

A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében

Motto: „Egy baja lévén, - gyógyvizének mennyisége ugyanis az igényeknek meg nem felelően, fel lettem még 1867-ben és újból a legutóbbi időben a nagyméltóságu vallás- és közoktatás miniszter úr által szólítva véleményi adni, mi módon lenne ezen bajnak orvoslása eszközölhető? Ismételve 1867-ben adott véleményemre hivatkozván, megbízattam az általam javaslatba hozott munkálatok keresztülvételével, melyekről a következőkben szólanı szerencsém leend.” (ZSIGMONDY 1874)

SZANYI János¹, NÁDOR Annamária², MADARÁSZ Tamás³

¹Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, szanyi@iif.u-szeged.hu

²Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, nador.annamaria@mbfsz.gov.hu

³Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgmt@uni-miskolc.hu

150 years of geothermal energy research and utilization in Hungary

Abstract

The present paper discusses the main results of the Hungarian geothermal research and its milestones from the middle of 19th century. Tribute is paid to the esteemed pioneers, and then the discussion is divided into three major periods after the pioneering times:

1.) The pioneering times – This is the longest period of those considered here. It ranges from the first drilling of thermal exploration boreholes by Zsigmondy in the 1870s, through to the expansion of therapeutic and spa-wellness tourism and the widespread agricultural utilisation of geothermal energy up into the 1990s. In this era excellent Hungarian researchers and engineers were far ahead of the international trends and established the international reputation of the Hungarian geothermal sector. In this "period of ascent" some of the achievements included (i) the establishment of well-known and still used water-analytical methods (e.g. "Than" equivalent percentage) (ii) the first international balneological congress was organised (Budapest, 1936) (iii) a vast majority of the famous Hungarian medicinal and thermal water resources were explored and (iv) the major thermal groundwater flow systems (both in karstic and basinal areas) were recognized. The discovery of a rapidly growing number of thermal-water wells was partly due to intensive hydrocarbon exploration (transformation of barren hydrocarbon wells). This process led to the development of some famous "thermal water centres", such as that at Szentes. The latter is still internationally recognized as a casebook example of the direct use of geothermal energy.

2.) The Recent Past – This period includes the initial steps after the change of the political regime in Hungary (1989-1990) and it includes mainly spa developments (spa tourism doubled during this period) and the expanding use of geothermal energy in district heating systems. Notable advances include the Hódmezővásárhely cascade system. This has been in operation since 1994 and has an 18 MWth capacity. More progress is represented by the establishment of two major geothermal district heating projects in Miskolc (capacity: 55 MWth) and Győr (capacity: 52 MWth), both of which target the basement carbonate reservoirs. With the growing number and capacity of district- and space heating projects, the question of reinjection became the focal point of research, especially into porous aquifers. A major step in deep geothermal exploration and exploitation was the introduction of the "concession system" in 2012. This system accelerated projects targeting combined heat and power production. Nevertheless, the first geothermal power plant in the Pannonian Basin was commissioned only in 2018. This is the small-scale (2.3 MWe) ORC plant in Tura, which has a target reservoir shallower than the -2500m concessional limit. All in all, this period is still considered to demonstrate the climax of geothermal developments in Hungary; after it, Hungary ceased to be the main promoter of progress on a European scale.

3.) Contemporary projects – The current situation in geothermal energy exploration and utilisation is represented by recently finished projects, or ongoing national and international ones in which Hungarian universities, research institutes and companies are involved. Furthermore, the central geographical position of Hungary within the Pannonian basin means it is of vital relevance in the exploration of transboundary geothermal energy resources. This is shown by the fact that several projects involving neighbouring countries have established joint databases, assessments and recommendations for the enhanced use of the rich geothermal assets in the Central European region. Frontier concepts and methods of combined heat, power and metal extraction have also been studied in international consortia. The pilot results of such consultation provide a firm basis for technological upscaling in the near future.

4.) Research priorities and frontiers – The latest research results have been introduced in the context of domestic and international research priorities. Some highly innovative projects address operational issues and, among others items, study various aspects of scaling which are strongly related to increasing the efficiency of reinjection into porous aquifers. Novel well-technologies, such as the use of lasers in enhancing permeabilities, have also been introduced. With regard to the future growth of the Hungarian geothermal sector, the present research period also highlights the still untapped potential. This is especially true with respect to direct use, where the current utilization is at least one magnitude below

the sustainable use of the available geothermal resources. Current research also draws attention to one of the major bottlenecks connected to the geological risk and its mitigation: here, the gathering of knowledge with respect to the subsurface, and the systematic collection, assessment and publication of geoscientific data are key issues.

Taking the whole work into consideration, the delineation of single chapters is not sharply defined and they should be seen as thematic in nature. During the discussion, reference is made to geological, hydrogeological, geochemical and geophysical connections. However, these contexts are not elaborated in full but are discussed in separate papers of the commemorative issue of the "Földtani Közlöny".

Keywords: geothermal energy, research, utilization

Összefoglalás

Jelen tanulmányban a 150 évvel ezelőtt Zsigmondy Vilmosmal induló magyarországi geotermikus kutatások legfőbb eredményeit, illetve a hazai geotermikus szektor fejlődésének főbb lépéseit vázoljuk fel, megemlékezve a jeles elődökről. A tartalmi részt 4 időszakra osztottuk:

1.) A hőskor. A 19. sz. közepétől tart a rendszerváltásig. A leghosszabb időszakot fogja át, az első fúrásos hévízfeltárásoktól, a gyógy- és fürdőturizmus kiteljesedésén át a geotermikus energia mezőgazdasági hasznosításának elterjedéséig. Az az időszak, amikor a földtudomány kiváló hazai szakemberei, a nemzetközi trendek előtt járva, lehetővé tették a geotermikus energia széles körű hasznosítását, megalapozták a magyar geotermika nemzetközi elismerését. Ezt a felívelés korszakának tekintjük, ezért egyben tárgyaljuk.

2.) A közelmúlt. A rendszerváltást követő kezdeti lépések, melyek főleg fürdőfejlesztéseket és a geotermikus energia távhő célú fejlesztését jelentették. Ezek közül is kiemelkedik a hőmezővászárhelyi, miskolci és győri geotermikus távhőrendszer. A hőmezővászárhelyi rendszer a komplex kaszkád hasznosítással és a homokkőbe történő sikeres és fenntartható visszasajtolási technológia alkalmazásával volt úttörő, míg a két utóbbi az 50 MW_{th}-ot meghaladó beépített kapacitásával mutatott európai szinten is elismert példát. Ezen időszakban, a termálfürdő-fejlesztéseknek és új fürdők nyitásának köszönhetően, a termálturizmus megduplázódott. Ez már a zenit korszaka, 2003-ban még Európai Geotermikus Kongresszust rendeztek Szegeden, de már nem Magyarország volt Európában a fejlődés motorja.

3.) A jelen projektek. Az éppen befejezett vagy még futó jelentősebb geotermikus projekteken keresztül bemutatjuk a geotermikusenergia-hasznosítás jelenlegi magyarországi állapotát. Európai uniós csatlakozásunknak köszönhetően megnyílt a nemzetközi kutatási projekteken való részvétel lehetősége. Különösen a hazai egyetemek és kutatóhelyek – de civil szervezetek is – csatlakozhattak az európai geotermikus kutatások főáramához. Az európai uniós források lehetővé tették a határon átnyúló kutatási projektek indítását, ennek köszönhetően a Kárpát-medence geotermikus viszonyait egységes szerkezetben, politikai határok nélkül lehet kutatni.

4.) A futó kutatások, jövőkép. Ismertetjük a hazai és a nemzetközi kutatásokhoz kapcsolódó legújabb eredményeket, és felvázoljuk a jövőbeni kutatási irányokat, lehetséges helyünket a nemzetközi geotermikus piacon. Bemutatjuk, hogy – alkalmas szakpolitikával, a geotermikus adottságaink ismeretében – milyen mértéket érhet el a geotermikus energia hasznosítása Magyarországon a közeli jövőben.

Az egyes időszakok határai nem élesek, inkább tematikusak, így egy adott időszakban olykor későbbi tanulmányt is megemlítünk. Tárgyalásuk során röviden utalunk a földtani, hidrogeológiai, geokémiai és geofizikai kapcsolódási pontokra, de ezeket részletesen nem tárgyaljuk, a Földtani Közlöny aktuális ünnepi és rákövetkező évfolyamában erről önálló tanulmányokat olvashatnak.

Tárgyszavak: geotermikus energia, kutatás, hasznosítás

Bevezetés

Az elmúlt évszázadokban voltak boldog idők – mint a fenti esetben – mikor miniszterek karolták fel a hévízhasznosítás ügyét, és volt mikor börtön járt a nagy volumenű geotermikus fejlesztésekért, mint a Szentesi Termál Tsz elnökének 1972-ben (FÖLDEÁKI 1972).

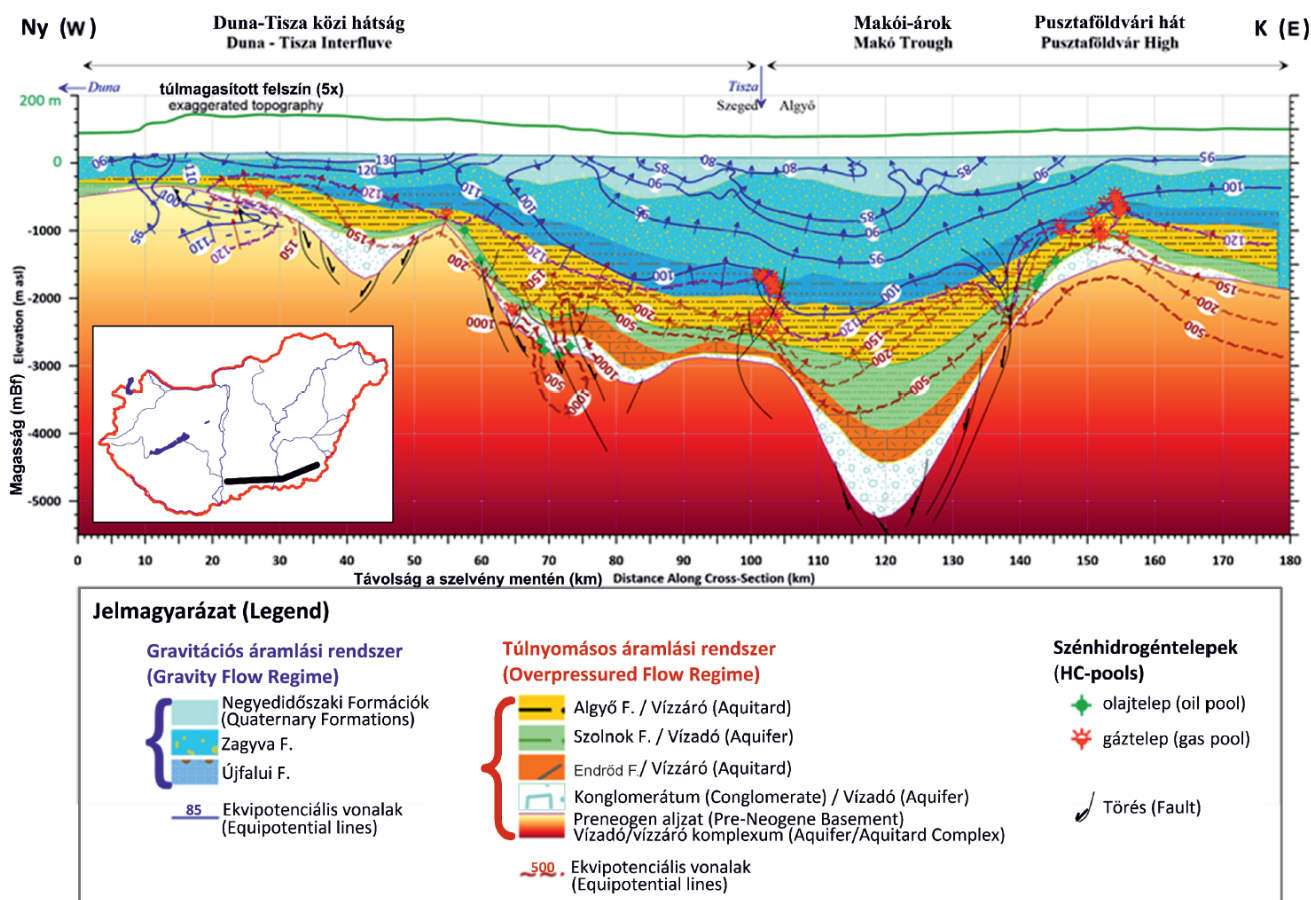
A Kárpát-medence több évezrede gyógy- és termálvizekben gazdag területként ismert. A Római Birodalom, a török hódoltság időszaka mind felívelő szakasza volt a termálvíz hasznosításának. Ezt követően a fürdő kultúra háttérbe szorult, a gyógyvizek használata néhány főúr előjoga volt csupán. Ezekben az időszakokban jellemzően a felszínre szökő források hasznosítására volt lehetőség. A kiegyezés korában ZSIGMONDY Vilmos és unokaöccse, ZSIGMONDY Béla által továbbfejlesztett fúrastechnológia alkalmazása tette lehetővé a nagyobb mélységű, akár 1000 m mélyről történő termálvíz termelését, a fürdő kultúra szélesebb körű elterjedését (ZSIGMONDY 1871). A társtudományoknak is köszönhetően a 20. században a geotermikusenergia-kutatás és

-hasznosítás mintacsatornává váltunk Európában, elsősorban a hőhasznosítás terén. Bár átfogó képet kívánunk festeni, jelen tanulmány keretei nem teszik lehetővé, hogy súlyának megfelelően szóljunk a geotermikus energia hasznosítását lehetővé tevő, földtani, szerkezetföldtani, geofizikai, hidrogeológia, geokémiai és a geotermiához ezer ágon kapcsolódó szénhidrogén-kutatási – kőolajföldtani meghatározó tudományos eredményekről. Azonban a Földtani Közlöny ünnepi évadának cikkei ezekben a témákban is tájékoztató lehetőséget biztosítanak az érdeklődő olvasónak. Továbbá nem célunk Magyarország és tágabb térsége, a Kárpát-medence geotermikus adottságainak átfogó ismertetése – az utóbbi évtizedekben számos kiváló publikáció született e témában (KORIM 1972, DÖVÉNYI & HORVÁTH 1988, DÖVÉNYI et al. 2002, LENKEY et al. 2002, SZANYI & KOVÁCS 2010, HORVÁTH et al. 2015, NÁDOR 2019, LENKEY et al. 2021) –, ezért csak röviden szólunk róla.

A Pannon-medence középső miocénben történő megnyílása során a húzóerők hatására Magyarországon a földkéreg, az egész litoszféra jelentősen vékonyabb, mint általában a

kontinensek alatt, a kéreg átlagosan 22–30 km, míg a litoszféra 50–80 km vastag (HORVÁTH & BADA 2006). Ezért a litoszféra alatti lassú áramlásban lévő, hőt szállító asztenoszféra közelebb van a felszínhez, mint a Föld más pontjain (az aktív vulkáni területektől eltekintve). Magyarországon a geotermikus gradiens értéke átlagosan 5 °C/100 m, ami mintegy másfélszerese a világtávnak. A mért hőáramértékek is nagyok: 2001 db 1 km-nél mélyebb fúrásban meghatározott mérés átlaga 90 mW/m², a maximális értékek (120–140 mW/m²) az ország D-i részén találhatóak, míg a minimális értékek (20–40 mW/m²) a karsztvíz-beszivárgási területeken fordulnak elő (LENKEY et al. 2021), miközben az európai kontinens nagy részén 60 mW/m² az átlagérték (DÖVÉNYI & HORVÁTH 1988). A felszínen kb. 10 °C a középhőmérséklet, s az említett geotermikus gradiens mellett 1 km mélységben átlagosan 60 °C, 2 km mélységben pedig 110 °C a kőzetek és a pórusaikban tárolt víz hőmérséklete. Az ismert, jó vízvezető képződmények legnagyobb mélysége eléri a 2,5 km-t. Itt a hőmérséklet már a 130–150 °C is lehet (SZANYI et al. 2009, LENKEY et al. 2021). A hévízkutakban felfelé haladó víz azonban lehűl, ezért a felszínen a vízhőmérséklet ritkán haladja meg a 100 °C-t. A felszín alatti hőmérsékletet – a hőáramhoz hasonlóan – nagyban befolyásolják a felszín alatti vízáramlások, a negyedidőszaki és neogén porózus vízadókban főként a felső 1–1,5 km-es mélységben, ugyanakkor a

karsztosodott karbonátos medencealjzatban ez akár több km-es mélységben is számottevő lehet. Gőzelőfordulásokat csak néhány, kellően még nem megkutatott, nagy mélységű előfordulásból ismerünk. Magyarország kiváló geotermikus adottsága tehát alapvetően két tényezőnek köszönhető. Az egyik a világtávnál mintegy másfélszeresen meghaladó, felszín felé áramló nagy hőfluxus, a másik a jó vízadó képződmények jelenléte. Ezek az Alföldön, a Kisalföldön és a Dráva-medencében elsősorban pannóniai korú sekélyvízi homokkővek, az ország más részein pedig a prekainozoos medencealjzat repedezett, olykor karsztosodott, többnyire mezozoikumi karbonátos képződményei. A Pannon-medencében két fő hidraulikus áramlási rendszer létezik, a felső hidrosztatikus és az alsó túlnyomásos rendszer (1. ábra). A Pannon-medence hévíztermeléssel leginkább érintett felső áramlási zónájában a felszín alatti vizek mozgása alapvetően a gravitáció által meghatározott (ERDÉLYI 1979, MARTON 1982, ALMÁSI 2001, TÓTH & ALMÁSI 2001, MÁDL-SZÓNYI & TÓTH 2015). A medence morfológiája biztosítja a mély áramlási rendszerek létezéséhez szükséges potenciális energiát. A medence méretű áramlási rendszerek koncepciója szerint (TÓTH 1963) már nemcsak a homok- vagy kavicsrétegek, hanem az őket közbezáró, eddig vízzárónak tekintett rétegek is közegei az áramlásnak. Az 500 mm-körüli évi csapadék és a jó vízvezető porózus kőzetek nagy felszíni elterje-



1. ábra. Sematikus hidrostratigráfiai szelvény az Alföld déli részén keresztül, a szelvény helyének feltüntetésével (ALMÁSI & SZANYI 2021 alapján)

Figure 1. Schematic hydrostratigraphic profile across the Great Hungarian Plain with location of the section (modified after ALMÁSI & SZANYI 2021).

dése fenn tudja tartani a mély áramlási rendszereket és ezek mentén a vizek forgalmát. Ebből következően a kitermelt termálfvíz döntően az üledék koránál fiatalabb, meteorikus eredetű víz. A hierarchikus áramlási rendszerek léte a Pannon-medencében azt jelenti, hogy az Alföld hajdani mocsarassága, mostani szikessége, feltörő belvizei, aszályos dombhátai, mélyből felszökő artézi vizei, jellegzetes növényei, geotermikus hőkincse, olaj- és gázmezői mind összefüggésben vannak egymással. (ALMÁSI & SZANYI 2021)

Végül meg kell jegyeznünk, bár szólunk a hőszivattyúk alkalmazásával kapcsolatos kutatásokról, cikkünk elsősorban a mélygeotermikus kutatásokra és hasznosítások bemutatására koncentrálnak.

A hőskor

A hazai tudományos mélységi vízkutatás kezdetét ZSIGMONDY Vilmos tevékenységétől számítjuk, melyet az 1865-ben megjelent „Bányatan, kiváló tekintettel a kőszénbányászatra” c. műve vezetett be. Ebben a szénkutatás mellett a mű utolsó fejezetében nagy részletességgel számol be a fúrás kutatáshoz használt eszközökről „A kutatás, fúrászat, s az artézi kutak” címmel (ZSIGMONDY 1865). Első hévízkútjait Harkányban, a Margit-szigeten, majd 1868 és 1878 között a Városligetben mélyítette. Utóbbi helyen 970 m-es talpmélységű, 74 °C-os vizet szolgáltatató kútjával érte el a felső triász vízadót (ZSIGMONDY 1879). A Városligeti kút a létesítéskor Európa második legmélyebb kútjának számított, és közel 150 év után is üzemképes.

