

A HASZNOSÍTHATÓ GEOTERMIKUS ENERGIA MENNYISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

TURAI ENDRE^{1,4}–MÁDAI VIKTOR²–MÓRICZ FERENC²–SZŰCS PÉTER^{3,4}–
ZÁKÁNYI BALÁZS³–ILYÉS CSABA^{3,4}

¹Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet

²Miskolci Egyetem, Ásványtani-Földtani Intézet

³Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

⁴Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

1. BEVEZETÉS

A felszín alatti vízkészletek sokrétű felhasználása közé tartozik a termálvíz geotermikus energiatermelési célú hasznosítása. A geotermikus energiatermelés tervezéséhez nélkülözhetetlen a hasznosítható energia mennyiségének előzetes számítása. A PULSE projektben két módszert dolgoztunk ki ennek a feladatnak a megoldására. Az első módszer esetében fizikai összefüggések felhasználásával számítjuk ki a vizsgált terület alatti kutatási mélységintervallumban található kőzetekből kinyerhető geotermikus energia mennyiségét. A számítás megköveteli a pontos és részletes geológiai modell megalkotását, ami a legtöbb esetben a modellalkotás mellett részletes földtani kutatásokat is igényel. Amennyiben a kutatás költség- és időigénye nem biztosítható, természetesen igen nagy lehet az energiaszámítás bizonytalansága (hibája). Ilyen esetek kezelésére dolgoztunk ki a második módszert, melynek keretében a meglévő földtani és infrastrukturális információk felhasználásával adható szakértői javaslat az adott terület geotermikus energiatermelési célú felhasználhatóságáról.

2. EGY ADOTT TERÜLET ALATTI TÉRRÉSZBŐL KINYERHETŐ MAXIMÁLIS GEOTERMIKUS ENERGIA MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERE

A geotermikus potenciált egy adott területre a legjobban a terület alatti térrészben foglalt geotermikus energia meghatározásával lehet megadni. Ehhez a terület térbeli lehatárolása szükséges az alábbi koordináták megadásával:

$EOVX_{\min}$ – a területet lehatároló geodéziai X koordináta minimális értéke,
 $EOVX_{\max}$ – a területet lehatároló geodéziai X koordináta maximális értéke,
 $EOVY_{\min}$ – a területet lehatároló geodéziai Y koordináta minimális értéke,
 $EOVY_{\max}$ – a területet lehatároló geodéziai Y koordináta maximális értéke,
 $EOVZ_{\min}$ – a területet lehatároló geodéziai Z koordináta minimális értéke,
 $EOVZ_{\max}$ – a területet lehatároló geodéziai Z koordináta maximális értéke.

Az előző geodéziai koordinátákkal lehatárolt térrészből kinyerhető maximális geotermikus energiát (GAZO 1992) szerint az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$E_G = V\rho_k c_k (1 - \Phi)(T - T_{ref}) + V\rho_f c_f \Phi(T - T_{ref}), \quad (1)$$

ahol V – a térfogat,
 E_G – a V térfogattól kinyerhető maximális geotermikus energia,
 Φ – a porozitás,
 ρ_k – a kőzetmátrix sűrűsége,
 ρ_f – a pórusokat teljesen kitöltő fluidum sűrűsége,
 c_k – a kőzetmátrix fajhője,
 c_f – a pórusokat teljesen kitöltő fluidum fajhője,
 T – a V térfogatot kitöltő anyag hőmérséklete,
 T_{ref} – a felszíni (referencia) hőmérséklet.

A fenti összefüggést használta fel (BARYLO 2000) egy ukrain terület geotermikus energiájának a becsléséhez.

Mivel a pórusokat a fluidum mellett gáz is kitöltheti, ezért az (1) összefüggést ki kell bővíteni a gáztartalomra vonatkozó taggal.

$$E_G = V\rho_k c_k (1 - \Phi)(T - T_{ref}) + V\rho_f c_f S_f \Phi(T - T_{ref}) + V\rho_g c_g S_g \Phi(T - T_{ref}), \quad (2)$$

ahol ρ_g – a pórusokban található gáz sűrűsége,
 c_g – a gáz fajhője,
 $S_f = \frac{V_f}{V_p}$ – a fluidumszaturáció,
 $S_g = \frac{V_g}{V_p}$ – a gázsaturáció,
 V_p – a pórustérfogat,
 V_f – a fluidum térfogata,
 V_g – a gáz térfogata.

