SZENT ISTVÁN EGYETEM

Földhőszondák hőtechnikai viszonyai hőszivattyús rendszereknél

Doktori értekezés tézisei

Ádám Béla

Gödöllő
2012

A doktori iskola

megnevezése: **Műszaki Tudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Agrárműszaki Tudományok**

vezetője: **Prof. Dr. Farkas István**
egyetemi tanár DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető: **Dr. Tóth László**
egyetemi tanár DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet

…… az iskolavezető jóváhagyása

…… a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1 BEVEZETÉS 4
1.1 A téma aktualitása és jelentősége 4
1.2 Kitűzött célok 5
1.3 A megoldandó feladatok ismertetése 6
2 ANYAG ÉS MÓDSZER 7
2.1 A mérés és kiértékelés során alkalmazott összefüggések 7
2.1.1 A TRT mérés elve 7
2.1.2 Geotermikus szondateszt folyamata 7
2.2 Mérési adatok gyűjtése 8
2.3 A mérési eredmények elemzése, kiértékelése 9
2.4 Potenciál meghatározása modellezéssel 10
3 EREDMÉNYEK 12
3.1 A mérési helyek 12
3.1.1 Raiffeisen Bank hőszivattyús rendszer – Az első mérés (2006) 12
3.1.2 Telenor Ház hőszivattyús rendszer 13
3.1.3 Tesco – Trigenerációs roof-top hőszivattyús rendszer 15
3.2 Monitoring adatok értékelése 17
3.2.1 A Raiffeisen monitoring 17
3.2.2 A Telenor monitoring 17
3.2.3 A Tesco monitoring 22
3.3 Általános megállapítások 24
3.4 Földtudományi és műszaki megállapítások a TRT test végzéséhez 25
3.5 A BHE hőszivattyús rendszerek gazdaságossági értékelése 28
3.5.1 Kis teljesítményű (30kW alatti) BHE rendszerek gazdaságossági elemzése 28
3.5.2 Nagy teljesítményű BHE rendszerek gazdaságossági elemzése 28
3.6 A BHE hőszivattyús rendszerek környezetvédelmi előnyei 32
3.7 A BHE hőszivattyús rendszerek jövőbeni lehetőségei, várható fejlődése 36
4 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK 37
5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 39
6 ÖSSZEFOGLALÁS 40
7 SUMMARY 42
8 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK 44
9 A TÉMAKÖRHÖZ KAPCSOLÓDÓ K+F MUNKÁIM 45

1 BEVEZETÉS

1.1 A téma aktualitása és jelentősége

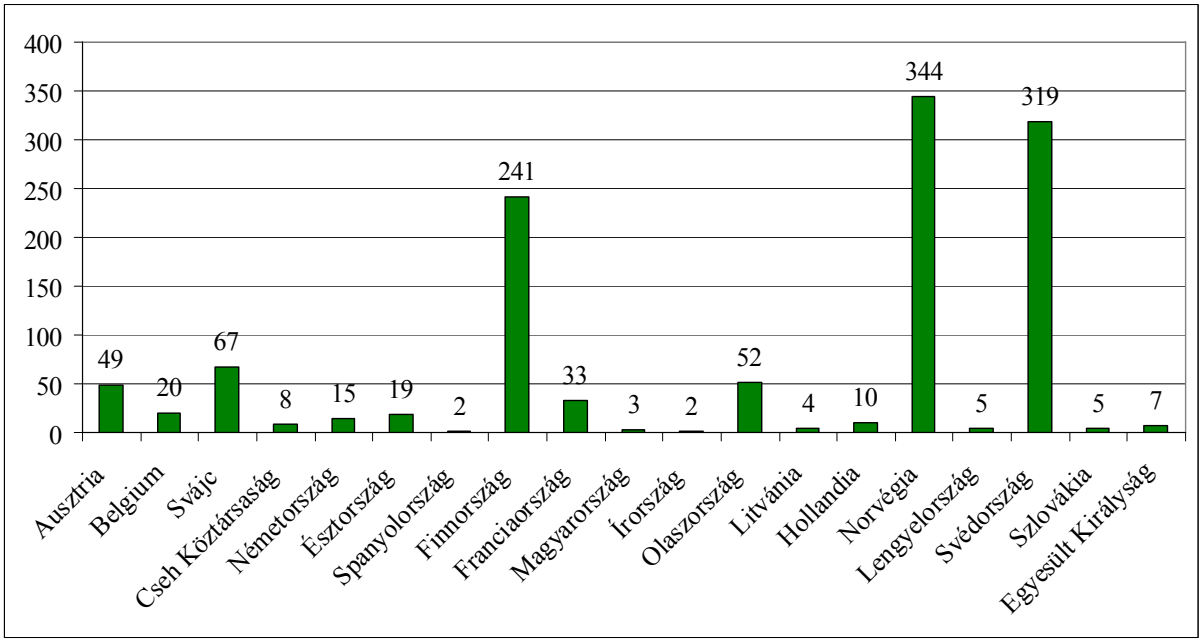
A világ energiafelhasználási szokások tekintetében válaszút elé érkezett. A felhasználókat már nem csak az energia ára, megfizethetősége készteti gondolkodásra, hanem az egyre nyilvánvalóbb kedvezőtlen klímaváltozási hatások is.

Az EU tagállamok között Magyarország is elkészítette 2010 év végére a Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Tervet, és 2011. októberben elfogadásra kerül a hazai Energiastratégia 2030-ig.

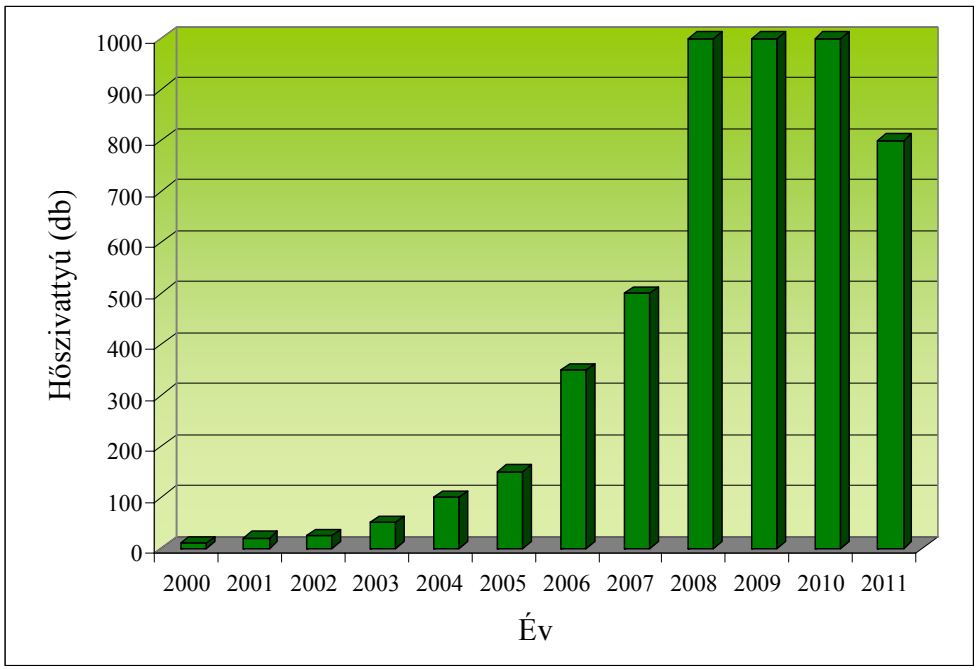
Az elfogadott dokumentumok szerint 2020-ra a hazai megújuló energia-felhasználás részaránya 14,65%-ra nő a jelenlegi 7,3%-ról.

A 2010. áprilisban Bali szigetén megrendezett „Geotermikus Világkongresszus" összegző előadásának eredménye szerint, a világ összes geotermikus hőenergia-termelő kapacitásának 69,7%-a sekély földhős hőszivattyús kapacitás (Lund, 2010).

A hazai földhős hőszivattyús hőenergia-termelés nem csak ehhez a nagyságrendhez, de a környező országokhoz képest is el van maradva. Ezt mutatja a 1. és a 2. ábra.



1. ábra: Hőszivattyú eladás/10 000 háztartás, 2010 (Forsén, 2011)



2. ábra: Magyarországi „becsült" hőszivattyús eladási statisztika, 2000-2011 (MAHÖSZ)

A hőszivattyús technológia alkalmazásában élenjáró EU tagországokhoz képest 1%-os arányú a hazai éves beépítési darabszám.

Ennek a beépítési mennyiségnek az 50%-át a vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszerek teszik ki. Ennek oka visszavezethető a viszonylag kedvező hazai földtani adottságokra. Ezek a földhő adottságok megalapozott mérések, modellezések, tervezések és szakszerű kivitelezések mellett, biztosíthatják a 2020-as hőszivattyús hőtermelési célok elérését.

1.2 Kitűzött célok

A disszertáció célja az általam, nemzetközi tapasztalatok alapján, 2006-ban, Magyarországon megkezdett és több helyen elvégzett, földhő potenciál mérések adatainak tudományos elemzésén keresztül, az eddigi tapasztalatok bemutatása annak érdekében, hogy a jövőbeni földhő hőszivattyús alkalmazás műszaki-tudományos vizsgálata elterjedjen és ezzel a hazai földhő hasznosításának létjogosultsága erősödjön. A hazai földhő viszonyok jellemzésével és saját méréseim alapján következtetéseket kívánok levonni a jövőbeni valós földhő hasznosítási lehetőségekről.

Fontosnak tartom a dolgozatban a primer földhő-felhasználás mérési és modellezési, méretezési kérdéseinek tudományos igényű tisztázását, különböző hazai földtani viszonyok figyelembevétele mellett, a hőszivattyús rendszerek hatékonyságának, a környezetvédelmi előnyök optimalizálásának és a gazdaságos alkalmazás érdekében.

Ajánlások megfogalmazása a hővezetőképesség-mérések hazai elterjesztésének érdekében. Ezzel összefüggésben igazolása a próbafúrások, geofizikai szelvényezések, szondatesztek és szonda rendszer modellezések jelentőségének. Hatásuk bemutatása a hőszivattyús rendszerek hatásfokára és gazdaságosságára kiemelt jelentőségű.

A vertikális földhőszondás rendszerek (a továbbiakban BHE rövidítéssel) alkalmazási előnyeinek és hátrányainak az elemzése is fontos a további térnyerésükhöz. A BHE rendszerek passzív hűtési megoldásának bemutatása, mint gazdaságos és fenntartató hűtési mód, szintén egy jövőbe mutató lehetőség.

A BHE hőszivattyús rendszereknél a szondamező monitoring méréseim bemutatása és a javaslatok a monitoring rendszerek alkalmazási elveire, szintén fontos célkitűzésem.

1.3 A megoldandó feladatok ismertetése

- A vertikális földhőszondák mérésének nemzetközi és hazai irodalmi feldolgozása, fókuszálva a téma aktualitására.
- Kapcsolódó fogalmak összefoglalása.
- A rendelkezésemre álló hazai földhő TRT (Thermal Response Test) mérések adatainak rendszerezése és értelmezése.
- A módszertan ismertetése.
- A hazai kis- és nagyteljesítményű hőszivattyús rendszerekhez végzett földhő mérési adatok bemutatása és a tapasztalatok összegzése.
- A vertikális szondák tömedékelési megoldásainak vizsgálata.
- A vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszer hatásfokának gépészeti vonatkozásai.
- Tervezési, kivitelezési és gyakorlati tapasztalatok elemzése.
- Ajánlások a hővezetőképesség-mérés ismeretanyagának hazai oktatásba való integrálására.
- Ajánlások a földhő alkalmazásának technológiai fejlesztési lehetőségeihez.
- Ajánlások a vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszerek minőségi követelményeinek meghatározásához.
- Az adathalmaz feldolgozási módszerének kidolgozása, a nemzetközileg elfogadott normák szerint. (Adattáblából szerkeszthető térkép – ebből adatbank és később engedélyezési kategória rendszer felállítása – 3 kategóriába való besorolás lehetősége.)

2 ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A mérés és kiértékelés során alkalmazott összefüggések

2.1.1 A TRT mérés elve

A talajszondás rendszerek esetén a primer oldal legfontosabb eleme a fúrt szondák mérete és a szükséges szondák számának és távolságának meghatározása.

Szondateszt elvégzésével tehát a szondamező kialakítása optimalizálható, így a későbbi hőszivattyús rendszer telepítése és működése nemcsak költséghatékony, de hosszútávon megbízható is lesz.

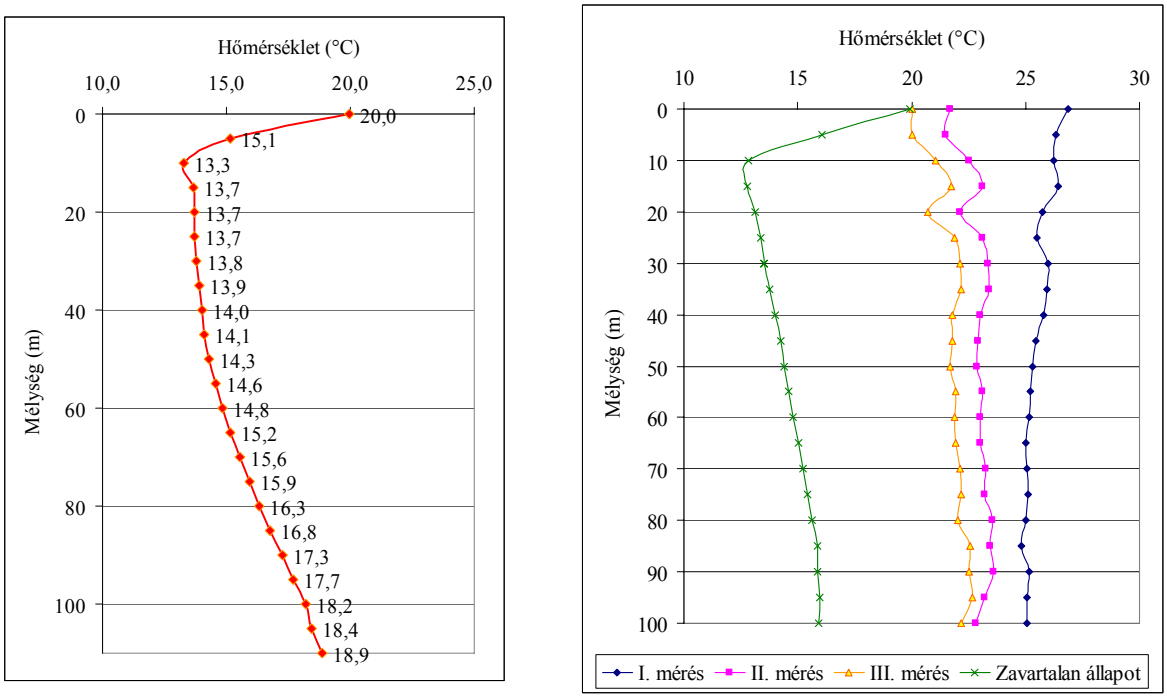
2.1.2 Geotermikus szondateszt folyamata

1. próbafúrás kivitelezése majd ebben geofizikai szelvényezés
2. próbaszonda letelepítése
3. próbaszonda tömedékelése (a szondák teljes kivitelezése a VDI 4640 szabványban foglalt elvek szerint történik)
4. próbaszonda feltöltése munkafolyadékkal
5. hőmérsékleti alapállapot-felvétel
6. tesztelő berendezés összeszerelése és beüzemelése
7. szonda légtelenítése
8. a tesztelés elindítása, amelynek időtartama minimum 48, maximum 72 óra
9. a tesztelő berendezés leszerelése
10. hőmérséklet visszaállás mérés a szonda teljes hosszában négyszer: mérés után közvetlenül, illetve 1, 2 és 3 óra elteltével
11. eredmények meghatározása:
    a. termikus fúrólyuk ellenállás (R_b) és a talaj hővezető-képességének (λ) meghatározása
    b. hőmérsékletprofil alakulásának értelmezése

