

# A GEOTERMİKUS ENERGIA HELYZETE ÉS PERSPEKTÍVÁI

Bobok Elemér

DSc, Miskolci Egyetem  
boboke@kfgi.uni-miskolc.hu

Tóth Anikó

PhD, Miskolci Egyetem  
toth.aniko@uni-miskolc.hu

## Bevezetés

A geotermikus energia a földkéreg, a köpeny és a mag nagy hőmérsékletű tömegei által tárolt belső energia. Mivel a Föld belsejében sokkal magasabb a hőmérséklet, mint a felszínen, a belső energia szakadatlanul áramlik a nagy mélységű forró zónákból a felszín felé. Ez a *földi hőáram*.

A földkéreg hőmérséklete a hővezetés törvényének megfelelően növekszik a mélységgel, így az egységnyi tömegű anyag energiátartalma is nő a mélységgel. Nyilvánvalóan annál alkalmasabbak a körülmények a geotermikus energia kitermelésére, minél közelebb van a felszínhez a magas hőmérsékletű közeg. Ez az egységnyi mélységre eső hőmérséklet-növekedéssel, a *geotermikus gradienssel* jellemezhető. A gazdaságosan kitermelhető geotermikusenergia-készlet a természeti, műszaki és gazdasági feltételek által meghatározott, az időben változó mennyiség.

A geotermikus energiáról alkotott értékítéletek sokszor túlzottan derülátók, vagy túlzottan lebecsülők. Ebben a geotermikus energia kétarcúságának is szerepe van, ha bizonyos tulajdonságait egyoldalúan emeljük ki. A geotermikus energiakészletek szinte elképzelhetetlenül nagyok: a földkéreg felső tíz kilométere több mint ötvenezerszer annyi energiát

tartalmaz, mint a ma ismert olaj- és földgáz-készletek. Ugyanakkor a fajlagos energiátartalom viszonylag kicsiny. Amíg 1 kg földgáz elégetésekor 50 MJ energia szabadul fel, 1 kg 100 °C-os forró víz hasznosítható belsőenergia-tartalma a 15 °C-os környezeti szint fölött csupán 356 kJ. A földkéreg fűtő földi hőáram teljesítménysűrűsége igen kicsiny, átlaga a Pannon-medencében közelítőleg 0,1 W/m<sup>2</sup>. Ez globálisan jelentős, hiszen Magyarország 93 000 km<sup>2</sup> területén 9300 MW a hőutánpótlás teljesítménye. Lokálisan viszont egy adott geotermikus mezőre csak 100 kW/km<sup>2</sup> jut. Erről a területről egy átlagos termálkúttal is mintegy 5 MW hőteljesítmény termelhető ki, tehát a geotermikus energia csak részben megújuló. Igazi értéke a hatalmas készletekben, környezetbarát jellegében, évszaktól, napszaktól és a fosszilis energiahordozók ár-emelkedésétől való függetlenségében rejlik.

## *A geotermikus energia hasznosításának nemzetközi helyzete*

A geotermikus energia hasznosítása a huszadik század elején kezdődött. 1904-ben, az olaszországi Larderellóban létesült a világ első geotermikus gőzre telepített, villamos energiát termelő berendezése, 1926-ban pedig Reykjavík hévíz-bázisú távfűtő rendszere. 1950-től rohamos volt a fejlődés, viszont az

1990-es években az olcsó olajár egy évtizedes megtorpanást hozott. Azóta újra gyors a fejlődés mind az elektromos energia termelése, mind a közvetlen hőhasznosítás területén. Az elektromos erőművek huszonnégy országban, 2008-ban beépített kapacitása meghaladta a 10 GW-ot. A legjelentősebb termelők: USA (2,96 GW beépített teljesítmény, 19 TWh/év megtermelt energia), Fülöp-szigetek (2 GW, 10 TWh/év), Indonézia (1 GW, 6,5 TWh/év), Mexikó (0,95 GW, 6,3 TWh/év), Olaszország (0,81 GW, 5,3 TWh/év). A közvetlen hőhasznosítás hetvenkét országban összesen 29 GW hőteljesítményű, ami 76 TWh/év energiát jelent, ez 20 millió t olaj energiátartalmával egyenértékű. A legjelentősebb hőhasznosítók: Kína (3,7 GW beépített teljesítmény, 12,6 TWh/év megtermelt energia), Svédország (3,84 GW, 10 TWh/év), USA (9 GW, 9,7 TWh/év), Törökország (1,5 GW, 6,9 TWh/év), Izland (1,85 GW, 6,8 TWh/év).

Ennek eredménye az elektromosenergia-termelésben és a közvetlen hőhasznosításban együttesen évi 41 millió tonna olaj megtakarítása, ez a világ olajtermelésének 1%-a. A CO<sub>2</sub>-kibocsátást a geotermikus energia használata évente 118 millió tonnával, a kéndioxid-kibocsátást 800 000 tonnával csökkenti. A már befejezés előtt álló erőmű-kapacitás az USA-ban 4 GW, a Fülöp-szigeteken 3,1 GW. Indonézia 10 év alatt 6,9 GW, Kenya 1,6 GW erőmű-kapacitást létesít. Ezek a számok egyértelműen a geotermikus energia hasznosításának gazdaságosságát, életképességét jelzik.

## *A geotermikus energia termelésének természeti, műszaki és gazdasági feltételei*

A geotermikus energia kitermeléséhez nagy fajlagos energiátartalmú, könnyen felszínre hozható, nagy mennyiségben rendelkezésre

álló, a környezetre nem káros, olcsó és jól kezelhető *hordozó közeg* szükséges. Mindezeket a követelményeket a víz elégíti ki a legjobban. A víz fajhője nagy (4,187 kJ/kgK), ehhez gőz előfordulása esetén a fázisátalakulással járó latens hőnek megfelelő energiátartalom is járul. Ez 1 bar nyomáson 2259 kJ/kg, a mélységgel növekvő nyomással viszont csökken, 200 bar esetén már csak 629 kJ/kg.

