

GEOTERMIA HATÁROK NÉLKÜL A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

GEOTHERMAL ENERGY WITHOUT FRONTIERS IN THE CARPATHIAN BASIN

Nádor Annamária PhD, vezető hivatali főtanácsos

Rotárné Szalkai Ágnes, hivatali főtanácsos I

Zilahi-Sebess László, vezető hivatali főtanácsos

Maros Gyula PhD, osztályvezető

Szőcs Teodóra PhD, osztályvezető

Tóth György, nyugalmazott hidrogeológus

Gál Nóra PhD, hivatali főtanácsos II

Gulyás Ágnes, hivatali főtanácsos II

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest
nador.annamaria@mbfsz.gov.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A Kárpát-medence gazdag geotermikus erőforrásai, az ezeket hordozó regionális termálvíz-áramlási rendszerek a terület nagy földtani szerkezeteihez igazodva több országon átnyúlva helyezkednek el. Ezek fenntartható használata csak egy határokon átnyúló, a szomszédos országokkal közösen kialakított gazdálkodási stratégiával valósulhat meg. Az elmúlt években három transznacionális projekt keretében a szomszédos országokkal közösen vizsgáltuk Magyarország ÉNy-i, Ny-i, illetve D-i és DK-i határvidékein a geotermikus energia hasznosításának lehetőségét, a termálvíztermelés lehetséges hatásait és a hatékonyabb kihasználásukban rejlő lehetőségeket, a geotermikus rezervoárok regionális elterjedését és jellemzését.

ABSTRACT

The rich geothermal energy resources of the Carpathian Basin, as well as the regional thermal groundwater flow systems, as carrying medium of the subsurface heat are linked to large-scale geotectonic units spreading over the territory of several neighbouring countries. The sustainable management of these geo-energy assets requires a harmonized management strategy. During the past few years 3 transnational projects at the NW, W, S and SE parts of Hungary were focussing on the assessment of utilization of thermal water, their impacts and more efficient use, as well as the delineation and characterization of (transboundary) geothermal reservoirs in these regions.

Kulcsszavak: Kárpát-medence, geotermikus energia, termásvíz-hasznosítás, fenntartható gazdálkodás, rezervoár

Keywords: Carpathian Basin, geothermal energy, thermal water utilization, sustainable management, reservoir

