SZENT ISTVÁN EGYETEM

Földhőszondák hőtechnikai viszonyai hőszivattyús rendszereknél

Doktori (Ph.D) értekezés

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

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE
1 BEVEZETÉS ... 7
1.1 A téma aktualitása és jelentősége ... 7
1.2 Célkitűzések ... 10
1.3 A megoldandó feladatok ismertetése ... 11
2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS ... 12
2.1 Nemzetközi áttekintés a földhő hőszivattyúzás fejlődéséről ... 12
2.2 A hazai megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségei ... 16
2.3 A hazai geotermikus energia, és ezen belül a földhő-felhasználás lehetőségei ... 17
2.4 A magyarországi hőszivattyús fejlődés áttekintése ... 20
2.5 A vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszer elvi felépítése ... 22
2.5.1 Kisteljesítményű BHE rendszerek 30kW-ig ... 27
2.5.2 Nagyobb teljesítményű BHE rendszerek 30kW felett ... 30
2.6 BHE rendszerek monitoring vizsgálatai ... 31
3 ANYAG ÉS MÓDSZER ... 36
3.1 A mérés és kiértékelés során alkalmazott összefüggések ... 36
3.1.1 A TRT mérés elve ... 36
3.1.2 Geotermikus szondateszt menete a gyakorlatban ... 37
3.2 Egyéb alkalmazott mérési módszerek ... 38
3.3 Mérési adatok gyűjtése ... 41
3.4 Mérőműszerek ... 42
3.5 A mérési eredmények elemzése, kiértékelése ... 43
3.6 Potenciál meghatározása modellezéssel ... 46
3.6.1 Az EED méretező szoftver elvi alkalmazása ... 46
3.6.2 A GLD méretező szoftver elvi alkalmazása ... 48
3.6.3 További modellezési lehetőségek – numerikus modellezés ... 50
4 EREDMÉNYEK ... 53
4.1 A mérési helyek ... 53
4.2 A hazai mérési eredmények ... 53
4.2.1 Raiffeisen Bank projekt – Az első mérés (2006) ... 53
4.2.2 Telenor Ház hőszivattyús rendszer - mérés ... 58
4.2.3 Tesco – Trigenerációs roof-top hőszivattyús rendszer - mérés ... 62
4.3 A hazai helyzet értékelése a végzett mérések alapján ... 66
4.3.1 Monitoring adatok értékelése ... 67
4.3.2 Általános megállapítások ... 85
4.3.3 Földtudományi és műszaki megállapítások ... 87
4.3.4 A BHE hőszivattyús rendszerek gazdaságossági értékelése ... 95
4.3.5 A BHE hőszivattyús rendszerek jövőbeni lehetőségei, várható fejlődése ... 106
4.4 Új tudományos eredmények ... 107
5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK ... 110
6 ÖSSZEFOGLALÁS ... 111
7 SUMMARY ... 113
MELLÉKLETEK ... 115

MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék
M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó fontosabb publikációk
M3. EHPA hőszivattyús eladási statisztika 2010
M4. VDI 4640 hővezetőképesség értékek
M5. Telenor geofizikai szelvénye
M6. A HGD Kft. által végzett mérések (2006-2011)
M7. TRT mérések elhelyezkedése Budapesten és környékén
M8. Raiffeisen geofizikai szelvénye
M9. Raiffeisen monitoring TRT alatt
M10. Telenor EED méretezés
M11. Tesco geofizikai szelvénye
M12. Gazdasági számítás kis rendszerre
M13. Gazdasági számítás nagy rendszerre 30%
M14. Gazdasági számítás nagy rendszerre 50%
M15. Gazdasági számítás nagy rendszerre 60%
M16. Gazdasági számítás nagy rendszerre 85%
M17. Talajszondás hőszivattyús rendszerek hatósági engedélyeztetése
M18. Gazdasági és megtérülési számítás nagy rendszer esetén

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
α	Hődiffuzivitás	[m^2/s]
c	Fajhő	[J/kgK]
c_{pw}	Fluidum fajhője	[J/kgK]
$CO_{2végenergia}$	Egységnyi felhasznált energia előállítása- és a fogyasztási helyre juttatása során felszabaduló CO_2 mennyisége	[kg/kWh]
COP illetve ε	Coefficient of performance	[Ø]
D	Cső belső átmérője	[m]
d	Csőátmérő	[m]
Δp	Nyomásváltozás	[Pa]
Δt	Hőmérsékletkülönbség	[K]
e	Fajlagos szén-dioxid emisszió	[kg $_{CO2}$/kWh]
EER	Energy Efficiency Ratio	[Ø]
e_{HP}	Egységnyi fűtési energia megtermelése során keletkező CO_2	[kg/kWh]
E_o	A rendszer működtetéséhez felhasznált energia	[J]
Erf	Gauss hibafüggvény	[Ø]
g'_{hk} és g'_{kk}	Korrigált fajlagos földgáz-felhasználási mutatók hagyományos és kondenzációs gázkazánok esetén	[Ø]
Grad T	Hőmérséklet gradiens	[°C/km]
H	Szondahossz	[m]
I_0	Módosított Bessel-függvény 0. parancs	[Ø]
L	Cső hossza	[m]
L	Henger hossza	[m]
m	Tömegáram	[kg/s]
m_w	Fluidumáram a vizsgált csőben	[m/s]
N_u	Konvektív hőtranszfer együttható	[Ø]
P	Elektromos teljesítmény	[W]
q	Fűtési teljesítmény	[W]
Q	Hőmennyiség	[J]
Q_f	Hasznos hőenergia	[J]
Q_H	Hőáram	[W]
Qt	Elvárt hőteljesítmény	[W]
ρ	Sűrűség	[kg/m^3]
r	Fúrási átmérő	[m]
r_b	Furat sugara	[m]
R_b	Termikus fúrólyuk ellenállás	[mK/W]

R_e	Reynolds-szám	[Ø]
r_{hk} és r_{kk}	Fajlagos földgázigények hagyományos és kondenzációs gázkazánok esetén	[m^3/kWh]
SPF	Seasonal Performance Factor	[Ø]
SPF_{A-B}	Adott időintervallumra (A és B időpont között) tekintve az SPF	[Ø]
$SPF_{krit,en}$	Energetikai szempontból kritikus SPF	[Ø]
$SPF_{krit,körny}$	Környezetvédelmi szempontból kritikus SPF	[Ø]
t	Idő	[s]
T	Hőmérséklet	[°C]
T_f	Folyadék hőmérséklete	[K]
T_{fn}	A talajból a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete	[K]
T_{fo}	Fűtésre (kimenő) víz átlaghőmérséklete	[K]
T_o	Zavartalan talajhőmérséklet	[°C]
T_p	Cső átlagos hőmérséklete a cső belső felületén	[K]
T_w	Fluidum átlaghőmérséklete a vizsgált csőben	[K]
$T_{w,in}$ és $T_{w,out}$	Befolyó és kifolyó vízhőmérséklet	[K]
V	Térfogatáram	[m^3/h]
W	Bevitt összes külső energia	[J]
ζ	Alaki ellenállás	[Ø]
α	Konvektív hőáramlási együttható	[Ø]
β	Csősúrlódási tényező	[Ø]
γ	Állandó	[Ø]
δ	Korrelációs tényező	[Ø]
η	Hatásfok	[Ø]
λ	Hővezető-képesség	[W/mK]
ν	Áramlási sebesség	[m/s]

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.

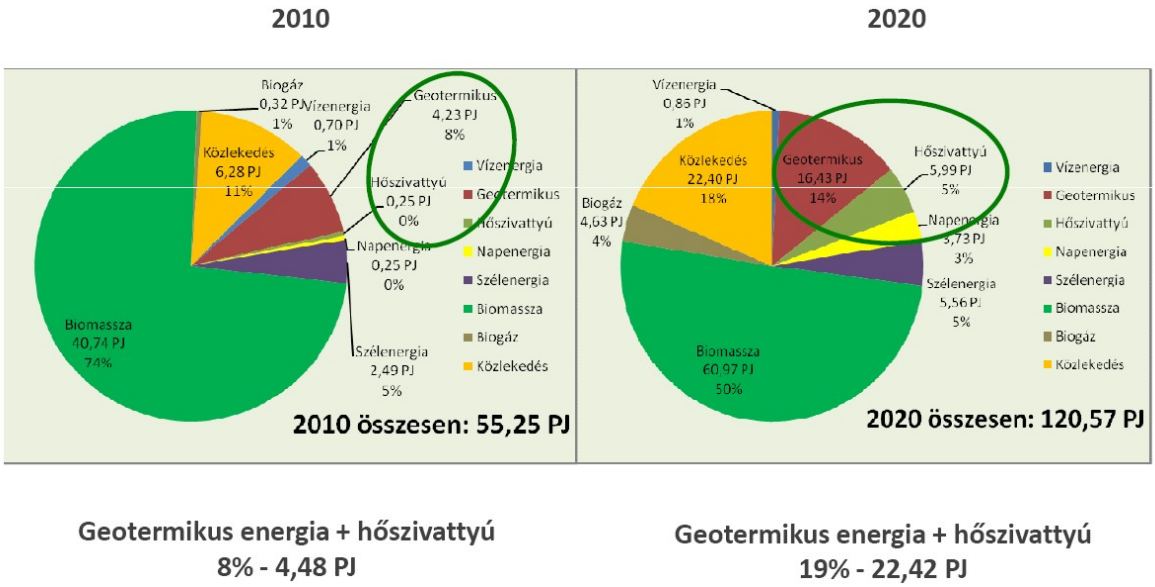
Napjainkban folytatódik a mind élesebb verseny a fosszilis energiatermelő gazdag országok (Közel-Keleti Arab Államok, Oroszország, stb.) és az inkább alternatív energiaforrásokra alapozó országok (Nyugat-Európa) között. Ez a verseny az 1974 és 1979 évi olajválságokkal kezdődött, de az olajár későbbi csökkenésekor átmenetileg az alternatív energiák alkalmazásának kutatása alábbhagyott. Újabb áttörés az ezredfordulóhoz köthető, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy a fosszilis energiák nagymértékű alkalmazása mellett belátható időn belül megoldást kell találni a jövő új energiaforrásaira. Igazolódott Jamani Szaúd-Arábia olajminiszterének kijelentése, hogy **„a kőkorszak sem azért ért véget, mert elfogyott a kő, az olajkorszak sem azért ér véget, mert elfogy az olaj”.**

Az európai országok fosszilis energiaszükségletei az ipari fejlettségüknek megfelelően nagyok, és a beszerzési források az utóbbi években sokszor átpolitizálódtak, szállítási kimaradások léptek fel – gondoljunk csak az orosz-ukrán gázvitára. A fosszilis energiafüggőség különösen érvényesül a magyar energiaszerkezetben, melyben az import gázigény 80%-os.

Az Európai Unióban az orosz gázfüggőség hatására, továbbá a legutóbbi japán atomerőmű-katasztrófa után erősödik a közös európai energiastratégia megalkotásának szükségessége. 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.

Ezekben a dokumentumokban – nem vitatva a nukleáris és a fosszilis energia még hosszútávon is megkerülhetetlen használatát – egyre markánsabban jelenik meg a megújuló energiaforrások hazai alkalmazásának igénye.

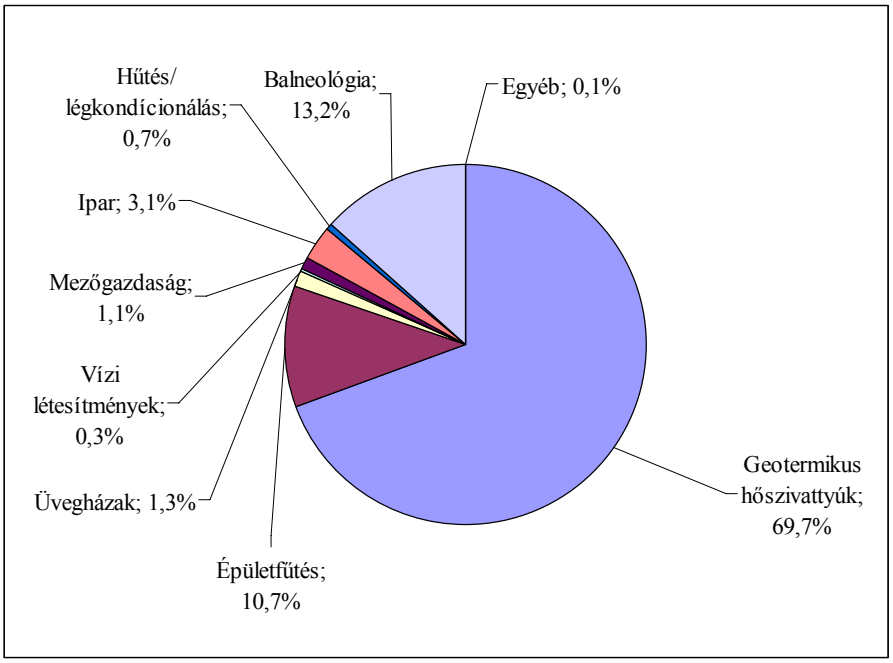
Az elfogadott dokumentumok szerint 2020-ra a hazai megújuló energia-felhasználás részaránya 14,65%-ra nő a jelenlegi 7,3%-ról. Ebben a megújuló energia-felhasználásban az 1. ábrán látható energiafajták szerepelnek a következő részarányokkal:



1. ábra: A villamos energia és hűtés-fűtés szektorokban felhasznált megújuló energiahordozók megoszlása (Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv)

Ahhoz, hogy a fenti célok teljesüljenek, a Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv intézkedései közül két közfeladatot ki kell emelni. Egyik a 2011-ben elfogadásra került új és fenntartható energiagazdálkodásról szóló törvény, a másik a 2014-2020 között önálló (EU társfinanszírozott) energetikai támogatási program.

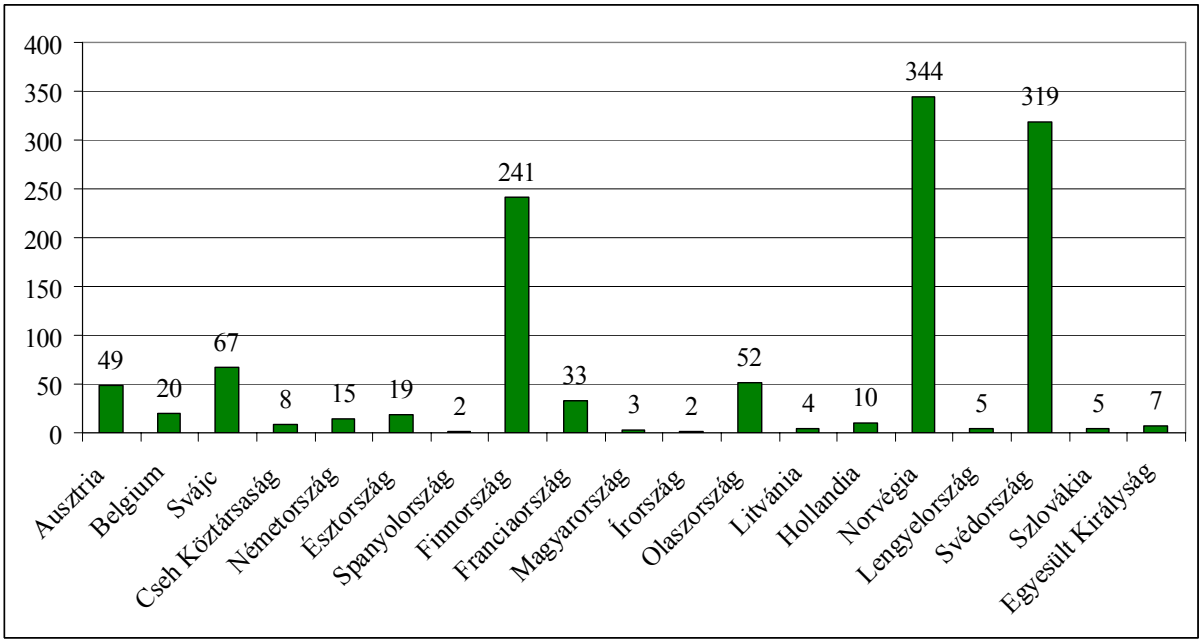
Ami a fenti kördiagram hőszivattyús földhő-hasznosításra vonatkozó előrejelzést illeti, a nagymértékű fejlődés prognosztizálása reális. Különös tekintettel a nemzetközi szintű hőszivattyús technológia fejlődése tükrében.



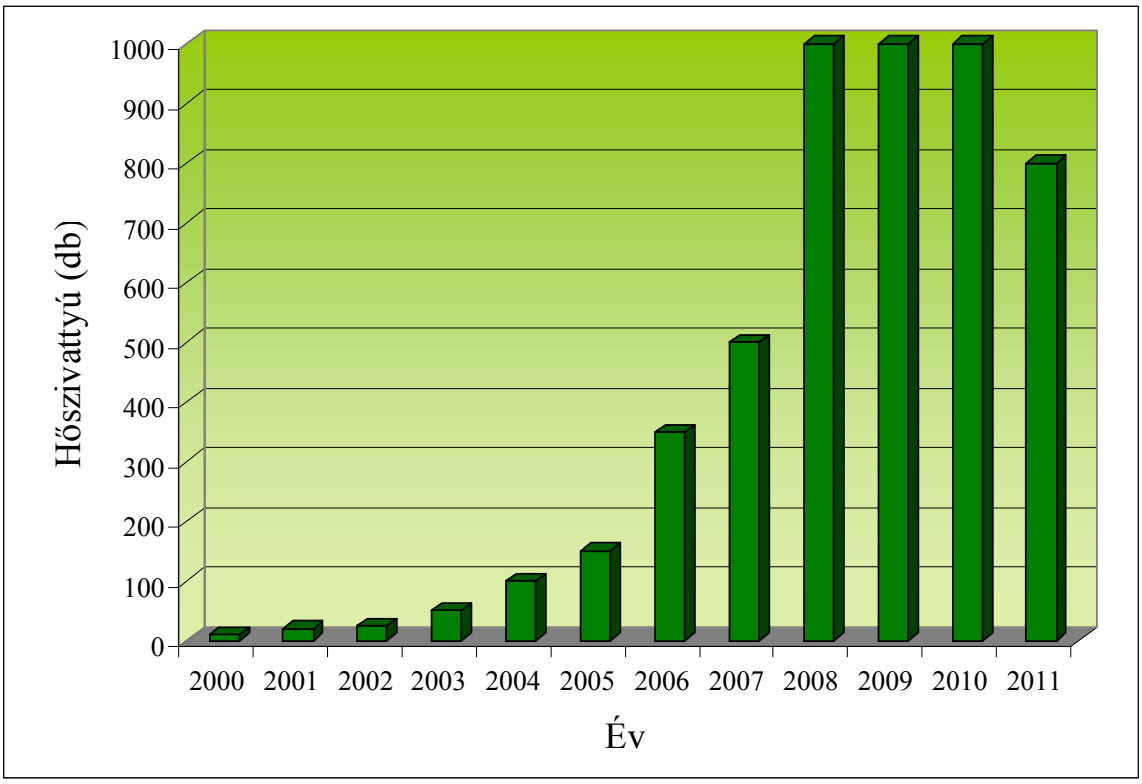
2. ábra: Geotermikus direkt hasznosítás megoszlása világszinten a teljes beépített kapacitás százalékában (Lund et al. 2010)

A 2010. áprilisban Bali szigetén megrendezett „Geotermikus Világkongresszus” összegző előadásának eredménye szerint (2. ábra) a világ összes geotermikus hőenergia-termelő kapacitásának 69,7%-s sekély földhős hőszivattyú 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 3. és a 4. ábra.



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



4. 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 számos műszaki és gazdasági oka van, gondoljunk csak a hazai energetikai rendszer hatásfokára, a torz energiaárakra, a keresztfinanszírozásra, a támogatási rendszerek kiszámíthatatlanságára, gyakori hiányára. Mindezek ellenére a hazai földhős hőszivattyúzás az utóbbi években elérte az 1000db/év installációs nagyságrendet. 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 Célkitűzések

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 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Nemzetközi áttekintés a földhő hőszivattyúzás fejlődéséről

A kőkorszak óta az emberiség képes volt meleget (tüzet-fűtést) produkálni, de a mesterséges hűtést csak 1850-ben sikerült az első hűtőgéppel megoldani. Ez új és hatalmas fejlődési lehetőséget adott a hasonló elven működő fűtési hőszivattyúknak az egész világon, különösen Közép- és Észak-Európában, illetve Amerikában.

Az elvi alapok rövid áttekintését Nicolas Léonard Sadi Carnot 1824 évi munkájával kell kezdeni, aki megalapozta a termodinamikai összefüggéseket a Carnot körfolyamattal. 1847-ben Hermann von Helmholtz az energiatárolás, a termodinamika I. törvényét találta fel. 1850-ben Rudolf Julius Emanuel Clausius szélesebben értelmezte a Carnot körfolyamatot és a termodinamika II. tételét megalkotta az entrópiáról. Függetlenül tőle William Thomson (később Lord Kelvin) 1852-ben egy sokkal általánosabb formáját adta a termodinamika II. törvényének, és bemutatta a termodinamikus hőmérsékleti skálát.

1870-ben Carl von Linde egy „szigorúbb” termodinamikai megközelítését adta a hűtési folyamatnak. A tudományos termodinamikai ismeretek a hűtéshez 1876-1918 közötti időszakban váltak különösen az élelmiszeriparban alkalmazhatóvá. Az üzemi elterjedésben különösen Linde munkásságát kell kiemelni, aki egyszerre volt kiváló kutató mérnök, alkalmazó, és egyetemi tanár. Az első hűtőgépi teszteket 1875-ben végezte.

Az 1900-as évektől az ipari gyártások megszaporodtak, 1918-tól az ammónia alkalmazásával, mint elterjedt hűtőgáz, megindult a hűtőkompresszor tömeggyártás Európában és Amerikában. Kiemelhető, hogy a csavarkompresszor elve 1878-ban lett szabadalmazva H. Krigar által, de gyártása ekkor még nem volt lehetséges.

A hőszivattyús fűtési és használati melegvíz készítés 1919-1950 között vált hatékony és már gazdaságos, versenyképes termékké. Ennek az európai hőszivattyú fejlődésnek egyik központja Svájc volt az első világháború előtti és utáni években, mivel köztudomásúan fosszílis energiában szegény, de vízi erőművekben gazdag volt. Ennek eredményeként 1938-1945 között 35 db nagyteljesítményű hőszivattyú lett beüzemelve (Zogg, 2008).

A hőszivattyús fejlesztések külön korszaka az 1951-1972 közötti évek „az alacsony olajárak” időszaka. Folytatódik a munkaközegek fejlesztése, de a hatékonysági eredmények ellenére nincs számottevő piaci áttörés. A helyzet 1973-1989 között megváltozik, az OPEC országok olaj embargója miatt, a két olajválság (1974 és 1979) hatására. Ebben a pillanatban merül fel először a XX. században az alternatív energiák szerepe és az energiahatékonyság is

fontos lesz a közvélemény megítélésében. Ez a szemlélet és a nukleáris energia együtt ad hátteret a hőszivattyúk világméretű terjedésének. Ezért 1979-ben a hőszivattyús eladás 800.000 darabra nő a világon, a reverzibilis légkondicionálók 4.000.000 darabos értékesítése mellett.

Az első vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszer 1980-ban kerül kialakításra. Jürg Rechsteiner előbb horizontális kollektoros rendszert, majd 1980-ban Ernst Rohnerrel együtt, a GRUNDAG fúróvállalattal, telepítenek 50 méteres szondákat. A módszer terjedésével a mélységhatár is nő 100 méter fölé. A vertikális földhőszondás fejlesztés és mérés egyik centruma a svéd kutatóközpont mellett, az ETH Zürich-i egyetem volt Svájcban. Az itteni kutatócsoport vezetője a magyar származású Dr. Prof. Ladislaus Rybach, aki munkásságával megerősítette a földhőszondák kőzetkörnyezetének hővezetőképesség mérési fejlesztését és értékelési módszereit. Személyes kapcsolatunk révén nagy segítségemre volt az általam kezdeményezett hazai földhővezető-képesség mérésének elindításában.

1985-re Németországban Karlsruheban független hőszivattyús tesztcentrum alakul. Közben 1982-től a skandináv hőszivattyús piac is nagy fejlődésnek indul, hasonlóan az USA és Japán is. Az utolsó 20 év Európában - kisebb megtorpanással 2000 körül – folyamatos piaci és hőszivattyú technológiai fejlődést hozott. Az EU direktívák további támogatást adnak a hőszivattyús technológia elterjedésének. Folyamatosan fejlődik a kutatás, a hűtőközegek, a hatékonyság, a telepítések mérése, modellezése, a termékek minősítése, a rendszerek monitoringozása.

5. ábra: VIESSMANN hőszivattyú, 1985 (Viessmann Múzeum látogatás, 1985)

Megújuló energia alapú villamos energiával a hőszivattyúzás a klímavédelem kiemelt fűtési-hűtési eszköze lehet a jövőben. A fejlődési folyamatot szemléltesse egy az 5. ábrán látható VIESSMANN hőszivattyú 1985-ből.

2000-től Nyugat-Európában intenzív fejlesztőmunka indult nem csak a készülékek (hőszivattyúk) piacán, hanem a telepítés, földhő mérés, méretezés területén is.

Ezeknek a kutatásoknak a centruma a német nyelvterület volt: Németország, Svájc és Ausztria.

A kutatások egy-egy kiemelkedő tudományos eredményű professzorhoz kötődnek, a már említett magyar származású prof. Dr. Rybach Lászlóhoz Zürichben, Dr. Burkhard Sanner-hez és később Erich Mands-hoz, akik a földhőszondák telepítésének és mérésének elveit kidolgozták és ezzel megalapozták a fenntartható földhős hőszivattyús rendszerek működtetését.

