

A HÉVÍZI HIDROTERMÁLIS RENDSZER FOGALMI ÉS MATEMATIKAI MODELLALKOTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

TÓTH ANIKÓ NÓRA

Miskolci Egyetem, Kőolaj és Földgáz Intézet
toth.aniko@uni-miskolc.hu

Absztrakt: Az Európai Unió irányelveinek megfelelően Magyarország is növelni kívánja a megújuló forrásokra támaszkodó elektromos energiatermelést. Hazánk természeti adottságai mellett lehetőség van arra, hogy a geotermikus energiát is hasznosítsuk erre a célra. Egy előzetes megvalósíthatósági tanulmány az Ortaháza-Ny mező szénhidrogénre meddő kútjaiból hévíztermelést, a kitermelt hévízhasznosítás után a triász korú karbonátos tárolóba visszasajtolást tervezett.

Kulcsszavak: polimer-tenzides EOR, laboratóriumi előkészítés, besajtolási teszt

1. BEVEZETÉS

Az ortaházi mezőből tervezett hévíztermelés aggodalmat keltett Hévíz város önkormányzati és településfejlesztési szakemberi körében. Korábban a bakonyi bauxitbányák által kitermelt nagymennyiségű karsztvíz zavarokat okozott a kiemelkedő természeti és idegenforgalmi értékű Hévízi-tó vízutánpótlásában. Érthető törekvés, hogy Hévíz igényt tart annak vizsgálatára, hogy befolyásolhatja-e az ortaházi hévíztermelés a Hévízi-tó vízutánpótlását. Ez a jelen tanulmány célja.

2. FOGALMI MODELL

Egyértelmű tényként fogadhatjuk el, hogy a hévízi hidrotermális rendszer természetes képződmény, amely a világszerte számon tartott geotermikus anomáliák sorában is jelentős. Annak ellenére, hogy a forrásból feltörő víz hőmérséklete alig több, mint 38 °C, a jelentős hozam (1951–69 között átlagosan mintegy 517 l/sec) folytán hatalmas termikus teljesítményt szolgáltat, a 10,5 °C-os környezeti átlaghőmérséklet-hez képest ez 61,26 MW.

Egy ilyen jelentős hidrotermális rendszer kialakulásához nyilvánvalóan elengedhetetlen a kellőképpen bőséges vízutánpótlódás és a kellő intenzitású geotermikus fűtés. A vízutánpótlás fedezete főleg a közeli Keszthelyi-hegység, melyhez a Dunántúli-középhegység egységes karsztvízrendszere is hozzájárul. Szádeczky-Kardoss (1940) mutatta ki először, hogy a dunántúli karsztvíz egységes rendszer összefüggő karsztvíztükörrel. Kassai F. (1948) részletesebb vizsgálatokkal is igazolta ezt bányavízvédelmi irányultságú munkájában. A geotermikus fűtést adó földi hőáram az egész Kárpát-medencében lényegesen nagyobb az európai átlagnál, amint az Boldi-

zsár (1958) kimutatta. A jó hővezetőképességű ($k = 1,5\text{--}2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) karbonátos kőzetekből felépült hegységek köztömegét a szegélyen fedő rossz hővezetőképességű ($k = 1,5\text{--}2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) agyagos üledékek a regionálisnál is nagyobb helyi hőáram-anomáliákra vezetnek a hővezetőképesség-különbség folytán. Vendel M. és Kisház P. (1964) kvalitatíve erre a jelenségre építi fel a karsztvíz eredetű meleg források kialakulását magyarázó ún. alááramlási elméletét.

