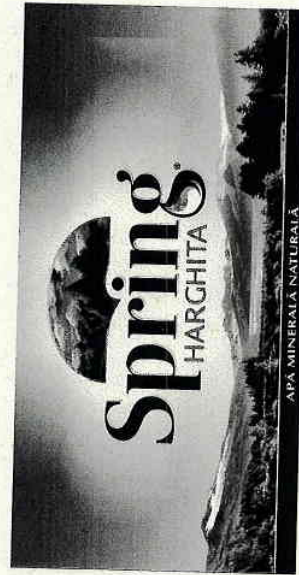


A KÁRPÁT-MEDENCE ÁSVÁNYVIZEI
XIII. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

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

Szerkesztők - Redactori

Máthé István
Székely Gabriella
Szép Róbert

Műszaki szerkesztés - Tehnoredactare

Russu-Bors Tibor

ISBN 978-606-8951-00-3

A címlapon – Pe coperta din fața

Cskszentkirályi téglagyári forrás – Izvor de apă la Sâncrăieni
(fotó: Russu-Bors Tibor)

**A kötet megjelenését támogatta
Editarea volumului a fost sprijinită de**

Sapientia – EMTE Cskszereda, Biomémőki Tanszék és
Élelmiszertudományi Tanszék – Universitatea Sapientia, Departamentul
de Bioinginerie și Departamentul de Științe Alimentare din
Miercurea Ciuc

S.C. Mineral Quantum S.A.

**A konferencia szervező bizottsága –
Membrii comitetului de organizare**

Társelnők – Copreșediniți

dr. Máthé István – dr. Szűcs Péter – Nagy József

Szervezési titkárság – Secretariatul organizatoric

Laczkó Izabella – Máthé István
Nagy József – Székely Gabriella

Szervezők – Organizatori

Sapientia EMTE – Cskszeredai Kar, Biomémőki 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 EMTE Marosvásárhelyi Kar – Sepsiszentgyörgyi Tanulmányi
Központ, Kertészmemőki Tanszék – Universitatea Sapientia - Facultatea
de Științe Tehnice și Umaniste, Târgu Mureș – Centrului de Studiu din
Sfântu-Gheorghe, Departamentul de Horticultură

AQUASIC Közösségek Közti Társulás – Asociația de Dezvoltare
Intercomunitară AQUASIC

Kovászna Megye Tanácsa – Consiliul Județean Covasna

Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet – Universitatea din
Miskolc, Institutul de Management al Mediului

Felszín Alatti Vizekért Alapítvány – Fundația pentru Apele Subterane
din Ungaria

Kassai Műszaki Egyetem, Földtudományi Intézet – Universitatea
Tehnică din Košice, Institutul de Geologie

TARTALOMJEGYZÉK – CUPRINS

Tartalomjegyzék – Cuprins	9
Content	11
Köszöntő SZÜCS Péter	13
Salutation Péter SZÜCS	14
Geotermikus erőműfejlesztés lehetősége az ásványvizek földjén, Magyarországon	15
SZÜCS Péter – BOBOK Elemér – TÓTH Anikó – KOLENCSEKINÉ TÓTH Andrea – MADARÁSZ Tamás – ZÁKÁNYI Balázs – DEBRECZENI Ákos – SZILÁGYI János Ede	
Meddő és használaton kívüli kutak felmérése Magyarországon geotermikus hasznosítás céljából	26
SZÜCS Péter – TURAI Endre – VASS Péter – VELLEDETS Felicitász – ZÁKÁNYI Balázs – ILYÉS Csaba – NYIRI Gábor – FEKETE Zsombor – NÁDASI Endre – SZILVÁSI Marcell – KILIK Roland – MÓRICZ Ferenc – LESKÓ Máté	
A Demjén és környékén mélyült termáltvizes fúrások adatainak újrafeldolgozása	33
MIKLÓS Rita	
Söripari víz mélyfúrású ásványviziből	40
ERŐSS Ignác – MÁTHE István – SALAMON Rozália Veronika – KUZMAN Ildikó Hajnalka – SZÉP Alexandru	
Bálványosfürdő gázömléseinek geokémiája	57
KIS Boglárka-Mercédesz – IONESCU Artur – HARANGI Szabolcs – BACIU Cálin – PALCSU László – FUTÓ István	
Újkeletű szeizmo-tektonikus jelek kovászai ásványvizek és CO ₂ - feltörések geofizikai paramétereiben	65
GYILÁ Sándor – CSIGE István – SÓKI Erzsébet	
Az MNV2 kalibrációjának eredményei csápos kutak modellezésének vonatkozásában	77
NYIRI Gábor – ZÁKÁNYI Balázs – SZÜCS Péter	

Environmental and human health issues from the perspective of natural radioactivity in mofettes from Kovászna (Covasna) County INCZE Réka	85
The occurrence and the use of mineral water of Eastern Slovakia TOMETZ Ladislav – TOMETZOVÁ Dana	95
The use of sulfur water of Slovakia for balneotourism TOMETZOVÁ Dana	105
A torjai Büdös-barlang írott története a kezdetektől a XX. századig SIKÓ-BARABÁSI Sándor – INCZE Réka – Šerban M. SÁRBU – PARA Zoltán-Róbert – HEGYELI Botond	113
Néhány Magyarországon kereskedelmi forgalomban kapható ásványvíz makro- és mikroelem-tartalmának összehasonlító vizsgálata CSAPÓ János – KOVÁCS Béla Róbert	128
Általános jellemzés a Tatros folyó felső szakaszának ásványvizeiről (Gyimesi térség, Hargita-megye) CZELLECS Boglárka – GÁBOR Ibolya – SZOPOS Noémi – RAVASZ Levente	135
Jegyenye-fürdő erényei, múltja, jelene és remélhető jövője WANEK Ferenc	151
Természetes ásványvizek jellegzetes vonásai a Keleti-Kárpátok térségében PÉTER Elek	160
Gyógyfürdő-helyek megjelenítése a Kárpát-medencében és a határoló hegységekben postabélyegeken LÉNART László	172
A szénasavas ásványvíz fürdők szerepe a szívérrendszeri betegek komplex rehabilitációs kezelésében a kovásznai "Dr. Benedek Géza" Szívkórházban végzett kutatások és több mint 50 év gyakorlata TATÁR Márta	175
Résztevők névsora – Lista participanților – List of participants	179

