

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi és Informatikai Kar
Földtudományok Doktori Iskola
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

FÖLDHŐSZONDÁS HŐSZIVATTYÚS RENDSZEREK PRIMER
OLDALI HŐTRANSPORT FOLYAMATAINAK VIZSGÁLATA
NUMERIKUS MODELLEZÉSSEL

Doktori (Ph.D) értekezés tézisei

TARI CSILLA

Témavezetők:
Dr. Szanyi János
Dr. Kovács Balázs

SZEGED
2011

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban az egyre fokozódó energiaszükséglet következtében a megújuló energiaforrások, így a geotermikus energia is, mindinkább előtérbe kerülnek. Különösen igaz ez az alacsony entalpiát hasznosító hőszivattyús rendszerekre. Magyarországon 2000 és 2009 között az eladott hőszivattyúk száma megszázsorozódott.

Ezzel együtt hazánk, a hőszivattyús energiahasznosítás terén, még mindig elmarad más európai országoktól, például Svédországban a családi házak 30%-a hőszivattyús fűtéssel működik, ami 36000 TJ /év energiatermelést jelent. A lemaradás okai többek között a magas beruházási költségben és hosszú megtérülési időben keresendők. Ezért különösen fontos a beruházási és működési költségek minimalizálása.

A beruházási költségek minimalizálásához elsősorban a primer oldalból (földtani közegből) kinyerhető hőmennyiséget kell pontosan ismerni. Mivel a primer oldali hőmennyiség meghatározása, a vertikális földhőszondák kivételével, elsősorban gépészeti feladat, ezért munkámban a továbbiakban a vertikális zárt rendszerekre koncentrálok. Választásomat az is indokolja, hogy az egyre szaporodó nagyméretű hőszivattyús rendszerek ilyen típusúak. Másrészt a primer oldali hőmennyiség számítása ezeknél a rendszereknél a legnehezebb.

A működtetési költségek minimalizálásához elsősorban a hőfoklépcsőt kell minimalizálni, tehát a cél a kondenzátorból és az elpárologtatóból kilépő víz hőmérsékletkülönbségeinek minimalizálása. Ehhez pedig úgy kell tervezni a primer csőhálózatot hogy a visszatérő hőmérséklet az adott körülmények között a lehető legmagasabb legyen.

Földhőszondás rendszerek tervezés során elengedhetetlen a szonda és a földtani közeg közötti hőátadási folyamatok tisztázása, a csőhálózatból adott működtetési feltételek mellett visszatérő hőmérséklet számítása. Erre azonban az általános gyakorlatban ritkán kerül sor. Ennek oka, hogy a porózus közeg és zárt csőrendszer közötti hőátadás analitikus meghatározása számos az eredményt erősen módosító egyszerűsítő feltétel bevezetésével lehetséges.

Ezért munkámban célul tűztem ki egy olyan módszer kidolgozását, mellyel számítható a primer oldalból kivehető teljesítmény, a szonda és a geológiai környezet hőmérséklet eloszlása, az előremenő és visszatérő ágak hőmérséklete, különböző hidrosztratigráfiai és földtani adottságok esetén.

Ezzel lehetőségem nyílt olyan speciális működési feltételek, stratégiák és a geológiai környezet hatásainak olyan szintű figyelembe vételére, melyekre a hazai szonda rendszer tervezési folyamatok során nem fektetnek hangsúlyt, ugyanakkor ezek figyelembevételével a létesítési költségek csökkenthetőek.

