

## Hőszivattyús fűtési rendszer vizsgálata

**Borza Sándor, Preklet Edina, Divós Ferenc**

NyME SKK Fizika és Elektrotechnika Intézet

sandor.borza@skk.nyme.hu, edina.preklet.joobne@skk.nyme.hu,

ferenc.divos@skk.nyme.hu

**ÖSSZEFOGLALÓ.** A Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karán 2015-ben egy 8kW-os hőszivattyút helyeztünk üzembe, mely fűtésre és aktív hűtésre egyaránt alkalmas. Egy darab 100 m mély talajszondát telepítettünk a hőszivattyú kiszolgálására. Ennek környezetében modelleztük a talaj hőmérsékletének változását végeselem-módszerrel. Eredményeinkből az látható, hogy az épület hűtési időszakában az épületből kivont és a talajba juttatott hőmennyiség besegít a fűtési rendszer működésébe. Az épületből a nyári időszakban kivont hőmennyiség a talajban részben tárolódik, minek következtében a fűtési időszak alatt, a talaj hőmérséklete a szondától 0,5m távolságban 1-4°C-kal magasabb, mint amilyen a betáplált hőmennyiség nélkül a talaj hőmérséklete lenne. A magasabb talajhőmérséklet pedig a teljes fűtési időszakban magasabb hatásfokot eredményez a hőszivattyú működése során.

**ABSTRACT.** An 8 kW heat pump was put into operation which is suitable for both active heating and cooling at the Károly Simonyi Faculty of University of West Hungary in 2015. A single 100 m deep ground loop serves the heat pump. The long term temperature history of the soil around the ground loop was calculated by finite element method. Based on our results, it appears that the cooling operation in summer, allocates heat energy in the soil that helps in the heating period. Heat energy extracted from the building during the summer is partly stored in the soil, therefore, the temperature of the soil - 0.5m away from the ground loop - is 1-4 °C higher than it would be without the energy input in summer time. The elevated temperature of the soil results higher efficiency during the entire heating season.

### 1. Bevezetés

A Föld fosszilis energiahordozó készleteinek kimerülése, illetve a környezetszennyezés csökkentése iránti igény erősödése miatt egyre inkább szükségessé válik a megújuló és az alternatív energiaforrások felhasználása. A fosszilis energiahordozók árának emelkedése és a folyamatos fejlesztések eredményeként létrejövő új technológiák, melyek egyre hatékonyabbak és kisebb bekerülési költséggel érhetőek el, együttesen a megtérülési idő rövidülését idézik elő. Magyarország klimatikus és földrajzi adottságai miatt a lehetséges megújuló energiaforrások közül a Föld hőjét hasznosító geotermikus energia kiaknázásában rejlik a legtöbb lehetőség. Mindezek ellenére hazánk a geotermikus hőszivattyús technológia alkalmazásában elmarad a gazdagabb európai országoktól, melynek oka e rendszerek kiépítésének viszonylag nagy költsége és hosszú megtérülési ideje. Ezen okok miatt fontos a geotermikus energia felhasználási lehetőségeinek a kutatása, illetve a technológiák fejlesztése és a fűtési rendszerek hatásfokának javítása.

A kutatásunk célja a geotermikus hőszivattyús fűtési rendszerek optimalizálása, olyan módon, hogy a hűtési időszakban az épületből kivont hőt a talajban tárolva a fűtési szezonban e talajban tárolt hő felhasználásával javítsunk a fűtés hatásfokán. Egy ilyen típusú, a talajban tárolt hőt felhasználó rendszer tervezése során elengedhetetlen a szonda és a földtani közeg közötti hőátadási folyamatok tisztázása, illetve a szondát körülvevő közeg hőmérsékletének számítása. [1].

## 2. A vizsgált rendszer leírása

Kutatásunkban egy NIBE F1145-8 EXP típusú 8kW-os talajszondás geotermikus hőszivattyút használunk, mely fűtésre és aktív hűtésre egyaránt alkalmas.