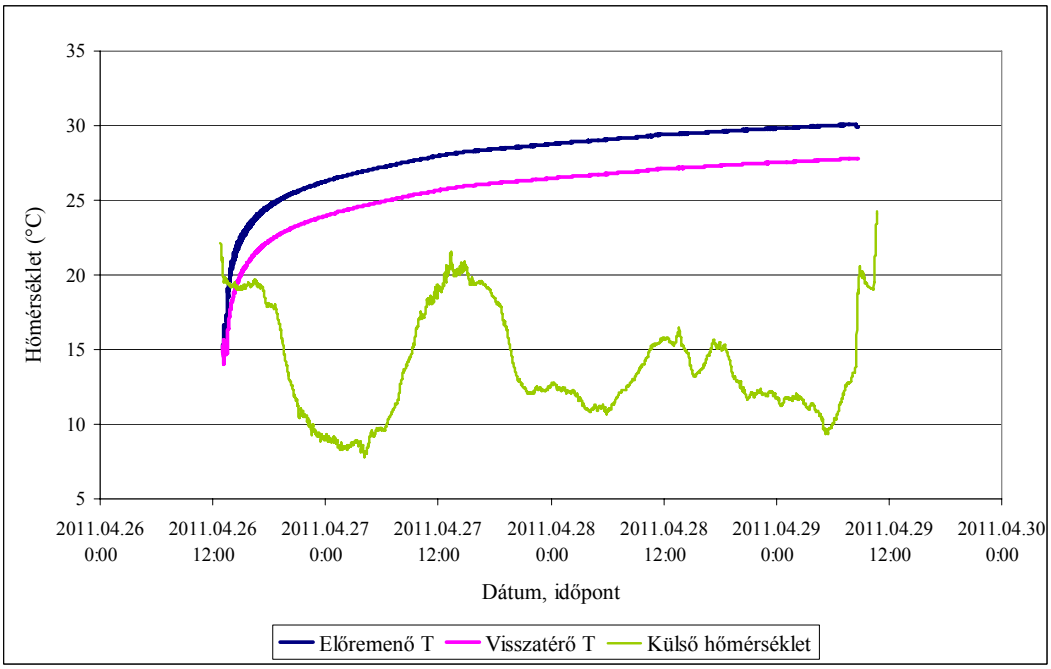
A Thermal Response Test-ből kapott adatok két módszerrel is kiértékelésre kerülnek a megbízható eredmény érdekében: az erre a célra kifejlesztett német GeoLogik TRT Analysis Software-rel és a hagyományos analitikus módszerrel is meghatározzuk az adott földtani közeg hővezető-képességét.

2.2 Mérési adatok gyűjtése

A Thermal Response Test megkezdése előtt regisztrálni kell a szondában mélység szerint a zavartalan hőmérsékletet (3. ábra). A tesztelő-berendezés összeszerelését követően az első 30 percben fűtés nélkül keringtetjük a folyadékot, aminek mért hőmérsékletét a modellezés input paramétereként használhatjuk. A szondateszt során mérjük az előremenő, a visszatérő ág és a levegő hőmérsékletét a mérési idő függvényében (4. ábra).



3. ábra: Zavartalan hőmérséklet és szondateszt után a lehűlés vizsgálata szelvény mentén



4. ábra: A TRT során kapott adatok ábrázolása

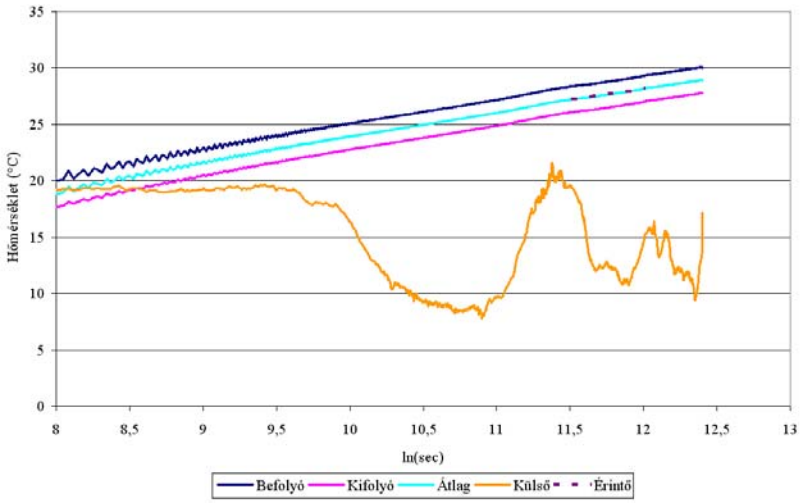
El kell végezni a visszahűlés vizsgálatát is a szondateszt után. Ekkor a fűtés leállítása után 1, 2, 3 óra várakozás után szintén meg kell mérni a profil menti hőmérsékletet (3. ábra), amiből a felszín alatti régió regenerációjának jellegére lehet következtetni.

2.3 A mérési eredmények elemzése, kiértékelése

A Thermal Response Test kiértékelésének több módja is ismert. A **Kelvini-vonalforrás módszerrel („line source")** végeztem. Az ún. ekvivalens hővezetőképesség (λ) a hővezetés differenciálegyenletének megoldásával kapható az alábbi képlet szerint:

$$T_f(t) - T_0 = \frac{q_c}{4\pi\lambda}\left(\ln\left(\frac{4\alpha t}{r_b^2}\right) - \gamma\right) + q_c \times R_b = \frac{q_c}{4\pi\lambda}\ln(t) + q_c\left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda}\left(\ln\left(\frac{4\alpha}{r_b^2}\right) - \gamma\right)\right] \qquad (1)$$

Ahol:
T_f: folyadék hőmérséklete
T_o: zavartalan talajhőmérséklet
λ: hővezető képesség [W/m * K]
γ: állandó
α: hődiffuzivitás [m^2/s]
t: a vizsgálat kezdete [s]
q: fűtési teljesítmény [W]
r_b: sugár [m]
R_b: termikus fúrólyuk-ellenállás [m * K/W]



5. ábra: Semilog diagram: x=lnt, y=T(°C)

A megoldás egy olyan egyenlet, amely alapján a szondát körülvevő térrész hővezető-képessége (λ) a megfelelően végrehajtott mérés eredményeiből számítható. A számítás a fúrólyuk környezetének „ekvivalens" hővezető-képességére vonatkozik, ami a be- és kilépő folyadék logaritmikus átlaghőmérséklet-menetének érintőjéből kapható meg. Azaz, ha a szondateszt során regisztrált előremenő- és visszatérő hőmérsékleteket az idő természetes alapú logaritmusának függvényében vizsgáljuk, akkor meghatározható az érintő meredeksége.

A hőmérsékletváltozás tehát az eltelt idő és a forrástól való távolság függvényében (a szondától való távolság) számítható. A szondateszt során mért paraméterek (T_0= zavartalan felszín alatti hőmérséklet, amely a teszt kezdetekor a fűtés nélkül keringetett folyadékhőmérséklet; az előremenő és visszatérő folyadék hőmérséklete; a konstans

teljesítménynek és a fúrat hosszának hányadosa) alapján lehet tehát kalkulálni az ekvivalens hővezető-képességet (λ):

$$T_f(t) = T_0 + \Delta T(r_b, t) + \frac{Q}{L} \cdot R_b = T_0 + \frac{Q}{L \cdot 4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln\left(\frac{4\kappa t}{r^2}\right) - \theta \right) + \frac{Q}{L} \cdot R_b \quad (2)$$

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

A szondacső és a furatfal közti hőátadás a csövek elhelyezésétől, a munkaközeg és a tömedékelőanyag tulajdonságaitól függ. Ezeket a hatásokat a furat termikus ellenállásával jellemezhetjük, aminek jele R_b. A fúrólyuk termikus ellenállását a következő formulával lehet meghatározni:

$$R_b = \frac{H}{Q}(T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda}\left\{ \ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r^2}\right) - 0{,}5772 \right\} \quad (3)$$

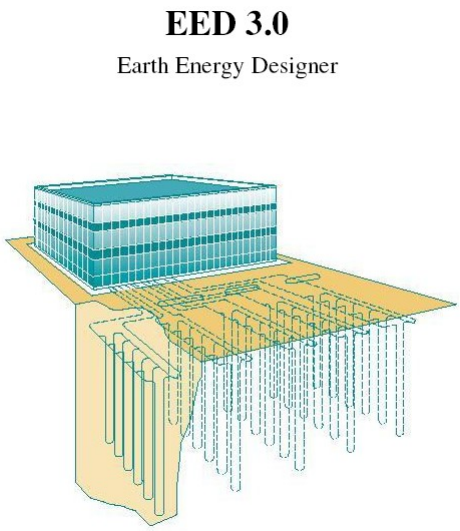
Ahol:
H: szondahossz
Q: bevitt/elvont hőmennyiség
T_0: nyugalmi talajhőmérséklet
T_f: átlagos közeghőmérséklet
r: fúrási átmérő
α: termikus diffúzió
λ: átlagos hővezetési tényező (W/mK)
Erf: Gauss hibafüggvény
L: henger hossza

2.4 Potenciál meghatározása modellezéssel

A geotermikus szondatesztből kapott eredmények kiértékelése után az EED (Earth Energy Designer) program segítségével végezhető a modellezés, amelyet rutinszerűen alkalmaznak Európában hasonló projektekhez. A numerikus szimulációból megkapott g-funkció értékeket az EED program tartalmazza. A munkaközeg hőmérsékletének kalkulációja havi fűtési/hűtési terhelések szerint történik. A program adatbázisában elérhetők éppúgy a kulcsfontosságú talaj-paraméterek (hővezető-képesség és specifikus hő), mint a csőanyagok, vagy a hőhordozó közeg tulajdonságai. A fúrólyuk-ellenállást is számolja a program a furatgeometria, a tömedékelőanyag, a csőanyag és a szondacső elrendezés-geometria alapján. A szondamező elrendezését szabadon lehet választani az adatbázisban található 798 lehetőség közül.

A program alkalmazása tehát lehetővé teszi a szükséges földhőszonda hossz, a szondák közti távolság, a furatmélység és elrendezés, valamint a földhőszondában keringetett hőhordozó közeg hőmérséklet-lefutásának meghatározását, illetve ezek egymáshoz való

illesztését. Az alapméretezésen kívül a betáplált adatok alapján lehetőség van a szükséges furathosszúság kiszámítására, azaz a szondarendszer optimalizálására.



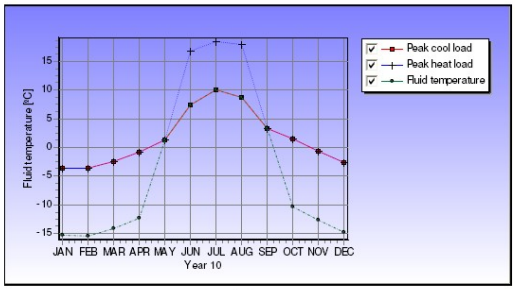
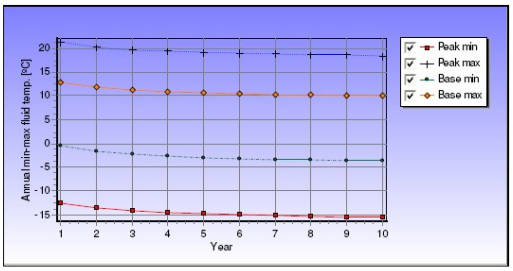


Figure 5.2: Fluid temperature chart.

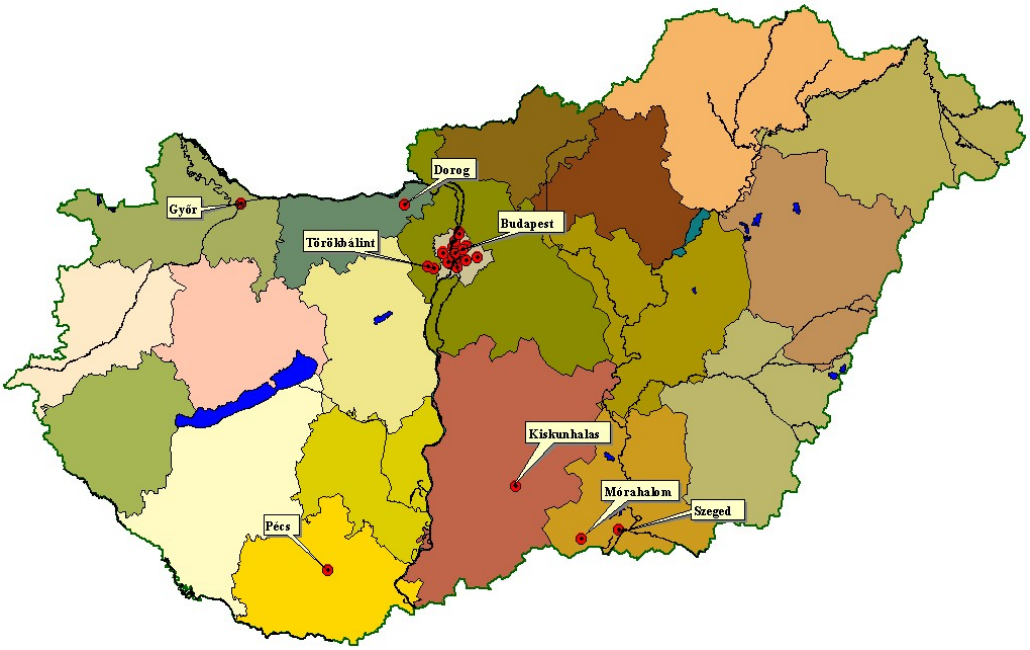


6. ábra: Az EED szoftverben a hőhordozó folyadék hőmérsékletének megjelenítése a modellezett időszakban

3 EREDMÉNYEK

3.1 A mérési helyek

A 2006-tól megkezdett hazai földhőszonda hővezetőképesség és fúrólyuk-ellenállás mérések adatainak gyűjtését azzal a céllal végeztem, hogy azok megfelelő száma alapján egy szintetizáló hazai tudományos disszertáció alapanyagául szolgáljanak. Ezt a 27 mérésen alapuló adatállományt tudom összefoglalni és értékelni.



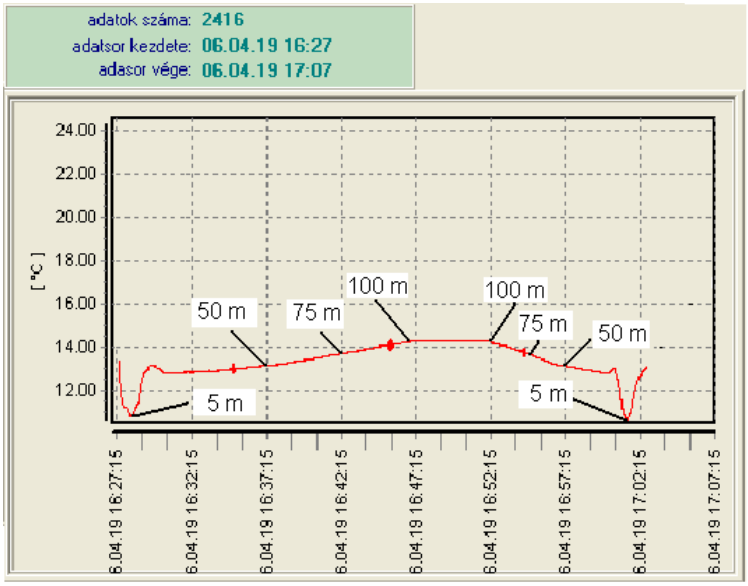
7. ábra: A TRT méréseink elhelyezkedése

3.1.1 Raiffeisen Bank hőszivattyús rendszer – Az első mérés (2006)

Budapest XV. Kerület Késmárk utca 14-13. alatti saroktelken, egy háromszög alakú területen a bank korábban épült központjával szomszédosan történt a beruházás az épület alapterületén kívül minimális szabad telekterülettel.