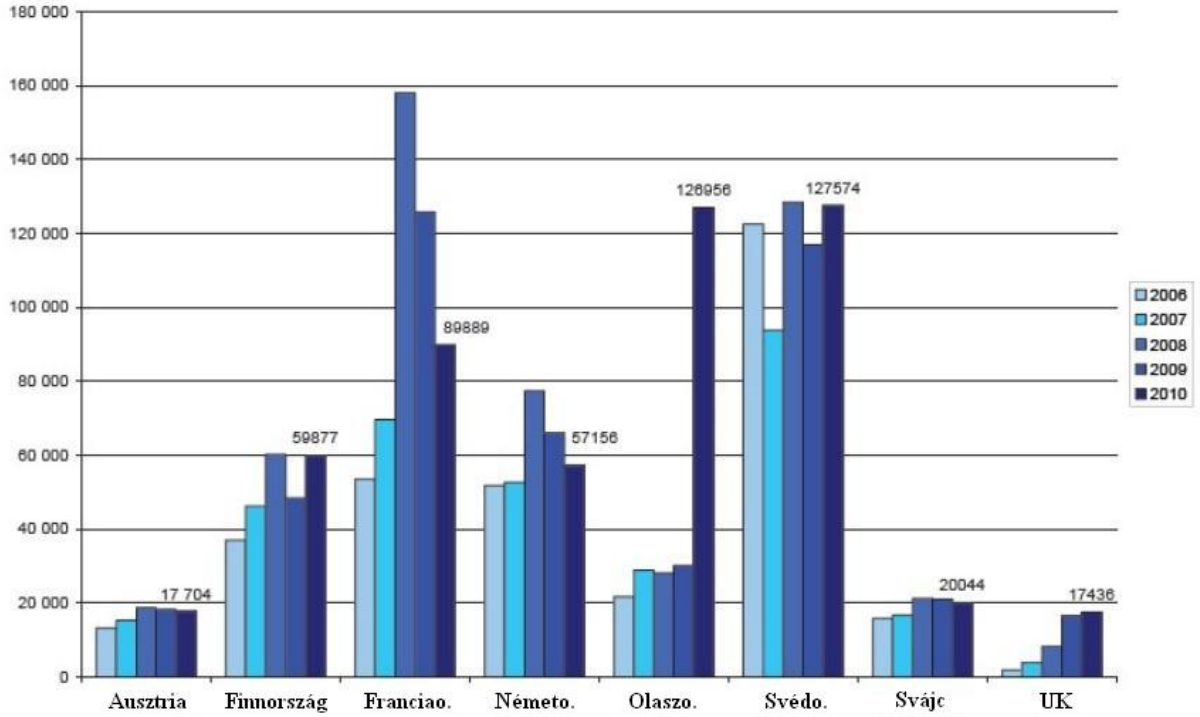
A fejlődő kutatási eredmények először a kisméretű családi házas rendszerekhez néhány darab földhőszonda telepítését tették biztonságossá, később a nagyobb szondaszámok esetére is kidolgozták a mérési és a modellezési módszereket. Bevezették a fűtési-hűtési-használati melegvíz igényekhez méretezett földhő energia előzetes kalkuláció módszerét, és ezeket földtani térképadatok és adott telepítési hely geológiai rétegsor adatainak szoftveres feldolgozásával pontosították.

Az egyre több megvalósulási hely geológiai adatait összegyűjtve és kiértékelve megszületett egy a kőzetfajtákra jellemző hővezetési értékrend, melyet tovább finomítottak attól függően, hogy a kőzetek homogenitása, porozitása, víztartó-képessége milyen volt. Ezeket az adatokat táblázatos formában publikálták és ezzel az 1-2 szondás rendszerek fölhőkapacitás számítását (kalkulációját) segítették helyi mérések nélkül. Ilyen esetekben elég volt a fúrómesterek pontos rétegsor regisztrációja, hogy a várható földhőkapacitást megítéljék. Ez a módszer nyilvánvalóan csak megközelítően adott iránymutatást a földhő alkalmazásához, és sok esetben okozott alul- vagy túlkalkulálást. Az eltérések egyes esetekben akár 25-40% mértékűek is lehettek. Ezzel a földhőszondák vagy kevésnek bizonyultak, akár lefagytak huzamos üzemeléskor és nagy villamos energiafogyasztást okoztak, vagy felesleges szondaméter létesült és ezzel a beruházási költség növekedett indokolatlanul.

Mindezek a „rossz referenciák” a piac fejlődését gátolták, ezért vált szükségessé a földhőszonda kőzetkörnyezet hővezetőképesség mérése és az adatok kiértékelése, majd szoftveres modellezéssel a szükséges vertikális földhőszonda mennyiségének pontos megadása.

A mérési és modellezési módszer annyira elterjedt az 1990-es évekre, hogy megalkották a VDI4640 szabványt, melynek kidolgozását 1995-ben kezdték meg, és a negyedik fejezetet a direkt hőhasznosításról 2004-ben adták ki (Reuss et al., 2006).

A mérésekkel, melynek neve Thermal Response Test (TRT), a vertikális földhős szondarendszerek fenntarthatósága illetve a beruházói bizalom növekedett, és ez is hozzájárult a későbbi hőszivattyús piac nagyarányú fejlődéséhez. Ezt a fejlődést mutatja a 6. ábra.



6. ábra: Hőszivattyús statisztika, 2006-2010 (EHPA, 2011)

Ennek a fejlődésnek másik tényezője az iparág szereplőinek európai szövetségbe tömörülése. Ez az Európai Hőszivattyús Szövetség (EHPA), 2000-ben alakult a hőszivattyúzás szakmai érdekképviseletére, gyártók, forgalmazók, tervezők, kivitelezők, oktatási intézmények nemzeti képviseleteinek összefogásával. Jelenleg 92 tagja és 22 tagországa van az EHPA-nak, köztük 2007 óta Magyarország is, a Magyar Hőszivattyú Szövetség, a vezetésem által.

A nemzetközi hőszivattyús piaci eladási adatokkal szemben álljon itt a 2010 évi magyarországi statisztika (3. melléklet), mely becsült adatokkal számolt. Ennek oka, hogy a cégek csak független statisztikai szervezeteknek adtak adatokat, üzleti titokra hivatkozva, és a szakmai szövetségnek nincs teljes rálátása a tagi vállalkozásokon túl, az egész hazai hőszivattyús piacra, mivel a jelenlegi 51 tagja mellett a hőszivattyús piac szereplőinek nagysága egyes felmérések szerint 100-250 között van.

2.2 A hazai megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségei

Az elmúlt XX. század, különösen a második fele a fosszilis energiaforrások térnyerésének az időszaka folt. Ez a relatív „energiabőség” óriási technikai fejlődést és – valljuk be őszintén – jólétet illetve kényelmet hozott, különösen a fejlett ipari országok lakosságának számára. Életünket eddig folyamatosan növekvő villamos energia, gázenergia és közlekedési célú energiafogyasztás jellemezte, mert még megfizethető volt.

Csak az ezredforduló után tudatosodott egyre inkább, hogy a folyamatosan növekvő energiafelhasználásunk mind a fogyasztói, mind a termelői oldalról a szakembereket újabb és újabb kihívások elé állították. Az energetika hazai szakemberei már évekkel ezelőtt megállapították, hogy a magyar energiafelhasználás összetételét, struktúráját tekintve előnytelen.

Az ország importenergia-függősége nagy, ellátásbiztonsága ezért sokszor külső – nem egy esetben politikai – tényezőtől függ.

A világgazdasági folyamatok – ezek hátterében lejátszódó politikai fejlemények, most éppen az „arab tavasz” – hatásai a fosszilis energiahordozók árait sokszor kiszámíthatatlanná teszik. Ehhez járulnak még a nemzetközi valuták hektikus változásai, és e két hatás együtt a nemzeti költségvetés kiadási oldalát kedvezőtlenül érintik.

Tehát ebből is következik, hogy a hazai energiapolitikában megfontolt, de a fosszilis energia kitettségünket csökkentő lépésekre van szükség.

A racionális fenti érvek mellett erre kötelezi az országot az EU „20-20-20” irányelve, benne a megújuló energiafelhasználásnak az EU átlag 20%-ára való növelésének célja.

Magyarország gazdasági teherbíró-képességét és jelenlegi energiastruktúráját figyelembe véve a kormányzat 2020-ra egy a korábbi vállalásoknál ambiciózusabb 14,65% megújuló energia részarány teljesítését vállalta a Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben.

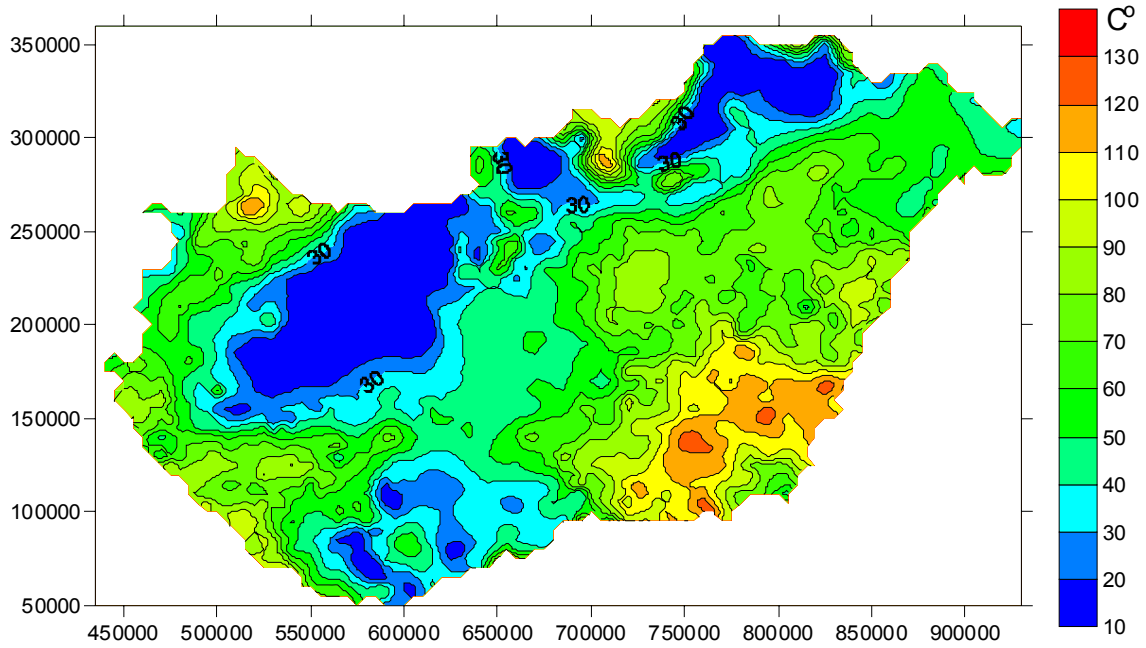
Ezeket a célértékeket, a 2010 és 2020 évi megújuló energiahordozó-megoszlást mutatja be az 1. ábra a villamos energia- és a fűtési-hűtési szektorra vonatkozóan. A diagramon látható, hogy a geotermikus energián belül a hőszivattyús földhő-felhasználás jelenleg 0,25PJ, melynek fejlesztése ambiciózus, a tervek szerint 2020-ra 5,99PJ várható.

Megállapítható, hogy a hazai geotermikus földtani adottságok reális alapot adnak a földhő hőszivattyús felhasználásához. Ezt erősítette meg a Magyar Tudományos Akadémia az NCST 2010 évi összeállításakor. Ehhez a 24-szeres növekedéshez azonban számos műszaki, gazdasági és jogi, szabályozási tényező megváltoztatására is szükség van.

A disszertáció természetesen a földhő hőszivattyús felhasználásának csak műszaki-tudományos kérdéseivel kíván részletesen foglalkozni a fenti fejlesztési eredmények elérése érdekében.

2.3 A hazai geotermikus energia, és ezen belül a földhő-felhasználás lehetőségei

A hazai geotermikus jó adottságok megítélésében egyetértés van a szakemberek között. A „jó” vagy „kiváló”, vagy „világviszonylatban is kimagasló” minősítések gyakran váltakoznak, ezzel sokszor a döntéshozókat is nehéz helyzetbe hozva. Ha ránézünk az ország geotermikus energia eloszlási térképére, akkor igaz az a megállapítás, hogy az ország területének 70-80%-a geotermikus szempontból pozitív.



7. ábra: Hőmérséklet eloszlás a felső-pannóniai réteg feküjében (Szanyi, Kovács 2007)

A Pannon-medence alatt a földkéreg meglehetősen vékony, 60-100 km a vastagsága, ami a miocénben való kivékonyodás következménye (Lenkey, 1999). E tény miatt sorolják ma Magyarországot geotermikus adottságai vonatkozásában Európa élvonalába (Mádlné Szőnyi, 2006). Ennek bizonyítéka a 70-90mW/m^2 kontinensátlaggal szemben a Kárpát-medencei maximum 90-120mW/m^2, illetve az átlagosan 80-110mW/m^2 hőáramsűrűség érték (Dövényi et al. 2002). A földi hőáramsűrűség (hőáram, hőfluxus) a hőenergia-áramlást jellemzi, amely az egységnyi földfelületen, egységnyi idő alatt átáramló hőmennyiséget mutatja meg (Mádlné Szőnyi et. al, 2008).

A Föld belső energiája a Föld felszíne felé törekszik a hő terjedésével, aminek három típusa ismert: a hővezetés (kondukció), a hőáramlás (konvekció), és a hőmérsékletkülönbség

miatti hősugárzás (radiáció) révén. A *hővezetés*, az anyagáramlás nélküli hőátadás során az anyag részecskéi rezgéseinek csatolásával terjed az energia. Az asztenoszférára jellemző az úgynevezett *hőkonvekció*, minek következtében a hőenergiát a szilárd, folyadék vagy gáznemű anyagok elmozdulásuk, áramlásuk révén viszik magukkal. A *hősugárzás* elektromágneses energia emissziója és abszorpciója révén megy végbe, kémiai közeg közvetítése nélkül (Szőnyi, 2006).

A szilárd kőzetekben az energia hővezetés útján terjed, aminek elméletét Fourier vizsgálatai támasztották alá. A tapasztalatok szerint, ha egy adott magasságú hasáb alsó és felső oldalán a hőmérséklet T_2 és T_1, illetve $T_2>T_1$, akkor a felületen (F) egy adott idő (t) alatt átáramló hőmennyiség:

$$Q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{\ell} Ft \qquad (1)$$

Ahol

λ = az adott anyag hővezető-képessége

Egységnyi felület esetén differenciál alakban Fourier-egyenlete megadja, hogy egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramló hőmennyiség a hőmérséklet gradiensével és a hővezető-képességgel arányos (Völgyesi, 2002):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \lambda \mathrm{grad} T \qquad (2)$$

A Pannon-medencében az átlagos geotermikus gradiens – a felszín alatti hőmérséklet-növekedést jellemzi ^{o}C/km-ben – 50°C/km, aminek oka a hőáramsűrűségen kívül a medencét jellemző agyagos-homokos üledék, amely jó szigetelő tulajdonsággal rendelkezik, éppen ezért a geotermikus gradiens értéke az Alföldön és a D-Dunántúlon a legnagyobb hazánkban (Mádlné Szőnyi, 2006). A Föld hőenergia-tartalma $12{,}6*10^{24}$ MJ, ami abból adódik, hogy bolygónk 99%-ának hőmérséklete 1000°C feletti, és csupán 0,1%-a kisebb 100°C-nál (Rybach, 1985).

Ha kifejezetten a földhő hőszivattyús alkalmazás lehetőségére gondolunk, akkor kijelenthető, hogy az ország egész területén megvalósíthatók ilyen rendszerek. Elég utalni egy japán kutató, Dr Hirofumi Muraoka megjegyzésére, aki a 2003. évi EGC Európai geotermikus kongresszuson, Szegeden **„Földhőenergia a kertemben”** címmel tartott előadást, utalva arra, hogy mindenkinek lehetősége van a földhő kinyerésére a saját ingatlanának területén!

Természetesen már itt meg kell jegyezni, hogy vannak olyan földtanilag vagy vízvédelmileg lehatárolt területek, ahol nem, vagy csak feltételekkel lehet vertikális földhőszondás rendszereket telepíteni hőszivattyúhoz. Ezért célszerű a jövőben olyan

tudományos adatelemzésen alapuló területi besorolás elkészítése, mely a földhőszondás hőszivattyús rendszerek tervezésekor ad alapinformációkat a beruházóknak, hogy adott területen jó-közepes-gyenge adottságú földhő potenciál áll rendelkezésre. Ezzel a céllal már elindultak tudományos kutató elemzések kiválasztott kísérleti területre, például a Debreceni Egyetemen.

Annak megítélésére, hogy a hazai földhő hasznosíthatóságának potenciája mekkora, az állami nyilvántartás legújabb eredményei a mérvadók. A földtani vagyon számításait Rezessy és társai (2003; 2005) a térfogati módszerre épülő számítással végezték és napjainkban is tovább pontosítják. Ezek alapján Magyarország földtani vagyona a 0-5000 m-es mélységtartományban 102.180 EJ. Geotermikus energia hasznosítása szempontjából a legjobban hozzáférhető készlet nagysága 4840 EJ. Figyelembe véve az ország 1 éves energiafogyasztását, mely kb. 1 EJ, elvben ezek a rétegek 4800 évig fedezhetnék energiaszükségletünket (Szanyi, 2005). Az ipari vagyon 343 PJ, mely nagyságrendi különbség a földtani vagyonhoz képest, de ennek is csak az 1 %-át hasznosítjuk jelenleg.

A geotermikus hazai potenciál – ezen belül a földhő hőszivattyús potenciál – megállapítására több szakmai és tudományos szervezet végzett számításokat a fentiek alapján.

- Magyar Tudományos Akadémia, 2020-ig kinyerhető készlet:
  - Közvetlen geotermikus: 10PJ
  - Földhő hőszivattyús: 10-15PJ
- Magyar Termálenergia Társaság, 2020-ig kinyerhető készlet:
  - Közvetlen geotermikus: 15 PJ
  - Földhő hőszivattyús: 10PJ
- Magyar Hőszivattyú Szövetség (MAHÖSZ): 10 PJ a 2020-ig kinyerhető készlet:
- Európai Hőszivattyú Szövetség (EHPA - European Heat Pump Association), NCST vállalások minden ország megújuló energiafelhasználásának 11%-a: 13 PJ

Ha figyelembe vesszük a Nemzetközi Geotermális Szövetség (IGA - International Geothermal Association) 2010. éves állapotfelmérését, melyet korábban bemutattam, akkor megállapíthatjuk, hogy a hazai mintegy 60-100PJ prognosztizált geotermikus potenciálnak 50%-os világátlag szerinti hazai hőszivattyús aránya 30-50PJ lenne. Tehát akár a 2020-ra, a kormány által tervezett 5,99PJ földhő felhasználást vizsgáljuk, akár a szakmai szervezetek potenciálméréseit nézzük, ezek a valós rendelkezésre álló potenciálhoz képest alultervezettek.

Megállapítható, hogy a hazai földhő hőszivattyús hasznosítása előtt óriási lehetőség van. Ehhez az egyik legfontosabb feltétel, hogy belátható időn belül a hazai hőszivattyúgyártásnak a feltételei megteremtődjenek.

További nélkülözhetetlen feladat a földhő felhasználásának hazai fejlesztéséhez mindazok a nemzetközi mérési, modellezési, tervezési, monitoring mérési és K+F fejlesztési folyamatok hazai geotermikus viszonyok közötti meghonosítása, adaptálása és specifikus elemeinek vizsgálata. Ez a disszertáció is ehhez kíván hozzájárulni.

2.4 A magyarországi hőszivattyús fejlődés áttekintése

A hőszivattyúk hazai fejlődéstörténete Heller László 1948-as doktori disszertációjával indul, melyben az alkalmazás technikai és gazdasági feltételeit vizsgálja.

8. ábra: Heller László (http://www.hipo.gov.hu)

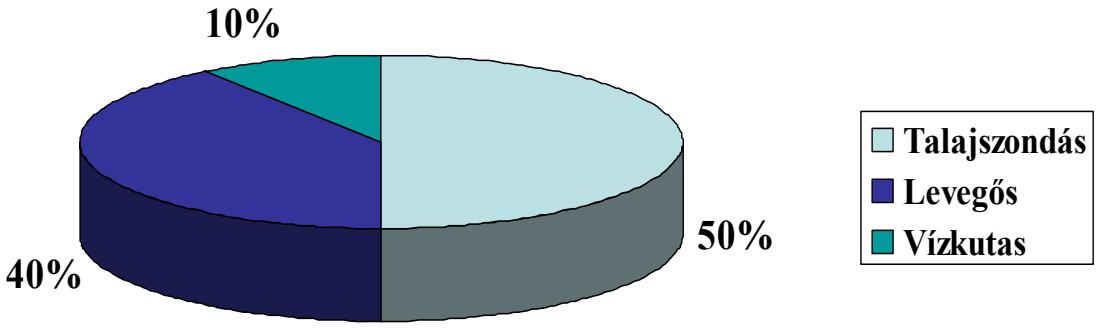
2001 előtt Magyarországon csak egy-egy kísérleti jellegű hőszivattyús rendszer telepítése történt. Ezek közül az Energiahivatal érdeklődését is felkeltette egy 1991-ben, Kapuváron létesített vízkútpáros 50kW-os OCHSNER típusú hőszivattyús rendszer, mely egy szegfűkertészetet fűtött. A megvalósítás egy magyar származású Németországban élő magánvállalkozóhoz, Dr. Belházy Tivadar nevéhez fűződik, aki a mélyfúrású szénhidrogénkutak szondás-hőcserélős hőszivattyús hasznosításában is nagy lehetőséget látott. A kapuvári hőszivattyús rendszer jól üzemelt, de az akkori energiaárak mellett és a spontán privatizáció időszakában ezeknek a hőszivattyús pozitív kísérleteknek nem lett folytatása.

2001-ben látva a nyugat-európai hőszivattyús fejlődés eredményeit, néhány vállalkozó szellemű kollégával én is elkezdtem komolyabban foglalkozni a vertikális földhőszondás hőszivattyúzással, mivel a MOL Rt.-nél is a földtani geofizikai és fúrási kutatási területen tevékenykedtem 3 évtizedig. A kapuvári kísérletnél is irányítottam a primer rendszer kialakítását még a MOL Rt. képviseletében, a vízkutak kiképzésével és a hőszivattyúra kapcsolásával.

Az elmúlt 10 éves hőszivattyús fejlődés legfontosabb állomásait mutatja az 1. táblázat.

1. Táblázat: A Hőszivattyúzás elterjesztésének hazai lépései

2000 – 2001	Előkészítő környezetvédelmi hatásvizsgálat
2002 – 2003	Referenciák és Gáztörvény (MBH, GKM)
2004 –	Nagyobb teljesítményű rendszerek – NEP
2005 – 2006	Ipari méretű beruházások – NEP, KIOP, később KEOP
2005 – 2006	KvVM – Geotermális Munkabizottság
	MBFH tárgyalások
	Heller-terv
2007 –	ÉTE Hőszivattyús Szakosztály megalakulása
2007 –	Csatlakozás EHPA szervezetéhez
2008 –	Tárgyalások további áramtarifa támogatásról
2009 –	Geotarifa várható bevezetése hőszivattyúkra
2009 –	MBFH szabályozások módosítása (védőidom, eljárásrend)
2010	Bányatörvény módosítása
2011	Környezetvédelmi eljárásrend és illeték szabályozása



9. ábra: Hőszivattyús rendszerek primer hőforrástípus szerinti megoszlása

A vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszerek előkészítő földhővezetési ún. Thermal Response Test mérésének különösen jelentős hatása van a fenntartható és gazdaságos működésre. A hazai TRT mérések 2006-tól kezdődtek a megelőző, 2005-ben a svájci Geowatt AG-val történt szakmai egyeztetések és a német UBeG cég szakmai bemutatói alapján.

2005-ben megkezdtem az előkészületeket az első hazai TRT mérőberendezés megépítése érdekében. A szükséges adatgyűjtőket megterveztük és a méretező, modellező szoftver

megvásárlásra került az említett külföldi társaságoktól. Ettől kezdve a hazai vertikális földhőszonda tesztek és méretezések megindulhattak, ezzel együtt a hazai nagyteljesítményű hőszivattyús rendszerek fenntartható, biztonságos telepítése is.

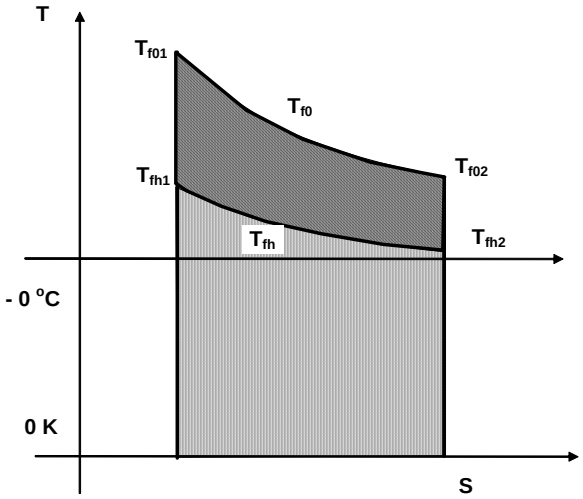
2.5 A vertikális földhőszondás hőszivattyús rendszer elvi felépítése

A hőszivattyú a környezeti hő hasznosítására szolgáló berendezés, amely a hűtőgép elvén alapul. Télen fűtésre, nyáron hűtésre, légkondicionálásra használható, illetve használati melegvíz előállítására is alkalmas. A működtetésére felhasznált energiát nem közvetlenül alakítja hővé, hanem a külső energia segítségével a hőt az alacsonyabb hőfokszintről egy magasabb hőfokszintre emeli. A hőforrása lehet a külső levegő, egy folyó vagy tó vize, kutak vizének vagy a talajnak a hőtartalma, vagy ipari hulladékhő.

Elvi alapja a termodinamika második főtétele, amely szerint „nem lehetséges olyan körfolyamat, amelynek eredménye az, hogy egy hőtartályból felvett hővel egyenlő értékű munkavégzés történjék”. Azaz a hidegebb test nem adhat át hőt a melegebb testnek, a hő magától csak a melegebb helyről a hidegebbre mehet át: így egyenlítődnek ki a hőmérséklet-különbségek (Holics, 1998). A Carnot-féle termodinamikai körfolyamatot is meg kell említeni, mivel ez írja le a hőszivattyúk elméleti működését. Holics (1998) szerint „a reverzibilis Carnot-körfolyamat hatásfoka független a folyamatot végző munkaközeg anyagi minőségétől és a gép szerkezetétől, csak a hőátadó test T_1 és a hőátvevő test T_2 hőmérsékletének függvénye”. Ideális körülmények esetén, a minimális és a maximális hőmérsékletek között végbemenő reverzibilis körfolyamatok közül ennek hatásfoka (munkaszám, COP) a legnagyobb. Azaz azonos hőmérséklet eléréséhez ez a körfolyamat emészti fel a legkevesebb energiát.

A rendszer elektromos energiát, áramot igényel, ez jelenti a munkát. Hatékonyságát az ún. teljesítmény tényezővel (COP=Coefficient of performance) jellemezhetjük, ez a hőszivattyú leadott fűtőteljesítményének és effektív teljesítményfelvételének az aránya.

A hőszivattyús folyamatok jól leírhatók termodinamikai módszerekkel. A hőszivattyúval elvont hő és leadott fűtési hő termodinamikai átlaghőmérsékletét bemutathatjuk az ún. T-S (hőmérséklet-entrópia) diagrammal (10. ábra). Az átlaghőmérséklet, a bemenő magasabb és az alacsonyabb kimenő hőmérsékletből adódik. Praktikusan az átlaghőmérsékletet a logaritmus középhőmérséklet adja.



10. ábra: A hőszivattyú munkája T-S diagramban ábrázolva

A hőszivattyúval a talaj hőfelvételi elemén (elpárologtató, a talajszonda hőcserélője) és a fűtőoldalon leadott (kondenzátor, a fűtőegység hőcserélője) hő átlagos hőmérséklete:

$$\overline{T} = \frac{\overline{T}_n - \overline{T}_k}{\ln \frac{\overline{T}_n}{\overline{T}_k}} \qquad (3)$$

Ahol

T_n = nagyobb* hőmérsékleti pont (K)

T_k = kisebb* hőmérsékleti pont (K)

**Az ábra szerint: 1 = nagyobb, 2 = kisebb.*

Ennek megfelelően T-S diagram szerint a hőleadó:

$$\overline{T_{fo}} = \frac{\overline{T}_{f01} - \overline{T}_{f02}}{\ln \frac{\overline{T}_{f01}}{\overline{T}_{f02}}} \qquad (4)$$

és a hőfelvevő

$$\overline{T_{fh}} = \frac{\overline{T}_{fh1} - \overline{T}_{fh2}}{\ln \frac{\overline{T}_{fh1}}{\overline{T}_{fh2}}} \qquad (5)$$

Ezzel az elméleti teljesítmény tényező:

$$\varepsilon_{fo} = \frac{Q_{fo}}{E_o} = \frac{Q_{fo}}{Q_{fo} - Q_{fh}} = \frac{\overline{T}_{fo}}{\overline{T}_{fo} - \overline{T}_{fh}} \qquad (6)$$

Ahol:

Q_{fo} = hasznos hőenergia (J),

E_o= a rendszer működtetéséhez felhasznált energia (J).