A sikeres hévíztermelés az analitikai kémia felé fordította a figyelmet, melynek klasszikus területe az ásványvízvizsgálat volt. Ennek a tudományterületnek vált nemzetközi hírnév kutatójává THAN Károly kémikus, egyetemi tanár, aki az ásvány- és gyógyvizek kémiai alkotóit már nem sókban, hanem ionokban adta meg. Módszerével nemcsak a víz jellege, hanem több ásványvíz összehasonlítása is elvégezhető volt (SZANYI et al. 2013). Kutatási eredményeiről 1864-ben Marosvásárhelyen, a Magyar Orvosok és Természetvizsgálók vándorgyűlésén tartott előadást, mely csak 1890-ben jelent meg nyomtatásban (THAN 1890). A harkányi I. sz. kút vize kémiai összetételének vizsgálatakor elsőként mutatta ki a „szénoksi-szulfidot”. Munkássága nyomán azóta is használjuk a Than-féle egyenérték százalékot a vegyelemzések értékelésénél, mely megadja, hogy egy meghatározott alkotórészből, oldott állapotban, egy liter víz mennyi mg egyenértékűt tartalmaz (DOBOS et al. 2013).

Az 1869-ben megalapított Magyar Királyi Földtani Intézet és az 1907-ben megalakult, később EÖTVÖS Lorándról elnevezett Geofizikai Intézet kutatói, így EÖTVÖS Loránd, LÓCZY Lajos, SCHAFARZIK Ferenc, SÜMEGHY József és PÁVAI-VAJNA Ferenc munkásságának volt köszönhető, hogy 1936-ban Budapesten rendezték meg az első nemzetközi Balneológiai Kongresszust. Közülük PÁVAI-VAJNA Ferencnek több jelentős gyógy- és hévízünk, például Hajdúszoboszló, Karcag, Debrecen és Szolnok feltárását köszönhetjük. Ebben az időszakban hazánk kulcsszerepet játszott a gyógy-

vizekkel kapcsolatos tudományos kutatásokban. 1937-ben Budapesten magyar kezdeményezésre megalakult a „Fédération Internationale de Stations Balnéaires, Climatiques et Maritimes”, amely a későbbi Fédération Internationale du Thermalisme et du Climatisme (Termál és Klíma Hasznosítás Nemzetközi Szövetsége) jogelődje. A szervezet székhelyül Budapestet választották, elnöke és főtitkára is magyar volt (<https://people.inf.elte.hu/madtaai/tortenet.html>).

A budapesti termálkarszt forrásait elsőként VENDL Aladár rendszerezte, megfigyelésüket PAPP Ferenc folytatta és KESSLER Hubert a Vízügyi Tudományos Kutató Intézet (VI-TUKI) munkatársaként teljesítette ki (KESSLER 1956), aki Siklós–Harkány, Tata és Hévíz térségében is létesített termálkarsztvízszint észlelő fúrásokat (LORBERER 2004). A budapesti termálkarszt áramlási rendszereinek értelmezését ALFÖLDI László vezetésével mások mellett LIEBE Pál és LORBERER Árpád végezték a termális konvekció felismerésével („karélyos áramlás”) (ALFÖLDI 1965, 1981).

A bükki termálkarszt fúrásokkal való feltárása 1870-ben kezdődött meg Egerben, és a mai napig is tart csaknem a teljes Bükk-térségben, bár a hegység peremi része a langyos és meleg vizű források miatt már évszázadok óta ismert volt (DOMBI 1766). Felhasználásuk alapvetően fürdősi céllal történt, de a gyógyászat és a rekreáció is megjelent célként, mint például Eger, Kács(tapolca), Miskolctapolca (egykor Görömbölytapolca vagy Tapolcafürdő), Diósgyőr(tapolca). (A tapolca szó egyébként a délszláv toplice szóból ered, jelentése meleg víz.) Egerben 1926-ban létesítettek új kutat, Bükkszázken (1938) és Mezőkövesden (1939) meddő szénhidrogén-kutató fúrások hoztak termálkarsztvizet a felszínre. A II. világháború után Miskolcon (1953), Bogácson (1959), Sajóhídvégen és Egerszalókon (1961), majd Andornaktályán (1962, 2008, 2017) mélyítettek termálkarsztkutakat, esetenként többet is az adott területen az idő múlásával (LÉNÁRT 2019).

A zalai termálkarszt megismerése szorosan összefüggött a térségben zajló, az 1920-as években indult szénhidrogén-kutatással (KÖRÖSSY 1988, KOVÁCS 2018), a nemzetközileg is népszerű zalai gyógy- és termálfürdők (Zalakaros, Zalaegerszeg, Zalaszentgót, Kehidakustány) kiépülésével, illetve a Hévízi-tó és a Dunántúli-középhegység bányászati karsztvízszint süllyedése kapcsolatának vizsgálatával (ALFÖLDI & KAPOLYI 2007, TÓTH 2017).

Az Alföld hévíztároló rendszerei utánpótlódási mechanizmusának komplex szemléletű vizsgálatát ERDÉLYI Mihálynak köszönhetjük, aki a Tóth-féle egység-medence koncepciót felhasználva (TÓTH 1963) igazolta az egyes vízadók közötti hidraulikai kapcsolatot (ERDÉLYI 1979, 1985).

A hévíz komplex hasznosítása első helyszínének Hajdúszoboszlót tekintjük, ahol 1925-ben egy 1019 m mély, meddő szénhidrogén-kutatófúrás 70 °C hőmérsékletű hévizet tárt fel. Ezt nemcsak a gyógyfürdőben hasznosították, hanem palackozták, továbbá üvegházak fűtésére, míg a kitermelt gázt vasúti kocsik világítására és áramfejlesztésre is használták. A II. világháborút követően BOLDIZSÁR Tibornak, a Miskolci Egyetem professzorának köszönhetően a magyarországi geotermikus kutatások ismét a nemzetközi érdeklődés homlokterébe kerültek. Munkássága eredmé-

nye, hogy a geotermika tudománya a felsőfokú oktatás részévé vált (BOLDIZSÁR & GÓZON 1965), illetve az ő nevéhez fűződik Magyarország első hőáramsűrűség térképének az elkészítése is (BOLDIZSÁR 1967). Ebben az időben a termálkutak létesítése jórészt a szénhidrogén-kutatáshoz kapcsolódott. Többnyire a szénhidrogénre meddő, de megfelelő hőfokú termálvizet szolgáltató, településekhez közeli kutatófúrásokat képezték ki termálkúttá. Az első kaszkád jellegű hasznosítást (több lépcsőben, különböző hőhasznosítási módokat egymás után kapcsolnak a kinyerhető hőmennyiség maximalizálása érdekében) a szentesi kórházban az 1958-ban mélyített 1736 m mély, 1700 l/min 79 °C hőmérsékletű hévízzel valósították meg. Kezdetben kommunális fűtésre, használati meleg víz előállításra, balneológiai hasznosításra, majd később a mezőgazdaságban üvegházak fűtésére is sor került (SZANYI et al. 2013). Szentes térsége aztán a geotermikus energia agrárhasznosításának központjává vált. Mára mintegy 40 üzemelő termálkút van a város 10 km-es sugarú körzetében, mind pannóniai sekélyvízi deltaeredetű homokkövekre szűrőzve.

Az előbb leírt folyamat fordítottja játszódott le Tápén 1965-ben. A helyi termelőszövetkezet hévízellátására DOBOS Irma tűzte ki a kút helyét, de víz helyett olajat találtak. Annak ellenére, hogy a térségben a szénhidrogén-kutatás már folyamatban volt, ez volt az első produktív kút az algói szénhidrogénmezőben. A sors fintora, hogy míg a jeles elődökről, akik olaj helyett termálvizet találtak, számos településen szoborral emlékeztek meg, addig a víz helyett olajat fakasztó nevét még tábla sem őrzi...

A fúrások gyarapodó számát látva a második világháborút követően VITÁLIS Sándor indította el a mélyfúrású kutak nyilvántartásba vételét, amit KORIM Kálmán folytatott és URBANCSEK János teljesített ki a hévízkútkataszterrel (BÉLTEKY et al. 1965, 1971, 1977). Az első korszerű, számítógépes adatbázis létrehozása DÖVÉNYI Péter nevéhez fűződik, aki gyakorlati elemző munkájával nagyban segítette Magyarország geotermikus viszonyainak megismerését (DÖVÉNYI & HORVÁTH 1988, DÖVÉNYI 1994). Az azóta is fejlődő adatbázis párját ritkító, óriási kincs, alapját képezi a fenntartható geotermikus energiahasznosítás fejlesztésének. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat – a 2014-ben megszüntetett VITUKI adattárát is átvéve – 2017 óta üzemelteti a központi vízföldtani adattárát, illetve vezeti az országos hévízkútkatasztert (<https://mbfsz.gov.hu/vizfoldtani-adattar>).

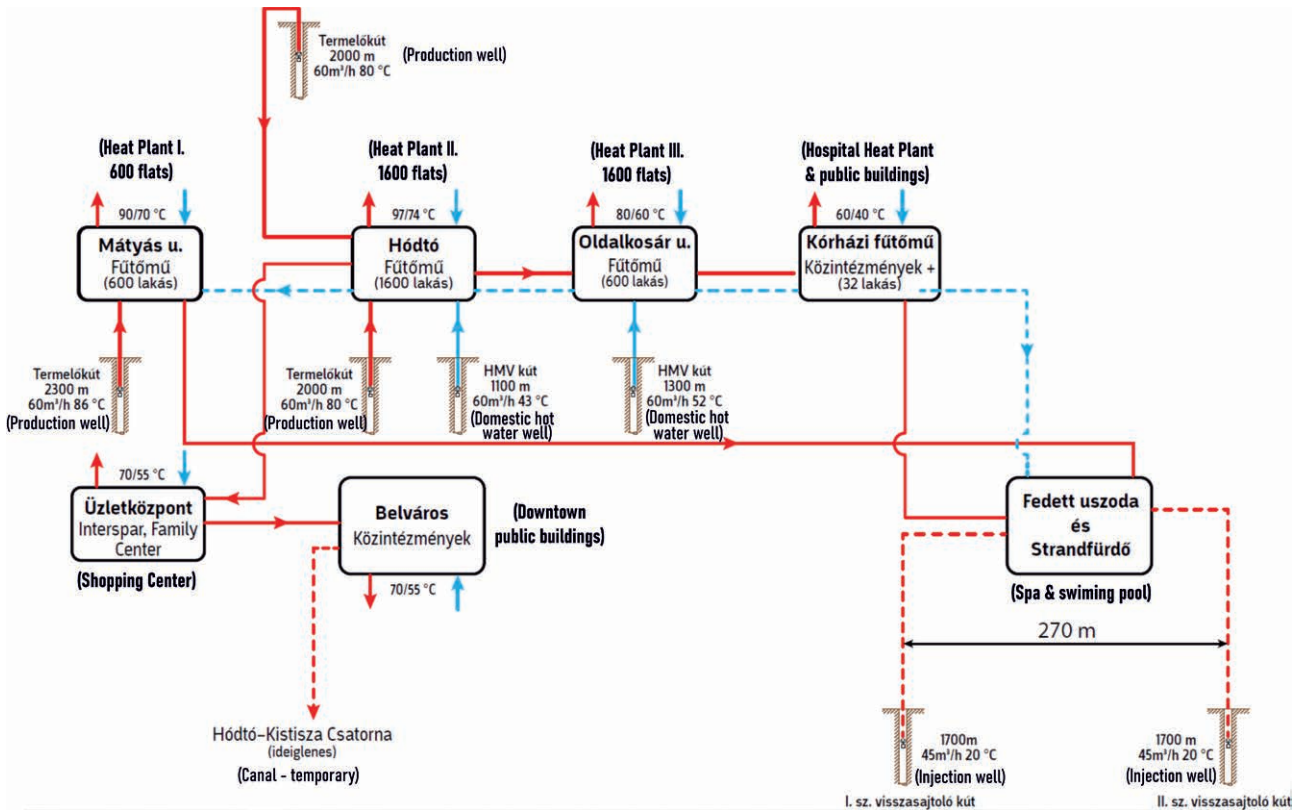
Fontos megemlíteni a sekély geotermiához kapcsolódó hőszivattyús hasznosításokat, ezek alapja a HELLER László által 1948-ban kidolgozott kompresszoros hőszivattyú technológia. Érdekesség, hogy HELLER László egyetemi tanulmányait Svájcban, az ETH-Zürich-en végezte, mint RYBACH László 1956-ot követően, aki az 1970-es években elsők között végzett számításokat a geotermikus energia hőszivattyús hasznosíthatóságáról, és szerkesztette STEGENA Lajossal a geotermikus energia különböző hasznosítási módjait tárgyaló nemzetközi tanulmányt (RYBACH & STEGENA 1979). RYBACH professzor élete ezt követően összefonódott a geotermikával, kutatási területe az alacsony hőmérsékletű hasznosítástól az áramtermelésig a teljes spektrumot átfogja

(RYBACH 2019). Szakmai elismertsége a Nemzetközi Geotermikus Szövetség (International Geothermal Association) elnökévé emelte.

A közelmúlt

A geotermia-szektor rendszerváltást követő leglátványosabb növekedését a gyógy- és termálfürdők fejlesztése, új fürdők létesítése eredményezte. A fejlődés ütemét a mórakalmi fürdő fejlődésén keresztül mutatjuk be, amely jól példázza a növekedést. Az 1960-ban a községi tanács által pannóniai sekélyvízi, deltaeredetű homokkő-rezervoárba fúratott 660 m mélységű, 39,5 °C-os vizet szolgáltató kút kezdetben egy gyógymedencével és gyermekpancsolóval rendelkezett. A tervszerű fejlesztések 1999-ben kezdődtek meg a főépület átépítésével, új beltéri medencék létesítésével. A fürdőt 2006-ban regionális jelentőségű gyógyfürdővé minősítették. 2010-ben 3000 m²-es fedett gyermekfürdőt, wellness részleget és kistérségi egészségügyi ellátóhelyet hoztak létre. Ekkor már 1 kút helyett 4 termálkút szolgáltatja a vizet, és komplex módon fűtési célra is hasznosították a termálhőt. Az utolsó nagy fejlesztés során az elfolyó termálvíz hőjét hőszivattyúval hasznosították a fürdő és a város középületeinek fűtésére és használati meleg víz biztosítására. A medencék száma 21-re nőtt. Az alig 6 ezer fős településen a 2000-ban nyilvántartott 30 ezres éves látogatószám 2011-re 40 ezer fölé emelkedett (KIS & FÖRGETEG 2017). Mára más megújuló energiaforrásokot is kombináló, integrált távhőrendszer épült ki, ahol az 1100–1300 m közötti mélységből származó 62–69 °C-os víz hasznosítás után részlegesen visszasajtolásra kerül (SZANYI et al. 2013). A jelentős fejlesztéseknek köszönhetően ma Magyarországon 162 termálfürdővel rendelkezünk, ez a szám 2010-ben 104 volt. A termálfürdők éves látogatószáma mára 30 millió körüli (KSH 2010).

A fűtési célú közvetlen hőhasznosítás tekintetében Magyarország hosszú évek óta Európa élmezőnyében van (Franciaország, Németország és Izland mögött a 4. helyen) (EGEC 2017, 2018, 2019), köszönhetően a geotermikus táv- és városfűtési rendszereknek (ez utóbbi esetben külön az e célból kiépített termálvízvezeték köti össze a fűtési körbe bekapcsolt középületeket). A rendszerek közül a legrégebbi az 1958-ban átadott szentesi rendszer. Az 1990-es évek végétől, de különösen a 2000-es évek elején egymás után épültek az újabb geotermikus fűtési rendszerek, ezek közül is példaértékű az 1994 óta üzemelő, jelenleg 18 MW_{th} kapacitású hódmezővásárhelyi geotermikus távfűtési rendszer (KURUNCZI 2008, ÁDOK 2012). *(Termálkutak esetében beszélhetünk termikus, azaz hőteljesítményről és elektromos teljesítményről, előbbi esetben a mértékegységet jelölő megawatt jel után alsó indexként „th”, míg elektromos teljesítmény esetén „e” indexet használunk. Mivel a hőenergia elektromos árammá csak nagy veszteséggel alakítható, így az adott kút elektromos teljesítménye mindig lényegesen kisebb, mint a hőteljesítménye).* A szentesi rendszerhez hasonlóan ez is a pannóniai sekélyvízi, deltaeredetű homokkővet szűrőzi 3 db 1800–2300 m közötti, 80–86 °C-os termelő



2. ábra. A hódmezővásárhelyi távhőrendszer elemei (SZANYI et al. 2013)

Figure 2. The geothermal system of Hódmezővásárhely (SZANYI et al. 2013)

és 2 db visszacsajtoló kúttal, míg a használati meleg vizet 2 sekélyebb, 1000–1300 m között megnyitott, 43–52 °C-os vizet adó kút szolgáltatja. A pannóniai sekélyvízi homokkőre települt rendszerek közül ez az első, ahol kaszkád hasznosítást követően (2. ábra) sikeresen sajtolták vissza a lefűtött termálvizet kutanként átlagosan 40 m³/órás ütemmel, a visszacsajtolás kulcsa a felszíni szűrőrendszer (SZANYI et al. 2013).

A pannóniai porózus homokkőre telepített rendszerek mellett nagy szerepe van a mezozoos karbonátos rezervoárokat megcsapoló geotermikus fűtési rendszereknek, így például a folyamatosan bővülő, 1993-ban átadott veresegyházi rendszernek, mely a fejlesztéseket követően 3 termelő és 1 visszacsajtoló kúttal üzemel 12,1 MW_{th} hőteljesítménnyel (SZITA 2014, SZÓKE 2016). A geotermiával üzemelő, jelenleg legnagyobb miskolci távhőrendszert 2013-ban adták át, beépített kapacitása 55 MW_{th}. A rendszer 2 termelő és 3 visszacsajtoló kúttal az 1500–2300 m mélységben található triász karbonátos rezervoárból származó 87–102 °C-os termálvízzel fűti az avasi lakótelepet, valamint biztosítja a miskolci belváros és a Miskolci Egyetem fűtési és használati meleg víz hőigényének egy részét. Hasonlóan nagyszabású geotermikus fűtési projekt a 2015-ben átadott 3 db termelő és 2 db visszacsajtoló kútból álló 52 MW_{th}-os győri rendszer, amely ugyancsak repedezett-karsztos triász rezervoárból, 2500 m körüli mélységből, 100 °C-ot meghaladó hőmérsékletű, 300–400 m³/óra hozamú forró vizet tár fel a városi távfűtés, illetve egy jelentős ipari felhasználó számára. A miskolci és győri két rendszer együtt közel felé teszi ki az ösz-

szes hazai távfűtési célú geotermikus energiatermelésnek (NÁDOR et al. 2019a).

Emellett egyre több helyen – ahol a termálvizet fürdési / gyógyászati célra használták – kezdték meg a kitermelt víz hőenergiáját a fürdőépületek vagy a közvetlenül csatlakozó épületkomplexumok fűtésére is felhasználni. Az ilyen egyedi épületfűtés hozzávetőleges becslések szerint jelenleg több mint 40 településen érhető el, és 77,2 MW_{th} beépített kapacitást és 83,1 GWh_{th} éves termelést jelent. 2018 végén a geotermikus távfűtés 22 településen volt elérhető, amelyek összesen kb. 223,36 MW_{th} beépített kapacitást és 635,66 GWh_{th} (2,3 PJ) éves termelést jelentettek (NÁDOR et al. 2019a).

