

A geotermális energia és az exergia

Geothermal energy and exergie

Dr. KONTRA Jenő Ph.D., Professor Emeritus

kontra@egt.bme.hu, www.egt.bme.hu

Abstract

Geothermal energy production in Hungary is based not just on the using the energy capacity of thermal water –it is also complemented by the practice without using only heat exchangers and heatpumps. The autor are examining in paper for what the exergy theory can be used by practising engenieurs, and the exergy of volume unit of a fluid saturated rock formation. It signifies the energy recoverable from an energy resource under specific conditions.

Keywords: *energy, exergy, thermal water energy, exergy loss, heat pump*

Kivonat

Magyarországon a geotermális energiatermelés célja a hévíz energia tartalmának hasznosítása, kiegészítve a hőcserélőkkel és hőszivattyúkkal történő hőfelhasználással.

A szerző megvizsgálja a cikkben az exergia elméletét, ami a gyakorlatban a mérnökök számára hasznosítható, és kiterjeszti az exergia tartalmát a kőzetváz egy részének energia tartalmára is, bemutatva az egységnyi térfogatú fluidummal telített kőzet exergiáját. Ez jelenti a megfelelő körülmények között kapható energiaforrást.

Kulcsszavak: *energia, exergia, geotermális hő, exergia veszteségek, hőszivattyú*

Új alapokra kell helyezni a geotermális energiahasznosító rendszerek tervezését és üzemeltetését, a korábbi egyszerű hőszolgáltatások helyett. Ehhez kerestem meg azt a termodinamikai személetet, amely a jövőbe mutatóan a zárt, visszasajtolásos telepen felszíni hőfelhasználásának alapjául szolgál.

A geotermális energia hasznosítása geotermális fluidum felszínre hozásával felveti az exergiával való gazdálkodás lehetőségét.

Az adott nagyságú, geotermális fluidummal rendelkező kőzetváz egységnyi térfogatú részének belső energiataralma [1]:

$$\varepsilon = (1 - \Phi)\rho_K \cdot c_K \cdot T_K + \Phi \cdot \rho_F \cdot c_F \cdot T_F \quad (1)$$

ahol a
 K index a kőzetre;
 F index a fluidumra vonatkozik.
 P index a sűrűség
 Φ index a porozitás
 T index a hőmérséklet

Ha a fluidumot T_e környezeti hőmérsékletig tudnánk lehűtve kihasználni, akkor ennek a fajlagos belső energiataralma:

$$\varepsilon_{ex} = (1 - \Phi)\rho_K \cdot c_K (T_K - T_e) + \Phi \cdot \rho_F \cdot c_F (T_F - T_e) \quad (2)$$

ami az adott térfogatban zárt fluidum és kőzettest exergiája. Mivel $T = T_K = T_F$ az egyensúly miatt, írható:

$$\varepsilon_{ex} = [(1 - \Phi)\rho_K \cdot c_K + \Phi \cdot \rho_F \cdot c_F] (T - T_e) \quad (3)$$

és

$$[(1 - \Phi)\rho_K \cdot c_K + \Phi \cdot \rho_F \cdot c_F]$$

helyett az eredő sűrűséget és fajhőt bevezetve

$$\varepsilon_{ex} = \rho \cdot c(T - T_e) \quad (4)$$

A kezdeti földtani készlet a földkéreg teljes exergiája z mélység esetén az A terület alatt: [1]

$$E = \int_A \int_0^z \rho \cdot c(T - T_e) dz da \quad (5)$$

Ebből a készlet által biztosított exergiával, annak egy töredékét tudjuk a felszínre hozni, ami a kitermelhető készletnek is csak kis része. Ez is két energia fajtából tevődik össze; amely:

- a felszínre hozható fluidum belső energiája, és
- az adott kőzetváz belső energiájának egy része.

Meghatározott nagyságú hő annál értékesebb, minél nagyobb része exergia, és minél kisebb része anergia. Az exergia részaránya annál nagyobb, minél nagyobb az adott hőhordozó hőmérséklete. Jelen esetben a felszínre hozott geotermális fluidum hőmérséklete a meghatározó jellemző. A hő hasznosítása szempontjából célszerűen a környezeti hőmérsékletig kellene hasznosítani a fluidumot, amikor már az entalpia teljes mértékben anergiának mondható:

$$\Delta h = e + a = e + T_e \Delta s \quad (6)$$

$$dh = de + da = T_e ds \quad (7)$$

ahol
 h = entalpia
 s = entrópia
 e = fajlagos exergia
 a = fajlagos anergia
 T_e = környezeti hőmérséklet

a differenciális exergia változás tehát:

$$de = dh - T_e ds \quad (8)$$

Az exergia természetes zérus pontja az adott környezeti hőmérsékleten (T_e) értelmezhető.

AZ EXERGIA VÁLTOZÁSA A GEOTERMÁLIS HŐHASZNOSÍTÓ RENDSZEREKBE

1.) Az utóbbi évtizedek égető problémája a Dél-alföldi hévízkutak hozamcsökkenése.

A hévízkutak hozamcsökkenése egyértelműen mennyiségi veszteség:

$$e' = \eta \cdot e \quad (9)$$

ahol η = a mennyiségi veszteséget jelentő hatásfok.

e' = a módosult exergia érték

2.) Irreverzibilitások következtében beálló veszteségek:

- hőmérsékletkülönbségek
- fojtások (kútfojtások)
- keveredések.

Ezeket a veszteségeket az entrópia növekedéséből lehet meghatározni (adiabatikus rendszer egyszerűsítve):

$$\Delta e = \Delta a = T_e \cdot \Delta s_{irr} \quad (10)$$

$$e = e_e - T_e \cdot \Delta s_{irr} \quad (11)$$

Az exergia csökkenése egyenlő az anergia növekedésével.

