivity analyses in the development and optimization of DBHE systems (Kolo et al. 2024). To address this challenge, a robust artificial neural network model was previously developed and was trained on a large database of numerical simulations, with optimized hyperparameters to maximize predictive performance. Using this neural network model – which is capable of accurately predicting the expected wellhead temperature over a wide range of input parameters – the relative importance of the governing thermophysical properties, well geometry, and operational conditions was investigated. The objective was to improve understanding of the system behavior and to quantitatively evaluate the underlying physical relationships over a wide range of practical conditions. The present paper summarizes the results of this investigation.

Numerical model introduction

The base numerical model had been built with FlexPDE, which enables efficient automation of the simulations, using its built-in scripting language (PDE Solutions Inc. 2011). An advantage of the environment is that it allows full control of the model geometry, boundary conditions, governing equations and output control, providing flexible model modification, in addition to several performance enhancement features.

Given the coaxial and vertical structure of the model, cylindrical coordinates had been applied to reduce computational demand. Moreover, for even more efficient automation and data visualization, a vertical scaling factor was introduced to both the model geometry and the governing heat equation, cutting runtime significantly. The following equation represents the heat equation of the model, incorporating a convective term to represent fluid flow in the well:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} Z_{scale} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f C_{p_f} V_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

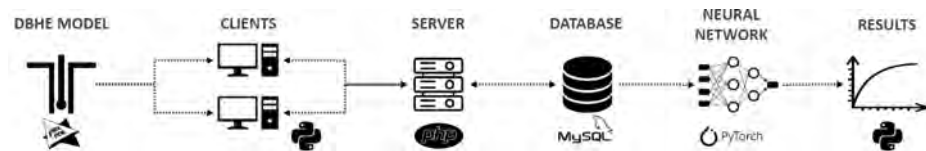
The model properties and the range of each variable are summarized below, where casing and tubing diameters being discrete values, according to commonly used oilfield standard pipes:

Table 1. Main model properties

Variable	Unit	Value range
Depth	m	1500–3000 (+50 m buffer)
Casing diameter	m	based on 7", 9-5/8" and 13-3/8" oilfield casings
Tubing diameter	m	based on 2-3/8", 2-7/8" and 3-1/2" oil-field tubular
Thermal conductivity (k)	W/mK	1.50–3.50
Specific heat capacity (cP)	J/kgK	800–1400
Density (rho)	kg/m ³	2000–2800
Geothermal gradient	°C/m	0.03–0.06
Flow rate (Q)	m ³ /h	5.00–20.00
Inlet temperature	°C	12–35

Water was considered as working fluid (ρ : 1000 kg/m³, c_p : 4200 J/kgK, k : 0.6 W/mK), and surface temperature was set to 12 °C. Based on previous boundary-sensitivity studies, a radial model extent of 20 m was applied.

To ensure that the coverage within the 9-dimensional parameter field is uniform, Latin Hypercube sampling (LHS) was employed, from which 50000 unique simulation scenarios were generated. The input field was controlled by a data management server, data transport APIs and several clients, which used the FlexPDE solver to run the models. The resulting dataset contained high-resolution thermal response curves for bottomhole and wellhead temperature for 604800 s (1 week), which were separated by individual labels (run IDs) and was fed into the neural network for training (Pap & Baracza 2025).

**Figure 1.** Simulation and data processing workflow

Training the neural network

To ensure accurate prediction and deep generalization within the input data field, the dataset was enriched with additional derived physical and interaction-based features: volumes, flow velocities, Reynolds number (for both annular and inner flow paths), thermal features and additional engineered interaction terms were added. The final input vector consisted of 35 features, which were embedded into the network:

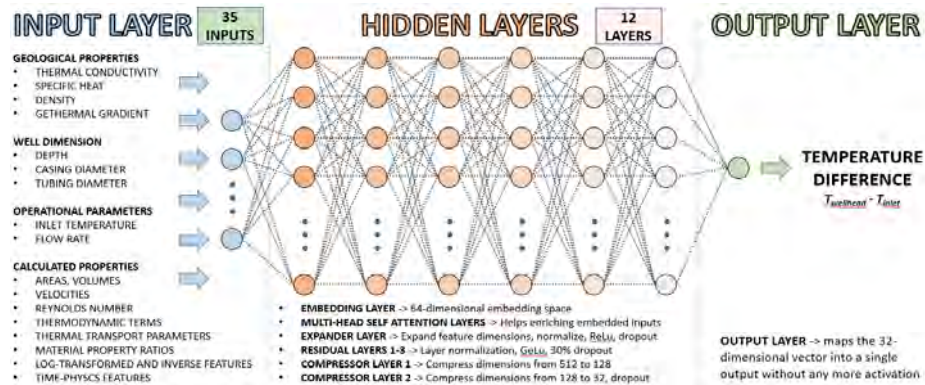


Figure 2. A schematical representation of the NN architecture and its key features within each layer

The neural network (NN) is a hybrid residual-attention model, implemented using the PyTorch framework within Python. In the model, the embedding space is followed by several dense layers, promoting efficient gradient flow. The output layer reduces the learned representation into a single scalar temperature difference prediction, from which the wellhead temperature can be determined.

After extensive testing and hyperparameter optimization, the model achieved approximately 0.1 °C Mean Absolute Error (MAE), meaning that it is able to efficiently predict wellhead temperature within its training parameter range. The architecture was tested on several datasets, generated from new data: models had been validated on unseen FlexPDE simulations, and the corresponding time-series data were used to generate predictions on the wellhead temperature, using the NN. The Figure 3. contains four simulation runs, which demonstrate the prediction accuracy of the model.

Feature sensitivity analysis

To investigate the influence of governing input parameters on the thermal evolution of the BHE, a local perturbation-based sensitivity analysis was performed, using the trained neural model and the input dataset. The primary objective of this analysis was to quantify the relative impact of key thermophysical, geometrical and operational parameters on the predicted wellhead temperature response under time-dependent conditions. Unlike classical global sensitivity approaches, the present method evaluates local model response behavior by applying controlled $\pm 1\%$ perturbations to individual input variables, while keeping all other parameters fixed. The corresponding response of the model was quantified in terms of the change in predicted wellhead temperature, allowing a direct interpretation of parameter influence on system thermal response.

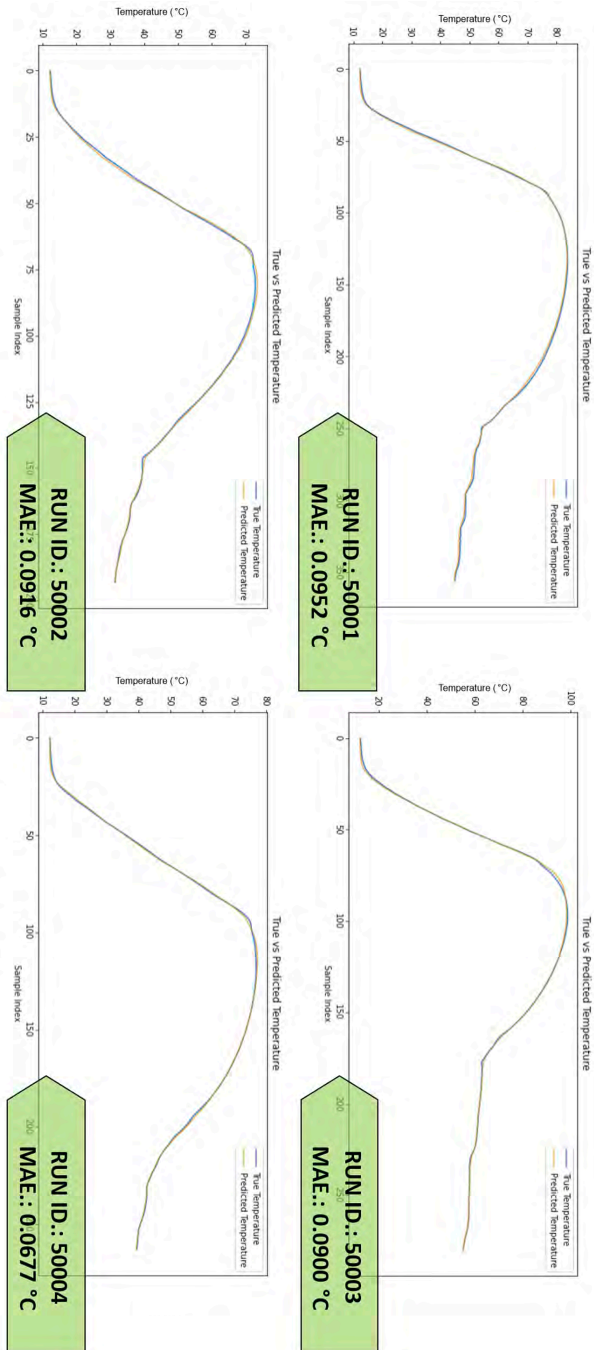


Figure 3. Wellhead curve of FlexPDE simulations (blue) and the same curve, predicted by the NN (orange) on unseen data (the horizontal axis on each figure represents the sample index)

Due to the inherently transient behavior of heat processes within the heat exchanger and the surrounding mass, the simulation time was discretized into smaller time intervals, ranging from early-time (early transient) regime to long-term (quasi steady state) conditions. This time-binning approach provides the identification of time dependent shifts in parameter dominance, which are critical to understanding both transient thermal evolution and long-term operational behavior. For each perturbation case, the NN was evaluated on the full dataset, and the resulting wellhead temperature values were aggregated within each time interval. The final sensitivity metric was determined as the mean temperature deviation within each time bin, providing a time-resolved sensitivity map of model response. The results were subsequently visualized as a heatmap, where each row corresponds to an input variable and each column represents a temporal window (Fig. 4.).

Results, conclusion

The analysis reveals distinct temporal regimes of parameter influence. In the early transient phase, the system response is primarily governed by operational and boundary conditions, with the inlet temperature (T_{inlet}) showing a consistent and immediate effect on outlet temperature. As time progresses, thermophysical properties such as thermal conductivity, volumetric heat capacity and geothermal gradient become increasingly dominant. In particular, the geothermal gradient exhibits a strong and persistent influence across all time scales, highlighting its fundamental role in governing the background thermal field.

Depth and flow rate show a more complex, time-dependent behavior. While depth exhibits a progressively increasing influence, becoming the dominant parameter in intermediate and late regimes, flow rate shows a non-monotonic effect: its influence increases during intermediate time scales, associated with the advective heat transport dominance, while gradually decreasing and becoming slightly negative in the quasi-steady regime, where conductive processes prevail.

Thermophysical rock properties demonstrate stable and non-negligible contributions, gradually becoming more important in later timeframes: thermal conductivity and volumetric heat capacity influence the system response primarily through their combined effect on thermal diffusivity, which mainly governs heat propagation speed in the surrounding formation. Density shows similar sensitivity, highlighting its indirect role in energy storage capacity.

Overall, the perturbation-based sensitivity map provides a physically consistent and interpretable representation of the DBHE system behavior. The results confirm that the neural network model can capture both transient and long-term thermal dynamics with high fidelity, while also enabling efficient exploration of parameter importance across a wide range of operating conditions.

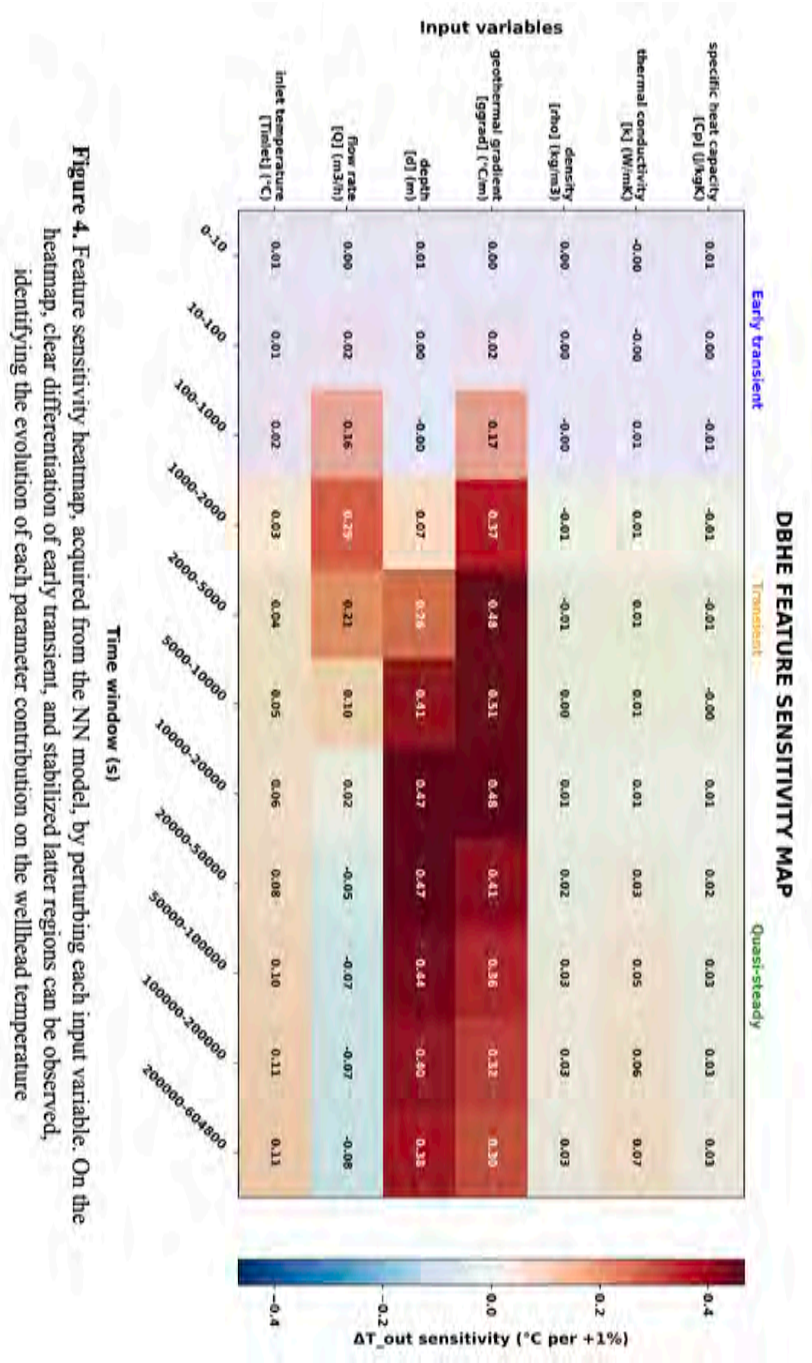


Figure 4. Feature sensitivity heatmap, acquired from the NN model, by perturbing each input variable. On the heatmap, clear differentiation of early transient, and stabilized latter regions can be observed, identifying the evolution of each parameter contribution on the wellhead temperature

Acknowledgements

The research was carried out in the framework of the GINOP-2.3.2-15-2016-00010 “Development of enhanced engineering methods with the aim at utilization of subterranean energy resources” project of the Research Institute of Applied Earth Sciences of the University of Miskolc in the framework of the Széchenyi 2020 Plan, funded by the European Union, co-financed by the European Structural and Investment Funds.

References

- PDE Solutions Inc 2011. - FlexPDE 6: PDE Solutions Inc.
- Alimonti, C., Soldo, E. 2016. Study of geothermal power generation from a very deep oil well with a wellbore heat exchanger - *Renewable Energy*, 86, 292–301.
- Alimonti, C., Soldo, E., Bocchetti, D., Berardi, D. 2018. The wellbore heat exchangers: A technical review - *Renewable Energy* 123 (2018) 353-381.
- Kolo, Iso; Brown, Christopher S.; Nibbs, William; Cai, Wanlong; Falcone, Gioia; Nagel, Thomas; Chen, Chaofan 2024. A comprehensive review of deep borehole heat exchangers (DBHEs): subsurface modelling studies and applications - *Geothermal Energy*, vol. 12, article 19.
- Pap, József; Baracza, Mátyás Krisztián 2025. Neural network-based performance prediction of borehole heat exchangers, using data from automated large-scale simulations – 19th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin – Kassa, Slovakia
- Tóth, Anikó N.; Szűcs, Péter; Pap, József; Nyikos, Attila; Fenerty, David K. 2018. Converting abandoned Hungarian oil and gas wells into geothermal sources - *PROCEEDINGS*, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering - Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-213.
- Zhang, Q., Gou, L., Xu, L. 2026. Machine Learning for Geothermal Energy Systems: Prediction, Optimization, and Physics-Informed Hybrid Methods - *Energies*, 19(13), 3193.

ÁSVÁNYKONCENTRÁCIÓ DINAMIKÁJA ÁLLÓ- ÉS FOLYÓVÍZBEN

MÁTYÁS LÁSZLÓ¹, MIHOK EMŐKE², MÁTHÉ ISTVÁN³

¹Biomérnöki Tanszék, Csíkszeredai Kar, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda,

E-mail: matyaslaszlo@uni.sapientia.ro

²Élelmiszertudományi Tanszék, Csíkszeredai Kar, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda,

E-mail: mihokemoke@uni.sapientia.ro

³Biomérnöki Tanszék, Csíkszeredai Kar, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda,

E-mail: matheistvan@uni.sapientia.ro

*Kapcsolattartó szerző: matyaslaszlo@uni.sapientia.ro

Kivonat

Az ásványi anyagok jelenléte mindig is fontos tényező volt az ember által használt vizek szempontjából. A folyóvizek és tavak lényegében kivétel nélkül tartalmaznak ásványi összetevőket. Amennyiben egy állóvíz ásványianyag-tartalma érdekel, ez esetben lényeges az, hogy egy adott összetevő a mederből oldódott ki, vagy valamelyik patak vagy folyó hozta magával. Jelen munkában először egy tipikusan statikus esetet vizsgálunk, amikor döntően a nyugalmi szempontok érdekelnek. Folyóvíz esetén a helyzet még komplexebb/összetettebb, mivel egyrészt számottevő lehet az az ásványianyag-tartalom, ami már a forrásnál jelen van, továbbá az, ami adott esetben menet közben kerül be a folyó vizébe. Emellett a diffúzív és konvektív hatások egyaránt jelentkeznek az ásványianyag-koncentráció dinamikája szempontjából. A jelen cikkben a sókoncentráció (NaCl) eloszlását konkrétan vizsgáljuk ezen két hatás függvényében. A tanulmány kitér a Korond-patak és Kis-Küküllő folyó összefolyásának környezetében lévő sókoncentrációkra 2025-ben, mivel abban az évben ezen értékek hangsúlyosan eltértek a szokásostól, a parajdi bányába be- és kiáramló víz következtében.

Abstract

DYNAMICS OF MINERAL CONCENTRATIONS IN STANDING AND FLOWING WATERS

The presence of minerals was always an important factor from the point of view of water used by mankind. Stream waters and lakes usually contain minerals. If one is interested in the mineral content of standing water, it is important to know whether a particular component dissolved from the bed or it has been brought by some stream. In the present work, first we study especially the static case when the water is at rest. In case of stream water the situation is more complex, because on the one side it may be important the mineral content, which was already present at the spring, and on the other side further material may have arrived into the stream later. Furthermore, from the point of view of the dynamics of the mineral content diffusive and convective effects are also present. The distribution of salt (NaCl) concentration is studied depending on these two effects. The study mentions the salt concentrations at the area of confluence of Korond stream and Kis-Küküllő river in 2025,

because in that year these values differed significantly from their usual levels, due to the water flowing into and out the Parajd mine.

Bevezetés

A víz jelenléte lényeges szerepet tölt be a Föld geológiájának formálásában, továbbá jelentősége van az élet kialakulásában is. Ennek egyik oka az, hogy a víz sok mindent felold, még akkor is, ha esetenként nem túl gyorsan. Az oldóképességét jelentősen növeli a víz poláros volta, következésképpen nagyon könnyen rácsatlakozik egyéb molekulákra vagy membránokra. Ennek megfelelően a természetben előforduló vizek előbb vagy utóbb egy bizonyos ásványianyag-tartalommal rendelkeznek, amelynek vizsgálatakor érdemes figyelembe venni, hogy álló- vagy folyóvízről van szó.