A geotermikus fűtés kapcsán külön kell szólnunk a használt termálvizek visszacsajtolásáról. A termálvíz visszacsajtolása alapvetően két ok miatt szükséges: a rétegyomáscsökkenés ellensúlyozására, illetve a felszíni befogadók szennyeződésének elkerülésére. A visszacsajtolás iránti igény már a geotermikus rezervoárok hasznosítása előtt megszületett. Az olajiparban a pannóniai korú homokkőbe közel 50 éve sajtoltak vissza vizet a másodlagos szénhidrogéntermelés érdekében igen magas, olykor 100 bar-t meghaladó nyomáson. Ez a technológia a termálvizek esetében roppant gazdaságtalan és hosszú távon nem fenntartható (SZANYI et al. 2013). Az OKGT a Nagyalföldi Kőolajfeltáró üzemben 1978-ban 3 meddő szénhidrogénkutat perforálással hévízkúttá képezett ki, és a kutakon visszacsajtolási kísérletet végzett. A tesztvizsgálatok szerint 3 hónap üzemelés után a visszacsajtoló kút nyelőképessége jelentősen lecsökkent, amit

döntő részben a kút homokkal való feltöltődése okozott, de a csökkenésben szerepe volt a pórustorkok lebegőanyaggal való eltömődésének is (MEGYERY 1974). Ezt követően többféle kísérlet zajlott, például kettős kiképzésű termelő-visszasajtoló kúttal Szentesen (középső cső termel, mellette a gyűrűs térben, a termelt réteg feletti rétegbe visszasajtol), azonban a kezdeti visszasajtolási kísérletek sikertelennek bizonyultak. Az első gazdaságosan működő visszasajtoló kút 1998-ban épült meg Hódmezővásárhelyen. Azóta ebbe a kútba több mint 2,6 millió m³ vizet sajtoltak vissza 2–5 bar nyomáson (SZANYI et al. 2013). Mivel a fenntartható geotermikus energia termelése csak visszasajtolással lehetséges, számos kutatás folyik e-tárgyban, melyről az utolsó fejezetben szólunk.

Ezen időszak projektjei zömmel privát vállalkozások tervei alapján készültek, melyek jelentős részben az elődök által felhalmozott adatokra és információkra épültek. Ebben a folyamatban fontos szerepet játszott a két geotermikus szakmai szervezet, a Magyar Geotermális Egyesület és a Magyar Termálenergia Társaság, melyek a projektgeneráláson túl a befektetők – zömmel önkormányzatok – és a hatóságok között közvetítő szerepet is játszottak. Új szint hozott a Szegedi Tudományegyetem spin-off cégeként induló szervezet (*olyan új, magas technológiai szintű, tudásintenzív vállalkozást értünk rajta, amely szellemi tőkét valamilyen formában egy egyetemről, vagy más közfinanszírozású kutatóintézetből eredeztetni*), ahol a kutatás közvetlenül összekapcsolódott a projekttervezéssel, és a Dél-alföldi régió számos településén tervezték meg a visszasajtolással üzemelő geotermikus távhőrendszereket (SZANYI et al. 2013). Ennek legjobb példája a Szegedi Tudományegyetem 2015-ben létesített újszegedi- és belvárosi termálrendszere 1–1 termelő és 2–2 víz-szasajtoló kúttal. A termelő kutak 1950 m-es, míg a visszasajtoló kutak 1750 és 1300 m-es talpmélységgel mélyültek. A rendszerek 4,5 MW_{th} teljesítményűek, 90 °C-os kifolyó víz hőmérséklettel, 1200 l/perc átlaghozammal (ÁDÁM et al. 2019).

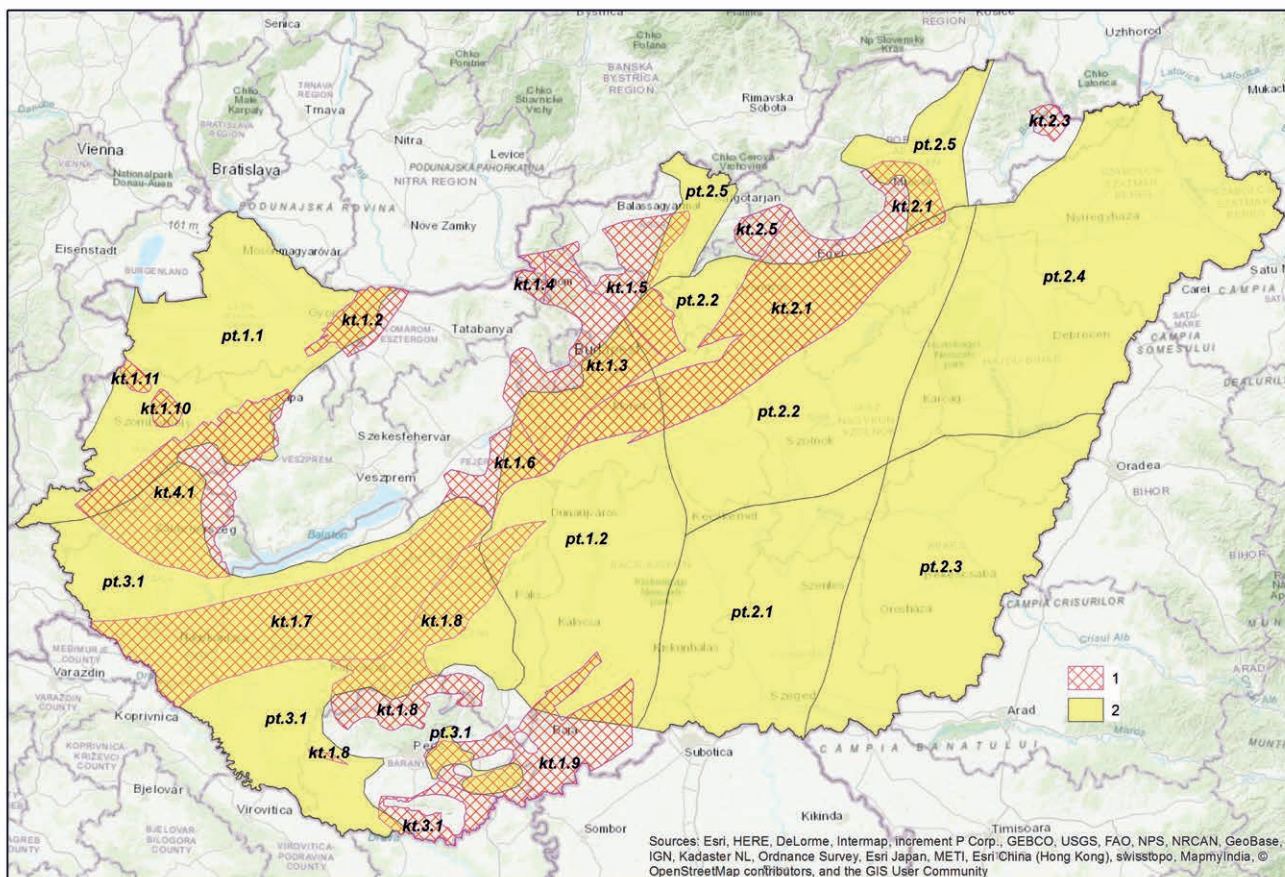
Természetesen a kapcsolódó alapkutatások új eredményei, mint például a szerkezetföldtan, felszíni- és lyukgeofizika, hidrogeológia eredményei folyamatosan beépültek a projekttervekbe. Az Alföld áramlási rendszerének a hőmérséklet-eloszlásra gyakorolt hatásáról ALMÁSI készített víz- és szénhidrogénkutak adatain alapuló dolgozatot (ALMÁSI 2001). A projektek köré szerveződő lokális kutatások mellett a kutatóhelyek főleg statikus és perspektivikus készletek országos léptékű becslésével, ezek módszertani kérdéseivel foglalkoztak (REZESSY et al. 2005, MÁDLNÉ-SZŐNYI 2006, BOBOK & TÓTH 2010a). Ebben az időszakban készült el az Ásványvagyon-hasznosítási és Készletgazdálkodási Cselekvési Terv részeként a hazai geotermikus energiapotenciál becslése (ZILÁHI-SEBESS et al. 2012), ami több későbbi szakpolitikai dokumentum megalapozó tanulmányaként szolgált. Ugyancsak fontos kiemelni a Miskolci Egyetemen a BOBOK Elemér körül szerveződő geotermikus iskolát, amely a fluidumtermelés nélküli technológiák hasznosítási lehetőségeit is kutatta (BOBOK 2012), és 2007-ben elindították a geotermikus szakmérnök képzést.

Mivel Magyarországon a geotermikus energia hasznosí-

tása gyakorlatilag hévíztermeléssel történik, így mindenképp meg kell említeni a termálvíz-gazdálkodás kérdéskörét. A Vízyűjtő-Gazdálkodási Tervek (VGT) alapelemei az ún. „víztestek”. A felszín alatti víztestek lehatárolása során többek között földtani (medencebeli, karszt, hegyvidéki), hőmérsékleti (hideg < 30 °C, termál > 30 °C), hidrogeológiai (le- és feláramlási területek) szempontokat vettek figyelembe, amely alapján 15 termálkarsztvíztestet és 8 porózus termálvíztestet jelöltek ki (3. ábra). A Vízyűjtő Gazdálkodási Tervek során a víztesteket 6 évente minőségi és mennyiségi állapotértékelésnek vetik alá. A mennyiségi állapot tekintetében a VGT-2 a szabadbattyáni termálkarsztot gyenge, illetve a dél-alföldi porózus termálvíztestet jó állapotú, de romló kilátásúnak minősítette. Ez utóbbi szoros összefüggésben van a Dél-Alföld jelentős termálvízkivételével és a visszasajtolás hiányával (SZANYI 2015).

A geotermikus energia kutatásában és kitermelésében mérföldkövet jelentett a Bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény 2010-es módosítása, amely geotermikus energia vonatkozásában az egész ország területét a természetes felszíntől mért 2500 m alatti mélységben zárttá minősítette. Ebben a tartományban a geotermikus energia kutatását és kinyerését koncesszióhoz kötötte, amelyet a bányafelügyelet hatáskörébe rendelt. (Az e fölötti térrészből a geotermikus energia / termálvíz kitermelése továbbra is vízjogi engedély alapján végezhető tevékenység maradt). Ezzel egy, a bányászat és vízügy között sok éve tartó, elsősorban a hatáskörrel és az engedélyeztetéssel szembeni szakmai egyeztetés végére került pont (SZANYI et al. 2009), ami azonban a 2500 m-es „mesterséges” mélységhatár tekintetében nem teljesen osztotta el az aggályokat. A jogszabály-módosítás bevezette a koncessziót megelőző ún. „komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálat” (amelynek részleteit a 103/2011. VI. 29. kormányrendelet szabályozta), illetve a geotermikus védőidom fogalmát is. Ez utóbbi lehatárolása a zárt területen történő geotermikus energiakitermelés feltétele, és a bányafelügyelet jelöli ki annál a hatástávolságnál, ahol a kinyerési tervezett geotermikus energia mennyiségének utánpótlódása a kinyerés tervezett időtartamára biztosított mind a hőmérséklet, mind a nyomásváltozás tekintetében. Az elmúlt közel tíz évben – bár mindösszesen négy nyertes koncesszió-szerződés született (Győr, Gádosor, Jászberény és Battonya – ez utóbbi a szerződésben foglalt feltételek nem teljesülése miatt felbontásra került) a koncessziós rendszer működőképessége és létjogosultsága igazolást nyert. A rendelkezésre álló perspektivikus területek számbavétele, valamint vállalkozói kezdeményezés alapján összesen 17 területre (4. ábra) készültek komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentések (ÉTV), amelyek mind letölthetők az MBFSZ honlapjáról, illetve az Országos Geotermikus Rendszeren keresztül (<https://map.mbfisz.gov.hu/ogre>).

E tanulmányok a jogszabályban meghatározott egységes tartalmi szerkezet mellett az egyes területek lehető legátfogo-
gobb értékelését adják a terület földrajzi, földtani, vízföldtani jellemzése, földtani-geofizikai megkutatottsága, a tervezett koncessziós tevékenység hatásainak elemzése (különös tekintettel a felszíni és felszín alatti vízkészletekre és a



3. ábra. A porózus és karsztos termálviztestek elterjedése (VGT-2)

Jelmagyarázat: 1- termálkarszt víztestek, 2- termál porózus víztestek. A számok az egyedi víztest-azonosítók (<https://map.mbfsz.gov.hu/ogre>)

Figure 3. Porous and karstic thermal groundwater bodies (VGT-2)

Legend: 1- thermal karstic groundwater bodies, 2- thermal porous groundwater bodies. Numbers are individual identifiers. (<https://map.mbfsz.gov.hu/ogre>)

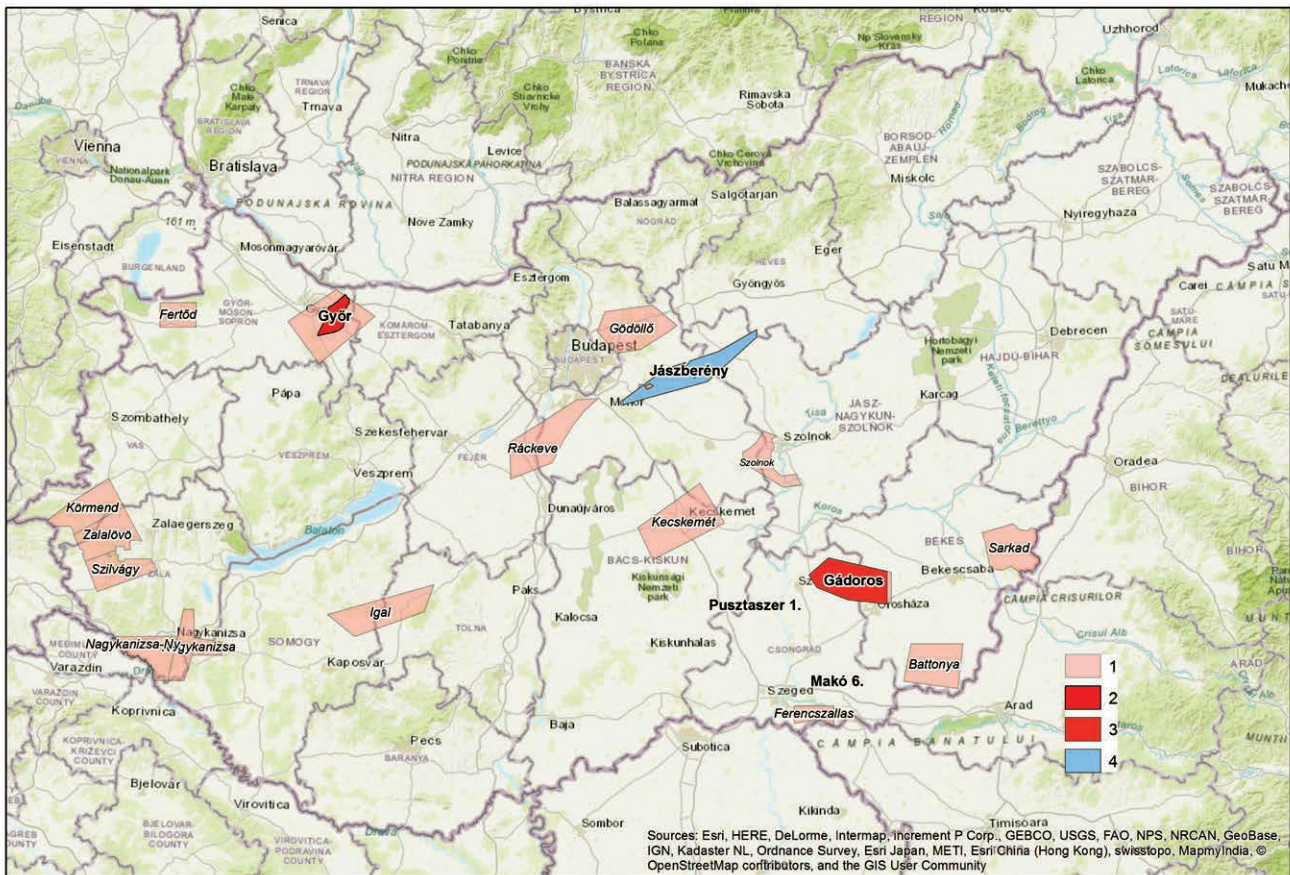
védett természeti értékre), valamint az egyes tiltások és korlátozások (környezet-, táj-, természetvédelem, vízgazdálkodás, kulturális örökségvédelem, termőföldvédelem, településrendezés stb.) tekintetében.

Noha Magyarország geotermikus adottságai elsősorban a közvetlen hőtermelésre alkalmasak, az elmúlt évtizedekben több próbálkozás is történt az aljzati tárolók geotermikus hasznosítására áramtermelés céljából. Ezek közül a legkorábbi az iklódbördőcei projekt volt, ahol a 2006–2007-ben egy magyar–ausztrál–izlandi konzorcium két meddő olajkutató fúrás termálkúttá történő átképzésével kívánt villamos energiát termelni (3–5 MW_e). Bár a villamosenergia-termeléshez feltárt termálvíz hőmérséklete megfelelő volt (~140 °C), a kutak az előzetesen becsültnél kisebb hozammal bírtak, így a projekt leállt.

A geotermikus áramtermelő projektek létesítésének a 2010-től induló koncessziós rendszer adott újabb lendületet, hiszen az áramtermelésre potenciálisan alkalmas rezervoárok zöme a 2500 m-es mélységtartományt meghaladja. A Jászberényi koncessziós területen a MOL Nyrt. geotermikus leányvállalata végzett nagy volumenű földtani és geofizikai kutatásokat 2015 és 2019 között, melyek a korábbi szénhidrogén-kutatás magnetotellurikus (MT) mérésein alapultak. Megállapították, hogy a Jászberény-Ny-4 fúrás környeze-

tét, valamint az attól északra levő, tektonikai elemekkel határolt részeket kifejezetten alacsony (max. 10 ohmm) ellenállás jellemzi a medencealjzat felső részén (5. ábra). Ez a kőzetek erőteljes repedezettségére, valamint a Jb-Ny-4 fúrásban feltárt, magas sótartalmú vizet tároló medencealjzati képződmények jelentős horizontális kiterjedésére utalt (BONCZ et al 2013). Azonban a felmerült nehézségek miatt (elsősorban jelentős stabil inert gáztartalom, intenzív vízkő-kiválási hajlam, valamint a magas kútszerkezeti korrózióveszély) a tervezett 3–4 MW_e beépített teljesítményű geotermikus erőmű nem valósult meg.

Sajnálatos módon ugyancsak nem lett sikertörténet a nagy nemzetközi várakozást is kiváltó, NER-300 program által támogatott battonyai EGS (Enhanced Geothermal System – Mesterségesen javított hatékonyságú geotermikus rendszer) projekt, amely Magyarország első mesterségesen fejlesztett földhőrendszere lett volna, ahol ORC (Organic Rankine Cycle – Szerves Rankine Ciklus, alacsony forráspontú szerves segédközeg segítségével termel hőenergiából áramot) technológiával, 9,8 MW_e tervezett kapacitással történt volna kapcsolt hő- és áramtermelés. A kevés publikus információ hiányában tanulságként annyi fogalmazható meg, hogy a projektek elején pontosan kell definiálni, mely feltételek teljesülése szükséges a sikeres projekthez, és az ehhez



4. ábra. Érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati- és geotermikus koncessziós területek (2020. december 31-i állapot) (<https://map.mbfisz.gov.hu/ogre>)
 Jelmagyarázat: 1 - Komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentés, 2 - geotermikus védőidom, 3 - koncessziós terület, 4 - koncessziós kutatási zárójelentés jóváhagyása
Figure 4. Areas of complex vulnerability and impact assessment studies and geothermal concessions (as of December 31, 2020) (<https://map.mbfisz.gov.hu/ogre>)
 Legend: 1 - Complex vulnerability and impact assessment studies 2 - geothermal protection zone 3 - geothermal concession, 4 - approval of final exploration report (in the frame of concession)

tartozó kockázat mekkora költséggel milyen mértékben csökkenthető, különösen egy még nem piacérett technológia esetében.