CONTENT

Content	9
Köszöntő SZÜCS Péter	13
Salutation Péter SZÜCS	14
The opportunity of geothermal power plant installation in the land of mineral water, Hungary SZÜCS Péter – BOBOK Elemér – TÓTH Anikó – KOLENCSEKNÉ TÓTH Andrea – MADARÁSZ Tamás – ZÁKÁNYI Balázs – DEBRECZENI Ákos – SZILÁGYI János Ede	15
Survey of unproductive and unused wells in Hungary for geothermal use SZÜCS Péter – TURAI Endre – VASS Péter – VELLEDEITS Felicitász – ZÁKÁNYI Balázs – ILYÉS Csaba – NYIRI Gábor – FEKETE Zsombor – NÁDASI Endre – SZILVÁSI Marcell – KILIK Roland – MÖRÍCZ Ferenc – LESKÓ Máté	26
Re-processing thermal water drilling data in the area of Demjén, Hungary MIKLÓS Rita	33
Obtaining technological water for brewery from deep-well mineral water ERŐSS Ignác – MÁTHÉ István – SALAMON Rozália Veronika – KUZMAN Ildikó Hajnalka – SZÉP Alexandru	40
Gas-geochemistry of the gases of Bálványosfürdő KIS Boglárka-Mercédesz – IONESCU Artur – HARANGI Szabolcs – BACIU Călin – PALCSU László – FUTÓ István	57
Recent seismo-tectonical imprints observed in the geophysical parameters of mineral waters and CO ₂ emanations in Covasna spa-town, Romania GYILA Sándor – CSIGE István – SÓKI Erzsébet	65
The results of MNV2's calibration, in the aspects of horizontal well modeling NYIRI Gábor – ZÁKÁNYI Balázs – SZÜCS Péter	77

Environmental and human health issues from the perspective of natural radioactivity in mofettes from Kovászna (Covasna) County INCZE Réka	85
The occurrence and the use of mineral water of Eastern Slovakia TOMETZOVÁ Dana	95
The use of sulfur water of Slovakia for balneotourism TOMETZOVÁ Dana	105
The written history of the Smelly Cave from the beginning to the twentieth century SIKÓ-BARABÁSI Sándor – INCZE Réka – Šerban M. SÁRBU – PARA Zoltán-Róbert – HEGYELI Botond	113
Comparative study of the macro- and microelement content of some commercially available mineral water in Hungary CSAPÓ János – KOVÁCS Béla Róbert	128
General characteristics of mineral waters from Upper Trotuş River Basin (Ghimeş area, Harghita County) CZELLECS Boglárka – GÁBOR Ibolya – SZOPOS Noémi – RAVASZ Levente	135
The virtues, past, present and hopeful future of Leghia Spa WANÉK Ferenc	151
Natural mineral water's typical features in the Eastern Carpathians PÉTER Elek	160
Health spas of the Carpathian Basin and boundary mountains, displayed on postage stamps LÉNÁRT László	172
More than 50 years of experience and research in the "Dr. Benedek Géza" Cardiovascular Rehabilitation Hospital Covasna to determine the role of carbogaseous mineral water bath in the complex cardiovascular rehabilitation TATÁR Márta	175
List of participants	179

KÖSZÖNTŐ

Nagy szeretettel és tisztelettel köszöntöm a Kárpát-medence ásványvizeivel foglalkozó XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia előadóit, résztvevőit, szervezőit és támogatóit Sepsiszentgyörgyön 2017-ben.

Most is teljesítjük azt a küldetést, amelynek keretében 2004 nyarán ez a konferenciasorozat elindult Csíkszeredából. A Kárpát-medence felszín alatti vízkészletei stratégiai fontosságúak, az ásvány- és gyógyvíz készletek pártatlan értéket képviselnek ebben a tágabb térségben. Ennek a láthatatlan természeti erőforrásnak a feltárása és fenntartható hasznosítása azonban komoly és összetett szakmai ismereteket és felkészültséget igényel.

A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem és a Felszín Alatti Vizekért Alapítvány felismerte, hogy egy nemzetközi konferencia sorozat elindítása és működtetése nagymértékben segítheti az ásványvizekkel kapcsolatos ismereteinket. Nagyon jó döntésnek bizonyult, hogy a Miskolci Egyetem is bekapcsolódott a konferencia sorozat szervezésébe 2007-ben. Mára elmondhatjuk, hogy egyre nagyobb az érdeklődés a konferencia iránt a Kárpát-medence több országában. Hálás szívvel gondolok Makfalvi Zoltán geológusra, a rendezvénysorozat egyik kitalálójára, fáradhatatlan szervezőjére, a nagyszerű emberre, aki nélkül korábban elképzelhetetlen volt ez a konferencia. Bizom abban, hogy Makfalvi Zoltán megelégedéssel lájja odafeletről, hogy visszik tovább a zászlót, a konferencia újból és újból megszervezésre kerül. Ma már persze nem csak a szakmai okok miatt veszünk részt szívesen a konferencián, hanem amiatt is, mert baráti légkörben találkozhatunk a rendszeres visszatérőkkel, az újonnan jövőkkel és az ifjúság képviselőivel.

