

MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

A Miskolci Egyetem Közleményei

85. kötet, 1. szám (2015)



MISKOLCI EGYETEMI KIADÓ
2015

EGS GEOTERMIKUS REZERVOÁR KIALAKÍTÁSÁNAK FŐBB KÉRDÉSEI

JOBBIK ANITA¹–VÖRÖS CSABA²

¹ Tudományos főmunkatárs, ME AFKI,
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport,
3515 Miskolc-Egyetemváros, Pf. 2
jobbik@afki.hu

² Tudományos munkatárs, ME AFKI

Absztrakt. Az EGS alapkonceptiója röviden megfogalmazható: a forró kőzet hőtartalmának repesztésekkel létrehozott és/vagy serkentett hőcserélő-felület segítségével történő, zárt rendszerű hasznosítása elektromos áram termelés céljából. Az elv egyszerű és pilot projektetekkel bizonyított, a kereskedelmi célú megvalósítás azonban a több évtizedes kutatások ellenére is várat magára. A szerzők vizsgálták az EGS elvű geotermikus rendszerek Magyarországi megvalósíthatóságát. Számos nemzetközi szakirodalom feldolgozása valamint a legkorszerűbb olajipari technológiák figyelembevételével folyó kutatómunka eredményeinek a mesterséges rezervoár kialakításával kapcsolatos gondolatait kívánja bemutatni jelen publikáció.

Kulcsszavak: geotermia, EGS, rezervoár, rétegrepesztés

1. BEVEZETÉS

A HDR (Hot Dry Rock) technológia elvi megfogalmazására az első olajválság idején, az 1970-es években került sor (4–5). Az elvet az Egyesült Államokban Los Alamos Scientific Laboratory (New Mexico) atomfizikusai fektették le. Az elgondolás alapja a kimeríthetetlen belső energiatartalommal bíró, elérhető mélységben lévő, forró kristályos kőzetek hőtartalmának kinyerése és hasznosítása elektromos energiatermelésre. A forró száraz kőzetek energiatartalmának kinyerése a kőzetben lévő vagy létrehozott (mesterséges) hőcserélő-felület és a benne áramló munkaközeg segítségével történhet.

Az első megvalósított mesterséges geotermikus energiatermelő rendszer ROBINSON (1971) javaslatára épült New Mexico-ban. Az USA geológiai szolgálata által gyűjtött és feldolgozott földtani, hidrológiai és hőáram adatai alapján egy a közelmúltban még aktív, vulkanikus területet választottak ki. A Los Alamos Scientific Laboratory ekkor kezdte el HDR-kísérlet-sorozatát, melynek eredményeképpen a Fenton Hill-i kísérleti telepen 1973–74-ben hidraulikus rétegrepesztéssel, körülbelül 3000 m-es mélységben hozták létre ezt az első mesterséges, egyetlen hatalmas repedés alkotta hőcserélő-felületet, melyet egy besajtoló és egy termelőkút metszett át. Az alsó lyuktalpon a hőmérséklet 195 °C volt.

A tesztek során méréseket és megfigyeléseket végeztek a hőcserélő felület meghatározása érdekében, különböző besajtolási nyomások esetén. Vizsgálták a rendszer hőmérsékletének és hidraulikai ellenállásának változását, a vízvesztés

azt, hogy hogyan befolyásolja a víz cirkulációja a rendszer állapotát; vagyis milyen módon oldja a víz az ásványokat, és ez miképpen módosítja a repedésrendszert. Az első tapasztalatok várakozáson felüliek voltak; meglehetősen kis mértékű volt a veszteség, alacsony volt a rendszer hidraulikai ellenállása, továbbá nem volt szükség kitámasztó anyagokra a rés nyitva tartásához, mivel a létrehozott repedés két felületének egyenetlenségei és a repesztést követően kis mértékű elmozdulása megakadályozta a visszazáródást. A Phase-I termikus teljesítmény 3 MW volt, a mérések alapján a hőcserélő-felület nagysága csak 8000 m² körüli volt, ami jóval kisebb, mint a létrehozott repedés felülete.