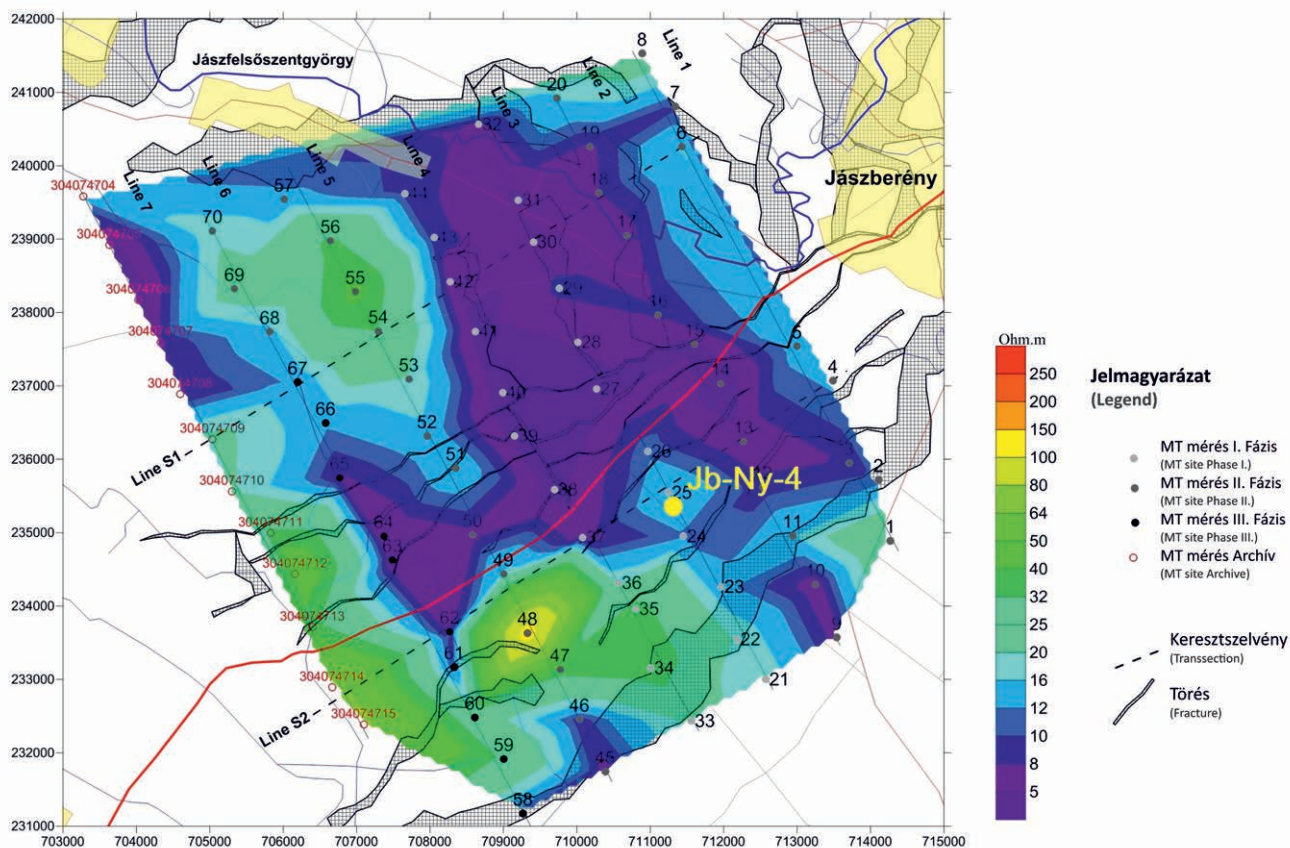
A fenti sikertelenségek ellenére Magyarország 2018-ban végre felkerült a geotermikus áramtermelő országok listájára a turai erőművel. A korábbi szénhidrogén-kutatásoknak köszönhetően jól ismert területen a felszín alatti 1500–2200 m mélységtartományban egy kiemelt triász karbonátból álló rögéből 6000 l/perc hozammal 125 °C-os termálvizet termelnek, amelyre egy 2,3 MW_e kapacitású ORC technológiájú erőmű települt (NÁDOR et al. 2019a).

Geotermikus áramtermelésre (illetve kapcsolt hő- és áramtermelésre) irányuló kutatások jelenleg is több helyen folynak az országban, pl. Tótkomlós, Gádoros. Utóbbi térség bűvópatakként már többször is felbukkant az elmúlt 30 évben az 1985-ben gőzkitörést produkáló Fábiansebestyén-4 jelű kút kapcsán mint potenciális geotermikus áramtermelési projekthelyszín (ÁRPÁSI 1993, LORBERER et al. 2008, ÁRPÁSI 2015). A kréta, ill. középső triász breccsásodott dolomittárolóban a kitérés helyeként feltételezett 3881 m-be extrapolált hőmérséklet 199,6 °C, míg az extrapolált nyomás 731 bar (BOBOK & TÓTH 2010b). Az extrém túlnyomás és a magas sótartalom (24–29 g/l) miatt a rezervoár hasznosítása óriási kihívás.

Az aljzati rezervoárok geotermikus hasznosításához elengedhetetlen az utánpótlási mechanizmusuk meghatározása. VASS és szerzőtársai a repedezett aljzat és a fölöttük települt porózus összletek közötti hidraulikus kapcsolatot vizsgálták fraktálgeometria alapú DFN (diszkrét töréshálózat) modellező rendszerrel (RepSim), majd modellezték a hidraulikai és hőtranszport folyamatokat (VASS et al. 2018). A számítások eredményei arra utaltak, hogy a Pannon-medence kiemelt helyzetű, túlnyomásos metamorf régiói (M. TÓTH 2008) perspektivikusak a geotermikus energia hasznosítására, mivel az alacsony permeabilitású hát peremén beszivárgó fluidumok a hát központi részén kéményszerűen feláramlanak akár 20 °C-os pozitív hőmérsékleti anomáliát létrehozva.

A jelen projektek

Magyarország csatlakozása az Európai Unióhoz 2004-ben széleskörű lehetőséget teremtett egyrészt a megújuló, köztük a geotermikusenergia-projektek finanszírozására (pl. KEOP pályázatok), másrészt a nemzetközi K+F+I együttműködések kiteljesítésére. Utóbbi folyamat hatására sorra jöttek létre a geotermikus energia használatát megala-



5. ábra. Ellenállás-eloszlás az aljat felszínén Jászberény térségében magnetotellurikus mérések alapján, a mérési pontok és Jászberény-Ny-4 jelű fúrás helyének feltüntetésével (eov koordináta-rendszer [m]) (BONCZ et al. 2013)

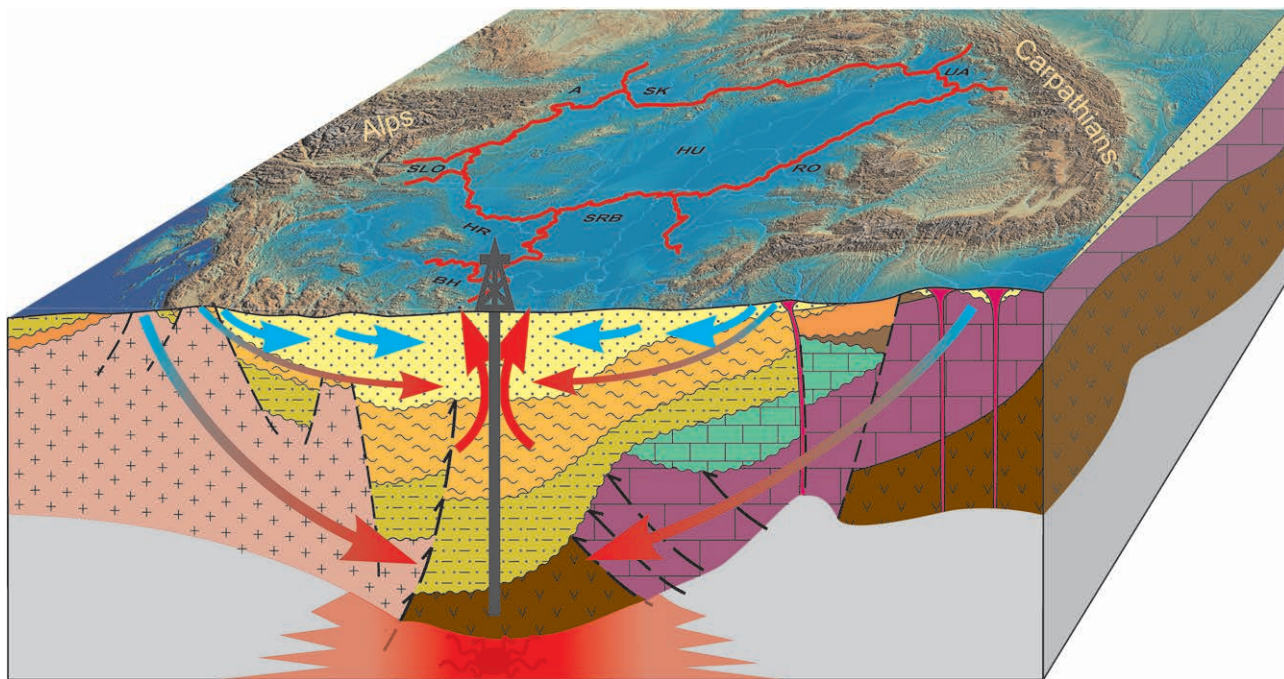
Figure 5. Resistivity distribution on the surface of the basement by Magnetotelluric survey in the vicinity of Jászberény-Ny-4 well (local coordinates [m]) (BONCZ et al. 2013)

pozó nemzetközi projektek, melyekben magyar intézmények, civil szervezetek tagként, majd projektvezetőként vettek és vesznek részt. A nemzetközi kapcsolatok kiteljesedése a hazai szakértői csoportokat becsatornázza a világ élvonalában zajló kutatásokba, lehetővé téve a határon átnyúló kutatási projektek indítását. Ennek nagy jelentősége van, mert a jelenlegi termásvíztermelés, nem beszélve a kívánt növekedésről, regionális hidrodinamikai hatást vált ki. Az utánpótlódási területek egy jelentős része a Kárpát-medencét övező peremi hegyvidékeken helyezkedik el, ahol a beszívárgó csapadékvíz a mélybe jutva felmelegszik, és a hidrosztatikai nyomásviszonyoknak megfelelően a medence arra földtanilag-vízföldtanilag alkalmas egységeiben áramlik a természetes vagy mesterséges megcsapolási pontok felé (6. ábra). A meglevő tapasztalatok igazolják, hogy különösen a határ menti régiókban egy adott ország fokozott termásvíztermelésének esetleges negatív hatásai (depresszió, hozam- és hőmérséklet-csökkenés stb.) a szomszédos országokban is jelentkezhetnek (TÓTH et al. 2010) (7. ábra), ezért regionális szinten csak egy határokon átnyúló, a szomszédos országokkal közösen kialakított gazdálkodási stratégia vezethet a termásvizek fenntartható használatához.

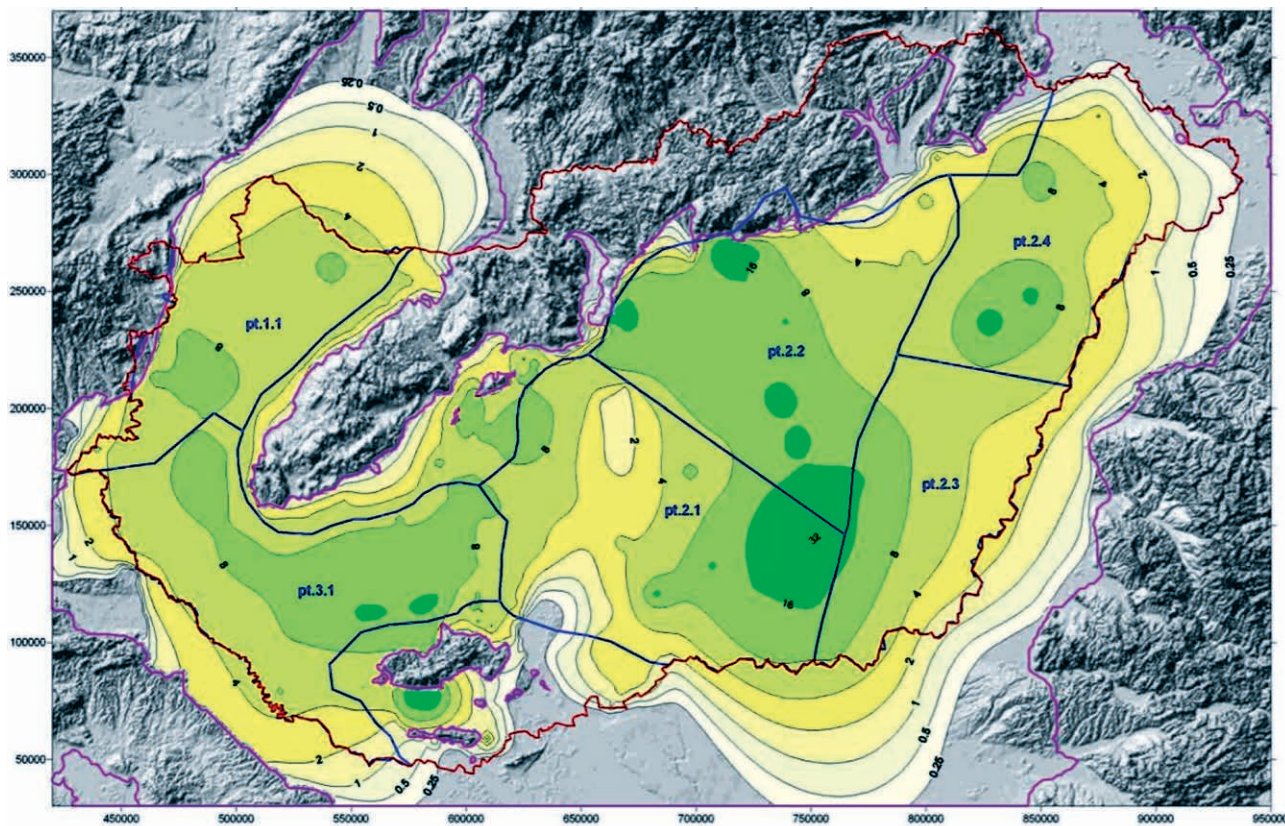
A határokon átnyúló vizsgálatok fontosságára, az országos földtani-vízföldtani adatbázisokra, a regionális léptékű geológiai-hidrogeológiai modellezések korábbi eredményei-

re, illetve a szomszédos országok földtani intézményeivel kialakított szoros együttműködésre támaszkodva a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ), illetve jogelőd intézményei az elmúlt évtizedben több nemzetközi projektet koordináltak (T-JAM, Transenergy, DARLINGe), melyek célja a határokon átfelölő geotermikus erőforrások felmérése és értékelése volt. Ezekben elsősorban Magyarország ÉNy-i, Ny-i, illetve DNy-i, D-i és DK-i határvidékein a szomszédos országokkal közösen létrehozott földtani, hidrogeológiai és geotermikus modellekre alapozva regionális léptékben lehatárolták a potenciális geotermikus rezervoárokat (ROTÁR-SZALKAI et al. 2017, NÁDOR et al. 2019b) vizsgálták a geotermikus energia hasznosításának lehetőségeit (RMAN et al 2015, 2020), a fenntartható termásvíztermelés peremfeltételeit (NÁDOR et al. 2012, TÓTH et al. 2016, SZŐCS et al. 2018), az esetlegesen tervezett új geotermikus rendszerek egymásra hatásait, valamint a hatékonyabb termásvíz-hasznosítás lehetőségeit (NÁDOR 2019).

A fenti projektekben egy többlépcsős módszeregyüttes került kidolgozásra, amely az évek során egyre finomodott, és újabb részletekkel egészült ki. Első lépésben az adott projekt területén részletes felmérés készült a működő termásvíz-hasznosításokról, a kutak adatairól (pl. kifolyó víz hőmérséklete, hozama, a szűrőzött szakaszok mélysége, a vízadó litológiája, a felhasználás módja stb.), amelyekből nyilván-



6. ábra. A Kárpát-medence regionális határokon átnyúló termásvíz áramlásainak elvi vázlata (NÁDOR ed. 2019)
 Figure 6. Schematic sketch of the regional cross-border thermal groundwater flow of the Carpathian basin (NÁDOR ed. 2019)



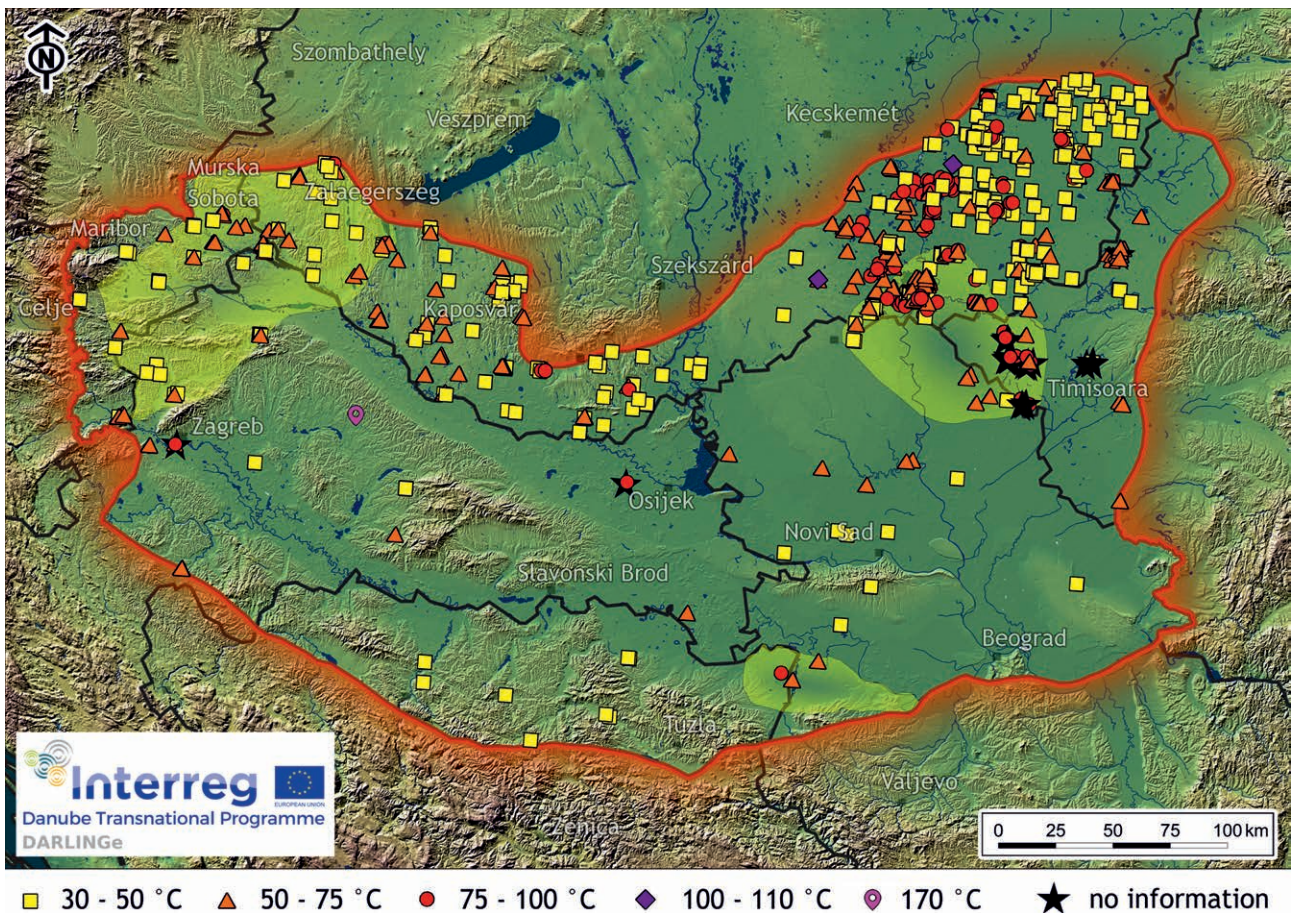
7. ábra. A hideg- és hévíztermelések együttes hatására létrejövő depresszió (m) a pannóniai sekélyvizi, deltaeredetű homokkő-rezervoár alján a 2000-es évek elejének kvázi permanens állapotára számítva (TÓTH et al. 2010)
 Figure 7. Depression (m) at the bottom of the Pannonian shallow sandstone reservoir due to the cumulated cold and thermal water abstraction calculated for the quasi-steady state conditions of the beginning of the 21st century (TÓTH et al. 2010)

nos, a projektek honlapjain elérhető adatbázisok épültek, és amelyek az adatok sok szempontú lekérdezhetőségét és megjelenítését is lehetővé tették (8. ábra). A T-JAM-projektben 13 szlovén és 43 magyar termálkút főbb felhasználási adatai kerültek összegyűjtésre (JUHÁSZ et al. 2013). A négy országot lefedő Transenergy-projekt hasznosítási adatbázisa összesen 403 termálkút (AT: 48, HU: 259, SK: 59, SI: 37) adatait közli (RMAN et al. 2015), míg a Pannon-medence D-i határát vizsgáló DARLINGe projekt már hat ország 771 geotermikus objektumának (BH: 10 kút, HR: 6 forrás és 25 kút, HU: 606 kút, RO: 55 kút, SRB: 1 forrás, 24 kút, SI: 44 kút) részletes adatait elemezte (RMAN et al. 2020).

