

HELYZETKÉP A VILÁG GEOTERMIKUS ENERGIATERMELÉSI LEHETŐSÉGEIRŐL

BOLDIZSÁR TIBOR
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az Electric Power Research Institute, rövidítve EPRI a Világ Energia Konferencia felkérésére 1977. III. 30-án elkészült tanulmányában összeállította a világ geotermikus energiatermelésének adatait, továbbá a lehetséges geotermikus energiakészletek meghatározását is elvégezte. Az összeállítás 16 ország szakértőinek segítségével történt, azonban irodalmi adatok, valamint a szakértők ismeretei alapján kiterjedt a világ valamennyi országára. Ebben a munkában a Szerző is részt vett, adatait, illetve irodalmi publikációit a tanulmány készítésénél felhasználták.

E tanulmány első ízben határozta meg a világ bruttó geotermikus energiakészletét, amely a kontinentális területek alatt 3 km mélységig terjedő kőzetekben tárol. A számítás $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ alaphőmérsékletre vonatkozik. 13 ország által közölt adatok valamint a geotermikus térképek alapján a 13 ország alatt $5,8 \cdot 10^{14}$ MWh hőmennyiség van tárolva. A szakértők véleménye alapján a világ összes országaira kiszámított extrapolált érték pedig ennél jóval nagyobb, $1,2 \cdot 10^{16}$ MWh. A 3 km mélységhatárt a szakértők már korábban gazdaságossági és technikai megfontolások alapján állapították meg. A fűrási költségek a mélységgel hatványozottan nőnek, ezért 3 km-nél nagyobb mélységből kitermelhető energia egy-két évtizedes távlatban sem lesz gazdaságos.

A készletnek mindössze 2%-a olyan nagy hőmérsékletű, amely figyelembe jöhet villamosenergia-termelésre, de a jelenleg ismert technológiával csak egy tized ezrelék hasznosítható. Annak ellenére, hogy a kihasználási tényező rendkívül alacsony, figyelembevéve az energiaátalakítási veszteségeket is, a geotermikus villamosenergia termelő potenciál mégis igen nagy, kereken 1,2 millió MWévszázad villamos energia. Jelenleg a geotermikus erőművek kapacitása 1976. év végi adatok alapján 1325 MW.

A) Geotermikus energiakészletek

A geotermikus energia, amely a Föld természetes melegének energetikai célokra való hasznosítható része, nemzetközi energiaforrás, amely a dolgok természeténél fogva a világ minden országában jelen van. Felhasználása minden ország gazdasága szempontjából nagy jelentőséggel bír, különösen ott,

ahol a fosszilis és nukleáris tüzelőanyagok helyettesítésére, illetőleg konzerválására más energiaforrásokat keresnek. A geotermikus energiatermelésre kevés ösztönző tényező hatott mindaddig, amíg a fosszilis tüzelőanyagok mennyiségét kimeríthetetlennek tartották és az olcsón és bőven állott rendelkezésre. Egyes országokban, amelyek fosszilis energiahordozókban szegények voltak mint Olaszország, Izland, Új-Zéland, Japán, Magyarország a geotermikus energia kihasználására már korábban megindultak a vizsgálatok, amelyek eredményre is vezettek. Az 1973. év e kérdésben az egész világon fordulatot jelentett, mert az energiaválság korszakának bekövetkeztével egyrészt a fosszilis energiahordozók költsége rendkívüli mértékben megemelkedett, ami első sorban az energia importra szoruló országokat, így Nyugat-Európát és az Egyesült Államokat arra készítette, hogy újra felülvizsgálják a meglévő, bányászati termeléssel előállítható fosszilis- és magenergiakészleteik mennyiségét és új energiaforrásokat igyekeznek bekapcsolni az energiatermelésbe. Valamennyi ország, amelyet az energiaválság érintett, arra a megállapításra jutott, hogy a geotermikus energia felkutatása, kitermelése egyre fontosabb szerepet kap az egyes országok energiaellátásában. Egyes országok, amelyek szerencsésen az egész világra kiterjedő, nagy összefüggő, harmadkori hegységképződési, úgynevezett orogén övezetbe tartoznak, ahol a földi hőáram nagy, kedvezőbb helyzetben vannak és képesek lehetnek, hogy jelentősebb arányban fedezzék energiaszükségletüket geotermikus forrásokból. Az energiaválság előtt geotermikus energiatermelés csakis ilyen országok területén volt gazdaságos. Azonban az energiaválság után olyan országokban is, ahol normális földi hőáram következtében átlagos hőmérsékletgradiensek vannak, a geotermikus energia termelése szintén figyelmet keltett és minden lehetőséget megragadnak arra, hogy a geotermikus energia bekapcsolása kedvezően hasson az általános energiaellátási helyzetre.