A próbafúrásban geofizikai szelvényezés történt, a terület földtani felépítésének pontosítására. A területet neogén képződmények alkotják. A vizsgált területen 8,0 m vastag holocén és pleisztocén képződmények alatt felső-pannon korú rétegek következnek. A holocént vékony feltalaj alkotja. A holocént pleisztocén korú agyagos, homokos, kavicsos képződmények váltják fel a rétegsorban. A pleisztocént felső-pannon korú riolittufa, agyag, homok és aleurit kifejlődések követik.

2006. április 18-án vizsgáltuk az ún. in situ állapot helyreállását a fúrás után (8. ábra), hőmérséklet regisztrációval, ami a mélység függvényében 10,7-14,3°C volt, majd elvégeztük a TRT mérést dupla és szimpla hurokra is.



8. ábra: Raiffeisen Bank: alapállapot-felvétel

2006. április 18-23 időszakban az egymástól 5 méterre lévő dupla szondákban felváltva elvégeztük a szondatesztet. A vizsgálatot dupla és szimpla hurokra is megismételtük. A vizsgálati idő 60 óra volt.

1. Táblázat: Az EED méretezés adatai – Raiffeisen Bank, Budapest, Késmárk utca

Földhő teljesítmény fűtési üzemben	450 kW
Földhő teljesítmény hűtési üzemben	818 kW
Földhőszondák száma	81 db
Szondák mélysége	100 m
Össz szondahossz	8100 m
Szondák típusa	32 mm-es dupla szonda
Szondák távolsága	5 m
Hővezetőképesség (szondateszt alapján)	2,61 W/mK

A vízáramlások és a vonalas nyitott elrendezés segített a hűtésben a csúcs 818kW elvezetéséhez. Tekintettel az egy szondára jutó több mint 10kW hűtési hőterhelésre, az adatokat leellenőriztettük a Geowatt AG-val Svájcban és Dr. Rybach László megerősítette a mérés és modellezés eredményét.

3.1.2 Telenor Ház hőszivattyús rendszer

A Telenor Ház a törökbálinti Égett-völgyben található. A földtani felépítés és a vízföldtani viszonyok pontosabb megismerése céljából a területen 100 méteres mélységű próbafúrás létesült 2007-ben. A fúrás után geofizikai szelvényezést végeztünk, a geofizikai szelvényezést követően 100 méteres szimpla földhőszonda került beépítésre, amelyben szondatesztet hajtottunk végre. A próbafúrás során a vékony holocén feltalaj alatt pleisztocén korú agyagos, homokos kifejlődéseket harántoltunk. A pleisztocén korú képződményeket miocén korú

kavicsos, homokos, agyagos rétegek váltották fel a rétegsorban. A próbafúrás 100 m-es mélységben miocén korú képződményekben állt meg.

A mérés során regisztráltuk az előremenő és visszajövő ág hőmérsékletét és a keringtetett folyadék tömegáramát. A szondateszt megkezdése előtt a nyugalmi állapotot rögzítettük (9. ábra). A mért hőmérsékleti értékek a 100 méteres szelvény mentén 11,99 – 13,97 ˚C között változtak.

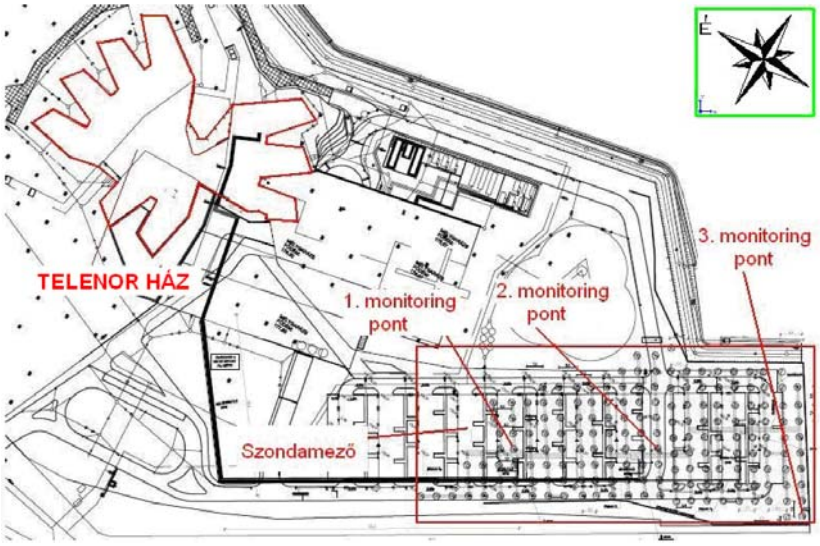
9. ábra: Törökbálint, alapállapot felvétel

Az elnyelethető hőteljesítmény: 100 m-es szimpla szondára 5,91 kW-nak (glikollal) adódott, a hővezetőképesség a kiértékelés alapján 2,80 W/mK-nek adódott. A tényleges szondaszám meghatározását – a szondateszt eredményeit felhasználva - az erre a célra kifejlesztett EED méretező szoftverrel végeztük el, és ehhez az alábbi adatokat vettük figyelembe:

2. Táblázat: Az EED méretezés adatai – Telenor Ház, Törökbálint

Földhő teljesítmény fűtési üzemben	860 kW
Földhő teljesítmény hűtési üzemben	960 kW
Földhőszondák száma	180 db
Szondák mélysége	100 m
Össz szondahossz	18 000 m
Szondák típusa	40 mm-es szimpla szonda
Szondák távolsága	7 m
Hővezetőképesség (szondateszt alapján)	2,80 W/mK

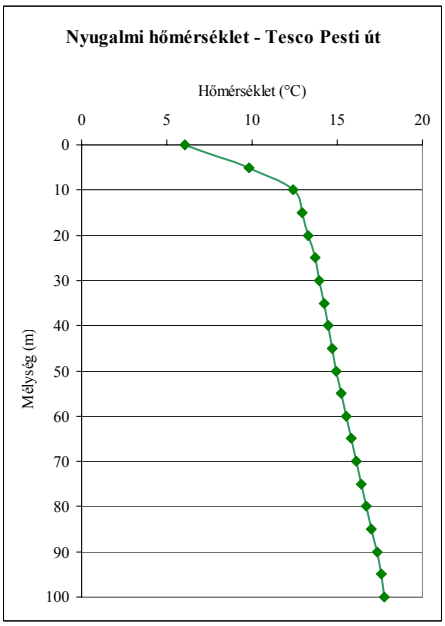
Eredményként a 180 darab 100 m mély szimpla 40 mm-es U-típusú BHE telepítése volt indokolt a csúcs 960 kW teljesítményhez (10. ábra).



10. ábra: A Telenor Ház és a szondamező elhelyezkedése

3.1.3 Tesco – Trigenerációs roof-top hőszivattyús rendszer

2010-ben a Budapest XVII. Pesti út 5-7. sz. alatti terület földtani felépítésére a helyszínen lemélyített 127,0 m talpmélységű kutatófúrás és az elvégzett geofizikai szelvényezés alapján következtethetünk. A felszínen holocén feltalaj található, amelyet pleisztocén homok, agyag összlet követ a rétegsorban. A kvarter (holocén-pleisztocén) kifejlődéseket felső-pannon korú agyagos, aleuritos agyag, homok és meszes homokkő rétegek (Zagyvai Formáció) követik.



11. ábra: A zavartalan hőmérséklet a mélység függvényében

A hőszivattyús rendszerhez kapcsolódik egy 30kW-os gázmotoros egység, mely áramtermelés mellett a „hulladékhőjével” fűtést ad a pékségnek, valamint abszorpciós hűtésre dolgozik igény szerint. Ha felesleges hője van, akkor a BHE mezőre terheli a hőt és fűti a kőzeteket.

A szondateszt megkezdése előtt a nyugalmi állapotot rögzítettük (11. ábra), majd a mérés során regisztráltuk az előremenő és visszajövő ág hőmérsékletét, valamint a külső hőmérsékletet és a keringtetett folyadék tömegáramát. A mért hőmérsékleti értékek 6,03 – 17,78˚C között változtak.

A legvalószínűbb hővezetőképesség a harántolt szakaszon: λ = 2,62 W/mK. A földhőszonda méretezéshez az EED 3.0 szoftvert használtuk fel.

3. Táblázat: Az EED méretezés adatai – Tesco, Budapest Pesti út

Földhő teljesítmény fűtési üzemben	645 kW
Földhő teljesítmény hűtési üzemben	860 kW
Földhőszondák száma	130 db
Szondák mélysége	100 m
Össz szondahossz	13 000 m
Szondák típusa	40 mm-es szimpla szonda
Szondák távolsága	6,0-8,8 m
Hővezetőképesség (szondateszt alapján)	2,62 W/mK

A földtani rétegsor és a szondateszt/hőelnyeletés teszt eredménye is azt mutatja, hogy a területen magas hővezetőképességű (2,62 W/mK) képződmények találhatóak. A földtani kutatás és a helyszíni mérés (szondateszt) eredményeként megállapítható, hogy a 130 db, egyenként 100 m talpmélységű, 6,0-8,8 m bázistávolságú szimpla földhőszonda 402 kW fűtési, 740 kW hűtési igényt tud ellátni. A méretezés eredményei fűtési üzemben 3,93 COP, hűtési üzemben 4,03 COP mellett érvényesek.

A három minta rendszer értékelése a végzett mérések alapján:

4. Táblázat: A három bemutatott projekt jellemző adatainak összehasonlítása

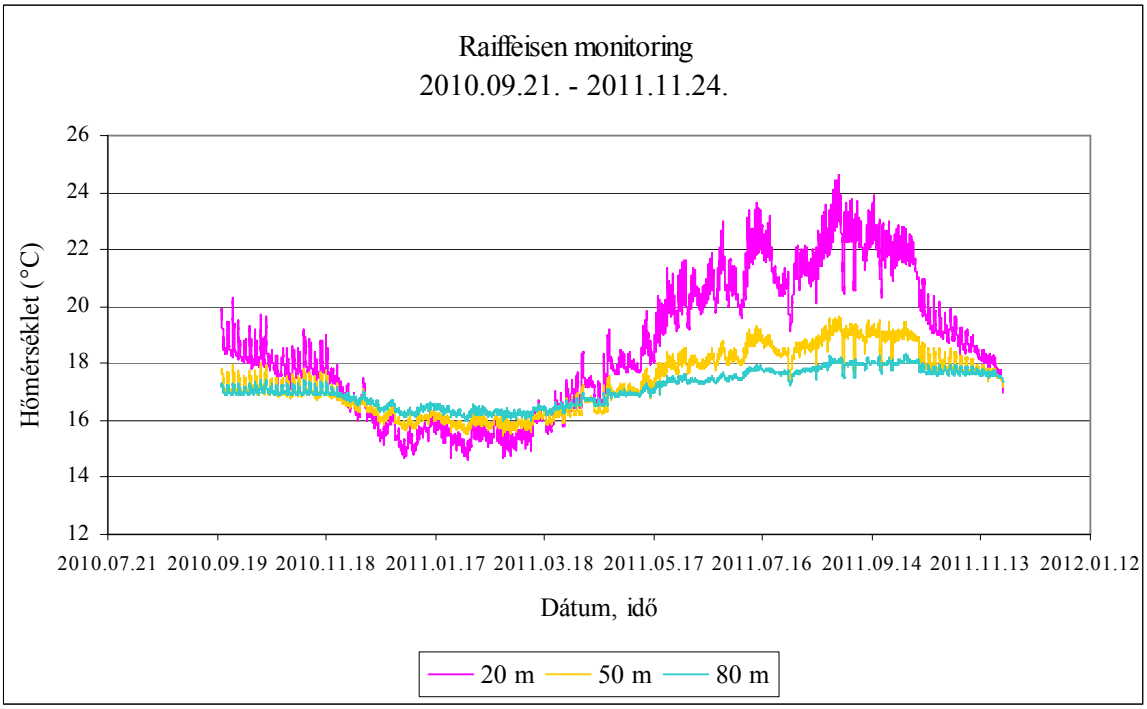
	Földtani jellemzők	Szonda típusa	Hővezető-képesség (W/mK)
Raiffeisen Bank	Holocén – pleisztocén - felső-pannon agyag, homok, kavics, riolittufa	Dupla 32x3 mm	2,61
Telenor Ház	Holocén – pleisztocén - miocén agyag, homok, kavics	Szimpla 40x3,7 mm	2,80
Tesco, Pesti út	Holocén – pleisztocén - felső-pannon agyag, homok, kavics, aleurit, meszes homokkő	Szimpla 40x3,7 mm	2,62

3.2 Monitoring adatok értékelése

3.2.1 A Raiffeisen monitoring

A Raiffeisen Bank szondarendszerének vizsgálatára 2006 októberében elhelyeztünk egy több csatornás hőmérsékletregisztráló fűzért az egyik szondában. Regisztrálás gyakoriságát 30 percre állítottuk be a választott DA-S-TRB 118, 200509022 típusú műszer telepítése előtt. Minden további monitoring rendszerünkhöz ezt a típusú műszert alkalmaztuk.

Télen, amikor hőt termelünk ki a hőszivattyú segítségével az épület hőigényének ellátására, a szondakörnyezet hőmérséklete csökken. Nyáron, a rendszert hűtésre alkalmazzák, ekkor hőt nyeletnek el a földtani közegben, azaz hőmérsékletnövekedés látható a mért adatok alapján.



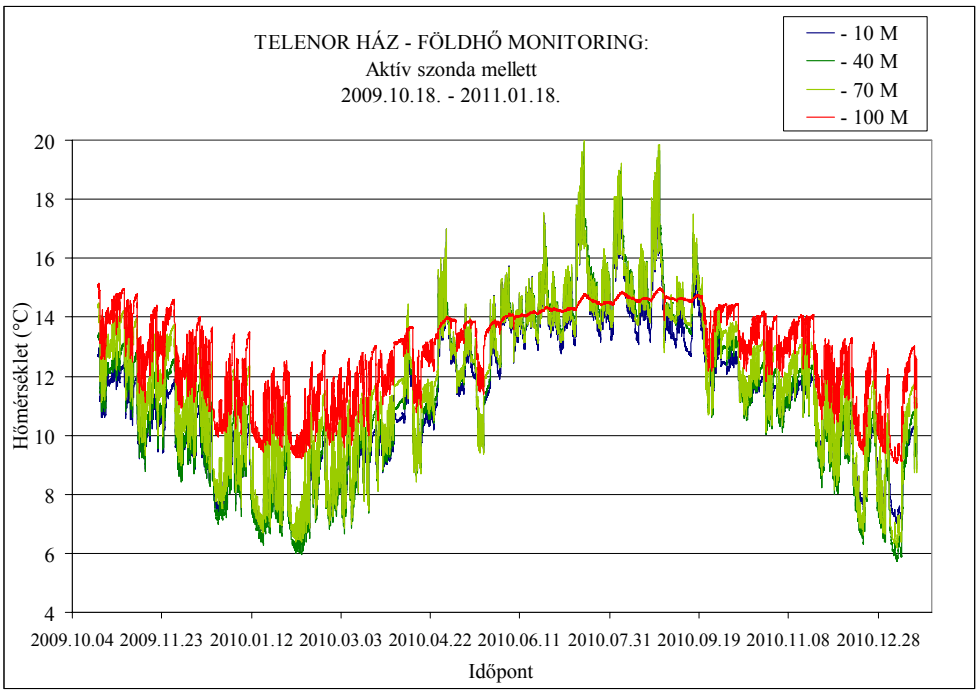
12. ábra: A Raiffeisen monitoring

Megállapítható, hogy a BHE rendszer 14-22°C hőfokszint között dolgozik évek óta fenntarthatóan.

