

RYBACH LÁSZLÓ

A geotermikus energia globális helyzete és kilátásai

A geotermikus energia alapja a Föld belsejének hőtartalma; hasznosítása két főformában érvényesül: áramfejlesztés és direkt hőfelhasználás. Az utóbbinak több változata van, például távfűtés, vagy ipari és mezőgazdasági alkalmazások. Mindezek már világszerte folynak, s ennek megfelelően van elég tapasztalat. A geotermia előnyei sokfélék: igen jelentős, de még csak kezdetlegesen kiaknázott potenciálú, időben állandóan szolgáltató, elvileg mindenütt előfordul, környezetbarát, sok helyen már gazdaságos.

Egy nívós forrás szerint (World Energy Assessment WEA) a geotermiáé a legnagyobb megújuló potenciál (1. táblázat):

Energiaforrás	Teljesítmény (EJ/év)
Geotermia	5000
Napenergia	1575
Szélenergia	640
Biomassza	276
Vízierő	50
Összesen	7541

1. táblázat. Megújuló energiapotenciálok (WEA 2000)

A számadatok dimenziója teljesítmény, azaz hogy időegységnyi energia. Nyilvánvaló, hogy a geotermikus potenciál a legnagyobb, amely eddig még alig lett kiaknázva.

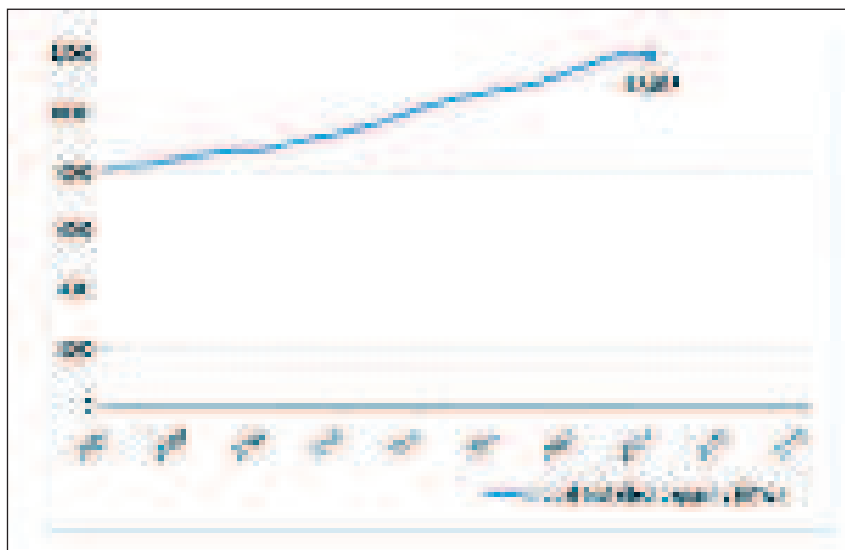
Növekedési tendenciák

Az 1. ábra a globális geotermikus áramfejlesztés fejlődését ábrázolja, a 2. ábra pedig egy összehasonlítást napelemekkel. 2013-ban a geotermikus áramfejlesztés világszerte 76 TWh volt (REN21, 2014).

Nyilvánvaló, hogy a geotermikus áramfejlesztés egyre inkább lemarad. Ugyanez a helyzet a szélenergiával összehasonlítva is. 2013-ban a világszerte beépített szélenergia-teljesítmény elérte a 320 GWe-t. Bár a geotermikus erőművek évente (világvil-

Technológia	Beépített teljesítmény		Évi termelés		Működtetés	
	GWe	%	TWh/év	%	%	
Vízierő	1000	64.2	3680	74.9	42	
Biomassza	88	5.7	405	8.2	53	
Szélerő	318	20.4	585	11.9	21	
Geotermia	12	0.8	76	1.5	72	
Napelemek	139	8.9	170	3.5	14	
Összesen	1557	100	4916	100	-	

2. táblázat. A globális elektromosáram-fejlesztés összehasonlítása megújuló technológiákból (Rybach, 2014)



1. ábra. A világszerte beépített geotermikus erőmű-teljesítmény fejlődése 2000 és 2014 között (Forrás: Geothermal Energy Association - 2014)

szonylatban) sokkal több órán át termelnek áramot, mint a szél- és napelem-erőművek, 2011 óta pedig a napelemek is többet termelnek évente, a szélerőművekről nem is beszélve. A 2. táblázatban összefoglaljuk a megújuló energiákra alapozott globális áramfejlesztést.