A földkéreg anyaga nem homogén. A kőzetek hézagterefogatát valamilyen fluidum tölti ki: túlnyomórészt víz, de szerencsés esetben gőz, kőolaj vagy földgáz is. A földkéreg erre alkalmas helyein a pórusokban vagy repedésekben forró vizet tároló képződmények, *geotermikus rezervoárok* alakultak ki. Ritka kivételektől eltekintve ezekben a víz folyadék fázisú, ugyanis az adott mélységben uralkodó nyomáshoz tartozó forráspont sokkal magasabb, mint ugyanott a közhőmérséklet.

A természetes geotermikus tároló kellő kiterjedésű, nagy hőmérsékletű, megfelelő porozitású és átteresztőképességű hévíz vagy gőztároló képződmény, amely néhány jellegzetes tulajdonságában különbözik a közönséges talaj- vagy rétegvíz-tárolóktól. Az alapvető különbség, hogy a geotermikus tárolóból belső energiát termelünk ki, amelynek csupán hordozó közege a forró víz vagy gőz. A lehűlt vizet környezetvédelmi szempontok miatt és a rétegnyomás fenntartása érdekében is vissza kell sajtolni a tárolóba. A legfontosabb, csak hosszú távon jelentkező előny, hogy a visszasajtoló hévizet a tárolóban újra felmelegíti a forró közzet, s a termelő és visszasajtoló kutakon át a folyamatos átöblítéssel a tároló közzetvázának belsőenergia-tartalma is kitermelhető.

A bányászat tehát a víz energiátartalmára irányul, nem magára a vízre. További különbség, hogy az értékes, nagy fajlagos energiátar-

talmú tárolók porozitása általában töredezett, repedezett közzettesthez kötődik. Az ebben kialakuló hatékony termokonvekcióhoz szükséges a rendszer kellő függőleges irányú kiterjedése is.

A geotermikus tárolókat szakadatlanul fűti a földi hőáram. Az egyik nagy tárolócsoportba azok a rezervoárok tartoznak, amelyek energia-utánpótlását konduktív, azaz vezetésses hőáram adja. A hővezetés viszonylag kisebb erősségű fűtést jelent. A földi hőáram átlagos értéke alig  $60 \text{ mW/m}^2$ , az átlagos geotermikus gradiens pedig  $30 \text{ }^\circ\text{C/km}$ . Ilyen feltételek mellett nem alakulhatnak ki a mai műszaki körülmények között gazdaságosan kitermelhető tárolók. A földkéreg helyi elvékonyodásai, egyes kőzetfajták eltérő hővezető-képességei szolid anomáliát okozhatnak a földi hőáram értékében. A  $80\text{--}120 \text{ mW/m}^2$  teljesítménysűrűségű fűtés, illetve a  $45\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C/km}$ -es geotermikus gradiens megfelelő porozitás és áteresztőképesség esetén már gazdaságosan művelhető forró- vagy melegvítartó tárolók kialakulásához vezethet. Bár a nagyobb mélységben levő üledékrétegek hőmérséklete, energiatartalma nagyobb, az önsúlyterhelés következtében az üledékes kőzeteknek a mélységgel exponenciálisan csökken a porozitásuk és gyengül az áteresztőképességük. Általában  $2,5\text{--}3 \text{ km}$  mélységben már olyan kicsiny a porozitás és az áteresztőképesség, hogy ilyen mélység a kedvező hőmérsékleti viszonyok ellenére sem jöhet szóba hűvöztermelés céljából. A konvektív fűtésű tárolók hőmérséklete felülről korlátos, általában kisebb, mint  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , ezért kis entalpiájú tároló elnevezésük is használatos.

A legkiugróbb geotermikus anomáliák egy-egy fiatal magmaintrúzió környezetében olyan nagy földi hőárammal jellemezhetők, amelyet a porózus vagy repedezett kőzetváz

vezetéssel már nem képes továbbítani. A belső energia konvektív árama sokkal nagyobb energiaáram-sűrűséget tesz lehetővé, mint a hővezetés. A mélység mentén növekvő hőmérséklet a folyadék sűrűségének csökkenésével jár, a mechanikai egyensúly nem lehet stabil. A nagyobb hőmérsékletű, kitágult folyadéktömegre a sűrűségcsökkenéssel arányos felhajtóerő hat, amely a nehézségi erőre szuperponálódva áramlást kelt a folyadékban. Ez az áramlás nagy mennyiségű belső energia átvitelét teszi lehetővé. A termokonvekció mechanizmusa egy igen jó hővezető-képességű réteggel egyenértékűen viszi át a földi hőáramot. Ehhez mennyiségileg is jól meghatározható feltételeknek kell teljesülniük. Legfontosabb a nagy ( $200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ) geotermikus gradiens, oka valami felszín közeli ( $< 3 \text{ km}$ ) fiatal magmaintrúzió. A  $650\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű magma erősen fűti a környezetét, s ez szokatlanul nagy ( $1 \text{ W/m}^2$ ) földi hőáramot okoz. A konvektív fűtésű tárolókban viszonylag kis mélységben már nagy hőmérsékletű a telepfoliadék, amely kevésbé mély, nagyobb átmérőjű fúrásokkal, kisebb költséggel tárható fel. Energiahasznosítás szempontjából legértékesebbek a túlhevített gőzt tartalmazó rezervoárok (pl. Larderello).