Egyes országok kivételével, amelyek hosszabb idő óta nagyobb méretben folytatták a geotermikus energia felkutatását, kevés ismeretünk van még a világ geotermikus energiakitermelési helyzetéről. Sok olyan előfordulási típus is ismeretes, amelynek energetikai kihasználása, bár bőséges energiát képesek szolgáltatni, egyelőre technikai nehézségekbe ütközik. Ezért egyes országok nagy erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy geotermikus energiatermelési lehetőségeiket területi megoszlásban felkutassák, másrészt pedig olyan eddig még ismeretlen új módszereket dolgozzanak ki, amelyek a geotermikus energia transzformálását felhasználásra alkalmas módon lehetővé teszik.

A geotermikus energiakészleteket három alapvető típusra osztják:

1. Hidrotermális rendszerek
 - a) folyadékállapotú rendszerek
 - b) gőzállapotú rendszerek

2. Forró, száraz kőzetrendszerek
3. Túlnyomásos rezervoár rendszerek

A folyadékállapotú rendszerekben az áramló víz közvetíti a kőzetek hőenergiáját a felszíni felhasználás felé. E rendszerekben a hőmérséklet a felszíni középhőmérséklet és 360–370 °C között változik. Az eddig végzett vizsgálatok azonban igazolták, hogy ezek a rendszerek vannak az egész világon a legjobban elterjedve és ennek következtében domináló szerepük van a geotermikus energiatermelésben. A gőzállapotú rendszerek, amelyeket száraz, túlhevített gőzrendszereknek is nevezhetünk, szintén hidrotermális eredetűek, azonban rendkívül ritkák. Ahhoz, hogy egy hidrotermális rendszerből száraz, túlhevített gőzt lehessen termelni, a geotermikus, hidraulikus, termodinamikai és geológiai feltételeknek egy különös összhangja szükséges, amely sajnos világviszonylatban is csak rendkívül kevés helyen található. Minthogy a száraz, túlhevített gőzállapotú rendszerek a legalkalmasabbak és a legkényelmesebbek villamosenergia termelésre, ilyen rendszerek iránt az ENSZ támogatásával 1961-ben világszerte megindult kutatások a mai napig folytak. Sajnos azonban nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket, mert az esetek túlnyomó részében a felkutatott rezervoárok gőz helyett forróvizet tartalmaztak, amelyek termelési és hasznosítási problémái sokkal kedvezőtlenebbek és egyes esetekben a ma ismert technológiával meg sem oldhatók.

A forró, száraz kőzetrendszerekben hidraulikus cirkulációt csak mesterségesen lehet előállítani, mert a kőzetek porozitása, permeabilitása olyan kicsi, hogy megfelelő mennyiségű víz cirkulációja nem jöhet létre. Ezek a kőzetek egyes geotermikus anomália területeken a felszín alatt helyezkednek el. Mivel azonban a porozitás általában a mélység növekedésével csökken, bizonyosan feltételezhető, hogy a Föld kérgében nagyobb mélységben már ilyen kőzetek dominálnak. Jelenleg az Egyesült Államokban nagyszabású kísérleteket folytatnak annak érdekében, hogy hogyan lehet a forró száraz kőzetekben mesterségesen előállított összefüggő hasadékrendszereket létesíteni annak érdekében, hogy megfelelő fűtő felületet képezve egy fúrólukon keresztül megfelelő mennyiségű hideg vizet bevezetve egy másik fúrólukon keresztül nagy hőmérsékletű forró vizet vagy gőzt lehessen termelni.