Tavak esetén ez az ásványianyag-tartalom függ az oldott ásványi anyagok származási helyétől. Áramló vizek esetén az ásványianyag-tartalom részben annak tudható be, hogy a patak már a forrás előtt, a mélyben feloldott különböző anyagokat és ennek köszönhetően már a forrásnál rendelkezik bizonyos oldottanyag-tartalommal. Egy másik eset az, amikor az adott folyóvíz a forrásnál még nem tartalmaz egy adott ásványi komponenst, hanem azt menet közben a folyómederből oldja ki.

Adott esetben megkülönböztetünk alacsony és magas ásványianyag-tartalmú vizeket.

A folyómederből kioldódó ásványi anyag összetétele különböző lehet és ez már a folyó kialakulásakor jelentős szereppel bírhat. Ennek megfelelően jól látható például a vastartalmú vegyületek jelenléte bizonyos forrásoknál vagy patakokban a jellegzetes barnás elszíneződésnek köszönhetően, mint például egyes Hargita megyei források környékén.

A folyó medréből kioldott ásványi anyag adott esetben nem annyira szembetűnő, mint az, amelyik már a forrásnál benne van a vízben, jelentősége azonban lényeges lehet, amennyiben a feloldott anyag mennyisége számottevő.

Anyag és módszer

A továbbiakban egy adott ásványi anyag szétterjedését vizsgáljuk, amennyiben az vízbe kerül. A következőkben először az állóvízbe kerülő ásványi anyag esetét tekintjük és utána tárgyaljuk azt az esetet, amikor folyóvízről van szó.

A folyamat tanulmányozása során a következő szempontokat szükséges figyelembe vennünk. Az adott koncentráció diffundál lényegében akadály nélkül. Adott esetben lehetnek peremfeltételek, viszont amennyiben egy lokális szétterjedés folyamatosan foglal el egyre nagyobb helyet és közben semmilyen megszorítás nincs, akkor egy szabad diffúzióról van szó. A következőkben C -vel jelöljük a só koncentrációját.

A diffúziós folyamat során általános elvként a következő összefüggés érvényesül: a szomszédos tartományokba anyag áramlik a vizsgált részbe, ha azok koncentrációja kisebb.

A diffúziós egyenlet folytonos esetben a következő alakban írható fel:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2},$$

ahol D a vizsgált anyag diffúziós együtthatója, x a térváltozó és t az idő.

Megjegyzendő, hogy amennyiben valamilyen függvény megoldása a fenti egyenletnek, akkor ahhoz egy tetszőleges állandót hozzáadva, az így kapott függvény szintén megoldása marad az egyenletnek. Ehhez az egyenlethez tipikusan egy kezdeti, vagy peremfeltétel is tartozik, amelyről részletesen a továbbiakban lesz szó. Ezen feltétel természetesen függ az adott fizikai helyzettől, amelyben tanulmányozzuk a diffúziót. A feltételeknek megfelelően az egyenletnek különböző megoldásai lehetnek.

Statisztikai szempontból az egyenletre úgy is lehet tekinteni, hogy azt írja le, mekkora a valószínűsége annak, hogy egy adott részecske t idő múlva x távolságra legyen az origótól. Ebben az esetben az egyenlet nagyon hasonló a fenti egyenlethez, azonban a C koncentráció helyett az f valószínűségsűrűség szerepel. A különbség annyi, hogy mivel f egy valószínűségi függvény, ezért a teljes értelmezési tartományon egyre van normálva. Ennek megfelelően az f , mint megoldása az említett egyenletnek a következő:

$$f(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{\frac{-x^2}{4Dt}}$$

Lényegében $f(x, t)dx$ annak a valószínűsége, hogy egy adott részecske x és $x + dx$ között legyen, t idő múlva, amennyiben az origóból indult. Megfigyelhető, hogy a megoldás normája egy a teljes intervallumra mínusz végtelentől plusz végtelenig:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) dx = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{-x^2}{4Dt}} dx = 1.$$

Ez gyakorlatban azt jelenti, hogy a diffundáló részecske biztosan megtalálható az értelmezési tartomány határai között.

A fenti eloszlásfüggvényből a négyzetes eltávolodás várható értéke kiszámítható:

$$x^2 > \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{\frac{-x^2}{4Dt}} dx = 2Dt,$$

amely, mint látható függ a D a diffúziós együtthatótól és a t eltelt időtől. Az $x^2 >$ a részecskék átlagos négyzetes eltávolodása az origótól.

Eredmények

Állóvíz dinamikája

Ennek megfelelően, amennyiben például konyhasó (NaCl) kerül a vízbe, akkor ez az átlagos négyzetes eltávolodás kvázistatikus esetben kiszámítható. A só diffúziós együttható értéke vízben lényegében $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ nagyságrendű. Egy jól kidolgozott eredményt szolgáltat Piszko cikke (Piszko et al. 2024). Természetesen a megadott adatoknál valamelyest érdemes figyelembe venni a diffúziós egyenlet hőmérséklet függését. Folyadékok esetén a Stokes-Einstein összefüggés (Mehrer & Stolwijk 2009) viszonylag jól leírja a diffúziós együttható hőmérsékletfüggését:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r},$$

ahol k_B a Boltzmann állandó, T az abszolút hőmérséklet, η a dinamikai viszkozitás, r a Stokes vagy hidrodinamikai sugár.

Ennek megfelelően, ha $D = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, akkor egy nap alatt $t = 24 \cdot 3600 \text{ s} = 86400 \text{ s}$, kapjuk

$$x^2 \gtrsim 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ebből az adatból lehet következtetni arra, hogy többnyire mekkora az eltávolodása az adott részecskének. Mivel itt centiméteres nagyságrendről van szó ($1,56 \text{ cm}$, azaz $1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}$), ezért belátható, hogy a statikus leírás tükrözheti a teljesen nyugalomban levő vízben zajló folyamatokat, viszont ez az eset ténylegesen csak állóvizekre érvényes, ahol semmilyen más mozgás nincs. Konkrét fizikai körülmények mellett különböző tényezők járulhatnak hozzá ahhoz, hogy akár egy tóban levő rendszer nem teljesen egy egyensúlyi dinamika, mivel adott esetben a tó felszínére napsütés is érkezik, viszont az sem állandó, hanem változik.

A valóságban valamivel gyorsabban zajlanak az események és ez részben vagy többnyire a víz mozgásának tudható be.

Mivel egzakt explicit megoldás tetszőleges kezdeti feltételek vagy áramlás esetén általában nem nyerhető ki, ezért a diffúziós egyenlet diszkrét változatával dolgozunk (Ghez 2001), ahol a fenti egyenlet diszkrétizálása történik Δt időintervallummal és Δx térlépéssel:

$$\frac{C_{n,t+1} - C_{n,t}}{\Delta t} = D \frac{C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t}}{(\Delta x)^2},$$

ahol $C_{n,t}$ az ásvány koncentrációja t időpillanatban a n -el jellemzett helyen. A $t + 1$ egy időlépéssel későbbi időt jelent, míg a $n + 1$ egy térbeli hellyel nagyobb.

Innen kifejezhető a koncentráció a következő időlépésben:

$$C_{n,t+1} = C_{n,t} + \Delta t D \frac{C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t}}{(\Delta x)^2}$$

A későbbi koncentrációk az előzőktől függenek:

$$C_{n,t+1} = \left(1 - \frac{2\Delta t D}{(\Delta x)^2}\right) C_{n,t} + \frac{\Delta t D}{(\Delta x)^2} (C_{n+1,t} + C_{n-1,t})$$

Folyóvíz dinamikája

Amennyiben folyóvízről van szó, akkor a fenti egyenlet valamivel összetettebb. Ez esetben megjelenik a konvekció is, mint tag.

Az egyenlet diszkrét változata:

$$\frac{C_{n,t+1} - C_{n,t}}{\Delta t} = D \frac{C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t}}{(\Delta x)^2} - v \frac{C_{n,t} - C_{n-1,t}}{\Delta x}$$

Ennek megfelelően az egyik időlépésről a másikra való iteratív egyenlet a következő:

$$C_{n,t+1} = C_{n,t} + \Delta t D \frac{C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t}}{(\Delta x)^2} - \Delta t v \frac{C_{n,t} - C_{n-1,t}}{\Delta x}$$

Ennek az egyenletnek kell vizsgálnunk a dinamikáját, illetve azt, hogy az előbbi, Laplace operátorból származó tag és az utána következő konvektív tagnak mekkora az egymáshoz viszonyított szerepe.

Megjegyzendő, hogy abban az esetben amikor $\frac{\Delta t D}{(\Delta x)^2} = \frac{\Delta t v}{\Delta x} = 1$, akkor a fenti egyenlet:

$$C_{n,t+1} = C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t} + C_{n-1,t}$$

ami jellegzetesen illusztrálja azt, hogy a diffúzív és a konvektív tag egymás mellett egyenlő nagyságrendben jelen van.

A gyakorlatban, fizikai szempontból, nyilván ennél több eset is lehet, mint a fenti egyedi eset. A két mennyiség, a diffúzív $\frac{\Delta t D}{(\Delta x)^2}$ és konvektív $\frac{\Delta t v}{\Delta x}$ általában nem ugyanaz, vagyis nem egyenlő egymással. Amennyiben teljesen tipikus értékeket tekintünk, például $\Delta x = 1$ m és $v = 1$ m/s esetén a $\Delta t = 1$ s választás a konvektív tagra $\frac{\Delta t v}{\Delta x} = 1$ értéket jelent. Az 1 m/s sebesség az egy tipikus érték a patakok és kisebb folyók esetén. Mindeközben a diffúzív tag $\frac{\Delta t D}{(\Delta x)^2} \approx 10^{-9}$ nagyságrendű, ha a fenti statikus diffúziós együtthatóval dolgozunk.

Általában a diffúzív tag kisebb, mint a konvektív tag és ekkor a:

$$C_{n,t+1} = \frac{1}{k} (C_{n+1,t} - 2C_{n,t} + C_{n-1,t}) + C_{n-1,t},$$

ahol k egy valós szám. Ez az egyenlet már lényegesen élethűbben illusztrálja a dinamikát. Itt nyilván a kérdés ami feltevődik az az, hogy ez a diffúzív tag mennyivel kisebb, mint a konvektív tag.

A fenti gondolatmenetet figyelembe véve, amennyiben a diffúziós tag lényegesen kisebb, mint a konvektív tag, vagyis elhanyagolható, akkor:

$$C_{n,t+1} = C_{n-1,t}$$

vagyis a balról érkező koncentrációk elfoglalják a mellettük jobb oldalon lévők helyét.

Látható, hogy egy adott térbeli helyzetnél (n -nél), a következő lépésben érkező módosulás a tőle balra lévő értéktől függ, ami egy balról jobbra haladó folyamat esetén természetes.

Tárgyalás

Megjegyzendő, hogy a fenti eredmény csak akkor ennyire letisztult és egyértelmű, ha az adott patak, vagy folyó nem rendelkezik mellékágakkal, nem tartalmaz holtágakat, ahol esetleg az adott ásvány felgyűlhet és utólag még szerepet játszhat a koncentráció befolyásolásában.

A fenti nagyságrendek mutatják, hogy a konvektív tag dominálja a dinamikát. Konkrét értékeket tekintve, amennyiben valamilyen sókoncentráció bejut egy folyóba, akkor a folyóvíz sebessége dönti el a só terjedését, míg a diffúziós tag sokáig elhanyagolható.

Ténylegesen hasznos információkat lehet kinyerni a dinamikából abban az esetben, amikor egy ilyen szennyezés éppen megszűnik. Ez esetben van egy kezdeti feltétel, amely a szennyezett állapotot jellemzi. Amennyiben több ilyen anyag nem érkezik akkor attól az időponttól csökken a szennyező anyag koncentrációja.

Egy tipikus ilyen eset, ha Parajdon egy bizonyos sókoncentráció érkezik a Kis-Küküllőbe a Korond pataka révén. A fenti szempontokat figyelembe véve, vizsgálunk egy olyan esetet, amikor az adott ásványi anyag (konyhasó) érkezése befolyásolja a Parajdtól lefelé eső szakaszt.

A továbbiakban konkrétan említünk adatokat a fent említett folyóvizekben előforduló sókoncentrációknak megfelelő vezetőképességről, 2025 májusát követően. Május hónapban jelentős mennyiségű víz került a Korond-patak révén a parajdi sóbányába és mosott ki onnan nagyobb sómennyiséget. A folyamat több lépésben zajlott, amelynek különféle vonzata is volt (Tőkés 2026). A következőkben többnyire a konkrét adatokra támaszkodunk, ámbár a mennyiségen túl nagyon sok minőségi változás is bekövetkezett Parajd környékén valamint a Kis-Küküllő lefolyása mentén. Egy jelentősebb sókoncentráció megérkezése kihat az élővilágra is (Tőkés 2025).

Az esemény viszonylag komoly hatással volt a parajdi turizmusra is, annál is inkább, mivel a turisztikai vonzerőt jelentősen meghatározza a helyi sajátosság (Horváth & Peteley 2008). A Korond-patak vezetőképessége 2025. július 14-én, hétfőn reggel 6 órakor 7250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt, illetve (Parajd alatt) a Kis-Küküllő folyóé 1852 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (F.E. 2025). Ez a jelenség annak köszönhető, hogy a folyó friss, gyakorlatilag tiszta vízzel érkezik, így a keveredés következtében csökken a

sókoncentráció és ennek megfelelően az elektromos vezetőképesség. A fenti két adatból elsősorban a hozamok arányára lehet következtetni.

A vezetőképességi adatok alapján a Korond-patak és a Kis-Küküllő vízhozamának aránya kétkomponensű keverési anyagmérleg alkalmazásával becsülhető. Feltételezve, hogy az elektromos vezetőképesség a vizsgált folyószakaszon a keveredés konzervatív nyomjelzőjeként alkalmazható, a két vízfolyás keveredésére az alábbi összefüggés írható fel (Chapra 2008):

$$Q_1 \cdot \kappa_1 + Q_2 \cdot \kappa_2 = (Q_1 + Q_2) \cdot \kappa_3$$

Az összefüggésben Q_1 és Q_2 rendre a Korond-patak és a Kis-Küküllő vízhozama a két vízfolyás találkozása előtt, κ_1 és κ_2 ezek megfelelő vezetőképessége, míg κ_3 a keveredést követően mért vezetőképesség. Az összefüggés átrendezésével a vízhozamok aránya:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\kappa_3 - \kappa_2}{\kappa_1 - \kappa_3}$$

A fent említett 2025. július 14-én közölt mérési adatok alapján a Korond-patak vezetőképessége $\kappa_1 = 7,25$ mS/cm, míg a Kis-Küküllő Parajd alatt mért, keveredés utáni vezetőképessége $\kappa_3 = 1,852$ mS/cm volt (F.E. 2025). Elméleti határesetként első közelítésben a Kis-Küküllő Korond-patak beömlése előtti vezetőképességét elhanyagolhatónak tekintve ($\kappa_2 \approx 0$ mS/cm), a vízhozamok arányára:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1,852}{7,25 - 1,852} \approx 0,343$$

adódik. Ez a Korond-patak és a Kis-Küküllő vízhozamára megközelítőleg 1:2,9 arányt jelent.

Második számítási esetként a Kis-Küküllő Korond-patak beömlése előtti vezetőképességére $\kappa_2 = 0,5$ mS/cm feltételezett értéket alkalmazva a vízhozamarány:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1,852 - 0,5}{7,25 - 1,852} \approx 0,2505$$

Az elméleti határesetként alkalmazott $\kappa_2 = 0$ mS/cm mellett 1:2,9, míg $\kappa_2 = 0,5$ mS/cm feltételezett háttér-vezetőképességgel 1:4 Korond-patak–Kis-Küküllő vízhozamarány adódott. A két számítási eset alapján a Korond-patak vízhozama a Kis-Küküllő beömlés előtti vízhozamának mintegy 25–34%-ára becsülhető. A keveredés utáni teljes vízhozamot tekintve a Korond-patak becsült hozzájárulása hozzávetőlegesen 20–26%-nak adódott. Mivel nem állt rendelkezésre mindhárom helyszínről azonos időpontban és azonos hőmérsékleten mért vezetőképességi adat, ezek az értékek nem tekinthetők közvetlenül meghatározott vízhozamarányoknak. A számítások elsősorban azt szemléltetik, hogy a Kis-

Küküllő feltételezett háttér-vezetőképessége hogyan befolyásolja a becsült arányt. A becslés pontosságát az esetleges további hozzáfolyások, a két víztömeg keveredésének mértéke és a vezetőképesség hőmérsékletfüggése is befolyásolhatja.

Követve az eseményeket, a Korond-patak vizét sikerült bevezetni a bánya feletti csőrendszerbe 2025. július 28-án, hajnali 4:30-kor. Ekkor a vízhozam $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ volt. Ez később lecsökkent $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ mennyiségre (MTI 2025).

Ha a Parajd és Dicsőszentmárton közötti távot tekintjük $d = 78 \text{ km}$, amennyiben nem érkezik tovább számottevő sókoncentráció a Kis-Küküllőbe a parajdi részen, akkor 1 m/s folyósebességgel számolva a tiszta víz:

$$t = \frac{78000}{3600} h = 21,66 \text{ óra}$$

alatt eléri Dicsőszentmárton. Ez azt jelentené, hogy elméletileg egy nap alatt kitisztul a Kis-Küküllő a fent említett szakaszon. Amennyiben Parajdhoz még közelebbi településeket veszünk akkor ez az idő még kisebb.

Gyakorlatilag a helyzet ennél összetettebb, amelynek különböző okai vannak és amelyek további tanulmányozást igényelnek.

Gyulakuta községben a víz emberi fogyasztásra alkalmassá a 2025-ös évben csak december közepére vált, további, a só mennyiségét szabályozó eszközök révén (Rákóczi 2025). Az történik, hogy a viszonylag nagy értékek hamarabb lecsengenek, viszont amikor a kisebb értékek kellene annyira lecsökkenjenek, hogy a víz több mindenre használható legyen, akkor ezen kisebb értékek elérése időben nagyon el tud tolni.

Következtetések

Jelen tanulmányban sikerült nyomon követni a különböző hatások fontosságát a vízben történő ásvány – jelen esetben konyhasó – eloszlás kapcsán. A konvekció és a diffúzióhoz tartozó nagyságrendek lényegében rávilágítanak arra, hogy melyik esetben melyik hatás érvényesül jobban. Amennyiben áramló vízről van szó, akkor az esetek többségében az áramlás lényegesen jelentősebb hatással van a dinamikára, mint a diffúzió. Az egydimenziós eset vizsgálata elegendő információt nyújt a fontosabb és nagyobb értékek becsléséhez, viszont kis koncentrációk esetén komplexebb vizsgálat szükséges.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk azon kollégáknak, akik a jelen munka körülményeihez hozzásegítettek, illetve megosztották ismereteiket az adott témában.

Irodalomjegyzék

Chapra, S.C. 2008. Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press, Long Grove.
F.E. 2025. Célegyenesben a Korond-patak ideiglenes elterelése. Maszol,

2025. július 14. <https://maszol.ro/belfold/Celegyenesben-a-Korond-patak-ideiglenes-elterelese> (2026. 07. 27.).
- Ghez, R. 2001. Diffusion Phenomena: Cases and Studies. 2nd ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Horváth, A., Peteley, A. 2008. Adapting the TDM-Model in the Development of Tourism in Harghita County. *Journal of Tourism Challenges and Trends*, 1(2): 45-60.
- Mehrer, H., Stolwijk, N.A. 2009. Heroes and Highlights in the History of Diffusion. *Diffusion Fundamentals*, 11: 1-32.
- MTI 2025. Parajdon bevezették a Korond-patak vizét a bánya fölött megépített csőrendszerbe, Turizmus.com, 2025. július 28. <https://turizmus.com/cikk/utazas/parajdon-bevezettek-a-korond-patak-vizet-a-banya-folott-megepitett-csorendszerbe>.
- Piszko, M., Schmidt, P.S., Rausch, M.H., Fröba, A.P. 2024. Diffusivities in water or aqueous solutions of sodium chloride with dissolved hydrogen and methane by dynamic light scattering. *International Journal of Hydrogen Energy*, 68: 499-510.
- Rákóczi, K. 2025. Hétfőtől iható a csapvíz Gyulakuta községben. Maszol, 2025. december 15. <https://maszol.ro/belfold/Hetfotol-ihato-a-csapviz-Gyulakuta-kozseben>.
- Tőkés, H. 2025. Kutató: A halak mellett a teljes édesvízi életközösség veszélybe került a parajdi bánya miatt. Transtelex, 2025. június 13. <https://transtelex.ro/kozelet/2025/06/13/mathe-istvan-kutato-parajd-szovata-banya-sotartalomerult-a-parajdi-banya-miatt>.
- Tőkés, H. 2026. Parajd 2025: Az év ipari-természeti katasztrófája, amely felszínre hozta a térség összes problémáját, Transtelex 2026. január 5. <https://transtelex.ro/kozelet/2026/01/05/parajd-2025-banyakatasztrofa-utan>.