A természetes geotermikus rezervoárok, más néven hidrotermális rendszerek energia-tartalma eltörpül a nagy mélységben levő, minimális porozitású és áteresztőképességű, vizet nem tartalmazó, nagy hőmérsékletű közzetömegeké mellett. A forró, száraz kőzettestben (hot dry rock – HDR) hidraulikus rétegrepesztéssel mesterséges tárolók alakíthatók ki. Ebbe a repedésrendszerbe a felszínről juttatjuk be a vizet, ami ott felmelegszik, és kitermelhető. Az első HDR-rendszeren (Los Alamos) 1978 és 1996 között folytak úttörő kísérletek, s először termeltek elektro-

mos energiát egy mesterséges tároló energiáját megcsapolva. A HDR-technológia kutatása, gyakorlati megvalósítása az ezredfordulóra átkerült Európába. Soultz Sous Forets  $1,5 \text{ MW}$  és Landau  $3 \text{ MW}$  teljesítményű kísérleti erőművei megbízhatóan üzemelnek, az európai villamos hálózatra kapcsolva. Ausztrália is nagyléptékű HDR-programon dolgozik. Nevadában (USA), egy hidrotermális rendszer peremén a rendszert lehatároló meddő fúrásokra alapozva rövidesen üzembe helyeznek egy  $5 \text{ MW}$ -os HDR-erőművet. A Los Alamosban felújított kutatások szuperkritikus állapotú szén-dioxid mint geotermikusenergia-hordozó közeg alkalmazásában hoztak biztató eredményeket.

A mesterséges tárolókhöz képest szélesebb kategória az EGS (Enhanced/Engineered Geothermal System). Minden olyan geotermikus tároló ide sorolható, amely csak rezervoármérnöki módszerekkel beavatkozva tehető alkalmassá az energiatermelésre. Az EGS-kategóriába sorolhatók a víztermelés nélkül, zárt ciklusú üzemmódban működő *hőcserélő kutak*. Ez esetben nem hozunk létre mesterséges repedésrendszert, a cirkuláltatott fluidum csupán a kút palástfelületén kapja a kőzetből a kút felé irányuló hőfluxust. Mivel a hőátadó felület és a kőzetek hővezető-képessége is kicsiny, a konduktív hőfluxussal közölt energiamennyiség eléggé korlátozott. Egy  $2 \text{ km}$  mélységű meddő szénhidrogénkútból  $300\text{--}350 \text{ kW}$  hőteljesítményt és  $30\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű vizet hozhatunk felszínre. Ez csak hőszivattyú alkalmazásával használható fűtésre. A kisebb mélységtartományok ( $100\text{--}300 \text{ m}$ ) geotermikus energiájának kitermelésére a sekélyebb hőcserélő kutak (talajszondák) alkalmasak, természetesen hőszivattyúval kiegészítve, hogy felhasználható hőmérsékletű fűtőközeget kapjunk. A leglátványo-

sabb fejlődést Svédország mutatta fel, amely  $3840 \text{ MW}$  hőteljesítményű hőszivattyús fűtési kapacitásával az egyébként kedvezőtlen geotermikus adottságai ellenére a világ második legnagyobb közvetlen geotermikus hőhasznosítója ( $10\,000 \text{ GWh/év}$ ). Az eredetileg Svájcban indult technológia amerikai–kanadai alkalmazása is jelentős. Világszerte harminchárom országban  $1,5$  millió hőszivattyús fűtési rendszer működik, összesen  $15 \text{ GW}$  hőteljesítménnyel.

A geotermikus energia termelésére alkalmas közzetanyagok tehát a technológia fejlődésével egyre bővülnek, s a gazdaságosan kiaknázzható készletek is folyamatosan nőnek, bár a kezdeti földtani készlet állandó.

A geotermikus energiát hordozó folyékony közeget, elsősorban forró vizet mélyfúrású kutakon keresztül hozzák a tárolóból a felszínre. Ennek a technológiának minden eleme (fúrás, kútkiképzés, felszíni és felszín alatti termelő berendezések) ismert, tömegesen és megbízhatóan alkalmazott az olajiparban. Emellett a felhalmozott tudás, infrastruktúra és tőke is a szénhidrogénipart predesztinálja arra, hogy megkérdőjelezhetetlen kompetenciája legyen a geotermikus kutatás-fejlesztésben, az energiatermelésben. A kitermelt fluidum hőmérséklete és mennyisége határozza meg a hasznosítás módját. Elektromosenergia-termelésre nyilvánvalóan a magas hőmérsékletű termelvény alkalmas.

A klasszikus technológia: a tárolóból kitermelt száraz, túlhevített gőzt közvetlenül a generátorokat meghajtó gőzturbinákba vezetni. Ez csak néhány kivételes esetben (Geysers, Larderello) lehetséges. A forró ( $>180 \text{ }^\circ\text{C}$ ) víz nyomáscsökkentéssel teljes tömegében vízgőzkeverékké alakítható. Ebből szeparátorokban a gőzfázis leválasztható és a turbinákhoz vezethető (Wairakei, Broadlands).

Az ún. bináris rendszerű erőművekben a geotermikus fluidum valamilyen alacsony forráspontú, másodlagos munkavégző közeget melegít fel, s ez végzi a szokásos erőművi körfolyamatot. Ezzel a megoldással a primer közeg hőmérsékletathatára nagymértékben csökkenthető, például Alaszkában 80 °C-os forró víz működtet kettős közegeű erőművet. Mivel a körfolyamat felső hőmérsékletathatárától függ a termikus hatások, a bináris erőművek is magas hőmérsékletű tárolókra telepíthetők gazdaságosan.

A három fő erőműtípus különböző kombinációi ismeretesek, a hatvanas évek óta működők rekonstrukciója napjainkra vált esedékessé, illetve már meg is kezdődött.