3.2.2 A Telenor monitoring

A fúrások során a 180 db szondán túl további 3 db földszondát építettünk be a földhő monitoring illetve a földhőszonda rendszer működésének vizsgálata érdekében. Így a szondák közötti és a szonda mezőn kívüli kőzetkörnyezetnek a folyamatos hőmérséklet változását tudjuk regisztrálni. Az egyes hőmérséklet-regisztrálók hasonló hőmérsékleti értékeket mutattak az alapállapotot tekintve a 4 különböző regisztrálási mélységben:

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



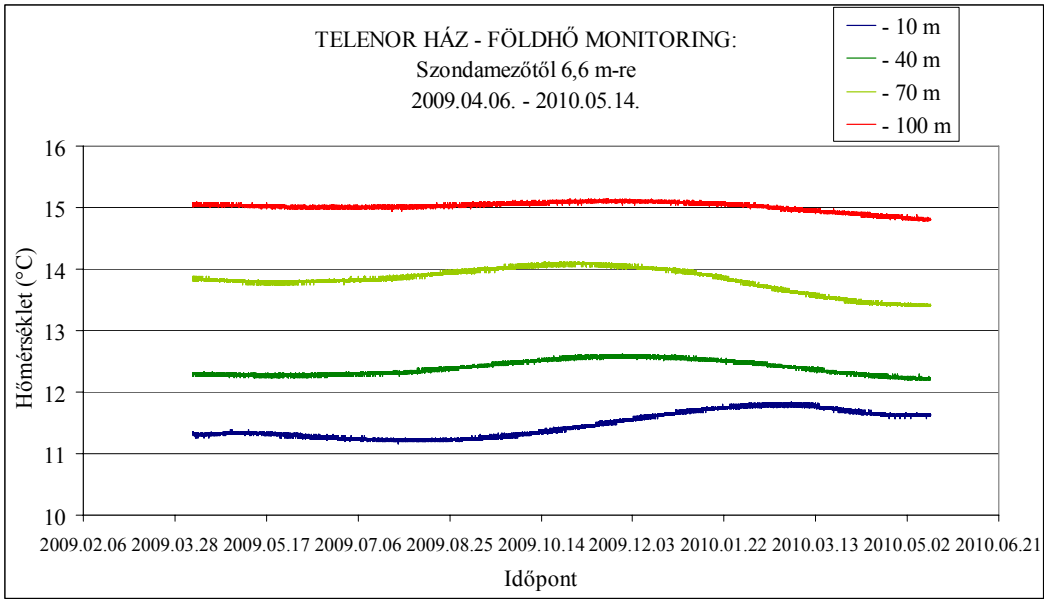
13. ábra: Az 1. monitoring pontban mért hőmérséklet

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 2. és 3. ponton, a két földhőszonda közötti távolság felénél illetve a mezőtől 6,6 m-re a rendszer elindításának időszakában a fűtési és hűtési üzemek nem okoztak jelentős hőmérsékletváltozást.

Az 1. ponton a 10, 40, 70 m-en mért grafikonok lefutása közel szimmetrikus, azaz a nyugalmi hőmérséklet körül ingadozik. 10 m mélyen a maximális ingadozás 12°C, 40 m-en 13°C, 70 m-en szintén 12°C volt. 100 m mélyen csak 6,5°C volt az ingadozás a téli minimumok és a nyári maximumok között. Továbbá a legmélyebb, 100 m mélyen mért hőmérséklet aszimmetrikus képet mutat: nyaranta a rendszer csak minimálisan melegíti fel a kőzeteket, és a téli lehűlés is mérsékelt. Szembetűnő tehát, hogy ebben a mélységben sokkal kevésbé befolyásolta a szondarendszer működése a felszín alatti hőmérséklet változását, mint a sekélyebb régiókban.

A 3. mérési pontot a szondamezőtől 6,6 m távolságra helyeztük el, ezzel kívántuk vizsgálni a rendszer távolhatását, azaz hogy a működés által keltett hőmérsékleti anomália milyen messzire terjed el a földtani környezetben. A szondarendszer működése alig okozott hőmérsékletváltozást. A mérési adatok szerint ez az érték nem haladta meg a 0,41°C-ot.

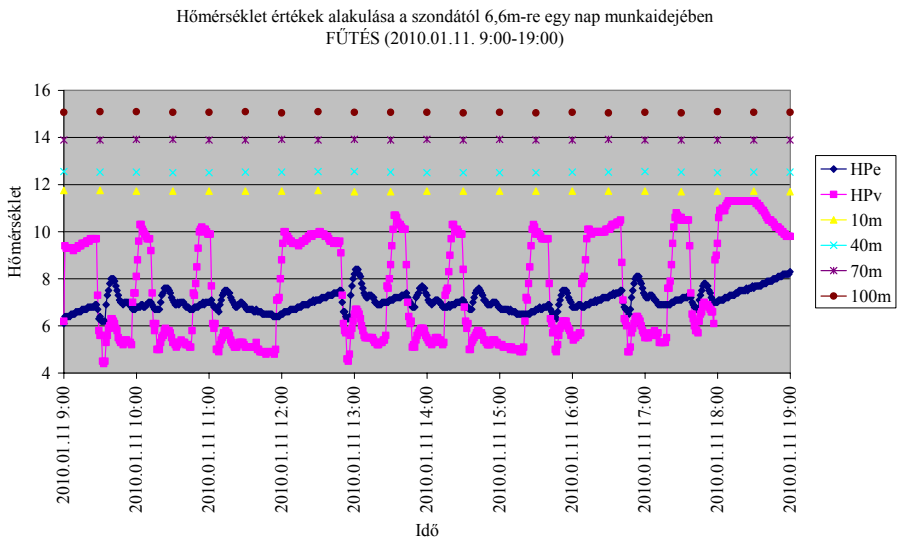


14. ábra: A 3. monitoring pontban mért hőmérséklet

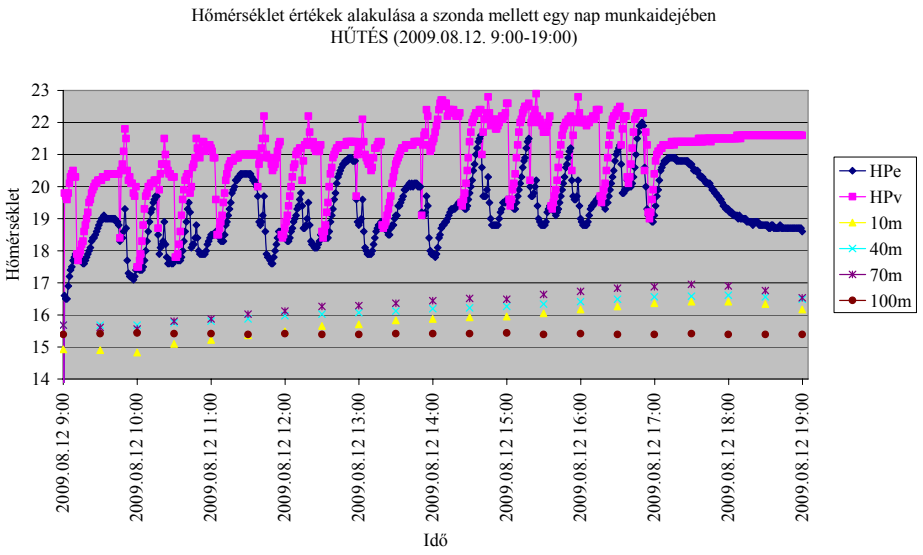
A monitoring eredmények: a működő földhőszonda közvetlen közelében a fűtés 5,74°C hőmérséklet csökkenést, a hűtés 4,30°C hőmérsékletemelkedést eredményezett.

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 földhőszonda mezőtől 6,6m-re elhelyezett mérési ponton alig volt észlelhető hőmérsékletváltozás a nyugalmi állapothoz képest.

A szezonális hőmérséklet hatások mellett megvizsgáltam egy napi fűtési és hűtési üzem hatását a monitoring mérőpontokra és a kőzetkörnyezetre. A kiválasztott napi üzemben vizsgálható a hőszivattyúk indításának, leállításának és a „regenerációs üzemszünetnek” a környezeti hőmérséklet hatása fűtési üzemben és hűtési üzemben.



15. ábra: Monitoring a hőszivattyúk működésének függvényében fűtési időszakban



16. ábra: Monitoring a hőszivattyúk működésének függvényében hűtési időszakban

A hőszivattyúk és a hozzájuk tartozó szondamezők heti szekvenciában dolgoznak, a hőszivattyú futásteljesítmény kiegyenlítése és a szondamezők egyenlő terhelése érdekében.

A hőszivattyú hőcserélőjén a folyadékhőmérsékletet percenkénti leolvasással a vastagabb görbék mutatják, kék a szondából beáramló, rózsaszín a hőszivattyúból kiáramló folyadék hőmérséklet. A kőzethőmérséklet 30 percenként van mérve.

Megállapítások:

A kőzethőmérsékletek alakulása I. mezőnél közvetlen a szonda mellett csak 70 és 100 méterben van 1,5°C változás, és látszik a hőszivattyú leállások utáni 1,5-2,0 órás késleltetett regeneráció. A átlagos kőzethőmérséklet az I. szondamezőnél 9°C, a II.-nél 13°C és III.-nál 14°C.

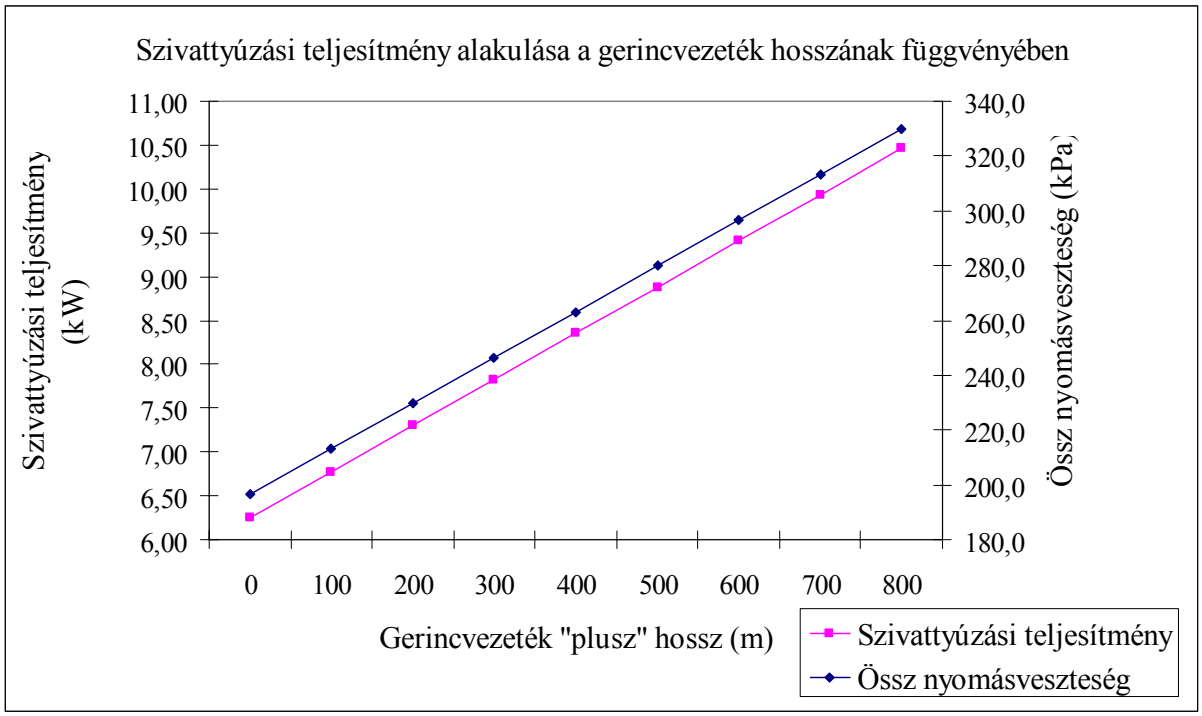
Hűtésben a vastagabb görbék színei fordítottak, a rózsaszín a szondából beáramló és a kék a hőszivattyúból kiáramló folyadék hőmérséklet. A hőlépcső 2°C. A kőzethőmérsékletre a hatás jóval kisebb, a 4 görbe együtt fut, mivel a hőszivattyú folyadék hőmérséklet és a kőzethőmérséklet (13-14°C) között minimális a differencia.

Következtetés: napi fűtő és hűtő üzemeltetés esetén is a hőszivattyú be és kikapcsolások, futásidők, csak 1-2°C kőzethőmérséklet változást okoznak, de csak rövid időre és a következő napi munkakezdésre kiegyenlítődnek.

SPF monitoring:

A BHE hőszivattyús rendszerek működésének ellenőrzése monitoring eszközök telepítésével történik. Láthatók a szivattyúzási teljesítmény differenciák hatásai. A BHE

szondamező eredeti helyről áttelepített elhelyezése 200 méteres többlet gerincvezetéki szivattyúzási teljesítményt jelent a hőközpontig, ennek megnövekedett villamos energia igényével. Ennek számítását elvégeztem, és az 17. ábra mutatja a szükséges többlet szivattyúzási teljesítményt leíró függvényt.

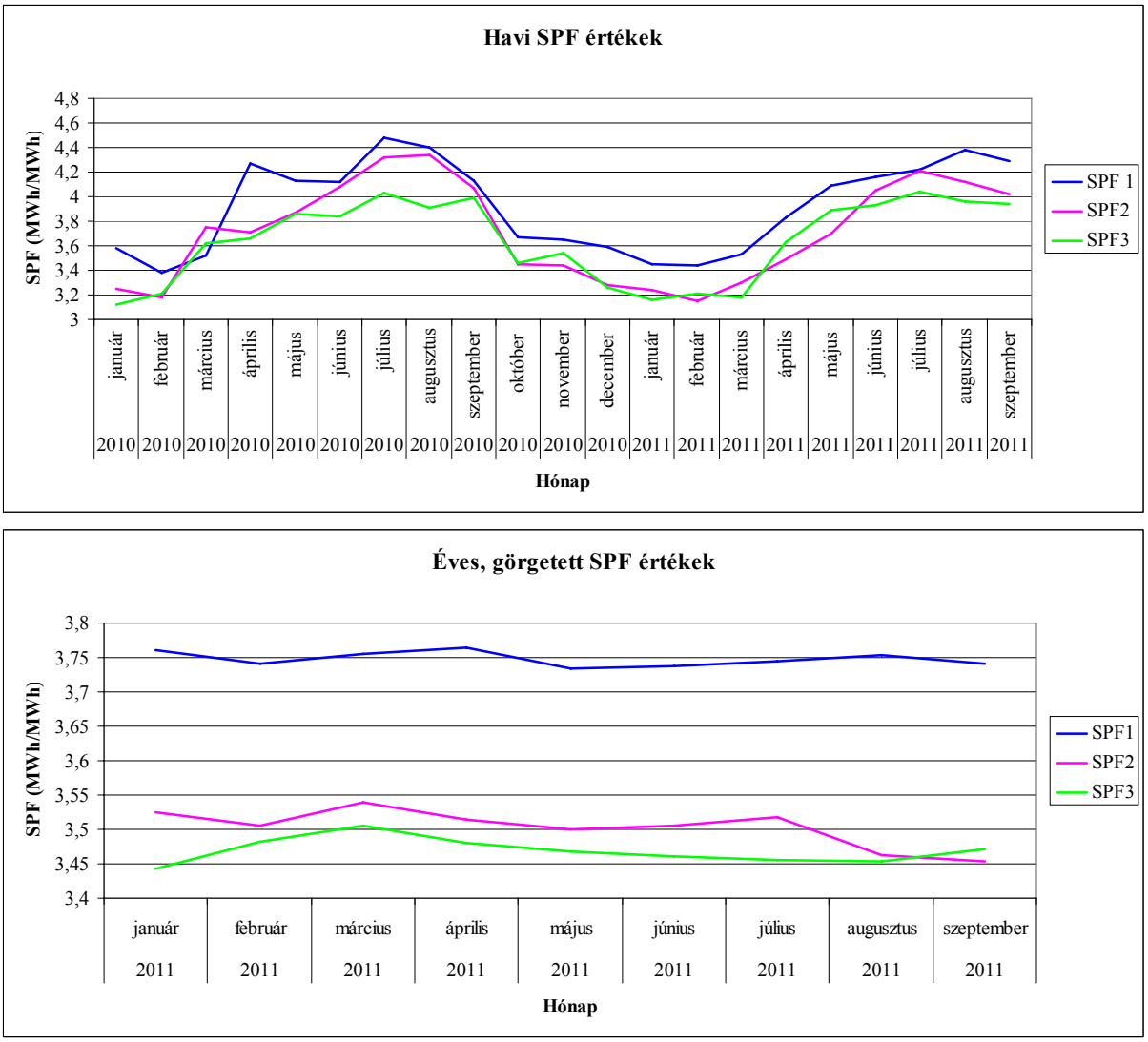


17. ábra: Szivattyúzási teljesítmény alakulása a gerincvezeték hosszának függvényében

Általánosságban elmondható, hogy rosszul tervezett primer rendszerrel akár drasztikus mértékben is lerontható egy hőszivattyús rendszer átlagos szezonális teljesítmény tényezője.