2. A MESTERSÉGES REZERVOÁR KIALAKÍTÁSA

A legintenzívebb mesterséges földhő alapú technológiákkal kapcsolatos kutatások jelenleg az Egyesült Államokban és Európában folynak. A hazai EGS-projekt kapcsán meg kell említenünk a NER300 típusú projektek támogatási rendszerét. A NER300 az Európai Unió és az Európai Bizottság által támogatott pénzügyi forrás, amely a szén-dioxid biztonságos leválasztására és geológiai tárolására irányuló kezdeti demonstrációs projekteket, valamint a megújuló energiaforrások hasznosítására alkalmazott innovatív technológiák demonstrációs projektjeinek a finanszírozását biztosítja.

Az Európai Bizottság brüsszeli hivatalos döntése értelmében a „Dél-Alföldi EGS erőmű” megvalósítandó projekt célkitűzése:

- Minimum 5 MWe nominális kapacitás biztosítása.
- Hazai áramtermeléssel közvetlenül import energiaforrás kiváltása.
- Helyi villamosenergia-termeléssel közvetett energetikai és térségfejlesztési előny biztosítása azáltal, hogy az erőmű lehetőséget teremt regionális villamosenergia-hálózat fejlesztésére.

Szeretnénk hangsúlyozni, hogy egy EGS-projekt fejlesztése igen magas kockázatú tevékenység, melyek közül a szerzők jelen írásban a mesterséges rezervoár létesítésének és úgynevezett termikus értelemben vett kihozatali tényezőjének elemzésével foglalkoznak.

A mesterséges rezervoár potenciális helyszíneinek kiválasztása, a projekt koncepciója alapján valósult meg, hazai körülmények között a kristályos alaphegység mélyén, 4000 méteres mélységben lévő, 200 °C feletti hőmérsékletű kőzetei a legalkalmasabbak ilyen rendszer kialakítására. A projekt megvalósításának tervezett helyszíne a Battonya nevű geotermikus koncessziós terület, melyre vonatkozó kutatási koncessziót 2014 novemberében nyerte el a konzorcium.

A helyszínek értékelése során nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy Magyarországon (és a világ többi részén is) az EGS-rendszerek kialakítására alkalmas kőzetek nem esnek egybe az olajipari kutatások területeivel, így ezekből a mélység és hőmérséklet-tartományokból nagyságrendekkel kevesebb információval rendelkezik.

Az EGS-rendszerek célzónái hazánkban nem elegendően megkutatottak, a gránitomb közetfizikai paraméterei (porozitás, illetve permeabilitás) becsülhetőek.

A kutatófúrások általában csak megérintették a gránit felső részét, így nincsenek magminták, illetve mérési adatok sem a kőzetekre, sem a fluidumra vonatkozólag. A geotermikus gradiens várható értéke mérések alapján előre jelezhető.

Véleményünk szerint a projekt kockázatait jelentős mértékben csökkenti, ha területen mélyülő kutatófúrás, illetve az információszerzési program rendkívüli körülményekkel kerül megtervezésre. A HPHT-környezetben kemény kőzetben történő fúrás nem nélkülözheti a hazai olajipari szakemberek tapasztalatait. A kutatófúrás megtervezése során nagy teljesítményű fúróberendezés hosszú idejű lekötéséről és speciális izzaptechnológiák (fluidum összetétel, hűtés stb.) hozzáféréséről kell gondoskodni. A magas hőmérséklet eléri, sőt meg is haladja az olajipari átlagos lyukgeofizikai eszközök működési körülményeit. Elérhetők magas hőmérséklet-határú eszközök, azonban a lehetséges mérési kombinációk száma messze elmarad az ipari gyakorlattól.