A kisebb (<120 °C) hőmérsékletű előfordulásokat legtöbbször közvetlen hőhasznosítás jellemzi. Ennek fő formái:

- távfűtés, nagyobb egyedi létesítmények, családi házak fűtése, klimatizálása,
- mezőgazdasági alkalmazások: üvegházak fűtése, talajfűtés, terményszárítás,
- ipari hőszolgáltatás: papír-, textil-, élelmiszeripar,
- uszodák, fürdők, gyógyfürdők üzemeltetése,
- utak, repülőterek kifutópályáinak jégteleinítése.

A hőszivattyúval ellátott, kis mélységű geotermikus rendszerek (BHE – Borehole Heat Exchanger) is a közvetlen hőszolgáltatásban hasznosulnak.

A geotermikus erőművek hatásfoka általában 10–16%. Ennek oka, hogy relatíve alacsony a hőközlés és magas a hőelvonás hőmérséklete a fosszilis energiahordozókat hasznosító elektromos erőművekhez képest. Így a geotermikus energia gazdaságos hasznosításának fokozására a környezeti hőmérséklet feletti belsőenergia-tartalom minél

nagyobb hányadát kell egymást követő hőmérséklet-lépcsőkben hasznosítani (például: erőmű, távfűtés, üvegházak, talajfűtés, jégteleinítés).

A geotermikus erőművek viszonylag szerény hatásfoka a hőforrás alacsony hőmérsékletéből ered. Az energetikus mérnökök ezért inkább a geotermikus források közvetlen hőhasznosítását javasolják. Bár álláspontjuk pusztán a hatásfokot tekintve ésszerű, de arra is gondolnunk kell, hogy a geotermikus tárolók csak viszonylag ritkán esnek nagyobb, koncentrált hőfogyasztók közelébe. A belső energia szállítása nagy veszteséggel járó folyamat, ezért a geotermikus energiát ott kell felhasználni, ahol a lelőhely kitermelhető. Gazdaságosan csak a termelt elektromos energia szállítható, ez indokolja az óriási készletekkel együtt az alacsony hatásfok ellenére geotermikus villamos erőművek építését.

A geotermikus energia gazdaságosságát vizsgálva nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a természeti adottságokhoz képest még nem eléggé elterjedt energiaforrásról van szó, tehát felhasználásának tömegessé válása a költségek csökkenését hozza majd magával. Érdekes összehasonlítani a villamos erőművek különböző típusaiban megtermelt energia előállításának fajlagos költségét.

Erőműtípus	Fajlagos költség €/kWh
Fotovillamos	0,25–1,25
Biomassza	0,05–0,15
Szél	0,05–0,13
Geotermikus	0,02–0,10
Vízi	0,02–0,10
Atom	0,03–0,035
Földgáz-tüzelésű	0,035–0,045

*1. táblázat*

Szembevetően a geotermikus energia termelésének viszonylag nagy beruházási és rendkívül alacsony üzemeltetési költsége. Megbízhatósága, környezetbarát jellege fontos érték. Az energiaellátás diverzifikálásában játszott szerepét sem becsülhetjük túl. Független a fosszilis energiahordozók, az olaj- és a földgáz importjától. Ára nem követi az olaj- és gázárak hektikus ingadozásait. Elterjedésével árstabilizáló szerepe lehet a hazai energiapiacra. Míg geotermikus energia alkalmazásakor a ráfordítások itthon maradnak, az import üzemanyag ára külföldre vándorol.

A geotermikus iparág új munkahelyeket teremt, új szakmák megjelenésével jár. Az USA-ban 11 500 új munkahelyet hoztak létre a geotermikus fejlesztések. A geotermikus iparág gyorsítja a vidéki gazdaság fejlődését, hátrányos helyzetű régiók felemelkedését indíthatja meg. Nagy megtakarítások jelentkeznek a helyi közösségeknél (Hódmezővásárhely, Kistelek). A balneológiai hasznosítás fejleszti a turizmust, az idegenforgalmat s az ezt kiszolgáló gazdasági ágazatot.

A geotermikus energia hasznosításának van néhány gyenge pontja is. Nagy távolságra nem szállítható, felhasználása a kitermelés helyéhez kötött. Beruházási költségei viszonylag nagyok, s ezekhez kiszámíthatatlan geológiai kockázatok járulhatnak. A víz-visszasajtolás is drágítja a beruházást és az üzemeltetést. Emellett erős energiaipari cégekkel kell versenyezni.

#### *Magyarország természeti adottságai és a kitermelés jellemzői*

A ma legismertebb és legnagyobb kiterjedésű konduktív fűtésű geotermikus tároló az Alföld felső-pannon homokos-homokkőves üledéksoraiban található. Ez mintegy 40 000 km<sup>2</sup> kiterjedésű, átlagos vastagsága kb. 200 m.

Ez az üledéksor természetesen nem homogén képződmény: egy sor, különböző vastagságú homokos-agyagos rétegből áll. A homokos-homokkőves rétegek oldalirányban véges kiterjedésűek, de nyomásuk az agyagrétegek szerény áteresztőképessége révén kiegyenlítődik. A tároló porusvíztömege gyakorlatilag hidrosztatikus egyensúlyi állapotban van, legfeljebb artézi hatás vagy az üledékretegek tömörödése során kiszoruló víz, valamint a vetők, törésvonalak mentén beszivárgó csapadékvíz változtat valamit ezen az állapoton. Ez egy egységes, 40 000 km<sup>2</sup>-es tároló létezését sugallhatja, de ezt a váltakozó homokos-agyagos rétegek „nápolyi szelektént” töltik ki. Ha egy vagy több homokos lencsét egy mélyfúrású kúttal megcsapolunk, a lencsék véges méretei következtében gyorsabban fogy a porusrendszerükben tárolt víz, mint a lencsét körülvevő rossz áteresztőképességű agyagos rétegeken át érkező utánpótlás. Így viszonylag hamar jelentős helyi nyomáscsökkenés alakulhat ki. A felső-pannon homokkő tároló bár egységes rendszerként viselkedik, az egyes feltárt, művelésbe vont tárolórészei végesek, kimerülő jellegűek.

