

- FDIC [Federal Deposit Insurance Corporation] (2006): *FDIC Outlook: Breaking New Ground in Mortgage Lending*. • [http://www.fdic.gov/bank/analytical/regional/ro20062q/na/2006\\_summero4.html](http://www.fdic.gov/bank/analytical/regional/ro20062q/na/2006_summero4.html)
- Grant, James (2008): After the Crash. *Foreign Affairs*. 11–12, 67–87.
- Hamecz István (2009): A pénzügyi válság mechanizmusa, *Köz-gazdaság Tudományos Füzetek*. 1, 5–12.
- Király Júlia–Nagy M. – Szabó E. V. (2008): Egy különleges eseménysorozat elemzése – a másodrendű jelzáloghitel-piaci válság és (hazai) következményei. *Közgazdasági Szemle*. LV, júl.–aug., 573–621.
- Magas István (2008): Megtakarítások és külső finanszírozás az amerikai gazdaságban, a hitelpiaci válság háttere, 1997–2007. *Közgazdasági Szemle*. LV, november, 987–1009.
- Magas István (2007): *Globalizáció és nemzeti piacok*. Napvilág, Budapest
- OECD [Organization for Economic Cooperation and Development] (2007): *Survey of Investment Regulation of Pension Funds*. • <http://www.oecd.org/dataoecd/56/71/38969997.pdf>

- Phelps, Edmund S. (2008a): We Need to Recapitalize the Banks, *The Wall Street Journal*. 1 October. • <http://online.wsj.com/article/SB122282719885793047.html>
- Phelps, Edmund S. (2008b): What Has Gone Wrong up until Now. Nobel Economists Offer First Aid for Global Economy. *Spiegel International Online*. 11 December. • <http://www.spiegel.de/international/world/0,1518,590030,00.html>
- Smith, Vernon L. (2008): There is No Easy Way out of the Bubble. *The Wall Street Journal*. 9 October. • <http://online.wsj.com/article/SB122351051370717359.html>
- SEC [U. S. Securities and Exchange Commission] (2008): Summary Report of Issues Identified in the Commission Staff's Examination of Select Credit Rating Agencies, [www.sec.gov/news/studies/2008/craexamination070808.pdf](http://www.sec.gov/news/studies/2008/craexamination070808.pdf)
- Varadarjan Turku (2009): Nouriel Roubini Says: Nationalizing Bank's Is Market Friendly Solution, *The Wall Street Journal*. 21 February. [www.online.wsj.com/article/SB123517738034337079.html](http://www.online.wsj.com/article/SB123517738034337079.html)



## FEJLŐDÉSI LEHETŐSÉGEK A GEOTERMİKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSÁBAN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A HAZAI ADOTTSÁGOKRA Egy, az MTA számára készített tanulmány margójára...

Mádlné Szőnyi Judit

PhD, ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Int.,  
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék  
szjudit@ludens.elte.hu

Rybach László

az MTA külső tagja  
Geowatt AG, Svájc

Lenkey László

PhD, MTA–ELTE Geológiai Geofizikai  
és Űrtudományi Kutatócsoport

Hámor Tamás

PhD,  
Magyar Bányászati és Földtani Hivatal

Zsemle Ferenc

egyetemi tanársegéd  
ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

### 1. Előzmények, célkitűzések és visszhangok

Az MTA Elnöki Titkársága 2008 januárjában adott felkérést egy független szakértői bizottság felállítására annak érdekében, hogy – a Magyar Tudományos Akadémia nevében a kormány számára, 2008 márciusára – *stratégiai javaslatot* készítsen a geotermikus energia hazai hasznosításának elősegítésére. A munka eredményeképpen létrejött tanulmány – a megbízó szándéka szerint – átfogó forrásértékelésen, elemzésen és a következtetések levonásán alapult, kutatás nem alapozta meg. A

közreműködő geofizikus, geológus, hidrogeológus szakemberek mellett nem volt lehetőség további szakértők, például rezervoár mérnök, energetikus vagy közgazdász bevonására, így ezek a szakterületek érintőlegesen kerültek elemzésre. Az előtanulmány 2008. március 14-én nyílt vitában elfogadásra került a Magyar Tudományos Akadémián. Az ott elhangzott javaslatok egy *ad hoc* bizottság – Pápay József akadémikus és Alföldi László, az MTA doktora – közreműködésével kerültek a dolgozatba beépítésre. *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helye-*

*te, jövőbeni lehetőségei Magyarországon* című tanulmányt véglegesítése után az Elnöki Titkárság eljuttatta a Miniszterelnöki Hivatalba.

A szakmai szervezetek érdeklődése a dolgozat és a benne foglaltak iránt azonnal megmutatkozott, előadói meghívások, energetikai szaklapokban történő publikálás formájában. A felkérést adó Miniszterelnöki Hivatalból nem, a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztériumból viszont érkezett jelzés a tanulmányra. Idézet Forgács Barnabás szakállamtitkár 2008. május 19-én kelt leveléből: „Miniszterelnök úr tavaly (szerk. 2007) ősszel, vidéki útja során, ígéretet tett, hogy megvizsgálhatja – a Szentés környéki termálvizet hasznosító kertészek kérésének megfelelően – a termálvíz visszasajtolásának szükségességét, különös tekintettel más uniós országok gyakorlatára.”

Leszögezhető, hogy az elkészült áttekinthető geotermikus tanulmány – kielégítő műszaki tudományos vizsgálatok hiányában – a termálvíz-visszasajtolás kérdésének megítéléséhez csak bizonyos ajánlásokat tud nyújtani. Azaz, annak eldöntéséhez, hogy hol és mikor szükséges, illetve kerülhető el egy-egy helyen a termálvíz-visszasajtolás, további, általában támogatott kutatások szükségesek. E kérdés megválaszolása hosszabb távon azért sem kerülhető meg, hiszen termálvíz-készleteink mind energetikai, mind pedig balneológiai szempontból stratégiai értéket képviselnek a nemzetgazdaságban. Fenntartható használatuk záloga pedig, amint ez tanulmányunk egyik következtetése mutatja, a kizárólag energetikai célra használt vízmennyiség termelési réteg környezetébe történő visszajuttatása.

Létezik tehát egy átfogó, a Magyar Tudományos Akadémia által elfogadott tanul-

mány a geotermikus energia nemzetközi és hazai helyzetének értékeléséről és az előttünk álló stratégiai feladatokról. A tanulmány és a benne foglalt helyzetértékelés, ajánlások lehetséges utóélete szempontjából is érdemes tehát megvizsgálni, hogy a világtendenciák tükrében fontos-e, s ha igen, miért, a geotermia hazai ügyének előmozdítása. Jelenthet-e ez a tanulmány egy kiindulást arra, hogy a Pannon-medence megújuló energetikai és termálturisztikai „hungaricumát”, valós súllyán és értékén kezeljük? Milyen feladatok állnak a tudomány és a kormányzat előtt, amelyeknek a piaci, gyakorlati, törvényalkotási kérdések már elébe mentek? E kérdések elemzésére vállalkozik dolgozatunk.