Ill.:

$\overline{T}_{fo}$ =a fűtésre (kimenő) víz átlaghőmérséklete (K),

$\overline{T}_{fn}$ = a talajból a hőszivattyúra felkerült folyadék átlagos hőmérséklete (K), fűtésnél a nagyobb, hűtésnél a kisebb érték az előnyös.

A valóságos ε az elméleti értéknél kisebb:

$$\varepsilon_f = \delta\varepsilon_{fo} \qquad (7)$$

Ahol δ=0,5-0,58 korrekciós tényező (gyakorlati számításoknál a szakirodalom szerint, a nagyobb biztonság céljából 0,4-re célszerű megválasztani).

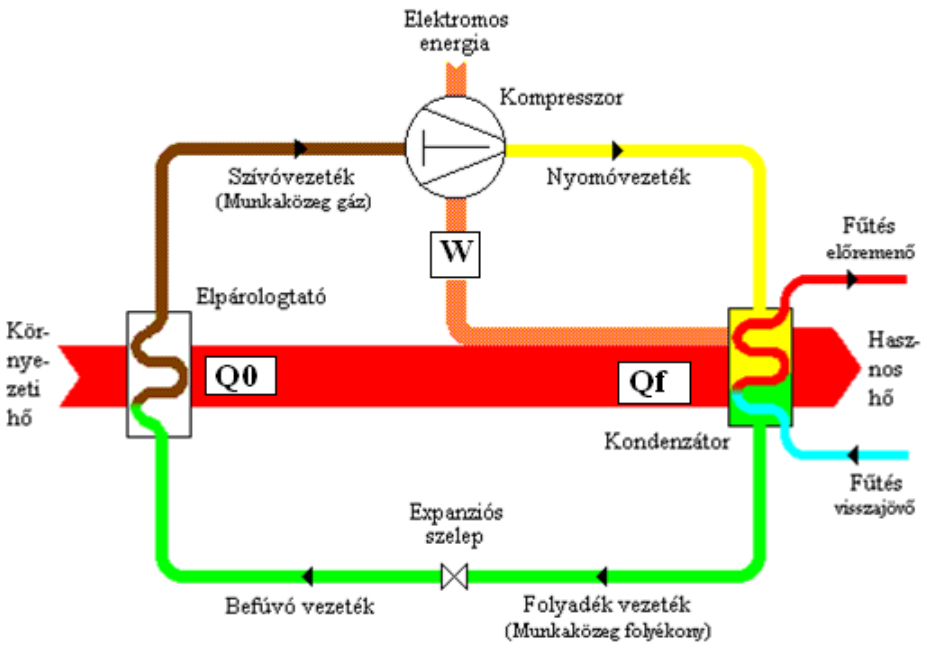
A 11. ábra szerint a jósági tényező: $\varepsilon_f = \frac{Q_f}{W}$ (8)

Q_f = hasznos hő (J),

W = a bevitt összes külső energia (J).

A hőszivattyú munkafolyamatának jellemző nyomás és hőmérsékleti pontjai (épület fűtés esetén) függenek a rendszer kialakításától, az alkalmazott gázoktól, a kompresszoroktól és a hőcserélőktől, stb.

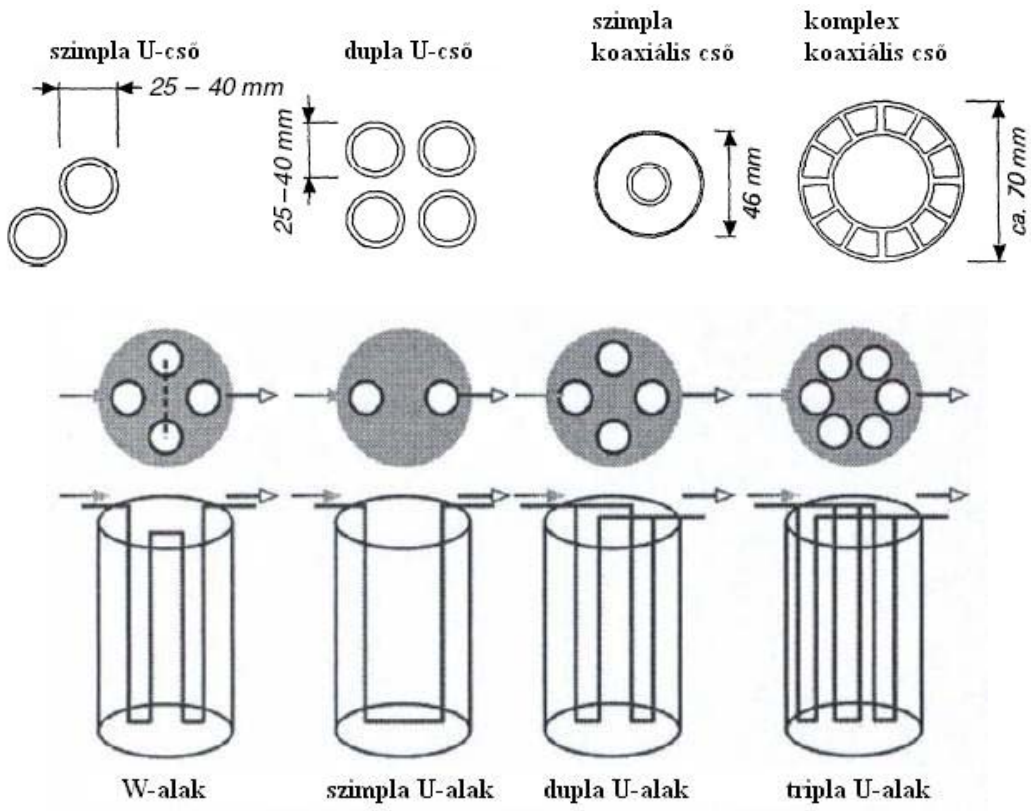
A hőszivattyú egy hőforrásból hasznos energiát „állít” elő. Ehhez szükség van egy alacsony forráspontú munkaközegre, amely az elpárologtatóban (elgőzölögtetőben) hőt vesz fel kis hőmérséklet és alacsony nyomás mellett, így gázzá alakul. Ez a gáz a szívóvezetékbe kerül, onnan pedig az elektromos energiával üzemelő kompresszor segítségével egy nyomóvezetékbe. A kondenzátorban ismét cseppfolyósodik, és így leadja a hasznos hőt. Ez azon a fizikai törvényen alapul, hogy a párolgás hőt von el, a kondenzáció pedig hőkibocsátással jár. A folyadék állapotú munkaközeg ezután egy expanziós (adagoló) szeleppel elválasztott folyadék- illetve befúvó vezetékbe kerül, ami ismét az elpárologtatóhoz juttatja. Így visszajut a ciklus elejére. Ezek az elemek alkotják a hőszivattyús rendszert (11. ábra).



11. ábra: A hőszivattyú elvi felépítése

A helyi primer hőnyerési adottságok hatékonysági értékelése szabja meg, hogy melyiket választjuk például a szondás, a vízkutas, a horizontális kollektoros, stb. megoldások közül.

Általánosságban elterjedt értékelés szerint a vertikális földhőszondás (a továbbiakban az angol rövidítést használva: BHE) primer hőnyerés, azért a legelfogadottabb, mert zárt rendszerben működik, környezeti kockázat a technológia telepítési szabályok betartása mellett nincs, fenntartható és hatékony működést eredményez. A BHE általában 50-200 m mély furatot jelent, változó átmérővel, amelybe műanyag csövet helyeznek el. Többféle szondatípus létezik: Magyarországon leggyakrabban a 40 mm átmérőjű U-alakú szondát alkalmazzák, míg például Németországban a dupla 32 mm-es típust telepítik rutinszerűen. Az utóbbi előnye, hogy teljesítménye 8-10%-kal jobb, mint a szimpla 40 mm-es szondáé, aminek magyarázata főleg az, hogy a dupla cső miatt kisebb a fúrólyuk-ellenállás értéke. A koaxiális szonda igen elterjedt Ausztriában. Ennek lényege, hogy az előremenő ág a visszatérő csőben helyezkedik el, és előnye a kisebb fúrási átmérő. Tari et al. (2011) modellezései szerint a dupla és tripla U-szonda teljesítménye közel azonos, vagy alacsonyabb, mint a szimpla szondáé. Csak a W-alakú szonda képes 19%-kal többet teljesíteni, mint az előbb említett típusok. Ennek oka a termikus interakció a csövek között. A 12. ábrán láthatók a különböző szondatípusok keresztmetszetei.



12. ábra: A BHE különböző típusainak keresztmetszete (VDI4640; Tari et al. 2011)

Tehát a szondacső által alkotott zárt rendszerben kering az ún. munkaközeg (például etilén-glikol, víz, szén-dioxid, propán, alkohol), amelynek keringtetésével valósul meg a szondában a hőtranszport. Lényeges szempont a folyadék áramlásának turbulens jellege, mivel ekkor jelentősen jobb a hőátadás. A Reynolds szám (Re=áramlási sebesség*jellemző hossz/kinematikai viszkozitás) egy dimenzió nélküli szám, amelyet az áramlás- és a hőátadástanban alkalmaznak. Ez alapján dönthető el, hogy az áramlás lamináris vagy turbulens. Abban az esetben lesz turbulens az áramlás, ha a Re>2320 – ilyenkor az áramlási ellenállás megnő.

A konvektív hőtranszfer együttható emiatt a következő egyenletek (Schlünder, 1983) segítségével határozható meg; az utóbbi a Dittus-Boelter korreláció (Dittus – Boelter, 1930):

$$\mathrm{Nu} = 1{,}61 \cdot \left(\mathrm{Re} \cdot \mathrm{Pr} \cdot \frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}} \right)^{1/3} \qquad (\mathrm{Re} < 2000) \qquad (9)$$

$$\mathrm{Nu} = 0{,}116 \cdot \left(\mathrm{Re}^{2/3} - 125 \right) \cdot \mathrm{Pr}^{1/3} \cdot \left[1 + \left(\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{L}} \right)^{2/3} \right] \qquad (2000 < \mathrm{Re} < 10000) \qquad (10)$$

$$\mathrm{Nu} = 0{,}023 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}8} \cdot \mathrm{Pr}^{1/3} \quad (\mathrm{Re} > 10000) \qquad (11)$$

ahol

Nu: Nusslet-szám

D: a cső belső átmérője és *L*: a cső hossza.

Az alkalmazott modell figyelmen kívül hagyja a fluidum hőkapacitását, így az energiamérleg a következőképpen alakul:

$$m_w \cdot c_{pw} \cdot \left(T_{w,in}(j) - T_{w,out}(j)\right) = 2\pi r_i \cdot \alpha \cdot \Delta z(j) \cdot \left(T_w(j) - T_p(j)\right) \qquad (12)$$

ahol

m_w: fluidumáram a vizsgált csőben

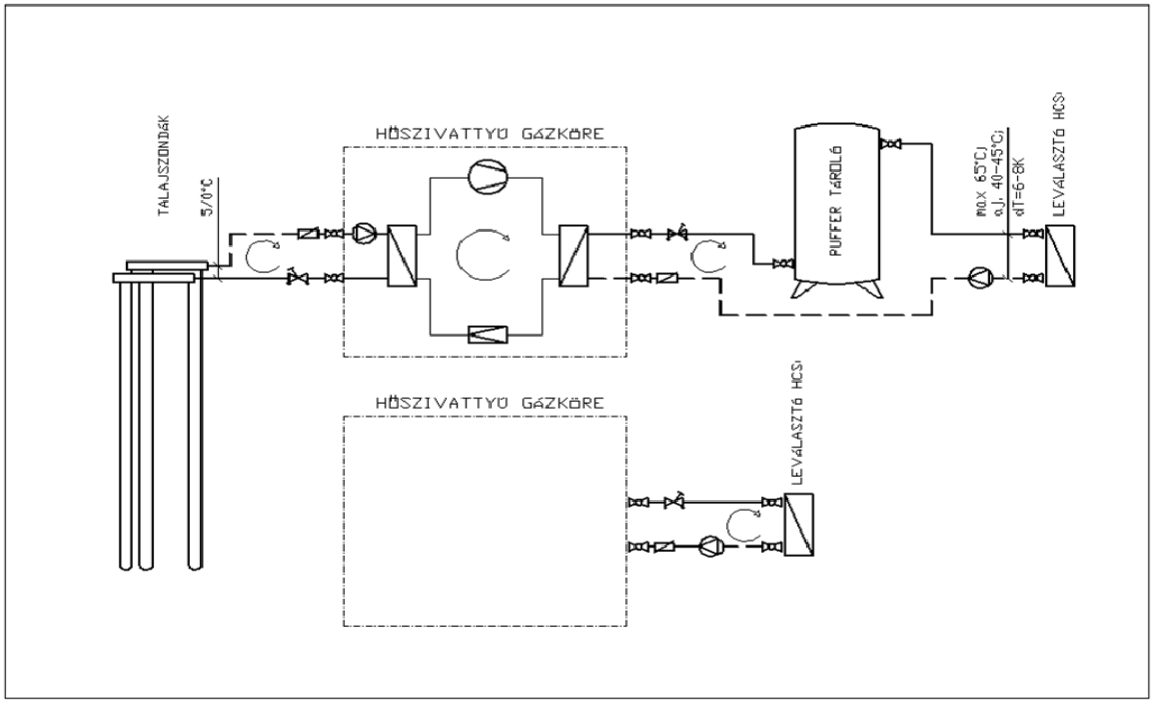
c_{pw}: a fluidum fajhője

$T_{w,in}$, $T_{w,out}$ és T_w:befolyó, kifolyó és az átlag vízhőmérséklet a vizsgált csőben

T_p : cső átlagos hőmérséklete a cső belső felületén

α : a konvektív hőáramlási együttható.

Egy általános BHE hőszivattyús rendszer kapcsolását mutatja a 13. ábra.



13. ábra: Talajszondás hőszivattyús rendszer elvi kapcsolása

2.5.1 Kisteljesítményű BHE rendszerek 30kW-ig

A BHE földhő „kalkuláció” ebben az esetben a helyszín geológiai adatainak gyűjtésére és elemzésére épül. A BHE fúrás előtt a lehetséges „adatgazdáktól” (MÁFI, VITUKI, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal mélyfúrási adattára, regionális vízügyi hatóságok adattárai) a területre jellemző általában 100 méteres mélységre vonatkozó rétegsor adatokat gyűjtik. A rétegsor, a rétegvastagságok, valamint a különböző kőzetanyagok ismeretében ezek hővezetési tényezőjének felhasználásával lehet egy várható földhő kapacitást számítani az

adott hosszúságú BHE-re. Átlagos hővezetési tényező adatokat tartalmaz a 4. melléklet, és specifikus hőelvonási rátát a 2. táblázat.

2. Táblázat: Termofizikai tulajdonságok (VDI4640)

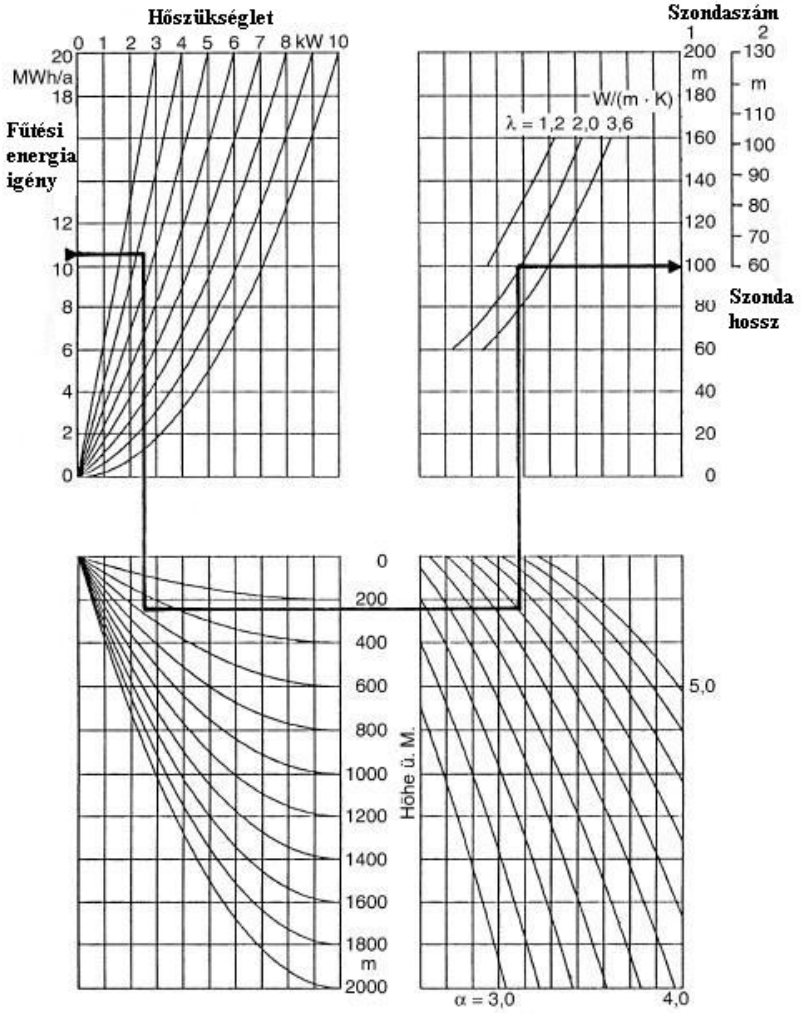
Felszín alatti környezet	Specifikus hőextrakció 1800 h	2400 h
Általános iránymutató értékek:		
Gyenge hővezetőképességű rétegek (száraz szediment) (l < 1.5 W/(m · K))	25 W/m	20 W/m
Normál kőzetek és vízzel telített szediment (l < 1.5–3.0 W/(m · K))	60 W/m	50 W/m
Konszolidált kőzet magas hővezetőképesség értékkel (l > 3.0 W/(m · K))	84 W/m	70 W/m
Kőzetek:		
Száraz kavics, homok	< 25 W/m	< 20 W/m
Vízzel telített kavics, homok	65–80 W/m	55–65 W/m
Kavicsban és homokban erős felszín alatti vízáramlás	80–100 W/m	80–100 W/m
Nedves agyag, iszap	35–50 W/m	30–40 W/m
Mészkő	55–70 W/m	45–60 W/m
Homokkő	65–80 W/m	55–65 W/m
Szilikátos magmatit (pl. gránit)	65–85 W/m	55–70 W/m
Alap magmatit (pl. bazalt)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gneisz	70–85 W/m	60–70 W/m
Az értékek jelentősen eltérhetnek a kőzetszerkezettől függően (repedések, palás szerkezet, erózió, stb)		

A hővezető-képesség illetve a kinyerhető hőteljesítmény nemcsak a kőzetek ásványos összetételétől függ, hanem befolyásolja a porozitás, a vízzel való telítettség is. Kedvező, ha a pórusokban van vízáramlás, mert ilyenkor a hővezetés mellett hőáramlás is zajlik. Ebből következik, hogy a laza, magas talajvízállással jellemezhető nagy porozitású üledékek a legideálisabb közegek a földhőszondák létesítésére. Ebből a megállapításból következik, hogy hazánkban a szondás rendszerek telepítésének tekintetében osztályozni lehet a területeket:

- Kedvező feltételek: Alföld, Kisalföld
- Még elfogadható feltételek: miocén vagy oligocén laza törmelékes üledékes kőzetekből felépülő domblábi területek
- Kedvezőtlen feltételek: idősebb üledékes kőzetekből felépülő dombsági, hegységi területek, magmás, metamorf területek, kavicsos-görgeteges hordalékkúpok (Bálint et al., 2011).

Kis rendszerek esetén előzetes becslésre használható a 14. ábrán látható Stadler-nomogram: a beépített fűtési teljesítmény és az éves kalkulált energiaigény függvényében

meghatározható az ábra első mezőjében a kiindulási fűtési görbénk. Számításba kell venni a tengerszint felett magasságot, amely alapján a negyedik mezőben a felszín alatti közeg hővezető-képesség értékének függvényében meghatározható a szükséges szondaszám és mélység (Seidl, 2007).



14. ábra: Stadler-nomogram (VDI4640 szerint)

Ezeket a „kalkulációkat” pontosíthatja az alapos fúrási rétegsor feljegyzés a fúrómestertől a tényleges fúráskor, vagy az első BHE fúrásakor a szonda beépítése előtt elvégzett geofizikai szelvényezés. Ezzel az elektromos vezetőképesség- és radioaktív szelvényezéssel a pontos réteghatárok kijelölhetők, és a hővezetésben intenzívebb víztartó rétegek határozhatók meg. Példának az 5. mellékletben található egy geofizikai szelvény.

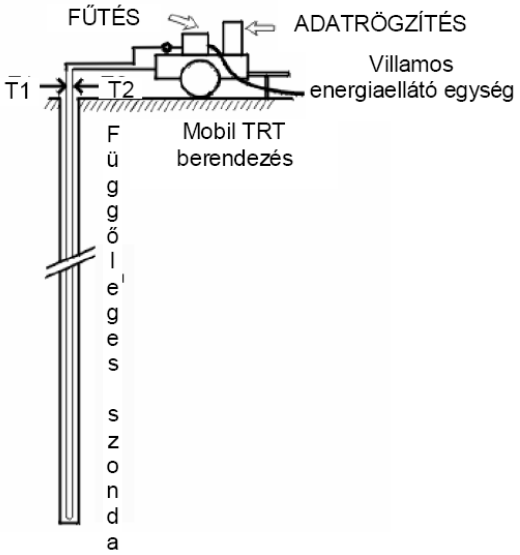
Természetesen ezzel az adott BHE hőszivattyús beruházás költségei nőnek, de az esetleg feleslegesen megfúrt BHE méterek száma és költsége csökkenhet. Általános gyakorlat szerint 1-2 darab szondához csak geológiai adatelemzés és kalkuláció történik, 5-6 darab BHE esetén

érdemes megvizsgálni a geofizikai szelvényezés információs hasznát, különösen nehezen fúrható kemény kőzetek, drágább fúrási technológiai igény esetében.

2.5.2 Nagyobb teljesítményű BHE rendszerek 30kW felett

A szondateszt alkalmazását számos kutató ajánlja, viszont a VDI4640 sz. szabvány a 30kW teljesítmény feletti nagy rendszerek esetén elő is írja. Alkalmazzák a későbbi ellenőrzés miatt is, ún. monitoring furatokban a későbbi ellenőrzés céljából.

Már 1995-ben mobil TRT berendezést fejlesztettek a Luleå Technical University laboratóriumában, amely alkalmas volt a szondákban, ill. furatokban létrejövő hőcsere meghatározásához 10m-től 100m-es mélységekben (Gehlin and Nordell, 1997). Ettől független, de hasonló fejlesztés volt korábban az Oklahoma State University laboratóriumában, 1966-ban. Németországban az első TRT berendezést 1999-ben próbálták ki először eredményesen (Sanner et al., 2000).



15. ábra: TRT mobil szondateszt elvi felépítése (Forrás: Sanner et al., 1999)

Magyarországon irányításommal a HGD Kft. állított össze eljárási javaslatot a szondatesztek gyakorlati alkalmazására. A szondateszt gyakorlatilag egy megbízható eljárás a talaj hőbefogadó és hőleadó képességének megállapításához. A mérési adatok birtokában a jellemző hővezetés matematikai összefüggésekkel is meghatározható, és ennek révén számítható a hőszivattyú kapacitásához szükséges szondaszám.

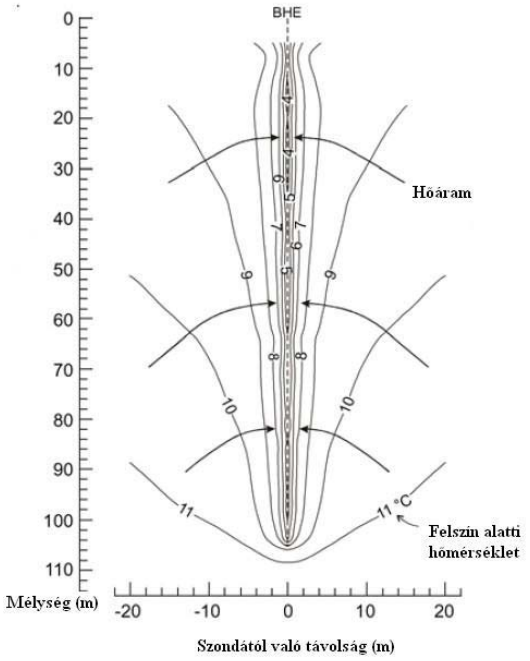
Sok vita folyt a teszt elvégzéséhez szükséges és elegendő időtartamról. A kutatók a rövidebb, és a hosszabb időtartamok mellett is érveltek (Spitler et al., 1999). Az elemzések alapján végül is a szakemberek a min 48 órás időtartamot tartották a leginkább

megbízhatónak. Az időtartamot Gehlin és Hellström (1997) a hővezető képességtől és a furat átmérőjétől tették függővé (nagyobb átmérőnél hosszabb tesztelési időt javasoltak).

Spitler (1999) 5%. ill. 15% eltérést talált a hővezető-képességben, ha pl. 50, ill. csak 20 órás volt a teszt. További vita volt a teszt reprodukálhatósága. Sanner és munkatársai (2000) igen kis eltérést tapasztaltak a jól körülhatárolt megismételt tesztek között, pl. a vezetőképességre 0,02 W/mK (1,43, ill. 1,41 W/mK), de valamivel nagyobb volt a hőellenállás eltérése (17%). Az eredmény akkor egyértelmű, ha a vonalforrást minél inkább megközelítjük és a paraméteres eljáráshoz ragaszkodunk.