Egy darab 100 m mély talajszondát telepítettünk úgy, hogy a szonda környezetében három, egymáshoz viszonyított 120 fokos szögben kijelölt irányokban 60 cm és 120 cm távolságban hőmérőket helyeztünk el. A 6 hőmérő csatorna mélysége 30 m. A 100 mély talaj szonda mellett is helyeztünk el hőmérőket. Háromrétegű tokozással ellátott, saját fejlesztésű, kalibrált 1 kΩ-os platina termisztorokból készült hőmérőláncainkban 74 darab hőmérő 4 m-es kiosztásban lett elhelyezve. A regisztrálás automatikusan, 10 percenként történik és az interneten elérhető az adatok.

## 3. A kutatás módszerei

Bármely tetszőleges közegben, általános esetben, a hő hővezetés, hőáramlás és hőszugárzás útján terjedhet. E három hőtranszport folyamatot foglalja össze a hőátadás alapegyenlete, melynek megoldása szolgáltatja az adott elemi térfogatcella hőmérsékletének megváltozását. Tranziens esetben az elemi térfogatcella hőmennyiségének megváltozása:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \rho c = \rho c \left( v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + H.$$

Ha tehát ismerjük az adott test hőmérséklet eloszlását a  $t=0$  pillanatban (kezdeti feltétel), továbbá, a test határfelületén a környezettel való hőcserélődés mértékét (határfeltétel), akkor ezen egyenlet megoldása szolgáltatja a hőmérséklet eloszlást bármely későbbi időpillanatban [2].

A modell készítése során azonban figyelembe vettük, hogy a fent említett három hőterjedési folyamat közül a hőszugárzás a földhőszonda környezetében lévő közeg esetében elhanyagolható a másik két folyamathoz képest. Emellett a vizsgálat tervezésekor feltettük, hogy a földhőszondát a furat teljes hossza mentén agyag veszi körül, mely vízzáró réteget képez a földhőszonda környezetében, ugyanis csak ebben az esetben lehetséges az épületből nyáron kivont hőt a földhőszondát körülvevő talajban tárolni. Mindez azt jelenti, hogyha a földhőszonda környezetében nincs vízáramlás, akkor a hőáramlás is elhanyagolható. Tehát modellünkben a hő a talajban csak hővezetés útján terjed, a másik két hőterjedési folyamatot elhanyagoltuk.

Igy a talaj hőmérsékletének tér- és időbeli eloszlását az ismert Fourier-féle differenciálegyenlet

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = k \Delta T$$

megoldásából kapjuk. Az egyenletben szereplő  $k$  hőmérsékletvezető-képességet a