Emellett az ismert hidrotermális rendszerek szempontjából is jelentősége van ezeknek a vizsgálatoknak, mert ha ezekből a rendszerekből a forró vizet kitermelték, akkor a bennük lévő közethő kitermelésére is gondolni lehet, másodlagos termelési eljárások bevezetése révén.

Túlnyomásos rezervoárok a mélyebben lévő üledékes kőzetekben találhatóak, ahol a porózus kőzetek agyagos kőzetek közé vannak bezárva, aminek következtében a konszolidáció ideje alatt a pórusvíz nem tudott eltávozni és így a formáció nem hidrosztatikus, hanem litosztatikus nyomás alatt áll. A litosztatikus nyomás jóval nagyobb a hidrosztatikus nyomásnál és megközelít-

heti a felette lévő kőzetoszlop súlyából eredő nyomást. Ezek a rezervoárok gyakran a környezetüknél nagyobb hőmérsékletgradienssel jelentkeznek. Az Egyesült Államokban a Gulf Coast túlnyomásos rezervoárjaiban a hőmérséklet 200–240 °C-ig emelkedik, míg a kútfejnyomás 7–800 kg/cm² értéket is elérheti. A túlnyomásos kőzetekben tárolt víz nagy mennyiségű oldott metángázt is tartalmaz, amely a forróvíz kitermelésével kapcsolatban szintén hasznosítható. Ezenkívül a kútfejen jelentkező nagy nyomás mechanikai energiája is, turbinák segítségével, kihasználható. Minden üledékes medencében egy bizonyos mélységhatár alatt az üledékes kőzetek között nagynyomású rétegek is találhatóak, amelyek felületi kiterjedése a medence méretével arányos.

A nagy földi hőárammal jellemzett harmadkori orogén világ méretű övezet a következő fő részekből áll:

1. cirkumpacifikus övezet,
2. alpesi övezet az Azori-szigetektől Kínáig,
3. kelet-afrikai rift övezet,
4. a közép-atlanti hátság.

A jelentős geotermikus energiatermelő államok — köztük hazánk is — ebben az övezetben fekszenek. A nagy kiterjedésű országoknak (Szovjetunió, Kína, India, Egyesült Államok, Kanada stb.) egy-egy zónája esik a harmadkori orogén övezetbe.

Az egész világra vonatkozó felmérés alapján, amely 108 ország területére vonatkozik, az EPRI a rendelkezésre álló, sokszor hézagos vagy becsült adatokból meghatározta a világ geotermikus energiakészletét, amely 3 km mélységig a kőzetekben tárolva van. A készleteket a következő hőmérsékleti osztályokba sorolták.

I. osztály	100 °C-nál kisebb
II. osztály	100–150 °C
III. osztály	150–200 °C
IV. osztály	250 °C-nál nagyobb

A számítás +15 °C alaphőmérsékletre vonatkozik és az egyes országok területét és geotermikus hőmérsékleti gradiensét veszi figyelembe. E számítás szerint a világ geotermikus hőkészlete, amely 3 km mélységig a kőzetekben és a bennük lévő vízben van tárolva, +15 °C alaphőmérsékletre vonatkoztatva (lásd részletesen a 4. táblázatban).

$$Q = 10,32 \cdot 10^{24} \text{ cal}$$

értékű. Ezzel szemben 13 országban, ahol készletszámítások léteznek, hivatalos vagy félhivatalos szakértői megállapítások szerint az összes készlet

$$5 \cdot 10^{23} \text{ cal.}$$

Ezen 13 ország között Magyarország is szerepel

$$1,3 \cdot 10^{22} \text{ cal}$$

hőkészlettel.

B) Geotermikus energia átalakítása villamos energiára

Jelenleg még csakis a hidrotermális rendszerek állnak rendelkezésre mint olyan rendszerek, melyekből geotermikus energia a felszínre hozható. Ebből is csak a III. és a IV. osztályba sorolt hőkészletek alkalmasak villamos energiává való átalakításra, mert az alsó hőmérsékleti határ a mai gyakorlat szerint 150 °C.