Mindezekből tisztán látható, hogy a geotermikus áramfejlesztés egyre inkább lemarad, tehát valamiképpen fel kellene

gyorsítani a geotermika növekedését. De hogyan? Ezt az alábbiakban részletezzük.

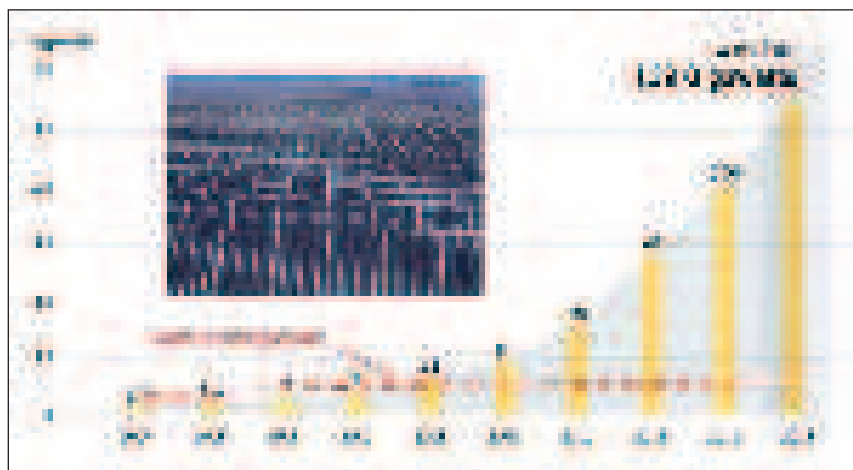
Hogyan lehetne a geotermikus áramfejlesztés kiépítését felgyorsítani?

Manapság a geoelektromos erőművek 99,99 %-a az ún. hidrotermális készleteken alapul. A hidrotermális készlet azt

Vízkitermelés	75 kg/s
Kútfejjvízhőmérséklet	200 °C
Hőcserélő összfelület	10 x 10 ⁶ m ²
Közettérfogat	3 x 10 ⁸ m ³
Áramlási ellenállás	< 0.1 MPa/(kg/s)
Hőmérsékletcsökkenés 30 év alatt	10 %
Vízvesztés	< 10 %
Tőkeamat	5 %

3. táblázat. EGS hőcserélő rezervoár szükséges paraméterei (Forrás: EGEC, 2012)

jelenti, hogy adott területen a mélyben geotermális fluidumok (termálvíz, gőz vagy víz/gőz keverék) található, gazda-



2. ábra. A napelemek fejlődése (beépített teljesítmény) 2008 óta egyre inkább megelőzi a geotermikus fejlődést. A geotermia szaggatott vonala az 1. ábra alapján. A napelem-adatok forrása: REN21 (2014)

ságilag jelentős mennyiségben. Az ilyen előfordulásokhoz különleges, aránylag csak ritkán meglévő földtani adottságok szükségesek, mint pl. vulkanikus területek permeábilis kőzetei, üledékes medencék termálvíz-tartói stb. Ezek aligha fognak nagyságrendi növekedést hozni a geotermikus erőművek kiépítésében.

Az ún. petrotermális készletek, melyek magas hőmérsékletű (> 100 °C), majdnem mindenütt jelenlévő alapközeteket jelentenek, viszont óriási mennyiségben fordulnak elő. Ez esteben csak azt a technológiát kell kidolgozni, mellyel a mély földhő kitermelhető.