II. A VIZSGÁLAT MÓDSZERÉNEK RÖVID LEÍRÁSA

Munkámban egy szegedi beruházás során készült mérési eredményeket felhasználva, egy olyan módszert dolgoztam ki, mellyel az előzetes földtani információk ismeretében, szondateszt mérési adatokra támaszkodva, de a szondateszt hagyományos kiértékelésénél nagyobb pontossággal számítható az előremenő és visszatérő ágak hőmérséklete, a primer oldali teljesítmény, a teljes szonda és a geológiai környezet hőmérséklet eloszlása, magányos szonda és szondamező esetében is

A földhőszondák szimulációját a FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) modellező program felhasználásával végeztem el. A FEFLOW program két- és háromdimenziós, véges elemű módszert (FEM – Finite Element Method) alkalmaz azon parciális differenciál egyenletek megoldására, amelyek a geológiai környezet szivárgáshidraulikai, tömegtranszport és hőtranszport folyamatait írják le. A tömedékelő anyagban elhelyezkedő csőrendszert 1D-ös vertikális elemmel (DFE) reprezentáltam. A csőrendszer szerepe kettős. Egyrészt hőt szállít vertikális irányban. Ehhez a hőszállításhoz először meg kell tudni határozni a csőben keringő folyadék sebesség vektorát. A folyadék sebességvektorát a Hagen-Poiseuille –törvény alapján határoztam meg. A csőrendszer másik szerepe, hogy hőt ad át, illetve vesz föl horizontális irányban, melynek mértéke a csőfelület nagyságával, és a hőátadási tényezővel arányos. A hőátadási tényezőt a cső konvektív, és konduktív termális ellenállásából számítottam.

Az ily módon hibrid módszerrel modellezett magányos szondát, illetve szondamezőt, ezután egy általam készített FEFLOW bővítmény segítségével többféle stratégia alapján teszteltem.

Az első stratégia során, arra voltam kíváncsi, hogy ha a visszatérő ág hőmérsékletét, melynek értéke csak a legelső időpillanatban definiált, mindig, egy előre meghatározott konstans hőmérséklettel csökkentem, akkor hogyan alakul az előremenő és visszatérő hőmérsékletek abszolút értéke. Ez abban az esetben alkalmazható hatékonyan, ha tudni szeretnénk hogy egy előre meghatározott konstans teljesítmény esetén mekkora hőfoklépcső várható.

A második stratégiában az egyetlen előre definiált hőmérséklet érték szintén a visszatérő ág hőmérséklete az első időpillanatban, itt azonban a rendszer

terhelhetőségének maximumáig csökkentettem az előremenő ág hőmérsékletét (-4°C -ig). Ez a stratégia akkor alkalmazható hatékonyan, ha arra vagyunk kíváncsiak hogyan alakul a hőfoklépcső ha azt a maximális hőmennyiséget vesszük ki a szondával, amit a munkaközeg túlhűlése még éppen lehetővé tesz.

A harmadik stratégia annyiban különbözik az előzőtől, hogy a modul addig csökkenti az előremenő ág hőmérsékletét, amíg a visszatérő ág hőmérséklete egy olyan érték alá nem csökken ahol a megnőtt hőfoklépcső miatti COP csökkenés gazdaságtalanná nem teszi a rendszer működtetését. Ez a modul akkor alkalmazható hatékonyan, ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy adott hőfoklépcső mellett mi az a földhő oldali maximális teljesítmény amit a rendszer a geológiai környezetből felvehet.

Szondamező modellezéséhez ugyanezeket a modulokat készítettem el, azzal a kibővítéssel, hogy modelleztem a szondák soros és párhuzamos kapcsolását, illetve többféle szonda elrendezést.

Ezután a kidolgozott módszert használva meghatároztam különböző geológiai és hidrogeológiai körülmények esetén, illetve különböző műszaki és működési feltételek esetén a magányos szondával és szondamezővel kivehető hőmennyiségeket.

Az így kapott összefüggések alkotják dolgozatom téziseit.