Az előző számítási mód nem elhanyagolható hátránya, hogy nagy térfogat esetében átlagos paramétereket (Φ , ρ_k , ρ_f , ρ_g , c_k , c_f , c_g , S_f , S_g , T) kell meghatározni.

A következőkben bemutatjuk azt az inhomogén térfogat esetében is használható számítási módszert, amelyet a (2) összefüggés általánosításával kaphatunk meg olyan módon, hogy az energiát differenciális térfogatra (dV) számítjuk és ezt integráljuk egy tetszőleges V térfogatra.

$$E_G = \iiint_0^V dE_G dV = \iiint_{Z_{min}, Y_{min}, X_{min}}^{Z_{max}, Y_{max}, X_{max}} dE_G dx dy dz. \quad (3)$$

Vezessük be az alábbi, térbeli paraméter eloszlásokat:

$\Phi(x, y, z)$ – a porozitás értéke a tetszőleges $P(x, y, z)$ térbeli pontban,
 $T(x, y, z)$ – a hőmérséklet értéke a tetszőleges $P(x, y, z)$ térbeli pontban,
 $\rho_k(x, y, z)$ – a kőzetmátrix sűrűsége a tetszőleges $P(x, y, z)$ térbeli pontban,
 $\rho_f(x, y, z)$ – a fluidum sűrűsége a tetszőleges $P(x, y, z)$ térbeli pontban,

$\rho_g(x,y,z)$ – a gáz sűrűsége a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban,
 $c_k(x,y,z)$ – a kőzetmátrix fajhője a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban,
 $c_f(x,y,z)$ – a fluidum fajhője a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban,
 $c_g(x,y,z)$ – a gáz fajhője a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban,
 $S_f(x,y,z)$ – a fluidumszaturáció értéke a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban,
 $S_g(x,y,z)$ – a gázszaturáció értéke a tetszőleges $P(x,y,z)$ térbeli pontban.

Az előzőekben bevezetett eloszlásokkal felírható a differenciális térfogattól maximálisan kinyerhető dE_G geotermikus energia:

$$dE_G = [\rho_k(x,y,z)c_k(x,y,z)\{1 - \Phi(x,y,z)\} + \rho_f(x,y,z)c_f(x,y,z)S_f(x,y,z)\Phi(x,y,z) + \rho_g(x,y,z)c_g(x,y,z)S_g(x,y,z)\Phi(x,y,z)][T(x,y,z) - T_{ref}] \quad (4)$$

A teljes kinyerhető geotermikus energia pedig a (3) felhasználásával számítható ki az alábbi formula segítségével:

$$E_G = \iiint_{Z_{min}, Y_{min}, X_{min}}^{Z_{max}, Y_{max}, X_{max}} [\rho_k(x,y,z)c_k(x,y,z)\{1 - \Phi(x,y,z)\} + \rho_f(x,y,z)c_f(x,y,z)S_f(x,y,z)\Phi(x,y,z) + \rho_g(x,y,z)c_g(x,y,z)S_g(x,y,z)\Phi(x,y,z)][T(x,y,z) - T_{ref}] dx dy dz \quad (5)$$

A térrészt lehatároló geodéziai koordinátákat hazai területek esetében az Egységes Országos Vetületi Rendszerben (EOV) kell megadni:

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= EOVX_{min} , & X_{max} &= EOVX_{max} , \\
 Y_{min} &= EOVI_{min} , & Y_{max} &= EOVI_{max} , \\
 Z_{min} &= EOVI_{min} , & Z_{max} &= EOVI_{max} .
 \end{aligned}$$

A paraméterek (Φ , ρ_k , ρ_f , ρ_g , c_k , c_f , c_g , S_f , S_g , T) térbeli eloszlásainak pontos meghatározásához földtani kutatás szükséges. A földtani kutatás keretében földtani térképezést, fúrásos kutatást, kőzet mintavételt, laboratóriumi elemzéseket, hidrogeológiai kutatást, geokémiai kutatást, felszínen és fúrásokban végzett geofizikai méréseket kell alkalmazni.