Ezt célozza az EGS-technológia (EGS= Enhanced Geothermal System), ami „mesterséges” hidrotermális viszonyokat próbál létrehozni. Ehhez a mélybeli kőzet átteresztő-képességét kell jelentős mértékben megnövelni. Ez hidraulikus víznyomás-nö-

veléssel, mély fúrólukakon keresztül történik. A működtetés folyamán hideg vizet sajtolnak be, ami felmelegedve – a kőzet 150–200 fokos hőtartalmát kiaknázva – további termelőketek által kerül a felszínre. Ezzel olyan erőművek hajthatók meg, amik hidrotermális készleteknél már régóta eredményesen működnek. Voltaképpen tehát egy repedésrendszert kell helyenként kialakítani (stimuláció) jó néhány km mélységben, ami egy nagy hőcserélőként működik. Mindez részletesen publikálásra került az M.I.T. „The Future of Geothermal Energy” (2006)” című tanulmánykötetében. A tanulmány szerint csak magában az Egyesült Államokban >200 000 EJ EGS hőenergia termelhető ki, ami az USA primérenergia-szükségletének 2000-szerese.

Mindez elméletben jól működik, azonban a gyakorlatban csak alig néhány EGS-erőmű épült, és eddig mindegyiknél volt valami probléma. Tehát van mit tenni!

- A több km mélységben kiépítendő EGS hőcserélő fent említett stimulációjánál több kőzetmechanikai kérdést kell tisztázni: a feszültségtér anizotrópiájának hatása és a feszültségváltozás terjedésének módja (gyors/”száraz”, vagy lassú/”nedves” – különféle helyi viszonyok között) még ismeretlen;
- A stimuláció által létrejövő (de az erőmű-működés alatt is előállható) szeizmicitás korlátozása még megoldatlan, pedig a gerjesztett rezgések komoly ellenállást válthatnak ki;
- az érintett lakosságban az EGS technológiával szemben;
- A hőcserélő repedésrendszer nem csak néhány nagy, kiterjedt repedésből álljon, hanem sok finoman elosztottból. Ennek elérése mindenütt, azonban még tisztázatlan kérdés;
- Az egész tervezett hőcserélőn belüli folyadékmozgás egyöntetűsége még nem kialakítható;
- Eddig még semmilyen tapasztalat nincs arról, vajon hogyan működik egy EGS hőcserélő hosszú távon.

A hőkiemelés döntő jellemzője az ún. kinyerési tényező (a kiemelhető/jelenlévő hőmennyiség hányados). Ez a tényező alaposan megváltozhat egy EGS-létesítmény működése során: egyrészt a kőzet vízáteresztő-képessége megnőhet (pl. új repedések keletkezhetnek a kőzet lehülése folyamán vagy egyes ásványok feloldódásából kifolyólag), másrészt csökkenhet (ásványlerakódások vagy hidraulikus rövidzárlatok miatt).

Az EGS-rendszerek kiépítésénél már léteznek kívánt területek, vagyis nem kell új fűrőhelyeket kitűzni. Ezzel szemben részletesen meg kell kutatni a helyi földtani viszonyokat: a mélységi alapközet típusát (mészkö? gránit? gneisz? pala?...), a feszültségtér komponenseit, a hőmérséklet-tér mérvadóit, a már létező repedésrendszer mivoltát, és a természetes helyi szeizmicitást.

Többéves tapasztalat híján az EGS-rendszerek gazdaságossága még teljesen tisztázatlan. Az előkészítés (beleértve a helyi mélységbeli viszonyok felderítését és a stimulációt is), az erőműépítés, és az üzemeltetés költségeiről eddig mért adat nincs. Mindenesetre, a gazdasági szempontból sokkal előnyösebb, ha az erőművek „hulladékhojje” helyileg alkalmazható, pl. távfűtésre.

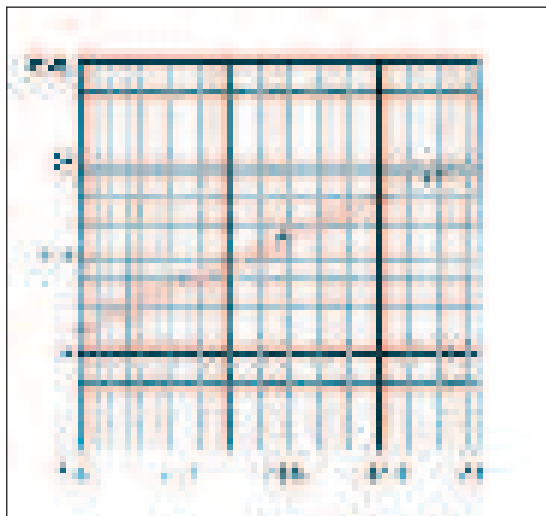
Az EGS erőműrendszerek teljesítményének növelése középtávon elengedhetetlen (eddig csak néhány megawatt elektromos teljesítményt terveztek), mert e nélkül az EGS nem kelt nagy piaci nyomást. Legalább több tíz megawattos erőművekre lenne szükség. Ilyen elképze-

A 3. táblázat egy technikailag működőképes és gazdaságilag megfelelő EGS hőcserélő rendszer paramétereit mutatja be.