## 2. A földhő használatának nemzetközi helyzete

### 2.1. Erősségek

A geotermikus energia alapja a Föld belsejében termelődő és tárolódó hő. A földbelső 99 %-a melegebb mint 1000 °C, és mindössze kevesebb mint 1 %-a alacsonyabb hőmérsékletű mint 100 °C. A Föld bolygó a földfelszínen keresztül a földi hőáramot 40 millió MW teljesítménnyel adja át az atmoszférának. A Föld belső hőtartalma  $10 \times 10^{25}$  MJ nagyságrendű, a földkéregé  $5 \times 10^{21}$  MJ (Dickson et al., 2003). Ez utóbbi számot összevetve a világ energiafogyasztásával, ami  $10^{14}$  MJ, tízmilliószor többnek adódik. A földhő tehát óriási mennyiségű, kimeríthetetlen, és mindenütt jelen van. A technikatársadalmi rendszerek időskáláján megújulónak tekinthető.

A földhő jellemzője a többi megújuló energiafajttával szemben, hogy állandóan rendelkezésre áll, független a meteorológiai körülményektől, rugalmasan alkalmazható, alapteljesítményre ugyanúgy, mint az igé-

nyek maximumának idején csúcsteljesítményre. A geotermikus energia a kitermelés helyén áll rendelkezésre, ezért decentralizáltan használható, és csökkentheti az importenergiától való függést. A használatához szükséges kutatás, kiépítés és karbantartás hazai munkahelyeket teremt, és tart meg.

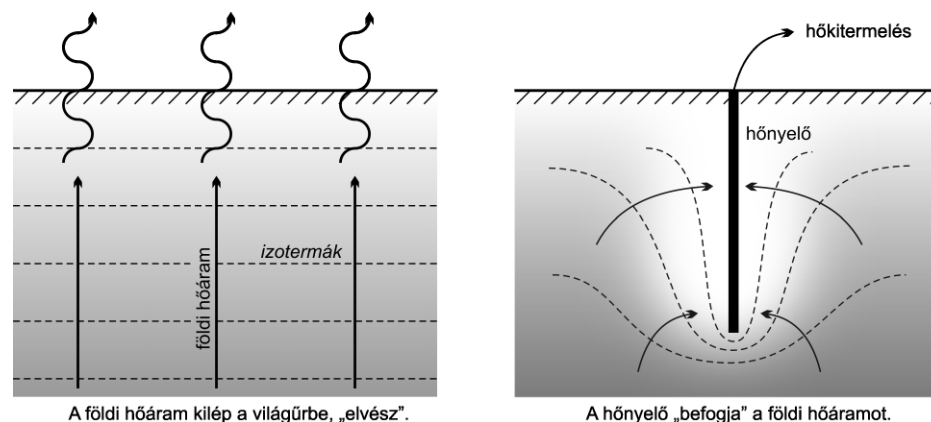
A földhő, mint megújuló készlet, fenntartható módon használható (Axelsson et al., 2005). Ha nem hasznosítjuk, akkor felhasználás nélkül lép ki az atmoszférába (1. ábra). Minden felszín alatti hő/fluidum-kiemelés egy hőnyelőt, illetve hidraulikus depressziót hoz létre. Ez termikus és hidraulikus gradienseket generál, amelyek mentén intenzív beáramlás indul, azért, hogy a hőkihasználás által kialakult deficitet kiegyenlítsé (Rybach – Mongillo, 2006). Ezért félvezető lehet a „hőbányászat” kifejezés. Míg a kibányászott érc, szén stb. a kiürült telephelyen nem regenerálódik, a hő és a geotermikus fluidum előbb-utóbb visszaáramlik. Modellezési tapasztalatok alapján a hőmérséklet regenerálásához – a rezervoár fajtájától és a kitermelés módjától függően, 95 %-os szinten – legalább annyi idő kell, mint amennyi a kitermelés ideje volt (Rybach et al., 2000). A

fenntartható termelési szint a helyi geotermikus készlet adottságainak: telep nagyság, természetes utánpótlódás stb. függvénye.

A geotermikus energia használatának környezeti előnye, hogy CO<sub>2</sub>-kibocsátást takarít meg. Ennek mértéke a geotermikus energia kinyerésének módjától függ. A geotermikus erőművek működése globális átlagban 120 g CO<sub>2</sub>/kWh kibocsátással jár, míg Európában a fosszilis forrásból történő áramtermelés CO<sub>2</sub>-emissziója 500 g/kWh (Fridleifsson et al., 2008). A közvetlen geotermikus hőhasznosítás minimális szén-dioxid-emisszióval jár (0,0–0,3 g/TJ). Földhőszivattyúk esetében a CO<sub>2</sub> kibocsátásba bele kell számítani a szivattyú működéséhez szükséges áram előállításából származó kibocsátást. Fosszilis energiaforrás kiváltásakor emissziócsökkentő hatásuk 33–45 %-os.

### 2.2. Korlátok

A megújuló energiák, így a geotermikus energia esetében az elterjedés legfőbb korlátja, hogy a piac ma még nem méri az energia-termelés vagy -fogyasztás járulékos társadalmi, gazdasági és környezeti hatásait, azaz az externális költségek nincsenek az árba be-



A földi hőáram kilép a világűrbe, „elvész”.

A hőnyelő „befogja” a földi hőáramot.

1. ábra • A geotermikus hőtermelés elve

építve, így a megújulók, azon belül a *geotermia, szubvenció nélkül nem versenyképes.*

A geotermikus erőművek kiépítési költsége magas, 3–4,5 millió €/MW, az áramfejlesztési költség 40–100 €/MWh (Fridleifsson et al., 2008). A megújuló energiaforrásokból származó hő közepes ára a földhőalapú távfűtésnél 2,0 €/GJ (2005-ben). A hőszivattyúkkal a kombinált fűtés/hűtés közepes ára 16,0 €/GJ.

### 2.3. A globális földhőhasznosítás jelene és jövője

Globálisan huszonnégy ország állít elő áramot földhőforrásokból (1. táblázat). Ezek közül jó néhányban jelentős, 15–22 % a részesedése az ország áramellátásában, ezek Costa Rica, El Salvador, Izland, Kenya, Fülöp-szigetek. 2004-ben világszerte 8,9 GW<sub>e</sub> kapacitás termelt 57 TWh árammennyiséget;

2007-re 9,7 GW<sub>e</sub> teljesítményt és 60 TWh áramot prognosztizáltak (Bertani, 2005). Geotermikus erőművek világszerte működnek, jelenleg leginkább a lemezszegélyek vulkanikus területein. Nagy jelentőségű, hogy újabban *geológiailag „normális”,* azaz nem vulkanikus területeken is megindult a geotermikus áramfejlesztés, olyan országokban, mint Ausztria és Németország.

2004-ben hetvenkét országban folyt közvetlen földhőhasznosítás 28 GW<sub>th</sub> kapacitással és 270 TJ/év hőtermeléssel (1. táblázat). Az egy főre eső földhőhasználatban Izland vezet a világon. Magyarország a közvetlen geotermikus energiahasznosításban jelenleg a hetedik, de 2000-ben még a harmadik volt a világranglistán.