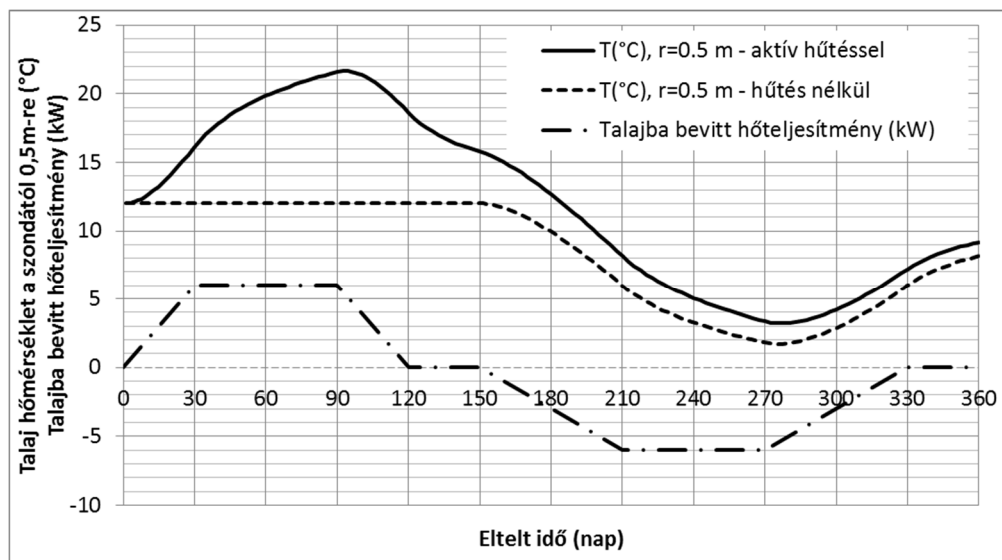
$$k = \frac{\lambda}{\rho c}$$

összefüggésből kapjuk, ahol  $\lambda$  a talaj hővezető-képessége,  $\rho$  a talaj sűrűsége és  $c$  a talaj fajhője. Ezen mennyiségek függenek a talaj fajtájától, nedvességtartalmától, ezért az értékeik meghatározása csak az adott helyen történő mérésekből lehetséges.

A Fourier-féle differenciál egyenletnek nincs zárt, analitikus megoldása, csak numerikus módszerekkel kaphatunk közelítő megoldást. Az egyik ilyen numerikus módszer az ún. véges elem módszer. Ezt a módszert használva, az Ansys program segítségével modelleztük a talaj hőmérsékletének térbeli és időbeli változásait. A későbbiekben a kidolgozott modelleket egyre inkább közelítjük a valóságoshoz, és az adott talaj geotermikus paramétereinek mérése után modellezzük a talaj hőmérsékletének változását.

#### 4. Az eredmények leírása

A földhőszonda és a talaj közötti hőátadást a furat felületén átáramló hő fluxusának segítségével modelleztük. A hőszivattyú által a fűtési időszakban a talajból kivont, illetve a hűtési időszakban a talajba betáplált valóságos hőteljesítményt a külső átlaghőmérséklet szezonális változásának segítségével közelítettük, mivel a hőszivattyú által a talajból kivont, illetve a talajba betáplált hő egyértelműen kapcsolatba hozható a külső átlaghőmérséklettel. A pontosabb összefüggés meghatározásához a későbbiekben fel kívánjuk használni a mérési eredményeket, ami legalább 2 fűtési-hűtési ciklus mérése után lehetséges. Az 1. ábrán jól látható, hogy modellünkben az épület hűtési szezonjának kezdetén, az első 30 napban a talajba betáplált hőenergia, illetve a hőteljesítmény lineárisan növekszik. Ezután 60 napig a hőszivattyú maximális teljesítménnyel működik, majd a hűtési időszak végén a teljesítmény lineárisan csökken. A következő 30 napban, az átmeneti időszakban a hőszivattyú nem vesz fel és nem is táplál be hőenergiát a talajba. Majd az épület fűtési szezonjának kezdetén a hőszivattyú által a talajból kivett hőenergia 60 napig lineárisan növekszik, míg el nem éri a maximális teljesítményét. Ezután újabb 60 napig a hőszivattyú maximális teljesítménnyel üzemel, majd a fűtési időszak végén a teljesítménye 60 nap alatt nullára csökken le. Ezután egy újabb 30 napos átmeneti időszakkal zárul az éves ciklus, amely időszakban nincs a hőszivattyú és a talaj között semmilyen hőcsere folyamat.