Köszönetemet fejezem ki a helyi szervezőknek élükön Dr. Máthé Istvánnal, hogy a 2017-es konferencia színhelyétül Sepsiszentgyörgyöt választották Kovászna megyében.

Tradicionalis köszöntésünkkel kívánok mindenkinek:
Jó szerencsét!

2017. augusztus 7.	Szűcs Péter egyetemi tanár, az MTA doktora dékán, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar a Konferencia társelnöke
-----------------------	---

SALUTATION

I am pleased to greet with love and respect all the lecturers, the participants, the organizers and the supporters of the 13th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin in Sfântu Gheorghe, Romania in 2017.

This year we also fulfill the mission of the conference series, which was initiated and started in Csíkszereda / Miercurea Ciuc during the summer of 2004. The groundwater resources of the Carpathian Basin have strategic importance. The mineral and medicinal water resources are unique and priceless in this wider region. On the other hand special knowledge and expertise are inevitable to explore and utilize this invisible natural resource in a sustainable way.

The Sapientia Hungarian University of Transilvania and the Foundation for Groundwater Resources recognized that the start and operation of an international conference series would increase the special knowledge connected to the mineral waters. It was a good decision that the University of Miskolc joined the organization committee in 2007 starting to host the conference at different places. Right now there is an increasing interest for our international conference series inside the Carpathian Basin. I am pleased to cherish the memory of Mr. Zoltán Makfalvi, the geologist, who was one of the inventors of this conference series, the energetic organizer and the outstanding man. Earlier it was not possible to imagine this conference without him. I do hope that Mr. Zoltán Makfalvi could see from the heaven with satisfaction that we carry on this conference event again and again. The professional objectives are very important to make a conference popular. We achieved even more. During the years, we created a friendly atmosphere where we can meet the regular visitors, the new comers and even the representatives of the young generation.

I express my gratitude to the local organizers lead by Dr. István Máthé for taking this conference to Sepsiszentgyörgy / Sfântu Gheorghe in Kovászna / Covasna County in 2017.

With our traditional salute I wish everybody:
Good luck!

August 7th,
2017
Péter Szűcs
professor DSc

dean, Univ. of Miskolc, Faculty of Earth Science and Engineering
co-president of the Conference

GEOTERMİKUS ERŐMŰFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGE AZ ÁSVÁNYVIZEK FÖLDJÉN, MAGYARORSZÁGON

SZŰCS PÉTER^{1,2*} – BOBOK ELEMER¹ – TÓTH ANIKÓ¹ –
KOLENCSEKNÉ TÓTH ANDREA¹ – MADARÁSZ TAMÁS¹ –
ZÁKANYIBALÁZS¹ – DEBRECZENI ÁKOS¹ – SZILÁGYI JÁNOS
EDE³

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar. H-3515 Miskolc, Egyetemváros
²MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport. H-3515 Miskolc, Egyetemváros

³Miskolci Egyetem, Állam- és Jogtudományi Kar. H-3515 Miskolc, Egyetemváros
E-mail: ¹hgszucs@uni-miskolc.hu; ³civdrede@uni-miskolc.hu
*Kapsolattartó személy.

Kivonat

A felszín alatti vízkészletek kiemelkedő szerepet játszanak Magyarországon. Ivóvízeink döntő része, világhírű ásvány-, gyógy- és hévizeink a felszín alól származnak. A korlátozott utánpótlással rendelkező hévizeink felhasználásánál feltétlenül szem előtt kell tartani a fenntarthatósági aspektusokat. A kitermelt hévizek balneológiai és geotermikus energiahasznosítási aspektusokat szolgálhatnak. Mind a két szegmens igen jelentős kiépítéssel rendelkezik hazánkban. A geotermikus energia felhasználás területén jelenleg csak hő hasznosítás folyik, nem rendelkezünk áramtermelő geotermikus erőművel. A geotermikus erőműfejlesztésnek ugyanakkor kiváló lehetőségei lehetnek a közeljövőben Magyarországon. Természetesen geotermikus erőműfejlesztés projektek csak úgy folyhatnak majd, hogy azok ne veszélyeztessék az ásvány- és gyógyvizeinket is magába foglaló felszín alatti vízkészleteink mennyiségi és minőségi állapotát.

Abstract. The opportunity of geothermal power plant installation in the land of mineral water, Hungary

Groundwater resources play significant role in Hungary. Most of our drinking water supply, our famous mineral, medicinal and thermal water productions are based on our groundwater resources. As the natural recharge is limited, sustainability aspects should be taken into consideration. Heat utilization is well developed in Hungary in case of geothermal energy production. There is no geothermal power plant in Hungary at this moment. New projects can be expected in the near future to install geothermal power plants. Groundwater management measures can guarantee to defend the quality and quantity aspects of our groundwater resources.

Bevezetés

Az átlagos földi hőáram Magyarországon 90-100MW/m², ami meghaladja a kontinentális átlagot. Míg a geotermikus gradiens földi értéke 30-33°C/km, Magyarországon átlagosan 42-45°C/km. Elmondható, hogy Magyarország geotermikus adottságai európai és világviszonylatban is kedvezőek (Rybach 1979,

Liebe 2001). A legtöbb geotermikus hasznosítási kút a felső Pannon rétegeket csapolja meg, és csak a kútak kisebb része termel a mély karsztos tárolókból.