A hidrotermális elektromos energia potenciál az EPRI vizsgálata szerint, feltételezve, hogy az átlagos víztartalom 3 km mélységig 20%

$$E = 0,2 \eta Q,$$

ahol η az a mélységben tárolt hőmennyiség villamos energiává való átalakításának hatásfoka, Q a III. és IV. osztályba sorolt hőkészlet. A hatásfok értékét részletes számítások alapján az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Rezervoár típus	Hatásfok
Túlhevített gőz	0,018
Forró víz	0,016
Forró száraz kőzet	0,006
Túlnyomásos	0,020

A világ geotermikus energiatermelő potenciálja 3 km mélységig a III. és IV. osztályba sorolt készletek alapján számítható ki. 28 országban vannak ilyen lehetséges készletek. Magyarország nem tartozik ezen országok közé. Ezek összege, az 1. táblázat hatásfok adatait figyelembe véve

$$1,1 \cdot 10^6 \text{ MWcent}$$

villamos energiamentiséggel egyenlő.

$$1 \text{ MWcent} = 1 \text{ MWévszázad} = 7,5336 \cdot 10^{14} \text{ cal}$$

A fent jelzett geotermikus villamos energiatermelő potenciál alatt a hálózatra leadott villamos energiamentiséget értjük. Ezen energiapotenciálból jelenleg

$$1325 \text{ MW}$$

termelés folyik. A EPRI becslése szerint a termelési előirányzatok az egész világra vonatkozóan várhatólag a következőképpen alakulnak:

1985	200 GW
2000	500 GW
2020	1000 GW

2. táblázat

Villamos energiatermelési kapacitás geotermikus készletekből (jelenlegi és távlatban)

Év	1976	1985	2000
Ország	Beépített kapacitás, MW	Becsült kapacitás, MW	Becsült kapacitás, MW
Egyesült Államok	502	6000	20 000
Olaszország	421	800	—
Új-Zéland	190	400	1 400
Japán	68	2000	50 000
Mexikó	75	400—1400	1500—20 000
Szovjetunió	5,7	—	—
Izland	2,5	150	500
Törökország	0,5	400	1000
Kanada	—	10	—
Costa Rica	—	100	—
El Salvador	60	180	—
Guatemala	—	100	—
Honduras	—	100	—
Nicaragua	—	150—220	300—400
Panama	—	60	—
Argentína	—	20	—
Portugália	—	30	100
Spanyolország	—	25	200
Kenya	—	30	60—90
Indonézia	—	30—100	500—6000
Fülöp szigetek	—	300	—
Taivan	—	50	200
Összesen:	1325	11 325—12 475	14 775—100 000

C) Geotermikus energia közvetlen hőhasznosításra (nem-elektromos használat)

Közvetlen hőhasznosításra általában az I. és II. osztályba sorolt rezervoárok jönnek figyelembe, mivel a III. és IV. osztályba sorolt rezervoárok hőmérséklete az elektromos energia hasznosítását teszi lehetővé. Nincs kizárva a III. és IV. osztályba sorolt hőkészletek nem-elektromos használata sem, azonban az energiagazdálkodási szempontból csak egyes esetekben lehet indokolt.

A világ I. és II. osztályba sorolt geotermikus készleteinek hőtartalma

$$Q = 10^{25} \text{ cal} = 13,3 \cdot 10^{10} \text{ MWcent}$$

Az energiahasznosítási hatások (3. táblázat) természetszerűen lényegesen nagyobb, mint a villamos energiatermelés esetén (1. táblázat), hiszen a közvetlen hőhasznosítás

3. táblázat

Rezervoár osztály	Hatásfok
I	0,05
II	0,12

esetében a hő mechanikai munkává átalakításakor fellépő hőveszteség nem jelentkezik.

A hasznosítható hőmennyiség ugyanúgy, mint a villamos energiatermelés esetén, 20%-os átlagos porozitást véve figyelembe

$$E = 0,2 \eta \cdot Q$$

A világ országainak geotermikus számított energiakészletét 3 km mélységig terjedő övezetben a 4. táblázat foglalja össze hőmérsékleti osztályok szerint. Ugyanezen táblázatban szerepel az 1. és 3. táblázatban közölt energiaátalakítási hatások szerint a hasznosítható hőmennyiség értéke.