A szelvényezési, magfúrási, illetve mérési programok eredményeinek kiértékelése és szintetizálása képezik majd az alapját a rendszer részét képező kutak megtervezésének. Csak a kőzet feszültségterének ismeretében tervezhetők meg a kútháló és fúrások kivitelezésének lépései. Költség és idő takarítható meg abban az esetben például, ha a tervezett 6 kutas rendszer kútjai, 2 padról történő irányított ferde fúrásokkal mélyülnek. A hidraulikus rétegrepesztés tekintetében, az olajipari gyakorlattól eltérően, a masszív repesztés és a majdani repedés feltöltése, vagyis a megfelelő minőségű és ütemben rendelkezésre álló vízszükségelt biztosítása a legnagyobb kihívás. A hidraulikus rétegrepesztés alapvető (alkalmazott kútmunkálati) technológiája a nem-hagyományos szénhidrogén-előfordulások termelésbe állításának az olajiparban, melyet mikroszeizmikus események kísérnek. Szeretnénk hangsúlyozni, hogy a szeizmicitás alapvető velejárója a repesztésnek, értéke azonban a művelet során oly kismértékű, hogy emberi érzékeléssel és a hagyományos szeizmikával nem is érzékelhető. Nagyságrendje jóval kisebb a magyarországi természetes, folyamatosan jelenlevő és rögzített szeizmikus aktivitásnál.

Az energiatermelő rendszer kialakításának legnagyobb kockázata azonban, a megfelelő hatékonyságú, permeábilis repedésrendszer kialakítása, amely alkalmas hosszú ideig hőcserélőként működni.

A következőkben a szerzők egy feltételezett rezervoár termikus hatásfok becslésének folyamatát mutatják be egy szemléletes példán keresztül.

3. A RENDSZER TERMIKUS KIHUZATALI TÉNYEZŐJÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A feltételezett EGS-rendszer földtani vagyonának és kizozatali tényezőjének becslését az alábbi gondolatmenet alapján végeztük.

A rendszer tekintetében a kúthálót valamint a becsléshez szükséges adatok alapjai a következők voltak:

- a már fentebb említett NER300 projekt adatai,
- szakirodalmi (Rybach) ajánlások [1],
- megvalósult projektek tapasztalatai,
- valamint olajipari technológiák alkalmazásának tapasztalatai.

A geotermikus vagyon- és készletbecslési, illetve osztályozási rendszerek kezdeti lépése az úgynevezett teljes termálenergia-tartalom meghatározása. EGS-rendszer teljes termálenergia tartalmának meghatározásakor nem követünk el nagy hibát, ha a víztelített repedés (melynek térfogata elhanyagolhatóan kicsi a teljes kőzettesthez képest) energiátartalmát nem vesszük figyelembe. Az úgynevezett Total Thermal Energy in Place meghatározásának, melyet nevezünk a rezervoár kezdeti feltételekkel rendelkező vagyonának (Geothermal resource), kiindulási alapja modellt befoglaló kőzettérfigat teljes termálenergia-tartalmának számítása, a következők szerint

$$Q_{Total} = \rho_R c_R V_T (T_{R0} - T_{Surface}) \quad (3.1)$$

melyben ρ_R = a kőzet, jelen esetben a gránit sűrűsége 2800 kg/m^3 , c_R = a kőzet fajhője 840 J/kgK , V_T = a figyelembe vett kőzettérfigat m^3 , T_{R0} = a tároló kezdeti hőmérséklete 200°C , $T_{Surface}$ = a felszíni viszonyítási hőmérséklet 10°C .

Azzal a megjegyzéssel, hogy amennyiben egy tároló belső energiájának gazdaságos kitermelésére nincs lehetőség, nem értelmezhető geotermikus vagyonként.

A következő lépésben meghatároztuk a figyelembe vett teljes kőzettérfigatnak (V_T) azt a térfogatrészt, amely a repedésekben keringetett folyadék által, a hőtranszport-folyamattal megérinthes. Erre a térfogati értelemben *intenzív hőcserében részt vevő térfogat* fogalmának bevezetése ad lehetőséget (V_{TInt}). Az intenzív hőcserében részt vevő térfogat meghatározása JOBBIK munkái, illetve a feladat szempontjából megengedhető egyszerűsítések mentén történt.