A táblázat egy kb. 5 MWe teljesítményű EGS létesítmény jellemzőit tartalmazza. Ezek nemzetközileg elfogadott értékek; a döntő kérdés az, hogyan lehetne ezeket minden kívánt helyen realizálni, a helyi földalatti adottságoktól függetlenül. Vagyis a fő feladat olyan technológia kifejlesztése, amivel bárhol lehetne egy „standard” EGS hőcserélőt bármilyen altalajban létrehozni.

A megoldandó EGS-kérdések

A szükséges technológia kifejlesztéséhez még sok feladat vár a kutatás/fejlesztés szakembereire:



3. ábra. A földhőszivattyúk globális teljesítménye exponenciálisan növekszik, évi 20 %-kal

lések már vannak: pl. Vörös et al. (2007) elméletben kidolgoztak egy olyan megoldást 24 besajtoló és 19 termelőkúttal, ami 200 MWe összteljesítményt adna. Ezt persze jó lenne kipróbálni. Jelenleg az eddig legnagyobb geotermikus erőmű (hidrotermális készletre támaszkodva) 140 MWe nagyságú (Taonga, Új-Zéland).

Összefoglalva, az EGS jelenleg még csak elméleti stádiumban van. Az EGS helyzetének és problematikájának részletes leírása Rybach (2010) publikációjában megtalálható.

Direkt hőfelhasználás

A földből kinyert és globálisan alkalmazott geotermikus hő 2013-ban 300 PJ volt (REN21, 2014). Mint említettem, a felhasználás különféle módon és célra létesül. A magyar geotermikus viszonyok nagyon kedvezőek. Az ország világszerte élen jár a termálkútak területi sűrűségével: kb. 1 termelő kút van 100 négyzetkilométerenként. A kiemelt vízmennyiség is jelentős, összesen kb. 70 millió köbméter évente. Kérdés, hogy ez a tempó meddig lesz fenntartható visszasajtolás nélkül, ugyanis a legtöbb helyen csak termelő kutak vannak.

A geotermikus hő közvetlen felhasználásának egy másik fontos lehetősége a távfűtés. Ilyen rendszerek több országban működnek sikeresen; Izlandon pl. az épületek több mint 90%-át geotermikus energia fűti. A Párizsi-medencében (magában a fővárosban is) több ún. dublett rendszer (=termelő és visszasajtoló kútpár) működik évtizedek óta, mindegyik több ezer lakást lát el.

Az utóbbi időben több európai országban tapasztalható fellendülés a geotermikus távfűtés területén (EGEC 2013). Pl. a bajor Molasse-medencében – különösen München térségében – tucatnyi geotermikus telep épült vagy épül, gyakran kombinálva fűtésre és/vagy áramfejlesztésre. A fejlesztő általában a helyi önkormányzat. Dániában is vannak ilyen irányú fejlesztések.

Magyarországon is kiépültek mélyfúrásokon alapuló fűtőrendszerek, egyrészt mezőgazdasági célokra (üvegházak), másrészt távfűtésre. Az utóbbiaknál eddig nem gyakran alkalmaztak visszasajtolást. Újabbban a PANNERGY cég (www.pannergy.com/geotermia/) fejleszt és épít sikeresen „dublett” rendszereket, pl. Szentlőrincen, Miskolcon és Győrött. Az utóbbit az AUDI Hungaria Motor Ltd. cég számára.

