

Adatok magyarországi sekélyszondás hőszivattyús rendszer telepítéséhez

Ádám Béla¹ - Dr. Tóth László² - ¹HGD, Budapest, ²SZIE Gödöllő

Törökbálinton 2009-ben megkezdte működését Európa 7. legnagyobb, 18 000 méter földhőszondával működő hőszivattyús rendszere. A beruházás 2007-ben indult, amikor megtörtént a területen a próbafúrás. Ennek során végeztük el a rendszer méretezéséhez szükséges szondatesztet és a fúrási rétegsor geofizikai méréseit. A vizsgálat a nyugalmi állapot felméréssel kezdődött, és azóta folyamatosan regisztráljuk a felszín alatti hőmérsékleteket, azaz a rendszer hatását a földtani környezetére. Megállapításaink szerint a tartós fűtési és a hűtési időszakokban a 100 m mély szondafuratokban (közvetlen a furatok mellett) 10-11 °C-os hőmérséklet-változást okozott a nyugalmi bázishőmérséklethez képest. A furatoktól 6,6 m távolságban a hőmérséklet-változás nem volt mérhető.

A vizsgálatok körülményei

2009-ben a Telenor Magyarország Zrt. székházában, Törökbálinton megkezdte működését Európa hetedik legnagyobb földhőenergiát földhőszondákkal felhasználó hőszivattyús rendszere.

Az épület tervezése során még 2007 nyarán döntött a Telenor Zrt., hogy a fosszilis energia helyett a megújuló energiát alkalmazzák a 26500 m² alapterületű új központi épület fűtésére és hűtésére. A társaság kifejezetten elkötelezett volt a környezettudatos megoldások iránt,

ezért a gazdaságossági szempont és a megújulóenergia-rendszerek megtérülési ideje mellett a környezetvédelmi előnyök alapján döntött a hőszivattyús rendszer kiépítése mellett.

A beruházásról elmondható, hogy maga az épület tervezése és a környezetbe való illesztése, az egyéb alkalmazott technológiák mind a takarékos energiafelhasználást és környezettudatos üzemeltetést képviselik.

A külső munkák során a meghatározott szondaszámon túl még 3 szondát

telepítettünk a földhőmonitoring, illetve a földhőszondás rendszer működésének nyomon követésére. Az első mérési pontot egy dupla szonda egyik ágába, a másodikat két szonda közé félúton (3,5 méter), a harmadikat a szondamezőtől 6,6 méterre helyeztük el.

Hőelnyelési teljesítmények megállapítása (Response teszt)

A hőszivattyús rendszer kiépítése 2007 júliusában kezdődött, mikor elkészült az első 100 méteres próbafúrás. Ebbe telepítettünk egy szimpla U hurokkal beépített szondát a tervezett geotermikus response teszt előkészítéséhez, a földhő helyi kihozatalának meghatározására. 2007. július 17-én vizsgáltuk az ún. „in situ” közet hőmérséklet-állapot helyreállítását a fúrás után hőmérséklet-regisztrációval.

Az alkalmazott műszerek:

- DA-S-R3 3 csatornás hőmérséklet és impulzusadat-gyűjtő
- DA-S-4TRB 118 hőmérs.-regisztráló
- DA-TIC 127 hőmérséklet-távadó
- DA-S-TRC 260 hőmérs.-regisztráló

Számítógépes adatgyűjtő és feldolgozó rendszer: SMART acu WIN-ESP, Verzió: F252-SP1, EED 3.0 méretező-szoftver

A response teszt megkezdése előtt a nyugalmi állapotot rögzítettük. A 100 m-es szimpla szonda teljes hosszában a hőmérsékleti adatokat 10, 40, 70 és 100m mélységben regisztráltuk, amely értékek 11,99-13,97 °C között változtak.

2007. július 17-20. közötti időszakban a szimpla szondában elvégeztük a response tesztet. A vizsgálati idő a 100 méteres szimpla szonda esetében: 68 óra 14 perc volt. A mérés során regisztráltuk az előremenő és visszajövő ág hőmérsékletét és a keringtetett folyadék tömegáramát.