A földhőszivattyúk a felszín közelében mindenütt jelenlévő, sekély <400 m mélységig terjedő geotermikus készletek, a talaj, a

sekély földtani környezet vagy a felszínalatti vizek hőtartalmának kihasználásán alapulnak. A technológia a készlettartomány relatív konstans hőmérsékletét, amely 4–30 °C, használja fel sokféle alkalmazásra: épületfűtés, -hűtés, melegvíz-szolgáltatás, lakások, iskolák, ipari, nyilvános és kereskedelmi létesítmények számára. A földhőszivattyúk robbanásszerű elterjedése sok olyan országban megindult, amelyek korábban kevés ilyen típusú berendezést létesítettek. 2004-ben a világszerte működő egységek száma kb. 1,3 millió volt. Az EU-ban 2006-ban több mint ötszáz ezer berendezés működött, az USA-ban több mint nyolcszáz ezer, és évente ötvétezer új egység épül (Lund, 2006). Magyarországon 2008 folyamán mintegy ezer hőszivattyús rendszer létesült.

A jövőbeli globális geotermikus fejlődést illusztráló becslések az áramfejlesztés esetén a kapacitás tízszeres növekedését prognosztizálják 2050-ig (Fridleifsson et al., 2008), a közvetlen hőhasznosításnál a szolgáltatott

hőmennyiségre szintén tízszeres növekedés jelezhető. Az utóbbi évtizedben, a közvetlen felhasználásban a földhőszivattyúk elterjedése a legszembetűnőbb.

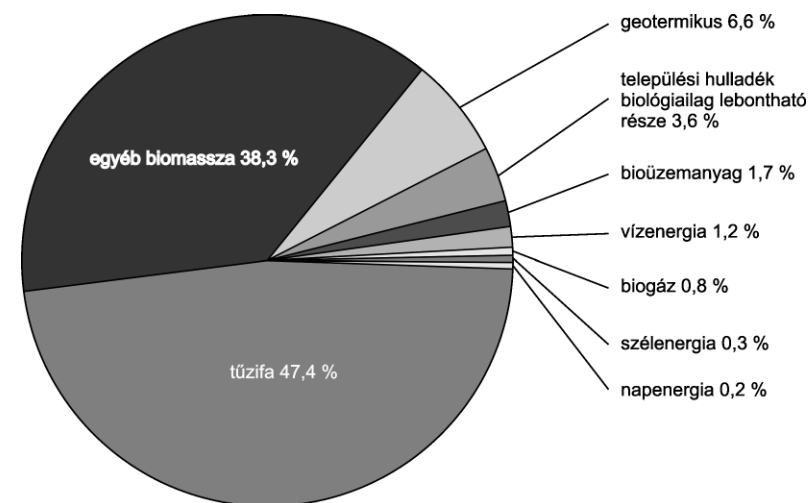
### 3. Földhőhasználat Magyarországon

#### 3.1. Adottságok

Magyarország Európán belül kiemelten jó természeti adottságokkal bír földtani, geofizikai és hidrogeológiai szempontból egyaránt. Az ország területe alatt magas a geotermikus gradiens, átlagosan 45 °C/km. Közvetlenül a felszín alatt törmelékes üledékek vagy repedezett mészkő, dolomit található, melyek jó víztárolóként működnek. A termálvíz – a hazai definíció szerint a legalább 30 °C-os víz – az ország területének több mint 70%-án rendelkezésre áll. Az átlagos hőáram 90–100 mW/m<sup>2</sup>. 500 m mélységben a hideg területek kivételével az átlaghőmérséklet 35–40 °C. A magasabb hőmérsékletet (45–70 °C) a vízáramlás fűtő hatása okozza. Nagyobb mélységben az áramlás által okozott hőmér-

Geotermikus áramfejlesztés		Közvetlen hőhasznosítás	
Ország	GW <sub>h</sub> /év	Ország	TJ/év
USA	17 917	Kína	45 378
Fülöp-szigetek	9253	Svédország	36 000
Mexikó	6282	USA	31 241
Indonézia	6085	Törökország	24 840
Olaszország	5340	Izland	24 502
Japán	3467	Japán	10 303
Új-Zéland	2774	Magyarország	7942
Izland	1483	Olaszország	7553
Costa Rica	1145	Új-Zéland	7085
Kenya	1088	Brazília	6624
El Salvador	967	Grúzia	6307
Nicaragua	271	Oroszország	6145
Guatemala	212	Franciaország	5195
Törökország	105	Dánia	4399
Guadeloupe (Fr.)	102	Svájc	4230

1. táblázat • A földhőhasznosításban (áramfejlesztés/közvetlen felhasználás) élenjáró országok (top fifteen) (Fridleifsson et al., 2008 alapján, átszámítva)



2. ábra • A megújuló energiaforrások hasznosítási adatai Magyarországon (2006. december 31-i állapot)

sékleti anomália lecsökken. 1000 m mélységben az átlaghőmérséklet 55–65 °C, 2000 m mélységben pedig 110–120 °C, a melegebb területeken 130–140 °C. Tehát hazánkban adottak a természetes geotermikus rendszerek elemei: a hő, a tározó, és a közvetítő fluidum, a víz.

A geotermikus energiavagyon többféle módon becsülhető. A készletbecslés megbízhatóságának növelésével és a gazdaságossági szempontok bevonásával egyre kisebb értékeket kapunk. A földtani vagyonból, amely 102180 EJ kiindulva, az ipari vagyon már három nagyságrenddel kisebb, 343 EJ, míg a hőáramból számított utánpótlódó hővagyon 264 PJ. A jelenleg évente felhasznált geotermikus energia ~3,6 PJ (2006), még a legkisebb utánpótlódó hővagyonnak is csak alig több mint 1 %-át teszi ki.

E hőhasználat révén a geotermikus energia energiamérléken való aránya Magyarországon 0,29 %. Az összes megújuló energiatípuson belül vizsgálva a geotermikus energiát, mindössze 6,6 %-ban részesedik a biomassza és a tűzifa együttes ~86 %-os aránya mellett (2. ábra).

A rendelkezésre álló minimálisan 60 PJ/év (Mádlné Szőnyi et al., 2008), újabb becslések szerint 100–110 PJ/év (Ádám et al., 2009) termál hőmennyiségből, tehát mindössze 3,6 PJ/év (2006) hőt hasznosítunk energetikai céllal. A felszín alatti vizekkel 26–38 PJ/év (2003) hőt termelünk ki, melynek csupán 10 %-át használjuk energetikai célra, a többi a vízzel elfolyik. A balneológiai hasznosítás előtt vagy után – a hőmérséklettől függően – a vizet lehűtik, többnyire hőenergiájának hasznosítása nélkül. Ez a helyzet a Szeged városát ivóvízzel ellátó termálvíz esetén. De a budapesti 22–55 °C-os langyos- és termálforrások is természetes

úton, hőenergiájuk hasznosítása nélkül kerülnek a Dunába.