A globális direkt hőhasznosítás legnagyobb részét (> 50%) a földhőszivattyús rendszerek alkotják. Ez aránylag új technológia, mely nem csupán az épületek hűtését és fűtését szolgálja, hanem háztartási meleg vizet is szolgáltat. Erről további részletek, valamint a rendszerek hosszú távon fenntartható működésének elemzése, stb. a Rybach and Eugster (2010) cikkben olvashatók.

A földhőszivattyús rendszer a leggyorsabban fejlődő megújuló technológiák közé tartozik; növekedése világszerte kb. 20% évente (3. ábra). Földhőszivattyús rendszerek a geológiai adottságtól szinte függetlenül létesíthetők, mert energia-alapjuk (és tárolójuk) a földkéreg legfelső része. Várható, hogy fejlődésük és elterjedésük továbbra is jelentős marad; sok ország csak most kezdi ezt a technológiát bevezetni.

A globális direkt hőhasznosítás legnagyobb részét (> 50%) a földhőszivattyús rendszerek alkotják. Ez aránylag új technológia, mely nem csupán az épületek hűtését és fűtését szolgálja, hanem háztartási meleg vizet is szolgáltat. Erről további részletek, valamint a rendszerek hosszú távon fenntartható működésének elemzése, stb. a Rybach and Eugster (2010) cikkben olvashatók.

Összefoglalás, kitekintés

A geotermia előnyei sokfélék, pl. igen jelentős, de csak kezdetlegesen kiaknázott potenciálú, időben állandóan szolgáltat, elvileg mindütt előfordul, környezetbarát, és sok helyen már gazdaságos. A geotermikus energiaforrások egyre nagyobb arányban fognak részesedni a jövőbeli energiaellátásban.

A geotermikus áramfejlesztés aránya a megújulóknak mezőnyében sokáig jelentős volt; de 2011 óta a nepelemek már több áramot termelnek világszerte, mint a geotermika. Az EGS- rendszerekkel

ugyan fel lehetne gyorsítani a geotermikus erőművek elterjedését, de ehhez még jelentős kutatási/fejlesztési erőfeszítések lesznek szükségesek. A közvetlen hőhasználat elsősorban a földhőszivattyúkon alapul; ez a technológia nemzetközileg terjed, jelenleg évi 20 %-os intenzitással. A geotermikus távfűtés további jövőbeli perspektivikus technológia, amihez szükséges a visszasajtolás, főleg hogy az üzemeltetés fenntarthatósága biztosítva legyen.

Globálisan egylőre talán nem, de lokálisan ígéretesnek tűnik a mélységbeli geotermia. A magyar földtani adottságok egyértelműen kedvezőek a hazai továbbfejlesztésére.

Irodalom

- EGEC 2012: Strategic Research Priorities for Geothermal Technology, 65 p., RHC-Platform, Brussels
- EGEC 2013: EGEC Geothermal Market Report 2013/2014, 69 p., Brussels
- GEA 2014: 2014 Annual U.S & Global Geothermal Power Production Report, Geothermal Energy Association, 25 p., Washington D.C.
- Lund, J.W., Freeston, D.H., Boyd, T.L. 2010: Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. In: Proceedings World Geothermal Congress 2010, Nusa Dua/Bali, Indonesia
- M.I.T. 2006: Tester et al.: The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, MIT – Massachusetts Institute of Technology, 358 p., Cambridge, MA.
- REN21 2014: Renewables 2014 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 215 p., Paris
- Rybach, L. 2010: The “Future of Geothermal Energy” and its challenges. In: Proceedings World Geothermal Congress 2010, Nusa Dua/Bali, Indonesia
- Rybach, L., Eugster, W.J. 2010: Sustainability aspects of geothermal heat pump operation, with experience from Switzerland. Geothermics, 39, 365-369
- Rybach, L. 2014: Geothermal Power Growth 1995–2013—A Comparison with Other Renewables. Energies 2014, 7, 1-x; doi:10.3390/en70x000x
- Vörös, R., Weidler, R., de Graaf, L. and Wyborn, D. 2007: Thermal modelling of long term circulation of multi-well development at the Cooper basin hot fractured rock (HFR) project and current proposed scale-up program, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA.
- WEA 2000: World Energy Assessment Report: Energy and the Challenge of Sustainability. United Nations Development Programme, 502 p. New York, NY.