- Szondateszt: maximális előremenő hőmérséklet: 35,34 °C,
- $\Delta t = 3,85$ °C.
- Tömegáram: 1,44 m³/óra.
- Bevitt fűtési teljesítmény: 7,0 kW.

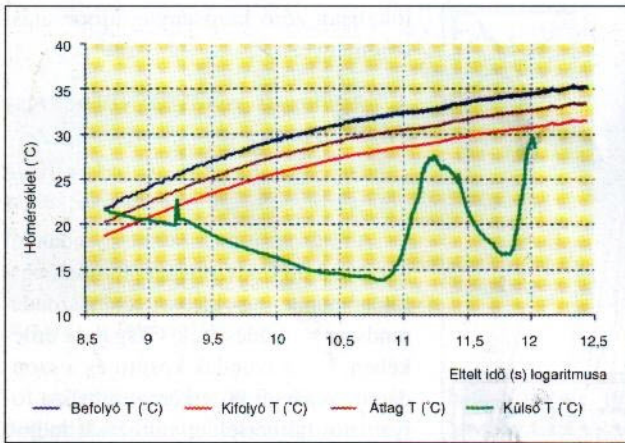
1. táblázat Európa legnagyobb hőszivattyús rendszerei

Ország	Város / projekt neve	Szondák (BHE)		
		száma	mélysége	teljes hossza
NO	Loerenskog, SiA hospital *	ca. 300	150 m	ca. 45 000 m
NO	Oslo, Nydalen district	180	200 m	36 000 m
SE	Lund, IKDC	153	230 m	35 190 m
SE	Stockholm, Vällingby Centr. *	133	200 m	26 600 m
SE	Kista, Kista Galleria *	125	200 m	25 000 m
TR	Istanbul, Metro market	168	107 m	18 000 m
HU	Törökbálint, Pannon GSM	180	100 m	18 000 m
DE	Golm near Potsdam, MPI	160	100 m	16 000 m
SE	Stockholm, Blackeberg area	90	150 m	13 500 m
SE	Örebro, Musikhögskolan	60	200 m	12 000 m
DE	Langen, DFS	154	70 m	10 780 m
CH	Zurich, Grand Hotel Dolder	70	150 m	10 500 m

BHE: Borehole Heat Exchanger, * under construction

1. ábra A szondateszt és a folyadék hőmérsékletek mérőrendszere





2. ábra A szondák környezetéből felvehető hőteljesítmény (response teszt)

$y = 30,364 \ln(x) - 40,81$ befolyó $R^2 = 0,9696$
 $y = 29,886 \ln(x) - 41,527$ átlag $R^2 = 0,9738$
 $y = 29,408 \ln(x) - 42,244$ kifolyó $R^2 = 0,9774$

A szondateszt eredményeinek kiértékelését a Kelvin-vonalforrásmódszerrel végezzük. Az ún. ekvivalens hővezető képesség (λ) a hővezetés differenciálegyenletének megoldásával kapható az alábbi képlet szerint:

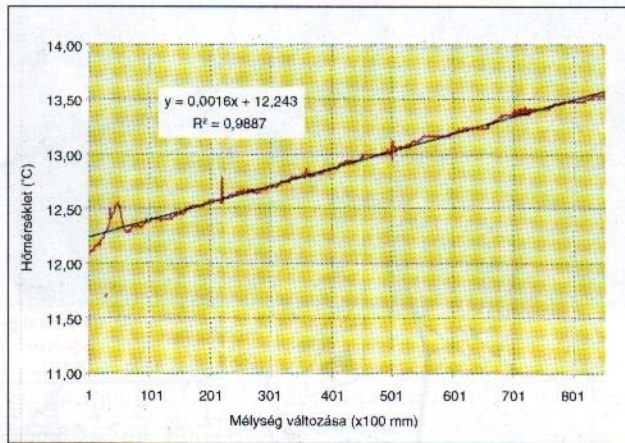
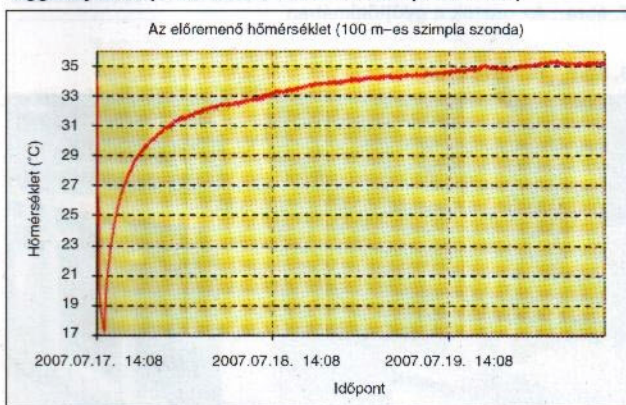
$$T_f(t) - T_0 = \frac{q_c}{4\pi\lambda} \left[\ln\left(\frac{4at}{r_b^2}\right) - \gamma \right] + q_c \times R_b =$$

$$= \frac{q_c}{4\pi\lambda} \ln(t) + q_c \left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4at}{r_b^2}\right) - \gamma \right) \right]$$

Ahol:

- T_f = folyadék hőmérséklete
- T_0 = zavartalan talajhőmérséklet
- λ = hővezető képesség [W / m * K]
- γ = állandó
- a = hődiffúzió [m²/s]
- t = a vizsgálat kezdete [s]
- q = fűtési teljesítmény [W]
- r_b = sugár [m]
- R_b = termikus fűrólyuk-ellenállás [mK/W]

4. ábra Az előremenő hőmérséklet változása az idő függvényében (Törökbálint, 100 m-es szimpla szonda)



3. ábra A talaj hőmérséklete a furat mélységének függvényében (ún. alapállapot, Törökbálint: 2007.07.17.)

A fenti módszerrel meghatározott ekvivalens hővezetőképesség-érték (λ) tükrözi a kőzetformációban lévő konduktív és a talajvíz révén létrejövő konvektív hővezetést is.

Ezek alapján a vízzel elnyelehető teljesítmény: 6,42 kW.

Ezek alapján a glikollal elnyelehető teljesítmény: 5,91 kW.

A talajszelvények hőmérséklete a mélység függvényében

Nyugalomban lévő szondában (feltöltött állapotban) ~20 min alatt 100 m-re levezetett hőmérővel mért hőmérsékletek (3. ábra). A visszahúzásnál az eltérés nem volt szignifikáns.

A szórások a talajszelvény ekvivalens hőelviteli képességét jelzik.

A fűtő szondalyuk határ-hőterhelhetőségének tesztelése

A kísérletben a felfűtött folyadékot a szondában keringettük, s vizsgáltuk, hogy a fűrólyuk hűtő hatása milyen mértékben érvényesül. Ellenőriztük, hogy a

folyamatos hőközlés hatására a hőmérséklet az idő függvényében mekkora intenzitással közelíti az állandósuló állapotot.

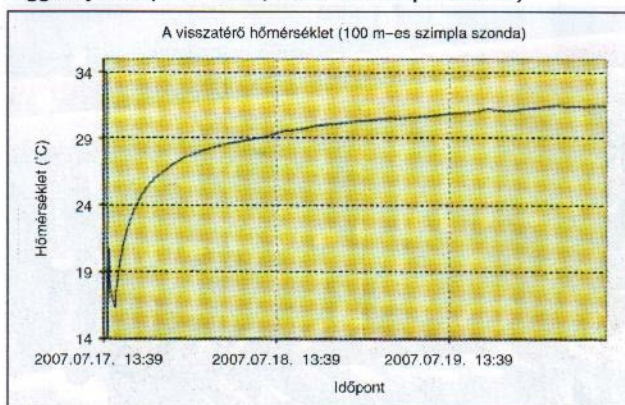
A 2007. július 17-20. között elvégzett szondateszt alapján az elnyelehető hőteljesítmény: 100 m-es szimpla szondára 5,91 kW-nak (glikollal) adódott. A fenti eredmények közelítő értékek, a tényleges szondaszám meghatározását – a response teszt eredményeit felhasználva – az erre a célra kifejlesztett EED 3.0 méretezőszoftverrel végeztük el.