A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet értelmében termálvíz: minden olyan felszín alatti vízáradék rétegből származó víz, melynek kifolyó, felszínen mért hőmérséklete eléri, vagy meghaladja a 30°C-ot.

A magyarországi geotermikus kutak többnyire 1000 – 2000m mélységből termelnek. A kutak felépítése hasonló és tipikus. A vezető beléscső átmérője mintegy 50m mélységig 13 3/8" (349mm) egy a 17/2" (444,5mm) átmérőjű fúrólukban. Majd az 500-1800m közötti mélységtartományban egy a 12/4" (444,5mm) átmérőjű fúrólukban 9 5/8" (244,5mm) beléscsövet építenek ki. Végezetül egy 7" (177,8mm) cső kerül beépítésre a 8/2" (215,9mm) fúrólukban, 30-50m-rel a saru felett. A beléscsövek minden esetben cementezve vannak (Bobok et al. 2013).

A geotermikus energia jövője erősen függ attól, hogy milyen mértékben lehet a geotermikus erőművek telepítését felgyorsítani, mivel más megújuló energiaforrások gyorsan fejlődnek, a szélenergia hasznosítása 25GWe, a napenergia 6GWe kapacitással nő évente. Mindeközben a geotermikus áramtermelés növekedése 2GWe/év alatt marad, de egycsek szerint az egyre nagyobb geotermikus kapacitási faktor szükségességét teszi a geotermikus áramtermelés felgyorsulását (Zsuga 2011). A geotermikus energiahasznosításban 2020 után az előrejelzések egyértelműen az EGS rendszer (Enhanced Geothermal System) robbanásszerű terjedését, térhódítását valószínűsítik. A legnagyobb kihívás a geotermikus energiaszektorban tehát az EGS technológia fejlesztése, ezt tartják ugyanis jelenleg a geotermikus energia kihasználás jövőjének.

Az EGS rendszer alap gondolata, hogy a geotermikus energia mindenhol használható, mivel a hőmérséklet mindenhol növekszik a mélységgel, azonban még számos alapvető problémát kell megoldani az EGS rendszer hosszú távon gazdaságosan fenntartható megvalósításához. A sarkalatos pontok a következők (Rybach 2010):

- olyan technológia kifejlesztése, amely a valójában mindenütt meglévő erőforrásból, a helyspecifikus felszín alatti adottságoktól függetlenül képes a villamos energia előállítására és/vagy hőtermelésre,
- tapasztalat szerzése az EGS rendszer időbeli lehetséges változásairól,
- az EGS erőmű kapacitást a jelenlegi néhány MWe értékről több 10-100MWe értékre kellene növelni.

Hazai adottságok a geotermikus energia hasznosítása szempontjából

Magyarország, bár nem aktív vulkáni területen található, geotermikus adottságai mégis európai, de nemzetközi viszonylatban is kiemelkedőek. Magas a hőmérséklet mélységgel történő emelkedése, ~ 45°C/km, szemben az átlagos 20-30°C/km értékkel. Így 500m mélységben az átlaghőmérséklet már 35-40°C, 1000m-ben 55-60°C, 2000m mélységben pedig 100-110°C, a melegebb területeken akár 120-130°C lehet. A felszín alatt több km mélységig megtalálható törmelékeny

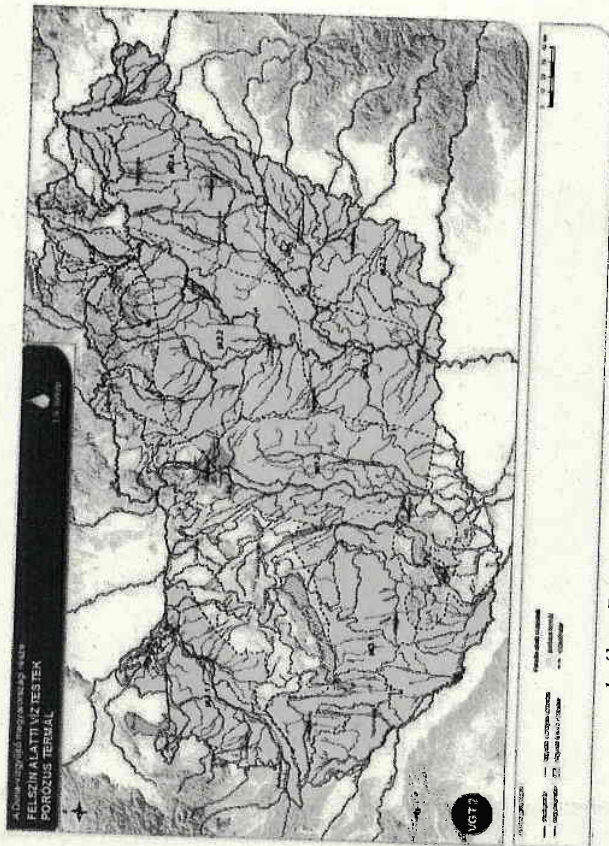
üledékekből (homok, homokkő) vagy repedezett mészkőből, dolomitból az ország területének több mint 70%-án minimum 30°C-os termálvíz feltartható. Magyarországon a geotermikus potenciál alulról közelítő becslések szerint is legalább ~60PJ/év.