Ezt követően a vizsgálandó területre meghatározásra kerültek a főbb hidrosztratigráfiai egységek (a vízföldtani szempontból hasonlóan viselkedő kőzetegységek), és olyan földtani térmodellek készültek, amelyek alapján ezen egységek határoló felületei megadhatók. Ezek a mélyföldtani szintek általában a prekainozóos aljzatfelszín, a pannóniai korú mélyvízi képződmények talpát, a sekélyvízi delta üledékek talpát és a kvarter talpat jelentették, és az adott projektterület nagyságától függően 1:100 000 – 1:500 000 léptékben lettek megszerkesztve (MAROS et al. 2012). A földtani modell képezte a numerikus vízföldtani modellek vázát, amelyek segítségével megadhatók voltak a főbb nyo-

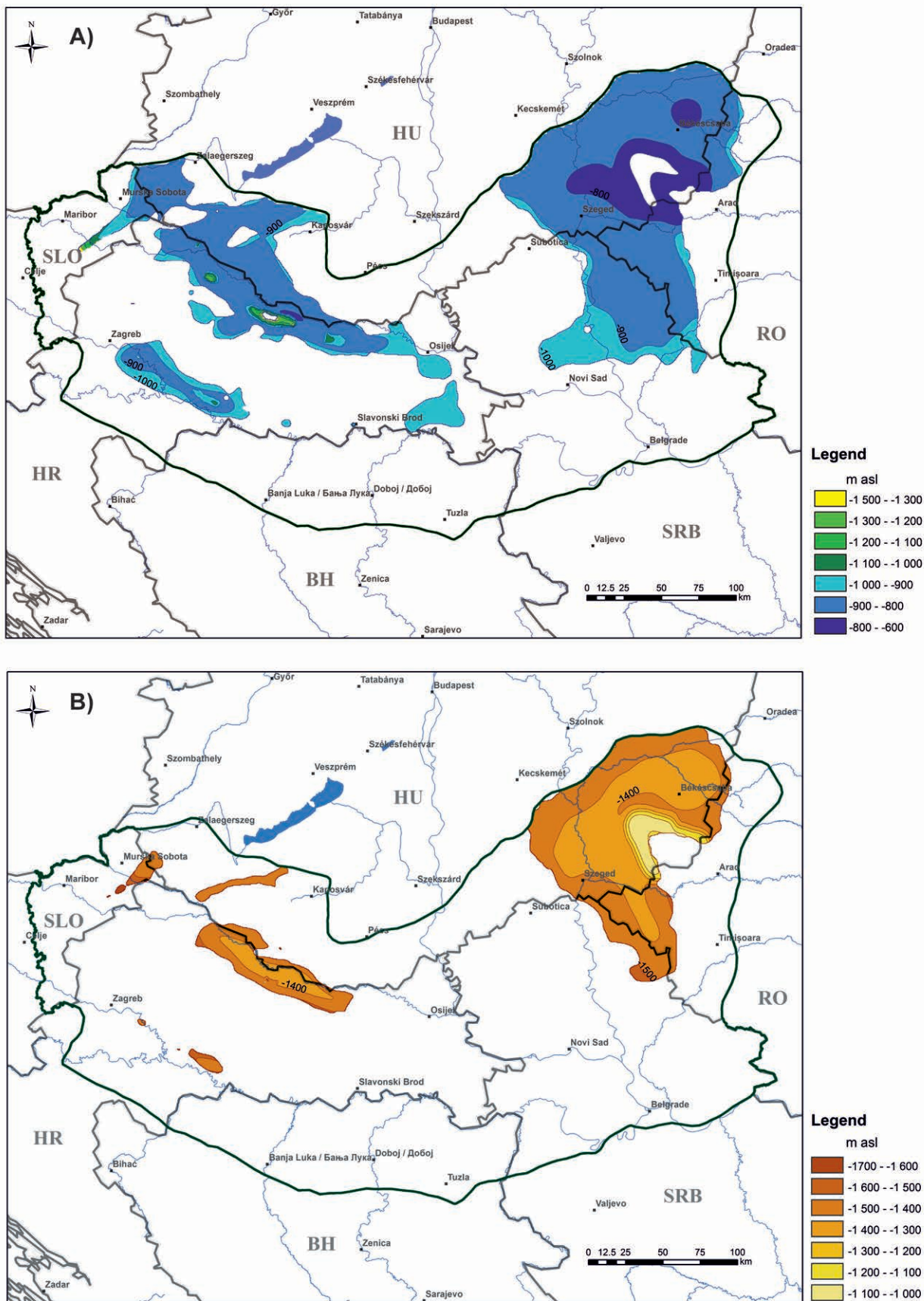
másszintek és az országhatárokon átívelő regionális áramlási pályák, valamint számszerűsíthetővé váltak az egyes vízföldtani egységek közötti vízmérleg adatok. A különböző földtani és geotermikus modellfelületek kombinációjával lehetőség nyílt a geotermikus rezervoárok főbb típusainak lehatárolására és térbeli megjelenítésére is (ROTÁR-SZALKAI et al. 2017, NÁDOR et al. 2019b) (9. ábra).

Különböző scenáriók futtatásával ezen modellek segítségével előre jelezhetőek a különböző termelések jövőbeli regionális hatásai is, amelynek fontos szerepe lehet a vízgazdálkodási kérdések eldöntésében. Így például a Transenergy-projektben a modellezés kimutatta, hogy a természetes (termelés előtti) állapotban a termálvíz áramlási iránya a térségben Magyarországról Ausztria, illetve Szlovéniából és Szlovákiából Magyarország felé irányult. Ugyanakkor a jelenlegi víztermelések hatására az országhatárokon átadott vízmennyiségek valamennyi esetben jelentősen lecsökkentek, a vízszintcsökkenés mértéke a határ menti részekben 2–10 m nagyságrendű, a depressziók mélyen benyúlnak a szomszédos országokba, illetve a víz-áramlás iránya is megváltozott Magyarországról Szlovákia irányába. Amennyiben egy jövőbeli ötszörös megnövelt termálvízkivétellel számolunk, akkor az országhatárok mentén jelentkező depressziók akár a 30 m-t is meghalad-



8. ábra. A geotermikus objektumok (források és kutak) kifolyó víz hőmérséklet szerinti megoszlása a DARLINGe-projekt területén (RMAN et al. 2020)

Figure 8. Distribution of outflow temperature of geothermal objects (springs and wells) on the DARLINGe project area (RMAN et al. 2020)



9. ábra. A porózus 50–75 °C (A) és 75–100 °C (B) rezervoárok tetőszintje a DARLINGe projekt területén (ROTÁR-SZALKAI et al. 2018)

Figure 9. Top bounding surface of the porous geothermal reservoirs storing thermal water 50–75 °C (A) and 75–100 °C (B) on the DARLINGe project area (ROTÁR-SZALKAI et al. 2018)

hatják, maguk után vonva az áramlási rendszer további regionális változását (TÓTH et al. 2016).

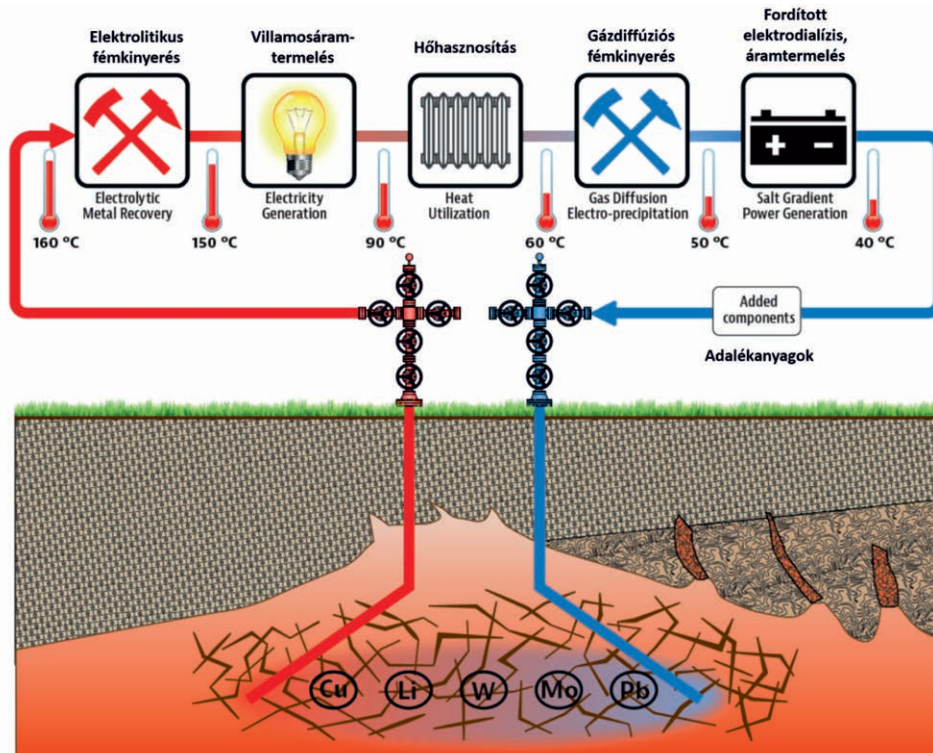
A geotermikus potenciál értékelése érdekében a földtani és vízföldtani modellek természetesen kiegészültek geotermikus modellekkel is (LENKEY et al. 2008, LENKEY et al. 2021). Ezek általában a felszín alatti hőmérséklet-eloszlásokat mutatják izotermatérképek (adott hőmérséklet mélybeli eloszlása), vagy mélység–hőmérséklet (adott mélységben érvényes hőmérséklet-eloszlás) térképek formájában. A legújabb feldolgozások eredményeiről bővebb információ található a Földtani Közlöny jelen számában (LENKEY et al. 2021).

Mindezen közös földtani, vízföldtani és geotermikus modellek kialakítása csak a szomszédos országok közötti harmonizált adatok alapján volt lehetséges, ezért a modellépítéseket minden esetben hosszú adatgyűjtési és adatharmonizációs fázis előzte meg. Sok esetben komoly problémát jelentett a rendkívül heterogén adatsűrűség, az adatok eltérő minősége és megbízhatósága, valamint a korlátozott adathozzáférések. Ennek ellenére a projektekben kialakított közös adatbázisokat, az integrált értelmezések eredményeit bemutató webes térképi megoldások (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>, (<https://www.darlinge.eu/mapviewer/index.html>) az egyik legnagyobb értékei az együttműködéseknek, amelyekre további kutatások is alapulhatnak.

2012–2015 között a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete a KÚTFŐ (TÁMOP-4.2.2.A) projekt keretében egyebek mellett a Tokaji-hegység geotermikus adottságainak felmérését végezte. A területen található közel 700 kút és számos forrás adatait, valamint a korábbi kutatások eredményeit felhasználva összeállították a Tokaji-hegység

hidrogeológiai és vízkémiai adatbázisát. A Kéked–Szerencs törésvonal terepi mintavételezése során egy korábban le nem írt hévizes anomáliát tártak fel Korlát térségében, melyet multielektrodás geofizikai vizsgálatokkal igazoltak. A kutatócsoport elkészítette a terület kalibrált regionális hidrodinamikai modelljét. A vizsgálatok eredményeként új termálkuttak helykijelölése is megtörtént. (SZŰCS et al. 2014).

A közelmúltban zajlott kutatási projektek közül említést érdemel még az Európai Bizottság Horizon 2020 programja által finanszírozott, a Miskolci Egyetem Földtudományi Kara vezetésével és a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszéke közreműködésével megvalósított CHPM2030 (*Combined Heat, Power and Metal Extraction – Kombinált hő-, elektromos áram-, fémkinyerés*) kutatás-fejlesztési projekt (<https://www.chpm2030.eu>), mely a geotermia, a fémkinyerés, hidrometallurgia határterületein kutatva újraértelmezi azt az ősrégi tudást, mely szerint a geotermikus erőforrások nem ritkán értékes ásványi nyersanyag-dúsulásokhoz kapcsolódnak. A technológia-fejlesztési projekt a nagy mélységű, hagyományos bányászati eljárásokkal nem művelhető ercdúsulásokat kívánja speciális EGS- rendszerré fejleszteni (orebody-EGS). Az elképzelés lényege, hogy a geotermikus adottságainál fogva villamosenergia-termelésre alkalmas létesítmény gazdaságossági mutatói jelentősen növelhetők, ha a villamosenergia-termelés és a hőkinyerés mellett pl. kritikus ásványi nyersanyagok, ritka földfémek felszínre hozatalával és felszíni leválasztásával javítjuk a beruházási költségek gyorsabb megtérülését (MADARÁSZ et al. 2019) (10. ábra). A projekt-konceptió az alkalmazható kioldási és réteg-stimulációs mód-



10. ábra. A CHPM-konceptió sematikus ábrája (MADARÁSZ et al. 2019)

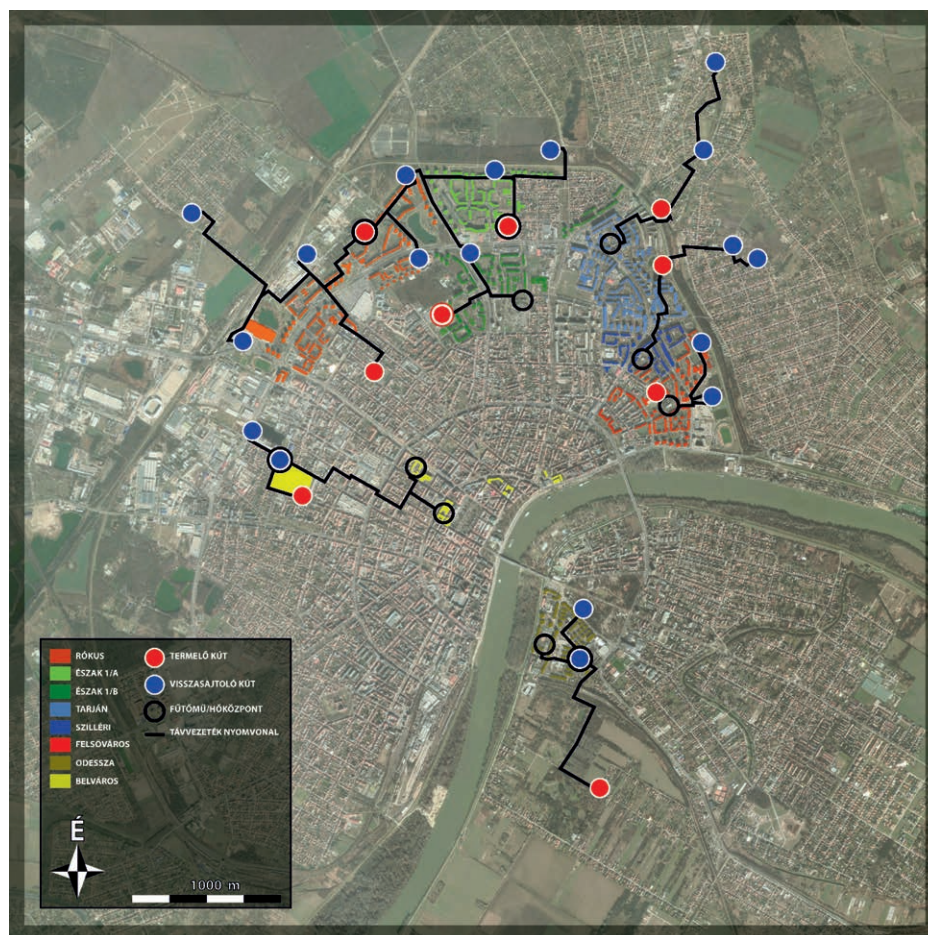
Figure 10. Schematic figure of the CHPM concept (MADARÁSZ et al. 2019)

szerek vizsgálata mellett két fémleválasztási technológia fejlesztését tűzte ki célul, azokat célzottan geotermikus kútpárok felszíni létesítményeiként alkalmazva. A feladat keretében a konzorcium 12 tagja közül, az említett magyarok mellett a Brit Geológiai Szolgálat (BGS), a VITO és a Leuveni Katolikus Egyetem (mindkettő Belgium), valamint az ISOR (Izland) képviselői az európai földtani, geotermikus adatok összegyűjtésén, rendszerezésén túl egy intenzív, szisztematikus laboratóriumi kísérleti programot hajtottak végre (OSVALD et al. 2018). A műszaki fejlesztések mellett a projekt foglalkozott a technológiai fejlesztés környezeti és gazdasági hatásainak/feltételeinek vizsgálatával is. A fémkinyerési technológia kifejlesztése és a fordított elektro dialízis elvű, másodlagos áramfejlesztési módszer felskálázását követően a projekt aktív, finanszírozott szakasza lezárult (MADARÁSZ et al. 2019). A konzorcium a pilot üzemet eredetileg 2030-ra prognosztizálta. Azonban a felvázolt technológiai kör egyes elemei önmagukban is alkalmazhatók már üzemelő geotermikus rendszerek esetén fémkinyerésre. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a laboratóriumi kísérletek félüzemi, majd ipari szintre történő „felskálázása” és az egyes technológiai elemek összekapcsolhatóságának szabályozása ko-

moly mérnöki és modellezési kihívások elé állítja a jövőben a kutatókat.

Egy másik örökzöld probléma a meddő és használaton kívüli kutak energetikai hasznosíthatósága. A Miskolci Egyetem kutatói által vezetett projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00010) elvégezte a vizsgált meddő szénhidrogénkutak területleptékkü energetikai értékelését, illetve kitért az erőművi/ ipari hulladékhő vagy megújulókból származó energia földtani közegben történő tárolásának hatékonyság/hatásfok vizsgálatára a Bükk-alja, Borsodi-mezőség és a Hevesi-sík mintaterületeken.