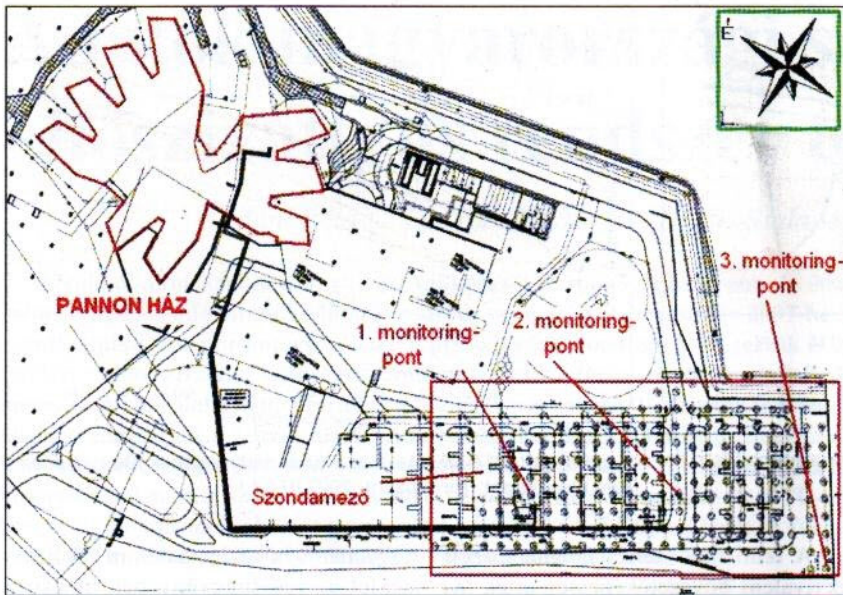
Méretezés és kivitelezés

A fűtési rétegsor geofizikai mérés elvégzettük, pontosítottuk a response test során nyert hővezetési tényező értékét, és ezt az értéket használtuk a földhőszonda-rendszer számítógépes modellezéséhez.

A terület rétegsora többnyire száraz agyagos, agyagmárgás, az alsó 80-100 méter szakaszon váltakozva mészmárgás rétegeket tartalmazott. A fentiek alapján a beépített szondák száma a fűtési és hűtési teljesítmény-igény függvényében

5. ábra A visszatérő hőmérséklet változása az idő függvényében (Törökbálint, 100 m-es szimpla szonda)





6. ábra A szondamező elhelyezkedése a monitoringpontok megjelölésével

180 db. A szondafuratok egyenként 100 m mélyek, melyekbe \varnothing 40 mm-es szimpla szonda került. A szondafuratok bázistávolságát 7 m-re választottuk, ezen értéket ugyancsak a modellezés alapján határoztuk meg.

A szondamező az épülettől távol kialakított parkoló alá került, mivel ez a terület volt csak régészeti szempontból átvizsgálva az építési területen kívül, és ezzel további beruházási költségcsökkentést lehetett elérni.

A 180 db szonda fúrása 2007. október 25-én kezdődött, és 2008. február elején fejeződött be, és megkezdődött a szondák vízszintes hálózatának 60-60 db-os csoportokban 3 osztó-gyűjtő aknába bekötése a képen látható módon.

A közműépítés jelentős földmunkával járt. A gerincvezeték az épület -2-es szintjén lévő hőközpontba csatlakoztattuk.

A hőszivattyúk száma 3 db. Teljesítményük egyenként: 287,4 kW fűtés és

321,9 kW hűtés, s így az összes teljesítmény: 862,2 kW fűtés, 965,7 kW hűtés.