KIVONATOK
ABSTRACTS

A BÜDÖS-HEGY VÁLOGATOTT BORVIZES MEDENCÉINEK KÉMIAI ÖSSZETÉTELE

ZSIGMOND ANDREEA-REBEKA^{1*}, MÁTHÉ István²,
KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ³, URÁK István⁴

¹Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvári Kar,
Környezettudomány Tanszék, Tordai út 4., Kolozsvár, Románia,
zsigmond.andrea@kv.sapientia.ro

²Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Biomérnöki
Tanszék, Szabadság tér 1., Csíkszereda, Románia,
matheistvan@uni.sapientia.ro

³Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Biológia és Geológia Kar, Kolozsvár, Mihail
Kogălniceanu 1., Kolozsvár, Románia, boglarka.kis@ubbcluj.ro

⁴Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Sepsiszentgyörgyi Kar,
Élettudományi Tanszék, Csíki utca 50., Sepsiszentgyörgy, Románia,
urakistvan@gmail.com

*Kapcsolattartó szerző: zsigmond.andrea@kv.sapientia.ro

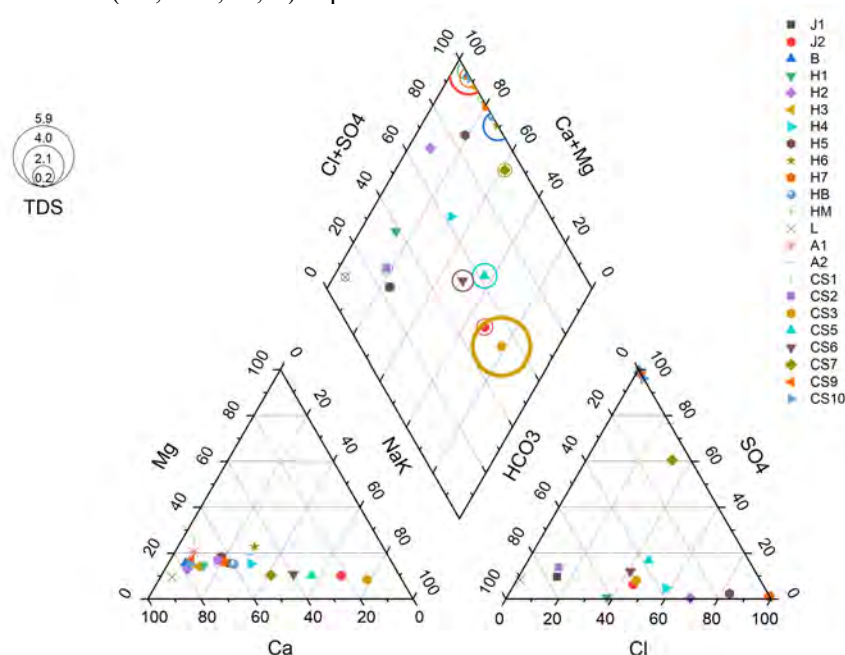
Kivonat

A Keleti-Kárpátok vulkáni vonulatának részét képező Csomád–Bálványos térség 2007 decemberétől a Natura 2000 hálózat (ROSCI0037) része. A területen napjainkban is megfigyelhetők utóvulkáni jelenségek, amelyekhez szén-dioxidban gazdag ásványvízforrások, mofetták és különleges ásványvizes medencék kapcsolódnak. A térség geológiai egyediségét tovább növelik a kénsavas források, amelyekhez hasonló képződmények Európában csak kevés helyen, például az olaszországi Pozzuoli vulkáni területen fordulnak elő.

Vizsgálataink során összesen 23 ásványvizes medencét mintáztunk meg a Büdös-hegy nyugati oldalán található Hammas-medencékből (H1–H7), a Bükki-medencéből (HB), a mofetta medencéjéből (HM), az északi oldalon fekvő Buffogólápból (B), a déli oldalon elhelyezkedő Csiszárfürdő medencéiből (CS1–CS10), az Apor lányok feredőjéből (A1–A2), valamint a Torja irányában található Jajdon-völgyi medencékből (J1–J2) és a Csomád északi oldalán fekvő Lázárfalva medencéjéből (L). A helyszíni mérések során meghatároztuk a vízhőmérsékletet, a pH-t, az elektromos vezetőképességet és a redoxpotenciált, továbbá rögzítettük a mintavételi pontok GPS-koordinátáit. Laboratóriumi vizsgálatokkal meghatároztuk a főionok (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), valamint a mikro- és nyomelemek (Fe, Mn, Sr, Ba, Li, B, Si, Al) koncentrációját.

A főionok ekvivalens tömegarányai alapján elkészített Piper-diagram három fő geokémiai víztípust különített el. A legnagyobb csoportot a Ca-SO₄ típusú vizek alkották, amelyekhez az Apor lányok feredője, a Hammas-medencék, a Csiszárfürdő több medencéje (CS1, CS9, CS10) és a Buffogó-láp tartozott. A második csoport kevert fáciesű vizekből állt (J2, CS3, CS5, CS6). Ezek közül a CS3

(Timsós-medence) mutatta a legmagasabb oldott ásványianyag-tartalmat, geokémiai fáciese pedig Na-Cl-HCO₃ volt. A harmadik csoportot a Ca-Mg-HCO₃ típusú vizek (H1, CS2, J1, L) képviselték.

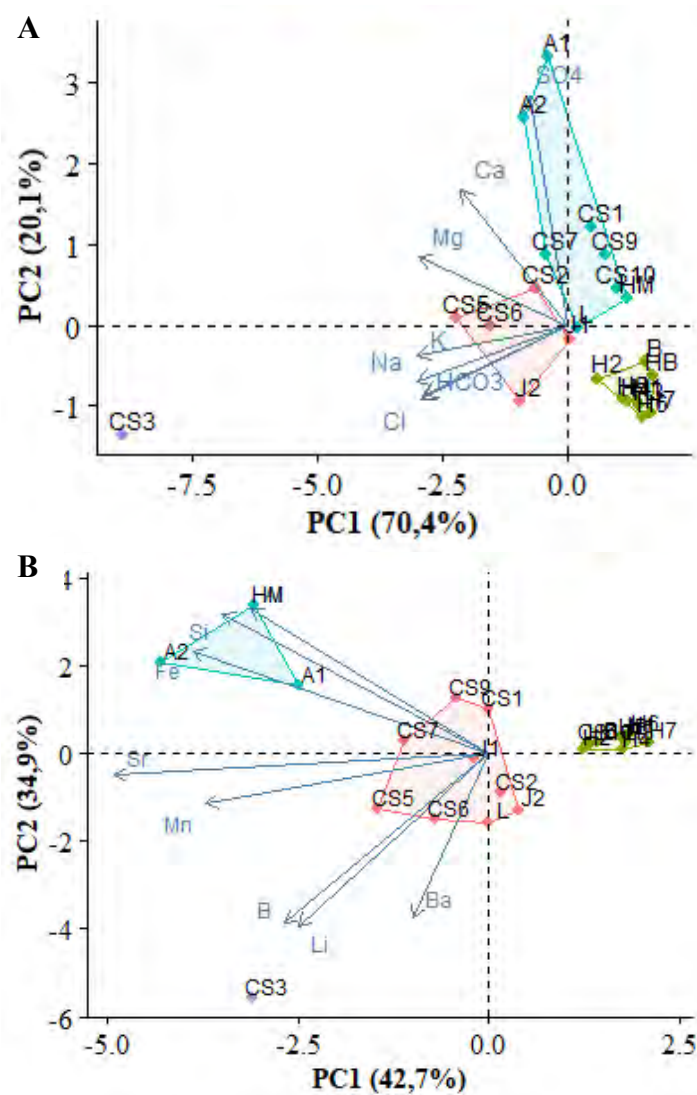


1. ábra. A medencék geokémiai fáciesét azonosító Piper-diagram

A főkomponens-analízis első két komponensének síkjában, k-magpont klaszterezéssel végzett csoportosítás a makroelemek alapján három jól elkülönülő csoportot eredményezett. Az A1, A2, CS1, CS2, CS7, CS9, CS10 és HM medencék kalcium- és szulfátgazdag, erősen savas vizeket tartalmaztak. A második csoportba a Jajdon-völgyi és néhány csiszárfürdői medence tartozott, amelyek kevésbé savasak voltak, ugyanakkor nátriumban, kloridban és hidrogén-karbonátban gazdagabb összetételt mutattak. A harmadik csoportot a Hammas-medencék és a Buffogó-láp alkotta, amelyek az oldott ásványi anyagokban legszegényebb vizek voltak. A CS3 kiugróan magas ásványianyag-tartalma miatt önálló csoportot képviselt.

A mikro- és nyomelemek alapján végzett klaszterezés szintén jól elkülöníthető csoportokat eredményezett. Az A1, A2 és HM medencék magas Al-, Si- és Fe-tartalmuk miatt külön csoportot alkottak. A Jajdon-völgyi medencék hasonlóságot mutattak több csiszárfürdői és a lázárfalvi mintával. A Hammas-medencék és a Buffogó-láp ismét közös csoportba kerültek, amelyhez ezúttal a CS10 (Vér-medence) is csatlakozott, hasonlóan alacsony vezetőképessége, pH-ja, valamint Al-

és Fe-koncentrációja miatt. A CS3 ebben az elemzésben is egyedi összetételűnek bizonyult: itt mértük a legmagasabb B-, Ba- és Li-koncentrációkat, miközben Al-tartalma volt a legalacsonyabb.



2. ábra. A vizek csoportosítása k-magpont módszerrel és ábrázolása a főkomponensanalízis első két komponensének síkjában
 A: a makroösszetevők alapján kapott csoportok
 B: a mikro- és nyomelemösszetétel alapján kapott csoportok

Az eredmények alapján a medencék többségét rövid áramlási útvonalú, CO₂-ban gazdag felszín alatti vizek táplálják. Ezek rendszerint szulfátban is gazdagok, ami a szulfidos ásványokkal való kölcsönhatásra, valamint a szulfidok és a H₂S oxidációja során keletkező kénsav intenzív mállasztó hatására utal. E folyamatok következtében a vizek jelentős mennyiségű alumíniumot és vasat oldanak ki, amelyek kizárólag a szénsavas mállás révén nem jelennének meg ilyen koncentrációban. Néhány medence (különösen a CS3, CS5 és CS6) vize lényegesen nagyobb oldottanyag-tartalommal rendelkezik, ami hosszabb áramlási útvonalú, mélyebb eredetű vizekkel való keveredésre utal. Ennek megfelelően ezekben a mintákban magasabb Na-, Cl-, B- és Li-koncentrációkat, valamint nagyobb elektromos vezetőképességet (5,96; 2,51; illetve 2,19 mS/cm) mértünk.

A vizsgált ásványvizek változatos kémiai összetétele jól tükrözi a Csomád–Bálványos térség összetett hidrogeológiai és utóvulkáni folyamatait.

Kulcsszavak: Csomád–Bálványos vulkáni térség, természetes ásványvizek, hidrogeokémia, CO₂-ban gazdag medencék

Abstract

CHEMICAL COMPOSITION OF SELECTED MINERAL WATER POOLS FROM THE MOUNT PUTUROSU

The Ciomad–Bálványos area, part of the volcanic chain of the Eastern Carpathians, has been included in the Natura 2000 network (ROSCI0037) since December 2007. The area is characterized by ongoing post-volcanic activity, manifested by CO₂-rich mineral springs, mofettes, and mineral water pools. Its geological uniqueness is further enhanced by sulfuric acid-rich springs, whose closest European analogues occur in the volcanic area of Pozzuoli, near Naples, Italy.

A total of 23 mineral water pools were sampled from the western flank of Mt. Puturosu (Hammas pools: H1-H7, Bükki pool: HB, and the mofette pool: HM), the northern side (Buffogó peat bog: B), and the southern side (Csiszárfürdő: CS1-CS10 and Apor lányok feredője: A1-A2). Additional samples were collected from the Jajdon Valley pools (J1-J2) toward Torja and from the Lázárfalva pool (L) on the northern flank of Ciomad. In situ measurements included water temperature, pH, electrical conductivity, redox potential, and GPS coordinates. Laboratory analyses determined the concentrations of major ions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻) and trace elements (Fe, Mn, Sr, Ba, Li, B, Si, and Al).

A Piper diagram constructed using the equivalent proportions of the major ions distinguished three principal hydrochemical facies. The largest group comprised Ca-SO₄-type waters, including the pools of Apor lányok feredője, the Hammas pools, the CS1, CS9, and CS10 pools of Csiszárfürdő, and the Buffogó peat bog. The second group consisted of mixed-facies waters (J2, CS3, CS5, and CS6). Among these, the CS3 pool (locally known as the Alum Pool) exhibited the highest

total dissolved mineral content and was classified as a Na-Cl-HCO₃-type water. The third group consisted of Ca-Mg-HCO₃-type waters (H1, CS2, J1, and L).

Principal component analysis (PCA) followed by k-medoids clustering based on major-element composition identified three distinct groups. The A1, A2, CS1, CS2, CS7, CS9, CS10, and HM pools formed a cluster of calcium- and sulfate-rich, strongly acidic waters. The second cluster included the Jajdon Valley pools and several Csiszárfürdő pools, which were generally less acidic and relatively enriched in sodium, chloride, and bicarbonate. The third cluster comprised the Hammas pools and Buffogó-láp, representing the waters with the lowest dissolved mineral contents. Due to its exceptionally high mineralization, CS3 formed a separate outlier.

Clustering based on trace-element composition also revealed well-defined groups. The A1, A2, and HM pools formed a distinct cluster owing to their elevated Al, Si, and Fe concentrations. The Jajdon Valley pools showed geochemical similarities to several Csiszárfürdő pools and the Lázárfalva pool. The Hammas pools and Buffogó peat bog again clustered together, together with the CS10 (Vér Pool), reflecting their similarly low electrical conductivity, pH, and Al and Fe concentrations. The CS3 pool displayed a unique geochemical signature, characterized by the highest concentrations of B, Ba, and Li, together with the lowest Al concentration among all sampled waters.

The results indicate that most pools are fed by CO₂-rich groundwater with relatively short flow paths. These waters are generally enriched in sulfate, reflecting interaction with sulfide-bearing minerals and the intense weathering caused by sulfuric acid produced during the oxidation of sulfides and H₂S. Consequently, the waters contain elevated concentrations of aluminum and iron, which cannot be explained by carbonic acid weathering alone. In contrast, the waters of the CS3, CS5, and CS6 pools exhibit substantially higher dissolved mineral contents, indicating mixing with groundwater that has followed longer and deeper flow paths. This is supported by their elevated concentrations of Na, Cl, B, and Li, as well as their relatively high electrical conductivities (5.96, 2.51, and 2.19 mS cm⁻¹, respectively).

Conclusions: The hydrochemical characteristics of the investigated waters reflect the complex hydrogeological system and ongoing post-volcanic processes of the Ciomad-Bálványos area. Most pools are supplied by shallow, CO₂-rich groundwater, whereas a few pools (particularly CS3, CS5, and CS6) also receive contributions from deeper groundwater circulating along longer flow paths, resulting in distinct hydrochemical signatures and elevated dissolved mineral contents.

Keywords: Ciomad-Bálványos volcanic area, natural mineral waters, CO₂-rich pools, hydrogeochemistry

EURÓPAI ÁSVÁNYVIZEK HIDROGEOKÉMIAI MINTÁZATAI

BODOR KATALIN^{1,2,3*}, BODOR ZSOLT^{4,5}

¹Bukaresti Egyetem Kutatóintézete (ICUB), Bukaresti Egyetem, Panduri út 90–92., V. kerület, Bukarest, Románia

²Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Élelmiszertudományi Tanszék, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda, Románia

³Venczel József Szakközépiskola Csíkszereda, Taploca utca 20., 530241 Csíkszereda, Románia

⁴Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda, Románia

⁵Vadgazdálkodási és Hegyvidéki Erőforrások Kutatási és Fejlesztési Intézete, Haladás utca 35B., 530240 Csíkszereda, Románia

*Kapcsolattartó szerző: bodorkatalin@uni.sapientia.ro

Kivonat

Az ásványvizek hidrogeokémiai összetétele jól tükrözi a vízáadó rendszerek földtani felépítését és a víz–kőzet kölcsönhatások jellegét. Jelen kutatás célja az európai palackozott ásványvizek fő hidrogeokémiai jellemzőinek feltárása és összehasonlítása egy nagyszámú, egységes adatbázis felhasználásával. A vizsgálat során 13 európai ország 692 ásványvizének kémiai adatait elemeztük a palackcímkéken feltüntetett fő ionösszetétel és az összes oldottanyag-tartalom (TDS) alapján. A hidrogeokémiai osztályozást statisztikai módszerekkel és Piper-diagramok segítségével végeztük el, amelyek lehetővé tették a kémiai típusok és regionális mintázatok azonosítását. Az eredmények azt mutatják, hogy az európai ásványvizek döntő többsége alacsony mineralizációjú, míg a magasabb ásványianyag-tartalom elsősorban bizonyos régiókhoz köthető. A vizsgált ásványvizek hidrogeokémiai összetételében elsősorban a kalcium–magnézium–hidrogén-karbonát (Ca-Mg-HCO_3) típus jellemző, míg nátrium–hidrogén-karbonátos és kevert összetételű vizek kisebb arányban fordulnak elő. A gyenge savas anionoknak az erős savas anionokkal szembeni túlsúlya a karbonátban gazdag földtani környezet, valamint a tartós víz–kőzet kölcsönhatási folyamatok meghatározó szerepére utal. A megfigyelt mintázatok elsősorban karbonátos kőzetekhez kapcsolódó víz–kőzet kölcsönhatásokkal magyarázhatók. A kutatás átfogó európai képet nyújt az ásványvizek hidrogeokémiai sajátosságairól, és összehasonlítási alapot biztosít regionális, így a Kárpát-medence ásványvizeinek értelmezéséhez.

Kulcsszavak: ásványvíz, hidrogeokémia, mineralizáció, Piper-diagram

Abstract

HYDROGEOCHEMICAL PATTERNS OF EUROPEAN MINERAL WATERS

The hydrogeochemical composition of mineral waters reflects the geological characteristics of aquifer systems and the nature of water–rock interaction processes. The aim of this study was to investigate and compare the main hydrogeochemical features of European bottled mineral waters using a large and harmonized dataset. The analysis includes chemical data of 692 bottled mineral waters from 13 European countries, based on major ion concentrations and total dissolved solids (TDS) values reported on product labels. Hydrogeochemical classification was carried out using statistical analyses and Piper diagrams, enabling the identification of dominant chemical types and regional patterns. The results indicate that the majority of European mineral waters are characterized by low mineralization, while higher mineral content is associated with specific regions. The hydrogeochemical composition of the investigated mineral waters is predominantly characterized by the calcium–magnesium–bicarbonate (Ca-Mg-HCO_3) type, whereas sodium–bicarbonate and mixed water types occur less frequently. The predominance of weak-acid anions over strong-acid anions indicates the major influence of carbonate-rich geological settings and persistent water–rock interaction processes. The study provides a comprehensive European-scale overview of mineral water hydrogeochemistry and offers a reference framework for regional comparisons, including mineral waters of the Carpathian Basin.