1. ábra: A két különböző ciklus talajhőmérsékletének összehasonlítása

A talaj geotermikus gradiensét a modell ezen verziójában nem vettük figyelembe, a talaj kezdeti hőmérsékletét minden csomópontban  $12^{\circ}\text{C}$ -nak vettük. Nem vettük továbbá figyelembe, hogy a földhőszonda csövében keringő folyadék hőmérséklete a visszatérő ágban alacsonyabb, mint az előremenő ágban. Ennek következtében a talaj hőmérséklet térbeli eloszlásának hengersizmetriája a valóságban nem valósul meg, mert a visszatérő ág oldalán a talaj hőmérséklete alacsonyabb, mint az előremenő ág oldalán. A két ágban áramló folyadék hőmérsékletének különbsége a furatban lefelé haladva egyre csökken, tehát lefelé haladva a földhőszonda két oldalán a talaj hőmérsékletének különbsége is egyre kisebb lesz. Mindezek együttesen azt eredményezik, hogy a fűtési időszakban a talajból a hőelvonás a visszatérő ág legfelső pontján lesz a legnagyobb, mert itt a legkisebb a hőszivattyúból visszatérő folyadék hőmérséklete. Ugyanezen ok miatt az előremenő ág legfelső pontján lesz a legkevesebb a hőelvonás, mert a csőben keringő folyadék hőmérséklete is itt lesz a legmagasabb. A jövőben megvalósulhat a mérési eredményeink felhasználása, hiszen az adatokból következtethetünk a talaj adott rétegéből történő hőelvonás mértékére, melynek segítségével modellezhetővé válik a földhőszonda hengerének palástján az adott rétegben átáramló hőfluxus. A kutatás jelenlegi stádiumában első közelítésként a földhőszonda hengerének felületén átáramló hőfluxust mindenhol egységesnek vettük.

Modellünkben a földhőszonda környezetében a talaj hőmérsékletét egy  $r = 10$  m sugarú,  $h = 120$  m magasságú hengerben vizsgáltuk. Ennek a hengernek a tengelyében a földhőszondát egy  $d = 30$  cm átmérőjű,  $h_{sz} = 100$  m magasságú hengerrel modelleztük, mely henger falain keresztül áramlik a hő a talaj és a földhőszonda között. A véges elem felbontás során a modellünkben ezt a hengert osztottuk fel 463367 darab elemre, mely elemek 88116 darab csomópontban kapcsolódnak egymáshoz. Modellünkben a földhőszonda körüli talaj hálózása után a csomópontok sűrűsége a földhőszonda környezetében sokkal nagyobb, mint a földhőszondától nagyobb távolságban, mivel a hőáram fluxusa is itt a legnagyobb, ezért a hőmérséklet változás is ebben a tartományban lesz a leggyorsabb és a legnagyobb.

A modellben figyelembe vett talaj sűrűség  $2750 \text{ kg/m}^3$ , fajlagos hőkapacitás  $879 \text{ J/(kg}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , hővezetési tényező  $1,28 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , a talajban lévő vízmozgást nem vettünk figyelembe. Modellünket hosszú időszoron, egy éves (360 napos) intervallumban, illetve az összehasonlítás céljából csak a fűtési időszakot tartalmazó, féléves (180 napos) intervallumban futtattuk le az Ansys program segítségével.

## 5. Következtetések

Azt a megállapítást tehetjük, hogy azon fentebb említett feltételek teljesülése esetén, melyeket a modell alkotása közben alkalmaztunk, az épület hűtési időszakában az épületből kivont és a talajba juttatott hőmennyiség segíthet a fűtési rendszer optimalizálásában. Az épületből a nyári időszakban kivont hőmennyiség – ilyen feltételek teljesülése esetén – a talajban tárolódik, minek következtében a fűtési időszak kezdetén, sőt a teljes fűtési időszak alatt, a talaj hőmérséklete magasabb, mint amilyen a betáplált hőmennyiség nélkül a talaj hőmérséklete lenne. A nagyobb hőfok különbség pedig a teljes fűtési időszakban magasabb hatásfokot eredményez a hőszivattyú működése során.

## Irodalomjegyzék

- [1] **Tari Cs.**, Földhőszondás hőszivattyús rendszerek primer oldali hőtranszport folyamatainak vizsgálata numerikus modellezéssel, Doktori (Ph.D) értekezés, Szegedi Tudományegyetem (2011).
- [2] **R. Al-Khoury, P. G. Boonier, R. B. J. Brinkgreve**, Efficient finite element formulation for geothermal heating systems. Part I: Steady state. *International Journal for numerical methods in engineering*, **64**, (2005), 988-1013. (doi: <http://dx.doi.org/10.1002/nme.1313>)