Minden hőszivattyú külső hőmérséklettel vezérelve képes a fűtő vagy a hűtő üzemmódra beállni. A hőszivattyúk teljesítményszabályozása 25-100 % tartományban lehetséges. A külső elektromos vezérlő- és automatikus szabályozórendszer biztosítja az épületfelügyelettel való folyamatos kommunikációt. A hőközpont gépészeti monitoring teljesítmény-ellenőrző rendszerrel egészült ki, s ezzel a rendszer teljesítményadatai rögzíthetők, és a hatékonyság értékelhető.

A külső közműmunkák 2008 áprilisában, a belső gépészeti munkák 2008 októberében készültek el. Ekkor ideiglenes elektromosenergia-ellátás mellett megtörtént a hőszivattyúk indítása.

2009 márciusában történt meg a beüzemelés, a végleges elektromos bekötés után. A hőszivattyús technológia működése teljesen automatikus. A rendszer

lokálisan zéró károsanyag-kibocsátást eredményez.

A létrehozott rendszer ellenőrzése (Monitoring)

Hőmérséklet változása a szondamélység függvényében és a szondafuratok között

A fúrások során a 180 db szondán túl további 3 db földszondát építettünk be a földhőmonitoring-, illetve a földhőszonda-rendszer működésének vizsgálata érdekében. Így a szondák közötti és a szondamezőn kívüli közetköznyezetnek a folyamatos hőmérséklet-változását tudjuk regisztrálni. Az egyik monitoringpont a II-es osztó-gyűjtő aknába, a második a III.-as osztó-gyűjtő aknába, a harmadik a szondamező DK-i oldalán került telepítésre. A monitoringpontoknál a 100 m-es szelvény mentén 4 mélységben történik hőmérséklet-regisztráció 10, 40, 70 és 100 m-en. A beépített hőmérséklet-regisztrálók 30 perces gyakorisággal rögzítik a hőmérsékleti adatokat. Az első (közvetlenül egy működő földhőszonda mellett) és a második hőmérséklet-regisztráló (két földhőszonda között „félúton”) 2008. október 18. óta működik, a harmadik (szondamezőtől 6,6 m-re) 2009. április 6-án került beépítésre.

Az egyes hőmérséklet-regisztrálók hasonló hőmérsékleti értékeket mutattak az alapállapotot tekintve a 4 regisztrálási mélységben:

- 1. hőmérséklet-regisztráló:
10 m: 11,5 °C; 40,0 m: 12,7 °C; 70 m: 14,0 °C; 100 m: 15,0 °C
- 2. hőmérséklet-regisztráló:
10 m: 11,4 °C; 40,0 m: 12,6 °C; 70 m: 13,8 °C; 100 m: 15,2 °C
- 3. hőmérséklet-regisztráló:
10 m: 11,9 °C; 40,0 m: 12,3 °C; 70 m: 13,8 °C; 100 m: 15,0 °C



7. ábra Az osztók a gyűjtőaknában

8. ábra Hőszivattyúk





Az elkészült létesítmény



A modellkép

9. ábra A Telenor Ház

A 2008. október 18. óta mért hőmérsékleti értékek egyértelműen mutatják a 2009. január végi és a március végi hőszivattyús próbaüzemek, valamint az azóta eltelt fűtési-hűtési időszak hatását.

Az **1-es ponton** (működő földhőszonda mellett) a mért adatok alapján a 2009. január 20-án és 21-én történt próbaüzem során a hőmérséklet 13,41 °C-ig „hűlt le” 100 m-en, azonban a hőmérséklet 2 nap alatt 14,68 °C-ig regenerálódott (A).

A 2009. március 23-i próbaüzem során a hőmérséklet 100 m-en (3 nap alatt) 11,50 °C-ig csökkent (B), azonban a leállás után 3 nap alatt 14,29 °C-ig regenerálódott a közet hőmérséklet. A csökkenő fűtési igényekkel párhuzamosan növekedett a közet hőmérséklet. A nyár elején elindult hűtési üzem hatására 16,0 °C mérhető 100 m-en (nem látható az ábrán).