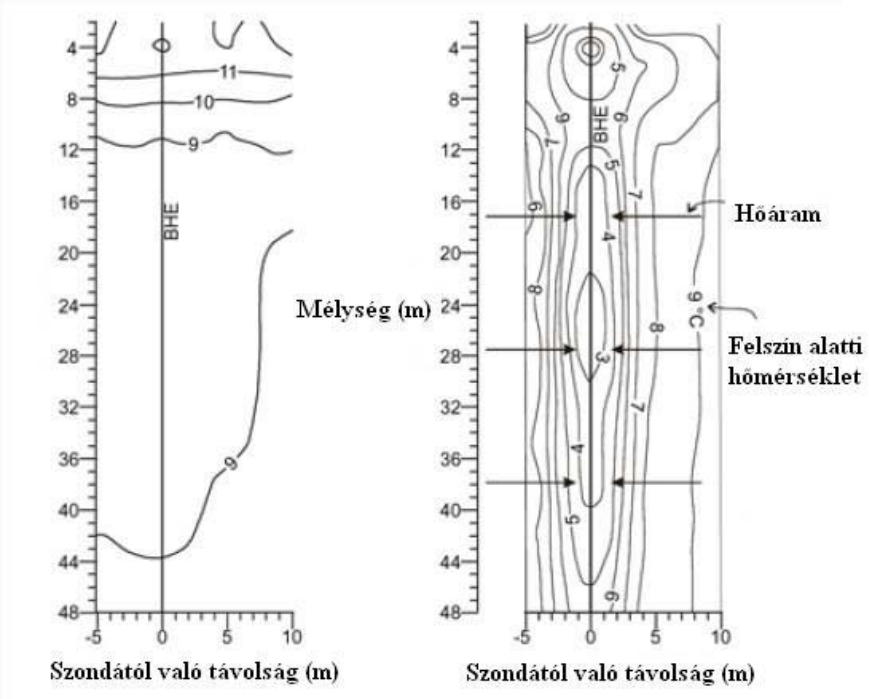
2.6 BHE rendszerek monitoring vizsgálatai

Az első monitorozott BHE rendszerek Európában már több évtizedes működésükről szolgáltatnak adatokat. A már megvalósult szondamezők mért adatai fontos segítséget nyújthatnak későbbi tervezések során. Rybach és Eugster (2002) számoltak be különböző rendszerek monitoring adatainak értékeléséről. Például egy zürich-i hőszonda méréséből kiderült, hogy a hőmérsékletmező jelentősen megváltozott a fűtési szezon végére (16. ábra).

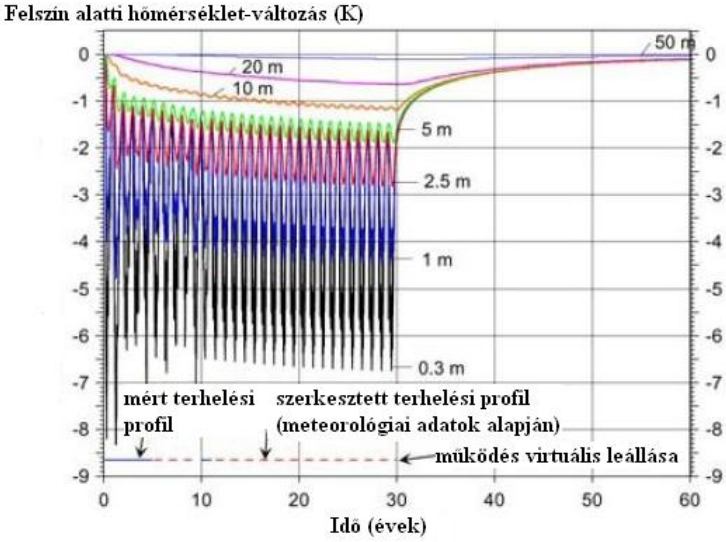


16. ábra: Téli félév végére kialakult indukált hőmérséklet- és hőárammező, Elg, Svájc (Rybach és Eugster, 2002)

Szintén az említett szerzőpáros vizsgálta a schwalbach-i rendszert, minek működése során a szonda felszín alatti környezte 6°C-ot csökkent (17. ábra). A nyugalmi hőmérséklet nem tudott a következő szezonra regenerálódni, minek következtében a működés évei során az ősszel mért talajhőmérséklet évről évre csökkent (18. ábra).

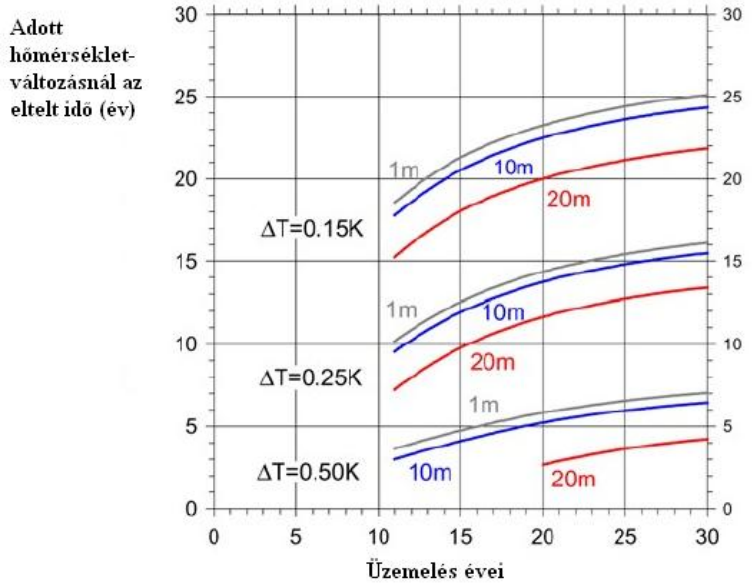


17. ábra: Szonda környezetében az eredeti és az indukált hőmérsékletmező (Rybach és Eugster, 2002)



18. ábra: Modellezett hőmérsékletcsökkenés és a működés utáni regenerálódás 50 m mélyen a szondától mért távolság függvényében (Rybach és Eugster, 2002)

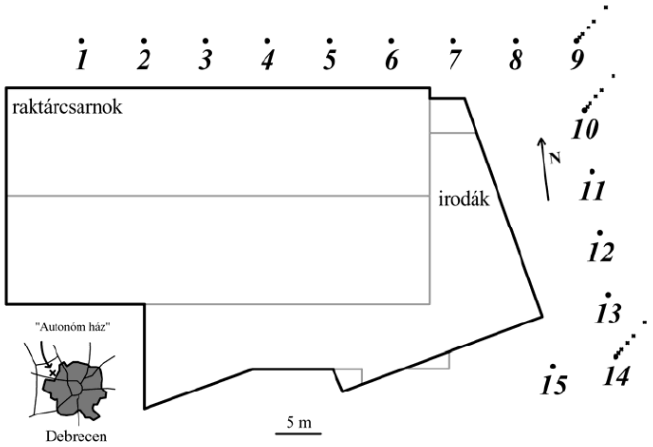
Megfigyelhető, hogy a nagyobb mértékű változások az üzemelés első éveiben következtek be. A működés leállítása után a hőmérséklet regenerálódása kezdetben gyorsan halad, majd ennek sebessége csökkent. Ez a visszatöltődési idő Rybach és Eugster (2002) szerint közel azonos az üzemelési idővel. Azonban a szondától távolodva ez a regenerációs idő gyorsabb (19. ábra).



19. ábra: A hőmérséklet regenerációja a működés, a szondától való távolság és a hőmérsékletváltozás függvényében (Rybach és Eugster, 2002)

Rybach és Eugster (2002) tanulmányából a legfontosabb konklúzió, hogy egy talajszondás hőszivattyús rendszer akkor fenntartható hosszú távon, ha a téli fűtési igény ellátása mellett a rendszert a nyári hűtésre is alkalmazzák.

A hőszivattyús rendszerek monitoringja kapcsán meg kell említeni a Debreceni Egyetem kutatását.

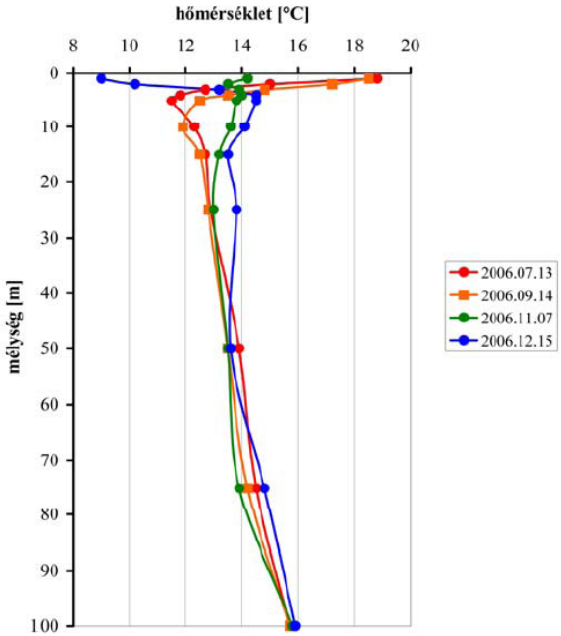


20. ábra: Az Ing-Reorg Kft. szondarendszere és a monitoring-pontok (Bálint et al., 2011)

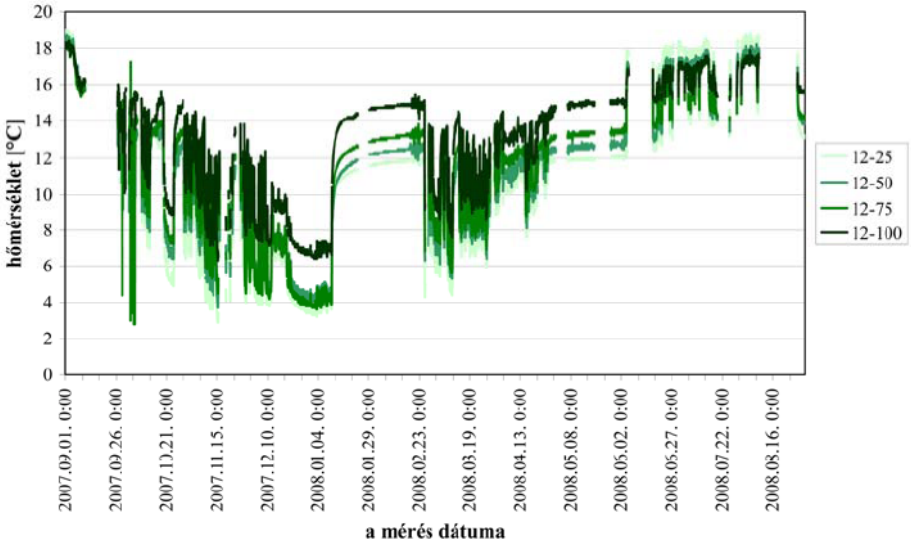
Az Ing-Reorg Kft. által üzemeltetett raktárépület fűtését, hűtését és használati melegvíz igényét két 16kW-os hőszivattyú látja el, aminek primer oldalán talajszondák és talajkollektorok találhatók, továbbá napkollektorok és egy hulladékhasznosító kazánt is üzembe helyeztek az igények ellátására. 15 szonda dupla 32 mm-es, további egy pedig szimpla 40 mm-es csőből készült, 9 BHE mélysége 50 m, a többié 100 m. A szondamezőt

monitoring-hálózattal látták el vertikálisan bizonyos mélységekben, és a távolhatást is vizsgálják három szonda környezetében (20. ábra).

A mérés eredményeiről a honlapjukon folyamatosan közzé teszik a jelentéseket. Fontos tapasztalataik közé tartozik például, hogy a felszíni 1-2 m-es rétegben a külső hőmérséklet jelentősen befolyásolja a felszín alatti hőmérsékletet, azonban 5 m mélyen a napi ingadozásokat már nem mutatták ki, de a szezonális hatás még érzékelhető, az eltolódás kb. 4 hónap. 10-15 m mélyen, ami általában Magyarországon a neutrális zóna határa, a meteorológiai viszonyok már nem befolyásolják a hőmérsékletet (21. ábra).



21. ábra: Ing-Reorg Kft.: hőmérséklet-adatok a mélység függvényében



22. ábra: Ing-Reorg Kft.: az egyik szondaköpenyben mért hőmérsékletek 25, 50, 75 és 100 méter mélyen (Bálint et al., 2011)

Fontos észrevétel, hogy intenzívebben jelentkeznek azok a hőmérsékletváltozások a szondák körül, amikor leállították a hőszivattyúkat, mint a bekapcsolási fázisok alatt (22. ábra). Ennek oka, hogy a „pihentetési” szakaszokban a felszín alatti szondakörnyezetnek van ideje regenerálódni (Bálint et al., 2011).

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A mérés és kiértékelés során alkalmazott összefüggések

3.1.1 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.

Hőszivattyús rendszerek tervezésénél probléma, ha a primer oldalból kinyerhető hőteljesítmény nagyberuházások esetén (30kW felett) is egy ökölszabály alkalmazásával kerül meghatározásra. Ez a rossz gyakorlat sajnos a hőszivattyús rendszerek túlméretezéséhez, ritkábban alulméretezéséhez vezetett, amely csökkenti a hőszivattyús rendszer hatásfokát, ill. növeli a beruházási és az üzemeltetési költségeket - az előzetes becslési eljárással számított szondahossz és az ezek alapján meghatározott szondaszám 25-40% hibalehetőséget is rejthet a helyi földtani viszonyok függvényében. Ezért minden 30 kW feletti hőszivattyús rendszerhez javasoljuk a geotermikus szondateszt (Thermal Response Test) elvégzését, hogy a hőszivattyús rendszer tervezése földtanilag sokkal megalapozottabb legyen.

Szondateszt elvégzésével tehát a szondamező kialakítása optimalizálható, így a későbbi hőszivattyús rendszer telepítése és működése nemcsak költséghatékony, de hosszú távon megbízható is lesz. A sekély geotermikus fúrásból kivehető hőmennyiség meghatározása az erre a célra kifejlesztett szondatesztelő berendezéssel történik.

Még a TRT megkezdése előtt érdemes regisztrálni az alapállapoti hőmérsékletet, majd a teszt első lépéseként a szondatesztelő berendezést összekötjük egy előzetesen telepített földhőszondával, amelyet folyadékkal teljesen feltöltünk. A beüzemelés első 30 percében fűtés nélkül keringtetjük a folyadékot, aminek mért hőmérsékletét a modellezés input paramétereként használhatjuk. A teszt során ezek után a folyamatosan fűtőpatronokkal melegített folyadékot (vizet) keringetjük és a hőmérsékletváltozást folyamatosan feljegyezzük. Ez a változás a földtani környezet tulajdonságaitól, különösen a hővezetési képességétől és az eltelt időtől függ. A teszt során regisztrálni kell a belépő és kilépő folyadék hőmérsékletét, a külső hőmérsékletet és a fűtési teljesítményt. Ugyanazon az elven, mint az alapállapot-felvételt, hasznos elvégezni a visszahűlés vizsgálatát is a szondateszt után. Ekkor a fűtés leállítása után 1-2-3 óra elteltével szintén meg kell mérni a profil menti hőmérsékletet, amiből a felszín alatti régió regenerációjának dinamikájára, jellegére lehet következtetni.

A mérés során néhány tényezőre különösen tekintettel kell lenni. Például fontos, hogy fúrás után „pihentessük” a furatot, és csak 4-5 nap várakozás után indítsuk el a mérést,

továbbá a TRT ideje szabvány szerint 48-72 óra. Amennyiben a mérést valamilyen okból kifolyólag újra kell kezdeni, a két teszt között várni kell hozzávetőlegesen 14 napot, ugyanis a felszín alatti régiónak vissza kell hűlnie az alapállapoti hőmérsékletére. Gondoskodni kell a mérőberendezés megfelelő szigeteléséről, ellenkező esetben a külső hőmérséklet változása jelentősen befolyásolni fogja a mért adatokat. Ennek a hatásnak kiszűrésére alkalmazzuk a külső hőmérséklet adatok összevetését a teszt során tapasztalt hőmérsékletváltozással. Gondoskodni kell arról, hogy a szondacsőre való rákötés során minél közelebb legyen a mérőberendezés a szonda már felszín alatti szakaszához, azaz minél rövidebb legyen a bekötés – ennek oka szintén a külső hőmérséklet hatásának minimalizálása. A fűtőpatronok áramellátásának folyamatossága, egy kb. 5%-os ingadozáson belüli tartása is fontos tényező. A 23. ábrán látható az általunk fejlesztett szondatesztelő berendezés.

23. ábra: A saját fejlesztésű TRT berendezés

3.1.2 Geotermikus szondateszt menete a gyakorlatban

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:

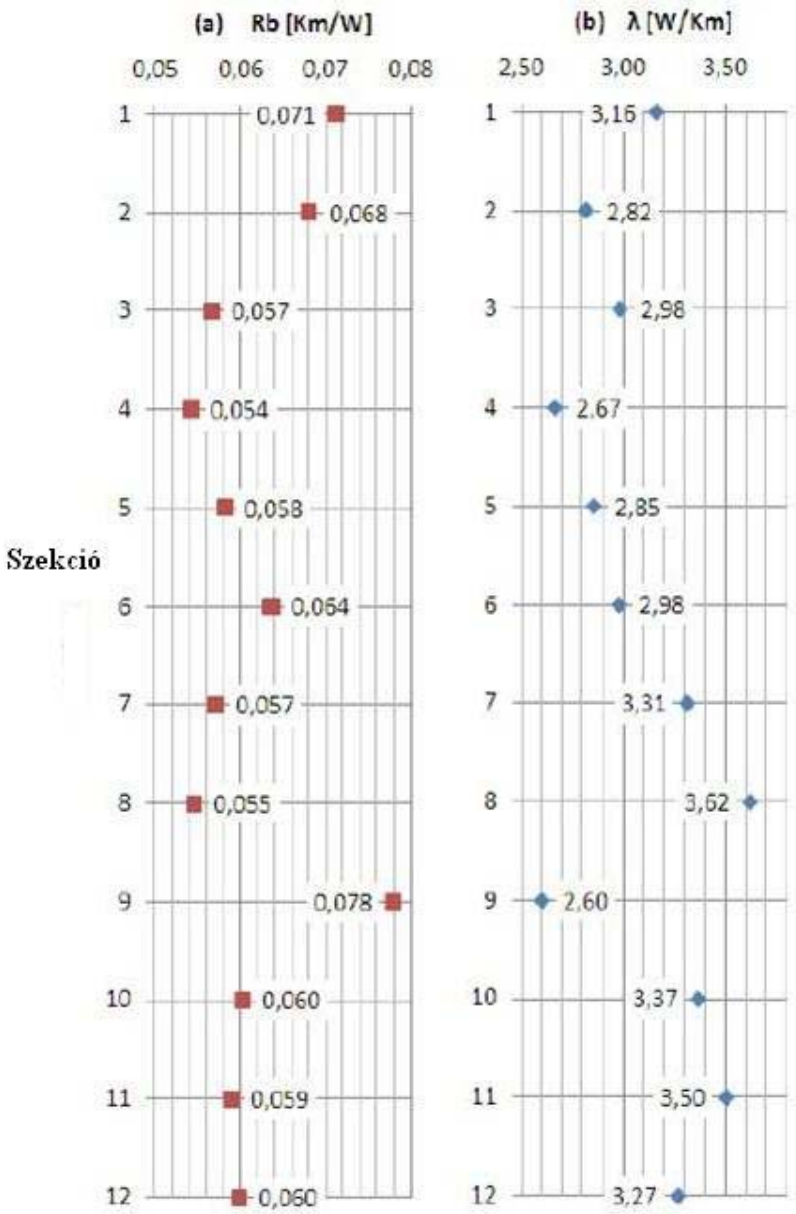
a. termikus fúrólyuk ellenállás (R_b) és a talaj hővezető-képességének (λ) meghatározása
b. hőmérsékletprofil alakulásának értelmezése

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.

3.2 Egyéb alkalmazott mérési módszerek

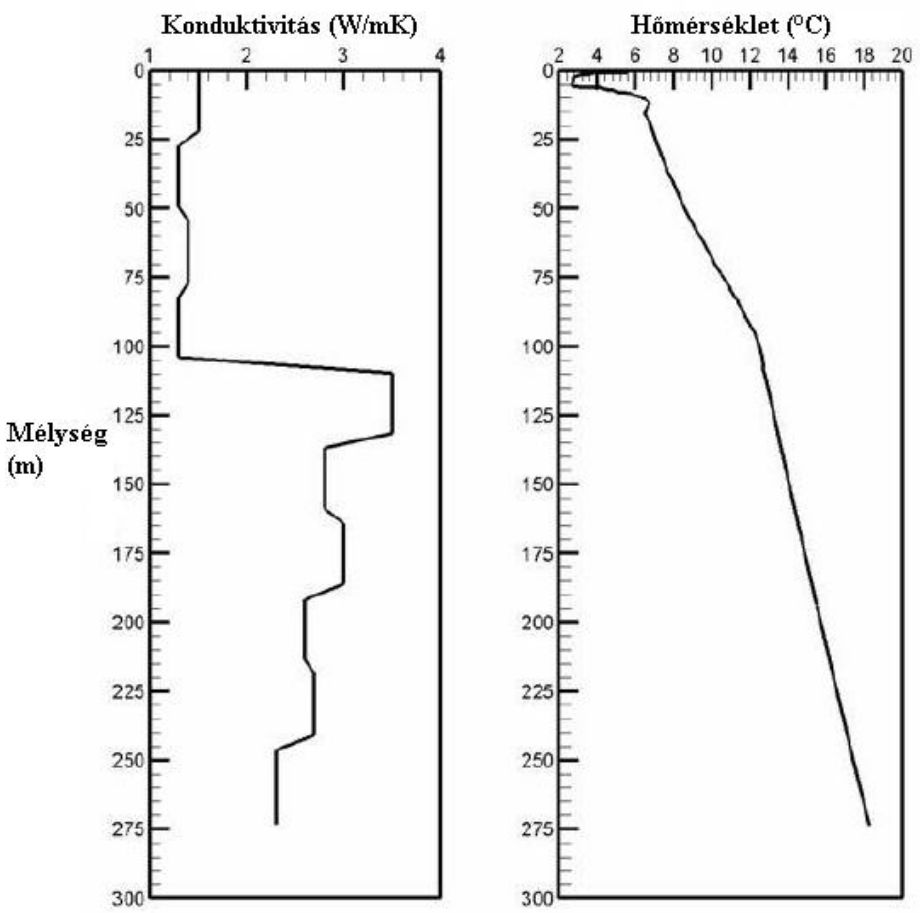
A fentiekben ismertetett Thermal Response Test mellett egyéb alkalmazott szondateszt mérési módszerek is léteznek.

„Distributed TRT”: Fujii et al. (2007) előadása szerint a felszín alatti vízáramlás sebességének növekedésével a hőátadás mértéke és a hővezető-képesség is javul, viszont ezt a kapcsolatot nem lehet vizsgálni terepi mérések nélkül. A szerzők a hővezető-képesség vertikális eloszlásának értékelésére üvegszálas optikai hőmérsékletmérőket alkalmaztak: a szenzort a furatban a szondacsövek közé helyezték el. Vizsgálataik során azt az eredményt kapták, hogy a hővezető-képesség megoszlása jól egyezik a mért felszín alatti vízáramlás sebességével. Acuna et al. (2010) szintén alkalmazták az üvegszálas optikai kábeleket szimpla U-alakú illetve koaxiális szondákban egyaránt, azaz a szondacsőben vagy a csövön kívül a furatban mérték a szelvény mentén a hőmérsékleteket a lyuktalpig. Ezeket az adatokat felhasználták „distributed TRT” méréshez, amely lehetőséget adott arra, hogy a szondateszt során ne csak egy a fúrólyukszelvényre jellemző hővezető-képesség értéket kapjanak, hanem azt meg tudják határozni adott mélységenként: tehát a mélység szerint kalkulálhatóvá vált a hővezetőképesség-profil (24. ábra). Vizsgálatuk során egy vízzel telt fúrólyukban helyeztek egy szondacsövet, amelyet elméletben 12 szakaszra bontottak a mélység szerint, és mindegyikben meghatározták a hővezető-képességet és a fúrólyuk-ellenállást az Ingersoll-egyenlet használatával. A kapott λ értékek átlaga jó egyezést mutat a szintén elvégzett hagyományos TRT eredményével, azonban az R_b értékek eltérnek. Ennek oka valószínűleg a hagyományos TRT során alkalmazott kevésbé pontos folyadékhőmérséklet.



24. ábra: A fúrólyuk-ellenállás és a hővezető-képesség a mélység függvényében (Acuna et al. 2010)

„Enhanced TRT”: A szondatesztnek e változata nagyon hasonló a fent részletezett dTRT eljáráshoz. Ennek lényege is az, hogy ne csak egy átlagértéket határozzanak meg a hővezető-képességre, hanem a szelvény teljes hosszán a mélység szerint kalkulálják azt. Ehhez az szükséges, hogy a TRT mérés elvégzése előtt, közben és után is regisztráljuk a hőmérsékletprofilt (Mégel et al. 2010). A kapott hővezetési profil előnye tehát, hogy megfelelő hőmérséklet és konduktivitás értékeket kapunk a kiértékelés során a különböző mélységekre, amelyeket a méretezés során input paraméterekként hasznosíthatunk (25. ábra). Továbbá az eTRT módszerrel azonosíthatók a jó vízadó-képességű rétegek, amelyek növelik a λ értékét.



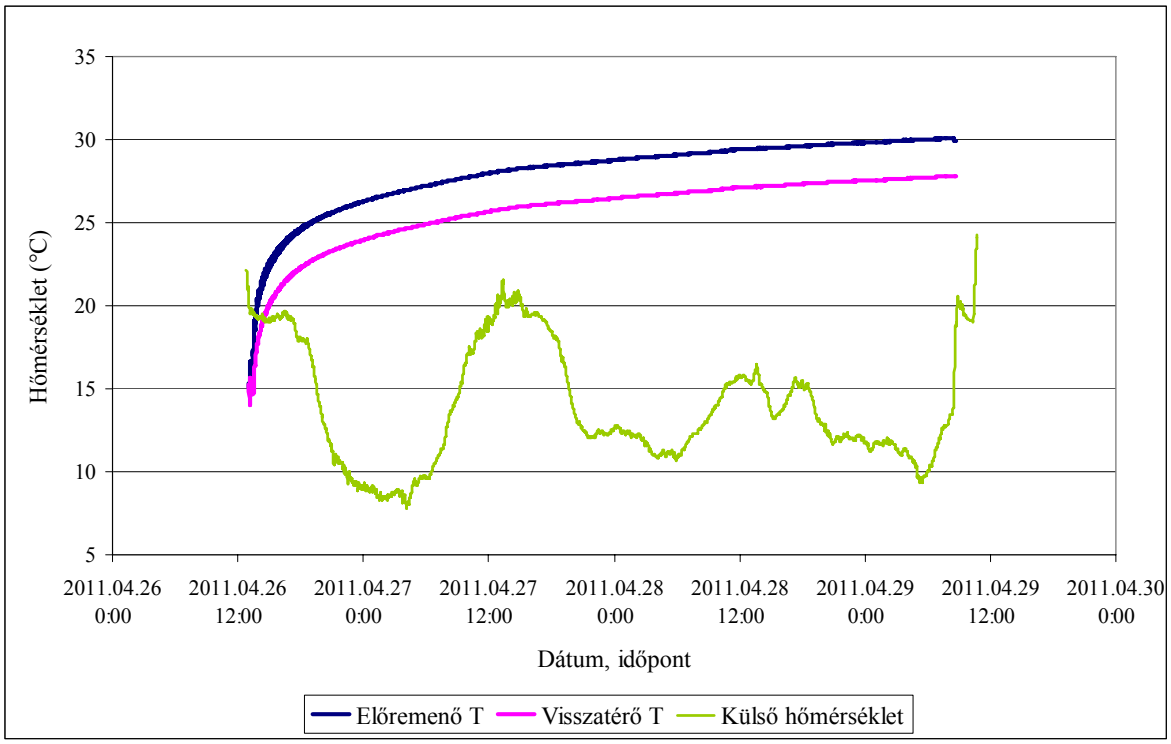
25. ábra: ETRT során kapott eredmények (Mégel et al. 2010)

„TRT while drilling”: A szondateszt a fúrás során is elvégezhető. Gustafsson és Nordell szerint is a hővezető-képesség minden kőzettípusra más és más, ami az ásványos összetételnek, a porozitásnak, a pórusfolyadéknak és az anizotrópiának köszönhető, azaz meghatározására a legjobb megoldás az in situ mérés. 2003-ban Tuomas és munkatársai javasoltak egy TRT módszert, amellyel a fúrás során lehet mérni, és egyszerűsítheti a talajtulajdonságok értékelését. Ebben az eljárásban a hőtranszfer a fúrás során felszabaduló hőből analizálható. A módszer előnye szintén az, hogy a mélység szerint folyamatosan szolgáltat hővezető-képesség értékeket, illetve hogy alkalmazásával idő takarítható meg. Hátránya viszont, hogy a fúrólyuk-ellenállás meghatározására nincs lehetőség.