A nagyfelbontású földtani kutatás költsége igen jelentős (TURAI–VUROM 2013), egy $10 \text{ km} \times 10 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ tömbszelvény esetében 1 Mrd Ft körüli. Sokszor azonban a szükséges földtani kutatások költségigénye és időszükséglete nem biztosítható, ezért csak – a már ismert földtani információkat felhasználó – ún. relatív szakértői becslésre van módunk, amelyek nem nyújtanak abszolút geotermikus energia-becslést, csak szakértői ajánlást az adott terület geotermikus energiatermelésre történő felhasználhatósága tekintetében. A következő fejezetben egy lényegesen kisebb költségigényű szakértői becslést mutatunk be, amely csak a már meglévő infrastrukturális és földtani információkat használja fel.

3. SZAKÉRTŐI MÓDSZER EGY ADOTT TERÜLET GEOTERMIKUS FELHASZNÁLHATÓSÁGÁNAK BECSLÉSÉRE

A PULSE, *Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése* című GINOP-2.3.2-15-2016-00010 azonosító számú projekt 3. modulja keretében a meddő szénhidrogén kutak (fúrások) geotermikus célú felhasználhatóságát vizsgálva dolgoztunk ki a kútszintű energetikai értékelés estében egy szakértői módszert. Ennek a módszernek az kiterjesztését mutatjuk be területi szintű energetikai értékelésre.

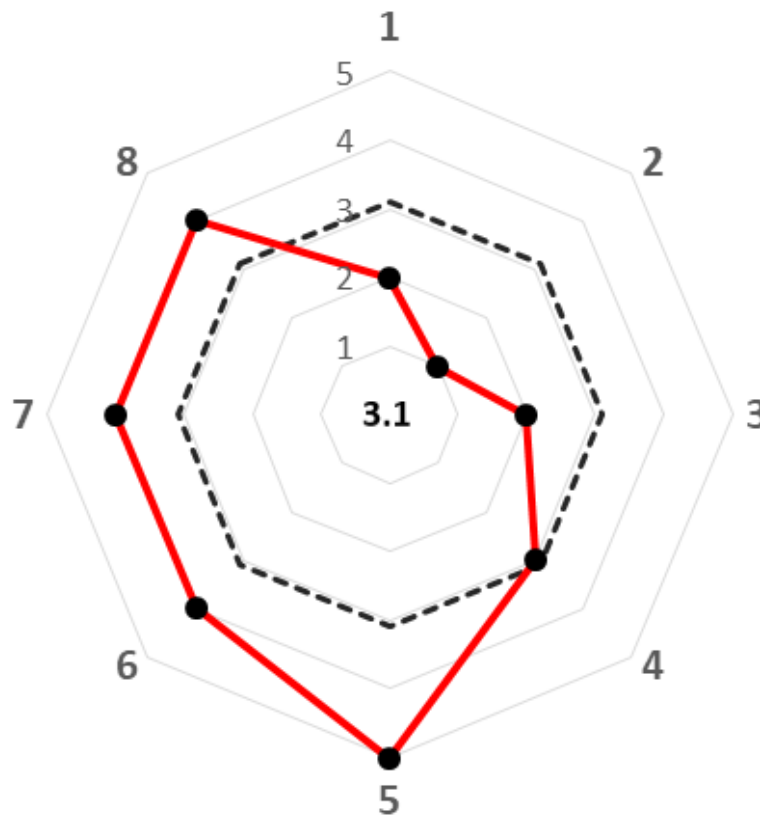
A területen található minden mélyfúrás geotermikus energiatermelési célú felhasználásának a minősítésére szakértői becslést dolgoztunk ki, ahol minden vizsgált paramétert 1–5 ponttal (1 pont: a paraméter gyenge, 5 pont: a paraméter kiváló) súlyozunk. A vizsgált földtani és infrastrukturális paraméterek neveit és a DEP-24 (Demjén Püspökhegy) jelű mélyfúrás minősítését az *1. táblázat* mutatja. A táblázatból látható, hogy a nyolc vizsgált paraméter minősítésének a számtani átlaga (3,1) alapján a mélyfúrás geotermikus felhasználásra feltételesen ajánlott, mivel a kút az előrehaladott kora és a kútfunkció alacsony értéke ellenére magas hőmérsékletű, de moderált vízhozammal, ellenben magas kinyerhető geotermikus energiával rendelkezik, jó infrastrukturális fekvéssel.