Keywords: mineral water, hydrogeochemistry, mineralization, Piper diagram

FORRÁS- ÉS FELSZÍNI VIZEK TRÍCIUM AKTIVITÁSKONCENTRÁCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

TÓTH PIROSKA^{1,2*}, NOVÁK MÁTÉ¹, HEGEDŰS MIKLÓS¹,
MAKSYM GUSYEV³, LORENZO COPIA^{4,5},
KOVÁCS TIBOR⁶, TÓTH-BODROGI EDIT¹

¹Pannon Egyetem, Veszprém, Hungary

²Független kutató

³Fukushima University, Fukushima, Japán

⁴Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA), Bécs

⁵University of Ottawa, Ottawa

⁶Semmelweis Egyetem, Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet, Budapest

*Kapcsolattartó szerző: piro@apnet.ro

Kivonat

A trícium (^3H) a hidrogén radioaktív izotópja, amely természetes és antropogén eredetű forrásokból egyaránt jelen van a környezetben. A vízmolekulákba beépülve a vízkörforgásban tanúsított viselkedése és rövid, 12,32 éves felezési ideje miatt fontos nyomjelzője a felszíni és felszín alatti vizek utánpótlásának, tartózkodási idejének és hidrodinamikai folyamatainak. A Kárpát-medence forrásainak természetes trícium aktivitás-koncentrációiról azonban jelenleg korlátozott mennyiségű adat áll rendelkezésre, a legtöbb tanulmány jól körülhatárolt területekre vagy az atomerőművek környezetére fókuszál.

Vizsgálatunk célja a Kárpát-medence különböző hidrogeológiai adottságú területeiről származó vízminták természetes tríciumaktivitásának vizsgálata volt. 2024 nyarán, terepi mintavétel során Magyarországon és Erdélyben összesen kilenc mintát gyűjtöttünk, hetet különböző hőmérsékletű forrásokból, egyet a Hévízi-tó elfolyó csatornájából, valamint egyet egy csapadékeseményből. A trícium aktivitáskoncentrációját a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) Izotóphidrológiai Laboratóriumában elektrolitikus dúsítást követő folyadékszcintillációs számlálással határoztuk meg.

A mért aktivitáskoncentrációk $0,036 \pm 0,004$ és $1,046 \pm 0,015$ Bq/L között változtak ($\approx 0,30\text{--}8,25$ TU). A legmagasabb értéket a csapadékmintában mértük, ami azonban a szezonális ingadozást figyelembe véve megfelel a régióra jellemző várható koncentrációnak. Több mély termálvíz-forrás rendkívül alacsony tríciumtartalmat mutatott. Ezzel szemben néhány, hozzájuk földrajzilag közeli forrás esetében lényegesen magasabb trícium aktivitáskoncentrációt tapasztaltunk. Az alacsony trícium aktivitáskoncentráció hosszú felszín alatti tartózkodási időre és korlátozott csapadék általi utánpótlásra utal, míg a magasabb aktivitású minták fiatalabb vízutánpótlást vagy különböző korú víztömegek keveredését jelzik. A Hévíz elfolyó csatornájának alacsony trícium koncentrációja arra utal, hogy a

csapadékhöz képest, a tavat tápláló nagy hozamú források hatása jelentősebb és érdemes lenne azokat lehetőség esetén külön megvizsgálni.

Összefoglalva, eredményeink hozzájárulnak a Kárpát-medence vizeinek trícium koncentráció adatbázisának bővítéséhez, valamint alapot biztosítanak a trícium jövőbeni alkalmazásához hidrogeológiai nyomjelzőként és a környezeti radioaktivitás hosszú távú monitorozásához a régióban.

Kulcsszavak: H-3, felszíni víz, forrásvíz, hévíz, meleg vizű forrás, termálvíz, hidrogeológia

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az Environmental Radioactivity Research Center (ERAN, Japán) támogatta az I-24-26, I-25-15 és I-26-17 projektek keretében.



1. ábra. A mintavételi pontok elhelyezkedése a Kárpát-medencében

Figure 1. Location of the sampling sites in the Carpathian Basin

Abstract

INVESTIGATION OF TRITIUM ACTIVITY CONCENTRATION OF SPRING AND SURFACE WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN

Tritium (^3H) is a radioactive isotope of hydrogen, which is present in the environment from natural and anthropogenic sources. Due to its behavior in the water cycle as a water molecule and a short half-life of 12.32 years, tritium is an

important tracer of the recharge rate, residence time and hydrodynamic processes for surface and subsurface water resources. Currently, the information available on the natural tritium activity concentration in the Carpathian basin is limited with most studies focused on well-defined areas or the vicinity of nuclear power plants.

The goal of our research was to investigate tritium activity concentrations originating from areas of the Carpathian Basin with different hydrogeological characteristics. During field surveys in 2024 summer, we have collected nine samples in Hungary and Transylvania: seven from springs with different temperatures, one from the outlet canal of Lake Hévíz, and one rainwater event sample. Activity concentrations were measured at the International Atomic Energy Agency (IAEA) Isotope Hydrology Laboratory by liquid scintillation counting after electrolytic enrichment.

The measured activity concentrations ranged between 0.036 ± 0.004 and 1.046 ± 0.015 Bq/L (≈ 0.30 – 8.25 TU). The highest activity concentration was measured in the rainwater sample, however, the activity concentration agrees well with values expected for the region considering seasonal variation. Multiple deep thermal water sources had very low tritium concentrations. On the other hand, for other springs located geographically near, we have experienced significantly higher tritium activity concentrations. The low tritium activity concentration indicates long water residence times in the subsurface and limited contribution from the rainwater recharge, while higher activity concentrations indicate younger water recharge or the mixing of waters with different ages. The low activity concentration in the outlet canal of the Hévíz Lake indicates that, compared to precipitation, the influence of the high flow rate underwater springs is dominant, and it might be worth investigating them separately. In summary, our results contribute to the database on the tritium concentration of waters in the Carpathian Basin and provide a baseline for the future use of tritium as a geochemical tracer and the long-term monitoring of environmental radioactivity in the region.

Keywords: H-3, surface water, spring water, hot spring, warm spring, thermal water, hydrogeology

Acknowledgements

This work was supported by Environmental Radioactivity Research Network Center grants I-24-26, I-25-15 and I-26-17.

ÁSVÁNYVIZEK HATÁSA A MIKROBIÁLIS KÁVÉFERMENTÁCIÓRA

TAMÁS NORBERT¹, KRISTÁLY NOÉMI¹,
ALBERT CSILLA¹, ORBÁN KÁLMÁN CSONGOR^{1,2*}

¹Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Csíkszereda,
Hargita megye, Szabadság tér 1. szám, 530104

E-mail: tamasjanorbertlevente@uni.sapientia.ro, kristalyjnoemi@uni.sapientia.ro,
albertcsilla@uni.sapientia.ro, orbancsongor@uni.sapientia.ro

²Bean & Brew Kft., Csíkszereda, Sarkadi Elek utca 53. szám, 530200

*Kapcsolattartó szerző: orbancsongor@uni.sapientia.ro

Kivonat

Az ásványvizek magas oldottásványianyag-tartalmuk révén befolyásolhatják a mikroorganizmusok anyagcseréjét és ezáltal a fermentáció során lezajló biokémiai folyamatokat, azonban a kávéfermentációban betöltött szerepük kevésbé ismert. Az ásványi ionok számos enzimátikus reakció kofaktoraiként szerepet játszhatnak a mikrobiális aktivitás, valamint a fermentáció során képződő metabolitok mennyiségének és összetételének szabályozásában.

Kutatásunk célja annak vizsgálata volt, hogy két természetes erdélyi ásványvíz, a sósokúti és az előpataki ásványvizek alkalmazása milyen hatást gyakorol a kávébab előkezelésére, valamint hogyan befolyásolja egy kontrollált mikrobiológiai fermentációs rendszer működését. A vizsgálatok egy olyan laboratóriumi modell részét képezték, amelynek hosszú távú célja a Kopi Luwak kávéra jellemző érzékszervi tulajdonságok állatmentes előállítására szabályozott fermentációs eljárások alkalmazásával. A fermentációkat *Saccharomyces cerevisiae* és *Lactobacillus plantarum* kultúrákkal aerob, anaerob és kétféle fermentációs rendszerekben végeztük.

Az ásványvizekkel végzett áztatási vizsgálatok a fermentációs kísérletektől elkülönítve, fermentációs lépés nélkül történtek (1. ábra). Céljuk annak meghatározása volt, hogy az eltérő ásványianyag-összetételű természetes vizek önmagukban befolyásolják-e a kávébab jellemzőit. A fermentáció során bekövetkező metabolikus változások vizsgálata nagy teljesítményű folyadékkromatográfiával (HPLC) történt, a főbb cukrok, szerves savak, koffein és klorogénsav koncentrációjának meghatározásával.

A különböző fermentációs rendszerek eltérő metabolitprofilokat eredményeztek. Az ásványvizekkel végzett áztatási kísérletek eredményei arra utaltak, hogy az ásványianyag-összetétel befolyásolhatja a kávébab egyes komponenseinek kioldódását, ezáltal módosíthatja a fermentáció kiindulási állapotát. A fermentáció során a vizsgált cukrok és szerves savak koncentrációjában bekövetkező változások a mikroorganizmusok aktív anyagcseréjét tükrözték. Az érzékszervi értékelés alapján a Tomato Broth tápközegben végzett anaerob és

kétlépcsős fermentációk eredményezték a legkedvezőbb érzékszervi tulajdonságokat.

Eredményeink alapján a természetes ásványvizek alkalmazása ígéretes lehetőséget kínálhat a mikrobiális fermentációs folyamatok finomhangolására. Az ásványianyag-összetétel szerepének további vizsgálata hozzájárulhat reprodukálhatóbb és fenntarthatóbb fermentációs technológiák fejlesztéséhez nemcsak a kávéfeldolgozásban, hanem más fermentált élelmiszerek előállításában is.

Abstract

EFFECTS OF MINERAL WATERS ON MICROBIAL COFFEE FERMENTATION

Due to their high dissolved mineral content, natural mineral waters may influence microbial metabolism and consequently the biochemical processes occurring during fermentation. However, their role in coffee fermentation remains poorly understood. Mineral ions serve as cofactors for numerous enzymatic reactions and may therefore contribute to the regulation of microbial activity as well as the quantity and composition of metabolites produced during fermentation.

The aim of this study was to investigate the effects of two natural Transylvanian mineral waters, Sóskút and Előpatak, on coffee bean pretreatment and on the performance of a controlled microbial fermentation system. The experiments were conducted as part of a laboratory model whose long-term objective is to reproduce the sensory characteristics of Kopi Luwak coffee through controlled fermentation without the use of animals. Fermentation experiments were performed using *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* cultures under aerobic, anaerobic, and two-stage fermentation conditions.

Mineral water soaking experiments were carried out separately from the fermentation trials, without microbial fermentation, to determine whether natural waters with different mineral compositions could independently influence the characteristics of coffee beans. Metabolic changes occurring during fermentation were monitored by high-performance liquid chromatography (HPLC) through the quantification of major sugars, organic acids, caffeine, and chlorogenic acid.

The different fermentation systems produced distinct metabolite profiles. The results of the mineral water soaking experiments suggested that mineral composition may influence the leaching of certain coffee bean constituents, thereby modifying the initial conditions of fermentation. Changes observed in the concentrations of the analyzed sugars and organic acids reflected the metabolic activity of the microorganisms. Sensory evaluation indicated that anaerobic and two-stage fermentations performed in Tomato Broth medium produced the most favorable sensory characteristics.

Our findings suggest that natural mineral waters may represent a promising approach for fine-tuning microbial fermentation processes. Further investigation of

the role of mineral composition may contribute to the development of more reproducible and sustainable fermentation technologies, not only for coffee processing but also to produce other fermented foods.



1. ábra. A mikrobiális kávéfermentáció vizsgálatának kísérleti felépítése.
Figure 1. Experimental setup for the study of microbial coffee fermentation.

A ROMÁNIÁVAL KÖZÖS HAZAI TERMÁLVÍZTESTEK ÁLLAPOTA ÉS BALNEOLÓGIAI HASZNOSÍTÁSI GYAKORLATA

JUHÁSZ ELEONÓRA¹, SZILÁGYI SZABINA¹,
BIHARYNÉ JUHÁSZ GITTA², KISS-TÓTH EMŐKE¹

¹Miskolci Egyetem Egészségtudományi Kar

²Duna-Dráva Cement Kft., Vác

*Kapcsolattartó szerző: eleonora.juhasz@uni-miskolc.hu

Kivonat

A szerzők célja a Magyarország és Románia határtérségeiben elhelyezkedő, porózus és hasadékos mélységi termálvíztestek egységes, határon átnyúló hidrogeológiai rendszer állapotának és azok gyógyászati célú hasznosítási gyakorlatának bemutatása.

Szisztematikus szakirodalmi forráskutatás történt, felhasználásra kerültek Magyarország 3. Vízyűjtő- Gazdálkodási Terve (VGT3), a 4. Terv vitaanyaga (VGT4), a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság által koordinált Tisza részvízyűjtő vitaanyaga (JVK4), az elektronikusan elérhető természetes gyógytényezőkre vonatkozó magyar és román joganyagok, továbbá az elektronikusan elérhető természetes gyógytényezőkkal összefüggő nyilvános magyar és román adatbázisok.

A Dél-alföldi, a Körös-völgyi (pt.2.1, pt.2.3) és a Szatmári-medence rezervoárjainál feltörő vizek hőmérséklete a 40–95 °C intervallumban mozog. E gazdag alkáli-hidrogénkarbonátos, valamint jódos-brómos gyógyvízkincsre mindkét oldalon jelentős balneológiai és turisztikai hálózat épült. Az intenzív fürdőcélú és energetikai kihasználtság miatt, több területen lokális nyomássüllyedés tapasztalható. A monitoringhálózat hiányosságai és a hévízkutak nem szabványosított nyugalmi vízszintmérése miatt a VGT3 ezen víztesteket „jó, de fennáll a gyenge állapot kockázata” minősítéssel látta el. A felszín alatti vízbázisok védelmében és a kitermelés koordinálásában a Magyar-Román Határvízi Bizottság kétoldalú együttműködése létfontosságú. Romániában a természetes gyógytényezők minőségének értékelését, jellemzését a Nemzeti Rehabilitációs, Fizioterápiás és Balneoklimatológiai Intézet Orvosi és Balneológiai Irányító és Ellenőrző Bizottsága végzi, valamint a felhasználásra vonatkozó javallatokat és ellenjavallatokat dolgozza ki. A 2004. évi 1154. számú Kormányhatározat a határozza meg a gyógyvizek csoportjait, amelyekből 11-et különböztet meg.

A fenntartható vízgazdálkodást nehezíti a két állam eltérő jogi környezete. Hazánk kiemelten kezeli az alföldi termálvizek süllyedési tendenciáit a határokon átnyúló vízkészlet megőrzése érdekében. A fenntartható jövő kulcsa a szektorpolitikák tökéletes és harmonizált integrációja.

Abstract

STATUS AND BALNEOLOGICAL UTILIZATION PRACTICES OF HUNGARY'S TRANSBOUNDARY THERMAL GROUNDWATER BODIES SHARED WITH ROMANIA

The aim of the authors is to present the current status of the transboundary hydrogeological system formed by the porous and fractured deep thermal groundwater bodies located along the Hungarian–Romanian border, together with their current practices of balneological utilization.

A systematic literature review was conducted using Hungary's 3rd River Basin Management Plan (RBMP3), the consultation draft of the 4th River Basin Management Plan (RBMP4), the consultation draft of the Tisza Sub-basin Management Plan (SBMP4) coordinated by the Middle Tisza District Water Directorate, as well as electronically available Hungarian and Romanian legislation concerning natural healing factors and publicly accessible Hungarian and Romanian databases related to these natural therapeutic resources.

The thermal waters emerging from the reservoirs of the Southern Great Plain, the Körös Valley (pt.2.1 and pt.2.3), and the Satu Mare Basin exhibit temperatures ranging from 40 to 95 °C. Based on these alkaline hydrogen carbonate and iodine–bromine medicinal waters on both sides of the border an extensive balneological and tourism infrastructure has been developed. Owing to intensive spa and geothermal energy exploitation, localized pressure declines have been observed in several areas. Due to deficiencies in the monitoring network and the lack of standardized static water-level measurements in thermal wells, RBMP3 classified these groundwater bodies as being in good status, while acknowledging a risk of deterioration. Bilateral cooperation within the framework of the Hungarian–Romanian Transboundary Water Commission is essential for the protection of groundwater resources and the coordinated management of groundwater abstraction. In Romania, the assessment and characterization of natural healing factors are carried out by the Medical and Balneological Guidance and Supervisory Committee of the National Institute of Rehabilitation, Physical Medicine and Balneoclimatology, which is also responsible for establishing the medical indications and contraindications for their therapeutic use. Romanian Government Decision No. 1154/2004 defines 11 categories of medicinal waters.

Sustainable groundwater management is further challenged by differences in the legal and regulatory frameworks of the two countries. Hungary places particular emphasis on addressing the declining pressure trends of thermal groundwater bodies in the Great Plain in order to preserve shared transboundary groundwater resources. The key to long-term sustainability lies in the comprehensive and harmonized integration of sectoral policies.

A GYÓGYVÍZBEN VÉGZETT SUBAQUALIS TORNA HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA TÉRDPROTÉZIS MŰTÉT UTÁNI KORAI REHABILITÁCIÓS SZAKASZBAN

HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA^{1*}, HIDVÉGI Rebeka¹,
AMBRUS ESZTER KRISZTINA¹, NUSSER NÓRA¹

¹Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs
Kórház, 7815, Harkány, Zsigmondy sétány 1.

*Kapcsolattartó szerző: belyzsofi@gmail.com

Bevezetés

Napjainkban Magyarországon átlagosan 17 564 fő vár térdprotézis műtetre. A beavatkozást követő rehabilitációs kezelés hozzájárul a gyorsabb felépüléshez, a járásképes és az alsó végtag mozgásainak helyreállításához. A Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórházban a térdprotézis beültetésén átesett páciensek a műtétet követően átlagosan 21 napos korai rehabilitáción vehetnek részt. A kutatás célja, hogy megvizsgáljuk a térdprotézis műtéten átesett páciensek körében a sebgyógyulás utáni közvetlen időszakban végzett gyógyvízes subaqualis torna hatását.

Anyag és módszer

A résztvevők a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs Kórház térdprotézis beültetésén átesett páciensei voltak. A vizsgált időszak 2022. áprilisától 2025. szeptemberig terjedő időszak volt. A vizsgálati csoport (31 fő) a rehabilitációs kezelések mellett 20 perces gyógyvízes csoportos vízi tornán vett részt; a kontrollcsoport (31 fő) a rehabilitációs kezelések mellett nem részesült gyógyvízes vízi tornában. A betegek besorolása random módon történt. A kutatásban dokumentum elemzést végzünk. Rögzítettük a felvételtől és távozáskor mért VAS skála, a funkcionális skálák (Barthel Index, FIM-, motoros FIM skála) és a fizioterápiás dokumentáció adatait.

Eredmények

A kutatásban 62 fő adatai kerültek feldolgozásra. A vizsgálati csoport tagjai a műtétet követően az első vízi tornán átlagosan a 23. napon vettek részt. A rehabilitáció végére a VAS skálán mért fájdalom értéke nagyobb mértékű javulást mutatott a vizsgálati csoportban. A rehabilitáció végére a FIM-, a motoros FIM skála, valamint a passzív térd flexio és az aktív térd extensio esetében a vizsgálati csoportban statisztikailag szignifikáns volt a javulás a kontroll csoportéhoz képest. Térd körüli duzzanatot, gyulladásos tüneteket mindkét csoportban észleltünk, a vizsgálati csoportban a vízi torna kezdését követően 6 főnél, a kontroll csoportban a teljes rehabilitáció alatt 7 főnél fordult elő ilyen jellegű tünet.

Következtetések

A műtét utáni hetekben megkezdett gyógyvizes vízi torna eredményes lehet a fizikális funkciók nagyobb mértékű helyreállításában és a fájdalom csökkentésében. Az eredményeinkből úgy tűnik, hogy a sebgyógyulást követő napokban megkezdett vízi torna nem fokozza a gyulladásos tüneteket.