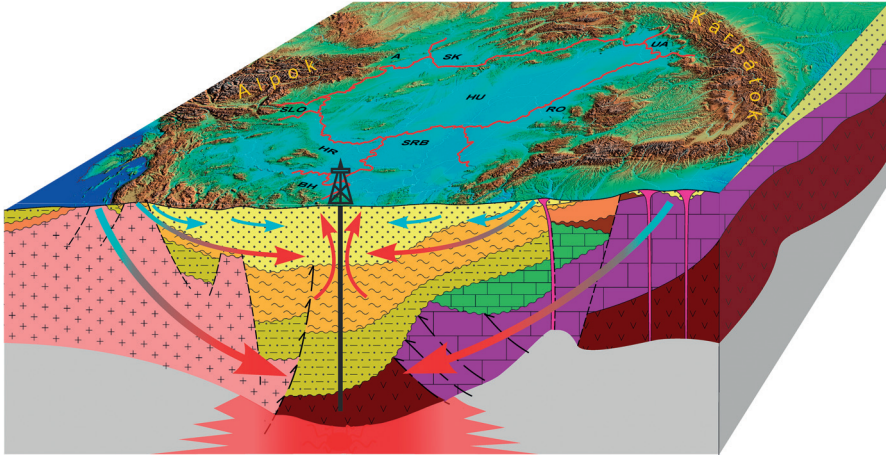
BEVEZETÉS

A világ növekvő energiaigényének kielégítésében kiemelt szerepük van a megújuló energiaforrásoknak. A regionális adottságtól függően – így hazánk esetében is – tovább növeli a megújulók fontosságát az importfüggőség csökkentése, ezáltal az energiaellátás biztonságának fokozása. A „zöld energia” növekvő felhasználásának másik, legalább ennyire fontos ösztönzői a fosszilis energiahordozók elégetéséből származó szén-dioxid-kibocsátást és ezzel kapcsolatban a klímaváltozás hatásait mérséklő törekvések. Hazánkban 2016-ban a megújulók részaránya a bruttó bel-földi energiafogyasztásban 11,7% volt, ennek döntő többsége (10,8%) fa és egyéb szilárd biomassza, a geotermia részaránya mindössze 0,5% (forrás: Eurostat). Ez a szám meglehetősen csekély ahhoz képest, hogy hazánkat – adottságait tekintve – rendszeresen „geotermikus nagyhatalomként” említik Európa-szerte. A geotermikus gradiens Magyarországon mintegy másfélszerese a világátlagnak (45 °C/km), a legmagasabb a Dél-Dunántúlon és az Alföld délkeleti részén. A felszín alatt 1000 m-rel számos területen 60-70 °C, míg 2 km mélységben már a 120-130 °C-ot is meghaladja a kőzetek, illetve az azok repedéseiben, pórusaiban tárolt víz, illetve gőz hőmérséklete. Mindezek a kedvező földtani adottságok annak tudhatók be, hogy a Kárpát-medence mintegy 10-12 millió évvel ezelőtti képződése során a tektonikai húzóerők hatására a földkéreg elvékonyodott, így az alatta elhelyezkedő, 1200 °C-ot meghaladó hőmérsékletű asztenoszféra közelebb található a felszínhez, magasabb hőáramot biztosítva (Dövényi–Horváth, 1988).

Jelenleg az országban közel kilencszáz termálkút üzemel, amelyekből kifolyó víz hőmérséklete meghaladja a 30 °C-ot. Ezek körülbelül egyharmada balneológiai célú, negyedük (főként az alacsonyabb hőmérsékletű vizek) ivóvízellátásra hasznosul, és közel fele szolgál közvetlen hőhasznosítási célokat (üvegházak, épületek fűtése, használati melegvíz termelése, távfűtés) (Nádor et al., 2016).

A geotermikus energia fő hordozóközegét jelentő termásvíz az ország határaitól függetlenül, a földtani szerkezetek által meghatározott regionális pályák mentén áramlik. Ezen nagy áramlási rendszerek hatalmas területeket foglalnak magukba: az utánpótlódási régiók a Kárpát-medencét övező hegyvidékeken, az országhatáron kívül helyezkednek el, ahol a beszivárgó csapadékvíz a mélybe jutva felmelegszik, és a medence arra földtanilag-vízföldtanilag alkalmas egységeiben áramlik a természetes vagy mesterséges megcsapolási pontok felé (*1. ábra*).

Ezért csak egy határokon átnyúló, a szomszédos országokkal közösen kialakított gazdálkodási stratégia vezethet a termálvizek fenntartható használatához. A termálvíz/geotermikus energia harmonizált gazdálkodása azért különösen fontos, mert már meglevő tapasztalatok igazolják (Tóth et al., 2016), hogy egy adott ország víztermelésének esetleges negatív hatásai (depresszió, hozam- és hőmérséklet-csökkenés stb.) különösen a határ menti régiókban, a szomszédos országokban is jelentkezhetnek.



1. ábra. A Kárpát-medence regionális termálvízáramlásainak elvi vázlata

(Az ábrák a szerző szerkesztései)

Az ország Kárpát-medencében elfoglalt kedvező központi elhelyezkedését felhasználva a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, illetve jogelőd intézményei (Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Magyar Állami Földtani Intézet) az elmúlt évtizedben több, határokon átnyúló nemzetközi projektet koordináltak (T-JAM: geotermikus hasznosítások számbavétele, a hévízadók értékelése és közös hévízgazdálkodási terv előkészítése a Mura–Zala-medencében; Transenergy: Szlovénia, Ausztria, Magyarország és Szlovákia határokkal osztott geotermikus erőforrásai; DARLINGE: a Duna régió vezető szerepe a geotermiában). A kutatások keretében az alábbi főbb kérdésekre kerestük a választ:

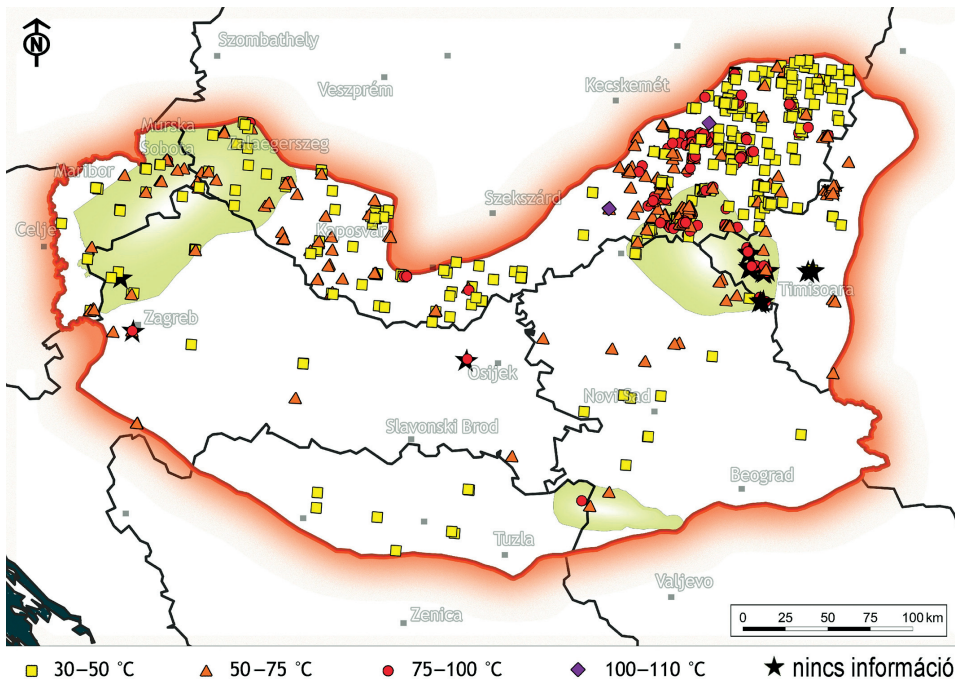
- Össze lehet-e hangolni (és hogyan) az „energetikai” (a Megújuló Irányelvvel [2009/28/EC] összhangban meghatározott nemzeti célszámok elérése) és a „környezeti” (a Víz Keretirányelv [2000/60/EC] mentén kijelölt felszín alatti víztestek mint geotermikus vízadók jó állapota) célokat?
- A geotermikus energia felhasználásának növeléséhez szükséges-e a termálvízkivétel növelése – ha igen, akkor melyek a fenntartható termelés peremfeltételei?

- Milyen egyéb megoldásokkal (energiahatékonyság fokozása, kaszkádrendszerek) lehet a már meglévő rendszereket hatékonyabban üzemeltetni?
- Milyen egymásra hatásai vannak/lesznek a már létező és az esetlegesen tervezett új geotermikus rendszereknek, különösen azokon a területeken, ahol sok üzemelő termálkút található (például a Dél-Alföld térsége)?
- Milyen módszereket lehet kidolgozni a termálenergia/hévíz határokon átnyúló harmonizált, fenntartható gazdálkodására?

MÓDSZERTAN ÉS EREDMÉNYEK

A fenti kérdések megválaszolásához mindhárom említett projektben többlépcsős módszeregyüttest alkalmaztunk, amely az évek során egyre finomodott, és újabb részletekkel egészült ki.