1. táblázat
A DEP-24 jelű kút értékelése

KÚT RÉSZLETES GEOTERMIKUS ENERGETIKAI MINŐSÍTÉSE			
	Vizsgált paraméter	Érték	Eredmény (pont)
1.	Fúrás éve (skála: 1970 – 1; 1971–1980 – 2; 1981–1990 – 3; 1991–2000 – 4; 2001 – 5)	1971	2
2.	Kútfunkció (skála: Műszakilag felszámolt, Rekultivált – 1; Műszakilag felszámolt – 2; Cementdugóval biztonságba helyezett – 3; Olajtermelésre kialakított – 4; Víztermelő, Vízvisszasajtoló, Gáztermelő – 5)	műsz. felsz., rek.	1
3.	Fluidum mennyisége (m³/nap) [Teszterezett - Becsült] (skála: 1–10 – 1; 11–100 – 2; 101–1000 – 3; 1001–5000 – 4; 5001 – 5)	233.2	2
4.	Fluidum átlag hőmérséklete (°C) [Mért – Becsült] (skála: 4–20 – 1; 21–40 – 2; 41–70 – 3; 71–100 – 4; 100 – 5)	50	3
5.	A fluidumból kinyerhető geotermikus energia (kJ): (skála: 0–500e – 1; 501e–1M; 1M–5M; 5M–10M – 4; 10M – 5)	48 M	5
6.	A kőzetből kinyerhető geotermikus energia (kJ)	...	4
7.	Szűrőzött szakasz összes hossza (m)? (skála: 1–20 – 1; 21–40 – 2; 41–70 – 3; 71–100 – 4; 100 – 5)	85	4
8.	Infrastruktúra összesített távolsága (km)? (skála: 0–5 – 5; 5–10 – 4; 10–20 – 3; 20–30 – 2; 30 – 1)	7.1	4
Átlag (É):			3,1

Az értékeléshez vizsgált paraméterek eloszlását az 1. ábra szemlélteti. Az ábrán a paraméterek sorszáma és értéke mellett szaggatott vonallal, valamint – középen – számmal is feltüntettük a paraméterek átlagát.

A kőzetmátrixból (6. paraméter) és a pórusokat kitöltő fluidumból (5. paraméter) kinyerhető geotermikus energia összegének a pontos meghatározására a medence modellezést használhatjuk fel. A medence modellezést az üledékgyűjtő medencék időbeli és térbeli modellezésére a szénhidrogén-kutatásban használják, ugyanakkor ez a megközelítés kiválóan használható a hőtörténeti rekonstrukcióhoz is a geotermikus kutatások során.