4. táblázat

A világ országainak számított geotermikus energiakészlete és a kitermelhető közvetlen hőmennyiség, valamint a kitermelhető villamos energiakészlet a felső 3 km vastag kéreg részben

Osztály	Hőmérséklet, C°	Tárolt bruttó, hőkészlet, MWh _t	Kitermelhető	
			hőmennyiség, MWh _t	villamos energia, MWh _e
I	100 alatt	$1,05 \cdot 10^{16}$	$7,3 \cdot 10^{14}$	—
II	100—150	$1,07 \cdot 10^{15}$	$7,5 \cdot 10^{13}$	—
III	150—250	$2,7 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{13}$	$4,8 \cdot 10^{12}$
IV	250 felett	$1,4 \cdot 10^{13}$	$9,7 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$
Összesen:		$1,2 \cdot 10^{16}$ $1 \cdot 10^{25}$ cal	$8,2 \cdot 10^{14}$ $7 \cdot 10^{23}$ cal	$5,1 \cdot 10^{12}$ $4,4 \cdot 10^{21}$ cal

Megjegyzés: A jelenlegi technikai színvonalon csak a hidrotermális rendszerek hasznosítása megoldott. E rendszerek a kitermelhetőnek jelzett értékek 20%-át teszik ki.

A 4. táblázatból jól látható, hogy a közvetlen hőfosztásra kitermelhető hőmennyiség két nagyságrenddel nagyobb, mint a villamos energiatermelésre

alkalmas hőmennyiség. Utóbbi értéke a közvetlen hőfogyasztásra kitermelhető értékben nem foglaltatik. Nem vitás, hogy a geotermikus energiakészletek a természeti körülményekből kifolyólag általában a közvetlen hőfogyasztás kielégítésére alkalmasak és villamos energiatermelésre csak kivételesen, szűkebb környezetben használhatók.

Az 5. táblázat szerint Magyarország a 3. helyen áll a geotermikus energiafogyasztásban. Emellett sok termelő kútunk még le van zárva és várja a fogyasztó bekapcsolódását. A $96,8 \cdot 10^{12}$ cal/nap világfogyasztás

4690 MW

5. táblázat

A legfontosabb országok napi átlagos nem-elektromos geotermikus energiafogyasztása (1976)

Ország	Hőfogyasztás 10^{12} cal/nap
Japán	60,9*
Izland	7,5
Magyarország	6,0
Új-Zéland	4,0
Szovjetunió	3,2
Csehszlovákia	1,9
Taivan	1,2
Olaszország	0,5
USA	0,4
Egyéb országok	11,2
Összesen	96,8

* a becslés túlzott

fogyasztott hőteljesítményt jelent, ami kereken háromszorosa a világ geotermikus villamosenergia termelésének.

A világ nem-elektromos geotermikus energiapotenciállal rendelkező 39 legfontosabb országa között Magyarország is szerepel a 6. táblázat adatai szerint. Eszerint Magyarország a 39. helyet foglalja el a készlet mennyisége alapján, míg a termelésben az 5. táblázat szerint a 3. helyen van. Ez a világfelmérés is bizonyítja, hogy a kis területű hazánkban a geotermikus energia-termelése világvizonylatban a legintenzívebb.

A felsorolásból jól látható, hogy a nagy területű országok nagy geotermikus energiakészletekkel rendelkeznek, ami részben nagy kiterjedésükből

6. táblázat

A világ 39 országának nem-elektromos geotermikus energiatermelő potenciálja az I. és II. készletosztályban