A hévízi hidrotermális rendszer fogalmi modellje tehát a következő lehet. A Nyugat-Bakony és a Keszthelyi-hegység mezozoós dolomitmészskő köztömegéit nagy vastagságú, fiatal üledéksorozat övezi. Ez utóbbi a hegység lesüllyedt előtereiben a hegység képződményeit még le is fedí. A karsztvizet tároló dachsteini mészkő- és dolomitest vastagsága Jaskó (1959) szerint a Bakonyban a 800 m-t is meghaladhatja. A karsztosodásra alkalmas kőzetek a terület mintegy 35%-án felszínen vannak, s ha figyelembe vesszük, hogy helyenként csupán vékony vízáteresztő kvarterüledékek fednek dolomitokat és mészköveket, amelyek így szinte nyitottnak tekinthetők, a beszivárgásra alkalmas területek a Jaskó által adottnál nagyobbak vehetők. A főkarszton kívül vízrekesztő rétegsorokkal elválasztva további 40–50 m vastagságú, fiatal karsztvíztárolók is előfordulnak. A Dunántúli-középhegységben van szabad-tükrű nyílt karszt továbbá fedett, szorított karsztvíztükrű tároló is.

A karsztvíztároló utánpótlódását megfelelően biztosítja a beszivárgó csapadékvíz. Ezt Kessler H. (1956) vizsgálatai igazolták, aki az egész ország karsztvízmerlegét meghatározva megállapítja, hogy az ország különböző karsztos területein, szélső esetben csupán 13% eltéréssel, egyensúlyban van a beszivárgó csapadékvíz a felszínre kerülő hideg- és melegforrások vizével.

A beszivárgó hideg víz a karsztvíztárolóban lesüllyed, majd felmelegedve felszáll. Ez az ún. termokonvekció lényegesen nagyobb intenzitású hőtranszportot tesz lehetővé, mint a csupán vezetéssel haladó főfluxus. A konvekció tényére mért adatok is utalnak. A hévízi pénzügyőr üdülőnél fűrt kútban a triász dolomit és a rátelepült pannon rétegek határán 46°C a víz hőmérséklete. A dolomitban tovább fűrva már csak 34°C -os vizet találtak. Ez, bár tapasztalati tény, még kevés, viszont viszonylag egyszerű számítással meghatározható, hogy adott körülmények között kialakulhat-e termokonvekció egy porózus, repedezett tárolóban. A számításokat elvégeztük, s ennek következményeként azt kaptuk, hogy a hévízi hidrotermális rendszer kialakulásában a termokonvekció fontos szerepet játszik. A számítás részleteit a későbbiekben ismertetjük.

Eképpen a jelenség lényege, hogy a Bakony és a Keszthelyi-hegység karsztvíztárolójába beszivárgó csapadékvíz képezi a hévízi tóforrás utánpótlását. A karbonátos köztömeg peremén jelentkező fokozott földi hőáram melegíti fel a beszivárgott vizet, amely a termokonvekció hatására száll fel a tóforrás környezetében lévő vetők mentén. A köztettebe beszivárgó karsztvíz hűti a kőzetet, az utánpótlódás feltételezett nyomvonala mentén kisebb a geotermikus gradiens az elvárhatónál.

Ezt a fogalmi modellt elfogadva a hévízi hidrotermális rendszer matematikai modellje is felépíthető.

3. MATEMATIKAI MODELL

A matematikai modell alapját a kialakuló jelenséget leíró mérlegegyenletek jelentik. A vizsgált rendszer környezetével mechanikai és termikus kölcsönhatásban van. Ennek megfelelően lehet felírni a tömeg, az impulzus, és az energia mérlegegyenleteit. Az így adódó egyenletrendszer megoldásához még az ún. egyértelműségi feltételeket is meg kell adni. A rendszer sajátosságainak megfelelően a mérlegegyenleteket véges különbségekkel célszerű felírni.

Az értelmezési tartomány megadja, hogy az egyenletekben szereplő független változók: azaz a három helykoordináta és az idő, milyen intervallumon belüli értéket vehetnek fel. A geometriai változókat tekintve ez egyet jelent a vizsgált rendszer peremének megadásával. Az értelmezési tartomány határa tehát a vizsgált rendszert a környezetétől elhatároló felület. A Vituki által lefolytatott vizsgálatok kijelölik a hévízi védőidomát, azaz vízgyűjtőterületét. (Böcker, Liebe 1978). Ennek a rendszerhatárnak elsősorban nyugati irányban elég nagyok a bizonytalanságai.