Az üledékes Pannon-medence rétegsorai alatt az alaphegység helyenként repedezett vagy karsztosodott kőzettömegében is található forróvítartólok. Ezek ugyan mélyebben helyezkednek el, mint a még áteresztőképesebb üledéksorok, de hőmérsékletük nem sokkal magasabb, mert a jobb hővezető-képességű alaphegységi kőzetben a geotermikus gradiens kisebb.

A gyorsan süllyedő és feltöltődő üledékes medencék vastag, túlnyomórészt agyagos összeleteinek tömörödését gyakran gátolja, hogy a porusvíz csak nehezen vagy egyáltalán nem képes kisajtolódnia az agyagból. A felső üledékretegek önsúlyából származó litosztat

kus nyomás a póruszvizet is terheli, így rosszul tömörödött hézagterefogatukban nagy nyomású vizet tartalmazó, túlnyomásos zónák keletkeznek. Az egyensúly még földtörténeti időkálán is lassan áll be. A túlnyomásos zóna szerepét tekintve a szénhidrogén-tárolók át nem eresztő fedőkőzeteivel analóg hidrodinamikai csapdát képez. A vastag agyagrétegek alól jó áteresztőképességű homokrétegek vagy repedezett karbonátos kőzetek is települnek, ezek megtartják porozitásukat, áteresztőképességüket, s a mélyre süllyedt, túlnyomásos, nagy hőmérsékletű tárolókat alkotják. Egy ilyen nagy (3800 m) mélységű, túlnyomásos tárolóból tört ki a gőz-víz keverék a fábiánsebestyeni Fáb-4 szénhidrogén-kutató fúrásból. A dolomitbreccsa tárolóból 202 °C hőmérsékletű, 760 bar nyomású forró víz áramlott be a fúrólukba. Ez a gőzkitörés igazolta, hogy a pannon üledéksor alatt az alaphegység repedezett kőzeteiben vannak nagy entalpiájú és szinte korlátlan utánpótlású geotermikus tárolók.

Magyarország természeti adottságai rendkívül kedvezőek a geotermikus energia hasznosítására. Az elvékonyodott kéreg a Kárpát-medencében a kontinentális átlagnál nagyobb földi hőáramot és geotermikus gradienst eredményez. A jelenleg hasznosított hidrotermális rendszerek hőmérséklete általában a közvetlen hőhasznosítást teszi indokolttá. A geotermikus energia mezőgazdasági célú felhasználásában a világ élmezőnyében vagyunk. Ma Magyarországon 193 működő termálkúttal, 67 ha területű üvegház és 232 ha fóliasátor fűtése van megoldva. Az állattartás területén ötvenkét helyszínen hasznosítjuk a geotermikus energiát halastavak, baromfikeltezők, istállók temperálására. A szentesi Árpád-Agrár Zrt. 65 MW kitermelt hőteljesítményével a legnagyobb koncentrált fogyasztónk. A ren-

delkezésre álló hőlépcső kihasználása jelentősen javítható lenne. A mezőgazdaságban 212 MW<sub>t</sub> beépített kapacitással 1871 TJ/év geotermikus energia hasznosul.

Magyarországon negyven településen több mint 9000 lakást fűtenek geotermikus energiával. Ennek 118,6 MW<sub>t</sub> beépített teljesítménye 1162 TJ/év energiát jelent, amelynek 80%-a a távfűtő rendszerekben, 20%-a egyedi fűtőrendszerekben hasznosul. Magyarország legkorszerűbb, 10 MW hőteljesítményű geotermikus távfűtő rendszere Hódmezővásárhelyen üzemel jó hatásfokkal és gazdaságosan. A sikeresen megoldott vízvisszasajtolás költségei ellenére a távfűtés költsége a gáztüzelésű távfűtéséhez képest 40%-kal kisebb.

Magyarországon is építhetők geotermikus villamos erőművek, de nem véletlen, hogy napjainkig erre nem került sor. A nagy (<200 °C) hőmérsékletű túlnyomásos tárolók termelésbe állításának műszaki feltételei nem minden részletükben megoldottak. Az extrém nagy nyomás és oldottanyag-tartalom egyaránt további alap- és alkalmazott kutatásokat tesz szükségessé. Ezek megoldható problémák, de nem megkerülhetőek.

A 120 °C-os forróvíztárolókra telepítendő erőműveket illetően a hatásfokjavítás lehetőségeinek kutatásával léphetünk előre, sok kutató-fejlesztő munkával javítva néhány tized százalékot.

Hosszabb távon feltétlenül gondolni kell a DK-alföldi medencealjzat nagy hőmérsékletű zónáinak feltárására. Ezek energiatartalmának hasznosítására csak EGS-módszerek alkalmazásával kerülhet sor. Ahol kisebb mélységben van az alaphegység (például Tótkomlós környéke), bináris erőmű telepíthető. Nagyobb mélységű mesterséges tárolókból akár víz, vagy szuperkritikus állapotú szén-dioxid is lehet a hőt szállító, egyúttal mun-

kavéző közeg. A mélység és ezzel a hőforrás hőmérsékletének növekedése a távolabbi jövő geotermikus erőműveinek hatásfokát javítja majd jelentősen.