A hazánkban jelenleg folyó legnagyobb geotermikus projekt megvalósítását a Szegedi Távfűtő Kft., a Geo Hőterm Kft. és a Nemzeti Fejlesztési Programiroda Kft. alkotta konzorcium végzi KEHOP pályázati támogatással. A 2018-ban kezdődött és várhatóan 2023-ban befejeződő fejlesztés során 9 távfűtőrendszert állítanak át geotermikus üzemre. A projektben 9 termelő és 18 visszasajtoló kút mélyül az 1700–2000 m között szűrőzött pannóniai korú sekélyvízi homokrétegekbe, melyek átlagosan 80 m³/h hozammal 90 °C hőmérsékletű termálvizet termelnek (11. ábra). A 27 ezer lakás mellett 500 középület fűtési energiáját és használati



11. ábra. Épülő Szegedi Geotermikus Távhőrendszer vázlatrajza a tervezett kutak és hőközpontok helyének feltüntetésével (SZETÁV 2019)

Figure 11. Schematic map of the Szeged Geothermal District Heating System under construction with the location of the planned wells and heating centers (SZETÁV 2019)

meleg vizét biztosító, 224MW_{th} névleges kapacitású távfűtő-rendszer a város jelenlegi legnagyobb levegőszennyezője, így a geotermikus energia használatához a gazdasági haszon túl jelentős környezeti előnyök is társulnak. A projekt eredményeként évente közel 15 millió m³ földgáz váltható ki 350 ezer GJ geotermikus energiaforrással, évi 25 ezer tonna CO₂-al mérsékelve Szeged város levegőjének üvegházhatású gázterhelését. A fejlesztés hatására az érintett fűtési körök esetében kb. 70%-os, a teljes szegedi távfűtés tekintetében pedig 50%-os lesz a helyben lévő megújuló energia részaránya, így a levegő állapotán túl az ellátás biztonsága is javul (OSVALD et al. 2017).

A futó kutatások, jövőkép

A kiemelkedő geotermikus adottságaink és az előzőekben bemutatott jelentős kutatási előzmények mellett is megállapítható, hogy a földhőhasznosítás máig nem tudott átúto szerephez jutni a megújuló energiahordozók versenyében Magyarországon. Hazánkban az energiaforrások közel 40%-át fűtésre használjuk (387 PJ/év) és ebből geotermikus energia csak 6 PJ/év (KURUNCZI 2017). A rendelkezésre álló geotermikus erőforrások jobb kihasználására számos tanulmány született, országosan (MÁDL et al. 2008), megyei bontásban (TÓTH 2016) vagy konkrét 40 éves cselekvési tervet felvázolva (MTA et al. 2015). Közös megállapításuk, hogy a jelenlegi hasznosításnál legalább egy nagyságrenddel nagyobb geotermikus energia is hasznosítható lenne gazdaságosan, fenntartható módon. A finansziális és jogszabályi akadályokon túl a hasznosítható potenciált technológiai, gazdaságossági, környezeti (fenntarthatósági) és nem ritkán társadalmi szempontok is korlátozzák. Tovább lépést – a kedvező politikai és gazdasági szabályozói környezet megteremtésén túl – a szakterületben rejlik, kiaknázatlan K+F+I lehetőségek jelenthetnek.

A jelenleg folyó hazai kutatások jelentős részben elméleti és gyakorlati jellegű technológiai fejlesztésekre, kisebb mértékben geotermikus területek kutatására irányulnak, mint például az Eötvös Loránd Tudományegyetemen MÁDLNÉ SZÖNYI Judit és munkatársai által folytatott budai termálkarszt kutatása. Összefoglaló munkájukban a fluidum fejlődéstörténetét az ásványparagenézisek tükrében vizsgálták a késő miocén fedett karbonátos állapotól, mikor még a termikus felhajtóerő vezérelte a felszín alatti vízáramlást. Eredményeik rámutatnak a jelenlegi vízáramlás aszimmetrikus jellegének okaira, a rendszer hőmérsékleti eloszlását meghatározó folyamatokra, valamint a fedőüledékek hőfelhalmozódásban betöltött szerepére (MÁDL et al. 2018).

Hasonlóan nagy volumenű a Geotermikus Budapest vízióját felvázoló tanulmány (MEKH 2020), mely komplex módon a hőszivattyús hasznosítástól a geotermikus áramtermelésig vizsgálja a főváros geotermikus energiával történő ellátását. A nagy entalpiájú hasznosításoktól eltekintve számos kiaknázatlan lehetőségre hívja fel a figyelmet a geotermikus hőszolgáltatásban. A szerzők megállapítása szerint különösen Kelenföld, Kispest és Újpest gázalapú távfű-

tő központjainál 30–50%-ban, míg Rákospalota esetében teljes mértékben kiválthatná a gázfelhasználást a termálvíz-alapú fűtés.

A geotermikus szektor számára egyik legérzékenyebb és ezért régóta kutatott terület a porózus tárolókba való visszasajtolás. Alapvető megállapítás, hogy az adott porózus rezervoár nyelőképessége párhuzamosítható vízáradóképességével, ha kútkiképzés, felszíni szűrés és üzemeltetés hármasanál meghatározott szempontok teljesülnek (SZANYI et al. 2013). Azonban a pontos feltételrendszer meghatározásához elengedhetetlen a képződmények közetmechanikai, közetfizikai és közetszöveti paramétereinek, valamint a közöttük lévő összefüggéseknek az ismerete (HORVÁTH et al. 2013). Ehhez kapcsolódóan a Miskolci Egyetem kutatói a fúróiszap-kiszűrődés hatását vizsgálták valós magmintákon egy újonnan kifejlesztett kísérleti eszköz segítségével (VARGA et al. 2020). Új módszerükkel a permeabilitás változás mértékének meghatározása mellett a kiszűrődés mértékének időbeli változása is leírható.

Átfogóan, laboratóriumi és terepi kutatásokkal alátámasztva tervezi a visszasajtolás technológiáját fejleszteni a „Fenntartható és költséghatékony termálvíz visszasajtolás kút kiképzési technológiájának kifejlesztése” (GINOP-2.2.1-15-2017-00102) című K+F projekt, melynek célja gazdaságos, a jelenlegi hazai gyakorlatban alkalmazottnál hatékonyabb technológiák kifejlesztése és pilot projektként történő demonstrációja egy meglévő kút átalakításával, illetve egy új technológiájú kút fúrásával. Mindezzel lehetővé kívánják tenni a fenntartható geotermikus energiatermelés megvalósítását a nagy geotermikus potenciállal rendelkező, pannóniai sekélyvízi homokkövekből.

A termálvíz-hasznosítás velejárója a vízben oldott ásványok kicsapódása, ami a különböző szerelvények (szivattyúk, csövek, szelepek, hőcserélők) fokozatos eltömődése miatt a geotermikus hő- és villamosenergia-termelésben komoly gondokat okozhat. A Pannon-medence változatos fluidumai jó lehetőséget teremtenek a vízkőkiváláshoz vezető folyamatok megértéséhez. BOCH et al. (2016) megállapították, hogy a csővezetékek korrodált rétege meghatározó szerepet játszik az ásványcsírák képződésénél.

A vízkőkiválás okait a tároló képződmény oldaláról vizsgálták a Szegedi Tudományegyetem munkatársai, a Szeged térségében futó geotermikus projekt furadékanyagait és vízkőkiválásait elemezve (VARGA et al. 2019). Ehhez a pannóniai sekélyvízi homokkőtároló és a dominánsan NaHCO₃ típusú termálvizek egymásra hatását vizsgálták integrált ásványtani, közettani és vízkémiai módszerekkel. Fő megállapításuk, hogy az intenzív vízkőkiválásnak a nem hagyományos sziliciklasztos homokkőtároló ásvány-közzetani összetétele lehet lehet az oka, a szemcsék között ásványtanilag éretlen dolomit és mészkő fragmentumok találhatóak, melyek aránya elérheti a 20–25%-ot.

Geotermikus energiát fluidumtermelés nélkül is lehet hasznosítani, különösen kis hőigény esetén. Fontos megemlíteni, hogy a sekély mélységű (Magyarországon általában 100 m) földhő szivattyús rendszerek világszerte a geotermikus technológia legsikeresebb piaci termékei, jelenleg a

globális beépített kapacitás 77,547 MW, az energiatranszmisszió pedig közel 600 PJ/év (LUND & TÓTH 2020). A geotermikus hőszivattyús technológia magyarországi alkalmazása messze a lehetőségek mögött kullog annak ellenére, hogy KOMLÓS Ferenc évtizedekig érvelt a hasznosítás kiszélesítése mellett (KOMLÓS et al. 2009). Bár a hőszivattyús rendszerek teljesítménye általában kW_{th} nagyságrendű (ÁDÁM et al. 2019), léteznek nagy teljesítményű földhőszondás hőszivattyús rendszerek, mint a pápai katonai repülőtér, ahol NATO-beruházás keretében az ország legnagyobb sekély geotermikus rendszere készült el 270 db 100 m-es szondával, melynek fűtési teljesítménye 1,65 MW_{th} , míg hűtési teljesítménye 0,72 MW_{th} (<https://hgd.hu/hu/referenciak/magyarorszag-legnagyobb-hoszivattyus-foldhoszondas-rendszere-papa-bazisrepuloter-nato>). Ugyanakkor nagyobb mélységből, akár több ezer méteres mélységből is lehetséges zárt rendszerben hőt kinyerni. Ha egy béléscsővezetett mélyfúrású kutat alul, perforálás nélkül lezárunk, akkor a koaxiálisan beépített termelőcső és a béléscső közötti gyűrűs térben áramlik lefelé a felmelegítendő víz. Mivel a kút környezete a mélység mentén egyre melegebb, az áramló víz útja során fokozatosan felmelegszik, miközben a kút körülvevő kőzeteket lehűti, majd a termelőcsővön feláramlik. Egy ilyen módon kiképzett 2000 m mély geotermikus energiát termelő, zárt rendszerű kút hőmérséklet-viszonyainak számítására dolgozott ki analitikus, szemianalitikus megoldást BOBOK & TÓTH (2007). Számításuk szerint a pannóniai korú rétegekre mélyített, koaxiális kiképzésű kút csak hőszigetelt termelőcsővel és hőszivattyúval kiegészítve működtethető gazdaságosan. Fenti metodika eredményeit felhasználva KALMÁR és munkatársai (2020) kalibrált numerikus módszert fejlesztettek ki a nagy mélységű hőcserélők (Deep Borehole Heat Exchanger) műszaki és pénzügyi megvalósíthatóságának tanulmányozására vákuumszigetelt termelőcsövek használata esetén. A kalibrált numerikus módszerrel lehetővé vált a természetes konvektív tömegáram szimulációja 40 °C/km-től 60 °C/km-ig terjedő geotermikus gradiensek között. A tanulmány alapján a felvázolt nagy mélységű hőcserélő rendszer megvalósítása gazdaságilag nyereséges projektet eredményezhet, ha a befogadó távhőrendszer elég nagy a folyamatos üzemhez, azaz az éves teljes értékesített hőmennyiség eléri a 25 000 GJ-t.

A geotermikus K+F tevékenység egy új iránya a más iparágakban már bizonyított, nagy teljesítményű lézerek kútkiképzésre, kútjavításra, karbantartásra történő használata. A lézeres fúrási egység egy speciális felszíni, nagy teljesítményű lézergenerátorból és egy kútban lévő lézerfejből áll, melyeket páncélozott optikai szál köt össze. A lézernyaláb nitrogénbuborékban végzi a munkáját, ez nyomja el a kútban lévő fluidumot a fej elöl, és söpri ki a képződő olvadékokat (BAJCSI et al. 2015). A nagy teljesítményű lézeregység (6–24 kW), kialakításától függően, alkalmas vágásra, perforációképzésre, kis átmérőjű laterális fúrások készítésére és a kútban lévő ásványkiválások eltávolítására. Az új, lézeres kútmunkálási technológia alacsony karbantartást igényel, nem tartalmaz semmilyen mechanikus alkatrészt vagy bármilyen vegyi anyagot, miközben in situ, valós idejű vissza-

csatolást kínál az optikai szálon keresztül (videójel és spektroszkópia) az eszköz kezelőjének (<http://www.zerluxhungary.com/laser-pipe-cutter>). KOVÁCS és munkatársai (2014) pannóniai korú homokkő magmintákon vizsgálta a lézeres fúrás környezetének áteresztőképesség-változását. Megállapították, hogy a lézerral kezelt furat falán képződő kőzetüveg és a félig olvadt szemcsék egy mesterséges szűrőrendszert hoznak létre (szintereződés), mely a folyadékok és gázok számára átjárható, míg a szilárd részecskékkel szemben szűrőhatású, ezzel megakadályozva a homokolódást. Továbbá mérésekkel igazolták, hogy a lyukfal áteresztőképessége növekedett a hőhatás okozta repedések miatt. Az új technológia alkalmazása elősegítheti a visszasajtoló kutak nyelő-képességének növelését. A vizsgálatok járulékos eredménye, hogy a lézer okozta hősokk a kőzetekben mikrorepedéseket generál, így a technológia alkalmas lehet mechanikai rétegstimulációra például EGS-rendszerek esetén. A CHPM2030-projekt keretében a lézerral kezelt kőzeteken végrehajtott kőzetmechanikai vizsgálatok a feltételezést alátámasztották (SZANYI et al. 2017).

Általános vélekedés a nemzetközi geotermikus fórumokon, hogy a geotermikus energiahasznosítás jövőbeli sikerét az EGS-technológia tökéletesítése jelentheti (TESTER et al. 2006, RYBACH 2010). A nagy mélységű, magas hőmérsékletű EGS-rendszerek elterjedését azonban még számos kihívás nehezíti. A technológiával szemben fel-fel lángoló – gyakran megalapozatlan – társadalmi ellenállást leszámítva is komoly gazdasági, befektetői kockázatot jelent az EGS-rendszerek telepítése és üzemeltetése. A rendkívül magas kezdeti beruházási költségek és a földtani, műszaki kockázatok jelentősen visszafogják a beruházási kedvet, még akkor is, ha a sikeres beruházás esetén a megtérülés garantálható.

Az European Technology Platform for Deep Geothermal (ETIP-DG) szakmai szervezet meghatározó szerepet tulajdonít a kutatás-fejlesztésnek, és a jövő szempontjából kulcsfontosságú eredményeket vár az innovációs projektektől. A 2018-ban publikált kutatás-fejlesztési jövőképből (ETIP-DG 2019) releváns fókuszterületként az alábbi témákat jelöli ki:

1. A nagy mélységű, komplex földtani rendszerek jobb megismerése nagy felbontású és költséghatékony feltárási módszerek/eszközök segítségével.

2. A hőkihozatal növelése a fúrási technológiák termelékenységének, a kútkiképzés, szenzor- és monitoring technikák korszerűsítése által, azok magas hőmérsékleti és nyomásviszonyokra alkalmas megoldásainak kifejlesztése révén.

3. A hőkiyerés és villamosenergia-termelés optimalizálása, hálózatba integrálása, hibrid rendszerekbe történő integráció.

4. A K+F eredményeken túlmutató környezeti, szabályozói és társadalmi akadályok lebontása európai és globális léptékben.

5. Tudásmegosztás (adatharmonizáció, koordinált adat- és információáramlás, megosztott infrastruktúra kiépítése).

Valamennyi fenti témában biztató hazai eredmények (pl. innovatív kútkiképzési technológiák), komoly poten-

ciólok, és kiaknázatlan lehetőségek vannak a geotermikus szakmában.

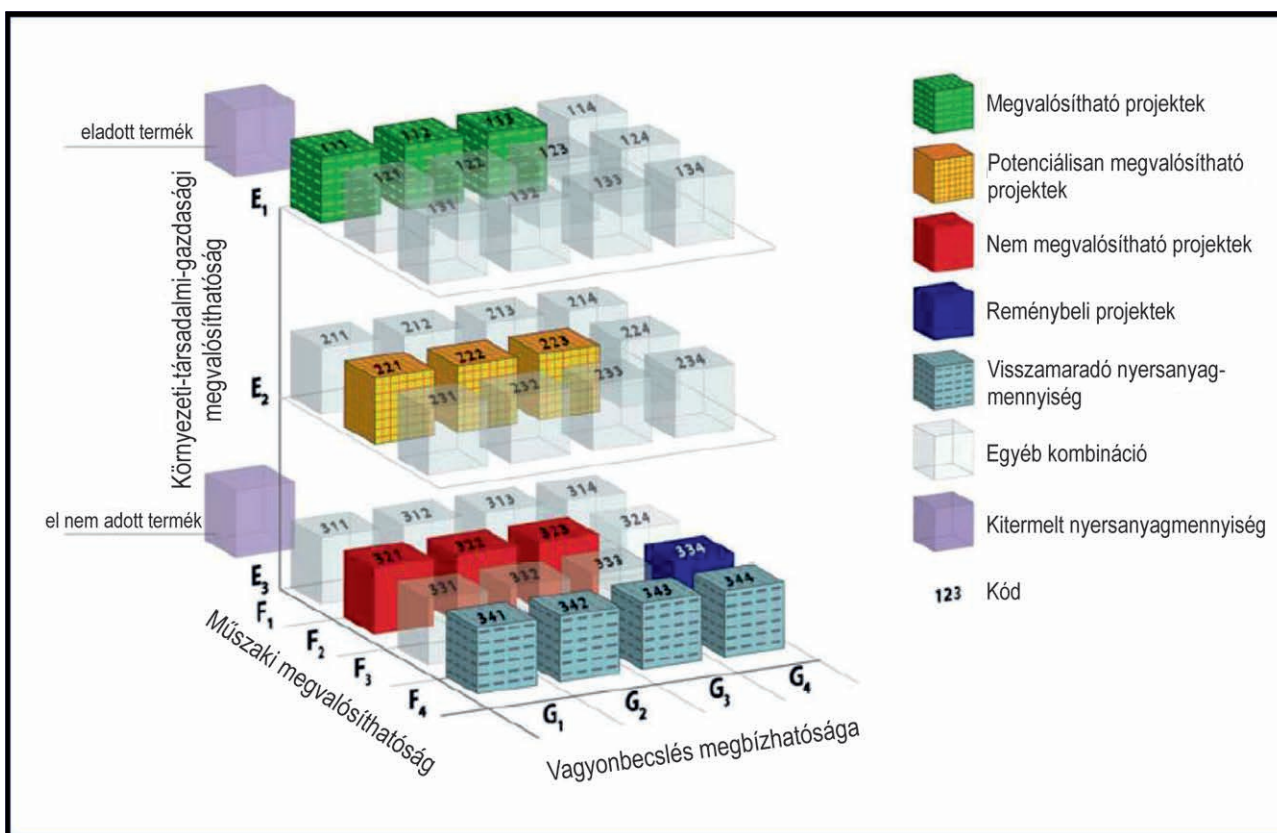
Egy innovatív, robusztus, stimulációs EGS-technológia kifejlesztése a célja az USA és EU kutatók – köztük magyar kutatók – részvételével zajló nemzetközi kutatási együttműködésnek, mely hatékonyabbá tenné a hőcserélő felület kialakítását és a fluidum cirkulálását (Robust Engineered Geothermal System – REGS). A projekt sikeres laboratóriumi fázisa lezárult, jelenleg a terepi tesztek előkészítése zajlik (DANKO et al. 2019).

A jövőbeli geotermikus projektek felfutása szempontjából a fentiekben említett K+F+I szempontok mellett a befektetők számára két további fontos aspektus van: a különböző projektek összevethetősége és a kockázatok minimalizálása. Előbbi feladat megvalósítását tűzte ki célul az a nemzetközi kutatócsoport, amely az Egyesült Nemzetek Szervezete által kidolgozott ásványvagyon osztályozási módszertan (kódneve: UNFC-2009) geotermikus energiára történő adaptálását végezte el (ECE 2013, EGRC 2014), és amelynek kialakításában, nemzeti esettanulmányok kidolgozásában a hazai kutatók a kezdetektől fogva részt vettek (ECE 2016, 2017). A módszertan felülvizsgálatára 2020-ban került sor (ECE 2020). A UNFC osztályozás alapja egy háromdimenziós rendszer, melynek tengelyei az adott projekt gazdasági-társadalmi életképességét, illetve a szabályozási környezetet és a környezeti aspektusokat (E tengely), a projekt műszaki megvalósíthatóságát (F tengely), valamint a vagyonbecslés megbízhatóságát

(G tengely) jellemzik. A G kategóriák megfeleltethetőek a rezervoár modellezésben is gyakran alkalmazott valószínűségi becslési módszertan (pl. Monte Carlo szimuláció) P90, P50, P10 értékeinek. E tényezők alapján az előzetesen meghatározott (számszerűsített) nyersanyagmennyiség egy háromjegyű kóddal jellemezhető (E, F, G kategóriák), amely nyelvtől és szóhasználatától függetlenül használható bárhol a világon (12. ábra). Az adott kategóriákkal jellemezhető osztályokba történő besorolás egy megadott időpontra vonatkozik, így az adott E, F, G kategóriák besorolása a projekt életciklusa során (pl. kutatás/kitermelés) értelemszerűen változik. Az elmúlt években több kísérlet is történt a UNFC osztályozási rendszer hazai alkalmazhatóságának tesztelésére (NÁDOR 2016, NÁDOR & ZILÁHI-SEBESS 2016) a frissített módszertan (UNFC-2019) tesztelése jelenleg is zajlik.