Első lépésben az adott projektterületen részletes felmérést készítettünk a működő termálkutakról, és ezek adataiból (például: kifolyó víz hőmérséklete, hozama, a szűrőzött szakaszok mélysége, a vízázó litológiája, a felhasználás módja)

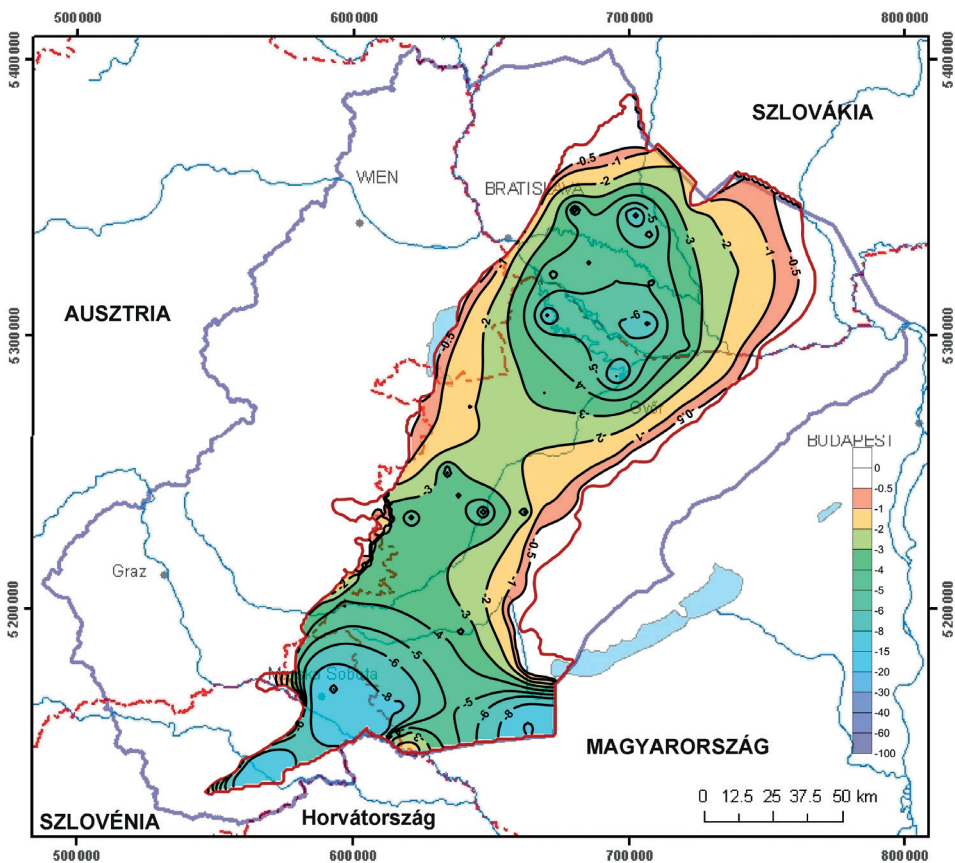


2. ábra. Üzemelő termálkutak osztályozása és térképi megjelenítése a kifolyó víz hőmérséklete szerint

DARLINGe projekt

adatbázist építettünk, amely az adatok sok szempontú lekérdezhetőségét és megjelenítését tette lehetővé (Rman et al., 2015) (2. ábra).

Ezt követően a vizsgálandó területre meghatároztuk a főbb hidrosztratigráfiai egységeket (a vízföldtani szempontból hasonlóan viselkedő kőzetegyütteseket), és olyan földtani térmodelleket szerkesztettünk, amelyek alapján ezek határoló felületei megadhatóak. A földtani modell jelenti a vázat a numerikus vízföldtani modellekhez (amelyek általában ModFlow- vagy FeFlow-környezetben készültek), és amelyek segítségével megadhatóak a főbb nyomásszintek, meghatározhatóak az áramlási pályák, a meghatározott egységek közötti vízmérlegadatok