Az elmúlt évek pangása után élénkület tapasztalható a hazai geotermikus fejlesztésekben. Az olajipar elkötelezte magát a geotermikus energiából villamos energiát termelő első kísérleti erőmű megépítésére, s a magántőke is érdeklődést mutat az önkormányzatokkal együttműködve villamos erőművek és városi távfűtő rendszerek létesítésére. A kis mélységű hőszivattyús hőcserélő kutakra alapozott egyedi fűtési rendszerek is túlléptek a családi házak méretein, és az ipari hőfogyasztás felé is nyitnak. Erre a Telenor 1MW teljesítményű hőszivattyús fűtőrendszere jó példa.

Külföldi szakértők is egyetértenek abban, hogy Magyarország a nagymélységű EGS-rendszerek létesítésére egész Európa legalkalmasabb helyszíne. Ez akár EU-s vagy más külföldi tőke számára igen vonzó adottság lehet.

#### *A geotermikus energia termelésének környezeti hatásai*

A fosszilis energiahordozók alkalmazásához képest a geotermikus energia felhasználása nagymértékben csökkenti a környezetszennyezést. Így gazdaságossága mellett egyre erősebb érv a geotermikus energia környezetkímélő jellege is. Természetesen a geotermikus ener-

gia alkalmazásával is károsodik a környezet, azonban ez nagyságrendekkel kisebb, mint a fosszilis energiaforrások igénybevételekor. Az alábbi táblázat négy veszélyes szennyező: az üvegházhatású szén-dioxid, a savas esőket okozó kén-dioxid, a nitrogén-oxidok és a por MWh-ra vonatkozó fajlagos kibocsátását mutatja különböző típusú erőművekre.

A nagy nyomású rétegvizekben jelentős mennyiségű egyéb gáz is lehet oldott állapotban. Ennek legnagyobb része CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, ritkábban NH<sub>3</sub>, Ra, He. A hévizekből kiváló gázok közül a legtöbb gondot a kis koncentrációban is mérgező és extrém nagy (5 ppm) hígításban is kellemetlen szagú kénhidrogén okozza. A légkörben egynapos felezési idővel természetes úton kén-dioxiddá alakuló kénhidrogéntől a hévizek vagy a geotermikus gőz nem-kondenzálódó gázait mesterségesen elégetve lehet megszabadulni.

A hévízből egy nagyságrenddel kevesebb CO<sub>2</sub> (üvegházhatású gáz) szabadul fel, mint a fosszilis energiahordozók elégetésekor. Mivel a geotermikus energia hasznosításával fosszilis tüzelőanyagokat váltunk ki, a hévíz CO<sub>2</sub>-tartalma mindig egy sokkal nagyobb CO<sub>2</sub>-kibocsátást helyettesít, így annak környezetkárosító hatásáról beszélni értelmetlen. A hévizekben oldott szén-dioxid kiválása nagyobb gondot okoz a vízkőképződés folyamatában, illetve a korrózió előidézésében.

Erőműtípus	Fajlagos emisszió kg/MWh			
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Por
Széntüzelésű	994	4,71	1,96	1,01
Olajtüzelésű	758	5,44	1,81	-
Gáztüzelésű	550	0,10	1,34	0,06
Hidrotermális geotermikus	27,2	0,16	0	0
Bináris vagy EGS geotermikus	0	0	0	0

2. táblázat

A geotermikus energiát termelő kutakból származó víz vagy gőz gyakran tartalmaz hasznosítható mennyiségű metánt. A metán üvegházhatása sokszorososa a szén-dioxidénak, tehát szeparátorral történő leválasztása és elégetése elkerülhetetlen, ám ez egyúttal járulékos energiaforrás is. A hajdúszoboszlói termálkutakból nyert metánt már a két világháború között hasznosították, többek között a MÁV személykocsijainak világítására.

A természetes geotermikus tárolók szilárd oldottanyag-tartalma a hőmérséklettel arányos, tehát az elektromos energia termelésére használt tárolókból származó nagy hőmérsékletű (> 230 °C) telepfoladék erősebben szennyez. A hévíz vagy a gőz kitermelésekor az oldott komponenseket is felszínre hozzuk, s az energiahasznosítás után elfolyó csurgalékvíz nagy mennyiségű környezetidegen anyaggal szennyezi elsősorban a felszíni vízfolyásokat. Ha ezt az anyagmennyiséget nem a környezetet terhelő ballasztnak, hanem kibányászott nyersanyagként tekintjük, nagyrészt piacképes értékhez jutunk. Ez lehet a szilárd oldott anyag kérdésének egyik megoldási módja, a gazdaságosan nem értékesíthető komponenseké pedig a visszasajtolás.

A kitermelt hévizek mérgező anyagokat is tartalmazhatnak: higanyt, ólmot, arzént, cinket, sőt uránt is. Ezek a csurgalékvízből biotechnológiai úton hatékonyan eltávolítha-

tók. Bizonyos mikroorganizmusok 55–60 °C hőmérsékleten és kissé savas jellegű folyadékban akár mechanikus keverővel ellátott, akár fluidizált ágy formájában működő bioreaktorokban 24 óra alatt a mérgező fémek 75–85 %-át képesek kivonni. A módszer különösen ott előnyös, ahol nincsenek meg a visszasajtolás feltételei.

A hévízkutakban a beléscső törése vagy lyukadása az ivóvízbázist szennyezheti. Szerecsére a vízadó rétegeket harántoló kútszakaszon a kettős beléscsőakat és a cementpalást megfelelő védelmet nyújt.