A peremfeltételek a rendszer határára lokalizálva adják meg az egyenletekben szereplő változók, vagy azok deriváltjainak értékét. A rendszer határait elvileg bárhol kitzúzhatjuk, de célszerű, ha a termikus fallal határolt rendszer és környezete között nincs anyagátadás, de nem zárja ki a hőközlést. Ilyen pl. egy vízrekesztő réteg a vízvezető tartományt határolva. Általában úgy célszerű felvenni a rendszerhatárt, hogy minél több változó értéke konstans vagy zérus legyen a határ mentén. A bonyolult geometriai alakú rendszerhatár célszerűen megválasztott koordináta-rendszer, vagy konformis leképezés révén gyakran lényegesen egyszerűbb matematikai formularendszerrel írható elő. A kezdeti feltételek jellemzik az egész rendszeren belül a vizsgálat kezdeteként választott időpontban a rendszer állapotait.

A rendszer matematikai modelljének váza tehát adott. Az így adódó egyenletrendszer érvényes bármely olyan anyagi rendszerre, amely környezetével mechanikai és termikus kapcsolatban áll. Ahhoz, hogy ebből a hévízi hidrotermális rendszer modellje legyen, ezt a vázat fel kell tölteni a konkrét feladatra vonatkozó adatok lehetőleg minél pontosabb sokaságával.

Mai ismereteink szerint a tó felszíne, medrének domborzati viszonyai, a forrás helye és méretei megnyugtatóan tisztázottak. Hasonlóképpen ismertnek tekinthetők a tó közvetlen környezetének geológiai viszonyai: a tófenéken előforduló kőzettípusok, a tó körüli fúrások rétegsorai, hőmérsékletviszonyai, a talajvíz szintjének és hőmérsékletének a tavat körülvevő térségben adódó értékei. Megbízhatóan feldolgozottak a térség meteorológiai viszonyai: az évi hőmérséklet- és csapadékeloszlás, napsütéses órák száma stb. Hasonlóképpen ismert egy sor hidrogeológiai jellemző is: a karsztvízszint változása, az átlagos évi beszivárgott csapadékmennyiség, a tó hőmérsékletének térbeli- és regionális változásai, a víz kémiai összetétele. Mindezen értékek mellett, meglehetősen érthetetlenül állunk a tóforrás hozamának ellentmondásos értékei előtt, holott viszonylag egyszerűen mérhető, s egyúttal alapvető fontosságú adatról van szó. A folyamatos hozammérés és regisztrálás eredményeként 200 l/s és 600 l/s közötti intervallumban szórnak a mért értékek.

A korábbi időszakban (1970 előtt) a tóból elfolyó víz felszíni sebességméréséből következtek a hozamra. Kiegészítő számításaink sorában megmutatjuk, hogy a felszíni sebességértékeket egy hozzávetőlegesen 0,89 értékű korrekciós tényezővel kell átszámítani a sebesség keresztmetszeti átlagértékére. A vízszint magassága a csatornában bizonyos mértékig befolyásolhatja a korrekciós tényező értékét.

A sebességmérésnél megbízhatóbb értéket szolgáltatnak a különböző geometriai kialakítású bukógátakkal mért hozamértékek. Nyilvánvaló, hogy a bukógátat egyszer kalibrálni kell, erre a köbözés kínálkozik alkalmas módszernek. Nem feltétlen szükséges, hogy a köbözést a helyszínen végezzék el. Téglalap keresztmetszetű kifolyó keresztmetszetnél a

$$Q = \frac{2}{3} \alpha L \sqrt{2gH^3}$$

egyenlet α együtthatóját kell kalibrálásból meghatározni, az eredmény $\alpha = 0,7$ körüli érték. L a vízszintes, H a függőleges oldala a folyadékkal kitöltött téglalap-keresztmetszetnek. Más kifolyó keresztmetszet alak is használatos lehet, pl. az egyenlőszárú háromszögszelvény különösen célszerű ingadozó, esetenként viszonylag kis hozamok meghatározására. Ekkor a térfogatáram a

$$Q = \frac{8}{15} - \alpha' \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

ahol α' most egy erre a szelvényalakra vonatkozó kalibrációs állandó, β az egyenlőszárú háromszögszelvény nyílásszöge, H a vízzel kitöltött háromszögszelvény magassága. Az egyszeri köbözéssel folyamatos mérést, vagy regisztrálást lehetővé tevő berendezést hitelesíthetünk.