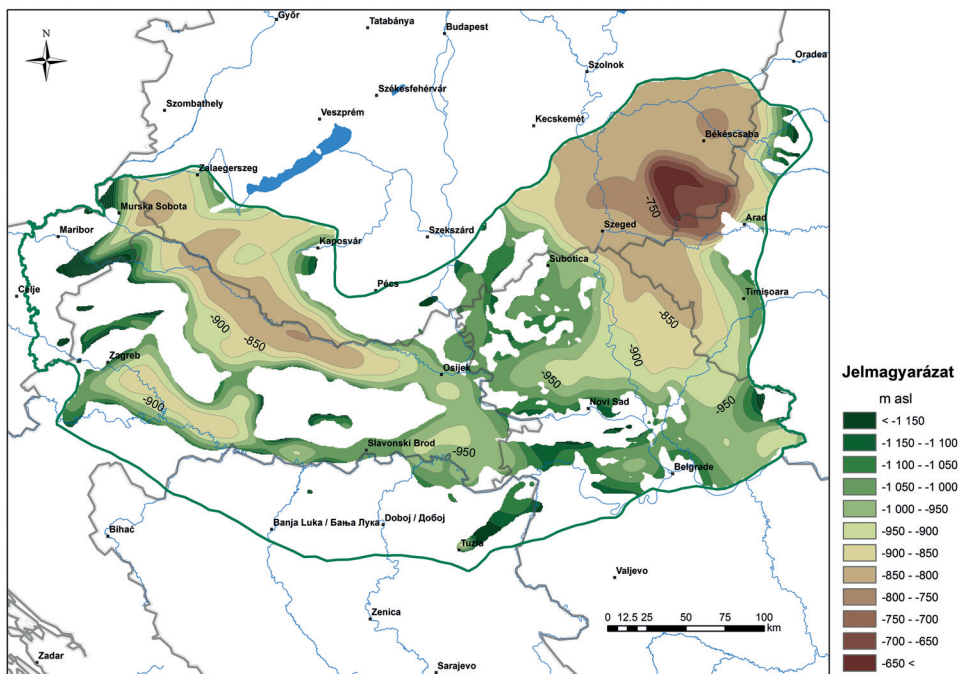
3. ábra. Modellezett felszín alatti vízszintesökkenések a felső-pannon termálvízadóban a 2007 és 2009 közötti időszakban Magyarország, Szlovákia, Ausztria és Szlovénia együttes termeléseinek figyelembevételével (a skálán feltüntetett számok méterekben jelzik a vízszintesökkenést)

Transenergy projekt

3. ábra). Különböző termelési szenáriók futtatásával ezen modellek segítségével előre jelezhetők a jövőbeli termelések hatásai is (Tóth et al., 2016). A vízkémiai értékelések az áramlási pályák pontosításában, a vizek eredetének és korának megállapításában játszanak fontos szerepet.