A geotermikus projektek megvalósítása során a legnagyobb (85–115 dB) zajterhelést a fúrás, a kútvizsgálat és az esetleges rétegrepesztés munkálatai okozzák. Egy működő geotermikus erőmű általában a 70–83 dB tartományban üzemel. (Egy forgalmas városi utca zajszintje 70–85 dB.) A geotermikus erőmű főbb zajforrásai a transzformátor, a turbina-generátor egység és a hűtőtorony. A léghűtéses rendszerek zajkibocsátása nagyobb, mint a vízűtésűeké. Hangtompítók beépítése hatásos, de ez az erőmű hatásfokát csökkenti, a beruházási költségeket növeli. Az EU szigorú zajvédelmi előírásainak is megfelelnek a városi, belterületi telepítésű geotermikus erőművek. Ilyen például Ausztriában Altheim (1 MW<sub>e</sub> és 10 MW), Németországban Neustadt Glewe (210 kW<sub>e</sub> és 6 MW).

A geotermikus energiát termelő rendszerek felszíni területigénye kicsi. Az erőművek mindig a kutak közvetlen közelébe települnek. A gyűjtővezeték-rendszerek hossza nem jelentős. A fúrás és a kútvizsgálatok alkalmával viszonylag nagy (3000–5000 m<sup>3</sup>-es) ideiglenes felszíni gyűjtőmedence kialakítása válhat szükségessé. A következő táblázatban különböző erőműtípusok fajlagos területigényét hasonlítjuk össze Ladislaus Rybach (2008) nyomán.

A különösen nagy oldottanyag-tartalmú tárolókra telepített geotermikus erőművek területigénye a termelvény előkészítése miatt mintegy 75%-kal nagyobb a szokásosnál.

Természetes hidrotermális rendszerekben, ha a kitermelés üteme lényegesen meghaladja a tároló vízutánpótlását, a konszolidáció miatt felszíni süllyedések keletkeznek. Ez különösen markánsan jelentkezett az Új-Zélandon működő Wairakei erőmű esetében, amely egy aktív vulkáni tevékenységű területen létesült, ahol a kutak rendkívül kis mélységűek (250–300 m). Itt a felszín évente 45 cm-rel süllyed. A jelenség rokon a felszínközeli bányák fölötti földmozgásokkal. Hazánkban a hévíztermelés éppen csak kimutatható külszíni süllyedéseket okozott Szentés és Hajdúszoboszló térségében.

A természetes hidrotermális rezervoárok művelése során szeizmikus zavarok nem jelentkeznek. Mesterséges HDR-tárolók kialakításakor a hidraulikus rétegrepesztés jelentős csúsztató és húzófeszültségeket ébreszt a kőzettestben, mikroszeizmikus zajokat keltve. Ezek megfigyeléséből a tárolóról fontos információkat nyerhetünk. A nagyfrekvenciájú szeizmikus zajok nem generálnak szeizmikus kockázatot, viszont a kis frekvenciájú zaj erősebb rengések előjele lehet. Ez jellemezte a 2006-ban Baselben keletkezett, a Richter-ská-

la szerint 3,4 fokozatot is elért rengéssorozat, ami a projekt felfüggesztéséhez vezetett.

Földcsuszamlást legtöbbször csak a rozszul megválasztott helyszín okozhat, ha ilyen területen épül az erőmű. Elsősorban közvetett hatásai jelentkezhetnek, a kútszerkezet vagy a gyűjtővezeték sérülésében. Kis (<1000 m) mélységű visszasajtoló kutak és vetők kölcsönhatása válthatja ki. Természetes hidrotermális tárolókra telepített rendszereknél földcsuszamlás ritkán fordul elő.

A geotermikus energiát termelő kutak fúrása, kútkiképzése, a kútvizsgálatok és rétegrekesztések nagy mennyiségű hálózati vizet igényelnek. A hidrotermális tárolók működése vízvisszasajtolást követel meg. Ennek során alapvető a lebegő finom szilárd szemcsék kiszűrése, mert azok csökkentik az átteresztőképességet és növelik a rendszer saját energiafogyasztását. A víztermelés jelentős vízszintsüllyedést okozhat. Hajdúszoboszlón és Szentésen jelentős (>50 m) vízszintsüllyedést okozott a visszasajtolás nélküli, több évtizedes hévíztermelés. A nem kellő körültekintéssel folytatott hévíztermelés megzavarhatja a természetes hidrotermális rendszerek működését. Hévízen, egyes üdülőkben összehangolatlanul fúrt saját hévízkutak bizonyíthatóan csökkentették a világhírű tó-forrás hozamát.

Egy geotermikus erőmű elsősorban létesítésének időszakában terheli a környezetet. Az erőművek kis területigényük miatt nem jelennek korlátokat a mezőgazdasági termelés számára. Az erőművek általában alacsony építésűek, kis alapterületűek, nincsenek magas tornyok, a környezet fásításával a tájképet megzavaró hatások jelentősen csökkenthető.

A geotermikus erőművekben az elvont hő fajlagosan nagyobb, mint a fosszilis és nukleáris erőműveknél, mert a primer hőforrás kisebb hőmérsékletű. Egy geotermikus

Erőműtípus	Fajlagos terület (m <sup>2</sup> /MW)
110 MW kondenzációs geotermikus	1260
20 MW bináris geotermikus	1415
1780 MW atomerőmű (Paks)	1404
2258 MW széntüzelésű + külfejtés	40 000
47 MW naperőmű (Mojave Desert, USA)*	28 000
10 MW fotovillamos (Southwestern USA)*	66 000

3. táblázat – (\* átlagteljesítmény)

erőműnél az egységnyi teljesítményre eső hulladékhoz 2–3-szor nagyobb a nukleárishoz képest. Egy 100 MW-os geotermikus erőmű hőkibocsátása egy 500 MW-os gázturbinás erőműével egyenlő. Ez a hátrányosnak tűnő tulajdonság előnyre változtatható az elektromos energia és a közvetlen hőhasznosítás egyidejű megvalósításával, a közvetlen hőhasznosítás többlépcsős, a minél teljesebb hőmértéklet-tartományt lefedő megoldásával.