Kulcsszavak: harkányi kénes gyógyvíz, vízi torna, térdprotézis, korai rehabilitáció

Abstract

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SUBAQUATIC EXERCISE IN HARKÁNY MEDICINAL THERMAL WATER DURING THE EARLY REHABILITATION PHASE FOLLOWING KNEE REPLACEMENT SURGERY

Introduction

Currently, an average of 17,564 patients are on the waiting list for knee arthroplasty in Hungary. Postoperative rehabilitation treatment contributes to faster recovery, as well as the restoration of gait and lower limb movements. At the University of Pécs Clinical Centre Harkány Thermal Rehabilitation Hospital, patients undergoing knee arthroplasty can participate in an average of 21 days of early rehabilitation following surgery. The aim of this study was to investigate the effects of medicinal water subaquatic exercise performed in the immediate period following wound healing among patients after knee arthroplasty.

Material and method

Participants were patients who underwent knee arthroplasty at the University of Pécs Clinical Centre Harkány Thermal Rehabilitation Hospital. The study period spanned from April 2022 to September 2025. The experimental group (31 patients) participated in 20-minute group water exercises in medicinal water in addition to standard rehabilitation treatments; the control group (31 patients) received standard rehabilitation treatments but did not participate in medicinal water exercises. Patient allocation was randomized. Document analysis was performed in the research. Data from the Visual Analogue Scale (VAS), functional scales (Barthel Index, FIM, and motor FIM scale), and physiotherapy documentation measured at admission and discharge were recorded.

Results

Data from 62 patients were processed in the study. Members of the experimental group participated in their first water exercise session on average on the 23rd postoperative day. By the end of rehabilitation, the pain value measured on the VAS scale showed a greater improvement in the experimental group. By the end of rehabilitation, the improvement in the FIM and motor FIM scales, as well as in passive knee flexion and active knee extension, was statistically significant in the experimental group compared to the control group. Peripatellar swelling and

inflammatory symptoms were observed in both groups: these symptoms occurred in 6 patients in the experimental group after starting water exercise, and in 7 patients in the control group during the entire rehabilitation period.

Conclusions

Medicinal water exercise initiated in the postoperative weeks can be effective in achieving a greater restoration of physical functions and reducing pain. Our results suggest that water exercise started in the days following wound healing does not increase inflammatory symptoms.

Keywords: Harkány medicinal sulfur water, water exercise, knee arthroplasty, early rehabilitation

GYÓGYVIZEK SZEREPE A CIVILIZÁCIÓS BETEGSÉGEK KEZELÉSÉBEN

HIDEGNÉ BÉLY ZSÓFIA

Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ Harkányi Termál Rehabilitációs
Kórház, 7815, Harkány, Zsigmondy sétány 1.
Kapcsolattartó szerző: belyzsofi@gmail.com

Kivonat

Bevezetés

A modern életmóddal együtt járó kihívások – mint a krónikus stressz, a mozgásszegény életmód, a helytelen táplálkozás és a környezeti ártalmak – a civilizációs betegségek drasztikus emelkedéséhez vezettek. A szív- és érrendszeri panaszok, a metabolikus szindróma, a mozgásszervi megbetegedések és a mentális kimerültség (burnout) korunk népbetegségeivé váltak. Ezen komplex kórképek megelőzésében és kezelésében a hagyományos gyógyszeres terápiák mellett egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a természetes, holisztikus gyógymódok, élükön a balneoterápiával.

Célkitűzés

Az előadás célja, hogy tudományos bizonyítékokon keresztül bemutassa a különféle kémiai összetételű gyógyvizek élettani hatásait és igazolja azok létjogosultságát a civilizációs betegségek prevenciójában, illetve rehabilitációjában.

Következtetés

A gyógyvizes kezelések nem csupán a múlt örökségei, hanem a modern, bizonyítékokon alapuló orvoslás (evidence-based medicine) értékes eszközei. A balneoterápia rendkívül hatékony, komplex alternatívát vagy kiegészítést nyújt a civilizációs betegségek globális terheinek csökkentésében, javítva a páciensek életminőségét és támogatva az aktív öregedést.

Kulcsszavak: balneoterápia, gyógyvíz, civilizációs betegségek, prevenció, holisztikus egészség, rehabilitáció

Abstract

THE ROLE OF MEDICINAL WATERS IN THE TREATMENT OF LIFESTYLE DISEASES

Introduction

The challenges associated with modern lifestyles – such as chronic stress, sedentary behavior, poor nutrition, and environmental hazards – have led to a drastic rise in lifestyle-related diseases. Cardiovascular disorders, metabolic syndrome, musculoskeletal conditions, and mental exhaustion (burnout) have become widespread health issues of our time. Alongside conventional pharmacological therapies, natural, holistic treatments – led by balneotherapy – are playing an

increasingly important role in the prevention and management of these complex conditions.

Objective

The aim of this presentation is to demonstrate, through scientific evidence, the physiological effects of medicinal waters with varying chemical compositions and to validate their role in the prevention and rehabilitation of lifestyle-related diseases.

Conclusion

Treatments involving medicinal waters are not merely a legacy of the past but valuable tools in modern, evidence-based medicine. Balneotherapy offers a highly effective, comprehensive alternative or complementary approach to reducing the global burden of lifestyle-related diseases, thereby improving patients' quality of life and supporting active aging.

Keywords: balneotherapy, medicinal water, lifestyle-related diseases, prevention, holistic health, rehabilitation

A KOMBINÁLT SZÁRAZFÖLDI ÉS SÓS VÍZBEN VÉGZETT FIZIOTERÁPIA HATÁSOSságÁNAK VIZSGÁLATA CSUKLÓTÖRÉST KÖVETŐ REHABILITÁCIÓBAN

SZILÁGYI SZABINA¹, LUKÁCS BENCE JÓZSEF¹, GUZI BARBARA¹

¹Miskolci Egyetem, Egészségtudományi Kar, Miskolc-Egyetemváros A/4, 3515
Miskolc, Magyarország

*Kapcsolattartó szerző: szabina2000.ss@gmail.com

Kivonat

Bevezetés

A csuklótörés leginkább a csonttritkulással együtt élő és a menopauza életszakaszában járó nőket érinti. Célunk a csuklótörést elszenvedett betegek állapotfelmérése, komplex terápia (sós vizes és szárazföldi) hatásosságának vizsgálata.

Módszerek

Mintánkban 15 fő szerepel, akik a 2025. októbere – 2026. februárja időszakban a miskolci kórházban fizioterápiás kezeléseket részesültek. Felmérésre került fájdalom (VAS-skála), könyök-, csuklóízület mozgásterjedelem (goniométer), ujjak funkciói, izomerő (Oxford-skála), speciális- (Phalen-, Froment-teszt), finommotorika és manipuláció teszt (Módosított Semmes–Weinstein-teszt, Corbett TCT, Jebsen THFT). A terápia minimum 10 alkalom, 40 perc/alkalom, 20 perc 15 m/m%-os meleg, minimum 30 °C-os sós vízben, majd 20 perc szárazföldi torna, elemei: keringésváltoztatás, a könyök-, alkar-, csukló-, ujjak mozgásterjedelem és izomerő, manipuláció, finommotorika, propriocepció fejlesztése. Az adatok feldolgozása Microsoft Excel programmal történt.

Eredmények

A minta 60%-ában a sérülés bal oldali, 26,66%-ban a domináns oldal érintett, 33,33%-a műtéti ellátásban részesült. Kezdeti funkcionális deficitként mérsékelt fájdalom, duzzanat, csökkent ízületi mobilitás, neuromusculáris-, szenzomotoros kontroll- és proprioceptív zavar, funkcionális teljesítménycsökkenés volt mérhető. A terápia hatására csuklóízületi flexios irány (hajlítás) 105,11%-os, az extenziós (nyújtás) irány 97,25%-os javulása történt. A módosított Corbett-féle Targeted Coin teszt során a betegek 86,66%-a került a normál kategóriába az érintett oldalt figyelembe véve. A Jebsen-Taylor Test klasszikus értékelési rendszere esetében a feladatok teljesítési idejét tekintve szignifikáns, a kézdominanciát figyelembe véve számottevő javulást tapasztaltunk.

Következtetés

A kezelés végére az érintett felső végtag strukturális és funkcionális károsodásai jelentős mértékben csökkentek, ami az aktivitási korlátozottság

mérséklődésében és a mindennapi életben való részvétel javulásában is megmutatkozott. A komplex fizioterápia fontos a kézsérült személyek korai rehabilitációjában.

Abstract

EFFECTIVENESS OF COMBINED LAND-BASED AND SALTWATER PHYSIOTHERAPY IN THE REHABILITATION FOLLOWING WRIST FRACTURE

Introduction

Wrist fractures predominantly affect women with osteoporosis, particularly those in the menopausal period. The aim of this study was to assess the condition of patients following wrist fracture and to investigate the effectiveness of a combined rehabilitation program consisting of saltwater and land-based physiotherapy.

Methods

The study included 15 patients who received physiotherapy at a hospital in Miskolc between October 2025 and February 2026. Assessments included pain intensity (Visual Analogue Scale, VAS), elbow and wrist joint range of motion (goniometer), finger function, muscle strength (Oxford Muscle Strength Scale), special tests (Phalen's test and Froment's sign), as well as fine motor skills and hand dexterity using the Modified Semmes–Weinstein Test, Corbett Targeted Coin Test (TCT), and Jebsen–Taylor Hand Function Test (JTHFT). The rehabilitation program consisted of a minimum of 10 sessions, each lasting 40 minutes: 20 minutes of exercise in warm (minimum 30 °C), 15 m/m% saltwater, followed by 20 minutes of land-based physiotherapy. The intervention focused on improving circulation, restoring the range of motion and muscle strength of the elbow, forearm, wrist, and fingers, as well as enhancing manipulation, fine motor skills, and proprioception. Data were analyzed using Microsoft Excel.

Results

In 60% of the cases, the injury involved the left wrist, while the dominant side was affected in 26.66% of patients. Surgical treatment was required in 33.33% of cases. Initial functional deficits included moderate pain, swelling, reduced joint mobility, impaired neuromuscular and sensorimotor control, proprioceptive dysfunction, and decreased functional performance. Following the rehabilitation program, wrist flexion improved by 105.11%, while wrist extension improved by 97.25%. According to the modified Corbett Targeted Coin Test, 86.66% of patients achieved normal performance on the affected side by the end of treatment. The classical scoring system of the Jebsen–Taylor Hand Function Test demonstrated significant improvements in task completion times, with clinically meaningful gains observed when hand dominance was taken into account.

Conclusion

By the end of the rehabilitation program, structural and functional impairments of the affected upper limb had been substantially reduced, resulting in decreased activity limitations and improved participation in daily life. Combined saltwater and land-based physiotherapy appear to play an important role in the early rehabilitation of patients with hand and wrist injuries.

ÁSVÁNYVIZEK KOZMETIKAI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE HUMÁN BŐRSEJT MODELLEN

PÉTER IZABELLA^{1,2*}, DOMOKOS EMESE¹,
KRISTÁLY NOÉMI¹, CSATÓ-KOVÁCS ERIKA^{1,3},
TÁNCZOS SZIDÓNIA^{1,3}, ALBERT BEÁTA^{1,2,3}

¹ Medusa Laboratories, Csíkszereda, Hargita megye, Sarkadi Elek, 53. szám, 530104
E-mail: peterizabella@uni.sapientia.ro, domokosdemese@uni.sapientia.ro,
kristalyjnoemi@uni.sapientia.ro, kovacserika@uni.sapientia.ro,
tanczoszsidonia@uni.sapientia.ro, albertbeata@uni.sapientia.ro

² Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6. szám,

³ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar, Csíkszereda, Hargita megye, Szabadság tér, 1. szám, 530104

*Kapcsolattartó szerző: peterizabella@uni.sapientia.ro

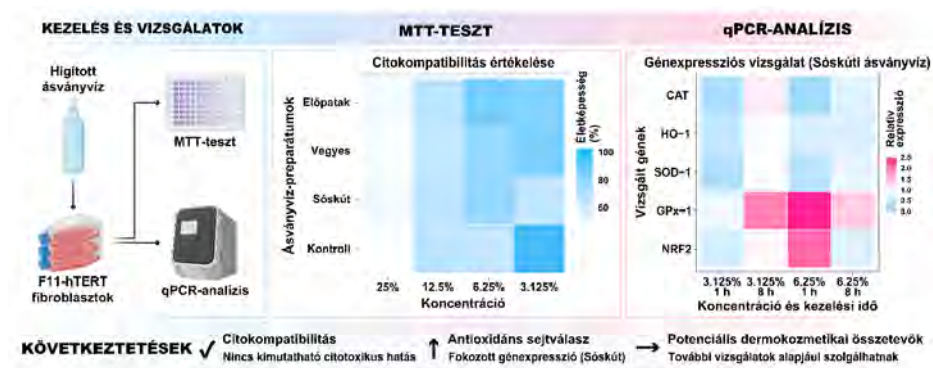
Kivonat

A Kárpát-medence ásványvizekben gazdag térség, amelyeket széles körben alkalmaznak a balneoterápiában. A székelyföldi régióban található szeléntartalmú előpataki, valamint a kénhidrogén-tartalmú sóskúti ásványvizek összetételükből adódóan antioxidáns és gyulladáscsökkentő bőrbiológiai hatásokat fejthetnek ki. A természetes ásványvizek kozmetikai termékekben történő alkalmazása azonban jelenleg kevésbé elterjedt. Az emberi bőrrel való közvetlen érintkezés miatt alkalmazhatóságuk felméréséhez elsőként biztonságosságukat szükséges igazolni.

Előtanulmányunk célja az előpataki és sóskúti forrásvizek humán sejtvonalon kifejtett hatásának vizsgálata különböző koncentrációjú és összetételű ásványvíz-preparátumok alkalmazásával. A citotoxicitás felmérésére MTT-tesztet végeztünk mindkét ásványvíz-preparátummal, míg az antioxidáns hatást a jelen tanulmányban kizárólag a sóskúti ásványvízzel értékeltük qPCR-alapú génexpressziós vizsgálatokkal, az oxidatív stressz elleni védekezésben szerepet játszó gének expressziójának elemzésével.

A viabilitásvizsgálatok nem igazoltak citotoxikus hatást az ásványvíz-preparátumokkal történő kezelést követően. A sejtek életképességének csökkenése látszólag a tápoldat hígulásának és ezáltal a sejtek fenntartásához szükséges esszenciális tápanyagok csökkent koncentrációjának tulajdonítható, mintsem a megnövekedett ásványianyag-tartalomnak. A génexpressziós vizsgálatok során az antioxidáns védelemben szerepet játszó gének bizonyos ásványvíz-koncentrációk és kezelési időtartamok mellett fokozott expressziót mutattak. Az eredmények arra utalnak, hogy a sóskúti ásványvíz koncentráció- és időfüggő módon, a génexpresszió finomhangolásán keresztül hozzájárulhat a sejtek oxidatív stresszel szembeni védekezéséhez.

Előtanulmányunk eredményei alapján mindkét vizsgált ásványvíz citokompatibilisnek bizonyult, míg a sóskúti ásványvíz emellett kedvező hatást mutatott az oxidatív stresszel szembeni sejtválaszra. A vizsgált ásványvizek ígéretes kiindulási alapot jelenthetnek további vizsgálatokhoz/tanulmányokhoz/kutatásokhoz, valamint a jövőben értékes összetevőkké válhatnak dermokozmetikai készítmények fejlesztéséhez.



Abstract

EVALUATION OF MINERAL WATERS FOR COSMETIC APPLICATIONS USING A HUMAN SKIN CELL MODEL

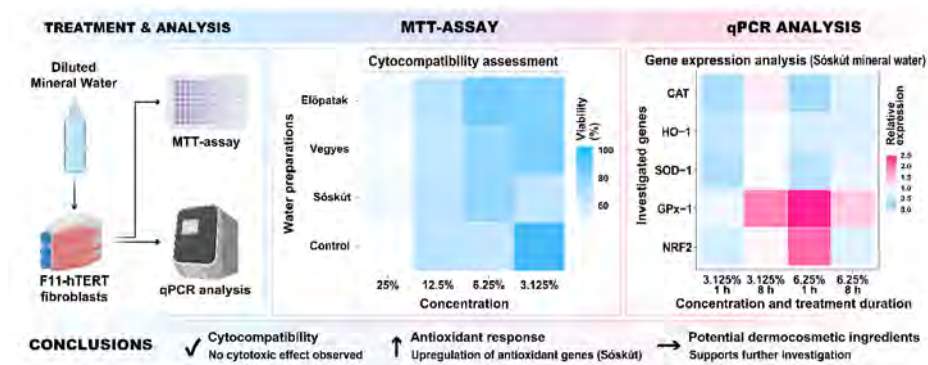
The Carpathian Basin is rich in natural mineral waters, many of which have long been widely used in balneotherapy. The selenium-rich mineral water from Előpatak and the hydrogen sulfide-rich mineral water from Sóskútfürdő, both located in the Székelyföld (Szeklerland) region, may exhibit beneficial skin-related biological properties, including antioxidant and anti-inflammatory effects, owing to their mineral composition. However, the use of mineral waters in cosmetic formulations remains relatively limited. As these products come into direct contact with human skin, their safety must first be established before their suitability for cosmetic applications can be assessed.

The aim of the present study was to investigate the effects of mineral waters from Előpatak and Sóskútfürdő on a human cell line using mineral water preparations of different concentrations and compositions. Cytotoxicity was evaluated by the MTT assay for both mineral water preparations, whereas antioxidant effects were assessed exclusively for the Sóskút mineral water using quantitative PCR-based gene expression analysis of genes involved in the cellular response to oxidative stress.

Cell viability assays did not reveal any cytotoxic effects following treatment with the mineral water preparations. The observed reduction in cell viability appeared to result from dilution of the culture medium and the consequent decrease

in the concentrations of essential nutrients required for cell maintenance, rather than from the increased mineral content. Gene expression analyses demonstrated increased expression of several genes involved in antioxidant defense at specific mineral water concentrations and exposure times. These findings suggest that the Sóskút mineral water may contribute to cellular defense against oxidative stress in a concentration- and time-dependent manner through modulation of gene expression.

Based on the results of this preliminary study, both investigated mineral waters proved to be cytocompatible, while the Sóskút mineral water additionally exhibited beneficial effects on the cellular response to oxidative stress. The investigated mineral waters represent promising candidates for further investigation and may serve as valuable ingredients in the development of future dermocosmetic formulations.



ALSÓSÓFALVA, NYÍLT SÓKARSZTOS FORMÁK ÉS BEAVATKOZÁSI KÍSÉRLETEK LÁTHATÓ JELEI A PARAJDI SÓBÁNYA VÉDELME ÉRDEKÉBEN 2010-BEN ÉS 2014-BEN

LÉNÁRT LÁSZLÓ

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, Miskolc-Egyetemváros A/4, 3515 Miskolc,
Magyarország
E-mail: hgll@uni-miskolc.hu

Kivonat

Az erdélyi szakmai konferenciák és azok szakmai tanulmányútjai számomra 2004-ben váltak igazán intenzívvé, amikor a Sapientia Egyetem szervezésében, Makfalvi Zoltán vezetésével – a Felszín Alatti Vizek Alapítvány (FAVA) szakmai támogatásával, Liebe Pál sokirányú támogatásával – megindult a ma is élő Kárpát-medence ásványvizeit bemutató rendezvénysorozat „Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence ásványvizeiről” címmel, melyet jelenleg elsősorban Máthé István szervez. Ez a konferenciasorozat a mai napig is egy előadói nappól és egy egész napos terepi tanulmányútból áll, ahol az előadásokhoz szervesen illeszkedő, vagy azon túlmutató terepi információkkal leszünk mindig gazdagabbak, kitűnő terepi vezetőinknek köszönhetően.

A konferencia tanulmányútjai keretében több sós forrást, sós vizű fürdőt, nyílt felszínű sófeltárást, sóbányát is megismertünk, így az erdélyi sókarsztokról személyesen szerezhettem/szerezhattünk nagyon érdekes szakmai információkat.

Én a tanulmányutakon – melyekhez „önhatalmúlag” további utakat is kapcsoltam – mindig hatalmas lelkesedéssel fotóztam, alapvetően a szakmai érdeklődésem miatt. Ezeket a képeket folyamatosan felhasználtam, ill. visszamenőleg is felhasználom az egyetemi oktatásomban, előadásaimban, publikációimban.