III. AZ EREDMÉNYEK TÉZIS SZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. A vizsgált üledékek termális és hidrogeológiai paramétereit egyaránt jellemző Peclet-szám megvizsgált 18 nagyságrendjéből, csak az 1-10 000 közé eső értékek azok, amelyek befolyással bírnak a földhőszonda teljesítményére. $Pe < 1$, maximum hőmennyiséget kivevő szonda esetén, 9 h folyamatos működés után a magányos 100 m-es U-alakú szonda teljesítménye 8.3 kW. $Pe > 10\ 000$, maximum hőmennyiséget kivevő szonda esetén, 9 h folyamatos működés után a magányos 100 m-es U-alakú szonda 14 kW teljesítményre képes

2. A folyamatos működési idő hosszával a földhőszondák teljesítménye alacsony Peclet-számok esetén jelentősen romlik, míg magas Peclet-számok esetén a teljesítmény egy működési időtől független konstans értékre áll be. Ha $Pe < 1$, ugyanaz a szonda 3 h folyamatos működés után 10.4 kW, 6 h folyamatos működés után 8.7 kW, 9 h folyamatos működés után pedig 8.3 kW teljesítményt nyújt. Ha $Pe > 100\ 000$ a teljesítmény időben állandó 15.4 kW.

3. A jelenleg gyakorlatban alkalmazott, előre megállapított hosszúságú földhőszondák elhelyezésén alapuló megoldás helyett a rétegsor figyelembe vételével kell meghatározni a szükséges szondahosszakat. Hiszen egy nagyrészt vízrekesztő képződményeket feltáró 100 m –es rétegsorba beékelődő közel 20 m vastag réteg, mely magas Peclet-számmal rendelkezik, a szonda teljesítményét akár 22 % -kal is növelheti.

4. Ha a rétegzett üledékes földtani környezetbe helyezett földhőszonda teljesítményének számítását az egyes üledékek külön-külön mért

teljesítménye, és a rétegoszlopbeli vastagságuk aránya alapján számítjuk, akkor a valódi teljesítményt nagy Peclet-szám különbségek, és vastag rétegek esetén több kilowattal alábecsülhetjük. Ennek oka, hogy egy jól vezető rétegben ($Pe > 10\,000$) a szonda már nem csak arról a szakaszcsonról szed össze többlet hőt amelyikben nagyobb a Peclet-szám, hanem az alatta és fölötte lévő rétegekről is.

5. Magas hővezetési tényezőjű tömedékelő anyag alkalmazása esetén a szonda teljesítménye jelentősen függ a környezetre jellemző Peclet-számtól. Amennyiben a Peclet-szám értéke kicsi ($Pe < 1$), a nagy hővezetési tényezőjű tömedékelő anyag alkalmazása 1 kW-tal növeli meg egy szonda teljesítményét. Ha a $Pe > 1$ és $Pe < 10\,000$, a hagyományos és növelt hővezetésű tömedékelő anyaggal kiképzett szondák teljesítményének különbsége folyamatosan nő. Ha $Pe > 10\,000$ a nagy hővezetési tényezőjű tömedékelő anyag alkalmazása 2.8 kW –tal növeli meg egy szonda teljesítményét.

6. Az U-alakútól eltérő, többletköltséget jelentő szondák beépítésekor figyelembe kell venni földtani adottságokat és a várható folyamatos működési periódusok hosszát. Rövid működési idők esetén és magas Peclet-szám esetén járhatnak legnagyobb előnnyel a dupla U-alakú, és W-alakú szondák. A tripla U-alakú szonda használata a modellezett szondaátmérő és geológiai környezetek esetén nem tanácsos, a lábak túl közel vannak egymáshoz, ezért rontják a szonda teljesítményét.

Amennyiben Peclet-szám értéke kicsi, $Pe < 1$, a dupla U-alakú szonda, rövid működési idő esetén jelent némi pluszteljesítményt (1.3 kW), ez a pluszteljesítmény azonban hosszabb működési idő során elveszik, sőt 40 h

(magasabb Peclet-szám esetén 10 h) működés után az U-alakú szonda teljesítménye nagyobb, 144 h folyamatos működés után ez a különbség fél kW körül állandósul az U-alakú szonda javára. A W-alakú szonda teljesítménye az első 40h működés során mintegy 1.5-2 kW-tal meghaladja az előző két típust, 40 h működés után teljesítménye azonban rohamosan csökken. A Tripla U-szonda teljesítménye, a lábak termális egymásra hatása miatt mindvégig a legalacsonyabb

Amennyiben $Pe > 1$ és $Pe < 10\,000$, lényeges változás történik a szimpla és Dupla U-alakú szonda teljesítményében. Míg a tripla U-szonda és a W-alakú szonda teljesítménye a működési idő növekedésével továbbra is lényegesen romlik, addig a másik két típus teljesítménye a Peclet –szám növekedésével hosszú működési idő esetén sem csökken lényegesen. Ezen belül ha $Pe \geq 1000$, a dupla U-alakú szonda a működési idő egésze során jobb teljesítményt nyújt.