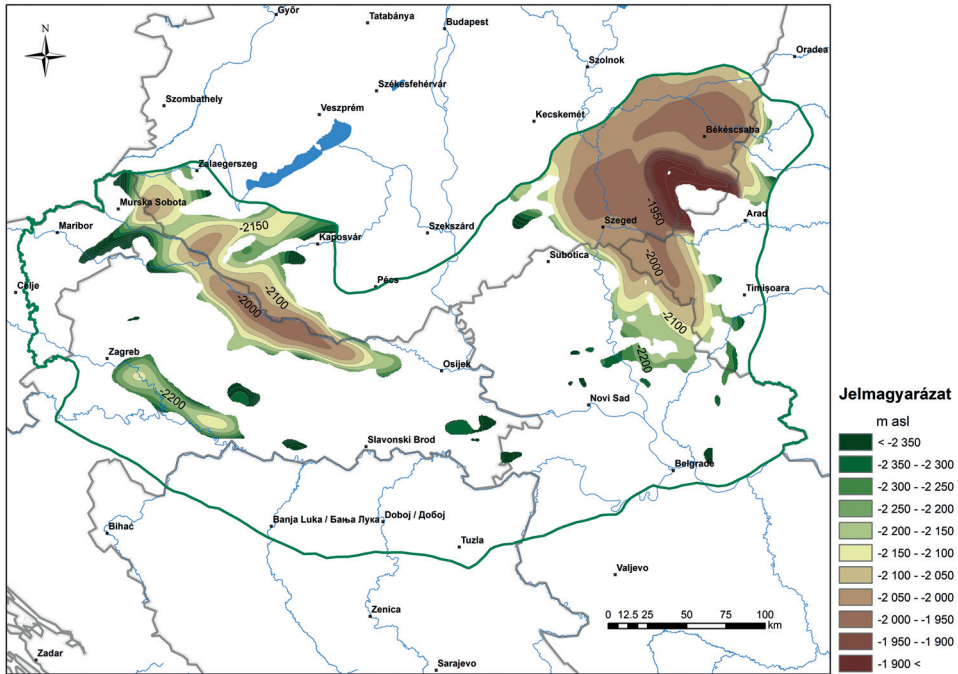
A földtani és vízföldtani modellek természetesen kiegészülnek geotermikus modellekkel is (Lenkey et al., 2017), ezek általában a felszín alatti hőmérséklet-eloszlásokat mutatják izotermatérképek (adott hőmérséklet mélybeli eloszlása) vagy mélység-hőmérséklet (adott mélységben érvényes hőmérséklet-eloszlás) térképek formájában (4., 5. ábra).

Természetesen ezen közös modellek kialakítása csak a szomszédos országok közötti harmonizált földtani, vízföldtani és geotermikus adatok alapján lehetséges, ezért a modellépítéseket minden esetben hosszú adatgyűjtési és adatharmonizációs fázis előzte meg. Ennek eredményeként az egyes országok szakemberei által egységes adatbázisba rendezett hidrogeológiai és geotermikus adatai alapján, az egyes földtani képződményekre kialakított közös jelkulcs alkalmazásával egységes, országhatároktól független térképsorozatot készítettek.



4. ábra. Az 50 °C-os izoterma mélysége a tengerszint feletti a pannon medenecekitöltő üledékekben

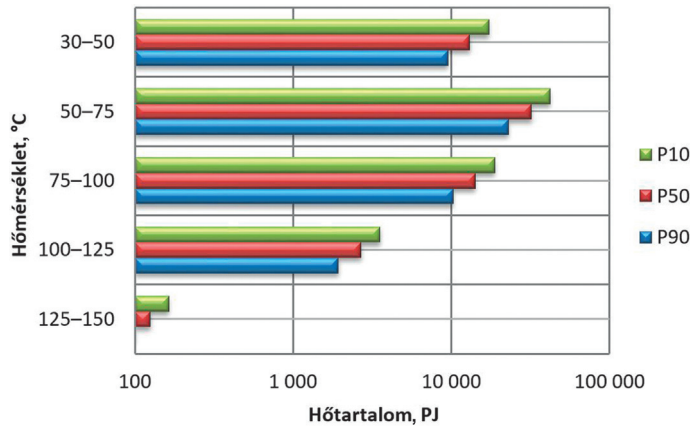
DARLINGe projekt



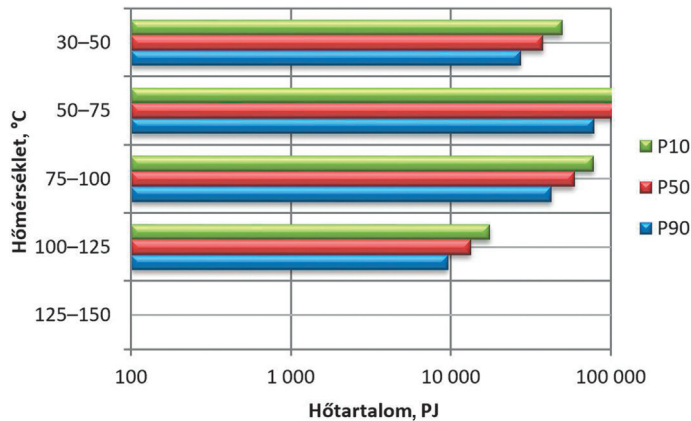
5. ábra. A 100 °C-os izoterma mélysége a tengerszint felett a pannon medencekitöltő üledékekben