Konkrét cél nélkül, de 2010-ben és 2014-ben igen alaposan végigfotóztam az alsósófalvi nyílt sókarsztot, nem igazán keresve a kapcsolatot a parajdi sóbányával, amit – eléggé el nem ítéltető módon – csak 2023-ban kerestem fel – de még éppen időben, hogy nagyon sok mindent megértsek (a 2014-es látogatásom keretében szakmai versenyt nyerő középiskolásoknak mutattam be az akkor már természetvédelmet élvező egykori bányát, helyi vezetők segítségével).

Bányamérnök, (karszthidro)geológus, valamint karszt- és barlangkutató mivoltom miatt utólagosan is többször elemeztem a fotóimat és rá kellett jönnöm, hogy én a katasztrófát nem, csak a védelem jeleit láttam igazán. Viszont a parajdi bányában bekövetkezett katasztrófát (ill. annak lehetőségét) a helyi szakembereknek is észlelniük kellett, a döntéshozóknak lépniük kellett (volna). Az előadásomban ezeket a veszélyforrásokat próbálom kiemelni – talán csak utólagos

tanulágképpen, de komoly figyelemfelhívásként is a jövő bányamérnökeinek, hidrogeológusainak, de leginkább döntőképes vezetőinek szánva.

Abstract

VISIBLE SIGNS OF INTERVENTION ATTEMPTS FOR THE PROTECTION OF THE SALT MINE OF PARAJD AND OPEN SALT KARST FORMS, ALSÓSÓFALVA, 2010 AND 2014

Scientific conferences and study trips in Transylvania have turned really intense for me beginning with 2004, when an event series, titled “International Scientific Conference on the Mineral Waters of the Carpathian Basin” was established through the organization of Sapientia University, with the lead of Zoltán Makfalvi, and the support of Pál Liebe and the FAVA (Felszín Alatti Vizek Alapítvány - Foundation of the Subsurface waters). The conference series continues even today, mainly by the organization of István Máthé in recent times. The event consist of a day of presentations and a full day field study trip; these organically complement the presentations, or even surpass them by presenting field data, thanks for the excellent work of our guides.

The field trips of the conference allowed me to visit many salt springs, saltwater baths, open surface salt excavations, and salt mines, thus collecting valuable scientific information about the salt karsts in Transylvania.

Personally, I have always taken a large amount of photographs with great enthusiasm, mainly due to my professional interest; and I also added further trips to most of these field trips on my own accord. These photos have been and are still continuously being used in my university teaching programs, presentations and publications.

Without any aim in mind, I took many photos of the open salt karst of Alsósófalva in 2010 and 2014. I did not look for any connection with the salt mine of Parajd, which I only visited in 2023, just in time to understand the situation better (during my visit in 2014, with the help of local leaders, I introduced the one-time mine to high school students, who had won a study competition. At that time, the mine has already been under the scope of environmental protection regulations).

Since I am not only a mining engineer but a karst-hydrogeologist and speleologist as well, I analyzed my own photos multiple times in retrospect and had to realize that I had seen only the signs of the protection, but not the catastrophe itself. But the catastrophe (or the possibility of it) that took place in the mine of Parajd should have been detected by the local professionals, and the decision makers should have made steps. I would like to emphasize these hazards in my presentation, perhaps only as a “lessons learned”, but perhaps as a serious warning call for the mining engineers, hydrogeologists, but mostly the decision makers of the future.

**A BÖDÖNCSIGA (*THEODOXUS PREVOSTIANUS*) KIEMELT
ÉLŐHELYÉNEK, A KÁCSI-PATAK (ÉSZAK-
MAGYARORSZÁG) MELEG-ÁGI ZÁRT CSATORNÁJÁNAK
(„ALAGÚTJÁNAK”) RÉSZLETES ÁLLAGFELMÉRÉSE**

LÉNÁRT LÁSZLÓ

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodás Intézet, Miskolc-Egyetemváros A/4, 3515 Miskolc,
Magyarország
E-mail: hgll@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Az Észak-magyarországi langyosvízű kácsi-források csoportban és patakjaiban él a hazai csigafauna egyik ritka, értékes, védett, Vörös Könyves, reliktum endemikus faja, a fekete bödöncsiga, a *Theodoxus prevostianus* (az utóbbi időkben Kácson kívül már csak két ausztriai és egy szlovéniai előfordulási helyet ismert a tudomány). A hazai természetvédelem (ezen belül a Bükk Nemzeti Park Igazgatósága) a kácsi élőhely maximális védelméért komoly kutatásokba kezdett, amely elsősorban uniós támogatásból történik.

A források csoport „legmelegebb” tagjai 22 °C körüliek és a legfontosabb források egy több, mint 150 éves épületben, valamint az épület alatt húzódó alagútban fakadnak. A felszínre lépő vizek egy 57 m hosszú zárt csatornán („alagúton”) keresztül jutnak a Kácsi-patak nyitott Meleg-ágába. A Meleg-ág még kb. ugyanolyan távolságot megtéve csatlakozik be a Kácsi-patak Hideg-ágába, amely utóbbi mintegy 4-6 °C-al alacsonyabb vízhőmérséklettel jellemezhető.

A jelzett fekete bödöncsigák a Meleg-ág vizében élnek a legnagyobb sűrűségben, de már az „alagútban” is előfordulnak, ill. a Hideg-ág több száz méteres szakaszán is.

Természetvédelmi szempontból a Meleg-ág „alagútjának” állapota meghatározó a védelem szempontjából, ezért annak komplex állapotfelvevétele nélkülözhetetlen a beavatkozásokhoz. Az érdemi állagmegőrzési munka tavaly kezdődött és tervek szerint a jelenlegi projekt keretében 2028 végéig tart.

Abstract

DETAILED CONDITION ASSESSMENT OF THE CLOSED CHANNEL (“TUNNEL”) OF THE KÁCSI-PATAK STREAM’S MELEG-ÁG, AS THE IMPORTANT HABITAT OF *THEODOXUS PREVOSTIANUS*

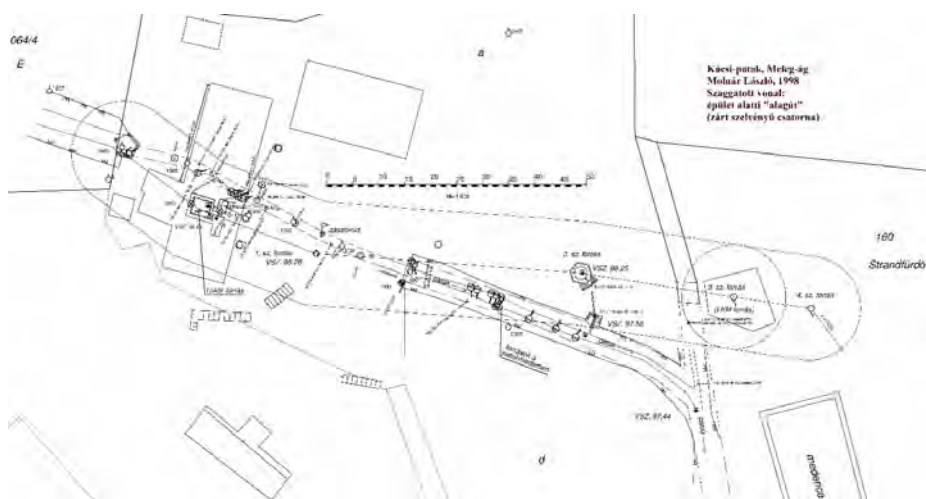
In the tepid waters of the Kácsi spring cluster and its streams in Northern Hungary lives one of the very rare, endangered and protected, Red Listed relict endemic species of the Hungarian snail fauna, the black *Theodoxus prevostianus* (in recent times, only two locations in Austria and one in Slovenia are known to science, beside the Hungarian habitat). The Hungarian environmental protection, including the Directorate of the Bükk National Park, has started serious research to provide

the maximum protection for the habitat at Kács. This work is mostly sponsored by EU support.

The warmest ones of the spring cluster are around 22 °C in temperature, and the most important springs are located in a more than 150 years old building, and in the tunnels underneath it (the waters of the springs have been used by the Benedictine Order for hundreds of years as medicinal water). The waters coming to the surface flow along a 57 m long closed channel (2unnel”) to reach the open Meleg-ág of the Kácsi-patak stream. The Meleg-ág (“warm branch”) stretches approximately the same distance until it joins the Hideg-ág (“cold branch”) of the Kácsi-patak stream; this latter has water temperatures 4-6 °C lower than the former.

The highest density of black *Theodoxus prevostianus* can be found in the water of the Meleg-ág, but they are also present in the “tunnel”, and in a section of the Hideg-ág, stretching to hundreds of meters.

From environmental protection aspects, the condition of the “tunnel” of the Meleg-ág is crucial from the viewpoint of actual protection, therefore a complex condition assessment is imperative for the interventions. The preservation work started last year, and it is planned to continue until the end of 2028 within the project.



A GEO-LOG 36,5 ÉVE A KÁRPÁT-MEDENCEI VÍZKUTATÁSBAN

**SZONGOTH GÁBOR¹, FALUVÉGI BERNADETT¹,
HEGEDŰS SÁNDOR¹, PÁL LÉNÁRD¹**

¹Geo-Log, Környezetvédelmi és Geofizikai Kft., 1145 Budapest, Szugló utca 54.

*Kapcsolattartó szerző: szongoth.gabor@geo-log.hu

Kivonat

Cégünk 1990 decemberében alakult, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben kezdett tevékenységünket folytattuk önálló vállalkozásként. Tevékenységünk mélyfúrás-geofizikai és kútvizsgáló mérések végzése. Fő tevékenységünk a vízkutatás, a néhány méteres megfigyelő kutaktól a 3000 méteres hévízkutakig. Azonban az egyéb munkáink (bányászat, földtani kutatás, radioaktív hulladéktároló földtani kutatása) is mind a vízkutatásról is szólnak, hiszen a felszín alatt a víz mindig jelen van – függetlenül attól, hogy szeretnénk vagy nem – hol nagyobb, hol kisebb mennyiségben.

Adatbázisunk szerint cégünk 36 év alatt több mint 11 000 objektumban 18 000 mérést végzett, minden adatunkat digitális formában tároljuk. A mérések zömét Magyarországon végeztük, de sok mérést végeztünk a környező országokban is (Románia, Szerbia, Szlovákia, Lengyelország, Ukrajna, Litvánia, Ausztria, Bulgária). Az ásványvíz kutak vizsgálatában mi vagyunk a Coca-Cola közép-, dél-európai partnere, végeztünk számukra méréseket Cipruson és Görögországban is.

2006-ban bevezettük a kamerás kútvizsgálatokat, azóta több, mint 1900 kamerás kútvizsgálatot végeztünk. A színes, forgatható fejes kamerával végzett mérések igen látványosan egészítik ki az egyéb kútvizsgáló méréseket. Olyan jelenségeket látunk a kutakban (szűrőeltömődés, baktérium kiválás, beesett tárgy a tömszelence tetején vagy a talpon, kilyukadt vagy szétcsúszott cső stb.), amelyre régebben nem is gondoltunk. Előadásunkban néhány kútvizsgáló érdekességet mutatunk be.

Abstract

GEO-LOG: 36.5 YEARS OF GROUNDWATER EXPLORATION IN THE CARPATHIAN BASIN

Our company was established in December 1990 to continue, as an independent enterprise, the work we had begun at the Eötvös Loránd Geophysical Institute. We specialize in borehole geophysical logging and diagnostic well surveys. Our principal field of activity is groundwater exploration, ranging from shallow monitoring wells only a few meters deep to geothermal wells reaching depths of 3,000 m. Our other activities, including mining, geological exploration and geological site investigations for radioactive waste repositories, are also closely linked to groundwater, since water is invariably present beneath the surface, whether desired or not, in greater or lesser quantities.

According to our database, over its 36 years of operation the company has conducted 18,000 surveys at more than 11,000 sites, and all our data are stored digitally. Most of the surveys were carried out in Hungary, but many were also conducted in neighboring countries (Romania, Serbia, Slovakia, Poland, Ukraine, Lithuania, Austria, and Bulgaria). We are Coca-Cola's partner for the investigation of mineral water wells in Central and Southern Europe, and we have also conducted surveys for the company in Cyprus and Greece.

In 2006 we introduced downhole video surveys and have since completed more than 1,900 such inspections. Surveys performed with a full-colour pan-and-tilt camera provide a highly visual complement to other well diagnostic methods. The camera reveals conditions in wells that we had not previously considered, including screen clogging, bacterial deposits, foreign objects lodged on top of the stuffing box or at the bottom of the well, and breached or separated casing. Our presentation highlights several noteworthy findings from well investigations.



A Széchenyi fürdő hévízkútja a mai Hősök terén mélyült, amely 10 évig épült (1868-1878 között)

Drilling the geothermal well of the Széchenyi Baths in present-day Heroes' Square took ten years (1868-1878).

**CSÍKLÁZÁRFALVI NYÍRFÜRDŐ – SZENT ANNA-TÓ – APOR
LÁNYOK FEREDŐJE TALAJSZELVÉNY
A XX. ÁSVÁNYVIZES KONFERENCIA SZAKMAI
TANULMÁNYÚTJÁNAK ÚTIKALAUZA**

KIS BOGLÁRKA-MERCEDESZ¹, MÁTHÉ ISTVÁN²

¹Babeş-Bolyai University, Biológia és Geológia Kar, Geológiai Intézet, M. Kogălniceanu utca 1., 400084 Kolozsvár, Románia, e-mail: boglarka.kis@ubbcluj.ro

²Biomérnöki Tanszék, Csíkszeredai Kar, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Szabadság tér 1., 530104 Csíkszereda, e-mail: matheistvan@uni.sapientia.ro

Csíklázárfalvi Nyírfürdő

A Nyírfürdő, vagy más néven Fortyogó, Büdösálja-fürdő vagy Nyírfürdő, Csíklázárfalva délkeleti határában, a Nyír falurész mellett, Borvítettő alatt fekszik.



1. ábra. A lázárfalvi Nyírfürdő borvizes medencéje
(Fotó: Zsigmond Andreea-Rebeka)

A középkorban híres fürdőhely volt, a XVII. századtól több forrás is említi (Lakatos István, Fridwaldsky János 1776, Benkő József 1778, Köteles Sámuel 1807) (Jánosi et al. 2013). A jelenlegi létesítmény a 2001-es Székelyföldi Fürdőépítő Kaláka során épült újjá: ekkor készült a 3×5 méteres medence (1. ábra), a kényelmes lábáztató, a kétfülkés öltöző és a mofetta. A fürdőt azóta vendégházzal és filagóriával is bővítették. A fürdő a szürke, mállott homokkő zónában feltörő, kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos (Ca-Mg-HCO_3) típusú borvízre épül, amelyet fürdésre és a „Dögösök” forrásnál asztali vízként is használnak. A területen

erős mofettahatás jelentkezik: a földből száraz, kén-hidrogént tartalmazó szén-dioxid tör fel, amely a mofetta alapját adja (2. ábra). A gáz magmás eredetű komponenseket tartalmaz, a mofetta összetétele nagyon hasonlít a Torjai Bűdös-barlangból kiáramló gázok összetételéhez (Kis et al. 2019). A vizet és a gázt hagyományosan reumatikus és keringési megbetegedések kezelésére alkalmazzák. A közelben további természeti értékek találhatók, például a közeli Erősárokban száraz gázömlések és fortyogók, valamint ritka szulfátásványok (uzonit, anakranit), Bűdöspatak mentén pedig a hajdani kénbányák környékén felhagyott bűdösgödörök, ahol a feltörő szén-dioxid terméskén formájában is kicsapódik (Berszán et al. 2009; Jánosi et al. 2011, 2013).



2. ábra. A nyírfürdői mofetta
(Fotó: Zsigmond Andreea-Rebeka)

A Csomád vulkáni dóm-komplexum geológiája

A Csomád vulkáni dóm-komplexum a Kárpát-Pannon térség legfiatalabb vulkáni területe, amely a Keleti-Kárpátokban, a Kelemen–Görgényi–Hargita mészkálai vulkáni vonulat legdélebbi végén helyezkedik el, a Vrancea szeizmikus zónától mintegy 50 km-re. A vulkáni lánc dél felé haladva egyre fiatalodik és egyre kisebb térfogatú, ennek utolsó állomása a Csomád vulkáni dóm-komplexum (Szakács & Seghedi 1995). Kialakulása a Kárpátok posztkollíziós geodinamikai környezetéhez köthető: a vulkanizmus a szubdukciót követően, a kontinentális

kollízió után zajlott, és forrását a korábbi szubdukció során metasztatizált litoszféra-földköpeny részleges olvadása jelenti. A magmák felnyomulását regionális tektonikai vonalak vezérelték (Seghedi et al. 2011; Molnár et al. 2018; Harangi & Lukács 2019).

A Csomád két robbanásos kráterből (Mohos és a Szent Anna-tavat tartalmazó kráter) és az azokat körülvevő, összeolvadt dácitos lávadómok együtteséből épült fel. A cirkonkristályok kombinált U-Th és (U-Th)/He kormeghatározása lényegesen pontosította a vulkán fejlődéstörténetét, kimutatva, hogy a kitörések a korábbi K/Ar-adatoknál fiatalabbak (Molnár et al. 2018, 2019). A vulkáni működés mintegy 1 millió éve kezdődött, és két fő szakaszra osztható. Az Idős Csomád (kb. 1 millió–300 ezer év) szórványos, kis térfogatú lávadóm-kitöréseit hosszú, gyakran 100 ezer évet meghaladó szünetek választották el. A Fiatal Csomád (kb. 160–30 ezer év) során épült fel a fő lávadóm-komplexum, majd 55–30 ezer éve robbanásos, gyakran freatomagmás kitörések következtek, amelyek 20 km-nél távolabb is vastag tefrarétegeket hoztak létre. A legutolsó kitörés mintegy 32 ezer éve zajlott, ez a teljes Kárpát-Pannon térség legfiatalabb vulkáni eseménye (Molnár et al. 2018, 2019).

Az Idős Csomád kezdeti lávadóm-építő szakaszában, mintegy 1 millió–800 ezer éve, egymáshoz közel, de eltérő összetétellel törtek fel az első dómok: a shoshonitos Málnás (kb. 964 ezer év) és Bükszád (kb. 907 ezer év), valamint az első nagy K-tartalmú mészkáli dóm, a Baba-Laposa (kb. 942 ezer év). Ezek egy ÉÉK–DDNy csapású, az Olt völgyét követő tektonikai vonal mentén helyezkednek el. Rövid szünet után következett a Nagy-Hegyes (Dealul Mare) andezitdómja (kb. 842 ezer év), majd mintegy 200 ezer év nyugalom után a Büdös-hegy (Puturosul, kb. 642 ezer év) és a Bálványos (kb. 583 ezer év) dácitdómjai. Az Apor-bástya (Turnul Apor) lávakitörése kb. 344 ezer éve, újabb hosszú szünetet követően zajlott, a Kis-Haram (Haramul Mic, kb. 154 ezer év) dómja pedig már a fő Csomád vulkán felépülésének kezdetét jelzi (Molnár et al. 2018).

A fő lávadóm-komplexum a Fiatal Csomád idején, kb. 160–90 ezer éve, több dóm összeolvadásával épült fel, három kitörési epizódban. Mintegy 155 ezer éve egyszerre volt aktív a Nagy-Csomád (Ciomadul Mare), a Fűharam (Haramul Ierbos) és a Kis-Haram; kb. 135 ezer éve a Kis-Csomád (Ciomadul Mic) és a Vártető (Dealul Cetății); kb. 95 ezer éve pedig a Nagy-Haram (Haramul Mare) és a Mohos dómjai. E dómok egy ÉÉK–DDNy csapású vonal mentén sorakoznak, merőlegesen a Kelemen–Görgényi–Hargita vonulat általános ÉNy–DK-i irányára. Mintegy 40 ezer év nyugalom után, 55–30 ezer éve következett a túlnyomórészt robbanásos záró szakasz, amelyhez a Kövesponk (Piscul Pietros, kb. 48 ezer év) dómja és a két robbanásos kráter (Mohos és Szent Anna) kialakulása kötődik (Molnár et al. 2019).