Véleményünk szerint feltétlenül valóságosabb értékeket és értelmezést ad az a megközelítés, mely szerint a V_{TInt} térfogatban tárolt hőmennyiséget nem a felszíni, hanem csak a tároló úgynevezett felhagyási hőmérsékletéig (T_{RA}) történő lehűlés külső határoként határozzuk meg. Ezzel fel is építettük az EGS rezervoárra vonatkozó úgynevezett hozzáférhető (kitermelhető) termálenergia-tartalom (*Recoverable Thermal Energy in Place*) becslésére alkalmas összefüggést:

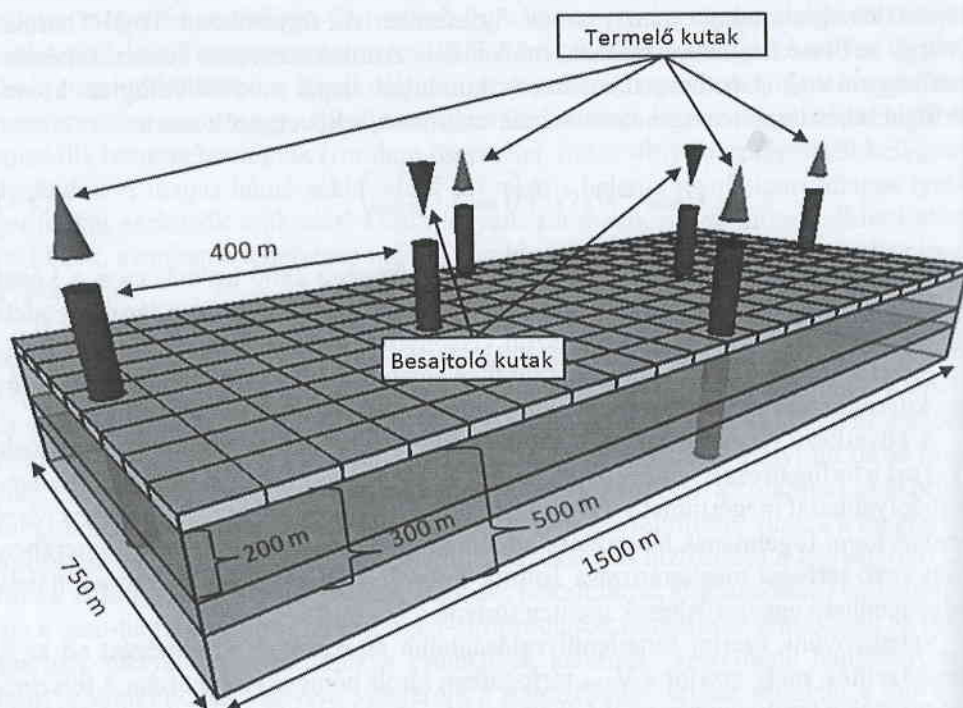
$$Q_{Rec} = \rho_R c_R V_{TInt} (T_{R0} - T_{RA}) \quad (3.2)$$

melyben ρ_R = a kőzet, jelen esetben a gránit sűrűsége 2800 kg/m^3 , c_R = a kőzet fajhője 840 J/kgK , V_{TInt} = az intenzív hőcserébe bevonható kőzettérfigat m^3 , T_{R0} = a tároló kezdeti hőmérséklete 200°C , T_{RA} = a tároló felhagyási hőmérséklete $^\circ\text{C}$.

A mesterséges repedésrendszert magában foglaló kőzettest paramétereit (elvárt értékeit) a pályázat adataiból, hozzáférhető publikációkból, közleményekből stb. állítottuk össze. A pályázati feltétel alsó határa 5 MW_e vagy attól nagyobb, hálózatra csatlakoztatott teljesítmény volt. Gazdasági és egyéb megfontolások alapján a projekt nem 5 , hanem ettől jóval több, 11 MW elektromos teljesítményt céloz meg, a rendszer nettó teljesítményét körülbelül $8,6 \text{ MW}$ -ra tervezik.

A tervezett EGS-rendszert $6+1$ kút alkotja. A tervek szerint a besajtoló és termelő kútvizet úgy képezik majd ki, hogy funkciójukat változtatni lehessen. A tervezett

kútháló arra is lehetőséget biztosít majd, hogy a hozamarányok, illetve funkciók változtatásával bizonyos közettérfogatok időszakosan termikusan regenerálódjanak, így növelve a rendszer élettartamát.