A Gazdasági és Közlekedési Minisztérium által 2007-ben közzétett *Megújuló energia stratégiában* 12 PJ/év kiaknázható potenciálérték szerepel a geotermikus energiára vonatkozóan. Ez a célérték a lehetőségekhez mérten alulbecsült. Megállapítható, hogy Magyarország a kiemelkedően jó természeti adottságok ellenére a kinyerés és hasznosítás terén *relatív értelemben az elmaradók közé tartozik*.

### 3.2. A földhőhasználat jelenlegi mutatóinak oka és lehetséges perspektívái

A földhőhasználat terén tapasztalható elmaradás egyik lehetséges oka a hatályos jogszabályi környezetben kereshető. A földhőre vonatkozó hazai jogszabályi és hatósági keretrendszer három ágazat, az energetika, bányászat, környezet- és vízgazdálkodás adja. A jelenlegi jogszabályhalmaz az átlagpolgár és a hasznosítók, befektetők számára is átláthatatlan, ellentmondásokkal, jöghézagokkal, szakmai pontatlanságokkal és ismétlésekkel terhelt.

Komoly akadályt jelent a földhő mint fenntartható termelés esetén megújuló természeti erőforrás feletti megosztott állami felügyelet és hatósági engedélyezési fórum: Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium – Magyar Bányászati és Földtani Hivatal és Magyar Energia Hivatal (beleértve: ELGI, MÁFI) vs. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium „zöld hatóság” (beleértve: VITUKI, VKKI). A közigazgatás egymással versengő és csak részben egymást kiegészítő vízügyi és bányászati szabályozást hozott létre, amely a hatósági eljárást teszi nehézkessé.

További teher és mindenképpen hátrányos egyazon természeti erőforrás többszörös, sőt esetenként negatívan megkülönböztető állami járuléki adóztatása: a vízkészlet-gazdálkodási járulék, a bányajáradék; az igazgatási szolgáltatási és felügyeleti díjak mértéke. Felülvizsgálatra szorulnak a környezetvédelmi szennyezési határértékek, a kapcsolódó bírságok pedig korszerűsítendők.

A geotermikus erőművi projektek tervezésekor és kivitelezésekor a hazai nagyvállalkozók komoly kockázatot vállalnak. Német és olasz potenciális beruházók ugyanis hosszú ideje elemzik a hazai üzleti helyzetet, de nem látják igazoltnak, hogy a kedvező magyar geotermikus potenciálra épített műszaki, technológiai koncepcióik megtérülők lehetnek. Csak egy példát említve ennek hátterére, a megújuló energiaforrásból termelt villamos energia átvételi ára Magyarországon a német ár kétharmada. A beruházási költségek közti különbség nem ekkora, ebből következően a nemzetközi beruházók nem Magyarországra települnek.

További nehézséget jelent a beruházóknak, hogy a hatályos jogi szabályozás alapján a megkutatandó területhez, illetve a kérdéses természeti erőforráshoz nincs biztosítva a kizárólagos hozzáférés a kutatási időszakban.

Megállapítható, hogy uniós szinten a tiszta piaci verseny közösségi elve is alapjában sérül a földhőhasznosítás területén tapasztalt, tagországokként lényegesen eltérő pénzügyi szabályozók által (szubvenció, hosszú távon garantált támogatott átvételi ár, többszörös adóztatás, bírságok).

A jövőben a földhő mainál intenzívebb felhasználására sarkallnak a politikai célkitűzések, mint például a 20/20/20 % irányelv az Európai Unióban. A fosszilis energiaforrások árának várható alakulása és energia-

import-függőségünk is olyan intő jelek, amelyek a helyben lévő földhőkihasználás szükségességére hívják fel a figyelmet. Tanulmányunk és újabb szakértői számítások (Ádám et al., 2009) alapján a 2009-től megindítható lépésekkel 2020-ra elérhető a legalább 35 PJ/év hasznosítás. Lehetségeink jobb kihasználásával a geotermikus energia az ország energiamérlékében egy évtized múlva 3–5 %-kal részesedhetne mint megújuló, környezetbarát és hazai energiaforrás. Természetesen mindezt komplex energetikai koncepciókba építve lehet megvalósítani, egyéb megújuló energiaforrások együttes hasznosításával.

### 3.3. Lehetségek a földhőhasznosítás növelésére

A kiaknázható lehetőségeket a felszíntől a nagyobb mélységekig, a kisebb beruházási költségektől a nagyobb tőkét igénylő megoldásokig tárgyaljuk.

A földhőszivattyús rendszereknél a hőt szolgáltató közeg lehet talajvíz és maga a földhő. A hőszivattyúk másik alkalmazási módja, amikor „hulladék hő”, vagyis egyébként a környezetbe távozó hőt hasznosítanak. Ez lehet akár lehűlt 20–40 °C-os termálvíz, de ipari folyamatoknál keletkező meleg víz vagy levegő is. A hőszivattyús rendszert télen fűtésre, nyáron hűtésre lehet alkalmazni. A hőszivattyúval segített hőellátás legnagyobb előnye, hogy gyakorlatilag mindenütt, irodaházakban, üzemeknél, családi házas és tanya-si, szórt elhelyezkedésű lakóépületeknél is alkalmazható.

Ha csak a talaj és a kőzetek mindenütt jelen lévő hőjét hasznosítanánk hőszivattyúk segítségével, akkor a jelenlegi trend alapján az így kinyert energia 2020-ra elérheti a 3–5 PJ/év-et (Ádám et al., 2009). Ezen túlmenően

en a termálvizek hőjének, a talaj és a kőzetek hőjének és az egyéb ipari és mezőgazdasági hulladékhő együttes kiaknázásával *2020-ra -10 PJ/év energia nyerhető ki hőszivattyúkkal.*

Geotermikus adottságaink a hőenergia közvetlen felhasználására a legjobbak. A kis entalpiájú, <90 °C hőmérsékletű geotermikus rendszereink a legjobban feltártak, és ezek kínálják a legperspektivikusabb megoldást a gazdaságos kiaknázásra. A geotermikus energiavagyonunk legnagyobb része a felső-pannóniai (neogén) rezervoárban tárolódik. A termelő-visszasajtoló rendszerekkel kitermelhető földtani vagy 343 000 PJ. Azt a következtetést lehet ebből levonni, hogy a geotermikus energia hasznosításának növelése a hőenergia oldaláról biztosított, a termelés fenntartható módon akár egy nagyságrenddel is növelhető.

A közvetlen hőhasznosítás hatásfoka 30–50 %. Feltétele, hogy a fogyasztó közel legyen a termelő kúthoz. Az országban a Dél–Délkelet–Alföldön, Somogy és Zala megyében érdemes geotermikus közműrendszereket építeni. Geotermikus energiavagyonunk döntő részét jó hatásfokkal és nagy mennyiségben közvetlenül hőellátásra: távhőszolgáltatás, lakóépület-fűtés, használati melegvíz előállítás, üvegházfűtés, terményszárítás stb. tudjuk felhasználni. Ezzel a megoldással lehetőség kínálkozik az importból származó szénhidrogén geotermikus energiával történő kiváltására.