Bár a vulkán mintegy 32 ezer éve nyugalomban van, a geofizikai és kőzettani vizsgálatok, a mofettákból feltörő gázok, a szeizmikus tomográfia, valamint a hosszú időn át tartó cirkonkristályosodás, arra utalnak, hogy a mélyben ma is

olvadékot tartalmazó magmatározó húzódik. Ezért a Csomád a „potenciálisan aktív magmatározóval rendelkező” (PAMS) vulkánok közé sorolható, amelyeknél a hosszú szünet önmagában nem jelenti a vulkáni működés végleges megszűnését (Harangi & Lukács 2019).

Szent Anna-tó

A 950 m tengerszint feletti magasságban fekvő Szent Anna krátertő felülete 20 ha, legnagyobb mélysége 6,6–7 m körül lehet. Különlegessége, hogy a többi fürdőre is használt tóval ellentétben (például a Medve-tóval, a Zeteváraljai víztározóval vagy a Bessenyei-tóval) nincs sem befolyása, sem kifolyása: vizét kizárólag a csapadék (eső, hó) táplálja. Ez egyben azt is jelenti, hogy a tó rendkívül érzékeny a szennyeződésekre (ami egyszer bekerül a vizébe, az ott is marad) és az időjárás változásaira. Tartós szárazság idején a fokozott párolgás miatt jelentős vízszintcsökkenés következhet be.

A 2026 júliusában lehullott csapadékoknak és a mérsékelt nyári hőmérsékleteknek köszönhetően a Szent Anna-tó vízszintje jelenleg (2026. augusztus 8-án) megfelelő. Ezzel szemben 2012. májusa és 2013. augusztusa között a tartós szárazság és a meleg nyaraknak köszönhetően a tó vízszintje látványosan, 63 centiméterrel csökkent. Ez emberemlékezet óta a legnagyobb vízszintsüllyedés volt, amelynek következtében a partvonal helyenként mintegy 10 méterrel visszahúzódott (Máthé & Vörös 2022).

A tó vizének sótartalma nagyon alacsony, desztillált víz minőségű, enyhén savas kémhatású, pH értéke 5–7 közötti. Felszíne általában december és március között jéggel fedett. A nyári hónapokban a tó vízterében úgynevezett egyenes (direkt) hőmérsékleti rétegződés alakul ki, azaz fent a legmelegebb a víz, hőmérséklete a mélységgel pedig csökken, a tófenék közelében pedig a leghidegebb. Az algák fokozódó mértékű elszaporodásukkal meggátolják, hogy a napsugarak a mélyebb vízrétegekbe is lejussanak, így az alsóbb rétegek egyre kevésbé tudnak felmelegedni.

2024 rekordmeleg júliusában a Szent Anna-tó vízhőmérséklete fél méter mélységben elérte a 30,9 Celsius-fokot, amely érték hőmérsékleti rekordot jelent az utóbbi évtizedekre, sőt valószínűleg az elmúlt évszázadokra vonatkozóan. Ezzel egyidejűleg megdőlt egy másik rekord is: a tófelszín és a fenékközeli, 6,5 méteres vízmélység közötti hőmérsékleti különbség elérte a 22 Celsius-fokot.

A nyári direkt hőmérsékleti rétegződés az őszi és tavaszi átkeveredés során megszűnik a tóban.

A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem és a HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet kutatói 2012 óta rendszeresen vizsgálják a tó vízminőségét. A közel 15 éves monitoring során legalább 65 különböző hónapban végeztünk helyszíni méréseket és mintavételeket, amelyek eredményeként több ezer mérési adat áll rendelkezésre. Ezek alapján egyértelműen kirajzolódott, hogy a tó ökológiai állapota az elmúlt másfél évtizedben jelentősen megváltozott.

Az első időszak vizsgálatainak egyik legfontosabb következtetése az volt, hogy a Szent Anna-tó algaközössége több mint 70 éven keresztül gyakorlatilag változatlan maradt (Máthé & Vörös 2022, Felföldi et al. 2013, Buczkó et al. 2022). Már Hortobágyi Tibor botanikus 1941-es kutatásai kimutatták, hogy nyáron a tó algavilágának közel 97%-át egyetlen páncélos ostoros algafaj alkotta, a sárgásbarnás színű *Parvodinium* (*Peridinium*) *inconspicuum* nevű faj. Amikor 2012 nyarán ismét megvizsgáltuk a tó nyílt vizét, ugyanez a faj még mindig az algák biomasszájának 95%-át tette ki (Máthé & Vörös 2022).

Ez a hosszú időn át fennálló ökológiai egyensúly azonban néhány év alatt teljesen felborult. Először egy *Cosmoecium* nevű zöldalgafaj kezdett el tömegesen szaporodni, majd további zöldalgafajok (*Stichococcus*, *Chlorella*) is megjelentek, amelyek kiszorították a hét évtizedig egyeduralkodó páncélos ostoros algát. Ez a jelenség 2016-ra szemmel láthatóvá vált: a tó évtizedek óta kékesszürke színű vize zöldre változott, miközben átlátszósága drasztikusan lecsökkent. 2012 tavaszán a tó vizének átlátszósága (ún. Secchi-koronggal mérve) 6,3 méter volt, azaz gyakorlatilag a fenéig átlátszó volt a víz. 2019 tavaszán ez az átlátszóság már csak 1,4 méter volt.

A zöldalgák tömeges elszaporodása a tó vízminőségének romlásához vezetett. A túlzott mértékben elszaporodó algák a víznek kellemetlen ízt, színt és szagot okozhatnak, rontják a víz átlátszóságát, elősegítik a baktériumok szaporodását, fölesedést okozhatnak, pusztulásukkor pedig oxigénhiány keletkezhet. A 2010-es évek előtti szakirodalom a Szent Anna-tavat tiszta vizű, szervesanyagban és algában szegény, úgynevezett szűken-közepesen termő (oligo-mezotróf) tónak írja le. Napjainkban azonban a tó vize az átlagos klorofilltartalom alapján már kevésbé tiszta (ún. eutróf vagy bőventermő), meleg nyári időszakokban pedig időnként algában és szerves anyagban túlzottan gazdag (hipertrof vagy túltermő).

Felméréseink szerint a kedvezőtlen változás hátterében elsősorban a tó megnövekedett növényi tápanyagterhelése áll, amely két fő okra vezethető vissza.

2018 előtt a tavat évente felkereső mintegy százezer turista révén, a fürdőzés, piknikezés és a hiányos, illetve nem megfelelően használt illemhely-infrastruktúra következtében jelentős mennyiségű tápanyag (elsősorban többlet foszfor és nitrogén) került a tóba, amely kedvezett az algák tömeges elszaporodásának. A 2012-es és 2016-os higiéniai vizsgálataink kimutatták, hogy a tó fürdőzójában jelentős volt az emberi vizeletből származó urea mennyisége (18–60 milligramm/liter), és megnőtt a mikrobák, többek között a fekális eredetű baktériumok csíraszám (fekálkóli vagyis *Escherichia coli*, fekális *Enterococcus*). A vízminőség általános romlása miatt 2018-tól betiltották a fürdözést és a piknikezést.

A vízminőségromlás második fő oka, hogy a 2010-es évek elején a halmentes Szent Anna-tóban megjelent egy tájidegen, agresszíven szaporodó (invazív) halfaj, az ezüstkárász (*Carassius gibelio*), amely néhány éven belül az egész tavat

benépesítette (3. ábra). Mivel a tóból néhány nagyobb méretű fejes domolykó, valamint egy fél méternél nagyobb fogassüllő elpusztult egyede is előkerült, szinte biztosra vehető, hogy a halak nem véletlenül – például tőkésrécék közvetítésével – kerültek a Szent Anna-tóba, hanem előre megtervezett, szándékos és illegális halbetelepítés történt.



3. ábra. Ezüstkárászok a Szent Anna-tóban (Fotó: Máthé István)

A Balatoni Limnológiai Kutatóintézet 2024-ben végzett béltartalomvizsgálatai kimutatták, hogy az ezüstkárász táplálékának jelentős részét (több mint 50%-át) a tó fenekének iszapja alkotja. Ez azt is jelenti, hogy táplálkozásuk révén visszajuttatják a vízbe a tó üledékében korábban felhalmozódott („eltemetett”) tápanyagokat (elsősorban a foszfort, de a nitrogént is), ami kedvez az algák szaporodásának. Ugyanakkor azt is kimutattuk, hogy a fiatal ezüstkárász ivadékok kieszik a vízből az algafogyasztó állatkákat, így például a kis rákfajokat, kerekesszemeket (egyedszámuk ma százszor kisebb, mint 10–20 éve), így ragadozóik hiányában jobban szaporodhatnak az algák.

Összegzésképpen megállapítható, hogy napjainkra egy önfenntartó folyamat alakult ki a tóban: az algák tömeges elszaporodása jelentősen rontja a vízminőséget, miközben az inváziós ezüstkárász-állomány folyamatosan biztosítja az algák növekedéséhez szükséges tápanyag-utánpótlást, ráadásul kifalja az algákkal táplálkozó apró vízi élőlényeket (zooplankton), azaz az algák ragadozóit.

Vízminőség-javulás csak akkor várható, ha sikerül jelentősen csökkenteni az algák szaporodását elősegítő tápanyagterhelést. Ebben fontos előrelépést jelentett, hogy 2018-ban megszűnt a fürdőzés és a piknikező turizmus, így jelentősen csökkent az emberi tevékenységből származó külső tápanyagterhelés. Nagy valószínűséggel ennek köszönhető, hogy a tó állapota azóta nem romlott tovább, sőt egyes vízminőségi mutatókban javulás is megfigyelhető (pl. az algák átlag biomasszája csökkent).

Ugyanakkor az úgynevezett belső tápanyagterhelés továbbra is jelentős, ugyanis az ezüstkárászok táplálkozásuk során a tó üledékében korábban felhalmozódott tápanyagokat (elsősorban foszfort és nitrogént) visszajuttatják a vízbe.

A jelenlegi tudományos eredmények és a rendelkezésre álló gyakorlati tapasztalatok alapján a román vízügyi hatóságok felügyelete alá tartozó Szent Anna-tó vízminőségének javítása érdekében az inváziós ezüstkárász teljes eltávolítása (eradikálása) jelentheti az egyetlen hatékony megoldást.

A Csomád két robbanásos kráterét kitöltő Szent Anna-tó és a Mohos-tőzezláp 2007 óta Natura 2000-es terület. Manapság a terület gondozását a Lázárfalvi Közbirtokosság által létrehozott Pro Szent Anna Egyesület látja el. A területen 2026. március 27-én nyílt meg hivatalosan a Szent Anna-tó – Mohos Tőzezláp Ökocentrum és Tudásközpont (4. ábra), amely a látogatók fogadását, valamint a vulkáni képződmények, a tőzezláp és a térség természeti értékeinek bemutatását szolgálja, összekapcsolva a természetvédelmet és a tudományos ismeretterjesztést.



4. ábra. Szent Anna-tó – Mohos Tőzezláp Ökocentrum és Tudásközpont
(Fotó: Kis Boglárka-Mercedesz)

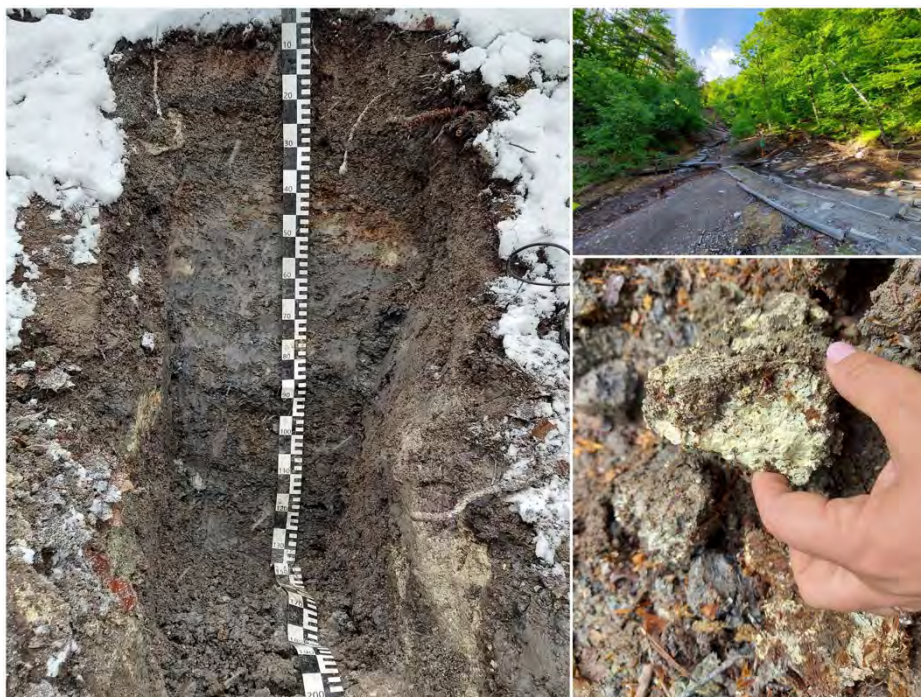
Apor lányok feredője talajszelvény

A Büdös-hegy–Bálványos vulkáni terület (Apor-lányok feredője, Bálványosfürdő) mofettái és szénsavas forrásai a székelyföldi gyógyászati és fürdőkultúra részei. A mai napig aktív, magmás eredetű gázfeláramlás jellemzi: a felszínre jutó gáz CO₂-tartalma a 98%-ot is elérheti, mellette jelentős H₂S van jelen, ami a terület jellegzetes záptojás-szagát adja. A gázokban mért heliumizotóp-

arányok a mélybeli magmás rezervoárral fennálló kapcsolatot jelzik (Kis et al. 2019).

Az itt feltárt talajszelvény egy erősen savanyú, reduktív, CO_2 - és H_2S -gázzal átjárt szulfidos barna erdőtalaj, amely a Kárpát-medencében csak kis kiterjedésben fordul elő. Felső része kilúgzott, savanyú réteg (pH értéke 3–4 közötti). Mintegy 40–50 cm alatt a talaj elszürkül, vízzel telítetté válik és a feláramló gázok hatására szétszapolódik. A 70–90 cm közötti rétegben a vezetőképesség extrém módon megugrik, ami erős reduktív viszonyokra utal; itt termékeny-kiválásokat azonosítottunk, a porózus és a víztartó zóna határán pedig vas-oxid-kicsapódások jelennek meg (5. ábra). A szelvény szerkezetében, színében és vezetőképességében is egyértelműen tükrözi a mofettás környezet hatását.

Ez a talajszelvény nyerte meg a Magyar Talajtani Társaság által szervezett Év Talaja 2026 közönségsválasztás versenyt.



5. ábra. Savanyú, reduktív, CO_2 - és H_2S -gázok által módosított szulfidos barna erdőtalaj szelvény az Apor lányok feredőjénél (Fotó: Kis Boglárka-Mercedesz)

Irodalom

Berszán, J., Jánosi, Cs., Jánosi, K., Kristály, F., Péter, É., Szakáll, S., Ütő, G., 2009. Székelyföld borvizei. Tipographic, Csíkszereda.

- Buczko, K., Korponai, J., Máthé, I., Jakab, G., Tóth, M., Braun, M., Ács, É., Karátson, D., Magyari, E.K., 2022. Limnological Changes in Lake Sf. Ana. *In: Karátson, D., Veres, D., Gertisser, R., Magyari, E.K., Jánosi, Cs., Hambach, U. (eds.). Ciomadul (Csomád), The Youngest Volcano in the Carpathians: Volcanism, Palaeoenvironment, Human Impact. Springer, Cham, pp. 159–174.*
- Felföldi, T., Ramganes, S., Somogyi, B., Krett, G., Jurecska, L., Szabó, A., Vörös, L., Márialigeti, K., Máthé, I., 2016. Winter planktonic microbial communities in highland aquatic habitats. *Geomicrobiology Journal*, 33(6): 494–504.
- Jánosi, Cs., Berszán, J., Péter, É., 2011. A Csomád-hegység ásványvizes fürdői. *Acta Siculica, Sepsiszentgyörgy*, pp. 41–56.
- Jánosi, Cs., Berszán, J., Péter, É. 2013. Székelyföld fürdői. Csíki Természetjáró és Természetvédő Egyesület. Csíkszereda.
- Harangi, Sz., Lukács, R., 2019. A Kárpát–Pannon térség neogén–kvarter vulkanizmusa és geodinamikai kapcsolata. *Földtani Közlemény*, 149(3): 197–232.
- Kis, B. M., Caracausi, A., Palcsu, L., Baci, C., Ionescu, A., Futó, I., Sciarra, A., Harangi, S., 2019. Noble Gas and Carbon Isotope Systematics at the Seemingly Inactive Ciomadul Volcano (Eastern-Central Europe, Romania): Evidence for Volcanic Degassing. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(6): 3019–3043. <https://doi.org/10.1029/2018GC008153>
- Máthé, I., Vörös, L. (szerk.) 2022. A gyorsan változó Szent Anna-tó. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár.
- Molnár, K., Harangi, Sz., Lukács, R., Dunkl, I., Schmitt, A. K., Kiss, B., Garamhegyi, T., Seghedi I. 2018. The onset of the volcanism in the Ciomadul Volcanic Dome Complex (Eastern Carpathians): Eruption chronology and magma type variation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 354: 39–56.
- Molnár, K., Lukács, R., Dunkl, I., Schmitt, A. K., Kiss, B., Seghedi, I., Szepesi, J., Harangi, Sz. 2019. Episodes of dormancy and eruption of the Late Pleistocene Ciomadul volcanic complex (Eastern Carpathians, Romania) constrained by zircon geochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 373: 133–147.
- Seghedi, I., Mañenco, L., Downes, H., Mason, P. R. D., Szakács, A., Pécskay, Z., 2011. Tectonic significance of changes in post-subduction Pliocene-Quaternary magmatism in the south east part of the Carpathian-Pannonian Region. *Tectonophysics*, 502(1-2): 146–157.
- Szakács, A., Seghedi, I., 1995. The Calimani-Gurghiu-Harghita volcanic chain, East Carpathians, Romania: volcanological features. *Acta Vulcanologica*, 7(2): 145–153.