A bukógáttal (de bármilyen más eszközzel) a tóból lefolyó víz hozamát mérve a forrás hozamától eltérő pillanatnyi értékeket kaphatunk. A tó, mint szabad felszínű tartály késleltetheti a forrás hozamának változásait, hiszen alig észlelhető (pl. 2 mm) szintváltozás mintegy 100 m³ térfogatváltozással jár. Akár bukógáttal mérünk, akár sebességmérésből következettünk a hozamra, az a hatás kiküszöbölhetetlen. Ugyanis bármilyen pontosan mérjük a kifolyó víz hozamát, ez szükségképpen nem azonos a tóforrás pillanatnyi hozamával. Minél nagyobb időintervallumot vizsgálunk, annál közelebb kerül egymáshoz a kifolyó víz térfogatáramának időátlaga, és a forrás hozamának időátlaga.

A kifolyó térfogatáram ingadozásához vezethet a szélnek a tófelszint deformáló hatása is. Ha például a tófelszín a kifolyó csatorna felőli oldalon 15 mm-rel megemelkedik, ez a térfogatáramban mintegy 16%-os növekedést eredményez. Ha a szintemelkedés 30 mm, a kiömlő térfogatáram növekedése 45%! Még egyszer hangsúlyozzuk, hogy ez nem a hozammérés hibája, hanem a kiömlő térfogatáram változása egy átmeneti viszonylag enyhe légmozgás hatására.

A forrás hozamának szabálytalan, bár periodikus változásában keresi az okot a Böcker t. (1982) vezette kutatócsoport. Logikus okfejtéssel, több lehetséges ok kizárásával jutnak arra a végeredményre, hogy a forrás kiömlő keresztmetszetének időnkénti beszűkülése vagy átmeneti elzáródása okozhatja a véletlenszerű hozamingadozást. Búváros vizsgálatok eredményei is valószínűsítik ezt az elképzelést: a tóban kialakult intenzív termokonvekciós áramlás törmeléket, iszapot, hulladékot hord a forráskráterbe. A fojtás miatt megnövekedett víznyomás hatására a víz a lerakódáson „áttör”, némileg a hidraulikus talajtörés jelenségéhez hasonlóan, s a fluidizált állapotba került felszínközeli juttatja, illetve diszpergálja a tómederben vagy annak bizonyos tartományában. E jelenség matematikai leírására és modellezésére a lehetőség megvan, s nincs akadálya egy kvantitatíve is lefolytatható vizsgálatnak.

4. MATEMATIKAI MODELL

A fentiekből is kitűnik, hogy a forrás hozamának, mint alapvető fontosságú adatnak az ismerete hiányos. Egy ilyen jelentős paraméter értékének nagyfokú bizonytalansága bármilyen szimulációs vizsgálat esélyét lényegesen rontja.

A forráshozam tehát csak hosszabb időszakok átlagában vehető megbízható paraméternek. A húsz éves átlagként adódó 518 l/s érték megbízhatónak tűnik a rendszer primer állapotának vizsgálata szempontjából, de aszályos esztendőben ennél lényegesen kisebb hozamok is adódhattak a korábbi években is. A 700–1000 l/s hozambecslések egyértelműen túlzottak, ezek a felületes becslésből, ill. hibás mérésből származó adatok kizárandók a további értékelés folyamatából.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ keretében készült.

IRODALOM

- [1] BOBOK Elemér: *Áramlástan bányamérnököknek*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1987.
- [2] BOBOK Elemér–TÓTH ANIKÓ Nóra: *Megújuló energiák*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005.
- [3] NÉMETH Endre: *Hidrodinamika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
- [4] TÓTH, A. N.–BOBOK, E.: First Geothermal Pilot Power Plant in Hungary. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 12, No. 1 (2007), 176–180.