A 70 m-en elhelyezett hőmérsékletmérő nyugalmi állapotban 14,0 °C-ot regisztrált. A tavaszi fűtési szezonban 9,26 °C-ig csökkent a hőmérséklet (B). Az április végétől induló hűtési üzem hatására 19,30 °C-ig emelkedett (C) július elején a közet hőmérséklet, augusztus 4-én 16,4 °C-ot regisztráltunk 70 m-en.

A **2-es ponton**, a két földhőszonda közötti távolság felénél az eddigi fűtési és

hűtési üzemek nem okoztak hőmérsékletváltozást. A 2009. március 23-án elindult próbaüzem hatására 14 nap alatt nem következett be hőmérséklet-csökkenés a 3,5 m-re lévő mérési ponton. Április elejétől a fűtés hatására 14,92 °C-ig csökkent a hőmérséklet 100 m-en 15,2 °C-ról. Az időközben elindult hűtés következtében 15,0 °C-ra ’melegedett’ fel a földtani közeg.

Az alapvető eredmények

A tesztelés eredményeként a létesítmény fűtési- és hűtésienergia-ellátásához 180 darab 100 méteres szondafúrást jeltünk ki. Az épületbe beépített felületfűtő, -hűtő rendszert 18 000 méter talajszonda látja el. A működő földhőszonda közvetlen közelében a fűtés 5,74 °C hőmérséklet-csökkenést, a hűtés 4,30 °C hőmérséklet-emelkedést eredményezett.

A működő földhőszondától 3,5 m-re a fűtés 0,28 °C hőmérséklet-csökkenést eredményezett. A hűtés hatására a fűtés következtében lehűlt földtani közeg hőmérséklete 0,08 °C-ot emelkedett.

A földhőszondamezőtől 6,6 m-re elhelyezett mérési ponton nem észleltünk hőmérséklet-változást a nyugalmi állapothoz képest. Az egész évre kiterjedő üzemi tapasztalatokról és a gépészeti

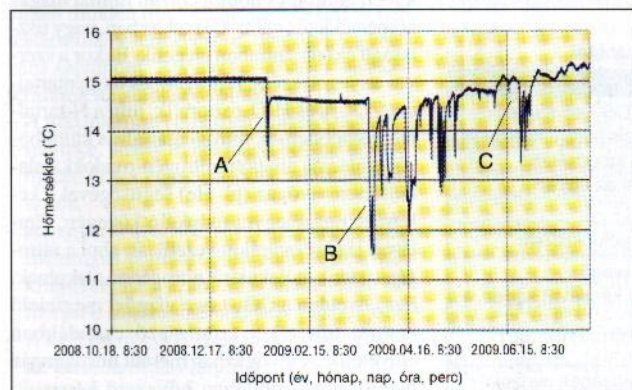
vizsgálatok eredményeiről a következő cikkünkben számolunk be.

Summary

Data for installation of shallow geothermal heat pump system (with borehole heat exchanger)

In Törökbálint the seventh largest geothermal heat pump system of Europe began operating with 18 000 m BHE in 2009. The project started in 2007 when the exploratory drilling has been taken place in that area. In the course of it we made the geophysical measurement of drilling sequence and thermal response test what is necessary for scaling of the system. The investigation began with the survey of the undisturbed temperature and since then we are recording the underground temperatures, i.e. the effect of the system on the geological environment. According to the findings 10-11 °C temperature change was caused (next BHE) by the long-term heating and cooling in 100 m deep boreholes compared to the undisturbed basic temperatures. 6.6 m away from the boreholes-field the change of temperature was not demonstrable.

10. ábra Hőmérsékleti érték 100 m-en (1-es pont), regisztrálási időszak: 2008.10.18.-2009.08.04.



11. ábra Hőmérsékleti érték 70 m-en (1-es pont), regisztrálási időszak: 2008.10.18.-2009.08.04.