Az elfolyt vízzel történő hőhasznosítás jelentős tartalékai a termál- és gyógyvizekben található: ~5 PJ/év. A világtrend azt mutatja, hogy a hőenergia-kapacitás 52 %-a fordítódik fűtésre, míg fürdésre kb. 30 %-a (Lund et al., 2005). Magyarországon fordított a helyzet. Szükség lenne a balneológiai célra történő felhasználásnál a termálvíz hőtartal-

mának részbeni energetikai célú hasznosítására.

Termálvizekben bővelkedő területeinken több hő kinyeréséhez több termálvizet kell kitermelni. A termálvíz-rezervoárjaink vízkészletei viszont végesek, csak természetes utánpótlódásukkal arányban hasznosíthatók. A termelést csak úgy lehet fokozni, ha a lehűlt vizet a rezervoárba visszasajtolják. A mélyben a víz felmelegszik, és újra kitermelhető. Az intenzív hőkinyerésnek erre a módjára nemzetközileg számos példa ismert, Magyarországon is működik már néhány rendszer mind karbonátos (Szigetvár, Veresegyháza, Boly), mind pedig porózus kőzetkörnyezetben (Kistelek, Hódmezővásárhely, Fülöpjakab, Balástya és Pálmonostor).

A porózus rezervoárokba történő visszasajtolás jelenleg is felvet bizonyos technikai kérdéseket, és hatása az egymással közlekedő rezervoároknak szintén vizsgálandó. Ha *2020-ra 15 PJ/év-re* (Ádám et al., 2009), ennél optimistább becsléssel *30 PJ/év-re kívánjuk növelni a geotermikus energia közvetlen hasznosítását* – melyre egyébként lehetőségeink adottak –, akkor ilyen irányú kutatás-fejlesztésre komoly szükség van.

A Pannon-medence mezozoós–paleozoós medencealjzatában 2,5–4 km mélységben közepes (90–150 °C) és magas entalpiájú (> 150 °C) karbonátos tározók találhatóak. Ezek kiaknázása számottevő tőkebefektetést igényel, és gazdasági kockázattal is terhelt. A villamosenergia-termeléshez a jelenlegi segédközeges erőművi technológia mellett – kielégítő hatásfok eléréséhez – legalább 120 °C-os vízre van szükség. Ilyen hőmérsékletű víz természetes tározókban, a megadott mélységben és korlátozott kiterjedésű karbonátos víztározókban áll rendelkezésre. A neogén üledékekkel fedett aljzatban található karsz-

tosodott mezozoós karbonátok (Délnyugat-Dunántúl, Dél–Délkelet–Alföld) energiasűrűségét az aljzat területére összegezve kb. 80 000 PJ hőenergiát kapunk. Ennek egy részét bináris erőművekkel áram termelésére lehet felhasználni. Az első geotermikus erőművek megépülésével, a földtani és technológiai tapasztalatok bővülésével, a potenciál jobban becsülhető lesz.

A villamosenergia-termeléshez közvetlen, többlépcsős hőhasznosítás társítható, amelyvel kb. négyszer-nyolcszor annyi hő használható, mint a megtermelt elektromos áram. Példaként szolgálhatnak számunkra az ausztriai és németországi geotermikus erőművek, melyek kapcsolt villamosáram-termelő és hőellátó üzemmódban működnek. A témával foglalkozó hazai szakemberek véleménye szerint a geotermikus kiserőművek által várhatóan termelt energia *2020-ra elérheti a 2400 GWh<sub>he</sub> (-8,6 PJ/év)-et* (Ádám et al., 2009).

A Magyar Tudományos Akadémia számára készített tanulmányunk nyomán született szakértői becslések (Ádám et al., 2009) tehát a földhőhasználat jelenlegihez képest *tízszeres növekedését (35 PJ/év) prognosztizálják 2020-ra*. Ez ~940 milliárd Ft beruházási költséget feltételez – átlagosan 30 %-os, erőművek esetén 15 %-os – támogatás mellett. A projektek becsült megtérülési ideje nyolctizenkét év a technológiától függően (Ádám et al., 2009). Mindezek megvalósításához azonban szükséges a *jogi és szabályozási környezet felülvizsgálata*, egyszerűbbé tétele, a *kapcsolódó költségek* újragondolása.

#### 4. Földtudományi feladatok

Számos környezet- és földtudományi kutatási téma vehető fel a földhőhasználat kapcsán. Egyik ilyen a hőszivattyúk talajban kifejtett hatásának monitorozása, amely a fenntartha-

tó használat szempontjából szolgáltatt visszajelzést. Ígéretes kutatási téma a földhőszivattyús potenciál felmérése, amely a hőszivattyú-telepítéshez nyújt a hatóság és a beruházók számára információt.

Hazánk adottságai leginkább a kis entalpiájú termálvíz hasznosítása terén kimagaslóak. Jelentésünk visszasajtolással kapcsolatos visszhangja miatt is felmerül a pannóniai rétegekbe történő üzemszerű hévíz-visszasajtolás kutatása, a „geotermikus kútpárok vagy kúthármasok” kutatás-fejlesztési, műszaki kérdéseinek megoldására irányuló mintaprojektek kérdése. Ehhez szükséges, hogy a Magyar Tudományos Akadémián, az egyetemeken és a kutatóintézetekben kiemelten támogatandó téma legyen e kérdések alaptudományi és alkalmazott tudományi vonatkozásainak megválaszolása.

A termálvízkészletekkel kapcsolatban felmerülő alaptudományi kérdés a neogén rezervoár termelhetősége. A felszínközeli vízáradók a térfelszín magasságkülönbségei által mozgatott vizet tartalmazó, hidraulikailag egységes rezervoárt képeznek, ezért termelhetőségük a *regionális áteresztőképesség függvénye*. A felső-pannóniai homok és homokkő (Alföldi Vízfógló) vízáteresztő-képessége: 10<sup>5</sup> m/s, a kutakból több tíz, akár 100 m<sup>3</sup>/h vízhozam érhető el. Az Alföldi Vízfógló alatti üledékeket aleurolit, márga és agyagkő alkotja. Ezek a kőzetek uralkodóan vízfógló jellegűek (Algyői Vízfógló K=10<sup>-8</sup>–10<sup>-7</sup> m/s; Endrődi Vízfógló K=10<sup>-9</sup> m/s), bár a vízfóglók között előfordulnak homokkőtestek is: Szolnoki Vízfógló, K=10<sup>7</sup>–10<sup>6</sup> m/s.

A vízfóglókban, illetve alattuk már mindenhol túlnyomást tapasztalunk. A túlnyomás megjelenési helye azonban területenként változó. Szentesen például igen-igen előnyös

a hidraulikai helyzet, mert még az Algyői Vízfőgőben is közel hidrosztatikus a nyomásállapot, a hidrosztatikust mindössze 0,15 MPa/km-rel haladja meg a nyomásgradiens. Ez annak köszönhető, hogy a kutak a térfelszín magasságkülönbségei által mozgatott vizek feláramlási zónájában találhatók (3. ábra). Ez azt jelenti, hogy Szentes és környéke a hévíztermelés szempontjából kedvező fekvésű, mert nagy mélységig (2500 m) csapadékból utánpótlódó készleteket találunk. Más vidékeken viszont – így Biharkeresztes körzetében – már 1200 méteres mélységtől 2–6 MPa, majd 2200m-től >10 MPa túlnyomás jelentkezik (3. ábra).