A kedvező geotermikus adottságok oka – amelyek alapján Magyarországot Európa élvonalába sorolják –, a Pannon-medence fejlődéstörténetében rejlik. A terület kontinentális átlagot (65MW/m²) jóval meghaladó hőárama 90-100MW/m², a medence keletkezése során a középső-miocén alatt (17,5-12,5Ma) bekövetkezett litoszféra elvékonyodás. A magas hőmérsékletű asztenoszféra – a litoszféra elvékonyodása miatt – közelebb került a felszínhez, így a földkéregben megemelkedett a geotermikus gradiens és vele együtt a hőáram is. A litoszféra azóta fokozatosan hűl.

Magyarország ásvány-, gyógy- és termálvízkincese világviszonylatban is kiemelkedő, a nemzetgazdaság számára is jól használható, számos település és térség számára további felemelkedést és munkahelyteremtést jelenthet a természeti érték (Sziúcs 2012). Az is világossá vált viszont, hogy az ásvány-, gyógy- és hévizek mennyiségi és minőségi védelme, valamint fenntartható hasznosítása területén új tudományos eredményekre, innovatív szakmai megoldásokra, interdiszciplináris együttműködésre, széles körű szakmai konzultációra és új vizsgáldokadési stratégia kidolgozására van szükség (Búday et al. 2015). A Kárpát-medence ösztönözött vízrendszerbe tartozó értékes, felszín alatti vízkészleteink hasznosítása és védelme komplex, a határokon túlnyúló szemlélet, kutatást és vizsgáldokadési gyakorlatot is igényel (Marton 2009). A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vevő ásvány- és gyógyvízellátás minőségi bővítését, a termál vizek védelmét (I. ábra), a gyógyászati, rekreációs és wellness-igények kielégítését, valamint a geotermikus energia fokozott hasznosítását a nemzetközi szervezetekkel és tudományos trendekkel összehangoltan kell tervezni.

A jövőben a hidrogeológiának jelentősebb szerepet kell játszania a geotermikus energia felhasználásának növelésében. A 30°C-nál melegebb hévizeknek igen jelentős szerepük van a hő, illetve az energia felszínre hozatalában és hasznosításában. Bonyolítja a helyzetet, hogy a termálvizek a Kárpát-medencében sok helyen hidraulikailag összefüggnek az ivóvíztermelésre használt rétegekkel. Speciális vizsgáldokadési stratégia kialakítására van szükség annak érdekében, hogy fenntartható módon elérjünk ki egy adott területen a felszín alatti vízre alapozó ivóvíz-, gyógyászati célú és az energetikai célú igényeket. Hazánk, valamint a Kárpát-medence kimagaslóan jó geotermikus potenciálját, hidogeotermikus rendszereit, hévízfelhasználási lehetőségeit az utóbbi időben több kiváló tanulmány is bemutatta (Mádliné Szonyi 2006; Szanyi & Kovács 2010; Székely 2010). Ezen adatok birtokában meghatározható az ország elméletileg rendelkezésre álló teljes dinamikus hőkészlete, amely több mint 8000MW. Ehhez képest a geotermikus energia tényleges hasznosításának mértéke jelenleg sokkal kisebb. Az igen változatos geológiai és vízföldtani kép biztosíthatja a különböző

jellegű és típusú geotermikus energia hasznosítása alapjainak kiszélesítését Magyarországon (Bobok & Tóth 2010). A hidrogeológusoknak a porózusomások területén is specializálásokra kell számítaniuk. A hévíztároló neogén képződmények általában túlnyomásosak. Több helyen a pre-neogén képződményekben és az aljzatban még az 50%-ot is meghaladó túlnyomásos várhatóak, megnehezítve és drágítva a hasznosítás lehetőségét.



1. ábra. Porózus termál víztestek Magyarországon

A közepes entalpiájú rendszerek 30-100°C hőmérsékletű vizeit elsősorban kaszkádrendszerű kommunális rendszerekben fűtésre és lakossági és ipari használati melegvíz-szolgáltatásra, valamint wellness- és gyógyfürdőkben, mezőgazdasági létesítményekben (üvegházak, fóliasátrak, istállók fűtése, szárítás stb.) használják. A hévíztároló rendszerek hazai regionális eloszlása alapján megállapítható, hogy Magyarország geotermikus adottságai a közepes entalpiájú rendszerek tekintetében kimagaslóak. A legkedvezőbb adottságú térségben, a Dél-Alföldön gyakorlatilag minden település esetén földtanilag lehetséges a közepes entalpiájú rendszerekkel történő hőhasznosítás. Világosan látszik azonban, hogy hévízkészleteink termelése sok helyen meghaladja a fenntartható mértéket (Szanyi et al. 2011). E helyeken folyamatos vízszintstüllyedéseket regisztrálhatunk. Ezért nagyon fontos az energetikai célú hévízkivételek esetében a ma már jogszabályilag is előírt visszasajtolás. Ez természetesen több helyen érdeksérelmeket eredményezhet, ahol e műveletre korábban nem volt szükség, s így igen komoly

gazdasági előnyre lehetett szert tenni. A nagyobb hévízfelhasználók (például városi közműrendszerek) esetén a gazdasági előny megmarad a visszasajtolás kivitelezése esetén is.

Az egy-két vagy a technológiailag elavult néhány hévízkutas vízkivitel esetén akár a gázfűtésnél is drágább fajlagos költségeket eredményezhet a visszasajtoló rendszer kialakítása, különösen porózus vízadó rétegekbe. Felszín alatti vízkészleteink védelmének azonban magasabb prioritást kell kapnia, mint a lokális gazdasági érdekeknek. A fentebb említett hidrogeológiai okok miatt ugyanis a hévízes rendszereink túltermelése egyrészt kedvezőtlenül alakíthatja ásvány- és gyógyvízkészleteink vízminőségét, másrészt az ivóvízellátás céljára szolgáló felsőbb rétegekben is kedvezőtlen vízszintváltozások történhetnek. A vízvisszasajtolás technológiáját tehát a költségek csökkentése érdekében fejleszteni kell. Vizgazdálkodási szempontból az azonban elfogadhatatlan, hogy az évi kb. 50 millió m³-nyi energetikai célú hévíztermelés mellett jelenleg csak kb. 4 millió m³-t sajtolnak vissza a felszín alá.