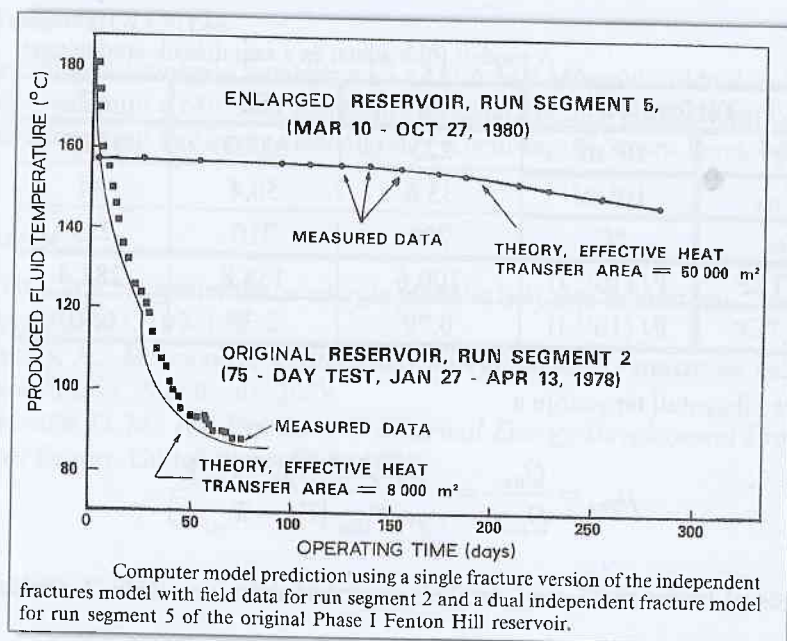
1. ábra
Az EGS-rendszer modellje

A 1. ábra jelen számításunkhoz, a biztonság irányába tett kisebb változtatással kialakított modellt. Számításainkat, a figyelembe vett tárolótér fogat (V_T) tekintetében 3 scenárióra végeztük el, rendre 200, 300, illetve 500 méteres „vastagsággal”. Szeretnénk hangsúlyozni, hogy minden esetben, a hazai célterület gradiense alapján átlaghőmérséklettel figyelembe véve a réteg hőmérsékletét.

A modellben a termelő- és besajtoló kutakat befoglaló közettér fogat téglalap alakú, befoglaló méretei 1500x750 méter, illetve a fenti ábrán is jól láthatóan három scenárióban változó magasságú, amelyek három eltérő térfogatú forró közttestet jelentenek. RYBACH szerint 5 MWe termeléséhez minimálisan 300 millió m^3 , hőmérséklet tekintetében minimum 200 °C hőmérsékletű közettér fogat szükséges. Nyilvánvalóan a repesztések hatékonysága fogja meghatározni, hogy mekkora közettér fogatot lehet majd a munkaközeg számára valóban átjárhatóvá tenni.

A FentonHill-iPhase-I hidraulikus repesztéssel kialakított és második lépésben stimulált mesterséges rezervoár aktív hőcserélő felületét 50 000 m^2 -ben adták meg a projekt zárójelentésében (2. ábra), mely már jóval később kezdett lehűlni, mint

kezdeti hőcserélő, de még mindig nem érte el az ipari alkalmazás mérettartományát. A továbbiakban ezt az értéket alsó ellenőrző határként vesszük figyelembe.



2. ábra

A Fenton Hill-i EGS rendszer termikus lehűlésének mért adatai

Korábbi munkáink alapján, a mindkét kútból megrepesztett közettérfogatban kialakuló hőcserélő-felület *intenzív hőcserében részt vevő felületét*, kútpárok között egyenként, egy-egy 400x70 méter alapterületű, természetesen két egymással szemben elhelyezkedő egyenértékű felülettel vettük figyelembe. Összehasonlításképpen az első szcenárió alapján 2 db 400x200 méteres, repesztett felület 160 000 m² egyenértékű felületet eredményez. JOBBIK munkája [2], valamint a Phase I mérési adatai alapján [3] a repedésrendszer területi hatásfokát 35%-osnak vettük.

Jelen írásnak nem volt célja a repesztett közettestben végbemenő, tranziens hővezetési folyamat leírása, becsléseinkhez felhasználtuk a hazai és nemzetközi szakmai adatokat és modelleket, valamint bizonyos esetben analógiák mentén vettük fel peremfeltételeket.