Meg kell említeni továbbá az ún. **hűtési teszteket** is. A módszer lényege, hogy a mérés során nem felmelegítik a talajt, mint a korábban említett eljárások során, hanem lehűtik azt, például egy hőszivattyú segítségével. Ez a típusú teszt nem elterjedt (de alkalmazzák, például Hollandiában), mivel könnyen lefagyaszthatják a szonda felszín alatti környezetét, minek következtében a cső sérülhet. Továbbá ez a módszer sokkal érzékenyebb a teljesítményváltozásokra is, mint a hagyományos TRT.

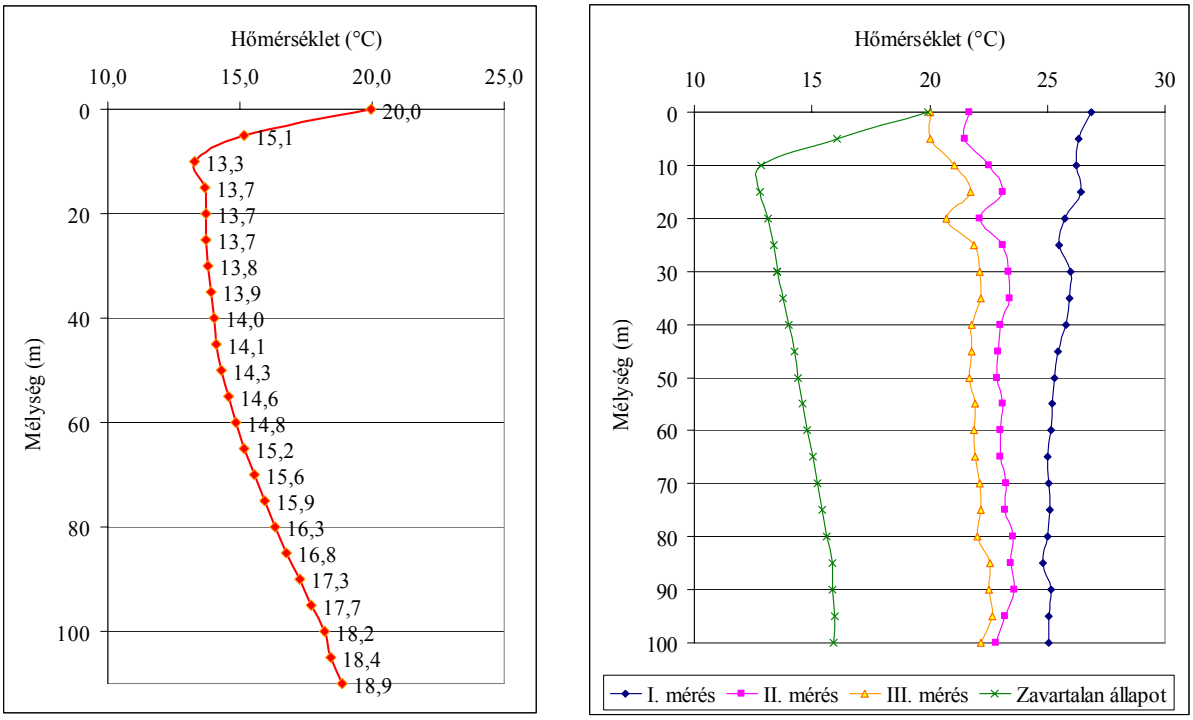
3.3 Mérési adatok gyűjtése

Ahogy a 3.2.1. fejezetben már említettem, a Thermal Response Test megkezdése előtt érdemes regisztrálni a szondában mélység szerint a zavartalan hőmérsékletet (27. ábra) – a mért adatból már lehet következtetni a későbbi működés lehetőségeire (például 16°C felett csökken a passzív hűtés esélye). A tesztelő-berendezés összeszerelését követően az első 30 percben fűtés nélkül keringtetjük a folyadékot, aminek mért hőmérsékletét a modellezés input paramétereként használhatjuk.



26. ábra: A TRT során kapott adatok ábrázolása

Majd fűtjük a keringtetett folyadékot, és a teszt során regisztrálni kell a belépő és kilépő folyadék hőmérsékletét, a külső hőmérsékletet és a fűtési teljesítményt. Hasznos elvégezni 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, amiből a felszín alatti régió regenerációjának jellegére lehet következtetni. Különböző mért adatsorokat mutat be a 26. és a 27. ábra.



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

3.4 Mérőműszerek

Ahogy a korábbiakban leírásra került, a TRT mérésekhez a földhőszondákban keringtetett víz belépő és kilépő hőmérsékletét mérjük az idő függvényében. Mérjük a víz felfűtéséhez szükséges elektromos fűtőbetét(ek) teljesítményét folyamatos és egyenletes áramellátás és feszültség-stabilizátor mellett. Mérjük a külső hőmérsékletet és a tömegáramot a földhőszondában.

A szondatesztekhez a következő típusú és műszaki paraméterű mérőműszereket alkalmazzuk:

- DA-S-R3 3 csatornás hőmérséklet és impulzus adatgyűjtő: 3 csatornás hőmérő, IP68 védelem, 18 mm-es külső átmérőjű fémtok, rozsdamentes acél, 0,1°C-os pontosság, RCA csatlakozás, kb. 3x20000 mérési adat – az előremenő és a visszatérő ág hőmérsékletének mérésére
- DA-S-4TRB 118 hőmérsékletregisztráló: 1 csatornás hőmérő, IP68 védelem, Ø 18x80 mm-es hőérzékelő tokozása, 0,1°C-os pontosság, hőmérsékletmérési tartomány: 0 – + 50°C, működési hőmérséklet: -25 – + 70°C, rozsdamentes acél, 0,25 kg, RCA csatlakozás, 64 kByte adatmemória – alapállapot rögzítésére
- DA-TIC 127 hőmérséklet távadó + akkumulátor: az adatokat SIM kártya segítségével adott mobilszámra küldi a beállított mintavételi sűrűséggel

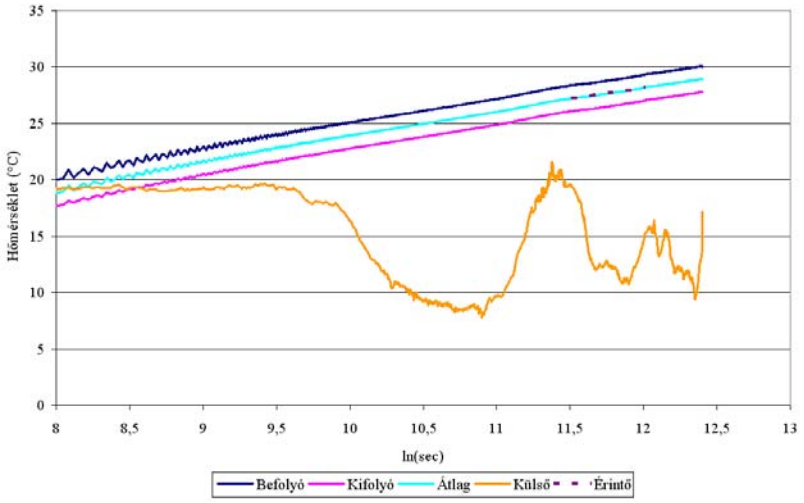
- DA-S-TRC 260 hőmérsékletregisztráló: a környezeti hőmérséklet mérésére
- DA-S-GSMDM-v20 – modem
- Számítógépes adatgyűjtő és feldolgozó rendszer: DATAQUA SMARTADMIN, Verzió: F252, F-2620, GSM, GPRS

3.5 A mérési eredmények elemzése, kiértékelése

A Thermal Response Test kiértékelésének több módja is ismert. A **Kelvini-vonalforrás módszerrel („line source")** végzik Magyarországon általában a szondateszt eredményeinek, azaz a hőmérsékletgörbének a kiértékelését. Az ún. ekvivalens hővezetőképesség (λ) a hővezetés differenciálegyenletének megoldásával kapható az alábbi képlet szerint:

$$T_f(t) - T_0 = \frac{q_c}{4\pi\lambda}\left(\ln\left(\frac{4\alpha t}{r_b^2}\right) - \gamma\right) + q_c \times R_b = \frac{q_c}{4\pi\lambda}\ln(t) + q_c\left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda}\left(\ln\left(\frac{4\alpha}{r_b^2}\right) - \gamma\right)\right] \quad (13)$$

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]



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

A 28. ábrán a semilog diagramon ábrázolt mérési adatok láthatók a logaritmikus skálán ábrázolt eltelt idő függvényében. A hőelnyeletési teszt kiértékelése a hővezetés differenciálegyenletének a feladat diktálta kezdeti- és peremfeltételekkel történő megoldása. 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 mérések statisztikus szórását simítandó a $\Delta\ln(t)/\ \Delta T$ érték helyett az adott görbeszakaszra illesztett egyenes meredekségét használjuk. Az elmélet szerint az érintő az idő előrehaladtával változik, egyre kevésbé meredek lesz. Az így számolt egyre magasabb hővezető-képességek egyre valószínűbbek. Ugyanakkor célszerű viszonylag hosszabb szakaszra egyenest illeszteni a hiba csökkentése végett, tehát nem lehet csupán az utolsó néhány(száz) másodpercet figyelembe venni. El kell kerülni azokat a görbeszakaszokat, amelyek a feszültségingadozások miatt nem egyenletesek. Az illesztett érintők alapján kapjuk meg a hővezető-képesség értékét.

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):

$$T_f(t) = T_0 + \Delta T(r_b, t) + \frac{Q}{L} \cdot R_b = T_0 + \frac{Q}{L \cdot 4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln\left(\frac{4\kappa t}{r^2}\right) - \theta \right) + \frac{Q}{L} \cdot R_b \qquad (14)$$

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:

$$R_b = \frac{H}{Q}(T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda}\left\{ \ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r^2}\right) - 0{,}5772 \right\} \qquad (15)$$

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)

A **hengerforrás módszerrel („cylinder source”)** is kiértékelhetők a Kelvini vonalforrás elmélet mellett a szondateszt során mért adatok (GeoLogik TRT, 2010). Ekkor a hőmérsékletkülönbségre ($\Delta\vartheta$) felírható egyenlet a következő:

$$\Delta\vartheta(r,t) = \frac{Q_H}{2\pi}\left(R_B + \frac{1}{\lambda}\int_{\sqrt{\frac{r^2}{2\alpha t}}}^{\infty} \frac{e^{-u^2}}{u} I_0\left(u^2\right) \mathrm{Erf}\left(\frac{L}{2r}\frac{u}{\sqrt{2}}\right) du \right) \qquad (16)$$

Ahol:

Q_H: hőáram

R_b: fúrólyuk-ellenállás

λ: átlagos hővezetési tényező (W/mK)

a: termikus diffuzivitás (átlagos hővezetési tényező/fajlagos hőkapacitás)

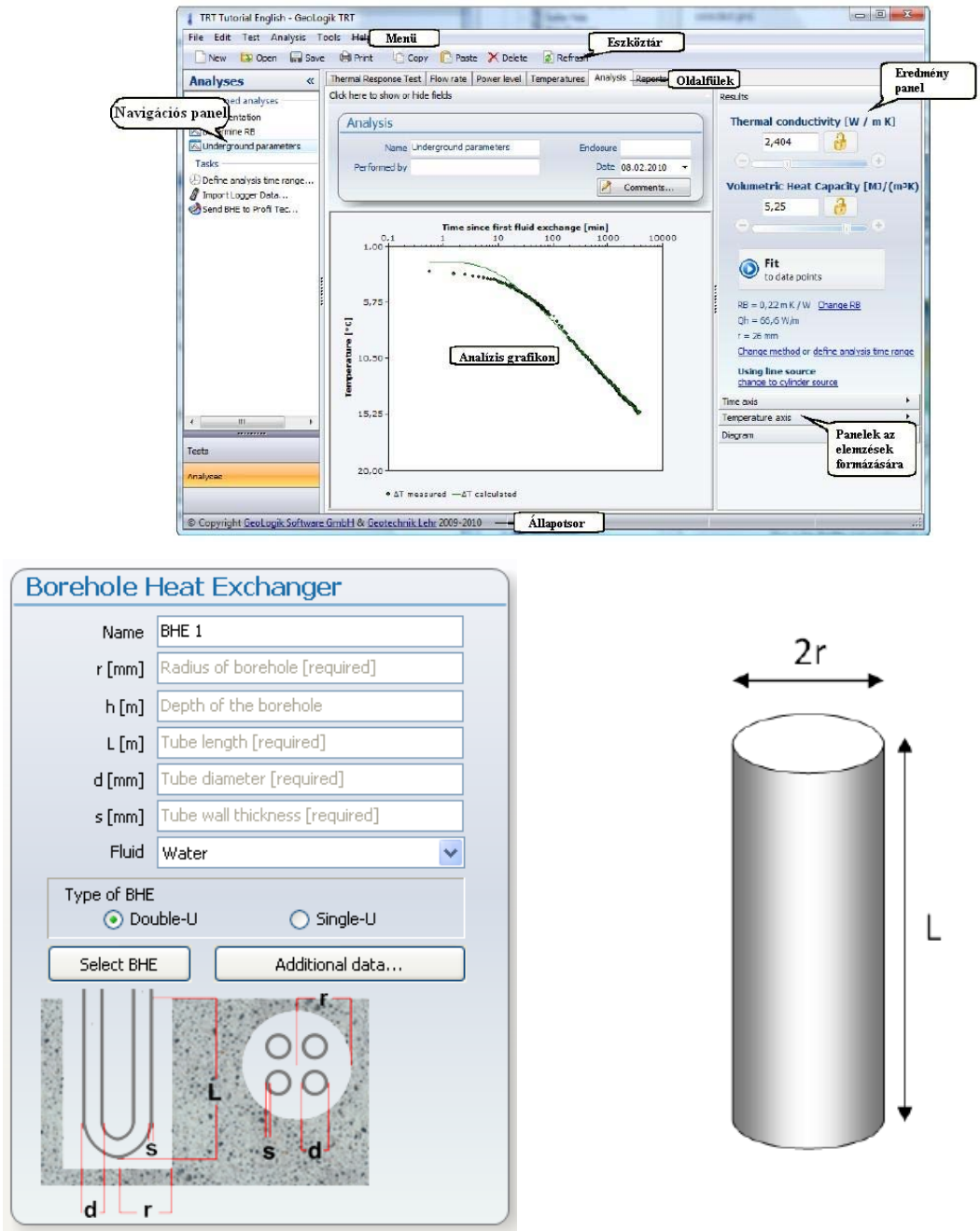
I_0: módosított Bessel-függvény 0. parancs

Erf: Gauss hibafüggvény

L: henger hossza

Különböző szoftverek is rendelkezésre állnak a szondateszt kiértékelésére, munkáink során például mi is alkalmazzuk a **GeoLogik TRT Analysis** német szoftvert (29. ábra). Ennek használata az analitikai kiértékeléssel összehasonlítva sokkal gyorsabb, pontosságuk nagyjából megegyezik. Előnye, hogy a bemenő adatok könnyen változtathatók, és az új kalkuláció gyorsan lefuttatható. A program egyaránt képes kezelni a vonal- és a hengerforrás-elméletet is.

Más programot, a **GERT-CAL-2-0-10.**-et alkalmazza például a GEORT Kft., ennek segítségével határozzák meg több eljárás szerint a hővezető-képességet és a fúrólyuk-ellenállást. Különlegessége a paraméterbecslés és a lépcsőzetes, ún. „step-wise” kiértékelés, amely lehetővé teszi az eredmények kvalitatív hibabecslését és annak megítélését, hogy a tesztelés megfelelő volt e (Németh és Böjthe, 2009).



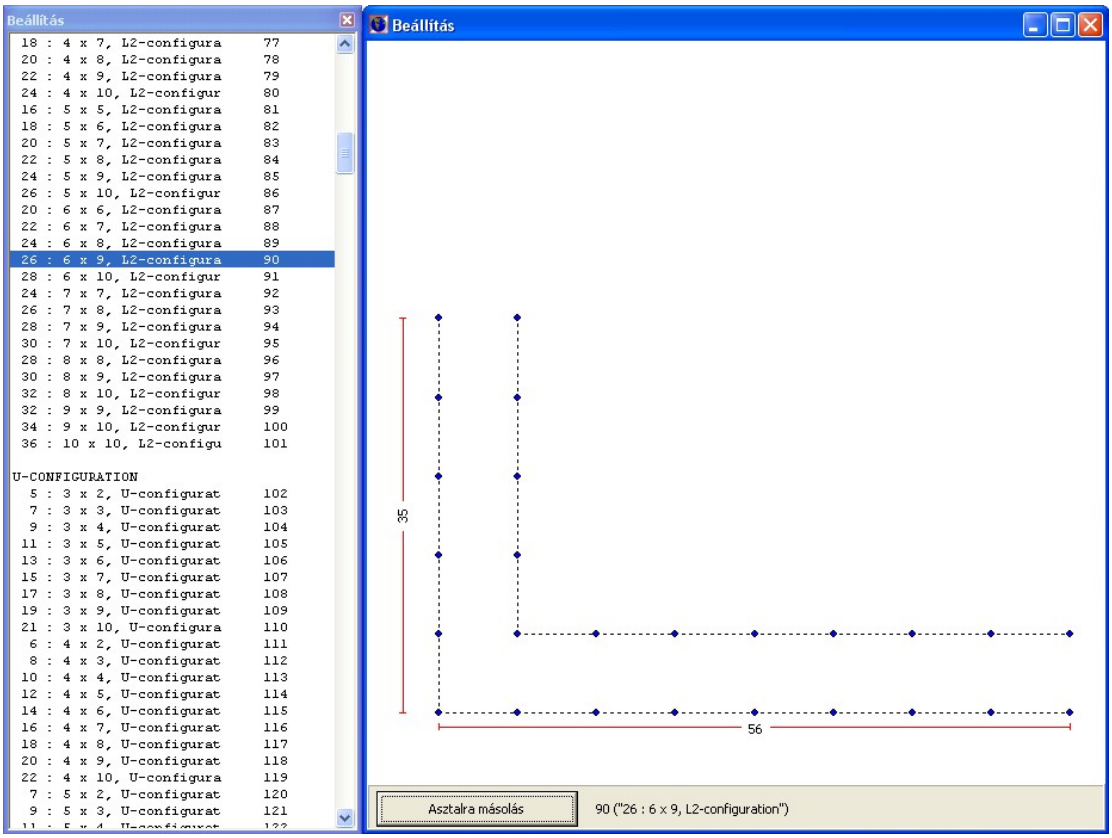
29. ábra: A GeoLogik szoftver és a hengerforrás modell

3.6 Potenciál meghatározása modellezéssel

3.6.1 Az EED méretező szoftver elvi alkalmazása

A geotermikus szondatesztből kapott eredmények kiértékelése után az EED (Earth Energy Designer) program segítségével végezhető a modellezés, amelyet rutinszerűen alkalmaznak Európában hasonló projektekhez. Az EED szoftver csomagot a Justus-Liebig Egyetem és a svéd Lund Egyetem Matematika-fizika kara közösen fejlesztette ki. Az alkalmazott algoritmusok numerikus szimulációs modellezési és paraméterezési tanulmányokból származnak, melyek analitikus megoldással szolgálnak a hőáramra számos elrendezés és

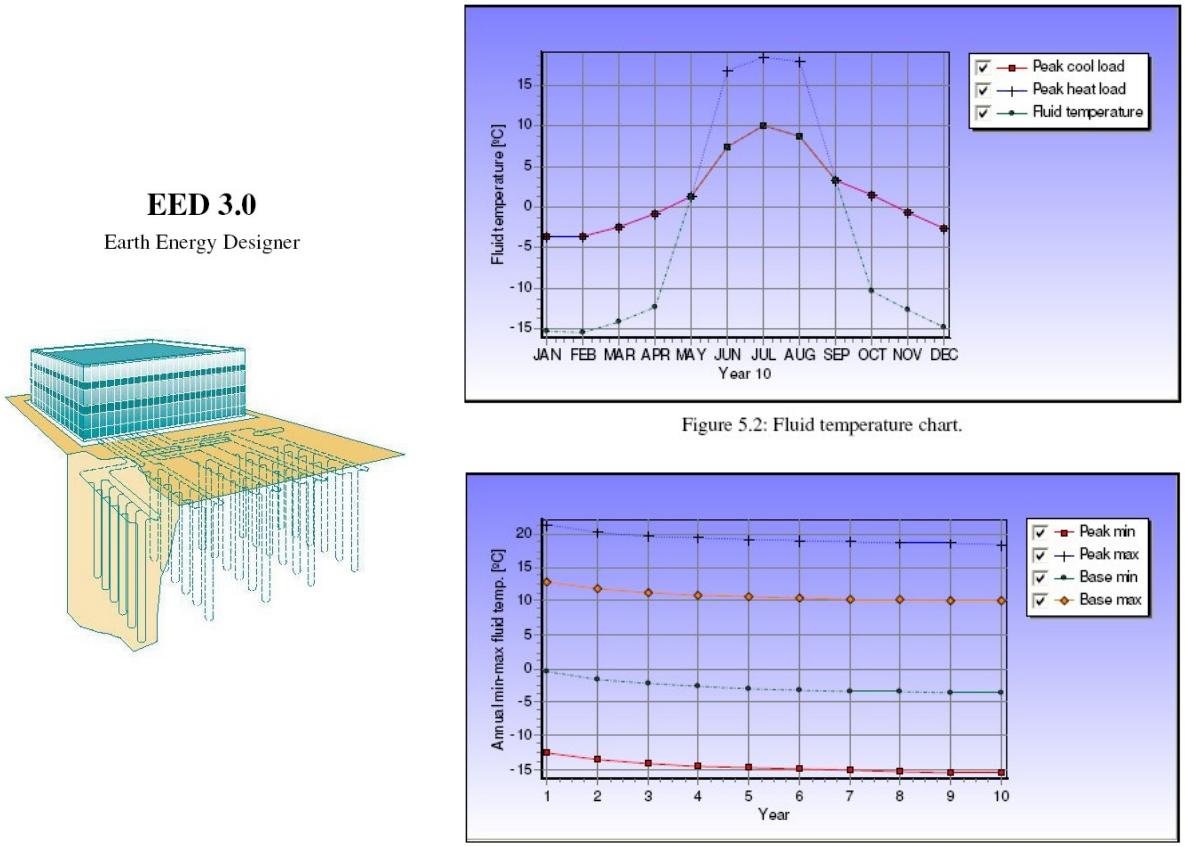
geometriai kialakítás (g-funkció) esetére. Ezek a g-funkciók a furatok közti távolságtól és a furatmélységtől függnek. A numerikus szimulációból megkapott g-funkció értékeket az EED program tartalmazza (EED 3.0: User manual, 2008). A munkaközeg hőmérsékletének kalkulációja havi fűtési/hűtési terhelések 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 havi átlagos fűtés és hűtési terheléseket input adatként be kell táplálni a szoftverbe a modellezés kezdetén, továbbá meg kell adni a csúcsterhelések mértékét is. A fúrólyuk-ellenállást is számolja a program a furatgeometria, a tömedékelőanyag, a csőanyag és geometria alapján. A szondamező mintázatát szabadon lehet választani az adatbázisban található 798 lehetőség közül.



30. ábra: Példa az EED-ben található konfigurációkra

Az EED-ben számtalan variációs lehetőség kínálkozik, például modellezhető a szimpla, dupla illetve tripla U-alakú szonda mellett koaxiális típus is. A szondatesztből kapott hővezető-képesség értékét, a szondák egymástól való távolságát, a furatátmérőt, a csövek geometriáját, stb. szabadon választhatjuk, azonban a méretezhető szondamélység korlátozott: 20-200 m között variálhatjuk a furatmélységet. Szintén a program adatbázisából kiválasztható a munkaközeg típusa minden jellemző paraméterével együtt. A méretezés során lehetőség van továbbá a beruházási költségek kalkulációjára is.

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 alap méretezésen kívül a betáplált adatok alapján lehetőség van a szükséges furathosszúság kiszámítására, azaz a szondarendszer optimalizálására. A szimulációt a VDI 4640 szabvány szerint 25 évre kell úgy elvégezni, hogy ebben az időintervallumban a munkaközeg hőmérséklete az előre – a szabvány alapján – megadott hőmérséklettartományon belül maradjon.