Ország	Nem-elektromos használatra alkalmas geotermikus energiakészlet 10 ⁶ MWcent (t)
Szovjetunió	22
USA	17
Kína	12
Kanada	12
Brazília	8
Pakisztán	8
Ausztrália	7
Mexikó	3
Peru	3
India	3
Argentína	2,5
Szudán	2,5
Etiópia	2
Zaire	2
Algéria	2
Szaud-Arábia	2
Irán	2
Grönland	2
Csife	2
Indonézia	1,5
Columbia	1,5
Bolívia	1,5
Csád	1,5
Törökország	1,2
Angola	1,1
Délafrika	1,1
Equador	1,1
Kenya	1,0
Tanzánia	0,9
Japán	0,9
Egyiptom	0,9
Nigéria	0,8
Zambia	0,8
Venezuela	0,8
Fülöp-szigetek	0,7
Franciaország	0,5
Új-Zéland	0,4
Izland	0,2
Magyarország	0,2
Összesen:	130,6

folyik. A geotermikus energiatermelés azonban elsősorban csak ott jöhet figyelembe, ahol a nagy földi hőáram vagy felszínközeli magmatikus tevékenység miatt a kőzetek hőmérséklete gyorsan növekszik és egyúttal jó hidraulikus rendszerek is kialakultak.

Az EPRI által kiküldött kérdőíveken a nem-elektromos használatra vonatkozó fejlesztési terveiket 16 országból válaszolták meg. Ezek szerint a 16 országban (házánkat is beleértve) összesen a következő energiafogyasztási tervszámok vannak:

Év	10^{12} cal/nap
1985	180
2000	700
2020	4000

A kérdőívekben közölt tervezett hőfogyasztás túlnyomó részben az Egyesült Államokra esik. Ezen előírányzati értékek lényegesen kisebbek, mint az elektromos energiatermelésre előírányzott értékek, ami arra mutat, hogy az elektromos energia előállítására alkalmas, a közvetlen hőtermelésre alkalmas készleteknél két nagyságrenddel kisebb hőkészleteket sokkal nagyobb mértékben szándékoznak igénybe venni. Az 1985. évre előírányzott 200 GW villamosenergia-termelés $4128 \cdot 10^{12}$ cal/nap hőegyenértéket jelent, tehát kerekén 23-szor nagyobb hőmennyiséget, mint a nem-elektromos előírányzat. A jövő mondja meg, hogy az előírányzatok hogyan fognak megvalósulni.

D) Hivatkozások

- Geothermal Energy. Prospects for the next 50 years. Preliminary report. Electric Power Research Institute, 107, 1977.
 WHITE and WILLIAMS: Assessment of Geothermal Resources U.S. Geological Survey, 155, 1975.
 BOLDIZSÁR T.: Magyarország és egyes országok geotermikus energiakészletei. MTA X. Osztályának Közleményei, 9, 3-4, 269-281, 1976.

APPRAISAL OF THE GEOTHERMAL ENERGY PRODUCTION POSSIBILITIES OF THE WORLD

By

T. BOLDIZSÁR

A b s t r a c t

On the occasion of the 10th World Conference on Energy numerous authors, including the author himself, determined the possible geothermal energy resources available within the rock mass of three km thickness. The gross thermal energy reserves are 1.2×10^{16} MWh; two per cent of this are of a temperature higher than 150°C thus suitable for electric energy

production. The quantity of heat of less than 150 °C unsuitable for electric power generation is by two orders of magnitude greater than the heat resources convertible into electric energy. Regarding the quantity of the utilized direct geothermal energy, Hungary occupies the third place on the world.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ МИРА

Т. БОЛДИЖАР

Резюме

Для 10 Конференции по энергетическим ресурсам мира многочисленными авторами определены потенциальные запасы геотермической энергии мира, содержащиеся в трехкилометровой толще непосредственно под земной поверхностью. Валовые запасы геотермической энергии составляют $1,2 \cdot 10^{16}$ мвт. ч., 2% от которых имеют температуру более 150°C и тем самым могут быть учтены как потенциальные ресурсы для производства электроэнергии. Однако, количество геотермической энергии с температурой меньше 150°C и тем самым неосваиваемой для электроэнергетических целей, намного больше, превышая — как показывают соответствующие подсчеты — примерно на два порядка величин количество запасов тепла, осваиваемых электроэнергетической промышленностью. В настоящее время Венгрия занимает третье место в мире по количеству непосредственно осваиваемой геотермической энергии.