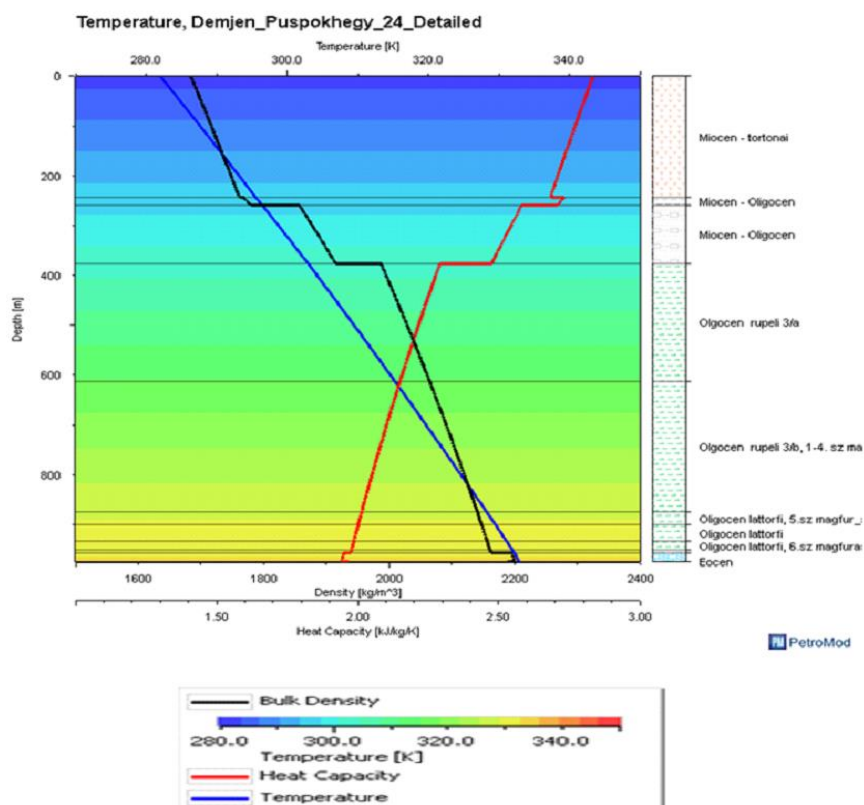


1. ábra: Az értékeléshez vizsgált paraméterek eloszlása és a paraméterek átlaga (középen)

A medence modellezés alkalmas a vizsgált terület alatti 3D geotermikus modell felállítására, amennyiben az előzetes geológiai-geofizikai vizsgálatokból meghatározhatók a modell felállításához szükséges bemenő paraméterek értékei.

Amennyiben az adott kútnál végzett teszterezésből ismerjük a fluidumból kinyerhető geotermikus energia mennyiségét (5. paraméter), úgy a medence modellezéssel meghatározott összes energiából ezt kivonva adódik a kőzetmátrixból kinyerhető geotermikus energia (6. paraméter).

A DEP-24 jelű fúrás estén, a PetroMod szoftver felhasználásával elvégzett geotermikus modellezés eredménye a 2. ábrán látható.



2. ábra: A DeP-24 fúrásban a közetsűrűség (fekete színnel), a hőkapacitás (piros színnel) és a hőmérséklet (kék színnel) mélységi eloszlása

A területen található minden kút esetében számítsuk ki ezután az átlagos minősítési eredményt (\bar{E}_i) és képezzük az alábbi összefüggéssel a területi értéket ($T\bar{E}$):

$$T\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{E}_i}{N} \quad (6)$$

A területi érték alapján az adott terület geotermikus energiatermelésre történő felhasználását a következő három csoportba sorolhatjuk:

$T\bar{E} < 3.0$ – a terület geotermikus felhasználása nem ajánlott,

$3.0 < T\bar{E} < 4.0$ – a terület geotermikus felhasználása ajánlott,

$4.0 < T\bar{E} \leq 5.0$ – a terület geotermikus felhasználása kiemelten ajánlott.

Amennyiben a terület egy kisebb részére nagyobb $TÉ$ értéket kaphatunk, abban az esetben célszerű megfontolni a terület szűkítését. A terület szűkítésével a kitermelhető geotermikus energia mennyisége általában kisebb lesz, azonban a kitermelés határfokában bekövetkező javulás miatt mégis érdemes megvizsgálni az ilyen esetekben a terület szűkítését.

4. ÖSSZEGZÉS

A dolgozat a hasznosítható geotermikus energia meghatározását vizsgálja. A geotermikus energia mennyiségének pontos kiszámítására fizikai összefüggéseket és a terület alatti térész földtani-geofizikai paramétereit felhasználó módszert közöl. Azokra az esetekre pedig, amikor a részletes földtani modell nem ismert, illetve a modell megalkotásához szükséges kutatások költség- és időigénye nem biztosítható, szakértői módszert mutat be. A szakértői módszerrel becsülhető a vizsgált terület geotermikus energiatermelésre való alkalmassága.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a PULSE *Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése* című GINOP-2.3.2-15-2016-00010 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- BARYLO, A. (2000): Assessment of the Energy Potential of the Beregovsky Geothermal System, Ukraine. *Geothermal Training Programme*, Reykjavík, Iceland, Reports, Number 3.
- GAZO, F. M. (1992): *Reservoir assessment of the Mak-Ban geothermal field*. Luzon, Philippines, UNU G. T. P., Iceland, report 6, 1–32.
- TURAI E.–VUROM B. (2013): Az IP módszer alkalmazási lehetőségei a vízbázis-védelem területén. *IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*, Miskolc, 237–242.