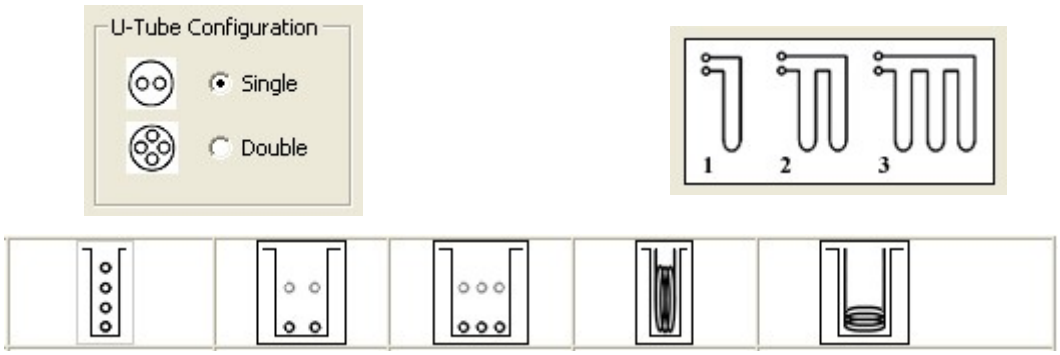
31. ábra: Az EED szoftverben a hőhordozó folyadék hőmérsékletének megjelenítése a modellezett időszakban

3.6.2 A GLD méretező szoftver elvi alkalmazása

A GLD (Ground Loop Design™) szoftvert elsősorban kereskedelmi létesítmények tervezéséhez fejlesztették ki, mivel figyelembe veszi a hosszú távú hőhatásokat, amelyek gyakran meghatározzák a szükséges tervezési igényeket, továbbá a csövezés- és áramlás-optimalizáló tervezés is fontos szempont, ami jelentősen befolyásolhatja az általános rendszerteljesítményt és költséghatékonyságot. A szoftver optimálisan használható hibrid rendszerek tervezéséhez is, ahol a hőszivattyús rendszer kombinálható kazánnal, folyadékhűtővel, szolár megoldásokkal. Lehetőség van továbbá a berendezés kiválasztására és

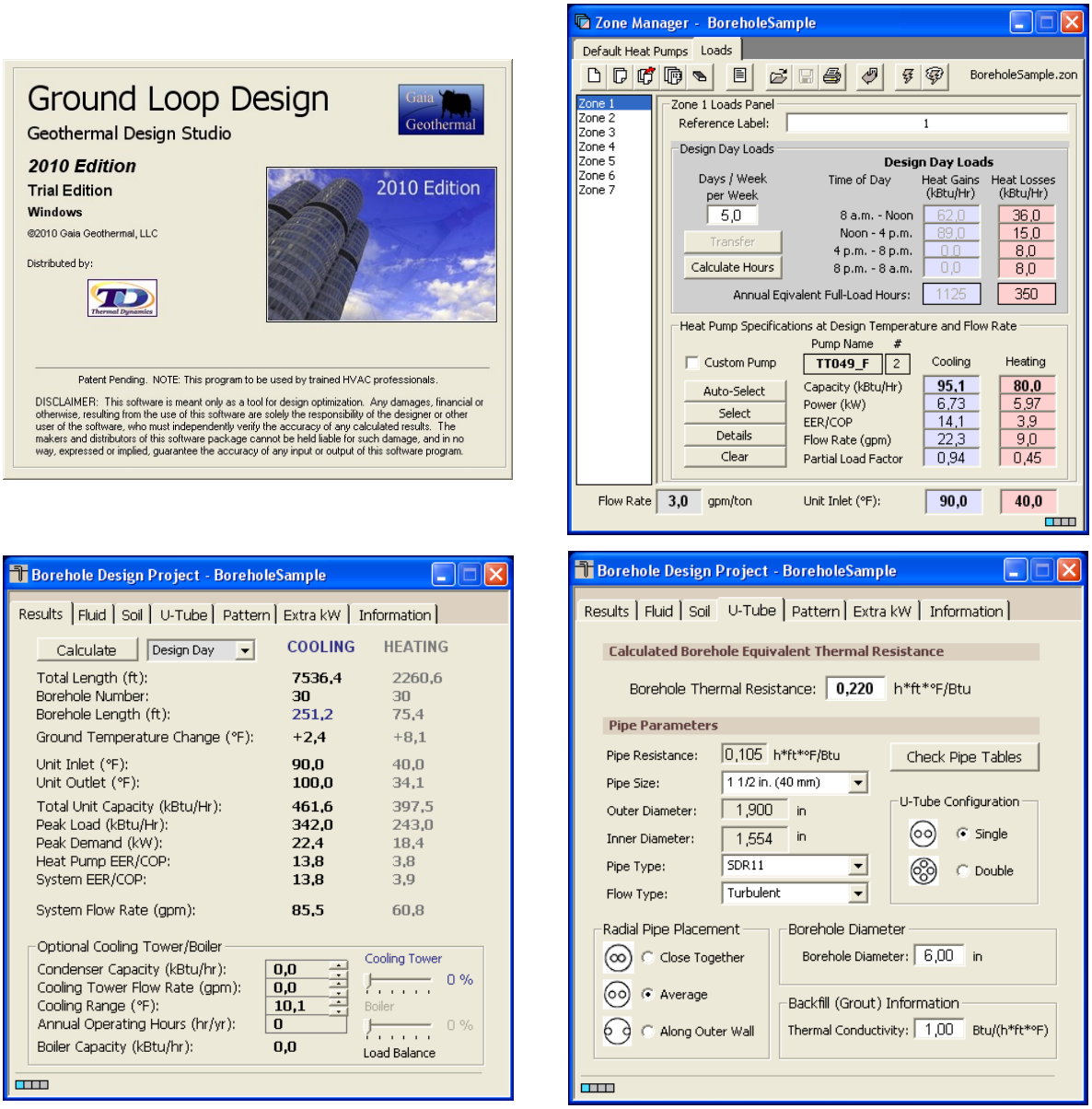
a specifikus terhelés-eloszlás adatok betáplálására, amelyek lehetővé teszik a pontosság maximalizálását.

A GLD program segítségével a vertikális szondás rendszerek mellett horizontális kollektoros és felszíni vizes hőszivattyús rendszerek is méretezhetők a családi házaktól egészen az irodaépületekig. Vertikális rendszerek esetén két lehetőség közül lehet választani: vagy egy fix méretezési hőmérséklet esetén kalkuláljuk a szükséges szondahosszt, vagy egy a tervező által meghatározott hossz esetén számítjuk az inlet hőmérsékletet. A horizontális modul (és a felszíni vizes modul is) meghatározza a szükséges csőhosszt trench/bore/slinky (32. ábra) elrendezésre, amely tetszés szerint választható.



32. ábra: A GLD szoftverben a vertikális és horizontális konfigurációk

További modulok is alkalmazhatók a programban. A CFD (Computational Fluid Dynamics) modullal a csövezés és az áramlás optimalizálható a talajhőcserélők minden típusa esetén. A pénzügyi modult a különböző HVAC rendszerek pénzügyi, CO_2-kibocsátási és energia költség analízisére fejlesztették ki. A hővezető-képesség analízis modul egy opcionális modul, amely lehetővé teszi a hővezető-képesség és a fúrólyuk-ellenállás kalkulációját az in situ TRT adatai alapján. A hőszivattyú modulban a program adatbázisából a méretezéshez rendelhető egy adott berendezés, és ez az adatbázis tetszés szerint bővíthető. A Zone Manager Loads modulban részletes analízis végezhető, míg az Average Block Loads modul gyors számítást tesz lehetővé. Az előbbiben a csúcsterhelés adatait a létesítmény minden zónájára meg kell adni különböző napszakokra, míg az utóbbiban elégséges az általános adatok betáplálása. Ezzel a módszerrel a tervező rövid idő alatt kevesebb input adatból megbecsülheti a szükséges paramétereket. Ennek a szoftvernek segítségével is tehát a korábbi eredményeket és adatokat figyelembe véve történik a szondák kiosztása, meghatározásra kerül többek között a szonda/kollektor típusa, mélysége, száma és elrendezése.



33. ábra: A GLD szoftver és az input adatok

3.6.3 További modellezési lehetőségek – numerikus modellezés

A FEFLOW – véges elem módszerre (FEM) épülő – programmal felszínalatti folyadékszivárgást, oldott szennyeződések transzportfolyamatait és/vagy hő-transzport folyamatokat lehet modellezni, permanens és nem-permanens feltételek mellett.

A programot vezető kutatóintézetek, egyetemek, szakcégek és kormányzati intézmények használják a világ minden pontján. Az alkalmazási területei egyszerű lokális léptékű szimulációktól komplex nagy kiterjedésű alkalmazásokig terjed.

A szoftver segítségével lehetőségünk van különböző kiindulási adatok és peremfeltételek megadásával szivárgáshidraulikai vizsgálatokra, a tömegtranszport modellezés keretein belül advektív-diszperzív oldott anyag terjedés, ill. egy vagy több komponensű anyag transzport

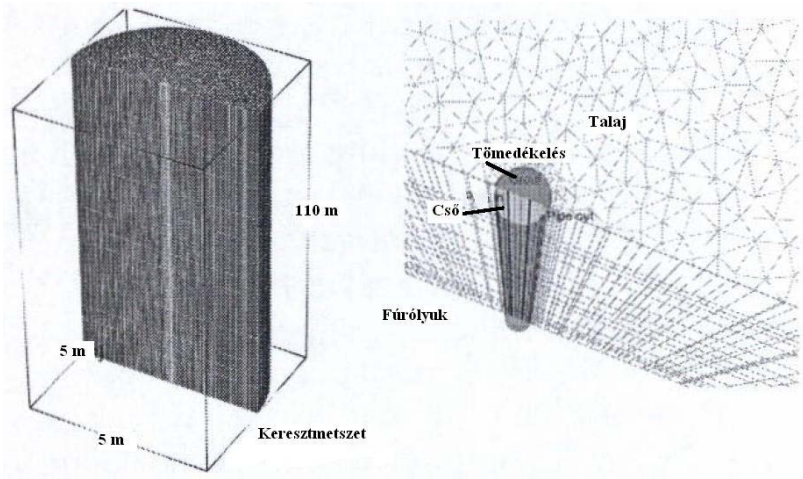
vizsgálatára, valamint hasadékos tömegtranszport vizsgálatra. A hő-transzport funkciónak köszönhetően – a felhasználó által definiált hő-transzport paraméterek mellett – folyadék, mátrix és hasadékos hő-transzport vizsgálatokat/elemzéseket is végezhetünk.

A FEFLOW szoftver alkalmazhatósága széleskörű. Gyakran alkalmazzák geotermikus hőerőművek tervezésére, felszín alatti vizek áramlási vizsgálatára, talajvizek leszívás és visszatöltődés vizsgálatára; vagy környezeti hatásvizsgálatok illetve kutak védőterületének védőidomának meghatározására, valamint monitoring rendszerek tervezésére stb.

A Visual MODFLOW Premium egy – véges differencia módszerre épülő – 3D szivárgáshidraulikai és transzport modellek készítésére alkalmas szoftver.

Az utóbbi évek fejlesztéseinek köszönhetően, a Visual MODFLOW legújabb változatai immár tartalmazzák a USGS SEAWAT v.4 programot, mellyel modellezni lehet a sűrűség különbségek hatásait, a hő-transzport folyamatokat. A SEAWAT fejlesztésének eredményeként, megoldhatók az összekapcsolt szivárgáshidraulikai és transzport valamint hőtranszport egyenletek. A szivárgási egyenletek a térfogat-megmaradás helyett, a tömegmegmaradás elvére épülnek.

Tari és munkatársai (2011) véges elemes módszerrel vizsgálták a hőátadási rátát talajszondák esetében, mivel véleményük szerint az általánosan használt TRT számos egyszerűsítő becslési eljárása miatt a szükséges szondaszám túlméretezéséhez vezet. A módszerük igazolására egy megvalósult rendszernél a kalkulált értékeket összehasonlították a szondateszt mért adataival. Az adott létesítménynél a TRT alapján a hővezető-képesség 1,56W/mK-nek adódott, és a modellezés eredménye szerint a fűtési-hűtési igényt 24 db 100 m mély szonda látja el biztonsággal. A numerikus modellezésük (34. ábra) szerint viszont 17 db szonda is képes ellátni az épület fűtési-hűtési igényeit, tehát a konklúziójuk alapján az adott rendszernél is túlméretezés történt.



34. ábra: A modell véges elemes diszkretizálása (Tari et al. 2011)

Ezután vizsgálták a felszín alatti vízáramlás és a tömedékelés termikus tulajdonságainak hatását a hőátadásra: eszerint 0,001m/d-nél kisebb áramlási sebesség elhanyagolható, de nagyobb érték esetén a hőátadás gyorsan növekszik a felszín alatti víz advekciós hatásának köszönhetően.

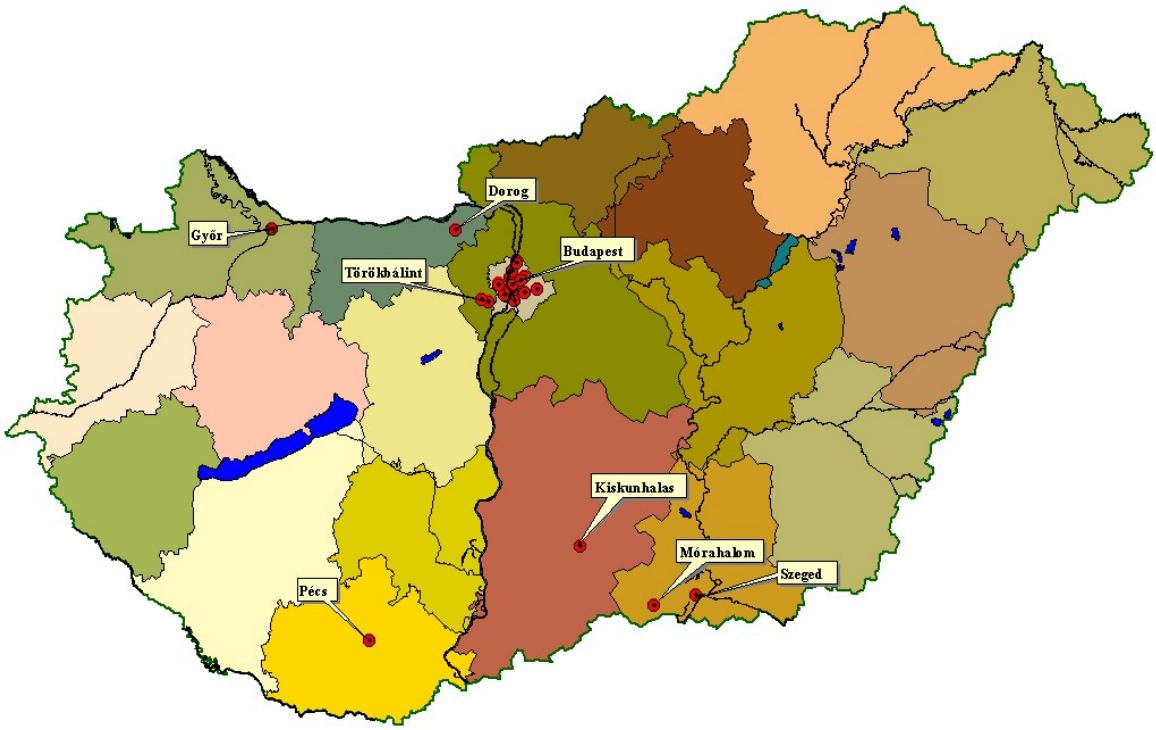
4 EREDMÉNYEK

4.1 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 haza tudományos disszertáció alapanyagául szolgáljanak. Ezt a 27 mérésen alapuló adatállományt tudom összefoglalni és értékelni.

4.2 A hazai mérési eredmények

A HGD Kft. által elvégzett és összegyűjtött 27 db TRT mérésből a 6. mellékletben foglaltam össze az eredményeket, illetve az érintett településeket térképen ábrázoltam (35. ábra és 7. melléklet a Budapest környéki mérésekről). A fúrólyuk-ellenállások meghatározására csak 2009-től került sor, a megelőző mérésekből ezért nincs adat a 6. mellékletben.



35. ábra: A TRT méréseink elhelyezkedése

4.2.1 Raiffeisen Bank projekt – 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.

36. ábra: Raiffeisen épület és a gépház

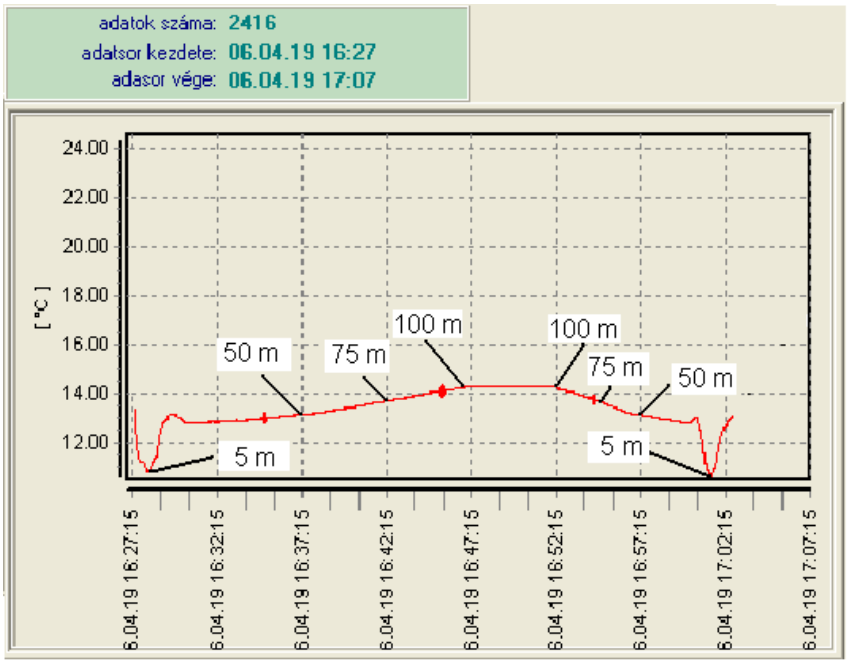
A próbafúrásban geofizikai szelvényezés történt (8. melléklet) a terület földtani felépítésének pontosítására. A területet neogén képződmények alkotják. A vizsgált területen 8,0 m vastag holocén és pleisztocén képződmények alatt felső-pannon korú rétegek következnek. A holocént vékony feltalaj alkotja.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

Földtani korbeosztás:

- 0,0 – 0,5 – Holocén
- 0,5 – 8,0 – Pleisztocén
- 8,0 – 150,0 – Felső-pannon

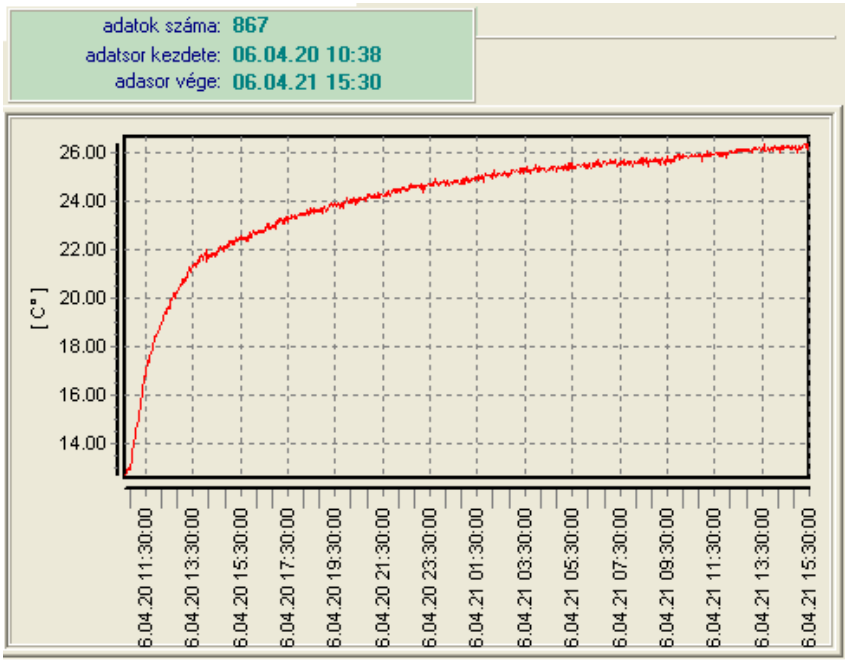
A felső durva kavicsos zóna kizárásra került a -2. szint mélygarázs résfallal. A szelvény több rétegben víztartót regisztrált. A maximális vízhozam kb. 100 l/p volt a kútvizsgálatokból készített hidrogeológiai szakvélemény szerint. A kitermelhető vízmennyiség kevésnek bizonyult a primer vizes hőszivattyús rendszerhez, a termelő és nyelető kutak elhelyezésére a kis területen az egymásra hatás miatt nem volt lehetőség. Ezért az optimálisan tervezhető BHE hőszivattyús rendszert kellett szakmailag előkészíteni.

2006. április 12-13-án a Budapest Késmárk u. 11-15. ingatlanon a Raiffeisen geotermikus hőszivattyús projekthez 2 db 100 méteres dupla U hurokkal beépített szondát fúrtunk le a tervezett geotermikus szondateszt előkészítéséhez. 2006. április 18-án vizsgáltuk az ún. in situ állapot helyreállását a fúrás után (37. ábra), hőmérséklet regisztrációval, ami a mélység függvényében 10,7-14,3°C volt, majd elvégeztük a TRT mérést dupla és szimpla hurokra is.



37. ábra: Raiffeisen Bank: alapállapot-felvétel

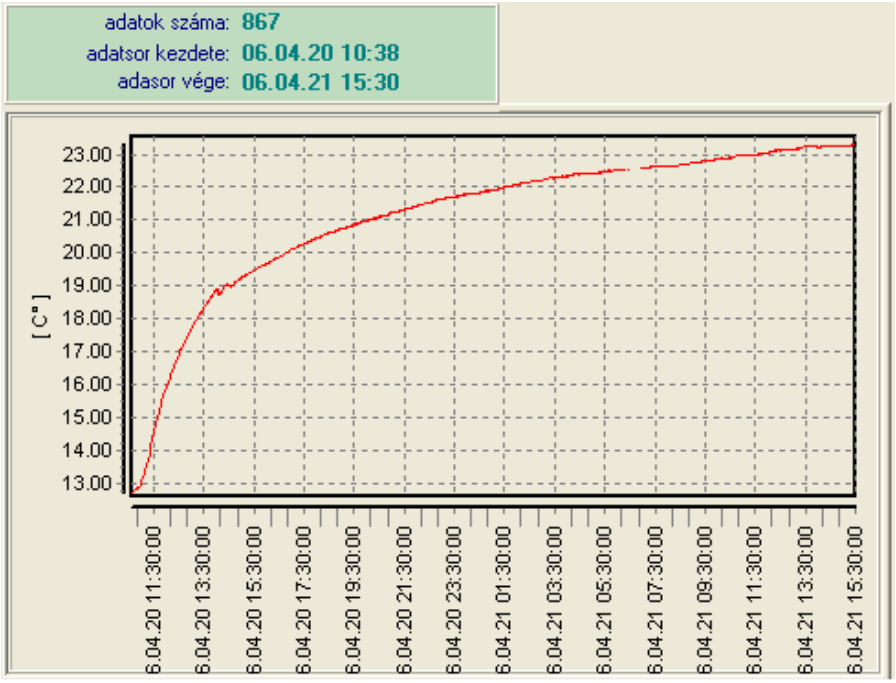
2006. április 18-23 időszakban az egymástól 5 méterre lévő dupla szondákban felváltva elvégeztük a szondatesztet. A vizsgálatot dupla és szimpla hurokra is megismételtük. A vizsgálati idő 60 óra volt.



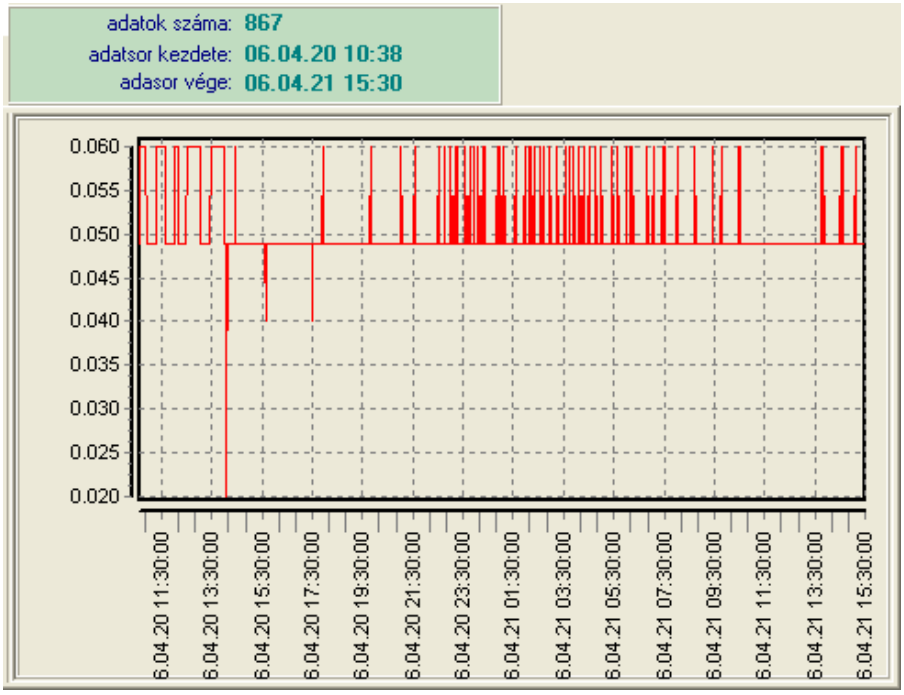
38. ábra: Előremenő hőmérséklet, regisztrálás gyakorisága: 2 perc

A mérés során regisztráltuk az előremenő és visszajövő ág hőmérsékletét (38. és 39. ábra) és a keringetett folyadék tömegáramát (40. ábra). Miközben az egyik szondában a tesztelés történt a tőle 5 méterre lévő másik szondában mértük a hőmérséklet változását (az egymásra hatást: 9. melléklet), mely 0,5°C tartományon belül volt. A mérésekből megállapítható, hogy

az előzetesen kalkulált 5 kW körüli fűtési és hűtési szonda teljesítmény reális volt. A hőelnyeletési tesztmérés alapján a fúrólyuk környezetében a legvalószínűbb, a konduktív és konvektív hatásokat egyaránt tükröző „ekvivalens” hővezető-képesség érték: λ= 2,61 W/mK.



39. ábra: Visszatérő hőmérséklet, regisztrálás gyakorisága: 2 perc



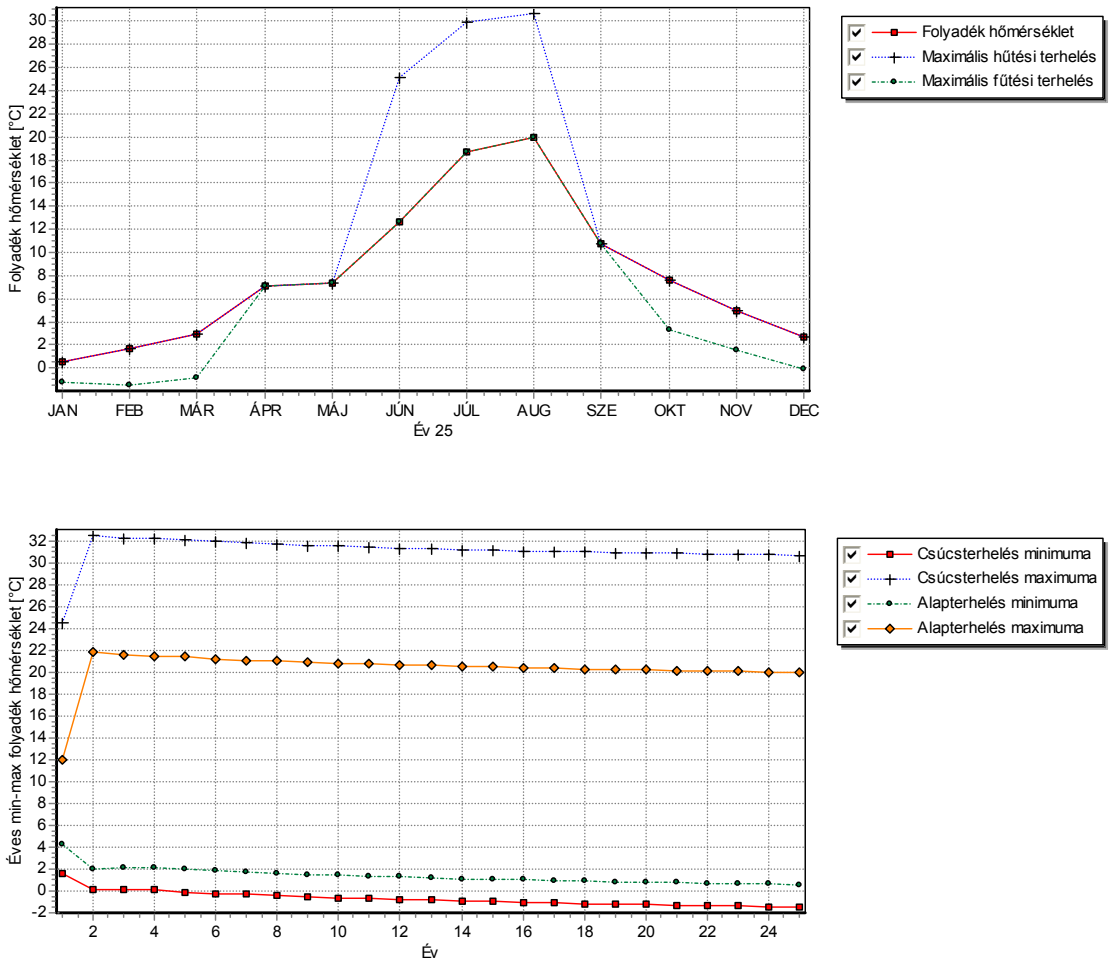
40. ábra: Tömegáram (kg/sec*10), regisztrálás gyakorisága: 2 perc

A dupla szondánál egyértelműen igazolódott kb. 20 % többlet hőelnyelés. Ez alapján javasoltuk továbbra is a dupla szonda alkalmazását. A mérési adatok alapján a korábbi

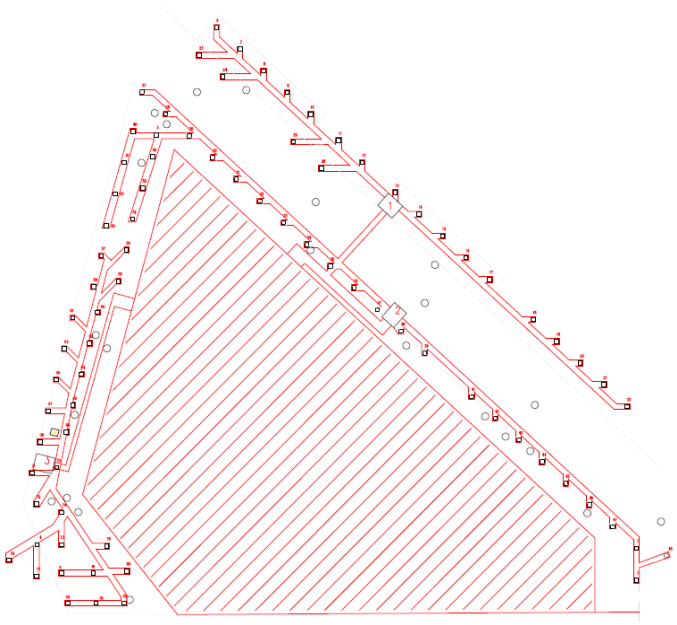
fúrások geofizikai szelvényét ismételten kiértékeltük és ezek a számítások is megerősítették a maximum 6-6,5 kW hőelnyelési kapacitást.