A másik fontos kérdéskör, amely a jövőbeli geotermikus projektek számának növekedése szempontjából meghatározó, a geotermikus energia kutatási és kitermelési kockázatainak csökkentése, illetve a fennmaradó kockázatok kezelése. A kockázati elemek (földtani, fűréstechnikai, környezeti, jogi stb.) közül is a legjelentősebb a földtani kockázat, amely a felszín alatti tér ismertségének bizonytalanságából adódik.

Noha Magyarország mélyföldtani és geotermikus viszonyai a több ezer földtani mélyfúrásnak és szénhidrogén-kutató fúrásnak, a közel 1700 aktív, illetve inaktív termálkútnak és azok részletes hidrogeológiai adatainak, a több tízezer km² 2D szeizmikus szelvénynek és sok ezer km² 3D szeizmi-



12. ábra. A UNFC-2019 osztályozási rendszer (ECE 2020)

Figure 12. The UNFC-2019 classification scheme (ECE 2020)

kus adattömbnek, a nagyszámú egyéb geofizikai mérésnek (karotázások, magnetotellurikus mérések stb.) köszönhetően világviszonylatban is jól ismertnek mondhatók, a geotermikus energia kutatása és kinyerése továbbra is kockázatos tevékenységnek számít. Különösen igaz ez a nagyobb mélységben elhelyezkedő karsztos repedezett tárolók feltárására, ahol a magas hőmérséklet mellett egy nagy permeabilitású törésvonal pontos megtalálása is alapvető a szükséges vízhozamok biztosításához (lásd pl. a sikeres miskolci és győri projektek).

A geotermikus projektek esetén a hosszú (minimum 30–50 év) élettartam mellé általában hosszú megtérülési idő tartozik (12–15 év). A magas kezdeti tőkeigényhez (költséges kutatások és mélyfúrások), ugyanakkor alacsony és jól tervezhető működési költségek tartoznak. A geotermikus kockázatkezelés egyik fő paradoxonja, hogy a kutatási fázis a legdrágább (költséges kutatási módszerek, valamint az első mélyfúrás lemélyítése), és kedvezőtlen módon egyben a legkockázatosabb is, hiszen az első kutatófúrás sikerességét kezdetben még nagymértékben befolyásolja a felszín alatti térrész ismeretlen volta. A helyzet hasonló a szénhidrogén-kutatáshoz azzal a különbséggel, hogy a sikeres geotermikus projekt esetén is a befektetett tőke megtérülése (*ROI – Return on Investment*) sokkal lassabb, mint a szénhidrogén esetében, továbbá a befektető – gyakran a hasznosító maga – legtöbbször ezzel az egy projekttel rendelkezik, azaz nincs lehetősége más nyereséges projektekből kitermelni az esetlegesen sikertelen projektbe fektetett összeget. Ezen okok miatt nagy tőkeigényű és magas kockázatú geotermikus projektek kivitelezésébe kevés befektető vág bele, illetve ugyanezen szempontok alapján pénzügyi intézetek sem szívesen nyújtanak hiteleket ilyen projektekhez. Ezen felismerés alapján Európa több országában már sikeresen működnek geotermikus kockázatkezelő garanciaalapok (BOISSAVY 2020). Működésük sarokpontja, hogy a biztosítási szerződés megkötésekor a projektfejlesztő és a kockázati alapkezelő/biztosító részletesen rögzítik – több egyéb mellett – a sikeresség/sikertelenség kritériumait és a fedezet mértékét. A biztosítási szerződéskérelmek elbírálása, illetve a konkrét káresemények biztosítási ügyintézése független külső szakértők tevékenységén alapul, bár az alap működtetését állami szervek felügyelik. A biztosítási összeg folyósítására akkor kerül sor, ha a fúrás az előzetesen meghatározott technikai paramétereket (elsősorban elvárt hozam és hőmérséklet) nem, vagy csak részben produkálja.

Jelenleg a magyar kormány is megtette az első lépéseket egy ilyen alap felállítására. A hazai geotermikus garanciaalap kezelői rendszer kialakítása, az ezt támogató szakértői testület felállítása minden bizonnyal az elkövetkező évek egyik legnagyobb szakmai kihívása lesz. Itt jegyezzük meg, hogy a geotermikus projektek kockázatának nemzeti szintű kezelése először Svájcban merült fel több mint 30 évvel ezelőtt (RYBACH et al. 1988, RYBACH 2005)!

A geotermikus projektek földtani kockázata nagymértékben csökkenthető a felszín alatti térrész ismeretességének növelésével. Ebben nagy előrelépést jelent a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat munkatársai által 2020-

ban elkészített Országos Geotermikus Rendszer (OGRe) amely egységes szerkezetben, egy könnyen kezelhető és mindenki számára elérhető internetes felületen keresztül szolgáltat áttekinthető léptékű, hiteles és naprakész földtani, vízföldtani, geofizikai információkat, adatokat az ország geotermikus energiavagyonával kapcsolatban magyar és angol nyelven (<https://map.mbfisz.gov.hu/ogre>). A portál fő részét képező interaktív webes térképi rendszer alapvetően különböző, ebből a célból speciálisan szerkesztett országos térképek (pl. a legjelentősebb termálfúró képződmények mélybeli elterjedését határoló földtani szintek, a hőmérsékletviszonyokat jellemző izoterma térképek, a különböző típusú potenciális geotermikus rezervoárok mélybeli elterjedését mutató térképek stb.); pontszerű elemek (pl. hévízkutak, egyéb fúrások, már megvalósult geotermikus projekt helyszínei stb.); illetve területi sokszögek (pl. termálfúrtések, koncessziós területek stb.) halmazából áll, amelyek különböző tematikus rétegcsoportokba rendezve tetszés szerint jeleníthetők meg, illetve egymással kombinálhatók.

Következtetések

A geotermikus energia megbízható, időjárás-független, helyben rendelkezésre álló, részlegesen megújuló energiaforrás. Használatához jelentős gazdasági és környezeti előnyök társulnak különösen fűtés, hűtés terén. Hazánk energiamegterjedésében a fűtés-hűtési célú energiafelhasználás túlnyomó része, közel 90%-a földgáz alapú. Mivel Magyarország geotermikus adottságai kiválóak – különösen hidrotermális rendszerek telepítésére – a geotermikus energia fokozott hasznosításával számottevően csökkenthető lenne a földgázimport (KURUNCZI 2017). A mély geotermikus potenciál Magyarországon óvatos becslések szerint is 65–70 PJ/év, míg a sekély mélységű, hőszivattyús technológia további 30–40 PJ/év mennyiségű földhő hasznosítási lehetőségét prognosztizálja (ZILAHÍ-SEBESS et al. 2012). Ezt összevetve a jelenlegi 6 PJ/év körüli geotermikusenergia-hasznosítással egyértelműen kijelenthetjük, a hazai fűtés-hűtés üzletágban a sekély és mély geotermikus energiának kulcsszerepe lehet, amit a Nemzeti Energiastratégia is hangsúlyoz.

A geotermikus energia hordozóközegét jelentő termálfúró készleteink viszont végesek. A termelést csak úgy lehet fenntartható módon fokozni, ha a lehűlt vizet a rezervoárba visszasajtoljuk. Ugyanakkor a geotermikusenergia-felhasználás növelése a jelenlegi hasznosítási hatékonyság javításával, a kaskád rendszerek elterjesztésével is nagymértékben elősegíthető.

Hazánk földtani adottságai lehetővé teszik villamosáram-termelő erőművek létesítését is, melyek 1 MW_e villamosáram előállításánál során kapcsoltan kb. 4–8 MW_{th} hő képesek szolgáltatni. A villamosáram-termelésre alkalmas, 120–130 °C-nál magasabb hőmérsékletű hévíztározók zömme 2500 m-nél mélyebben található, ezek hasznosítása koncesszió keretében lehetséges. Fontos megjegyezni, hogy gazdasági és környezeti értelemben fenntartható geotermikus projekthez három tényezőnek kell együttesen teljesülnie:

alkalmas földtani, hidrogeológiai adottságok, megfelelő méretű és szerkezetű (hő)piac, valamint stabil, kiszámítható gazdasági, jogi környezet. Az első kettővel rendelkezünk, míg utóbbi tekintetében még van hová fejlődünk. Gazdasági szempontból a kockázati alap folyamatban lévő létrehozása jelentősen javíthatja a geotermikus szektor tőkevonzó képességét.

A hazai kutatások eredményessége végső soron a sikeres projektek létrejöttében nyilvánul meg, melynek meghatározó további feltétele a széles körű kivitelező és szerviz szektor megléte. Sajnos a hazai geotermikának ez a lába sánta. Bár vannak felkészült, fejlődésre képes építő-szolgáltató vállalkozások – melyeknek a bemutatott sikeres projekteket köszönhetjük – a rendszerváltást követően ezen a téren inkább leépülés volt tapasztalható. A hazai geotermikusenergia-potenciál jobb kihasználásához nagy szükség lenne a fűrésszel, kútkiképzéssel, korszerű üzemeltetéssel foglalkozó, a világ élmezőnyébe tartozó felszíni és felszín alatti technológiákat fejleszteni és alkalmazni képes

vállalkozások támogatására. Továbbá egy olyan állami vagy képviselői joggal felruházott civil szervezetre, mely probléma esetén képes széles körű segítséget nyújtani a geotermikus energiát hasznosítók számára, különösen önkormányzatok esetén. Nagy lehetőség rejlik a szénhidrogén-ipar és a geotermikus szektor szorosabb együttműködésében, főleg a tapasztalatok átadásában és az adatbázisok összehangolásában. Szerencsére ezen az úton már elindultunk, reményeink szerint jó irányba! Ha már jeles elődeink, korukat megelőzve, Magyarországot Európa geotermikus energiát hasznosító mintaadó országává tették, ezt az imázst újra kell építenünk.

Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönetünket fejezzük ki RYBACH Lászlónak, LEMBERKOVICS Viktornak és az anonim lektornak, valamint SZTANÓ Orsolya főszerkesztőnek értékes tanácsaikért.

Irodalom – References

- ÁDÁM B., SZANYI J., BENCsik A., BOZSÓ G. & PINJUNG, ZS. 2019: A decentralizált geotermikus hőellátás és a hőszivattyúzás aktuális kérdései. – *Magyar Tudomány* **180/12**, 1808–1821. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.12.7>
- ÁDOK J. 2012: Geotermikus fűtési rendszerek az önkormányzatok szemszögéből, egy működő rendszer tapasztalatai. – „A geotermikus alapú távfűtő rendszerek elősegítése Európában – GeoDH” projekt nemzeti munkaiülése, 2012. december 3., Budapest.
- ALFÖLDI L. 1965: Budapest hévízkutatási kérdései. – *Vízügyi Közlemények* **47/3**, 304–327.
- ALFÖLDI L. 1981: A budapesti geotermikus rendszer áramlási modellje. – *Hidrologiai Közöny* **61/9**, 397–403.
- ALFÖLDI L. & KAPOLYI L. (szerk.) 2007: *Bányászati karsztvízszint süllyesztés a Dunántúli középhegységben*. – Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutatóintézet, 138 p. ISBN 978-963-9545-15-1
- ALMÁSI, I. 2001: Petroleum Hydrogeology of the Great Hungarian Plain, Eastern Pannonian Basin, Hungary. – *PhD thesis*, University of Alberta, Canada, 312 p.
- ALMÁSI, I. & SZANYI, J. 2021: Hydrogeology of the Pannonian Basin. In: CHERRY, J. (ed.): *The Groundwater Project and eBooks – Important Aquifer Systems Around The World*. (in press)
- ÁRPÁSI M. 1993: Az ország geotermális lehetőségeinek felmérése – különös tekintettel az olajipar érdekeltiségeire. – *Tanulmány*, MOL Rt.- OGIL, Budapest, 175 p.
- ÁRPÁSI M. 2015: Geovillamos áramtermelés – Forrásoldali lehetőségek Magyarországon. 88 p. <https://docplayer.hu/2757779-Arpasi-miklos-geovillamos-aramtermeles-a-forrasoldali-lehetosegek-magyarorszagon-2015-majus.html>
- BAJCSI, P., BOZSÓ, T., BOZSÓ, R., MOLNÁR, G., TÁBOR, V., CZINKOTA, I., M. TÓTH, T., KOVÁCS, B., SCHUBERT, F., BOZSÓ, G. & SZANYI, J. 2015: New geothermal well-completion and rework technology by laser. – *Central European Geology* **58/1–2**, 88–99. <https://doi.org/10.1556/24.58.2015.1-2.6>
- BÉLTEKY, L. et al. (szerk.) 1965, 1971, 1977: Magyarország hévízkútjai. – Hévízkútkataszter I–III. VITUKI kiadása, Budapest.
- BOBOK, E. 2012: Comparison of geothermal energy production technologies. – *Geosciences & Engineering* **1/1**, 29–35.
- BOBOK E. & TÓTH A. 2007: Geotermikus energiatermelő rendszerek hőveszteségeinek minimalizálása. – *OTKA-42785 kutatási zárójelentés*.
- BOBOK E. & TÓTH A. 2010a: A geotermikus energia helyzete és perspektívái. – *Magyar Tudomány*. **171/8**, 926–936.
- BOBOK E. & TÓTH A. 2010b: *Tűlnyomásos tárolók művelésének lehetőségei*. – Miskolci Egyetem, Gázmérnöki Intézeti Tanszék kiadványa 14 p.
- BOCH, R., SZANYI, J., LEIS, A., MINDSZENTY, A., DEÁK, J., KLUGE, T., HIPPLER, D., DEMÉNY, A. & DIETZEL, M. 2016: Geothermal Carbonate Scaling: Forensic Studies Applying High-Resolution Geochemical Methods, – In: [European Geothermal Energy Council] (szerk.) *European Geothermal Congress 2016, Bruxelles, Belgium: European Geothermal Energy Council*, Paper: S-GC-111, p. 10.
- BOISSAVY, C. 2020: Report reviewing existing insurance schemes for geothermal. – *GeoRISK project*. https://www.georisk-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/D3.1_Report-reviewing-geothermal-risk-mitigation-schemes-v2.pdf
- BOLDIZSÁR T. 1967: Terrestrial Heat and Geothermal Resources in Hungary. – *Bulletin Volcanologique* **30/1**, 221–227. <https://doi.org/10.1007/bf02597670>
- BOLDIZSÁR T. & GÓZON J. 1965: *A geotermikus energia hasznosítása*. – Műszaki Könyvkiadó, 191 p.

- BONCZ, L., SÓREG, V., BALÁZS, E-né, LUX, M., KLEMENIK, R. B., KRUSOCZKI, T. GY., PUSZTAI, J., SZÁSZFAI, J., TOMCSÁNYI, T. & MILANKOVICS, A. 2013: Zárójelentés a 138. Monor területen végzett szénhidrogén-kutatási tevékenységről. MOL Nyrt. – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest.
- DANKO, G., JOBBIK, A., BARACZA, M. K., VARGA, G., KOVACS, I. & WITTIG, V. 2019: Demonstration Tests of a Robust Engineered Geothermal System. – *Proceedings, 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*, Stanford, California, February 11–13, 2019 SGP-TR-214
- DOBOS, I., MARTON, L. & SZLABÓCZKY, P. 2013: History of Hungarian Hydrogeology. – In: HOWDEN, N. & MATHER, J. (eds.) *History of Hydrogeology*. IAH, CRC Press, 117–125, <https://doi.org/10.1201/b12766-11>
- DOMBI, S. 1766: Relatio de minaralibus incltyti comitatus Borsodiensis aquis. – *Jelentés a nemes Borsod vármegye ásványvizeiről*. Bader Imre Félix kiadása, Bécs.
- DÖVÉNYI P. 1994: Geofizikai vizsgálatok a Pannon-medence litoszféra fejlődésének megértéséhez. – *Kandidátusi értekezés*, ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest, 120 p.
- DÖVÉNYI, P. & HORVÁTH, F. 1988: A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data for the Pannonian Basin. – In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin; a study in basin evolution*. – *American Association of Petroleum Geologists Memoir* **45**, 195–233.
- DÖVÉNYI, P., HORVÁTH, F. & DRAHOS, D. 2002: Geothermal thermic map (Hungary). – In: HURTER, S. & HAENEL, R. (eds): *Atlas of geothermal resources in Europe*. Office for Official Publications of the European Communities (Luxembourg): **267**, Publication No. EUR 17811.
- ECE (Economic Commission for Europe) 2013: United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 incorporating Specifications for its Application. – United Nations Publication, *ECE Energy Series* **42**, ISBN 978-92-1-117073-3, 2013.
- ECE (Economic Commission for Europe) 2016: Draft Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources. – *ECE/ENERGY/GE.3/2016/6* https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrm/egrc7_apr2016/ECE.ENERGY.GE.3.2016.6_e.pdf
- ECE (Economic Commission for Europe) 2017: Application of the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) to Geothermal Energy Resources, Selected case studies. – *Energy Series* **51**. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOTH/1734615_E_ECE_ENERGY_110_WEB.pdf
- ECE (Economic Commission for Europe) 2020: United Nations Framework Classification for Resources, Update 2019. – *Energy Series* **125** https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/UNFC_ES61_Update_2019.pdf
- EGEC 2017, 2018, 2019: Market report
- EGRC 2014: Specifications for the Application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Renewable Energy Resources. – http://www.unece.org/energy/se/unfc_2009.html
- EN SZ 2010: Az ENSZ fosszilis energiahordozó- és ásványi nyersanyagkészletre és -vagyona vonatkozó osztályozási keretrendszere. (Ford: Sári Katalin, 2013). – *Kézirat*, MFGI adattár, Budapest. https://unece.org/DAM/energy/images/UNFC_Reserv/EGRC/UNFC_2009_Hungarian.pdf
- ERDÉLYI M. 1979: A magyar medence hidrodinamikája. – *VITUKI közlemények* **18**, 82 p.
- ERDÉLYI, M. 1985: Geothermics and the deep flow-system of the Hungarian Basin. – *Journal of Geodynamics* **4**, 321–330. [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(85\)90067-5](https://doi.org/10.1016/0264-3707(85)90067-5)
- European Technology and Innovation Platform on Deep Geothermal (ETIP-DG) 2019: *Strategic research and innovation agenda Brussels, April 2019*. – http://www.etip-dg.eu/front/wp-content/uploads/SRIA_ETIP-DG_web-1.pdf
- FÖLDEÁKI B. 1972: Súlyos bűn, súlyos ítélet. – *Szabad Föld*, 1972. július–december (**28/27–53.**) **1972-07-16/29.** szám.
- HORVÁTH F. & BADA G. (szerk.) 2006: A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. – *Magyar Geofizika* **47**, 133–137. http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm
- HORVÁTH, F., MUSITZ, B., BALÁZS, A., VÉGH, A., UHRIN, A., NÁDOR, A., KOROKNAI, B., PAP, N., TÓTH, T. & WÓRUM, G. 2015: Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. – *Geothermics* **53**, 328–352, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.009>
- HORVÁTH J., KORONCZ P., FEDOR F. & HLATKI M. 2013: Felső-pannon konszolidálatlan homokkővek kőzetfizikai, kőzetmechanikai vizsgálata. – *Mérnökgeológia–Kőzetmechanika*, 229–240.
- JUHÁSZ I., BÁNYAI P., HAMZA I., RMAN N., KUMELJ S., MOZETIC S. & NÁDOR A. 2013: Hévízhasznosítási helyzetkép a Mura–Zala medence területén a 2009. december 31-i állapotra – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi jelentése, 2011*, 93–102.
- KALMÁR, L., MEDGYES, T. & SZANYI, J. 2020: Specifying boundary conditions for economical closed loop deep geothermal heat production. – *Energy* **196**, Publication no. 117068. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117068>
- KESSLER H. 1956: A karsztos hévforrások utánpótlásának kérdése. – *Hidrológiai Közlemény* **2**, 127–128.
- KIS K. & FÖRGETEG L. 2017: A Szent Erzsébet Mórahalmi Gyógyfürdő helyi gazdaságfejlesztési szerepének értékelése. – *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok* **12/1–2**, 9–41
- KOMLÓS F., FODOR Z., KAPROS Z., VAJDA J. & VASZIL L. 2009: *Hőszivattyús rendszerek (Heat Pump Systems)*. – Magánkiadás, ISBN: 9789630675741, 215 p.
- KORIM, K., 1972: Geological aspects of thermal water occurrences in Hungary. – *Geothermics* **1**, 96–102., [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(72\)90034-x](https://doi.org/10.1016/0375-6505(72)90034-x)
- KOVÁCS, B., CZINKOTA, I., SZANYI, J., BOZSÓ, T., M. TÓTH, T. & BUSUTTIL, L. 2014: The permeability of laser drilled laterals in sandstone reservoirs. – *Geosciences and Engineering*, **3/5**, 83–93.
- KOVÁCS Zs. (szerk) 2018: *Szénhidrogének Magyarországon*. – Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest, 317 p., ISBN 978-615-00-1393-0