A lehűlt, sokszor igen magas sótartalmú vizek eddig felszíni befogadókba kerülve okoztak jelentős környezetterhelést, illetve a felszíni vízfolyásokon keresztül elhagyták az országot. A jövőben emellett hangsúlyt kell helyezni a meglévő vízkivételek hőenergiájának optimalizálására, a többlépcsős hasznosítás terveinek kidolgozására és megvalósítására, a hasznosítás hatásfokának növelésére. A hazai fenntartható geotermikus energiahasznosításra egy igen jó példa az utóbbi években az a miskolci nagyléptékű beruházás, amelynek eredményeképpen létrejött Közép-Európa legnagyobb geotermikus hőerőműve mintegy 50MW fűtési kapacitással. Kistokaj és Mályi térségében 2 termelő és 3 visszasajtoló kút segítségével valósult meg a kivitelezés, ahol a teljes termelt hévíz mennyiség a kaszkád rendszerű hő hasznosítás után visszasajtolásra kerül a mélykarsztos rendszerbe az energia viszonyok fenntartása miatt. A környékbeli gyógyfürdők védelme érdekében jelenleg nagy érzékenységgű monitoring rendszer segítségével próbálják érzékelni az esetleges környezeti hatásokat, amelyeket eddig nem sikerült kimutatni. A közepes entalpia rendszerek esetében hazánkban igen nagy jelentősége van a balneológiai hasznosításnak is, amely méltán szerzett nemzetközi hírnevet.

A nagy entalpiájú, 100°C vízhőmérséklet feletti rendszerek létesítésének alapvető célja az elektromos energia termelése, illetve az egységnyi elektromos energia előállítására során keletkező hat-nyolc egységnyi hulladék hőenergia együttes hasznosítása. Bár az országban több helyen is található olyan területeket (például Fábiansbestyén, Makói-árok, Békési-süllyedék, Derecskei-árok), ahol akár 180-200°C hőmérsékletű felszín alatti vizek állnának rendelkezésre áramfejlesztésre, sajnos ilyen beruházások eddig nem valósultak meg a Kárpát-medencében. Egy sikeres geotermikus koncessziós pályázat eredményeként Battonya térségében folynak előzetes hazai kutatások egy EGS- (HDR) típusú erőmű kifejlesztésére, amelynek prototípusa a németországi Soultzban üzemel. Bár az üzembiztos működés során számos műszaki problémával kell megküzdenni,

ugyanakkor a nagy mélységű EGS-rendszerek elvileg több helyen is telepíthetőek lennének a medencealfjában Magyarországon. Igazi szakmai kihívás, hogy nagy mélységben, közel 250°C hőmérsékletű térségben igen jelentős térfogatú közetben kell szabályozott repedésrendszert létrehozni, amelynek kialakítása a káros repesztrészekre érzékeny térségekben nem vállalható környezeti kockázatokat is jelenthet.

A fenntarthatósági aspektusokat vizsgálva a hazai ivóvízes rétegek veszélyeztetettségére a termelési tapasztalatok már évtizedekkel ezelőtt ráirányították a figyelmet. Például Debrecen esetében felmerült számos probléma, amelyet több szakember a túlzott rétegvíz használatnak tulajdonít (a talajvízszintek süllyedése, az élővízfolyások hozamsökkenése és időszakos válása, az erdőpusztulás, az erdőpusztai tavak tragikus beszáradásai, a belváros területének egyetlen térszinsüllyedése, stb. E feltételezett negatív hatások mérséklésére vált szükségessé a Keleti-főcsatorna vízének csővezetékén történő bevezetése. Ezek a kárelhárító intézkedések sem szüntették azonban meg a beindult folyamatokat, így fokozott igényként fogalmazódott meg az egzaktt modellezés, a vízbázisvédelmi program, monitoring kutak elhelyezése a vízmű-kütsoportok környezetében, stb. A hosszú távú vízmozgás pontos meghatározását szolgálták a vizkör elemzések. A hidrogeotermikus rendszerek fenntarthatósági aspektusait illetően elsősorban a vízszintek és a hőmérsékleti viszonyok alakulásához köthetjük. Szentes és Hódmezővásárhely környékének a viszonyai jól mutatják, hogy a vízszintek folyamatos csökkenése mára már 30-40 métert is elérte. Nem alakult ki új egyensúlyi helyzet a tényleges termelés, az utánpótlás és a vízszintek tekintetében. Ahol a vízszintek folyamatosan csökkennek, ott nem beszélhetünk fenntarthatóságról.

A hévíztermelés esetében is nagyon fontos a megfelelő monitoring tevékenység. Az adatok jelzik a vizadók korlátozott teljesítőképességét, kapacitását, illetve az egyes területekre jelentkező gyengébb utánpótlódást és a túlhasználatot. Fontos segítség lehet a szakmai döntéshozatalban a 3 dimenziós hidrodinamikai és hő transzport modellezés, amely figyelembe veszi a rendszeregyeségek hosszú távú termelési adatait, az oldott gáz tartalom mennyiségi és minőségi változásait, a rétegnyomás-értékek csökkenését, a hőfok és az oldottanyag-tartalom változásait. Ez szükséges annak a termelési ütemnek az optimumszámításához, amely a hosszú távú fenntarthatóságot biztosíthatja.