3. 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



41. ábra: Raiffeisen Bank méretezés – EED



42. ábra: Raiffeisen szonda-elrendezés

A telepítés érdekessége az elrendezési alak, igazodva a háromszög-alakú telekrészhez. Ezáltal a vonalszerű modell jobban érvényesült, hatékonyabb lett, mint ha tömbös elrendezés lett volna (42. ábra).

Tehát itt 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.

4.2.2 Telenor Ház hőszivattyús rendszer - mérés

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.

Földtani korbeosztás:

- 0,0 – 0,8 – holocén
- 0,8 – 16,1 – pleisztocén
- 16,1 – 100,0 – miocén

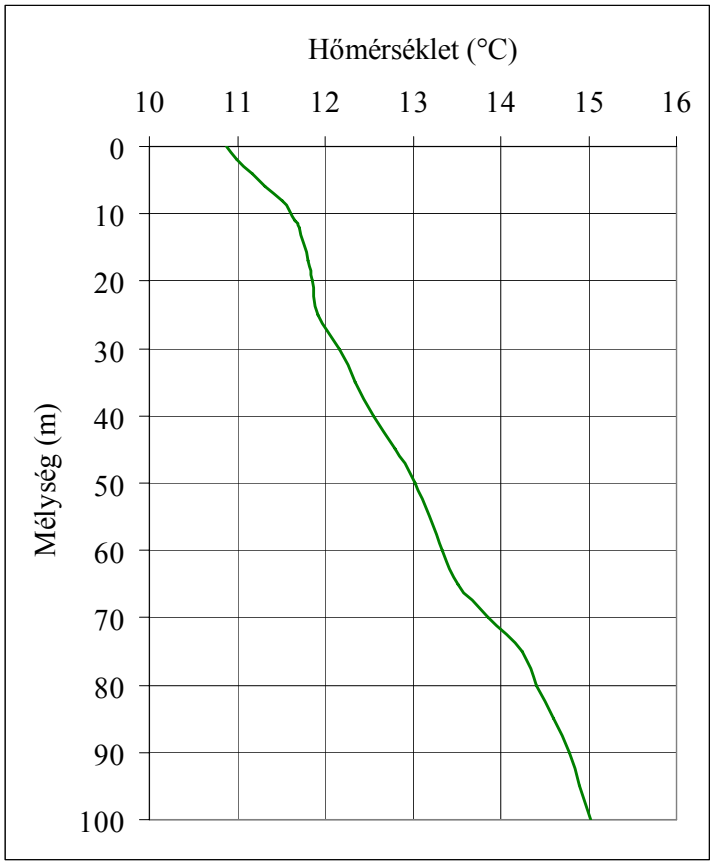
Vízbeszerzésre a miocén kori kavicsos rétegek jöhettek számításba. Azonban a rétegek vastagsága és vízadó képessége korlátozott volt. Kutanként 100 – 150 l/perc vízhozamra lehetett számítani.

A beruházó kérése volt, hogy régészeti kutatási költség csökkentése és logisztikai előny miatt egy másik helyre az épülettől 200 méter távolságra lévő területre, a gépkocsi parkoló alá kerüljön egy tömbbe a BHE mező.

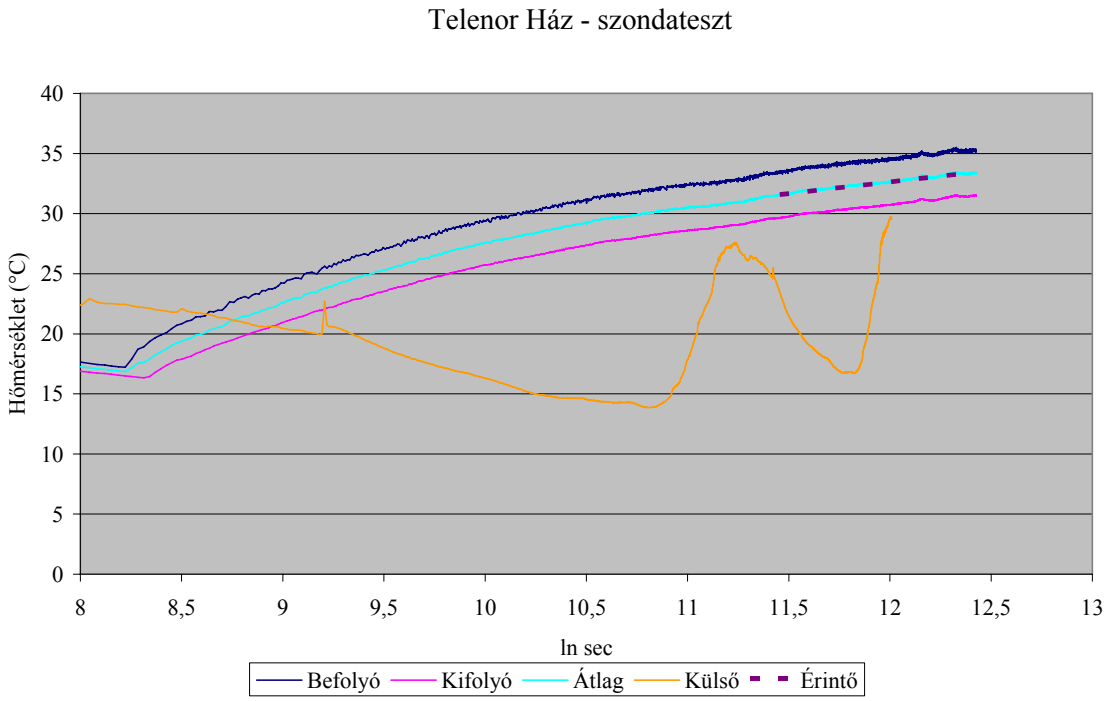
A kijelölt új területen, 2007. július 5-6 időszakban Törökbálinton a geotermikus hőszivattyús projekthez 1 db 100 méteres szimpla U hurokkal beépített szonda került telepítésre a tervezett geotermikus hőelnyeletési szondateszt előkészítéséhez. 2007. július 17-én vizsgáltuk az ún. in situ állapot helyreállását a fúrás után, hőmérséklet regisztrációval.

2007. július 17-20 időszakban a szimpla szondában elvégeztük a szondatesztet. 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. A szondateszt megkezdése előtt a nyugalmi állapotot rögzítettük (43. ábra). A mért hőmérsékleti értékek a 100 méteres szelvény mentén 11,99 – 13,97 ˚C között változtak.



43. ábra: Törökbálint, alapállapot felvétel

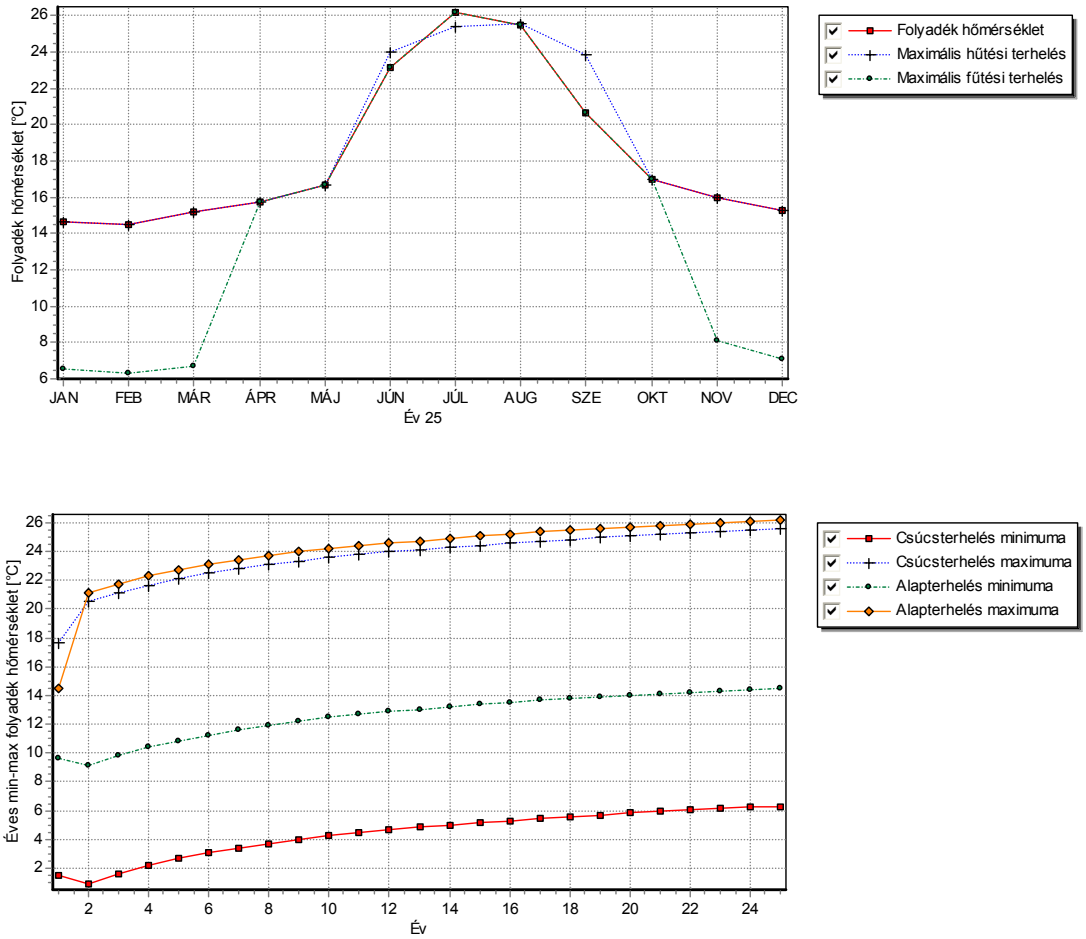


44. ábra: Telenor Ház: szondateszt során mért adatok

A 2007. július 17-20. között elvégzett szondateszt alapján 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 mérési és szelvényezési adatokat az 5. és az 10. melléklet mutatja.) 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:

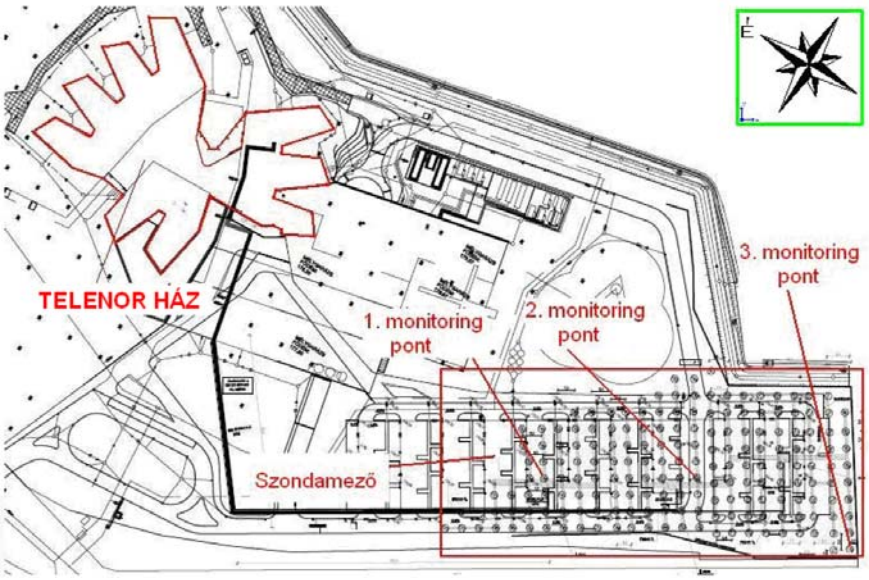
4. Táblázat: Az EED méretezés adatai – Telenor Ház, Törökbálint

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



45. ábra: Telenor Ház szondaméretezés - EED

Eredményként a 180 darab 100 m mély szimpla 40 mm-es U-típusú BHE telepítése volt indokolt a csúcs 960 kW teljesítményhez (46. ábra).



46. ábra: A Telenor Ház és a szondamező elhelyezkedése

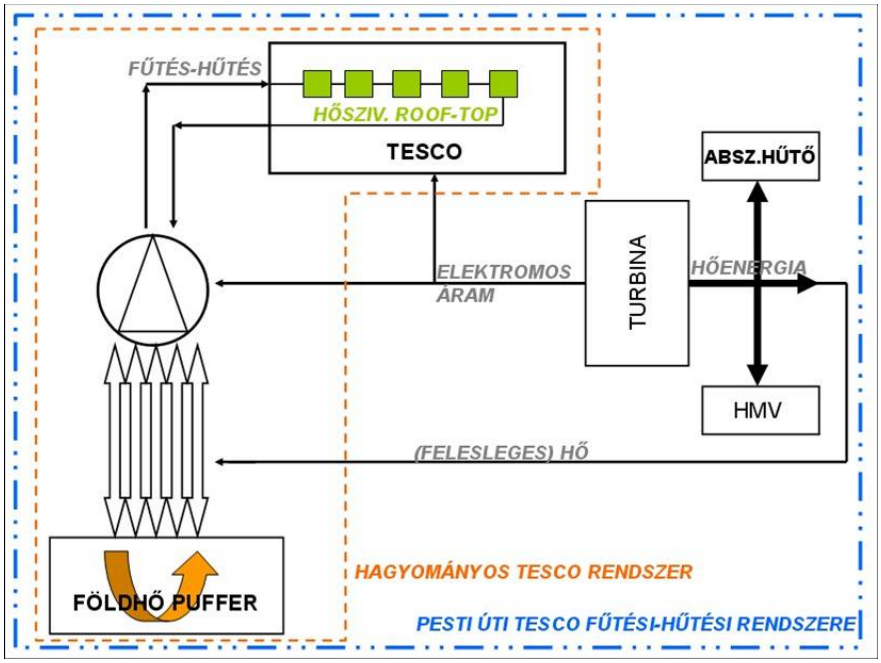
4.2.3 Tesco – Trigenerációs roof-top hőszivattyús rendszer - mérés

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.

Földtani korbeosztás:

- 0,0 – 1,8 – Holocén
- 1,8 – 22,0 – Pleisztocén
- 22,0 – 127,0 – Felső-pannon

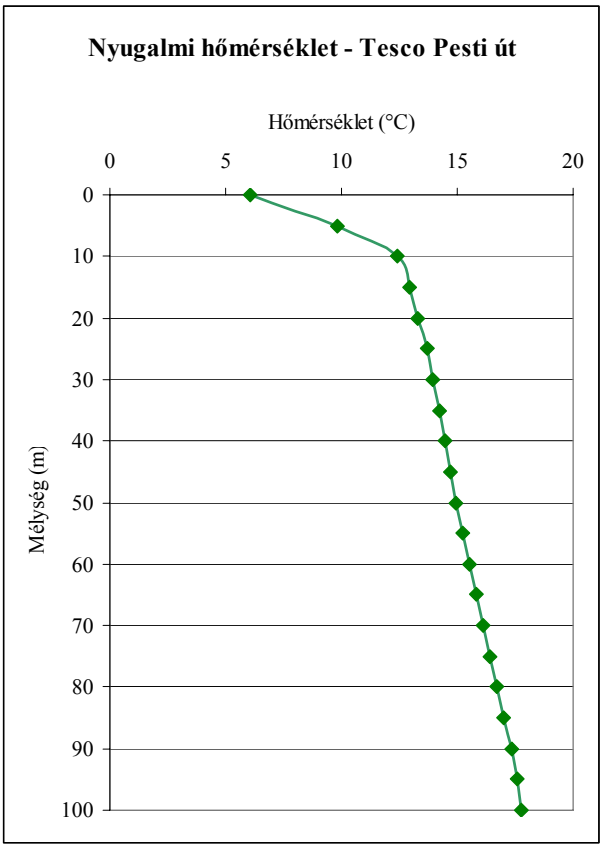
A projekt érdekessége, hogy a hőszivattyús rendszerhez kapcsolódik egy 30kW-os gázmotoros egység, mely áramtermelés mellett a „hulladékhőjével" fűtést ad a pékségnek, valamint abszorpciós hűtésre dolgozik igény szerint. Ha felesleges hője van, akkor a BHE mezőre terheli a hőt és fűti a kőzeteket (47. ábra).



47. ábra: A Tesco áruház trigenerációs rendszere

Itt a próbafúrás és geofizikai szelvényezés (11. melléklet) szintén jelzett több vízadó réteget, de ezek összes kapacitása nem volt elég vízkutas rendszer tervezéséhez. A 2010. február 10-én a geotermikus hőszivattyús projekthez telepített 1 db 100 méteres szimpla U hurokkal beépített 40mm-es szondát választottuk ki a tervezett geotermikus hőelnyeletési

szondateszt előkészítéséhez. 2010. február 19-én vizsgáltuk az ún. in situ állapot helyreállását a fúrás után, hőmérséklet regisztrációval.



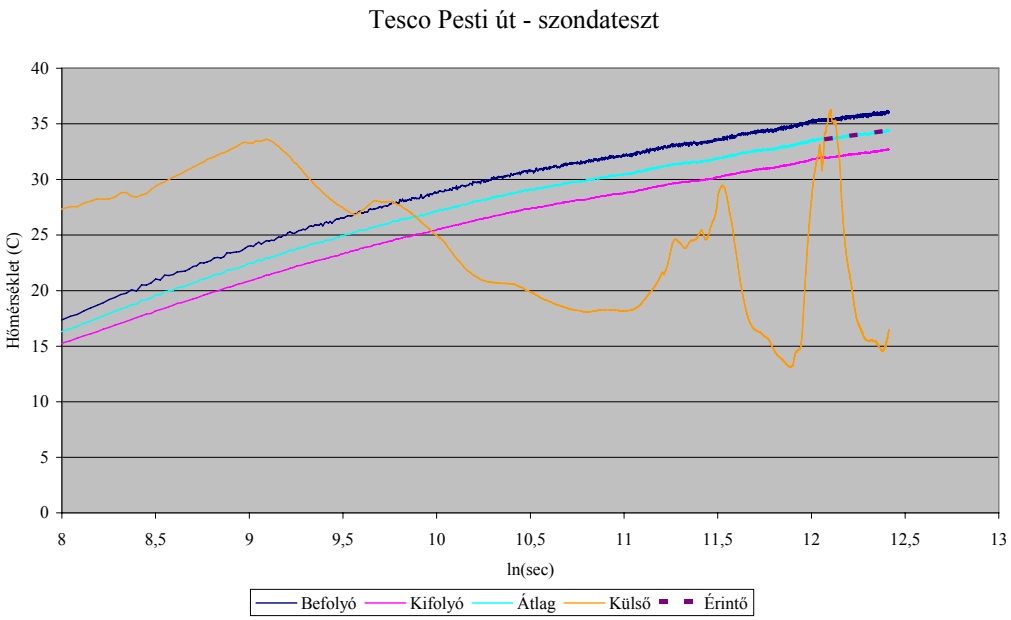
48. ábra: A zavartalan hőmérséklet a mélység függvényében

2010. február 19. – február 22. közötti időszakban a szimpla szondában elvégeztük a szondatesztet. A vizsgálati idő a 100 méteres szimpla szonda esetében: 68 óra volt.

A mérés során regisztráltuk az előremenő és visszajövő ág hőmérsékletét, valamint a külső hőmérsékletet és a keringtetett folyadék tömegáramát. A szondateszt megkezdése előtt a nyugalmi állapotot rögzítettük (48. ábra). Mellékeljük a 100 m-es szimpla szonda teljes hosszában regisztrált hőmérsékleti adatokat. A mért hőmérsékleti értékek 6,03 – 17,78˚C között változtak.

A keringetést a 100 m mély fúrólyukba helyezett 40 mm átmérőjű „U” alakú csőben a bevezető (fűtés nélküli) periódust követően a fűtőtartályban állandó teljesítménnyel fűtött folyadékkal folytatódott.

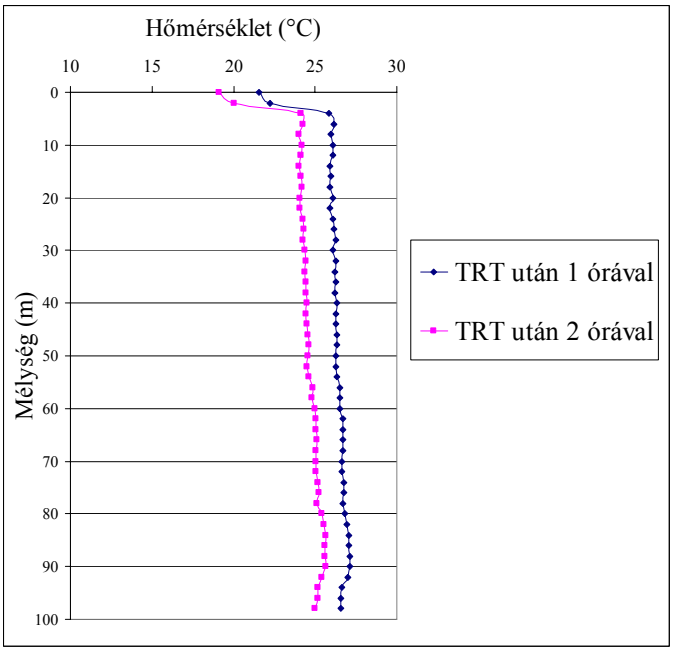
A számítás a fúrólyuk környezetének „ekvivalens” hővezető-képességére (λ) vonatkozik, ami a be- és kilépő folyadék logaritmikus átlaghőmérséklet-menetének érintőjéből kapható meg. A mérések statisztikus szórását simítandó a Δln(t)/ ΔT érték helyett az adott görbeszakaszra illesztett egyenes meredekségét használtuk.



49. ábra: Tesco Pesti út: a szondateszt adatai és az illesztett érintő

A 2010. február 19. – 22. között elvégzett szondateszt eredményeit kiértékelve határoztuk meg a területre jellemző hővezetőképesség (λ) értéket. A legvalószínűbb hővezetőképesség a harántolt szakaszon: λ = 2,62 W/mK. (Az 49. ábrán az ehhez tartozó érintő van feltüntetve!)

A szondateszt befejezése után 1 és 2 órával rögzítettük a hőmérsékleti értékeket a 100m-es szelvény mentén (50. ábra). A kapott adatokat a földtani rétegsorral összehasonlítva megállapítható, hogy számos homok réteg található a szelvényben 13,5-23,0 m; 29,0-37,5 m; 45,5-58,5 m; 63,0-66,0 m; 82,0-83,5 m között, azonban jelentősebb rétegvíz áramlás nem valószínű a homogén hőmérséklet lefutás alapján.



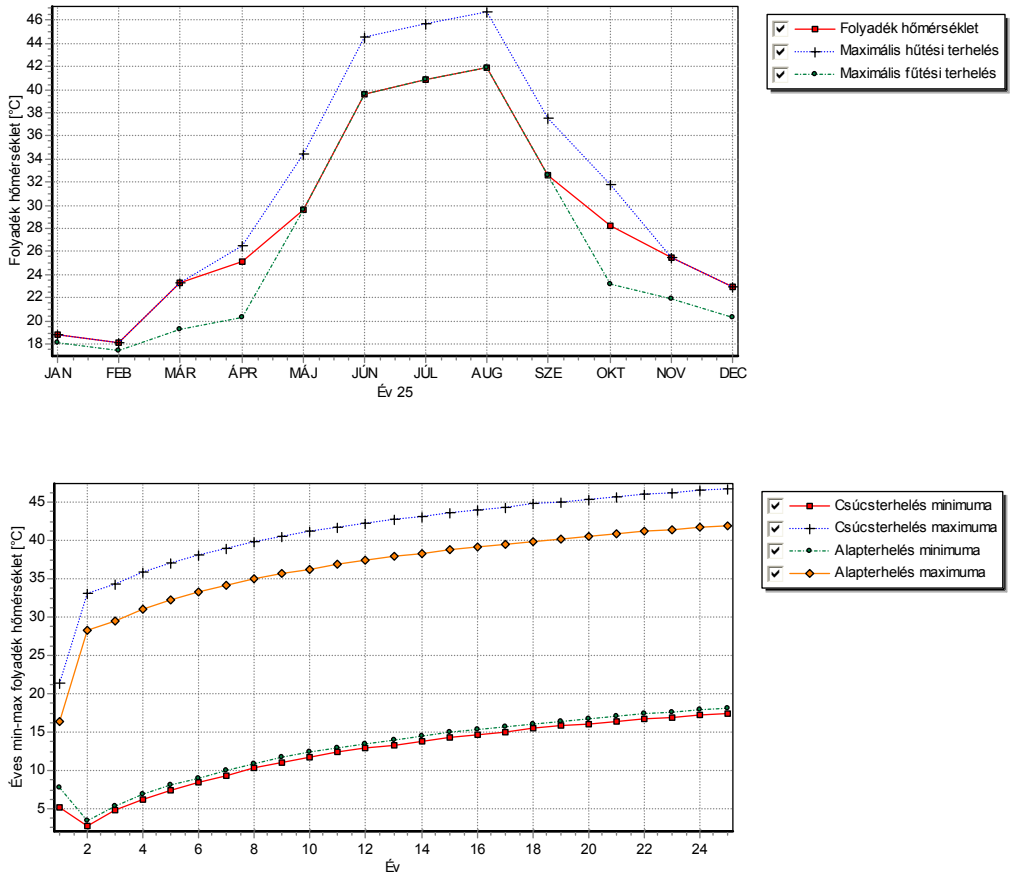
50. ábra: Hőmérséklet-felvétel a szelvény mentén 1 illetve 2 órával a mérés után

A földhőszonda méretezéshez az EED 3.0 szoftvert használtuk fel. Az épület fűtési és hűtési igényének éves csúcsüzemi óraszámát kaptuk meg, ezek alapján kalkuláltuk az éves fűtési-hűtési igényt.