Amennyiben $Pe \geq 10\,000$, a tripla U-szonda és a W-alakú szonda teljesítményének jelleggörbéjében nem történik lényeges változás. A szimpla U-alakú szonda teljesítménye a működési idő elteltével folyamatosan állandó 15 kW. A dupla U-alakú szonda teljesítménye ezzel szemben lényegesen nagyobb 19 kW körül állandósul

7. Mind a párhuzamos, mind a soros kapcsolású szondákból álló szondamezőben a szondák elhelyezésének mintázatát a földtani környezet és a várható folyamatos működési periódusok hosszának figyelembevételével kell meghatározni. Ennek oka, hogy különböző geológiai környezetekben különböző elrendezések teljesítményei között, egy 5 szondából álló szondamező esetén, párhuzamos kapcsolásnál akár 33%, soros kapcsolásnál akár 40% különbség is lehet az

összteljesítményben. A különbségek alacsony Peclet-számok és hosszú működési idők esetén a legjelentősebbek.

8. Soros kapcsolás esetén az egyes szondákból, valamint a csőhálózat egészéből visszatérő hőmérséklet akár 14 °C - kal is meghaladhatja a párhuzamos kapcsolású szondákból visszatérő hőmérsékletet, ugyanakkor a soros kapcsolás összteljesítménye jóval alatta marad a párhuzamos kapcsolás összteljesítményének. Ez az összehasonlítás azonos szondaátmérő, és azonos szondánkénti átfolyási sebesség, de a két kialakítás szükségszerűségei miatt nem azonos össztömegáram esetén értendő. A nagy visszatérő hőmérséklet rendkívül előnyös mivel magasabb visszatérő hőmérsékletnél csökken a hőfoklépcső amit a hőszivattyúnak le kell győznie, ezáltal csökken a COP. Ezért előnyös soros és párhuzamos kapcsolások kombinálása. Soros kapcsolás közbeiktatása esetén azonban mindig ügyelni kell arra, hogy csak annyi szondát kapcsoljunk egymás után, hogy még az utolsó is gazdaságos mértékben emelje a kifolyóvíz hőmérsékletét.

IV. A DOLGOZAT TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA

Tari Cs. – Kovács B.: The Effect of Open Pit Gravel Quarries on the Groundwater Regime of the Ócsa Nature Protection Area, Proc. MicroCAD 2007, Miskolc, Section B, pp. 149-154

Tari Cs. – Szanyi J. – Kovács B.: Közepes és alacsony entalpiájú geotermikus rendszerek hőtranszport modellezése XI. Bányászati Kohászati és Földtani Konferencia 2009, pp. 183-187

Tari Cs. – Szanyi J. – Kovács B.: Kavicsbányászat hatása a talajvízállásra, és a felszín alatti vizektől függő védett élőhelyekre, Ócsa, Dunaharaszti, Árporka és Bugyi térségében, Hidrológiai Közlöny 90/3 2010, pp. 40-46

Tari Cs. – Tóth L.: Hőtranszport modellek alkalmazási lehetőségei hőszivattyús rendszerek hatásainak vizsgálatára 2010, Medencefejlődés és geológiai erőforrások, GeoLitera, Szeged, pp. 105-108

Tari Cs. – Kun É.: Hő terjedésének törvényszerűségei porózus közegben: Bevezetés a hőtranszport modellezés elméletébe és gyakorlatába 2010, Szeged, Szemelvények a geotermikus energia hasznosítás hidrológiai alkalmazásából pp.9-61