A legkorszerűbb technológiai felsorakoztatása geotermikus erőmű létesítése szempontjából

A megújuló energiák, így a geotermikus energia esetében az elterjedés legfőbb korlátja, hogy a piac ma még nem méri az energiatermelés vagy fogyasztás járulékos társadalmi és gazdasági hatásait. A geotermikus erőművek kiépítési költsége magas, 3-4,5 millió €/MW, az áramfejlesztési költség 40-100€/MWh (Fridleifsson et al. 2008). A kútnező kiépítésének költsége 25-50%-át teszi ki a projekt teljes költségének (Petty et al. 2013). Az EGS rendszerek kiépítési

költségei 70 millió € szinten állnak, csak a kutak létesítése 60-80%-a a beruházási költségnek. Ha egy EGS erőmű kapcsolt hő-/áramfejlesztési módon üzemeltethető, akkor a rendszer gazdaságossága nő, modellszámítások alapján az ársáv 40-60€/MWh között mozog.

Hagyományos geotermikus erőműveknél nagy kockázatot a megfelelő hőmérséklet elérése jelenti, de az alacsonyabb hőmérséklet bizonyos mértékig kompenzálható nagyobb hozamokkal. EGS rendszerrel a hőmérséklet elsősorban a fűrés mélység függvénye, így a projekt gazdaságosságára nézve az a kritikus, hogy képesek vagyunk-e a megfelelő repedésrendszer létrehozására és a kellő (gazdaságos) termelési hozamok elérésére a hirtelen hőmérséklet esés kockázata nélkül (Petty et al. 2013). A rétegrepszítés kockázata, nevezetesen, hogy létrejön-e a kívánt felületű és tulajdonságú repedésrendszer, a leggyondosabb előkészítés ellenére is nagy. A hidraulikus rétegrepszítéssel létrehozott repedésekben az áramlás csatornásodásra hajlamos, azaz a kutak között könnyen termikus átörésre kerülhet sor, amelynek bekövetkezte gazdaságilag ellehetleníti az EGS projektet. Az üzemeltetés során emellett a keringetés során jelentkező veszteségek, és a repedések eltömődése jelenthetnek problémát.

Számos nagy volumenű kutatási projekt foglalkozott/foglalkozik az ígért EGS típusú, és a hidrotermális erőművek esetében egyaránt a technológiai hatékonyság mellett a gazdaságosság növelésével is. A kutatások jelentős része a fűrés hatékonyság javítását, a kútképzés során használt anyagok és technológiai fejlesztését és a geotermikus rezervoár stimulálásának repesztésének fejlesztését célozza meg. Emellett a szuperkritikus környezetben történő üzemelés és mérés-technika fejlesztése is a kutatási prioritások között szerepel. Az alábbiakban néhány mondatban összefoglaljuk a fő kutatási projektek célkitűzéseit és az 1. táblázatban megadjuk az egyes projektek és a fő kutatási irányok áttekintő mátrixát.

1. táblázat. Az EGS rendszerekre épülő pályázatok

Kutatási prioritások	Projektek megnevezése									
	Low-Bin	ENGINE	IDDP	DEPEGS	CHPM2030	DESCRAMBLE	DESTRESS	GEOWELL	SURE	ThermDriII
Korszerű kúttérvezési, kútkiképzési, csővezetési/toldási technológiai fejlesztése				+		+		+		
Környezeti hatáselemzés, Környezeti kockázat elemzése, minimalizálása		+		+			+	+	+	+
EGS szélsőséges körülmények között, szuperkritikus			+	+	+	+	+	+	+	

Kutatási prioritások	Projekttek megnevezése									
	Low-Bin	ENGINE	IDDP	DEPEGS	CHPM2030	DESCRAMBLE	DESTRESS	GEOWELL	SURE	ThermoDrill
körülmények közötti megvalósítása $T > 374^{\circ}\text{C}$; $P > 22\text{MPa}$, super hot $T < 550^{\circ}\text{C}$; ultra deep > 4km, stb.)										
Fűrés technológia és eszközfejlesztés a hatékonyság, termelékenység javítása érdekében										
Gazdaságossági mutatók javítása	+									
Fejlesztett technológia (fűrés, eljárás, technológia) alkalmazása konkrét mintaterületen										
Geotermikus rezervoárok stimulációja										
Kutak termelékenységének, kizozatalának javítása										
Visszasajtolási megbízhatóságának, hozamának növelése,										
Technológia transzfer olaj-, és gáziparból										
Ásványi nyersanyagok kioldása/kitermelése EGS munkafolyadékokkal										
Energiatermelés hatékonyságának növelése										
Szuperkritikus körülményekben alkalmazható mérőeszközök, monitoring fejlesztése										
In situ közet és fluidum vizsgálatok fejlesztése	+									
Szeizmikus hatások minimalizálása										