DARLINGE projekt

A különböző földtani és geotermikus modellfelületek kombinációjával lehetőség nyílt a geotermikus rezervoárok főbb típusainak lehatárolására és térbeli megjelenítésére is (Rotár-Szalkai et al., 2017). A Kárpát-medence területén tipikusan két fő rezervoártípust lehet elkülöníteni: a porózus medencekitöltő üledékeket (ezen belül is kiemelten a homokos összetételű felső-pannon képződményeket), illetve a repedezett, karsztosodott kőzeteket a medencealjzatban. A megfelelő határoló földtani modellszint és a különböző izotermatérképek elmezésével ezen két fő típuson (porózus és repedezett) belül további alkategóriák jelölhetőek ki a hőmérséklet szerint (például: 30–50 °C, 50–100 °C, 100–150 °C), ami egyben a lehetséges jövőbeli hasznosításokra is támpontot jelent (például alacsonyabb hőigényű egyedi épületfűtés vagy balneológiai hasznosítás, magasabb hőigényű geotermikus távfűtőrendszerek stb.). A DARLINGE projektben a rezervoárokra már valószínűségi számításokon alapuló (Monte-Carlo-módszerrel végzett) vagyonszámításokat is végeztünk, ahol a valószínűségi változókat a rezervoár főbb paraméterei (térfogat, porozitás, hőmérséklet) jelentették (6., 7. ábra).



6. ábra. A Dráva-medence kitermelhető hőmennyisége a különböző hőmérséklet-tartományú medencekitöltő porózus üledékekben nagy (P10), közepes (P50) és kis fokú bizonytalansággal (P90) végzett becslések alapján



7. ábra. A Makói-árok kitermelhető hőmennyisége a különböző hőmérséklet-tartományú medencekitöltő porózus üledékekben nagy (P10), közepes (P50) és kis fokú bizonytalansággal (P90) végzett becslések alapján

Ezen tudományos feladatok mellett a projekteknél a fenntartható energiagazdálkodást segítő különböző módszerek fejlesztése is rendszerint megtörtént. Egyik ilyen módszer az ún. *benchmark* értékelés (Prestor et al., 2015), amely egyedi termálkutak különböző jellemző adataiból számított független indikátorok (például: energiahatékonyság, a hasznosítás hatékonysága, visszasajtolás mértéke, túltermelés, monitoring stb.) elemzésén és összehasonlításán alapul. Emellett a DARLINGe projektben egy újszerű földtani kockázatértékelő rendszert is kiala-

kítottak, amely a különböző geotermikus projektek kutatási (fúrási), tesztelési és üzemelési fázisaiban a lehetséges földtani kockázati események (például: a célrezervoárt nem tárja fel a kutatófúrás, a feltárt fluidum hőmérséklete, hozama alacsonyabb az elvártnál, túlnyomásos zóna jelenléte stb.) azonosítására összpontosítva tesz javaslatot a kockázatok mérséklésére, lehetséges megelőzésére és azok ütemezésére. A DARLINGe projektben sor került az ENSZ által kidolgozott UNFC-2008-as osztályozási módszertan alkalmazására is, amely egységes megközelítést biztosít a világ bármely részén megvalósult, folyamatban lévő vagy tervezett geotermikus projektek összehasonlítására, elősegítve elsősorban a potenciális befektetők döntéshozatalát.