A Telenor három önálló rendszerének SPF görbéi vannak a 18. ábrán. Jól látható, hogy a legközelebbi szondamezővel üzemelő 1-es hőszivattyú SPF értékei a legmagasabbak. Érthető, mert ennek a szondamezőnek a gerincvezetéke a legrövidebb, és a három rendszert összehasonlítva, a kisebb teljesítményű szivattyú (nevezzük 1-esnek) is el tudja látni a rendszert. A középső szondamezőnek hosszabb a gerincvezetéki szakasza, nagyobb lett a körellenállása, és egy mérettel nagyobb szivattyút (nevezzük 2-esnek, ami nagyobb elektromos teljesítményű is, mint az 1-es) kellett hozzá választani. A harmadik, legtávolabbi mező rendelkezik a leghosszabb gerincvezetéki szakasszal, párosítva a nagyobb teljesítményű, 2-es szivattyúval.

A három rendszer átlag SPF értékeit összehasonlítva az tapasztalható, hogy a legjobb értékekkel bíró 1-es rendszerhez képest a 2-es és a 3-as rendszerek SPF értékei 5-8%-kal kisebbek.



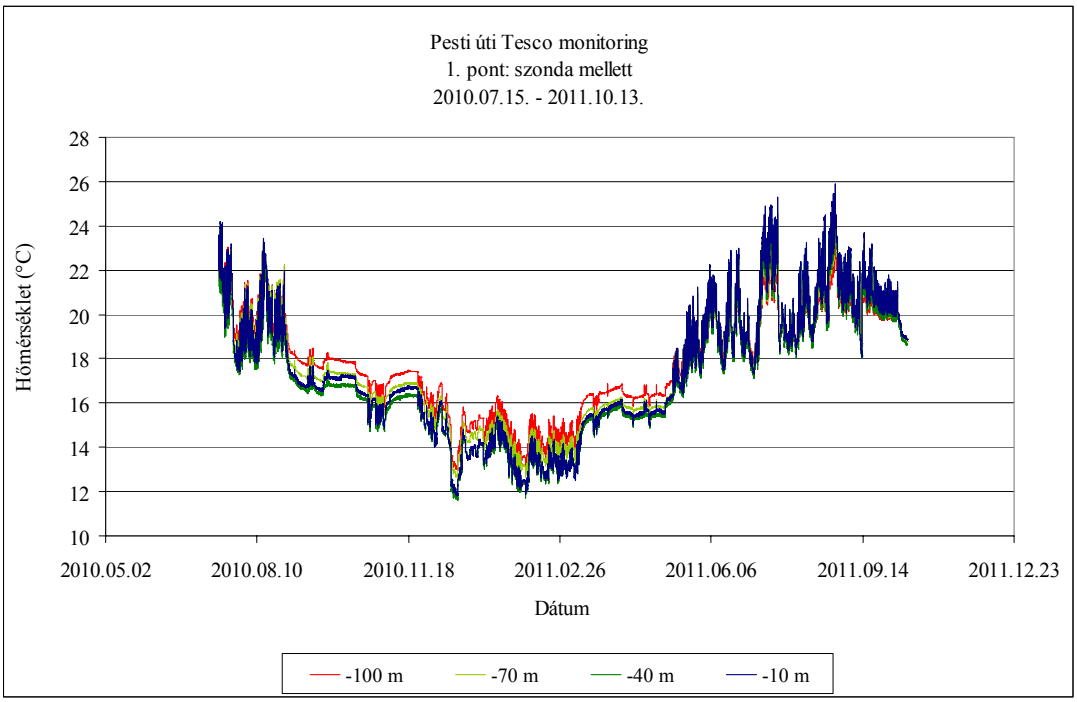
18. ábra: A Telenor Ház SPF görbéi

Ennek SPF értékre vonatkozó hatását jól mutatja a I. hőszivattyú és az épülethez legközelebb lévő I. szondamezőhöz tartozó kék SPF1 görbe 0,25-0,3 nagyságrendű többlete éves szinten.

3.2.3 A Tesco monitoring

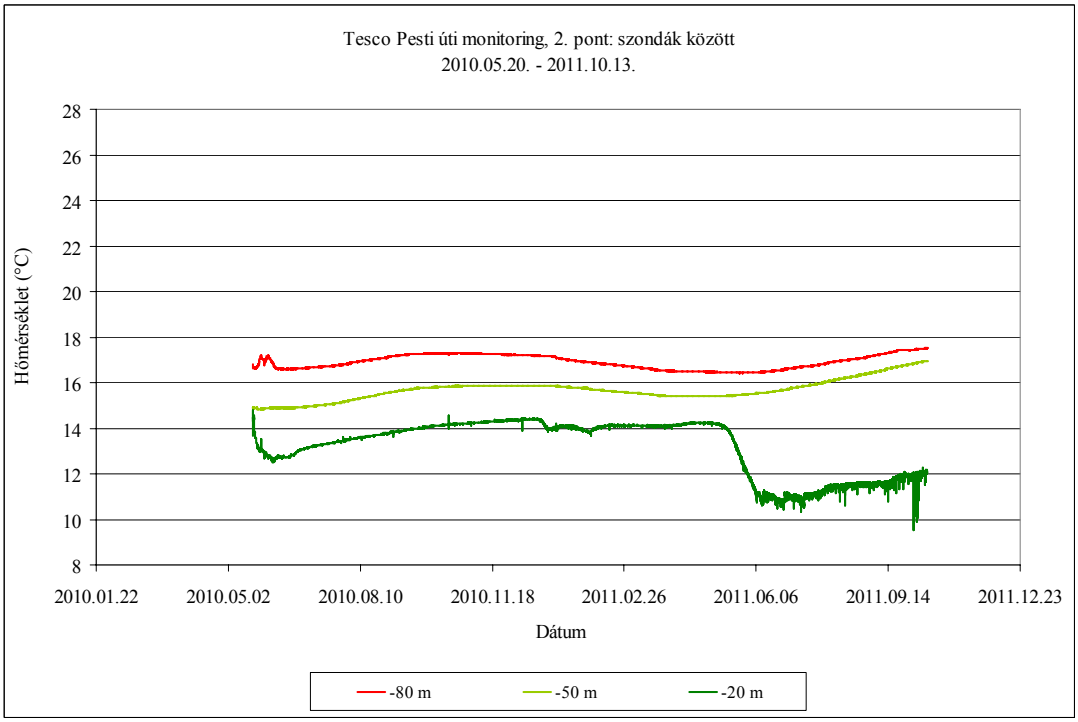
A mérési adatok alapján, a területen a felső 100 m-re jellemző geotermikus gradiens 59,44°C/km, ami magasabb a 30°C/km-es világátlagnál, és magasabb a 40-50°C/km-es magyar átlagnál is.

Egy földhőszonda mellett 100 m-es hőmérsékletfüzér került telepítésre, ami 10 m, 40 m, 70 m, 100 m-ben van ellátva érzékelővel.



19. ábra: Az 1. mérési pontban regisztrált értékek

A 19. ábrán látható az aktív szonda mellett mért hőmérséklet négy mélységben. A rendszer beüzemelése nyári hűtési időszakkal kezdődött, a földtani közeggel hőt nyelettünk el, ezért melegedés volt tapasztalható. A fűtés kezdetével hőt vettünk ki a talajból. Ennek következményeként lehűlést regisztráltak a műszerek. Következtetés: fűtési üzemnél minimális kőzethőmérséklet-csökkenés van.



20. ábra: A Tesco 2. monitoring pontjában rögzített adatok

5 méterre az aktív szondáktól egy monitoring szondában van elhelyezve a hőmérsékletfüzér és 3 mélységben van hőmérsékletmérés: 20m, 50m és 80m-ben. A grafikonon egymás alatt látható a három mélységben mért hőmérséklet az idő függvényében (20. ábra).

Az adatok alapján a felső 80 m-re jellemző geotermikus gradiens 64,66°C/km. Ez az érték jóval magasabb a 30°C/km-es világátlagnál, és magasabb a 40-50°C/km-es magyar átlagnál is.

5 méterre az aktív szondáktól egy hónap működés mellett a meleg nyári időjárás sem okozott jelentős változást a felszín alatti hőmérsékletekben.

Az önálló hőszivattyús rendszereknél többéves tapasztalat alapján a téli fűtési időszakban jól tervezett rendszereknél a kiinduló kb. 15°C hőmérséklethez képest 10°C-os kőzethőmérséklet-csökkenés tapasztalható közvetlenül a szondák mellett. Jelen esetben, a gázmotor-hulladékhő elvezetésének hatására a fűtési üzem ellenére a működő szondáktól 5 méter távolságra már hőmérsékletnövekedés van. Ezzel a földtani közeg hőmérsékletváltozása kisebb mértékű, mint a trigenerációs rendszer nélküli hőszivattyús rendszereknél tapasztalható. Ennek pozitív hatása a fűtési SPF faktor növekedésében mutatkozik meg.

3.3 Általános megállapítások

Korábban, a mérések előtt, a tudományos élet számos szereplője kétségét fejezte ki a BHE rendszerek fenntarthatóságával kapcsolatban. Ez alatt azt értették, hogy a BHE hőszivattyús rendszer néhány évvel a beüzemelés után a mező kőzetkörnyezetét lehűti, és így nem tud hatékonyan üzemelni.

Az általam vezetett tudatos mérési és monitoring programunk alapján ezt a véleményt sikerült megcáfolni. Különösen a kiegyenlített fűtési-hűtési igényű projekteknél igazolódott, hogy megalapozott méretezéssel a BHE mező kőzetkörnyezete az in situ hőmérséklethez képest limitált korlátok között hűl, illetve melegszik szezonális váltáshoz igazodva.

A gazdaságosan, hatékonyan üzemelő rendszerek alapja a mérés és a modellezés. Mindegyik BHE rendszer hozza az elvárt SPF szintet, figyelembe véve a különböző telepítési és egyéb gépészeti tervezési szempontokat.

Mára a beépített hőszivattyús kapacitás eléri a 40MW-ot. A kalkulált, vertikális szondával kinyert földhő ennek 50%-a, tehát 20MW. Ez átlagos 5kW földhő-kihozatal/100 méteres vertikális szonda esetén 400 000 méter földhőszonda működését jelenti országos szinten.

Ennél a nagyságrendnél, jelentős teljesítmény differenciát okoznak a szakszerű fúrástechnológiával és tömedékeléssel installált vertikális földhőszondákhoz képest, a kivitelezési hiányosságok, nem megfelelő mérések, alulméretezések problémái. Ha csak becsüljük ennek az eltérésnek a nagyságrendjét átlag 20%-ra, akkor 4MW nagyságú értéket kapunk, mely országosan az éves átlagos üzemóra teljesítménnyel számolva (2000 óra) már 8 000 MWh többlet villamos energiafogyasztást jelent. „A-1”-tarifával számolva (48,5Ft/kWh) ez 388 millió Ft üzemeltetési többletköltséget, a geotarifával számolva (31Ft/kWh) ez 248 millió Ft üzemeltetési többletköltséget okoz a hőszivattyús rendszereknél. Gondoljuk el, hogy a 25 éves élettartam során mekkora a többletköltség. **Mintegy 7 milliárd forint!**

Másik irányú, túlméretezési hatás a földhőszonda fúrás felesleges költsége, melynek mértéke 20% differencia esetén **320 millió Ft**, ha 4.000 Ft/méter átlagárral számolunk.

Ezért megállapítható, hogy a földhőszondás hőszivattyús rendszerek üzemeltetési költségeire sokkal nagyobb hatása van az alméretezésnek, mint a túlméretezésnél a feleslegesen fúrt szondáknak a beruházási költségre.

Csak a pontosan mért és méretezett BHE rendszer teljesíti az elvárt környezetvédelmi- és CO_2-megtakarítási mutatókat.

Jelentős eredmény, hogy személyes közreműködésemmel az egyetemi és szakképzési rendszerbe beépült a geotermikus energia oktatás részeként a BHE hőszivattyús rendszerek elveinek ismertetése, köztük a mérési és modellezési módszerek. Ez megteremti a lehetőségét országosan, hogy az épületgépész tervezők és építészek már a projekt koncepciók felállításakor gondoljanak a BHE hőszivattyús rendszerek megalapozásához az ismertetett mérésekre és modellezésekre.

3.4 Földtudományi és műszaki megállapítások a TRT test végzéséhez

- A TRT mérések pontosságát befolyásoló tényezők, melyekre a mérés során figyelni kell:
  - A mérés alatt a villamos energia ellátás feszültségingadozásának 5% alatt kell lennie. Éppen ezért a saját fejlesztésű TRT berendezésünknek a beépített 3kW teljesítményű feszültség-stabilizátor nyújtja a tápfeszültséget, a stabilizált 230V-ot. A hálózati feszültség ingadozása miatt a mért előremenő és visszatérő folyadékhőmérsékletekben is jelentősebb ingadozás jelentkezett, míg az aggregát által szolgáltatott kiegyensúlyozott áramellátás egyenletesebb mérést eredményezett.

- A mérőberendezést minél közelebb kell elhelyezni a mért szondához. A BHE bekötés szigetelését gondosan kell elvégezni.
- A mérést csak a fúrás után 5 nap várakozási idő eltelte után lehet megkezdeni, az in situ hőmérséklet-visszaállás érdekében.
- A mérési adatok gyűjtése az adattároló kapacitástól is függ. Általában a 2, 5, 10 percenkénti adatgyűjtés terjedt el. A sűrűbb adatgyűjtés az áramellátási és szigetelési hibákat jobban kimutatja.
- Mérés előtt 30 perces előzetes keringtetést kell végezni a keringtető-szivattyú fűtési hatásának néhány tizedes mérési hibát okozó elkerülésére.
- A mérőműszerek pontossági követelménye tizedes nagyságrendű.
- A maximum 72 órás mérés végén, a keringtetés leállítása után hővisszaállás-mérést kell végezni. A hőmérsékletgörbét 1, 2, 3 órás várakozások után kell felvenni. Ennek a mérésnek az elvégzésére a vízadó rétegek hatásvizsgálata miatt van szükség.
- Az egyéb hővezetési teszt eljárásokról összefoglalóan azt lehet megállapítani, hogy pontosabb értéket adnak rétegenként. Ezeket nyerhetik a fúróiszapból a fúrás során, illetve a szondába vagy a cső mellé a furatba helyezett optikai kábelek segítségével, de e módszerek versenyképességét mindenkor az ár/érték arány dönti el a hőszivattyús piacon. A hazai gyakorlatban a hagyományos TRT mérések vannak alkalmazva. A hazai piac még ezeket a méréseket sem tudja sok esetben gazdaságilag finanszírozni. Ennek a disszertációnak egyik célja annak bemutatása volt, hogy mennyire fontos a BHE rendszerek primer oldali megalapozott mérése, modellezése, és ez milyen gazdasági, fenntarthatósági előnyöket jelent.
- A TRT mérések várható fejlődését a numerikus modellezések egyszerűsítése, a pontosság további javulása jelentheti, a mindenkori praktikusság és megfizethetőség mellett.