***A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI -
NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIASOROZAT***

**Konferencia színhelyek, tanulmányúti állomások,
katalógus fotók képeskönyve (2004-2026)**

**Illustrated book of conference venues, study tour sites and
catalogue photographs (2004–2026)**

Összeállította zömmel a saját fotóiból Dr. Lénárt László

**Jelen digitális kiadvány a rendező
intézmények honlapjain található meg
This digital publication is available on the
websites of the organizing institutions**

***Miskolc
2026***

**A HÚSZ ÁSVÁNYVIZES KONFERENCIA (2004-2026)
KÖZREMŰKÖDŐINEK NÉVSORA**

**LIST OF PARTICIPANTS AND CONTRIBUTORS TO THE
TWENTY MINERAL WATER CONFERENCES (2004–2026)
(ELŐADÓK, TÁRSSZERZŐK, HALLGATÓK ÉS SZERVEZŐK)**

A teljesség igénye nélkül összeállította
LACZKÓ IZABELLA és MÁTHÉ ISTVÁN

- | | | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|
| · Aiuppa Alessandro | · Bán Barna | · Bodrogi Edit |
| · Albert Beáta | · Bánhidy Péter | · Boér Ágnes |
| · Albert Csilla | · Bányai Andrea | · Bognár Csaba |
| · Alexandru Mihaela | · Barabás Zsolt | · Böhm József |
| · Alexe Florin | · Baracza Angéla | · Borsodi Andrea |
| · Almássy Endre † | · Baracza Mátyás | · Borszéki Béla György |
| · Almousaedi Hafedh | · Krisztián | · Both József |
| · Nasser | · Baradács Eszter | · Bratu Diana |
| · Ambrus Eszter | · Barkács Katalin | · Bratu Mihaela |
| · Krisztina | · Barkai László | · Bucsi Szabó László |
| · Andarkó Imola | · Bartos Hunor | · Buday Tamás |
| · András Bernadett | · Becsek Garda Dezső | · Budayné Bódi Erika |
| · András Csaba Dezső | · Bedő Károly | · Bújdosó Istvánné |
| · András Kinga | · Benedek Tibor | · Buksa Kálmán |
| · Antal Attila | · Benkő Mátyás | · Bunta Levente |
| · Ariş Ana-Henriette | · Benková Katarína | · Buzás Zsuzsanna |
| · Asóthné Germán | · Bereczki László | · Camacho Christian |
| · Erzsébet | · Berényi Katona | · Caracausi Antonio |
| · Asztalos László | · Kamilla | · Cazacu Lucia |
| · Azari Katalin | · Berényi Öveges István | · Cégény András |
| · Ágoston Klára Zsuzsa | · Bergmann Csaba | · Černák Radovan |
| · Ákoshegyi György | · Bernádt Zelma | · Ciobanu Liana |
| · Babinszki Edit | · Berszán László | · Ciocan Mădălina |
| · Baciú Călin | · Bertalan Levente | · Cópia Lorenzo |
| · Bács Béla János | · Biharyné Juhász Gitta | · Creţeanu Emilia |
| · Bădalescu Marius | · Bikkafalvi Kinga | · Csalánosi Ádámné |
| · Balázs Enikő | · Bitay Endre | · Csanády Mihály |
| · Balázs Melinda | · Bobok Elemér | · Csapó János |
| · Bálint Emese-Éva | · Bodó Csilla | · Csapóné Kiss |
| · Bálint Géza | · Bodor Andrea | · Zsuzsanna |
| · Balla Árpád | · Bodor Botond | · Csató-Kovács Erika |
| · Balogh Katalin | · Bodor Katalin | · Csedő Károly |
| · Balogh Róbert | · Bodor Zsolt | · Csegény József |

A húsz ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora

- | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| · Csengeri Kata | · Erőss Ignác | · Grubics Mira |
| · Cserny Tibor | · Fábián Lukács Judit | · Gusyev Maksym |
| · Csige István | · Fabo Karl-Johan | · Guzi Barbara |
| · Csiszár Endre | · Faluvégi Bernadett | · Gyenge László |
| · Csiszár Gabriella | · Fehér Katalin | · Gyila Sándor |
| · Csondor Katalin | · Fejes Zoltán | · Györfi Jenő |
| · Czákó László | · Fekete Tünde | · György Béla |
| · Czellecz Boglárka | · Fekete Zsombor | · György Éva |
| · Czesznak László | · Felföldi Tamás | · Gyulai Ákos |
| · István | · Feru Adrian | · Habodászová Orsolya |
| · Czuppon György | · Fikó Róbert | · Hajdúné Koncz |
| · Dániel Mária | · Forgó Irma | · Mónika |
| · Darvas Timea | · Főrizs István | · Hałas Stanisław |
| · Dávid Szilvia | · Fričovský Branislav | · Halk József |
| · Deák Gabriella | · Frink József Pál | · Harangi Szabolcs |
| · Deák István | · Füle László | · Hartai Éva |
| · Deák József | · Fülöp Nagy János | · Haszpra John László |
| · Debnár Zsuzsanna † | · Futó István | · Havas László |
| · Debnárné Petővári | · Gábor Ibolya | · Havasné Szilágyi |
| · Judit | · Gajdošik Juraj | · Eszter † |
| · Debreczeni Ákos | · Gál Katalin | · Hegedűs Miklós |
| · Demeter János | · Gál Nóra Edit | · Hegedűs Sándor |
| · Demeter László | · Gáldonyi Mihály | · Hegyeli Botond |
| · Dezső Zoltán | · Gáspár Emese | · Herczeg Ágnes |
| · Dirnerová Diana | · Gazsi József | · Hernádi Béla |
| · Dobos András | · Gazsó István | · Hevesi Attila |
| · Dobos Endre | · Gazsó Péter | · Hideg Imre Dávid |
| · Dobos Irma | · Gere Katalin | · Hidegné Bély Zsófia |
| · Dobri Dávid | · Gerencsér Gellért | · Hidvégi Rebeka |
| · Dobróka Mihály | · Gheorghievici | · Hirsu Ștefan |
| · Dobrosi Lajos | · Gheorghe | · Hojcska Ágnes |
| · Dócs Roland | · Gheorghievici Liana | · Erzsébet |
| · Domahidi János | · Glasa Attila | · Hojdákné Kovács |
| · Domahidy László | · Gombos Sándor | · Eleonóra |
| · György | · Gombos Tünde | · Horne N. Roland |
| · Dombovári Péter | · Gonda Nóra | · Horváth Ákos |
| · Domokos Emese | · Gondár Károly | · Horváth István |
| · Dorogi László | · Gondárné Sőregi | · Horváth Lajos |
| · Eigel Tibor | · Katalin | · Horváth Szabolcs |
| · Éltető Csaba | · Götzl Gregor | · Horváth Vera |
| · Erőss Anita | · Grassa Fausto | |

A hús ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| · Horváthné Kiss Katalin | · Kicsi István | · Kriston Sándor |
| · Horváthy Lóránt | · Kilik Roland | · Kriszt Balázs |
| · Hüber Ádám | · Kis Boglárka-Mercedesz | · Kun Éva |
| · Hunyadi Ilona | · Kisgyörgy Zoltán | · Kun Szabolcs Richárd |
| · Huszárné Scholz Éva | · Kis-Kondás Dóra | · Kupusz Ramóna |
| · Ilyés Csaba | · Kiss Klaudia | · Kurkó Árpád † |
| · Imecs István | · Kiss Melita | · Kurkó Gyárfás |
| · Incze Ferencz Károly | · Kiss Réka | · Kurkó János György |
| · Incze Réka | · Kiss-Tóth Emőke | · Kuzman Ildikó Hajnalka |
| · Ionescu Artur | · Kiszela Gergő | · Laczkó Attila Albert |
| · Ionescu Liana | · Klencskó Bernadett | · Laczkó Izabella |
| · Iosif Tănase | · Klopp Gáborné | · Lakatos Attila |
| · Iosub Adrian | · Kocsis László | · Lányi Szabolcs |
| · Irsay László | · Kocziszky György | · Lapanje Andrej |
| · Iván Krisztián | · Ködöböcz Gerezsényi Ilona | · Laslo Éva |
| · Jancsó Zoltán | · Kohán Balázs | · László Szilvia |
| · Jánosi Csaba | · Kókai László | · Lázár Diana |
| · Jeszenszky Ferenc | · Kókai Zoltán | · Leél Őssy Szabolcs |
| · Jobbágy Viktor | · Koleszár Judit | · Lénárt László |
| · Jocháné Edelényi Emőke | · Kollár Hunek Klára | · Lénárt Lászlóné |
| · Juhász Eleonora | · Koltai Bálint | · Leskó Máté |
| · Juhász József † | · Kömény Pál | · Liebe Pál |
| · Juhász Szabolcs | · Kömives Tamás | · Lippai Anett |
| · Juhászné Szalai Adrienn | · Kompár László | · Lóki Katalin |
| · Jurecska Laura | · Korcsog Ágota | · Lorberer Árpád Ferenc |
| · Kaffai Orsolya | · Korcsog Attila | · Lukács Bence József |
| · Kántor Tamás | · Korodi Attila | · Madarász Tamás |
| · Kánya József | · Kováčová Erika | · Mádlné Szőnyi Judit |
| · Karda József | · Kovács Attila | · Maginecz János |
| · Kari András | · Kovács Balázs | · Magura Tibor |
| · Kármán Krisztina | · Kovács Béla Róbert | · Makfalvi Mónika Zsuzsa |
| · Kárpi Marcell | · Kovács Ferenc | · Makfalvi Zoltán † |
| · Kassay Zsombor | · Kovács Imola | · Makk Judit |
| · Kedves Alfonz | · Kovács Júlia | · Makó Zoltán |
| · Kelemen Alpár | · Kovács Tibor | · Malik István |
| · Kelemen Csaba | · Kovács Viktor | · Mants György |
| · Keresztes Ildikó | · Kovács Viktória | · Mara Gyöngyvér |
| · Keresztesi Ágnes | · Kozocsay Lajos | · Marcin Daniel |
| · Kern Zoltán | · Kreidlmayer Márta | · Márialigeti Károly |
| | · Kristály Noémi | · Márk László |

A hús ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora

- | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| · Maros Gyula | · Nagy Iosif | · Péter Elek |
| · Maróti Gergely | · Nagy István Péter | · Péter Izabella |
| · Máthé István | · Nagy József † | · Péter Zsolt |
| · Matolcsi Réka | · Nagy Sándor | · Petrea Dan |
| · Mátyás Gábor | · Nanu Angelica | · Podán Viktória |
| · Mátyás László | · Nardai Ilona | · Polacsek Zoltán |
| · Mátyus András | · Neamtu Andra | · Pompei Iulia |
| · Mátyus Gyula | · Neda Tamás | · Pónus-Tvergyák Alinka |
| · Mekker Julianna | · Némédi László | · Priszinger Krisztina |
| · Mészáros Ildikó | · Németh Ágnes | · Prohászka András |
| · Mészáros Sándor | · Németh Norbert | · Rabóczky Anita |
| · Miftode Maria | · Németh Sándor | · Radu Cristina Teodora |
| · Mihok Emőke | · Némethy Sándor | · Radu Gabriel Lucian |
| · Mikita Slavomír | · Nemoda Mónika | · Ráduly Róber-Kálmán |
| · Mikita Viktória | · Nica Adriana Sarah | · Rajver Dušan |
| · Miklós Edina | · Nicolae Liviu | · Randazzo Paolo |
| · Miklós Rita | · Novák Máté | · Ratkó István |
| · Miklóssy Ildikó | · Nusser Nóra | · Ravasz Levente |
| · Mikó Lajos | · Nyárhidy Ján | · Remsik Anton |
| · Misăilă Costică | · Oláh Bandi Melinda | · Reskóné Nagy Mária |
| · Mistea Roland | · Oláh Benedek | · Ritter György |
| · Mócsy Ildikó | · Oláh Zsolt Csaba | · Rokai Zsombor |
| · Mohácsiné Simon Gabriella | · Opran Constantin | · Roman Nina |
| · Moldoveanu Laura | · Orbán Kálmán Csongor | · Romsics Csaba |
| · Molnár András | · Orsovszki Judit | · Ronyec Mónika |
| · Móricz Ferenc | · Osváth Kristóf | · Rotáriné Szalkai Ágnes |
| · Motricală Marieta | · Pál Lénárd | · Rózsa Attila |
| · Müller Tamás | · Pál Zoltán | · Rózsa Ildikó |
| · Munteanu Ana | · Palatinszky Márton | · Russu-Bors Tibor |
| · Muráti Judit | · Palcsu László | · Rusu Iliana |
| · Musits Róbert | · Pálfalvi Ferenc | · Salamon Pál |
| · Myint Thomas | · Pándi Gábor | · Salamon Rozália-Veronika |
| · Nádas Endre | · Pap József | · Salamon Timea |
| · Nádas Gábor | · Pápai Márton | · Santa Levente |
| · Nádas Gáborné | · Papp Eszter | · Sára Péter |
| · Nádas Tamás | · Pásztóhy Zoltán | · Sârbu Șerban |
| · Nádor Annamária | · Pataki András | · Sárközi László |
| · Nagy Ákos | · Patkó István | · Sarudi Imre |
| · Nagy András Attila | · Pele Andrzej | |
| · Nagy Gergely | · Péntes Erzsébet | |

A hús ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora

· Sárvári Tibor	· Szacsuri Gábor	· Szolga Mária
· Schaffer Róbert	· Szacsvai Kinga	· Szongoth Gábor
· Scheuer Gyula	· Szakács Imre	· Szongothné Rónay Anikó
· Schiopu Gheorghe	· Szakács Sándor	· Szopos Noémi
· Schubert Barnabás Péter	· Szakály Áron	· Szűcs Andrea
· Schubert Gerhard	· Szakály Áronné	· Szűcs Péter
· Schubert József	· Szalai Sándor	· Tahy Ágnes
· Sebestyén Ágnes	· Szántó Ákos	· Takács János
· Siket Vilmos	· Szántó Judit	· Tamás Melinda
· Siklódi Tamás	· Szántó Zsuzsanna	· Tamás Norbert
· Siklósy Zoltán	· Szanyi János	· Tamási Borbála
· Sikó Barabási Sándor	· Szarka László	· Táncsics András
· Simon Eszter	· Szárnya Gábor	· Tánczos Szidónia
· Simon István	· Szascsenko Ivan	· Tântaru Gladiola
· Sipos László	· Szász Árpád	· Tatár Márta
· Slăvoacă Ruxandra	· Szász Béla	· Tefner Ildikó Katalin
· Sóki Erzsébet	· Szegediné Darabos Enikő	· Teodoru Andreea
· Somay Péter	· Szegvári Gabriella	· Tihanyi László
· Somlai János	· Szeiler Gábor	· Tihanyiné Szép Eszter
· Somody Anikó	· Székedy Ferenc	· Tometz Ladislav
· Spița Mircea	· Székely Borbála	· Tometzová Dana
· Stan Cătălina	· Székely Ferenc	· Tometzová Mária
· Ștefănaș Alina	· Székely Gabriella	· Topor Emil
· Surbeck Heinz	· Székér Zoltán	· Tordas András
· Sűrű Péter	· Szekér Zoltán	· Török Ida
· Süveges Miklós	· Szemere Judit	· Tóth Andrea
· Švasta Jaromír	· Szendi Katalin	· Tóth Anikó
· Szabó Ágoston	· Szentes Sarolta	· Tóth Attila
· Szabó András	· Szép Alexandru	· Tóth Erika
· Szabó Balázs	· Szép Róbert	· Tóth Éva
· Szabó Imre	· Szerbin Pável	· Tóth György
· Szabó István	· Szigeti Katalin	· Tóth Katalin
· Szabó Máthé	· Szilágyi János Ede	· Tóth M. Tivadar
· Szabó Mihály	· Szilágyi József	· Tóth Mária
· Szabó Mónika	· Szilágyi Szabina	· Tóth Márton
· Szabó Norbert Péter	· Szilvási Marcell	· Tóth Máthé
· Szabó Szilárd	· Szilveszter Szabolcs	· Tóth Piroska
· Szabó Tamás	· Szima Barbara	· Tóth Sándor
· Szabó Viktória	· Szlabóczky Pál	· Tóth-Bodrogi Edit
· Szabó Zimányi Ivett	· Szőcs Ilona	· Tóthmérész Béla
· Szabó Zsóka	· Szőcs Teodóra	· Tran Quang Hop
	· Sződnyé Nagy Eszter	

A hús ásványvizes konferencia (2004-2026) közreműködőinek névsora

- | | | |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| · Turai Endre † | · Vass Péter | · Zákányi Balázs |
| · Udud Péter | · Veliciu Șerban | · Zákányiné Mészáros Renáta |
| · Újlaki Péter | · Velledits Felicitász | · Zapirtan Horațiu |
| · Újszászy László | · Veres Ildikó | · Zepeczaner Jenő |
| · Újvári Krisztina | · Vigh József | · Zolya Éva |
| · Unyi Zsófia | · Virág Margit | · Zolya László |
| · Urák István | · Vlad Mariana | · Zsemle Ferenc |
| · Urbányi Béla | · Vofkori László † | · Zsigmond Andrea-Rebeka |
| · Vallasek István † | · Vörös Lajos | · Zsombor Terézia |
| · Váradi Tamás | · Wallinger György | · Zsombori Vilmos |
| · Varga Balázs | · Wanek Ferenc | · Zsuppán Katalin |
| · Varga Klára | · Wiedemann Rainer | |
| · Vári Zoltán | · Wirth Roland | |
| · Vass István | · Zacharov Michal | |

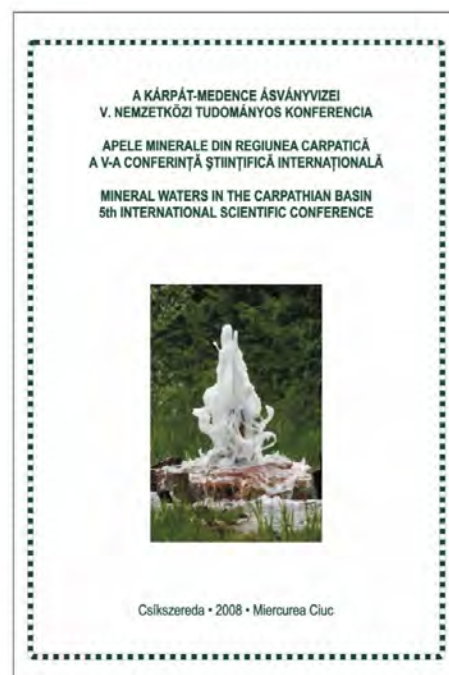
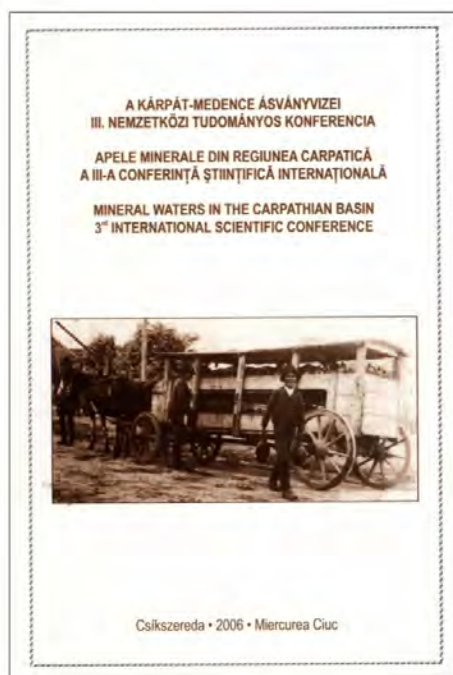
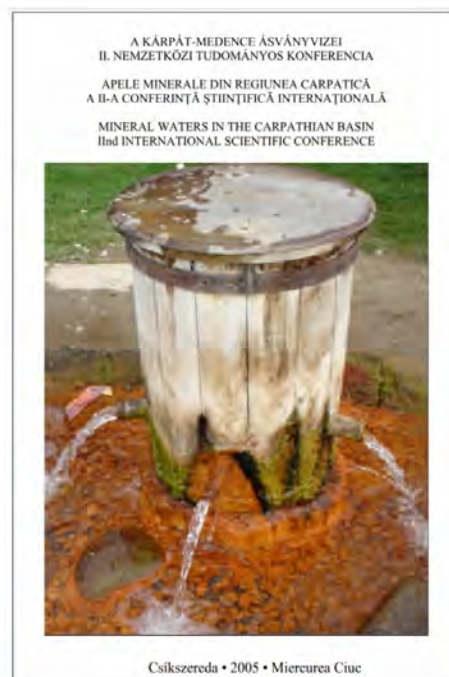
Kiadja a PRO-PRINT Könyvkiadó
Felelős vezető: Burus Endre
Csíkszereda, 2026

Készült a PRO-PRINT Könyvkiadó
Digitális Nyomdájában
Felelős vezető: Burus Endre igazgató
www.proprintkiado.ro

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA CSÍKSZEREDAI KIADVÁNYAI

PUBLICAȚIILE DIN MIERCUREA-CIUC A CONFERINȚEI ȘTIINȚIFICE APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ

PROCEEDINGS OF THE MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN SCIENTIFIC CONFERENCE ISSUED IN CSÍKSZEREDA



A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA CSÍKSZEREDAI KIADVÁNYAI

PUBLICAȚIILE DIN MIERCUREA-CIUC A CONFERINȚEI ȘTIINȚIFICE APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ

PROCEEDINGS OF THE MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN SCIENTIFIC CONFERENCE ISSUED IN CSÍKSZEREDA

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
VII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A VII-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
7th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



Csíkszereda • 2010 • Miercurea Ciuc

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
IX. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A IX-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
9th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



Herkulesfürdő • 2012 • Baile Herculane

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
X. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A X-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
10th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



Csíkszereda • 2014 • Miercurea Ciuc

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
XIII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A XIII-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
13th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



Sepsiszentgyörgy - 2017 - Sfântu Gheorghe

A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
XVII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA
APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
A XVII-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN
17th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



Csíkszereda • 2023 • Miercurea Ciuc

A KÁRPÁT-MEDENCE
ÁSVÁNYVIZEI
XX. NEMZETKÖZI
TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

APELE MINERALE DIN REGIUNEA CARPATICĂ
MINERAL WATERS IN THE CARPATHIAN BASIN

A XX-A CONFERINȚĂ ȘTIINȚIFICĂ INTERNAȚIONALĂ
20th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



CsÍKSZEREDA
• 2026 •
MIERCUREA-CIUC