Összefoglalás

- A geotermikus energia alkalmazása mellett számos nyomós érv szól. Ezek között első helyen kell, hogy szerepeljenek Magyarország természeti adottságai, melyet a geotermikus energia hasznosítása szempontjából kifejezetten jónak tekinthetünk.
- Az átlagosnál nagyobb geotermikus gradiense és földi hő fluxusra számíthatunk az ország szinte teljes területén. A geotermikus energia hasznosítás vonatkozásában mind a hidrotermális, mind a petrotermális rendszerek alkalmazása reális.
- Az ország viszonylag kis területe ellenére igen változatos földtani és vízföldtani viszonyok fordulnak elő. A 1500-2000m-nél nagyobb felszín alatti mélységek esetén a hidrosztatikus állapothoz képest igen jelentős túlnyomásokra, magas hőmérsékletre és magas oldott sótartalomra számíthatunk a kőzetek pórusaiban és repedéseiben. Ez egyben azt is jelenti, hogy a geotermikus energia hatékony és megbízható kiaknázása komoly műszaki kihívást jelent a megvalósítók részére, melyek azonban akár már a közeljövőben megoldást nyerhetnek.
- Jelentős mennyiségű hasznosítható hévízkészletek állnak rendelkezésre hazánk területének mintegy 80%-án. A felhasznált hévizek mintegy felét balneológiai célból, míg a másik felét energetika célból hasznosítják. Az energetikai felhasználású hévizeknek jelenleg csak igen kis részarányát, mintegy 5-10%-át sajátják vissza a hévízadó üzemekbe. Ez azt is jelenti, hogy a jelenlegi hévízgazdálkodási gyakorlat részben pazarlónak tekinthető, a fenntarthatósági szempontok egyelőre eléggé alárendeltek.
- A geotermikus energia környezeti hatásait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy tiszta, környezetbarát, más energiahordozókhoz képest elhanyagolható emisszióval járó energiaforrás. Hazánk hévízkútjai gyakran tartalmaznak hasznosítható mennyiségű metánt. S bár a metán üvegházhatása sokszorosa a szén-dioxidénak, tehát szeparátorral történő leválasztása és elégetése elkerülhetetlen, ám ez egyúttal járulékos energiaforrás is, melyet már a két világháború között is hasznosítottak. A geotermikus energia használatával járó környezetterhelést soha nem önmagában, hanem az általa kiváltott fosszilis energiahordozók hatását számításba véve lehet csak reálisan értékelni.
- A nemzetközi trendek alapján megállapítható, hogy a geotermikus energia hasznosítás jövőbeli jelentős növekedésében az EGS rendszerek szélesebb körű elterjedése és megbízhatóbb működése jelentheti a fő hajtóerőt. Az is megállapítható, hogy az EGS rendszerek jelenleg a világban főképp kísérleti jelleggel működnek. Intenzív és széleskörű kutatásokra és fejlesztésekre van még szükség ahhoz, hogy az EGS technológia a mindennapokban jól kontrollálhatóan, megbízhatóan és gazdaságosan üzemeljen.
- Nemzetközi szinten a geotermikus energia szélesebb körű elterjedését szolgálják azok a kutatások, amelyek a fűrés és kűtképzési, valamint a visszاسajtolási technológiák fejlesztését, a magasabb hatásfokot, a gazdaságosabb üzemelést, valamint a még kisebb környezetterhelés elérését

szolgálják. A közeljövőben megoldást nyerhetnek olyan műszaki problémák is, mint pl. a Fábiansbestyén-Nagyszénás térségében lévő 200°C hőmérséklet és 700-760bar.

- Magyarországon jelenleg geotermikus energiából nem állítanak elő elektromos áramot. Folyamatosan van Dél-Magyarországon Battonya közelében egy geotermikus koncessziós pályázat megvalósítása, amelynek keretében EGS rendszerrel kívánják elindítani egy bináris ciklusú ORC erőművet létrehozni, amely az előzetes becslések szerint kb. nettó 9MWe áramtermelésre lehet majd képes. A koncessziós pályázat elindult. A projekt jelenlegi készültési fokról nincs pontos információ.

Közösnetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő memóriai eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Bobok, E., Tóth, A. 2010. A geotermikus energia helyzete és perspektívái. Magyar Tudomány. 8:926-936.
- Bobok, E., Tóth, A. 2013. Fenntartható kiaknázás, ISSN 1218-5450, Mérnök Újság, 2013(1):12-14.
- 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 Hajdúsoboszló-Debrecen, Hungary. Environmental Earth Sciences 74:7513-7521.
- Fridlefsson, I.B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J.W., Ragnarsson, A., Rybach, L. 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: Hohmeyer, O. and Tritton, T. (eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008, pp. 59-80.
- Liebe, P. 1993. Magyarország termálvízkészletei. Római Könyvkiadó, Budapest
- Marton, L. 2009. Alkalmazott hidrogeológia. ELTE Eötvös, Budapest.
- Mádlné Szőnyi, J. 2006. A geotermikus energia. Grafon, Nagykovácsi.
- Petty, S., Nordin Y., Glassley, W., Cladouhos, I.T., Swyer, M., 2013. Improving geothermal project economics with multi-zone stimulation: results from the Newberry Volcano EGS demonstration, proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013, SGP-TR-198.
- Rybach, L. 1979. Geothermal resources. Proc. Symp. on Geothermal Energy 5:1-7.

Rybach, L. 2010. "The Future of Geothermal Energy" and Its Challenges, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.

Szanyi, J., Kovács, B. 2010. Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. Geothermics, 39:357-364.

Szanyi, J., Kovács, B., Czinkota, I., Kóbor, B., Medgyes, T., Barcza, M., Bálint, A., Kiss, S. 2011. Sustainable Geothermal Reservoir Management Using Geophysical and Hydraulic Investigations. Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress California, pp. 871-875.

Szűcs, P. 2012. Hévízeink és hasznosításuk. Magyar Tudomány. 12:1473-1485. Tudomány, 5:554-565.

Zsuga, J. 2011. Kockázat és kezelés. KPMG Energetikai Évkönyv 3:42-43.