- A BHE rendszerek hatékony működéséhez fontos a földtani rétegsor pontos ismerete.
- A hazai, döntően üledékes kőzetek fúrhatóak ún. vízöblítéses technológiával. Törekedni kell a BHE méretéhez képest a legkisebb fúrási átmérőre, ezzel a hővezetés javítható.
- Az üledékes, sokszor omlékony fúrólyukfal miatt a BHE beépítését nem lehet a nyugaton elterjedt vezetősúllyal megoldani, hanem a BHE lekísérése szükséges rudazattal. Ez megnöveli a fúrási átmérőt. Meg kell találni az optimális fúrólyukátmérőt, hogy az említett szempontok érvényesüljenek. Ennek egyik módja az ún. töltőpálca alkalmazása a

szonda lekíséréséhez, mely kisebb átmérőjű, mint a fúrócső, de biztosítja a tömedékanyag letöltését.

- A hővezetés alapvetően függ a fúrólyuk tömedékelésétől. El kell kerülni a különböző vízadó rétegek BHE menti összenyitását.
- A hazai BHE tömedékelési gyakorlatban a bentonit-cement-víz szuszpenzió terjedt el. Fontos szempont, hogy a mindenkori rétegsortól függően válasszuk meg a komponensek százalékos arányát. Erre néhány példa 1 m^3 tömedékanyag előállításához:

5. Táblázat: Példák tömedék-komponensek arányának megválasztására

	I.	II.	III.
Bentonit:	50 kg	100 kg	50 kg
Cement:	50 kg	25 kg	150 kg
Víz:	880 liter	880 liter	880 liter

- A termikusan javított anyaggal való tömedékelés 10%-os javulást eredményez. Kemény kőzetekben, ahol a fúrási költség duplája a normál árnak, ott egyértelműen megéri az alkalmazása, de csak olyan helyen, ahol repedezett rétegek, törések nem vezetik el a tömedékanyagot.
- Kis teljesítményű hőszivattyús rendszereknél, ahol 1-2-5 darab BHE fúrására például kevés a telepítési hely a családi ház kis telekterületén, ott fontos szempont, hogy a tervezett szondahossznak igazodni kell a hőszivattyúba beépített primer keringtető-szivattyú teljesítményéhez. Ennek hidraulikai adataihoz kell igazítani a földhőszonda összes hosszát.
- Kemény kőzeteknél előfordul, hogy nagy vetők, esetleg üregek a légöblítéses fúrás folytatását megakadályozzák még a tervezett talpmélység elérése előtt. Ezekben az esetekben az üregeknél meg kell állni. A BHE beépítése az elért mélységig megtörténik és ez után speciális tömedékelés célszerű.
- A fent említett esetben előfordul, hogy a BHE tervezett hosszak nem lesznek egyformák. Ebben az esetben a tesztek és mérések adatait a megvalósult BHE hosszra korrigálni kell és az osztó-gyűjtőre kötésnél hidraulikus beszabályzó szelepet feltétlen alkalmazni kell.
- Fontos a felszín alatti vízáramlás irányának és sebességének figyelembe vétele.
- A szondacső anyaga és mérete, elrendezése befolyásolhatja a BHE teljesítményét.A szimpla 40 mm-es U szondák kiváltották a dupla 32 mm-est, mivel teljesítményük csak 8-10%-kal tér el. Ugyanakkor a telepítési technológia a szimpla 40 mm-es U szondának egyszerűbb.

- A BHE-ben hőközvetítő folyadékként általában etilén- vagy propilén-glikol maximum 20%-os arányban van keverve vízzel. A TRT mérések kimutatták, hogy ezek alkalmazása növeli a szivattyúzási teljesítményt és közben a hővezetésük gyengébb a vízénél. Biztonsági szempontból, a hőcserélőjének védelme érdekében, mégis szükséges.

3.5 A BHE hőszivattyús rendszerek gazdaságossági értékelése

A BHE hőszivattyús rendszerek elterjedésének kulcsa valóban a gazdaságos működésben és a fajlagos beruházási költségek csökkentésében van.

A disszertációban csak a BHE hőszivattyús rendszerek primer oldali olyan összefüggéseivel foglalkozom, melyeknek a gazdaságos működésre hatásuk van.

A vizsgálatot itt is érdemes kis és nagy rendszerekre szétválasztani.

3.5.1 Kis teljesítményű (30kW alatti) BHE rendszerek gazdaságossági elemzése

Az általam irányított társaság 150 db. kisteljesítményű BHE hőszivattyús rendszert tervezett és kivitelezett. Ezek adataiból egy reprezentatív 15-ös mintát alakítottam ki a gazdasági vizsgálathoz.

Ez alapján a 15 db-os mintából: 331.111 Ft/kW nettó +Áfa beruházási költség adódik.

A gazdaságosság másik komoly befolyásoló tényezője a mindenkori gázár mellett az igényelt „H” vagy a „GEO” tarifa a hőszivattyúhoz. A mai A1 tarifa: 48.50Ft/kWh árhoz képest a két kedvezményes tarifa 32 Ft/kWh árral lehet számolni.

A beruházási fajlagos költség bruttó: **413.862. Ft/kW** és a megtérülési idő: **8,96 év**, ha nincs támogatás és 30% támogatással a megtérülési idő: **4,23 év**.

Ebből látható, hogy hasonlóan a Nyugat-Európai hőszivattyús piac fejlesztéséhez a beruházási támogatási rendszert működtetni kell és ennek minimális intenzitása 30% kell, hogy legyen.

3.5.2 Nagy teljesítményű BHE rendszerek gazdaságossági elemzése

Megállapítható, hogy a fajlagos beruházási költségek kisebbek a nagyteljesítményű BHE rendszereknél.

Ehhez a vizsgálathoz is az általam irányított társaság által tervezett és kivitelezett 10 db legnagyobb teljesítményű BHE hőszivattyús beruházás adatait vettem figyelembe.

A 10 mintából **168.012 Ft/kW** nettó + Áfa = **210.015 Ft/kW** fajlagos beruházási költség adódik.

A következőkben a kapott beruházási költséghez megvizsgáltam a megtérülési időt.

Lényeges szempont, hogy a beruházó a villamos energiát mennyiért kapja a szolgáltatótól.

Mintaszámításokban (valószínűsített) 20 Ft/kWh árral számolok. A számításokat itt is elvégeztem pályázati támogatás nélküli és támogatásos esetre, de itt a támogatási intenzitástól függően több lehetőséget vizsgáltam, mivel a pályázatoknál van vállalkozói kör általában régiótól függően 25%-50°-60%-os támogatással. Ezen kívül élhetnek az önkormányzatok 85% támogatással.

6. Táblázat: A 10 mintaprojekt megtérülési idejének átlaga

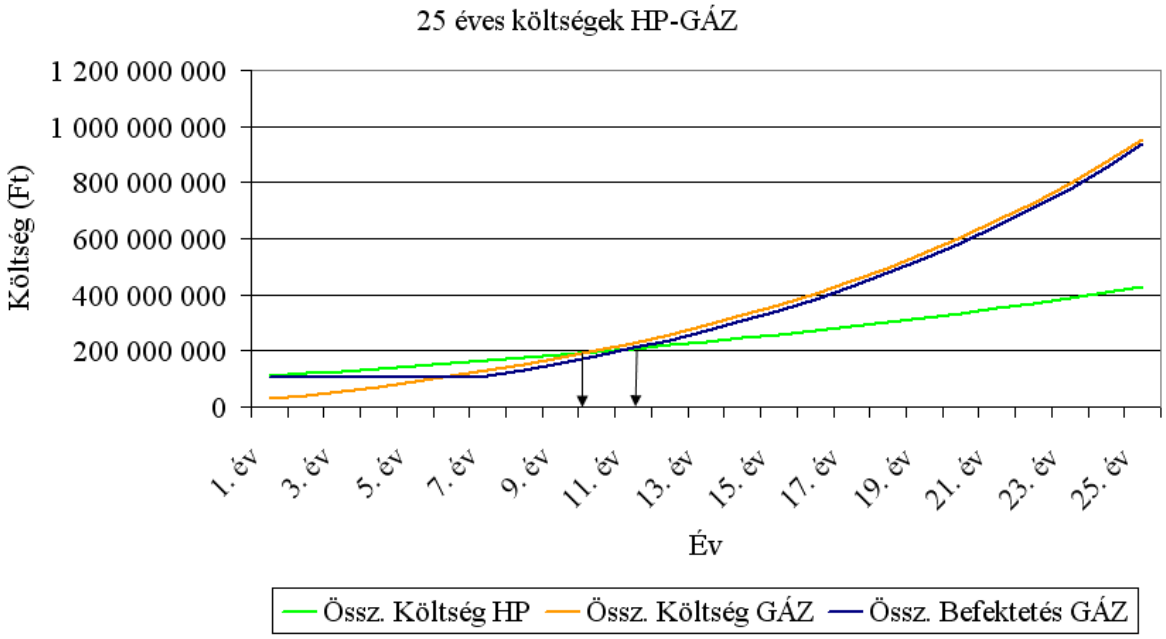
10 db	Teljesítmény (kW)	Költség különbözet [nettó mFt]	Üzemeltetési költs. [Ft/év]	Megtérülési idő (év)
Átlag:	**619**	**79,277**	**15,614**	**4,95**

A gazdasági és megtérülési számítást elvégeztem a 6. táblázat átlagos teljesítményére is, a pénzügyi többlet hőszivattyús befektetés jelen érték számításával és a banki hozamelvárás 25 éves figyelembevételével. A számításhoz alkalmazott alapadatokat (beruházási költség, energiaárak, banki kamatok, stb.) a 7. táblázat tartalmazza.

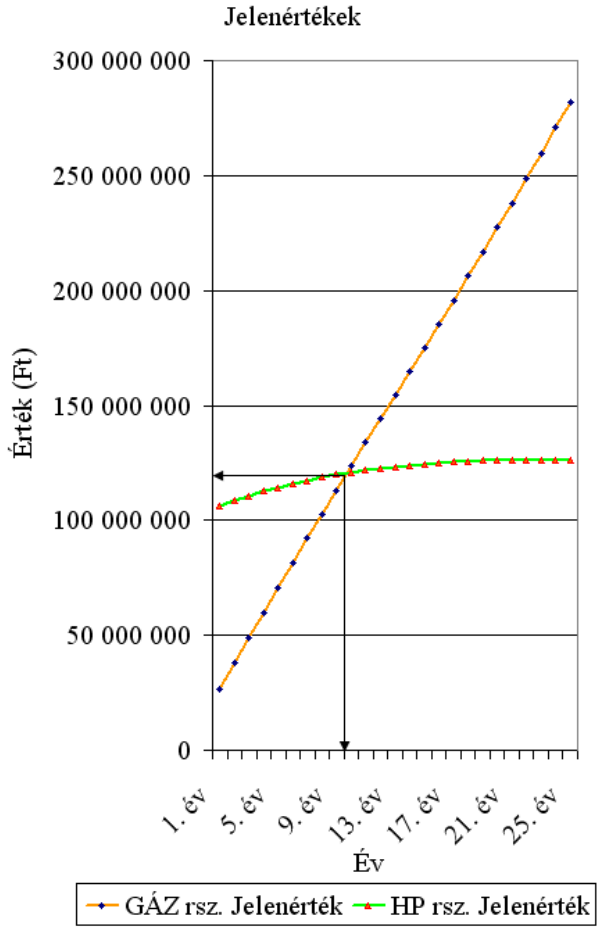
7. Táblázat: Alapadatok a háttérszámításhoz

Alapadatok a háttérszámításhoz	**Nagy rendszer**
Fajlagos bekerülés Ft/kW	168 012
Teljesítmény (kW)	619
Beruházási költség (Ft)	103 999 428
Villamos energia ár (Ft/kW)	25
Villamos energia árnövekedés	4,00%
Gáz ára (Ft/m3)	100
Gáz árnövekedés	8,00%
Banki kamat	5,00%
Hőszivattyú COP	4,00
Kazánhatásfok	102,00%
Kazán beruházási költség (Ft)	15 000 000

A 21. ábrán látható, hogy amennyiben a pénzügyi befektetés hozamát nem vesszük figyelembe, akkor 10 év megtérülési időt kapunk, ha a befektetés elvárt hozamát is figyelembe vesszük, akkor a hőszivattyús beruházás megtérülési ideje 11,5 évre növekszik.



21. ábra: 25 éves költségek: hőszivattyú-gáz



22. ábra: Jelenértékek

A 22. ábra mutatja az összefüggést a hőszivattyús és a gázkazános rendszer jelenérték számítása között. Jelenérték alatt értjük mindkét rendszer esetében azt a befektetési

pénzösszeget, amellyel rendelkeznem kell ahhoz, hogy fedezze a beruházás és az üzemeltetés költségét az időskálán megjelölt évig.

Ez alapján a hőszivattyús esetben kb. 120 millió Ft-ra adódik a 11 évre vetített jelenérték, amely jelentősen nem változik 25 évre vetítve sem, míg a gázkazános esetben a 11. évtől is az addigi mértékben folyamatosan növekszik a rendszer jelenértéke. A 25. év végére a gázkazános rendszer jelenértéke 280 millió Ft-ra növekszik.

Megállapítható, hogy a nagyteljesítményű BHE hőszivattyús rendszerek, különösen, ha kiegyenlített teljesítményű fűtési-hűtési igényre dolgoznak, akkor gazdaságosak és fenntarthatók.

A disszertációban már bemutattam a BHE hőszivattyús rendszerek primer oldali mérési, 20% túlméretezési, modellezési hibáinak esetleges egyszeri beruházási költségre vetített hatását, a jelenleg működő hőszivattyús kapacitásra. Ennek nagyságrendje 320 millió forint.

Ehhez a többlet szondák többlet üzemeltetési költsége az alábbiak szerint alakul:

80.000 m többletfúrás számításakor, a 100m-es furathosszúságú, Ø40-es szimpla szondát veszem alapul, melyben 25 tf%-os glikolos oldat kering. A rendszerek átlagos nyomáskülönbsége az osztónál 30-35 kPa. Az egy szondában keringő fagyálló oldat térfogatárama: 1200 l/h.

A többletfúrást a számításban 800 db szimpla szondának tekintem. A 800 db szimpla szondában keringő fagyálló térfogatárama:

$$\dot{V} = 800 \times 1200 \, {}^{l}\!/_{h} = 960 \, {}^{m^3}\!/_{h} = 0{,}266 \, {}^{m^3}\!/_{s} \qquad (4)$$

A keringető szivattyúk átlagos hatásfokát $\eta = 0{,}6$-nak vettem. Ezekkel az értékekkel a „fölös” szivattyúzási teljesítmény:

$$P = \frac{\dot{V} \times \Delta p}{\eta} = \frac{0{,}266 \times 35000}{0{,}6} = 15.554W = 15{,}554kW \qquad (5)$$

Ezt a szivattyúzási teljesítményt kell 2000 órán keresztül biztosítani, ami $2000h \times 15{,}554kW = 31.108kWh$ villamos energiát jelent. Ez az energiamennyiség 48 Ft/kWh lakossági villamos áramdíjjal számolva kb. 1,5 millió Ft-ot, GEO tarifával számolva kb. 1 millió Ft-ot jelent évente.

25 évre vetítve ez a költség 25 millió Ft GEO tarifával és 37,5 millió Ft lakossági tarifával. **Tehát összességében mintegy 357,5 millió Ft felesleges beruházási és üzemeltetési költség adódik a túlméretezésből.**

Ezzel szemben az alulméretezések és egyéb gépészeti tervezési modellezési hibák, hiányosságok hatása a BHE rendszer éves üzemeltetési költségére a jelenleg beépített

kapacitásnál 7 milliárd forint nagyságrendű, mintegy 20-szorosa a túlméretezés hatásának.