A Pannon-medence legújabb geodinamikai modellje és a legújabb szerkezetföldtani-hidrogeológiai kutatások arra is felhívják a figyelmet, hogy az aljzattól akár a negyedkori rétegekig is felhatoló, többszörösen felújult vetőknek döntő a szerepük a vízvezetésben. Azaz, a porózus medenceüledékben is vannak kitüntetett, szerkezetek által meghatározott áramlási irányok, melyek megismerése döntő lehet hévízkutatási szempontból.

Annál is inkább, mert az alsó túlnyomásos, nem utánpótlódó rendszernek a vezető vetőkön keresztül van lehetősége a túlnyomás „leeresztésére” (Tóth – Almási, 2001), ami nehezíti az utánpótlódó és nem utánpótlódó készletek elhatárolását. Ezáltal tovább bonyolítja a hévizek termelhetőségi karakterisztikájának, a termelés távolhatásának előrejelzését. A túlnyomásos tározók ugyanis alapvetően zártak, ezért *termelhetőségük a regionális tározási tényezőtől függ.* Semmiképpen nem termelhetők visszasajtolás nélkül!

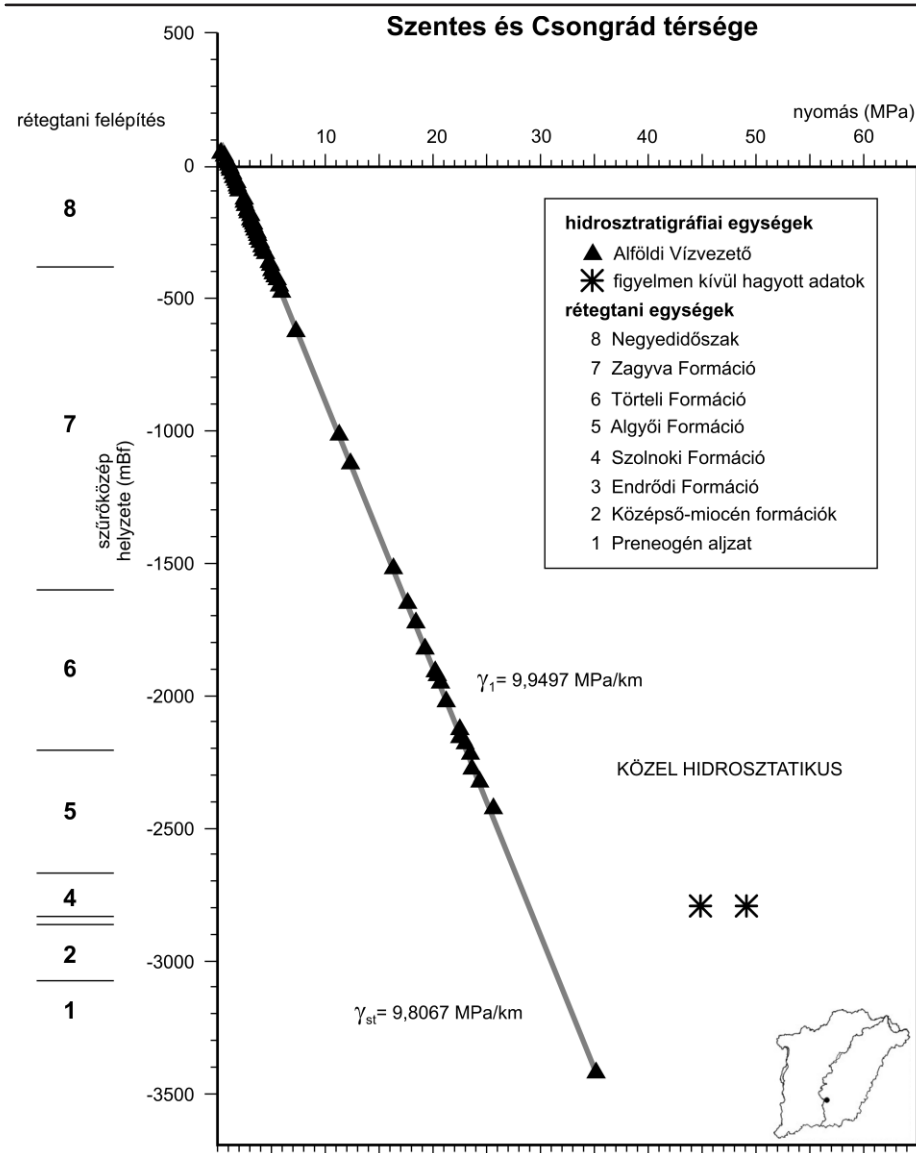
Mivel az utánpótlódó és a túlnyomásos, továbbá a nem utánpótlódó rezervoárok határai kiemelkedően fontosak a termálvizek használata szempontjából – és jelenleg a

fentiekből következően nagy bizonytalansággal jelezhetők előre –, ezért e kérdés tisztázása további tudományos kutatást igényel. Felmerül, hogy melyek ennek az alapkutatási felismerésnek az alkalmazott kutatási következményei?

A szentesi termálkutak potenciáljáról ugyan nem ismertek részletes adatok, de a 3. ábra szerint a nyomásgradiens itt alig nagyobb a hidrosztatikusnál. Tehát az itteni termálkutak – mint utaltunk rá – az utánpótlódó készletet fogyasztják. Az utánpótlódással egyenértékű termelés esetén, elvben visszasajtolás nélkül is megőrződhet a rétegenergia. Ugyanakkor arról, hogy a jelenlegi termelés hogyan viszonyul a természetes utánpótlódáshoz, nincsenek információink.

Ez csak részletesen feldolgozott és időben követett üzemi adatokból lenne megállapítható, amelyek jelenleg nem állnak rendelkezésre. A Dél-Alföldön az 1960-as évek óta – hasonló hidraulikai helyzetben – bekövetkezett 10–30 m-es vízszintsüllyedések arra hívják fel a figyelmet, hogy a régióban a természetes utánpótlódást jócskán meghaladó termálvízkitermelés folyt, ami csak visszasajtolással kerülhető el.