A termodinamika I. főtételeiből az általános energiamegmaradás:

$$dq = dh + Adl_t \rightarrow dh = dq - Adl_t \quad (12)$$

$$\frac{dq}{T} = ds - ds_{irr}$$

és

ahol Adl_t = technikai munka

az anergia

$$dh = de + da = de + T_e \cdot ds \rightarrow ds = \frac{di - de}{T_o} \quad (13)$$

$$ds = \frac{dq - Adl_t - de}{T_e} \quad (14)$$

rendezve:

$$\frac{T - T_e}{T} dq = de + Adl_t + T_e \cdot ds_{irr} \quad (15)$$

vagyis a hőközlésre értelmezve:

$$\int_1^2 \frac{T - T_e}{T} dq = e_2 - e_1 + Al_{t1,2} + T_e \cdot \Delta s_{irr} \quad (16)$$

az exergia szemlélettel lehetőség van arra, hogy az áramló exergiával $\dot{E} = m \cdot e$ minősítsük a geotermális hőforrást.

A hőmérséklet növelésével nő a fajlagos exergia (e) (pl. szivattyús mesterséges termeltetés)

A „végtelen” nagyságú hőforrásból T_1 fluidum-hőmérséklet esetében

$$Q_1 = k \cdot F \cdot (T - T_1) \text{ [W]} \quad (17)$$

hőteljesítmény kapható a hőcserélőben.

Az exergia-szemlélet alapján is bizonyítható, hogy a leghasznosabb, legelőnyösebb és legjobb „hatásfokú” fluidum hőhasznosítás a zárt, visszasajtolásos körfolyamat. Ennek egyszerűsített működési formája a két kutas rendszer, ahol egy termelő és egy visszasajtoló hévízkútból álló, hidraulikailag zártnak tekinthető rendszer van.

A hőcserélőben lejátszódó folyamat a melegebb (primer) közeg exergia-áramának csökkenésével jellemezhető:

$$d\dot{E}_I = \left(1 - \frac{T_K}{T_I}\right) d\dot{Q} \quad (18)$$

ahol:

T_K = a környezeti hőmérséklet

$d\dot{E}$ = az exergia-áram változása

$d\dot{Q}$ = a hőáram

A II. közeg exergia-áramának növekedése:

$$d\dot{E}_{II} = \left(1 - \frac{T_K}{T_{II}}\right) d\dot{Q} \quad (19)$$

A kettő különbsége:

$$d\dot{E} = d\dot{E}_I - dE_{II} = T_K \cdot \left(\frac{1}{T_{II}} - \frac{1}{T_I} \right) \cdot dQ \quad (20)$$

Ez az exergia-áram veszteség, ami anergiává alakul át.

$$dE = dQ \cdot T_K \frac{T_I - T_{II}}{T_I \cdot T_{II}} \quad (21)$$

Az exergia-veszteség arányos a $T_I - T_{II}$ hőmérsékletkülönbséggel és a T_I ; T_{II} hőmérséklet-szintjétől is függ.

Nagyobb hőmérsékletszinteken végbemenő hőcserék esetén kisebbek az exergia-veszteségek. Így a hőcserélő berendezés beruházási költsége kisebb lehet, ha $T_I - T_{II}$ hőmérséklet különbség nagyobb.

A hőcserélőkészülék exergetikai hatásfokát úgy értelmezem, hogy a szekunder körben áramló közeg exergiájának növelése a folyamat célja, és ekkor:

$$\eta_{\text{exergia}} = \frac{\Delta E_{\text{szerk}}}{\Delta E_{\text{pr}}} \quad (22)$$

ahol:

$$\Delta E_{\text{szerk}} = \text{a szekunder oldali közeg exergia-változása,}$$

$$\Delta E_{\text{pr}} = \text{a primer (geotermális) közeg exergia-változása.}$$

A primer körű szivattyúknál megjelenő exergia-növekedés is hozzájárul a folyamat exergia-változásához (pl. búvárszivattyú, hévíz továbbító szivattyú). A betáplált külső effektív munka és az elvezetett hőmennyiség nagyságával:

$$\eta_{\text{exergia}} = \frac{\Delta e_{\text{pr}}}{L_{\text{pr}} - (Q_{\text{pr}} - T_K) \int \frac{dQ}{T_{\text{pr}}}} \quad (25)$$

ahol:

$$\Delta e_{\text{pr}} = \text{a primer közeg (geotermális fluidum) fajlagos exergia növekedése a szívó és nyomócsomók között,}$$

$$L_{\text{pr}} = \text{a továbbított közeg (geotermális fluidum) tömegegységére vonatkozó betáplált effektív munka,}$$

$$dQ = \text{a primer közegnek átadott hőmennyiség,}$$

$$T_{\text{pr}} = \text{a primer közeg hőmérséklete,}$$

$$T_K = \text{a környezeti hőmérséklet}$$

A búvárszivattyú egyértelműen exergia-növelő, mert:

- a térfogatáram növelésével a közeg hőmérséklete nő,
- a betáplált külső effektív munka is exergia-növelő.

Ezért is, és a megfelelő teljesítmény szabályozás megvalósítása miatt is hasznos a búvárszivattyú beépítése.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bobok E.: Geotermikus energiatermelés NME egyetemi jegyzet, Budapest, 1987.
- [2] Garbai L. Optimal operational parameters of district heating systems. Gépészet 2000. Proceedings of second conference on mechanical engineering. (Technical University of Budapest, May 25-26. 2000.)
- [3] Kontra J. A geotermális energia és az exergia szemlélet, Magyar Épületgépészet, LIV. évf. 2005/12. szám 9-11. o.