Figyelembe véve a 2020-ig tervezett hőszivattyús piaci fejlődést és a beépített kapacitás 24-szeres növekedését, 168 milliárd forintos többlet villamos energia költséget kapunk 2020-ra! Ezért óriási jelentősége van akár állami pályázati támogatással is a javasolt országos hővezetőképesség mérési programnak, adatbanknak és az erre szerkeszthető térképezésnek.

3.6 A BHE hőszivattyús rendszerek környezetvédelmi előnyei

A disszertációm kizárólag a villamos hajtású BHE hőszivattyús rendszerek környezetvédelmi előnyeit vizsgálja.

Kiindulásnak néhány feltétel a számításokhoz:

- Csak új beruházásokra vonatkozik a vizsgálatom
- Csak gáz kondenzációs kazán alternatívával történik összehasonlítás
- A hazai átlagos erőművi hatásfokkal és szállítási veszteséggel számolok
- Alacsony szekunder fűtési hőlépcső van figyelembe véve (35/30)
- A hazai elvárható BHE rendszer SPF 4,0 értékkel számolok

Hőszivattyúk és gázkazánok gazdasági számítása:

Új építésű ingatlanok hőközpontjainak kiválasztásakor, illetve meglévő épületek hőközpontjainak korszerűsítésekor mindig felmerülő kérdés, hogy „megéri-e” hőszivattyút telepíteni?

A kérdés több szempontból megvizsgálható. Az alábbiakban három szempontból fogok vizsgálódni:

- Milyen esetben energia-hatékony a hőszivattyú?
- Milyen esetben környezetkímélő a hőszivattyú?
- Milyen esetben gazdaságos a hőszivattyú?

A vizsgálat során alap adatként vettem, hogy az egységnyi felhasznált energia előállítása- és a fogyasztási helyre juttatása során felszabaduló CO_2-mennyiség értéke, figyelembe véve a magyarországi erőművi struktúrát:

$$CO_{2,\text{végenergia}} = 0{,}56\,\text{kg}/\text{kWh} \qquad (6)$$

A) Milyen esetben energetikailag hatékony a hőszivattyús rendszer?

Energetikai szempontból akkor tekinthető előnyösnek a hőszivattyús rendszer, ha a jóságfoka magasabb, mint a villamos energia megtermelése és szállítása során adódó hatékonyság. A magyarországi villamosenergia-termelési hálózat adottságait figyelembe véve erőművi hatásfoknak 32,3%-ot és hálózati veszteségként 10%-ot figyelembe véve (2006. évi energia-statisztikai évkönyv adat), matematikailag megfogalmazva:

$$\mathrm{SPF}_{\mathrm{krit,en}} \geq \frac{1}{\eta_{\mathrm{erömü}} \times \eta_{\mathrm{hálózat}}}$$

$$\frac{1}{\eta_{\mathrm{erömü}} \times \eta_{\mathrm{hálózat}}} = \frac{1}{0{,}323 \times 0{,}9} = 3{,}44 \qquad (7)$$

$$\mathrm{SPF}_{\mathrm{krit,en}} \geq 3{,}44$$

Azaz az $\mathrm{SPF}_{\mathrm{krit,en}}$ értéknél jobb hatásfokkal működő hőszivattyús rendszerek tekinthetők energetikailag hatékony rendszernek.

B) Milyen esetben környezetkímélő a hőszivattyús rendszer?

A hőszivattyús rendszer környezetkímélő, ha üzemelése során kevesebb üvegházhatású gázt (CO_2) bocsát ki, mint a vele egyenértékű hőteljesítményű, de hagyományos rendszerű hőtermelő rendszer.

A hőszivattyús rendszer által kiváltott szén-dioxid mennyisége a kiváltott fosszilis tüzelőberendezés által kibocsátott szén-dioxid, és a hőszivattyú üzeme során felhasznált villamos energia megtermeléséhez kibocsátott szén-dioxid különbsége. Megjegyzem, hogy amennyiben a hőszivattyú által felhasznált villamos energia helyi, autonóm megújulóenergia-termelő rendszerekből kerül felhasználásra, akkor akár CO_2-semleges hőszivattyús rendszereket is létre lehet hozni.

A számításhoz tisztán kell látni, hogy a hőszivattyús rendszer villamos energia felhasználásával állít elő fűtési energiát. Ennek a két energiának a hányadosával, mint jóságfokkal jellemzik a hőszivattyús rendszereket. Ezt az értéket egy adott időintervallumra (A és B időpont között) tekintve kapjuk az SPF értéket.

$$SPF_{A-B} = \frac{Megtermelt_energia_{A-B}_(kWh)}{Felhasznált_energia_{A-B}_(kWh)} \qquad (8)$$

A számítást egy földhőszondás rendszerre végzem el, melynek jóságfoka: SPF=4,0. A hőszivattyú által felhasznált villamos energia megtermelése és szállítása során felszabaduló szén-dioxid mennyiségének, illetve a hőszivattyús rendszer jóságfokának hányadosaként kapjuk, hogy egységnyi fűtési energia megtermelése során mennyi szén-dioxid szabadult fel:

$$e_{HP} = \frac{0{,}56(kg_{CO_2} / kWh_{el})}{4{,}0(kWh_{hő} / kWh_{el})} = 0{,}14(kg_{CO_2} / kWh_{hő}) \qquad (9)$$

Ugyanezt az értéket gázkazánok esetére is ki kell számolni. Az EU előírásai szerint vett és a magyarországi viszonyok szerint korrigált fajlagos földgáz-felhasználási mutatók hagyományos és kondenzációs gázkazánok esetén:

$$g'_{hk}=1{,}1765; \quad g'_{kk}=1{,}02.$$

Felhasználva a magyarországi H-földgáz fűtőértékét: 9,44 kWh/m^3, a következő fajlagos földgázigényeket (r_x) kapjuk:

$$r_{hk}= 0{,}125\ m^3/kWh; \quad r_{kk}= 0{,}104\ m^3/kWh.$$

Ezen adatok ismeretében már számítható a gázkazánok fajlagos CO_2-emissziója, figyelembe véve, hogy 1 m^3 földgáz elégetésekor 2,1 kg CO_2 szabadul fel:

$$e_{hk}= 2{,}1\ [kg\ CO_2/m^3] \times r_{hk} = 2{,}1 \times 0{,}125 = 0{,}263\ [kg\ CO_2/kWh] \qquad (10)$$
$$e_{kk}= 2{,}1\ [kg\ CO_2/m^3] \times r_{kk} = 2{,}1 \times 0{,}104 = 0{,}218\ [kg\ CO_2/kWh] \qquad (11)$$

Ezzel a CO_2-emisszió megtakarítás mértéke a hőszivattyús rendszerrel:

- Hagyományos gázkazán esetén: $\Delta e_{hk}=e_{hk}-e_{HP}=0{,}263-0{,}14=0{,}123$ [kg CO_2/kWh] (12)
- Kondenzációs gázkazán esetén: $\Delta e_{kk}=e_{kk}-e_{HP}=0{,}218-0{,}14=0{,}078$ [kg CO_2/kWh] (13)

Tehát hőszivattyúval való fűtés esetén 0,078-0,123 [kg CO_2/kWh] kibocsátás-csökkenés várható.

Amennyiben a hőszivattyús rendszert nem kizárólag fűtésre, hanem hűtésre is használjuk, akkor ezt az összehasonlítást el kell végezni a hőszivattyú és a hagyományos légkondícionáló között. A hűtési üzemre alapul véve hűtési jóságfokként EER=3,5 értéket, a légkondícionálóra pedig egy 1,3 értéket, a következő CO_2-megtakarítás adódik a hőszivattyú javára:

$$\Delta e_{hűtés}=e_{lk}-e_{HP}=(0{,}560/1{,}3) - (0{,}560/3{,}5) = 0{,}271\ [kg\ CO_2/m^3] \qquad (14)$$

Az eddigiekből látszik, hogy az alapul vett jóságfokokkal a hőszivattyús rendszer CO_2-megtakarítást eredményez a hagyományos rendszerrel szemben. A kérdés az, hogy ez milyen határ-jóságfokig igaz, azaz milyen esetben környezetkímélő egy hőszivattyús rendszer?

A CO_2-megtakarítást az alábbi összefüggéssel számoltam:

$$\Delta e_{fűtés}=e_{hp}-e_{hk}=(CO_{2,végenergia}/SPF)-e_{hk} \qquad (15)$$

$\Delta e_{fűtés}=0$ értéket feltételezve és az egyenletet az SPF értékre rendezve kapjuk:

$$SPF_{krit,körny,hk}=CO_{2,végenergia}/e_k \qquad (16)$$

Behelyettesítve az eddigi kapott értékeket, a kritikus SPF értékek hagyományos kazánnal, illetve kondenzációs kazánnal szemben:

$$\mathbf{SPF_{krit,körny,hk}=CO_{2,végenergia}/e_{hk}=0,56/0,263=2,13} \qquad (17)$$

$$\mathbf{SPF_{krit,körny,kk}=CO_{2,végenergia}/e_{kk}=0,56/0,218=2,57} \qquad (18)$$

Az e fölötti SPF érték tekinthető környezetvédelem szempontjából hatékonynak.

C) Milyen esetben gazdaságilag hatékony a hőszivattyús rendszer?

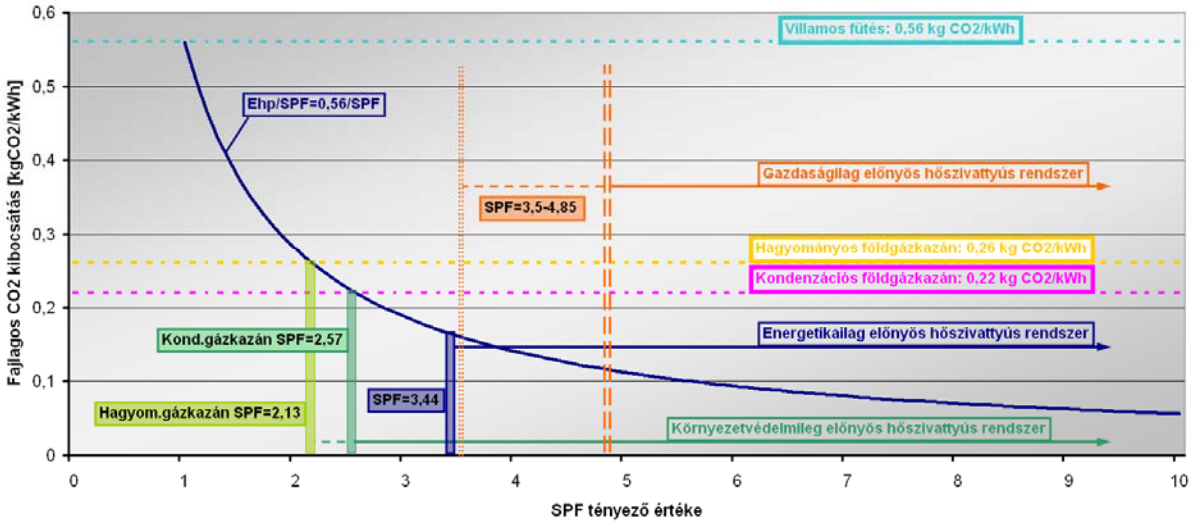
Ez a kérdés határozható meg a legkevésbé egzakt módon. Az $SPF_{krit,gazd}$ gazdasági megtérülést biztosító érték erősen függ a hőszivattyús technológia fajtájától (levegős, talajszondás, vízkutas, talajkollektoros, energiacölöpös, stb.), a felhasználás jellegétől (folyamatos vagy szakaszos, fűtés, hűtés vagy mindkettő, stb.), a telepítés jellegétől (új építés vagy régi rendszer felújítása, kiváltása, átépítése), a tőkeelvárásoktól, az energiaárak változásától stb.. Ezen paraméterek konkrét ismeretében állapítható csak meg, hogy egy adott hőszivattyús beruházás gazdaságilag hatékonynak tekinthető-e.

A szakirodalom a nyári-téli folyamatos üzemű földhőszivattyúk esetén az **$SPF_{krit,gazd}$ értéket 4,0-re becsüli.**

Meg kell jegyezni, hogy megfelelő támogatási struktúra kialakulása esetén, az egyébként energetikailag és környezetvédelmileg hatékony beruházás pályázati hozzájárulással gazdaságilag is jobban megtérülővé tehető, azaz az $SPF_{krit,gazd}$ érték támogatás esetén csökken.

Tekintve egy konkrét beruházást, a Telenor székház hőszivattyús beruházása a maga SPF=3,576 értékével is gazdaságilag hatékonynak tekinthető. A tapasztalatok elemzése és a számítások szerint a beruházás megtérülési ideje 5,60 év.

A különböző hatékonyságokat szemlélteti a 23. ábrán látható diagram:



23. ábra: A szén-dioxid emisszió függése az SPF tényezőtől és a kapcsolat a hatékonysággal

A sötétkék görbe jelzi a hőszivattyús rendszer CO_2-kibocsátását, ami az SPF érték javulásával fordított arányban csökken.

Rózsaszín és sárga színnel, szaggatott vonallal van jelölve a hagyományos- és a kondenzációs gázkazán CO_2-kibocsátása. Ezen egyenesek és a hőszivattyú görbéjének metszéspontjai mutatják a környezetvédelmileg előnyös hőszivattyús rendszer határértékét.

3.7 A BHE hőszivattyús rendszerek jövőbeni lehetőségei, várható fejlődése

A zavartalan fejlődés érdekében meg kell teremteni a szabályozott és minőségileg ellenőrzött hőszivattyús piacot.

Ehhez földtani oldalról a méréseket, modellezéseket általánosan elfogadottá kell tenni.

A földtudományi oktatási intézményekben a földhő BHE hőszivattyús rendszerek vizsgálatát, mint várhatóan elterjedő fűtési lehetőséget az oktatás és kutatás központjába kell állítani.

A megbízhatóan fenntartható BHE rendszerek alapja a megelőző mérés és tervezés, modellezés, majd végül a folyamatos monitoringozás.

Mindezek eredményeként a kormányzati támogatási politikát is figyelembe véve 2020-ig megtörténhet, hogy az éves hőszivattyú beépítések száma eléri az 5.000-10.000 darabot.