A projektről rendelkezésre álló információk alapján a rendszerben kb. 40 liter/sec térfogatáram áramlik majd egyes kutak közötti repedésben. Felhagyási hőmérséklet tekintetében az eredeti hőmérsékletekről indulva maximum 190-ig hűlhet (természetesen ebben az esetben is egyenértékű lehűlésről beszélünk) a rendszer. Mindezek alapján a repedés felületére merőlegesen 50 méterben maximáltuk az intenzív hőcserébe bevonható térfogat kiterjesztését. A szcenárióként figyelembe vett, a teljes,

illetve az intenzív hőcserébe bevonható térfogatokat, valamint a felhagyási hőmérsékletet, illetve a TTEP, valamint RTEP számított értékeit foglaltuk össze az 1. táblázatban.

1. táblázat

A modell főbb adatai és a számításai eredményei

Térfogatok		S1	S2	S3
V_T	10^6 m^3	225	337,5	562,5
V_{TInt}	10^6 m^3	33,6	50,4	84
T_{R0}	$^{\circ}\text{C}$	200	210	225
TTEP	PJ (10^{15} J)	100,6	158,8	284,4
RTEP	PJ (10^{15} J)	0,79	2,35	6,91

A rendszer kihozatali tényezője a

$$\mu_{Rec} = \frac{Q_{Rec}}{Q_{Total}} = \frac{\rho_R c_R V_{TInt} (T_{R0} - T_{RA})}{\rho_R c_R V_{TDist} (T_{R0} - T_{Surface})} \quad (3.3)$$

összefüggéssel határozható meg, értékeit scenáriónként az alábbi 2. táblázat mutatja:

2. táblázat

A kihozatali tényezők értékei

Kihozatali tényezők		S1	S2	S3
μ_{Rec}	%	0,00786	0,01493	0,02431

Várakozásainknak megfelelően a százalékban kapott eredmények igen kis értékek, ez abban az értelemben nem meglepő, hogy a hatalmas térfogatok és felszínre vonatkoztatott hőmérséklet-különbségek megtévesztően nagy értékeket adnak, így hozzájuk történő vonatkoztatás rendkívül kis értékű kihozatali tényezőket eredményez.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Mind az Európai Unió, mind Magyarország energiapolitikájában növekvő szerepet szán a geotermikus energia hasznosításának, ebből következően már 2020-ig is növekvő részesedést vár el a geotermikus alapú elektromosáram-termeléstől is. Uniós és hazai szakértők egyaránt jelentős, MW-okban közzétett értékeket fogalmaznak meg Magyarország ún. EGS-rendszerű, elektromosáram-termelését célzó geotermikus potenciáljáról.

Az EGS-rendszer mesterséges rezervoárja számos kutatás-fejlesztési feladatot jelent a projekt megvalósítói számára. A hőcserében részt vevő közzettérfogot (V_{TInt})

agyási hőmér-
ssze az 1. táb-

ablázat
ményei

3
2,5
4
25
4,4
91

(3.3)

2. táblázat mu-

táblázat
k értékei

S3
02431

igen kis érté-
k és felszínre
et adnak, így a
zók eredménye

vekvő szerepet
2020-ig is nő-
éstől is. Unió
t fogalmaznak
élző geotermi-

ési feladatot je-
ttérfogat (V_{in}

magyságára vonatkozóan is csak becsléseket lehet tenni, mely szám adatok szolgálnak alapul az erőmű által megcélzott elektromos teljesítménynek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezen írás alapjául szolgáló kutatómunka a MTA ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, valamint a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenn- tartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ keretében valósult meg.

BIBLIOGRÁFIA

- [1] RYBACH L.: A geotermikus energia globális helyzete és kilátásai. *Természet vi- lága*, 2015, 3, 109–111.
- [2] JOBBIK A.: *Mesterséges geotermikus energiatermelő rendszerek matematikai modellezése*. PhD-thesis. 2008.
- [3] CREMER, G. M.: *Hot Dry Rock Geothermal Energy Development Program An- nual Report*. United States DoE, 1980.