- KÖRÖSSY L. 1988: A zalai-medencei kőolaj- és földgáz kutatás földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **23**, 3–162.
- KSH 2010: https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_fur001a.html
- KURUNCZI M. 2008: A visszasajtolás. A hőmezővársárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása. – *Geotermia a XXI. században szakmai fórum, Kistelek 2008*.
- KURUNCZI M. 2017: Hőenergia helyben – Mivel csökkenthető az import földgáz? – *Magyar Energetika* **2**, 18–21.
- LENKEY, L., DÖVÉNYI, P., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. A. P. L. 2002: Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. – *EGU Stephan Mueller Special Publications Series* **3**, 1–12. <https://doi.org/10.5194/smsps-3-29-2002>.
- LENKEY, L., ZSEMLE, F., MÁDL-SZÓNYI, J., DÖVÉNYI, P. & RYBACH, L. 2008: Possibilities and limitations in the utilization of the Neogene geothermal reservoirs in the Great Hungarian Plain, Hungary. – *Central European Geology* **51/3**, 241–252. <https://doi.org/10.1556/ceugeol.51.2008.3.6>
- LENKEY L., MIHÁLYKA J. & PARÓCZI P. 2021: Magyarország geotermikus viszonyainak áttekintése. – *Földtani Közlöny*, **151/1**
- LÉNÁRT L. 2019: A termálkarsztot elérő kutak, források és fúrások a Bükk térségben. – *Műszaki Földtudományi Közlemények. – A Miskolci Egyetem Közleményei* **88/1**, 86–93.
- LORBERER Á. 2004: *Adalékok a hazai hévízkutatás történetéhez. – Felszín Alatti Vizekért Alapítvány*, http://www.fava.hu/publikaciok/jubileumi_kiadvanyok/tanulmanyok_pdf/lorberer_heviz.pdf
- LORBERER Á., DERVADERICS M. B., LENGYEL Z. & MAGINECZ J. 2008: A Fábiansebestyén környezetében tervezett termálfűtési energetikai hasznosításának földtani megalapozása. – *Zárójelentés VITUKI Kht*.
- LUND, J. W. & TOTH, A. 2020: Direct Utilization of Geothermal Energy, a Worldwide Review. – *Proceedings, World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020*. <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01018.pdf>
- M. TÓTH T. 2008: Repedezett, metamorf fluidumtárolók az Alföld aljzatában. – *MTA Doktori Értekezés, Szeged*, 399 p.
- MADARÁSZ, T., HARTAI, É., KOLENCSEKÉ TÓTH, A., SZÜCS, P., FÖLDESSY, J., NÉMETH, N., SZANYI, J., OSVALD, M., MEDGYES, T. & KÓBOR, B. 2019: CHPM2030 – Novel concept of combined heat, power and metal extraction from geothermal brines; – In: *European Geothermal Congress 2019; Den Haag, Hollandia Paper 329*, 7 p.
- MÁDLNÉ SZÓNYI, J. 2006: *A Geotermikus Energia – Készletek – Kutatás – Hasznosítás. – Grafon Kiadó, Nagykövácsi*, 141 p. ISBN 963 218 058 5
- MÁDL-SZÓNYI, J. & TÓTH, Á. 2015: Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. *Hydrogeology Journal* **23**, 1359–1380. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1274-x>
- MÁDLNÉ SZÓNYI J., RYBACH L., LENKEY L. & HÁMOR T. 2008: *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon. – MTA, Budapest*, 105 p.
- MÁDLNÉ SZÓNYI J., ERŐS A., HAVRIL T., POROS Zs., GYÓRI O., TÓTH Á., CSOMA A., RONCHI P. & MINDSZENTY A. 2018: Fluidumok, áramlási rendszerek és ásványtani lenyomataik összefüggései a Budai Termálkarszton. – *Földtani Közlöny* **143/1**, 75–96. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2018.148.1.75>
- MAROS, G., ALBERT, G., SZEILER, R. B., FODOR, L., GYALOG, L., JOCHA-ÉDELÉNYI, E., KERCSMÁR, Zs., MAGYARI, Á., MAIGUT, V., MAROS, G., NÁDOR, A., OROSZ, L., PALOTÁS, K., SELMECZI, I., UHRIN, A., VIKOR, Zs., ATZENHOFER, B., BERKA, R., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A., HÖRFARTER, C., SCHUBERT, G., WEILBOLD, J., BARÁTH, I., FORDINÁL, K., KRONOME, B., MAGLAY, J., NAGY, A., JELEN, B., LAPANJE, A., RIFELJ, H., RIŽNAR, I. & TRAJANOVA, M., 2012: Summary Report of the Geological Models Transenergy Project. 189 p. (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>).
- MARTON L. 1982: Izotóphidrológiai modellek és számítási eljárások a felszín alatti vizek mozgásának tanulmányozásához. – *Hidrológiai Közlöny* **12**, 525–533.
- MEKH 2020: Geotermikus Budapest. – 125 p. ISBN 978-615-6137-00-5
- MEGYERY M. 1974: Vízbesajtoló kutak áramlástanai vizsgálatainak tapasztalatai. – *Bányászati és Kohászati Lapok. Kőolaj és Földgáz* **7 (107)** **8**, 237–243.
- MTA, MMK, MATÁSZSZ. MTT 2015: Települési hőellátás helyi energiával című konferencia állásfoglalása. – *Energiagazdálkodás* **56/5–6**, 65–66.
- NÁDOR A. 2016: A geotermikus energiavagyon nemzetközi osztályozási és jelentési rendszerei és a hazai adaptáció első lépései. – *Földtani Közlöny* **146**, 123–134
- NÁDOR, A. (ed.), 2019: *Cascades and calories: geothermal energy in the Pannonian Basin for the 21st century and beyond. – Faculty of Mining and Geology, Belgrade University (Belgrade)* 130 p.
- NÁDOR, A. & ZILAHÍ-SEBESS, L. 2016: Entering geothermal energy into the UNFC-2009 classification system: case studies of direct-use projects from Hungary. – *Extended abstracts, Proceedings, European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France, 19–24 September, 2016*.
- NÁDOR, A., LAPANJE, A., TÓTH, Gy., RMAN, N., SZÓCS, T., PRESTOR, J., UHRIN, A., RAJVER, D., FODOR, L., MURÁTI, J. & SZÉKELY, E. 2012: Transboundary geothermal resources of the Mura-Zala basin: a need for joint thermal aquifer management of Slovenia and Hungary – *Geologija* **55/2**, 209–224. <https://doi.org/10.5474/geologija.2012.013>
- NÁDOR, A., KUJBUS, A. & TÓTH, A. 2019a: Geothermal energy use, country update for Hungary. Extended abstracts, Proceedings, – *European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands, June 11–14, 2019*.
- NÁDOR, A., ZILAHÍ-SEBESS, L., ROTÁR-SZALKAI, Á., GULYÁS, Á. & MARKOVIC, T. 2019b: New methods of geothermal potential assessment in the Pannonian basin. – *Netherlands Journal of Geosciences* **98**, e10. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.7>
- NÁDOR A., GULYÁS Á. & MAIGUT V. 2020: Országos Geotermikus Rendszer (OGRe) – *Felhasználói kézikönyv*. https://map.mbfisz.gov.hu/ogre/melleklet/kezikonyv_hu.pdf
- OSVALD, M., SZANYI, J., MEDGYES, T. & KÓBOR, B. 2017: Geothermal energy developments in the district heating of Szeged. – *European Geologist* **43**, 30–33.

- OSVALD, M., KILPATRICK, A. D., ROCHELLE, C. A., SZANYI J., MEDGYES T. & KÓBOR B. 2018: Laboratory Leaching Tests to Investigate Mobilisation and Recovery of Metals from Geothermal Reservoirs, – *Geofluids Special issue*, Article ID 6509420, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2018/6509420>
- REZESSY G., SZANYI J. & HÁMOR T. 2005: Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának kialakításáról. – *Kézirat*, MGSZ, Budapest, 85 p.
- RMAN, N., GAL, N., MARCIN, D., WEIBOLD, J., SCHUBERT, J., LAPANJE, A., RAJVER, D., BENKOVÁ, K. & NÁDOR, A. 2015: Potentials of transboundary thermal water resources in the western part of the Pannonian basin – *Geothermics* **55**, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.01.013>
- RMAN, N., BÁLAN, L. L., BOBOVEČKI, I., GÁL, N., JOLOVIĆ, B., LAPANJE, A., MARKOVIĆ, T., MILENIĆ, D., SKOPLJAK, F., ROTÁR SZALKAI, Á., SAMARDŽIĆ, N., SZÓCS, T., ŠOLAJA, D., TOHOLI, N., VIJDEA, A. M. & VRANJEŠ, A. 2020: Geothermal sources and utilization practice in six countries along the southern part of the Pannonian basin. – *Environmental Earth Sciences* **79/1**, Article number: 1 (2020), <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8746-6>
- ROTÁR-SZALKAI, Á., NÁDOR, A., SZÓCS, T., MAROS, GY., GOETZL, G. & ZEKIRI, F. 2017: Outline and joint characterization of transboundary geothermal reservoirs at the western part of the Pannonian basin. – *Geothermics* **70**, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.05.005>
- ROTÁR-SZALKAI, Á., MAROS, GY., BEREZKI, L., MARKOS, L., BABINSZKI, E., ZILAH-SEBESS, L., GULYÁS, Á., KUN, É., SZÓCS, T., KERÉKGYÁRTÓ, T., NÁDOR, A., RAJVER, D., LAPANJE, A., ŠRAM, D., MARKOVIĆ, T., VRANJEŠ, A., FARNOAGA, R., SAMARDŽIĆ, N., HRVATOVIĆ, H., SKOPLJAK, F. & JOLOVIĆ, B. 2018: Identification, ranking and characterization of potential geothermal reservoirs. – *Report of the DARLINGE project*: 82 p. <https://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge/outputs>
- RYBACH, L. 2005: Die Schweizer Risikodeckung für Geothermiebohrungen – Ausgestaltung und Erfahrungen. – In: *Geothermische Jahrestagung 2005 «Geothermie: Synergie und Effizienz» – Tagungsband Geothermische Vereinigung e.V., 16–17. November 2005, Unterschleißheim/D*, 18–23. ISBN 3-932570-53-7
- RYBACH, L. 2010: “The Future of Geothermal Energy” and its Challenges. – *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010*, <http://globalatlas.irena.org/UserFiles/Publication/The%20future%20of%20Geothermal%20Energy%20and%20Challenges.pdf>
- RYBACH L. 2019: A geotermikus energia helyzete világszerte. – *Magyar Tudomány* **180/12**, 1760–1771. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.12.2>
- RYBACH, L. & STEGENA, L. (eds) 1979: *Geothermics and Geothermal Energy*. – Springer Basel AG, 341 p. ISBN 978-3-0348-6525-8
- RYBACH, L., FEHR, A. & ROUX, D. 1988: The Swiss system of governmental risk coverage for geothermal drilling. – In: *Communications/Proceedings JIGASTOCK 1988, Paris*, **1**, 19–21.
- SZANYI J. 2015: Felszín alatti vizek mennyiségi állapotának meghatározása, 6-5-2 háttéranyag, Az alföldi termál víztesteken kialakult süllyedések szakértői elemzése. – *Vízgyűjtő gazdálkodási Terv 2015*. (<http://vizeink.hu/>)
- SZANYI, J. & KOVÁCS, B., 2010: Utilization of geothermal systems in South-East Hungary. – *Geothermics*, **39**, 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2010.09.004>
- SZANYI, J., KOVÁCS, B. & SCHAREK, P. 2009: Geothermal Energy in Hungary: potentials and barriers. – *European Geologist* **27**, 15–19.
- SZANYI, J., KURUNCZI, M., KÓBOR, B. & MEDGYES, T. (szerk.) 2013: Korszerű technológiák a termálvíz visszasajtolásban: Kutatási eredmények és gyakorlati tapasztalatok. – *InnoGeo Kft. Szeged, Magyarország*, 202 p.
- SZANYI, J., OSVALD, M., MEDGYES, T., KÓBOR, B., M. TÓTH, T., MADARÁSZ, T., KOLENCSEKNÉ TÓTH, A., DEBRECZENI, Á., KOVÁCS, B., VÁSÁRHELYI, B. & B. ROZGONYI-BOISSINOT, N. 2017: Fracture enhancement in structures using a variety of laboratory experiments, – In: *Recommendations for Integrated Reservoir Management: CHPM2030 Deliverable D2.1* 41–68.
- SZETÁV Kft. 2019: Épülő Szegedi Geotermikus távhő rendszer vázlatrajza a tervezett kutak és hőközpontok helyének feltüntetésével – <https://www.szetav.hu/rolunk/projektjeink.html>
- SZITA G. 2014: Geotermikus gyorsítás Veresegyházon. – *Előadás, MMK Geotermikus Szakosztály Szakmai Nap* – 2014. május 29. http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/201406/szitagabor_eloadasa_20140529.pdf
- SZÓCS, T., RMAN, N., ROTÁR-SZALKAI, Á., TÓTH, GY., LAPANJE, A., CERNAK, R. & NÁDOR, A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.004>
- SZÓKE Sz. 2016: Veresegyház: új termelő kút, új fogyasztók. – *Földhő Hírlevél* **52–53**, 8–9.
- SZÜCS P., FEJES Z., ZÁKANYI B., FEKETE Zs., SZÁRNYA G., HARTAI É., TURAI E., GYULAI Á., SZABÓ N. & CSERNY T. 2014: Ásvány-, gyógy- és hévizek a Tokaji-hegységben. – In: *A Kárpát-medence ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda*; 32–39. ISBN: 978-973-7625-63-2;
- TESTER, J. W., ANDERSON, B. J., BATCHELOR, A. S., BLACKWELL, D. D., DIPPO, R., DRAKE, E. M., GARNISH, J., LIVESAY, B., MOORE, M. C., NICHOLS, K., PETTY, S., TOKSOZ, M. N. & VEATCH, R. W. 2006: “The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century.” – Cambridge, MA, INL/EXT-06-11746.
- THAN K. 1890: Az ásványvizeknek kémiai constitúciójáról és összehasonlításáról. – *Értekezések a természettudományok köréből* **20/2**, 1–47.
- TÓTH A. 2016: Magyarország geotermikus felmérése. – *A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest*, 2. kiadás, 179 p. ISBN 978-963-12-7112-8.
- TÓTH Gy. 2017: A Hévízi-tó vízgazdálkodási helyzete. – *Baltoni Részvízgyűjtő Vízgazdálkodási Tanács ülése* 2017. május 10. http://vpf.vizugy.hu/reg/kdvtvizig/doc/Heviz_vizgazdalkodasi_helyzet_2017_05_10_TGy.pdf
- TÓTH Gy., HORVÁTH I., MURÁTI J., ROTÁRNÉ SZALKAI Á., SZÓCS T. & VETŐ I. 2010: XL Pannon hidrogeológiai modell fejlesztése és lehetőségei a vízgyűjtő gazdálkodásban. – *XVII Konferencia a felszín alatti vizekről. Siófok 2010 március 24–25*. http://www.fava.hu/siofok2010/eloadasok/1nap/1115_tothy_horvathI_murati_j_rotarnesza_szucst_vetoI.pdf

- TÓTH, GY., RMAN, N., ROTÁR-SZALKAI, Á., KERÉKGYÁRTÓ, T., SZÓCS, T., LAPANJE, A., ČERNÁK, R., REMSÍK, A., SCHUBERT, G. & NÁDOR, A. 2016: Transboundary fresh and thermal groundwater flows in the west part of the Pannonian Basin. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 439–454. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.021>
- TÓTH J. 1963: A Theoretical Analysis of Ground-Water Flow in Small Drainage Basins. – *Journal of Geophysical Research* **68/16**, 4795–4812.
- TÓTH, J. & ALMÁSI, I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. – *Geofluids* **1/1**, 11–36. <https://doi.org/10.1046/j.1468-8123.2001.11004.x>
- VARGA, A., BOZSÓ, G., GARAGULY, I., RAUCSIK, B., BENCSEK, A. & KÓBOR, B. 2019: Cements, Waters, and Scales: An Integrated Study of the Szeged Geothermal Systems (SE Hungary) to Characterize Natural Environmental Conditions of the Thermal Aquifer. – *Geofluids Special issue*, Article ID 4863814. <https://doi.org/10.1155/2019/4863814>
- VARGA, G., FISER-NAGY, Á. & FANCSIK, T. 2020: Analysis of time-dependent filtration utilising measurements made on sandstone samples. – *European Geologist Journal* **46**, 24–29.
- VASS, I., M. TÓTH, T., SZANYI, J. & KOVÁCS, B. 2018: Hybrid numerical modelling of fluid and heat transport between the overpressured and gravitational flow systems of the Pannonian Basin. – *Geothermics* **72**, 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.11.013>
- ZILÁHI-SEBESS L., MERÉNYI L., GULYÁS Á., PASZERA GY., TÓTH GY., BODA E. & BUDAI T. 2012: Nemzeti Energiastratégia, Készletgazdálkodási és hasznosítási cselekvési terv. – Nyersanyag készletek, A hazai ásványi nyersanyag-potenciál, 5. Geotermikus energia. – *Kézirat Háttér tanulmány*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 84 p.
- ZSIGMONDY V. 1865: *Bányatan kiváló tekintettel a kőszénbányászatra. Első rész [unicus]: A kutatás, fúrászat, s az artézi kutak.* – Pest, Osterlamm Károly bizománya, 182 p.
- ZSIGMONDY V. 1871: *Tapasztalataim az artézi szökőkutak fúrás körül.* – Pest, Hoffmann és Molnár, 46 p.
- ZSIGMONDY V. 1874: A Buziási gyógyfürdő és az ott legújában véghezvitt fúrások. – *Földtani Közöny* **6–7**, 159–170.
- ZSIGMONDY V. 1879: A városligeti artézi kút Budapesten. – *Földtani Közöny* **9**, 128–131.

Kézirat beérkezett: 2020. 09. 04.