4 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Bizonyítottam, hogy a Rybach és Eugster hőtechnikai megállapításai a hőszivattyús rendszerek fenntarthatóságáról a magyarországi földtani viszonyok mellett is alkalmazhatók. Ha a BHE (VERTIKÁLIS FÖLDHŐSZONDA HŐCSERÉLŐ) földhőszonda rendszert csak fűtésre hasznosítjuk, akkor a nagymélységű geotermikus rendszerek rezervoár hűléséhez hasonlóan a felszín közeli kőzetkörnyezet fokozatos hűlését eredményezi és az üzemidővel legalább azonos regenerációs időt igényel az in situ hőmérséklet 95%-os visszaállásáig. Ha a létesítményt hűtésre is tervezzük és alkalmazzuk, akkor földtani hőtechnikai oldalról szezonálisan regenerálódó rendszert kapunk, és a kiegyensúlyozottabb, kisebb téli-nyári hőfokváltozás révén javul az SPF értéke, ezzel csökken az üzemeltetési költség, de a beruházási költség is mérséklődik. Hulladékhő (pl. a gázmotoros generátoroknál képződő) bevitelével (rásegítéssel), annak mértékével az összes szondahossz (hőcserélő felület) akár 70-80%-kal is mérsékelhető. A napkollektoros rendszerek többlethője is lehet az energiaforrás, de akkor – helyes méretezés esetén is – 20-25%-nál nagyobb mértékű szondahossz csökkentés már nem valószínű.
2. Igazoltam, hogy nagy szondamezőből álló BHE-hez csatlakozó fűtő-hűtő rendszernél a 100 m mélységű működő földhőszondák közvetlen közelében a téli fűtés 5-6°C – átlagosan a mérésemnél 5,74ºC - hőmérséklet csökkenést eredményezett. A nyári hűtésnél 4-4,5ºC – a mérésemnél a teljes hosszra számítva 4,3°C – volt a hőmérsékletemelkedés. A működő szonda középvonalától 3,5 m-re a fűtésnél csupán 0,2-0,3ºC, - a mérésemnél átlagosan 0,28ºC - hőmérséklet csökkenést lehetett kimutatni. A hűtésnél ebben a távolságban a bevitt hő a kőzetek jelentéktelen, a méréseimnél átlagosan 0,08ºC-os melegedését okozták. A hőszonda mezőtől 6,6 m-re elhelyezett mérési ponton már nem volt hőmérsékletváltozás a nyugalmi állapothoz képest. Ebből következtetve megállapítottam, hogy az átlagos hővezetőképességű rétegsor mellett a szondamezőben az egyes szondák egymáshoz viszonyított telepítési távolságát biztonságosan min. 7,0 m-re célszerű megválasztani (különösen fontos a raszteres elrendezésű nagy szondaszám esetén). Jó hővezetés és egysoros szondaelrendezés esetén a szondatávolság csökkenhet 5 méterre.
3. Mérésekkel, majd modellezéssel igazoltam, hogy a szondamező elhelyezkedése (átlagos távolsága) a hőszivattyúhoz viszonyítva befolyással bír az SPF (SEASONAL PERFORMANCE FACTOR) alakulására. A nagyobb távolsághoz tartozó többlet

szivattyúzási energia igény és a hőveszteség miatt az SPF értéke kisebbre adódik. Modellezéssel igazoltuk, hogy az SPF csökkenés értéke, reális peremfeltételektől függően 10-25%-ra is adódhat.

4. Bizonyítottam, hogy a BHE hőszivattyús rendszerek üzemeltetési költségeire jelentős hatása van az alulméretezésnek, ekkor nagyobb a pótlólagos fűtési igényből származó költség, mint a túlméretezett többlet szondahosszból származó beruházási költség. Számításokkal igazoltam, hogy a 20% túlméretezés negatív gazdasági hatása 20-szor kisebb, mint a 20% alulméretezésből fakadó későbbi villamosenergia többletköltség.
5. Bizonyítottam, hogy a raszteres-tömbös szondamezők közepén és a határán célszerű 3 db monitoring szondát elhelyezni és ezekben a monitoring hőmérséklet mérőket – vertikálisan – a mindenkori rétegsor leginkább releváns hővezető képességű helyeire kell telepíteni és számukat az ilyen helyek mennyisége határozza meg. Ezen elv szerinti elrendezés alapján megbízhatóbb adatok származnak a pozitív hővezetési anomáliák mértékének meghatározására, mint a véletlenszerű horizontálisan kiosztott monitoring pontoknál és a vertikális monitoring rendszer költsége is kisebb.
6. Igazoltam, hogy meghatározott földtani viszonyok és mérési sűrűség mellett a hővezetési tényezők alapján létrehozott adatbank felhasználásával a BHE rendszerek részére „hővezetőképesség térkép” készíthető. Ezzel a kisebb rendszerekhez a „földhő felhasználás tervezése” a geológiai adatok ismeretében TRT (THERMAL RESPONSE TEST) mérések nélkül is megalapozottabbá válik. Ez a nagy rendszereknél az esetleges helyi anomáliák kiszűrése érdekében semmiképpen nem váltaná ki a helyi TRT mérések elvégzését.

   Országos BHE hővezetési mérési programmal és térképezéssel a létesítési helyszínek környezeti és műszaki értelemben is minősíthetők. Így:

   a. Feltétel nélkül telepíthető
   b. Feltétellel telepíthető
   c. Nem telepíthető, védett terület, rezervoár, barlangrendszer csoportosítás alakítható ki.

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

- Pályázatos beruházásokhoz 30kW felett kötelező legyen a TRT mérések és modellezések elvégzése.
- Ajánlott a TRT mérési eszközök fejlesztése a mérési költség csökkentése érdekében.
- Épületgépészeti adatszolgáltatásnál legyen kötelező az éves hőigény lefutási görbe modellezése fűtésre és hűtésre a hőszivattyúhoz.
- Javaslom egy MÁFI-ELGI-VITUKI adattár létesítését a hővezető-képesség adatokkal.
- Célszerű egy országos hővezetőképesség-mérési program indítása az adattár feltöltésére.
- Korábbi földtani kutatófúrásokból hővezető-képességi adatok kinyerése és az adattárba integrálása.
- Az országos sekélyzónát érintő víztestekről és barlangvédelmi zónákról az információk közzététele a fúrási tervek megalapozásához.
- Hőszivattyús engedélyezés egyszerűsítése elektronikus ügyintézéssel, típustervek alkalmazásával a 30 kW alatti kisteljesítményű BHE rendszerekre.
- A 20 méter feletti sekélyzónában alkalmazott hőnyerők (talajkollektor, talajszonda, ferde szonda, energiaspirál, energiakosár) telepítésének bejelentési kötelezettségének bevezetése, a hőnyerő rendszerek káros egymásra hatásának elkerülése érdekében.
- További összehasonlító TRT mérések elvégzése a szondaméretektől, a szondapároktól és a tömedékelőanyag típusaitól függően, azok hatékony és gazdaságos alkalmazása érdekében.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Földhőszondák hőtechnikai viszonyai hőszivattyús rendszereknél

A hazai hőszivattyús technológia az elmúlt 10 évben vált a szakma és a közvélemény számára ismerté. Hozzá kell tenni, hogy még ma sem eléggé ismert.

Munkám során – kezdve a kis teljesítményű BHE rendszerektől, 2005-re már a nagy teljesítményt is elérve – az vezérelt, hogy a BHE rendszerek földtani primer oldalának megalapozott tervezése legyen. Ehhez a kezdetektől fogva a nemzetközi kutatási eredményeket és gyakorlatot figyeltem és tanultam a Nyugat-Európai tapasztalatokból.

Ehhez szerencsés lehetőséget biztosított Prof. Dr. Rybach László, aki sokszor személyes kiállásával, sokszor szakirodalom küldésével támogatta a hazai BHE hőszivattyús rendszerek előkészítő méréseinek és modellezéseinek gyakorlati hazai bevezetését.

A hazai BHE hőszivattyús rendszerek mérése mára elismert és igényelt tudományos feladattá vált. A szépsége abban van, hogy soha nem találkozunk ugyanazzal a feltétel rendszerrel. Tehát mindig alkalmazkodni kell az adott projekt kihívásaihoz és ez mindig egy kreativitást igényel. Itt kell megjegyeznem, hogy a BHE hőszivattyús rendszerek hatékonysága, gazdaságossága, egyszóval sikere, mindig több szakterület: építész, épületgépész, geológus, fúrómérnök, automatikus jó együttműködésén múlik. Egyik sem veheti át a másik szerepét!

A hazai hőszivattyúzás fejlődésében eddig is olyan egyetemi kutatóhelyek játszottak szerepet, mint Prof. Dr. Bobok Elmér által vezetett Miskolci Egyetem Geotermikus szakmérnöki képzése, Prof. Dr. Büki Gergely által szervezett hőszivattyús szaktanfolyamok és mesterképzés, Dr. Barótfi István és Dr. Tóth László egyetemi tanárok által vezetett szakmérnöki képzések, akik munkám során segítségemre voltak.

Munkámat szerencsére olyan fiatal, a szakma iránt elkötelezett szakemberek is segítették, mint egykori beosztottam Tóth László geológus, vagy mostani kollégáim közül Csernóczki Zsuzsa környezetkutató, Klecskó Bernadett hidrogeológus mérnök és Lipóczky Zoltán épületgépész.

Úgy gondolom, hogy a hazai hőszivattyúzáson belül a vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszerek megismerésének és elterjedésének első fontos szakasza befejeződött. A tudományos élet szereplői és az energiapolitikában érdekelt adminisztráció is tisztában van a technológiában rejlő lehetőségekkel.

Az elkövetkező 10 év a meghirdetett célok elérése érdekében (6 PJ földő hőszivattyús kapacitás megvalósítása 2020-ra) egy újabb remélhetően sikeres korszaka lesz a hazai hőszivattyúzásnak. Ugyanakkor az általam javasolt országos mérési és térképezési programmal tudományosan is alátámasztható lesz, hogy az eddig becsült 10-13 PJ hőszivattyús földhő kapacitásnál lényegesen nagyobb földhő hasznosítási lehetősséggel rendelkezünk. Ennek kihasználása távlati gázenergia kiváltási céljaink eléréséhez nélkülözhetetlen.

A hazai hőszivattyús szakterület egyik képviselőjeként köszönetemet fejezem ki mindenkinek, akik jóindulatú támogatásukkal, munkájukkal segítették az eddigi hőszivattyús fejlődést.

7 SUMMARY

Thermal conditions of geothermal heat exchangers in case of heat pump systems

The Hungarian heat pump technology became known for both public and professionals in the past 10 years. I have, however, to say that it is still not enough well-known.

During my work, beginning from the low-capacity BHE systems reaching also the high production until 2005, I was motivated by realizing a well-established designing process of the geological primary side of BHE systems. To realize it, I observed and studied the international research results and practice right from beginning and learnt from the Western European experiences.

To realize all these I was considerably supported by Prof. Dr. Laszlo Rybach with his personal upholding and providing specialized literature and promoting the practical introduction of the preparatory measurements and modelling of the domestic BHE systems in Hungary by this means.

Nowadays, measurement of the domestic BHE heat pump systems became a recognized and demanded scientific task. Its beauty lies in fact that we never meet again the same terms and conditions. It means, we have always to adapt ourselves to the challenges of the related project, which always requires creativity. Hereby I have to mention that the efficiency and cost efficiency so to say the success of heat pump systems depends always on the automatic good cooperation of several specializations such as: architecture, sanitary engineering, geology and drilling engineering. None of them can replace the others!

The development of the domestic heat pump systems was and is promoted by university research centres such as Geothermal Engineering specialists training on University of Miskolc managed by Prof. Dr. Elemer Bobok, the heat pump professional trainings and master courses organized by Prof. Dr. Gergely Buki and engineering specialists trainings managed by Dr. Istvan Barotfi and Dr. Laszlo Toth university professors; they all helped me during my work.

Luckily for me, my work was also helped and supported by young professionals committed to this profession such as my former subordinate, Laszlo Toth geologist, or some of my present colleagues, Zsuzsa Csernoczki environment researcher, Bernadett Klecsko hydrogeologist engineer and Zoltan Lipoczky sanitary engineer.

I think the first and important stage of recognizing and making the vertical geothermal heat pump systems general in Hungary has been completed. Both the academic players and administration interested in energy policy are aware of the possibilities of this technology.

I hope the coming next 10 years will mean further successful period in the Hungarian heat pump process for achieving the set goals (realization of 6 PJ geothermal heat pump capacity by 2020). At the same time, the country-wide measuring and mapping program proposed by me will scientifically support that we are in possession of much higher geothermal heat utilization possibility than the estimated 10 to 13 PJ. Its utilization is indispensable for achieving our long-term gas energy replacing goals.

As one of the representatives of the domestic heat pump special field I would like to express my thanks to all of you who helped the process of heat pump development with their well-meaning support and assistance respectively work.

8 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven:

1. Tóth L., Šlihte, S., Ádám B., Petróczki K., Korzenszky, P., Gergely Z.: 2011 Solar Assisted Ground Source Heat Pump System, in Hungarian Agricultural Engineering, N°23/2011, Hungarian Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő, 57-62.p.
2. Ádám B., Tóth L.: 2011 Heat Recovery From Thermal Waters Used For Heating By Heat Pump Before Back-Injection, in Hungarian Agricultural Engineering, N°23/2011, Hungarian Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő, 67-72.p.
3. Ádám, B.-Tóth, L.: 2012 Heat Technical Measuring of Ground for Vertical Borehole Heat Exchangers Installations, in Journal of Agricultural Machinery Science, 2012, Turkey (in press under review)

Lektorált cikk magyar nyelven:

1. Ádám B.- Tóth L.: 2011. Talajok hőtechnikai ellenőrzése függőleges elrendezésű hőszondák telepítéséhez, MAGYAR ENERGETIKA Nr. 5, 34-38 o. ISSN: 1216-8599
2. Ádám B. - Tóth L. (2011): Adatok magyarországi sekélyszondás hőszivattyús rendszer telepítéséhez – Újdonságok a Geotermikában Vol. 1. Geotermikus Koordinációs és Innovációs Alapítvány időszakos kiadványa, ed: Szanyi J., 5-17. o.
3. Tóth L. Ádám B.: 2010. Adatok magyarországi sekélyszondás hőszivattyús rendszer telepítéséhez, Mezőgazdasági Technika, Gödöllő, 51. évf. 8. sz. 2-5.o. ISSN 0026 1890
4. Tóth L. Ádám B. Csernóczki Zs.: 2011. Adatok trigenerációs hőszivattyús rendszer üzembe állításáról Mezőgazdasági Technika, Gödöllő, 52. évf. 2. sz. 2-4.o. ISSN 0026 1890
5. Ádám B.- Tóth L.: 2010. Fűtésre használt termálvizek visszasajtolás előtti hőszivattyúzása Mezőgazdasági Technika, Gödöllő, 52. évf. 6. sz. 2-5.o. ISSN 0026 1890
6. Ádám B.: 2009.: Geotermikus földhőt hasznosító, megvalósuló hőszivattyús rendszerek és egyéb hazai gyakorlati tapasztalatok, Magyar Épületgépészet LVII. évfolyam, 2008/4. szám, 19-21.o.

9 A TÉMAKÖRHÖZ KAPCSOLÓDÓ K+F MUNKÁIM

Idő-szak	Kutatási, vizsgálati feladat	Létesítmény megnevezése	Helyszínek	Partner
2010.	Gázturbinás áramfejlesztés és földhő hasznosító hőtermelés kapcsolása monitoring, energia racionalizálási célból	Tesco Áruház	XVII. Budapest	InnoGeo Kutató és Szolgáltató Nonprofit Közhasznú Kft
2010.	Földhő hasznosítás optimalizálása közintézményi épületre	Bálint Márton Iskola és Sportközpont	Törökbálint	Swietelsky Magyarország Zrt.
2010.	Földhő hasznosítás optimalizálása önkormányzati épületre	Szeged-Agóra-Pólus	Szeged	Szegedi Önkormányzat
2009.	Bosch hőszivattyúkhoz auditált mérőlabor kialakítás tervezése	Bosch Irodaház	X. Budapest	Dimenzió Tervező Kft.
2008.	Geofizikai vizsgálat (BHE-hez)	Kovács Kft. raktárépülete	Mező-kövesd	Kovács Kft.
2008.	Épület alá helyezett BHE rendszer monitoring	El-Tech Center Kft. Irodaház	IV. Budapest	El-Tech Center Kft.
2008.	Mélygarázs alá helyezett víz kút monitoring hőszivattyú telepítéshez	Corvin sétány projekt 119/A és 119/B	VIII. Budapest	Cordia Magyarország Zrt.
2008.	Geotermikus TRT (Thermal Response Test)	Europrint Raktár	Eger	Europrint Kft.
2008.	Földhő szonda rendszer optimalizálása	Unitef Irodaház	XI. Budapest	Unitef 83 Zrt.
2008.	Fűtő-hűtő légkezelő rendszer hőszivattyús ellátása	Porsche Autószalon	XI. Budapest	Porsche Ingatlankezelő Kft.
2008.	Mélygarázs alá helyezett víz kutak hőszivattyúhoz kapcsolt monitoring	Strabag Irodaház	IX. Budapest	Miskolci Shoppig Center Kft.
2007.	Üzleti park (több épület) centrális hőellátása hőszivattyúkkal, monitoring (TRT)	Europolis ingatlan	Biatorbágy	Terminál Közép-Európai Ingatlam-Fejlesztő Kft.