Ismert, hogy Fülöpjakabon nyelőkúttal juttatják vissza a lehűlt vizet a víztartó fölötti rétegbe. A Duna–Tisza közti hátságon beáramlási hidraulikai helyzetben a nyomásgradiens kisebb a hidrosztatikusnál, ami azt jelenti, hogy a folyadékpotenciál a felszíntől lefelé csökken. A termelő réteg potenciálja a vízkivétel miatt tovább csökken, amely *külös energiabefektetés nélküli visszatáplálást tehet lehetővé.* E kedvező megoldás számos, a Duna–Tisza közti hátságon élő mezőgazdasági termelőnek jelenthet követhető példát, alapos kivizsgálást követően. Ezek a megállapítások elméleti összefüggésekből levezethe-

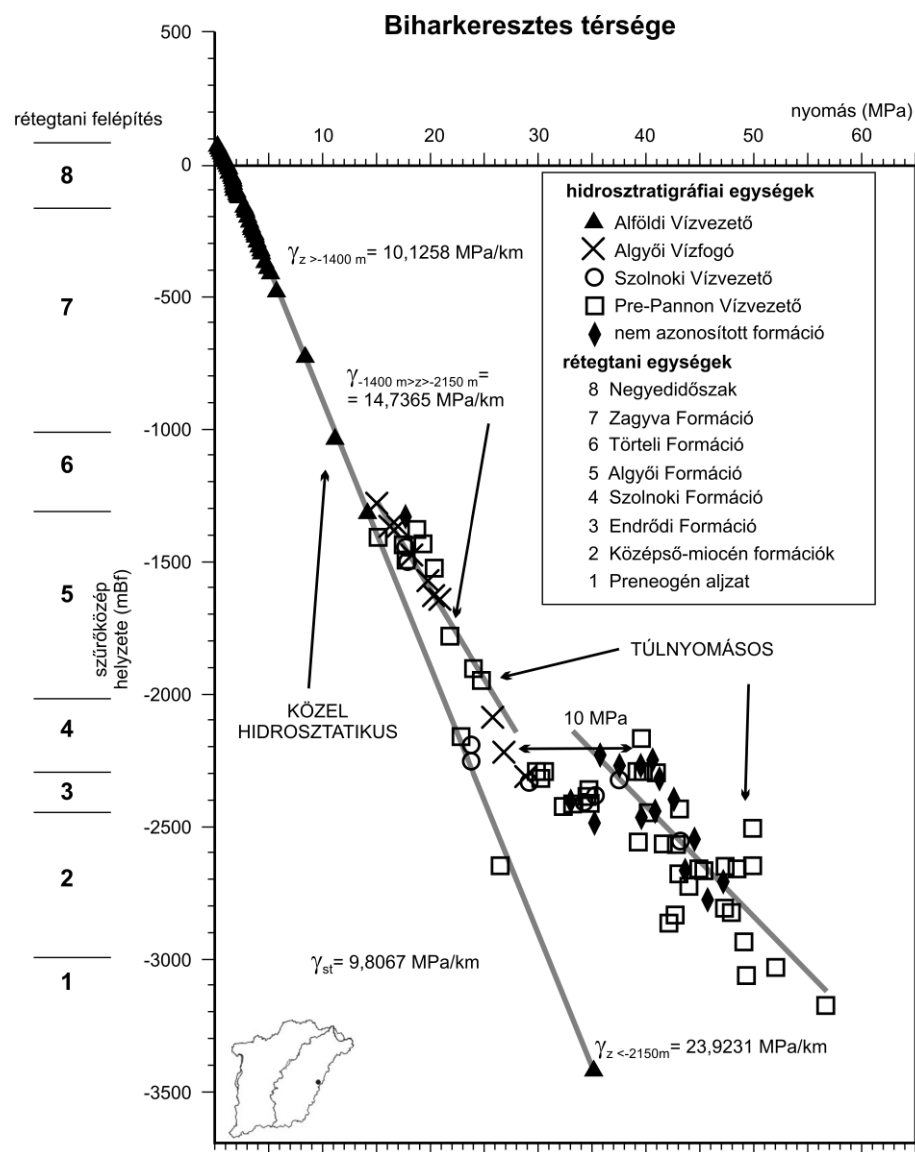


3. ábra (itt és a következő oldalon) • Kutakban mért nyomások a szűrőközep tengersizint feletti magassága függvényében (Tóth – Almási, 2001 nyomán kiegészítve)

tők, a gyakorlat és a visszasajtolás megfelelő technikai alkalmazása tudja hozzátenni a maga tapasztalatait.

Ivóvíz- és termálvízkészleteink hidrodinamikailag összefüggő tároló rendszerekből

származnak. Hosszú távú védelmük s a fenntartható termálvíz-gazdálkodás miatt elengedhetetlen a rezervoárok működésének, készleteinek pontos ismerete. Ennek érdekében a termálvíz kitermelőktől hitelesített



adatszolgáltatásra van szükség, s a szisztematikusan gyűjtött adatokkal a modellek folyamatosan frissítendők. A gazdálkodás meg alapozása *dinamikus szemléletű készletbecslési és döntésmegalapozó* (termelés, visszasajtolás) *számítógépes modelleket* igényel – országos, regionális, lokális szinten – melyekre nemzetközi példák ismertek (Kohl et al., 2005).

#### 5. Ajánlások az újabb kihívások tükrében

A geotermikus terület áttekintését követően a munkabizottság ajánlásokban fogalmazta meg véleményét (Mádlné Szönyi et al., 2008). Ennek értelmében az energiapolitika folyamatos újrafogalmazása szükséges, amely összhangban áll az Európai Unió vonatkozó

irányelveivel és Magyarország – részben saját erőforrásokra alapozandó – energiaellátási érdekeivel. Ez az energiatakarékosság a megújuló energia és a klímastratégiai cél- és eszközrendszerének összehangolását igényli, széles körű szakmai egyeztetés alapján. Fontos a kutatási és nemzetközi tapasztalatok beépítése az előterjesztésekbe.

A megújuló energiákról szóló 2008-ban elfogadott Európai Unió irányelv nyomán javasolható a megújuló energiák új, részletesebb hazai szabályozása. Ennek – az összes megújuló energiára vonatkozó megállapítások mellett – a hazai adottságokat tekintve specifikus földhőkinyerést és hasznosítást is szabályoznia kellene.

E szabályozás megalkotásáig sem halasztható tovább egy, a szétszórta „hévigzaldalkodási” rendelkezéseket javítottan egyesítő és a Bányatörvény geotermikus védőidom jogintézményét műszaki-tudományos megalapozottsággal, részletesen szabályozó, a befektetői jogbiztonságot szavatoló, a bányafelügyeleti és vízügyi szakhatósági jogkört egyesítő új, a geotermikus energiára vonatkozó kormányrendelet megalkotása. E rendelet megalkotását az FVM szakállamtitkára is támogatta a jelentés elkészültét követően küldött levelében.

Szükséges a halmozottan hátrányos megkülönböztetést jelentő közgazdasági szabályozó eszközök és esetenként ellentmondásos állami támogatások átvilágítása és módosítása. Különösen villamos áram és kapcsolt energiatermelés esetén a kísérleti-projekteknek állami támogatásra van szükségük, ehhez módosítani kell bizonyos pénzügyi alapok – KEOP-, ROP-prioritások, az NKTH által kezelt K&F-alapok – tematikáját. Lényeges előrelépés, hogy a Környezet és Energia Operatív Program forrásai – a jelentés elkészültét

követő módosító rendelet következtében – ma már használhatók a hazai geotermikus potenciál kihasználására épülő nemcsak hő-, de a villamosenergia-előállítás és -felhasználás fejlesztésére.