A geotermikus erőmű létesítésekor a fűrés és a kútkiképzés a legveszélyesebb fázis, annak ellenére, hogy a geotermikus tárolóból feltörő gőz nem okozhat tüzet, robbanásveszélyt, mérgezést. A túlnyomásos tárolók feltárása, művelése a legkockázatosabb. Magyarországon a fábiánsebestyéni gőzkitörés volt eddig a legsúlyosabb, halálos balesettel járó káresemény. A kitörésvédelmi eszközök és módszerek állandó fejlődése csökkenti ezt a veszélyt. A geotermikus mezők feltárása során a modern geofizikai eljárások alkalmazása is nagymértékben csökkenti a fűrés során fellépő kockázatot.

### Összefoglalás

A fenntartható fejlődés igénye, a fosszilis energiahordozók véges készletei olyan új energiaforrások felhasználását teszik szükségessé, amelyek belátható időn belül nem merülnek ki, s szakadatlanul megújulnak.

### IRODALOM

- Bobok Elemér – Tóth Anikó (2005): *Megújuló energiák*. Miskolci Egyetemi, Miskolc
- Lund, John W. (1998): *Geothermal Direct-Use Engineering and Design*. GeoHeat Center, Klamath Falls, Oregon
- Rybach, Ladislaus (2008): *Geothermal Global and*

Ezek közé tartozik a geotermikus energia is, amely csupán részben megújuló energiatípus, de óriási készletei évezredekre elegendőek. Kitermelésének módszerei, eszközei az olajiparban kidolgozottak, az olajkészletek fogyása a geotermikus energia termelésére predestinálja a szakmát. Ez az energiatermelés lehetőségeihez képest még csak az ígéretes jövő küszöbén áll.

A jelenlegi 10 GW villamosenergia-termelő és a 29 GW közvetlen hőhasznosításra kiépített kapacitás már elegendő megbízható tapasztalatot szolgáltatott a további nagyléptékű fejlődéshez. A tiszta, környezetbarát, versenyképes árú geotermikus energia várhatóan az energetikai fejlesztések fő áramába kerül jelenlegi marginális helyzetéből.

Átgondolt gazdaságpolitikai és adminisztratív intézkedések nyomán Magyarország is természeti adottságainak megfelelő helyet kaphat a világszerte ugrásszerű fejlődés előtt álló geotermikus iparágban. Célszerű lenne Magyarországon is hatékonyabban támogatni a geotermikus kutatást, fejlesztést és beruházásokat.

Kulcsszavak: *geotermikus gradiens, földi hőáram, geotermikus rezervoár, mesterséges tároló, hőcserélő kút (BHE), forró száraz kőzet (HDR), közvetlen hőhasznosítás, hőszivattyú, környezeti hatások*.

- European Perspective*. GAI 10<sup>th</sup> Anniversary Conference, Kilkenny
- Tester, Jefferson W. et al. (2006): *The Future of Geothermal Energy*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
- Tóth Anikó (2010): *Hungary Country Update 2005–2009*. In: Proceedings World Geothermal Congress. Bali

# A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK HAZAI LEHETŐSÉGEI

Farkas István

DSc, Szent István Egyetem Környezetipari Rendszerek Intézet  
farkas.istvan@gek.szie.hu

### Bevezetés

Az MTA Megújuló Energetikai Technológiai Albizottság (MEA) 2000-ben tárgyalta az aktív napenergia-hasznosítással kapcsolatban a szoláris rendszerek hazai fejlesztésének javasolt programkoncepcióját, melyben vázolta a napenergia aktív és passzív hasznosítási technológiáinak akkori helyzetét Magyarországon és az Európai Unió országaiiban, valamint a hazai fejlesztés indokait és lehetőségeit.

Ennek megfelelően készült el az albizottság stratégiai programkoncepciója (MTA MEA, 2001), amelynek kidolgozásában részt vettek a Magyar Napenergia Társaság szakértői. A program a napenergia-hasznosítás négy részterületét tárgyalta: aktív hőhasznosítás, mezőgazdasági hasznosítások, fotovillamos hasznosítás, valamint passzív hasznosítás.

A javasolt intézkedések közül csak néhány valósult meg, például az EU-szabványok átvétele vagy kisebb vállalkozások, oktatási intézmények öntevékeny akciója a társadalmi, lakossági tájékoztatás, az oktatás megszervezésére. A várt központi intézkedések területén eddig nem történt átütő előrelépés.

A hazai napenergia-hasznosítási potenciál ismerete szükséges ahhoz, hogy a mind

jobbán előtérbe kerülő alternatív energiaforrások alkalmazási lehetőségeit és az ezekhez szükséges feltételeket reálisan ítélhessük meg, ugyanakkor az EU előírásainak hazai szinten megfeleljünk. Ennek megfelelően készült el az albizottság felmérése az egyes megújuló energiaforrások részterületeire vonatkozóan (MEA, 2006).

A hazai napenergia-hasznosítás vizsgálatakor fontos szempont a földrajzi helyzet, a beérkező napsugárzás jellemzői, a meteorológiai tényezők, a hasznosítás módja, a technikai feltételek, a társadalmi tényezők, valamint a gazdaságosság. Jelen dolgozat az albizottság által készített tanulmányra alapozva, az akkori helyzetet is figyelembe véve ismeret néhány időszzerű gondolatot a környezeti hatások elemzésével kiegészítve.

### A NAPENERGIA AKTÍV HASZNOSÍTÁSA<sup>1</sup>

#### Adottságok

Magyarország adottságai a napenergia-hasznosítás szempontjából kedvezőbbek, mint

<sup>1</sup> Ez a fejezet a Magyar Tudományos Akadémia MEA (2006) tanulmánya és Kaboldy Eszter (2005) publikációja alapján készült.