A projektek eredményeinek integrált értelmezése különböző stratégiák, ajánlások formájában történik (Nádor et al., 2012; Szöcs et al., 2018), míg az adatok interaktív webportálokon jelennek meg széles körű felhasználást biztosítva (URL1) mind a szakemberek, mind a döntéshozók részére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben hivatkozott projektek az alábbi támogatások segítségével valósulhattak meg: T-JAM: Szlovénia–Magyarország Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007–2013 (SI-HU-1-2-013), Transenergy: Közép-európai Program (2CE124P3/01), DARLINGe: Duna Transznacionális Program (DTP1-099-3.2). A bemutatott eredmények a pályázatok nemzetközi konzorciumai együttes munkájának gyümölcsei, a szerzők köszönetüket fejezik ki Szlovákia, Ausztria, Szlovénia, Horvátország és Bosznia-Hercegovina Földtani Szolgálatai, a Belgrádi Egyetem, valamint a Román Földtani Intézet e projektekben részt vevő munkatársaiknak.

IRODALOM

- Dövényi P. – Horváth F. (1988): A Review of Temperature, Thermal Conductivity, and Heat Flow Data from the Pannonian Basin. In: Royden, L. H. – Horváth F. (eds.): *The Pannonian Basin: a Study in Basin Evolution* 45. AAPG Memoir, 195–235. DOI: 10.1306/M45474C16
- Lenkey L. – Raáb D. – Goetzl, G. et al. (2017): Litospheric Scale 3D Thermal Model of the Alpine-Pannonian Transition Zone. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 52, 2, 161–182. DOI: 10.1007/s40328-017-0194-8, <http://real.mtak.hu/86566/>
- Nádor A. – Kujbus A. – Tóth A. N. (2016): *Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. Abstract*. European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, https://www.researchgate.net/publication/308596653_Geothermal_Energy_Use_Country_Update_for_Hungary
- Nádor A. – Lapanje, A. – Tóth G. et al. (2012): Transboundary Geothermal Resources of the Mura-Zala Basin: Joint Thermal Aquifer Management of Slovenia and Hungary. *Geologija*, 55, 2, 209–224. DOI: 10.5474/geologija.2012.013, https://www.researchgate.net/publication/308596653_Geothermal_Energy_Use_Country_Update_for_Hungary

- tion/258002001_Transboundary_geothermal_resources_of_the_Mura-Zala_basin_joint_thermal_aquifer_management_of_Slovenia_and_Hungary
- Prestor, J. – Szőcs T. – Rman, N. et al. (2015): Benchmarking – Indicators of Sustainability of Thermal Groundwater Management. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. IGA. Melbourne, Australia. 19–25. (April 2015), <https://www.geothermal-energy.org/explore/our-databases/conference-paper-database/>
- Rman, N. – Gál N. – Marcin, D. et al. (2015): Potentials of Transboundary Thermal Water Resources in the Western Part of the Pannonian Basin. *Geothermics*, 55, 88–98. DOI: 10.1016/j.geothermics.2015.01.013
- Rotár-Szalkai Á. – Nádor A. – Szőcs T. et al. (2017): Outline and Joint Characterization of Transboundary Geothermal Reservoirs at the Western Part of the Pannonian Basin. *Geothermics*, 70, 1–16. DOI: 10.1016/j.geothermics.2017.05.005, https://www.researchgate.net/publication/317600743_Outline_and_joint_characterization_of_Transboundary_geothermal_reservoirs_at_the_western_part_of_the_Pannonian_basin
- Szőcs T. – Rman, N. – Rotár-Szalkai Á. et al. (2018): The Upper Pannonian Thermal Aquifer: Cross Border Cooperation as an Essential Step to Transboundary Groundwater Management. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20, 128–144. DOI: 10.1016/j.ejrh.2018.02.004, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581817303658>
- Tóth Gy. – Rman, N. – Rotár-Szalkai Á. et al. (2016): Transboundary Fresh and Thermal Groundwater Flows in the West Part of the Pannonian Basin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 5, 439–454. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.021, https://www.academia.edu/34067737/Transboundary_fresh_and_thermal_groundwater_flows_in_the_west_part_of_the_Pannonian_Basin

URL1: <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>