A geotermikus projektek közül a hőszivattyús rendszerek kiépítése igényli a legkisebb ráfordítást, amellyel olajfűtés kiváltása esetén 45 %-os, gázfűtés helyettesítésénél 33 %-os szén-dioxid-megtakarítás érhető el. Termálvízkincsünk: >30 °C (hőszivattyús-balneológiai), min. 60 °C (fűtési-melegvízellátási), >120 °C (villamos energia-fűtés) fenntartható kiaknázására a lehetőség elvben az ország területének 70 %-án megoldható. A kihasználás decentralizáltan, településenként – az intézményi és egyéni fogyasztók csökkenő hőigény szerinti összekapcsolásával – oldható meg, termálvíz-kitermelő és -visszasajtoló kutak alkalmazásával.

A komplex rendszerű energetikai hasznosítást a wellnessturizmussal (balneológia) összekapcsolva érhetjük el termálvizeink hőjének legjobb kihasználását. Természetesen szem előtt tartva azt, hogy az energetikailag igen, de balneológiaiilag nem hasznosított vizek esetében a visszasajtolás a fenntarthatóság biztosítója.

Termálvizeink energetikai célú használata, különösen a porózus rezervoároknál tovább kutatás-fejlesztést igényel, ami a geotermikus energia mainál legalább egy nagyságrenddel nagyobb kiaknázásához vezethet! A termálvizek hőjének jelenleginél intenzívebb kiaknázásához azonban elengedhetetlen a *termálvízkészlet mennyiségének, utánpótlásának kormányprogram keretében történő országos állapotfelmérése*. E felmérés eredményeire épülő dinamikus vízkészlet-modellek képezhetik alapját a fenntartható hévízgazdálkodásnak, döntési háttérül szolgálhatnak

a termálvizek visszajuttatásának jelenlegi kötelezettségét oldó, egyéni elbíráláson alapuló rendszer törvényi bevezetéséhez.

A földhőhasználathoz kapcsolódó érdekérvényesítés, kockázatkezelés érdekében célszerű lenne létrehozni a geotermiában érdekelt konzultatív fórumát az állam, a potenciális befektetők, a szakmai szervezetek, alapítványok és a tudomány képviselőinek (MTA, egyetemek, kutatóintézetek) bevonásával. Külföldi példák tanúsága szerint szükséges egy, az állam által is támogatott kockázati tőkealap létrehozása a termálvizek feltárásakor felmerülő geológiai kockázatok kezelése céljából.

A megújuló energiák, így a geotermia szélesebb körű elterjesztése igényli a téma jobb és hatékonyabb kommunikációját. Ennek jegyében az alap-, közép- és felsőfokú oktatásban az eddigénél nagyobb hangsúlyt kell fektetni az energiahatékonyságra, a megújuló energiákra és ezeken belül a geotermiára. A médiatámogatás elősegítheti a megújuló energiák alkalmazását, a környezettudatos energetikai döntéseket, a különböző technológiák széleskörű megismertetését.

A geotermikus fejlesztésekre vonatkozó tervek és ajánlások megfontolásának fontosságát támasztja alá a European Geothermal

Energy Council 2009-es nyilatkozata (EGEC, 2009). Az anyag számszerű célokat tűz a földhő-fejlesztések terén az Európai Unió országok elé, népességük és területük függvényében 2010–2030-ra vonatkozóan, „hagyományos” és „ökológiai” fejlesztések alapján. A tanulmányunkban szereplő, majd a *Kistéleki nyilatkozatban* (Ádám et al., 2009) átdolgozott 2020-ra megfogalmazott célok nagyságrendileg összhangban állnak az EU „hagyományos” fejlesztéseinek várható célértékeivel. Ezek megvalósításához a szükséges lépések elindítása tovább már nem halasztható.

A cikkben előforduló előtagok és jelölések:

kilo- (k) –  $10^3$

mega- (M) –  $10^6$

giga- (G) –  $10^9$

tera- (T) –  $10^{12}$

peta- (P) –  $10^{15}$

exa- (E) –  $10^{18}$

$W_e$  – áramtermelő kapacitás (W-ban)

$W_h$  – hőtermelő kapacitás (W-ban)

$W_{he}$  – hő- és áramtermelő kapacitás (W-ban)

Kulcsszavak: *geotermikus energia, földhő, közvetlen hőhasznosítás, áramfejlesztés, földhőszivattyú*

#### IRODALOM

- Ádám Béla – Kujbus A. – Kurunzi M. – Szanyi J. – Unk J.-né (2009): *Javaslat a geotermikus energia hazai hasznosításának növelésére*. Kézirat. Kistélek, 2009. február 18.
- Axelsson, Guðni – Stefánsson, V. – Björnsson, G. – Liu, J. (2005): *Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100–300 Years*. – *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey* (24–29 April) 2. (CD-ROM) 8.
- Bertani, Ruggiero (2005): World Geothermal Power Generation in the Period 2001–2005. *Geothermics*, 34, 651–690.

- Dickson, Mary H. – Fanelli, Mario (2003): *Geothermal Energy, Utilization and Technology. Renewable Energies Series*. UNESCO Publishing, Bangalore
- EGEC (2009): *A Geothermal Europe – EGEC Brussels Declaration*. II. 02. 2009. <http://www.egec.org/news/EGEC%20Brussels%20Declaration%202009.pdf>
- Fridleifsson, Ingvar B. – Bertani, R. – Huenges, E. – Lund, J. – Rangnarsson, A. – Rybach, L. (2008): *The Possible Role and Contribution of Geothermal Energy to the Mitigation of Climate Change*. *Proceedings IPCC Climatic Scoping Meeting*, Lübeck
- Kohl, T. – Signorelli, S. – Engelhardt, I. – Andenmatten,

- N. – Sellami, S. – Rybach, L. (2005): Development of a Regional Geothermal Resource Atlas. *Journal of Geophysics and Engineering*, 2, 372–385.
- Lund, John W. – Freeston, D. H. – Boyd, T. L. (2005): Direct Application of Geothermal Energy: 2005 Worldwide Review. *Geothermics*, 34, 691–727.
- Lund, John W. (2006): Chena Hot Springs. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 27, 3, 2–4.
- Mádlné Szőnyi Judit – Rybach L. – Lenkey L. – Hámor T. – Zsemle F. (2008): *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon, Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttérstudomány*. MTA, Budapest

- Rybach, Ladislaus [László] – Mongillo, Mike (2006): Geothermal Sustainability – A Review with Identified Research Needs. In: *Geothermal Research Council 2006 Annual Meeting, San Diego, California* (10–13 September 2006).
- Rybach, Ladislaus [László] – Mégel, Th. – Eugster, W. J. (2000): At What Timescale Are Geothermal Resources Renewable? In: *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu, Tohoku, Japan*. 867–873.
- Tóth József – Almási István (2001): Interpretation of Observed Fluid Potential Patterns in a Deep Sedimentary Basin under Tectonic Compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. *Geofluids*, 1, 11–36.