5. 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

Látható, hogy alapterhelés esetén (Base Load) fűtésben 17,56˚C-ot, hűtési időszakban 39,70˚C-ot is elérheti a szondákban keringő glikol hőmérséklet 10 év után. Csúcsterhelés esetén (Peak heat – peak cool load) fűtési időszakban 14,55˚C alá is lemehet a glikol hőmérséklet, hűtésben a 44,69˚C-ot is elérheti 10 év után.



51. ábra: Fluid hőmérséklet éves alakulása, 10. év végén és 10 év működés alatt

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. Más műszaki paraméterekkel rendelkező hőszivattyú esetén a fenti méretezés eredményei eltérhetnek.

A projekt érdekessége volt, hogy a nyári hűtési időszakban hogyan terheli extrán a gázmotor hulladékhő a BHE mezőt. Ennek méréséhez földhő monitoring rendszert telepítettünk.

52. ábra: A szondamező elhelyezkedése

4.3 A hazai helyzet értékelése a végzett mérések alapján

Mind a korábbiakból látszik, a hazai nagy teljesítményű BHE hőszivattyús rendszerek elterjedése 2006-tól indult meg intenzíven. Ehhez az elvégzett TRT és geofizikai szelvényezések és az EED/GLD modellezések jelentős támogatást adtak. A három bemutatott mérés és modellezés, különböző területek kőzettani viszonyaitól függően érzékelteti, mekkora hatása van a kőzetek különböző hővezető-képességének, a rétegvíz tárolók vastagságának, a rétegvizek áramlási sebességének.

6. 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

4.3.1 Monitoring adatok értékelése

Saját tapasztalatomból azt a következtetést vontam le, hogy a 2.6. fejezetben tárgyalt Rybach és Eugster megállapítása a hőszivattyús rendszerek fenntarthatóságáról a gyakorlatban is valóban helytálló. Ha a BHE mezőt csak fűtésre hasznosítjuk, az a felszín alatti környezet fokozatos hűlését eredményezi, azonban ha a létesítményt hűtésre is tervezzük, földtani oldalról fenntartható rendszert kapunk.

Ennek bizonyítására bemutatok egy előkészítő méréseim alapján végzett modellezési vizsgálatot, amelyet 2011-ben végeztünk. Felkérést kaptam egy uszoda tervezési fázisában a hőszivattyús rendszer létesítési lehetőségeinek vizsgálatára. Az épületet és a medence vizét szerették volna fűteni éves szinten 6312 órán keresztül, talajszondás rendszerrel, azonban hűtésre nem volt szükség. A 7. táblázatban szereplő adatokat és szondateszt eredményeket használtuk a modellezéshez:

7. Táblázat: Egy uszoda esetén a méretezéshez felhasznált adatok

Földhő teljesítmény fűtési üzemben	250 kW (COP: 4,0)
Földhő teljesítmény hűtési üzemben	0 kW
Szondák típusa	40 mm-es szimpla szonda
Szondák távolsága	6,0 m
Hővezetőképesség (szondateszt alapján)	2,3 W/mK
Fúrólyuk termikus ellenállás (szondateszt alapján)	0,14 mK/W

A modellezés 250 kW teljesítmény esetére, négy variációra lett elvégezve:

8. Táblázat: Egy uszoda esetén a méretezés variációi

	Méretezés típusa	**Furatszám**	**Mélység**	
1.	6312 óra fűtésre, hűtés nélkül (1578 MWh)	180 db	150 m	27000
2.	2000 óra fűtés és hűtés esetére aktív hőszivattyús üzemmel (500 MWh)	52 db	100 m	5200
3.	2000 óra fűtés és passzív hűtés üzemmel (hőszivattyú nélküli hűtés) 500 MWh	64 db	100 m	6400
4.	5452 óra fűtés és 50kW-os napkollektor rásegítés regenerálásra, (1363 MWh)	140 db	150 m	21000

Az eredményekből látszik, hogy abban a variációban, ahol nincs hűtés, a kiegyensúlyozott rendszerhez a kalkulált szondahossz több mint háromszorosa, mint akkor, ha van hűtési igény. Azaz, ha nem egyensúlyozzuk ki a szondamező téli-nyári üzemeltetését, akkor nem csak a beruházási költség növekszik, hanem a rendszer hosszú távú fenntarthatósága is veszélybe kerül. A megoldás keresése közben egyéb gépészeti megoldásokban, kiegészítő elemekben is gondolkodtunk. Például a felszín alatti hőmérsékletregeneráció elősegítésére az egyik modellbe beépítettük egy napkollektoros rendszer fűtő hatását is, ami a szükséges szondaszámot csökkentette ugyan, de végleges megoldást nem nyújtott.

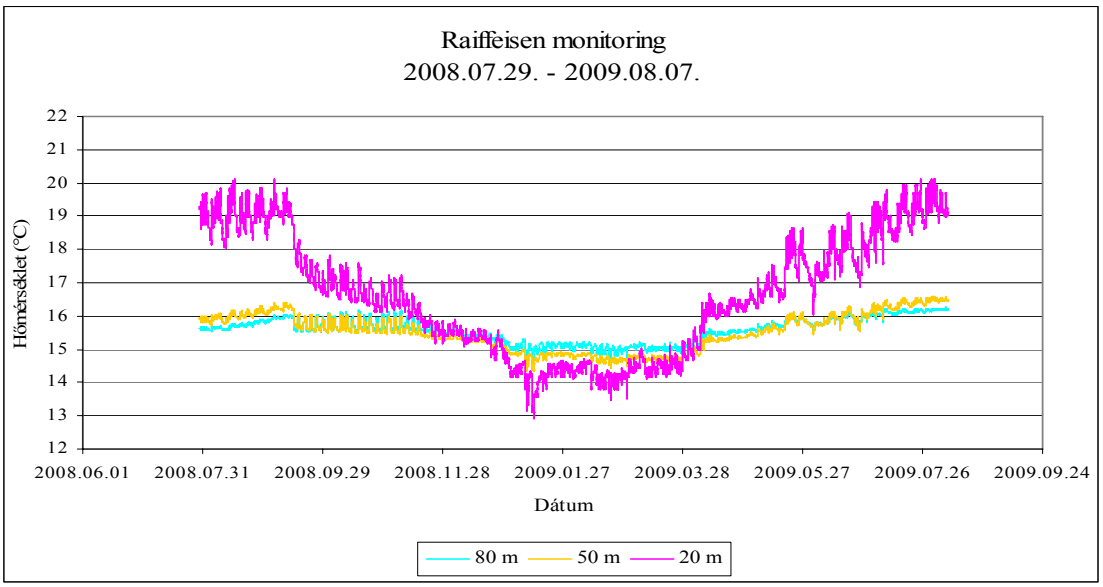
Tehát a táblázat adataiból látható, hogy az 1. esetben mikor extra hosszú üzemóra igény van hűtés nélkül, mekkora túlméretezést jelent az összes szondahosszban. Ehhez képest a 2. modellben, hagyományos rendszernél fűtéssel-hűtéssel 81%-kal kevesebb szondahossz kell, ezzel szemben, ha az aktív hűtés helyett csak passzívat használunk, a szondahossz növekedés csak 1200 m. A 4. modellnél jelzett napkollektoros rásegítés csak 22%-os szondahossz-csökkenést tud eredményezni. Az esettanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy az éves fűtési és hűtési igények mértéke alapvetően befolyásolja a primer szondaoldal hőszivattyús kialakítását. Ebben az esetben a végleges megoldás a primer oldalon, csak a földhőszondák helyett a vízkútpáros hőszivattyús rendszer lehet.

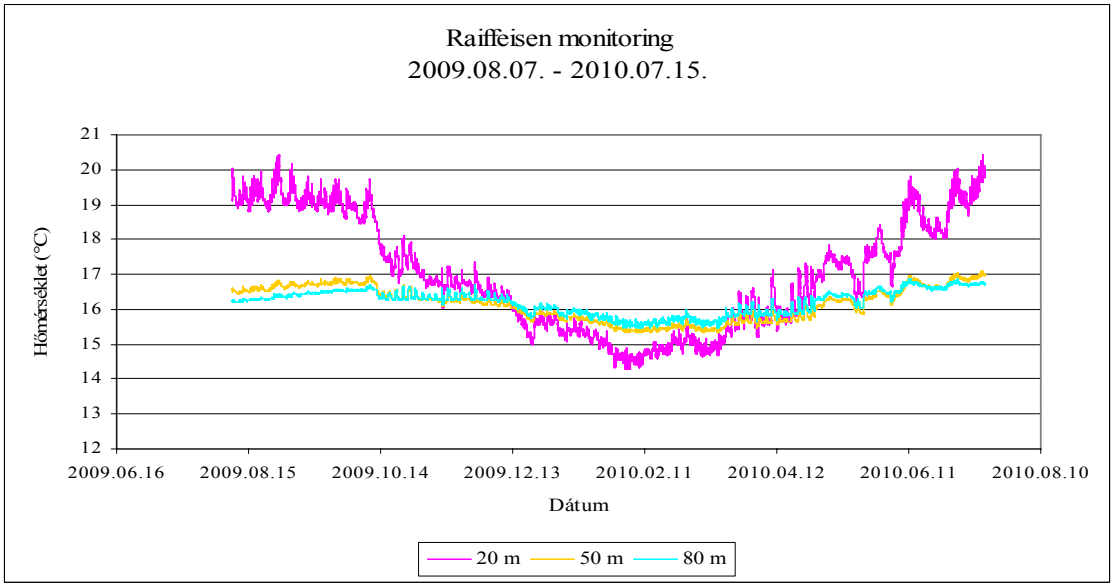
4.3.1.1 A Raiffeisen monitoring

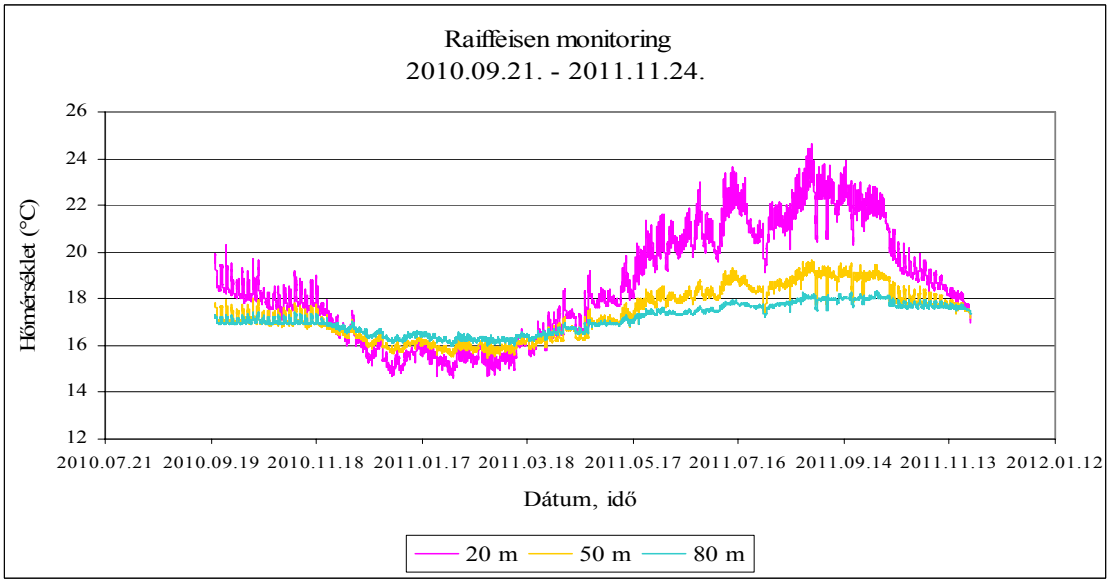
A Raiffeisen Bank szondarendszerének vizsgálatára 2006 októberében elhelyeztünk egy több csatornás hőmérsékletregisztráló fűzért az egyik szondában. Regisztrálás gyakoriságát 30 percre állítottuk be a választott DA-S-TRB 118, 200509022 típusú műszer telepítése előtt. Minden további monitoring rendszerünkhöz ezt a típusú műszert alkalmaztunk. Az 53. ábrán az azóta regisztrált hőmérséklet adatokat ábrázoltam az eltelt idő függvényében.

A grafikonokon jól látható a téli fűtési illetve a nyári hűtési szezon szondarendszeren keresztül gyakorolt hatása a felszín alatti régióra. 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 földtani közegben, azaz hőmérsékletnövekedés látható a mért adatok alapján.

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







53. ábra: A Raiffeisen monitoring

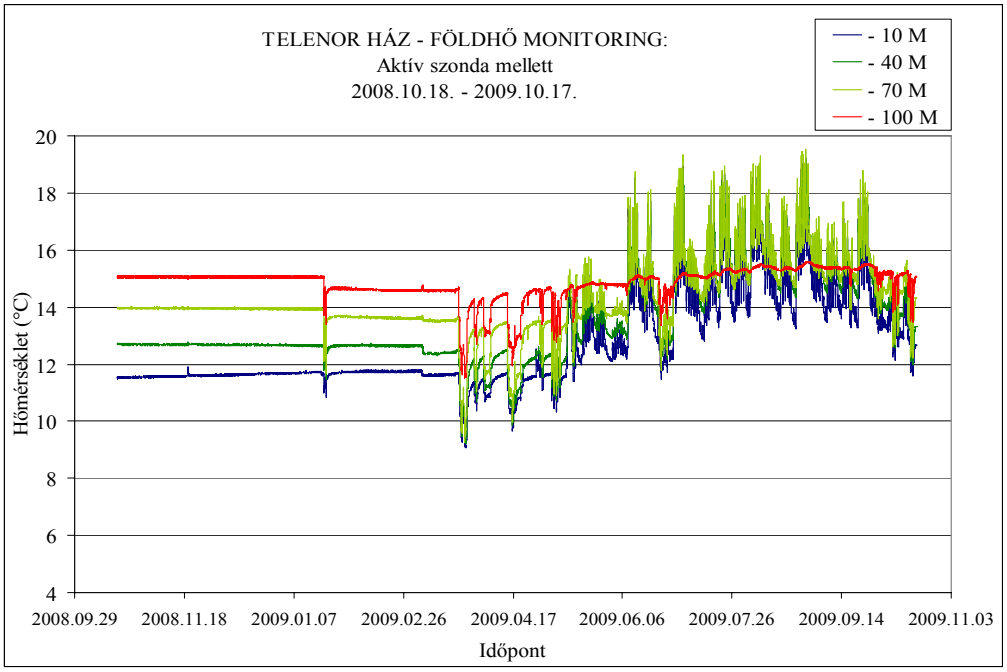
4.3.1.2 A Telenor monitoring

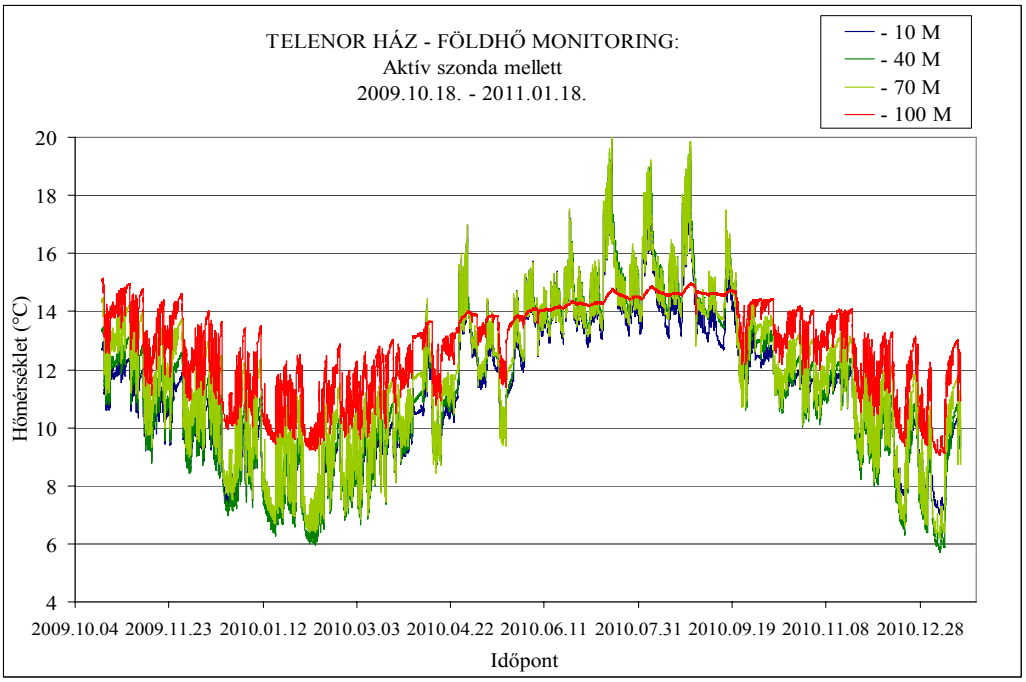
A fúrások során a 180 db szondán túl további 3 db földszondát építettünk be a földhő monitoring illetve a földhőszonda rendszer működésének vizsgálata érdekében. Így a szondák közötti és a szonda mezőn kívüli kőzetkörnyezetnek a folyamatos hőmérséklet változását tudjuk regisztrálni (46. ábra). Az egyik monitoring pont egy működő szonda mellett, a második 3,5 m-re egy működő szondától, a harmadik a szondamező DK-i oldalán került telepítésre a mezőtől 6,6 m-re. A monitoring pontoknál 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 hőmérsékletregisztráló (két földhőszonda között „félúton”) 2008. október 18 óta működik, a harmadik (szondamezőtől 6,6m-re) 2009. április 6-án került beépítésre.

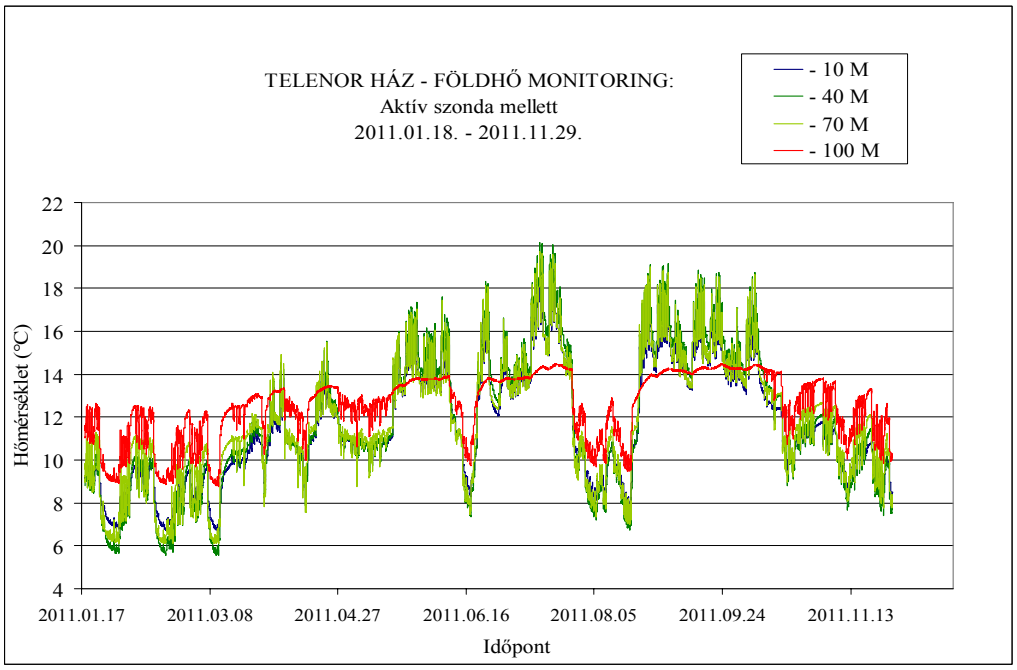
Az egyes hőmérséklet-regisztrálók hasonló hőmérsékleti értékeket mutattak az alapállapotot tekintve a 4 különböző regisztrálási mélységben:

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

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 54. ábrán látható a 4 mélységben 2008.10.18-tól 2011.11.29-ig mért hőmérséklet-értékeket.







54. ábra: Az 1. monitoring pontban mért hőmérséklet

Az 1. 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 2009. március 23-i próbaüzem során a hőmérséklet 100 m-en (3 nap alatt) 11,50˚C-ig csökkent, azonban a leállás után 3 nap alatt 14,29˚C-ig regenerálódott a kőzethőmérséklet. A csökkenő fűtési igényekkel párhuzamosan növekedett a kőzethőmérséklet. A nyár elején

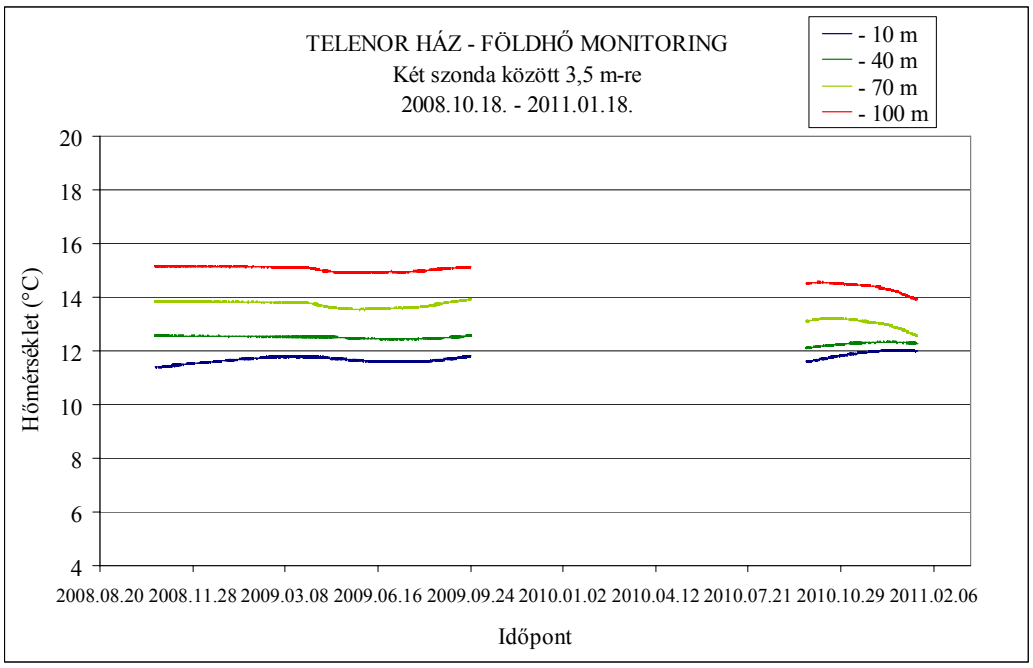
elindult hűtési üzem hatására 16,0˚C mérhető 100 m-en. A 70 m-en elhelyezett hőmérsékletmérő nyugalmi állapotban 14,0°C-ot regisztrált. A tavaszi fűtési szezonban 9,26°C-ig csökkent a hőmérséklet. Az április végétől induló hűtési üzem hatására 19,30°C-ig emelkedett július elején a kőzethőmérséklet, augusztus 4-én 16,4°C-ot regisztráltunk 70 m-en.

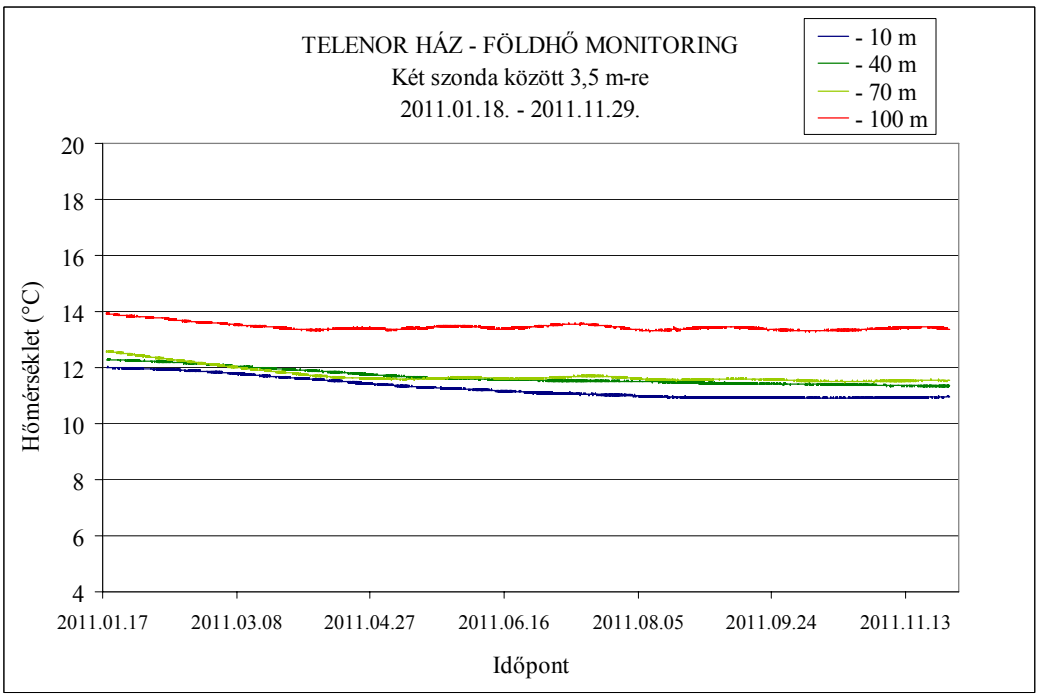
A 2. és 3. ponton, a két földhőszonda közötti távolság felénél illetve a mezőtől 6,6 m-re a rendszer elindításának időszakában a fűtési és hűtési üzemek nem okoztak jelentős hőmérsékletváltozást. A 2009. március 23-án elindult próbaüzem hatására 14 nap alatt nem következett be hőmérséklet csökkenés egyik mérési ponton sem. Április elejétől a 2. pontban a fűtés hatására 14,92˚C-ig csökkent a hőmérséklet 15,2˚C-ról 100 m mélyen, illetve a 2009-ben indult hűtés következtében 15,0˚C-ra 'melegedett' fel a földtani közeg. A 3. pontban nem volt kimutatható hőmérséklet-változás a kezdeti időszakban.

Az eltelt két év monitoring-méréseinek kiértékelése:

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. Ennek oka a 80 m alatt található meszes homokkőben a vízadó réteg jelenléte, amit a 100 m mély geofizikai vizsgálat is bizonyított. A területen erre a vízadóra egy 80-100 m-en szűrőzött kutat is létesítettünk.

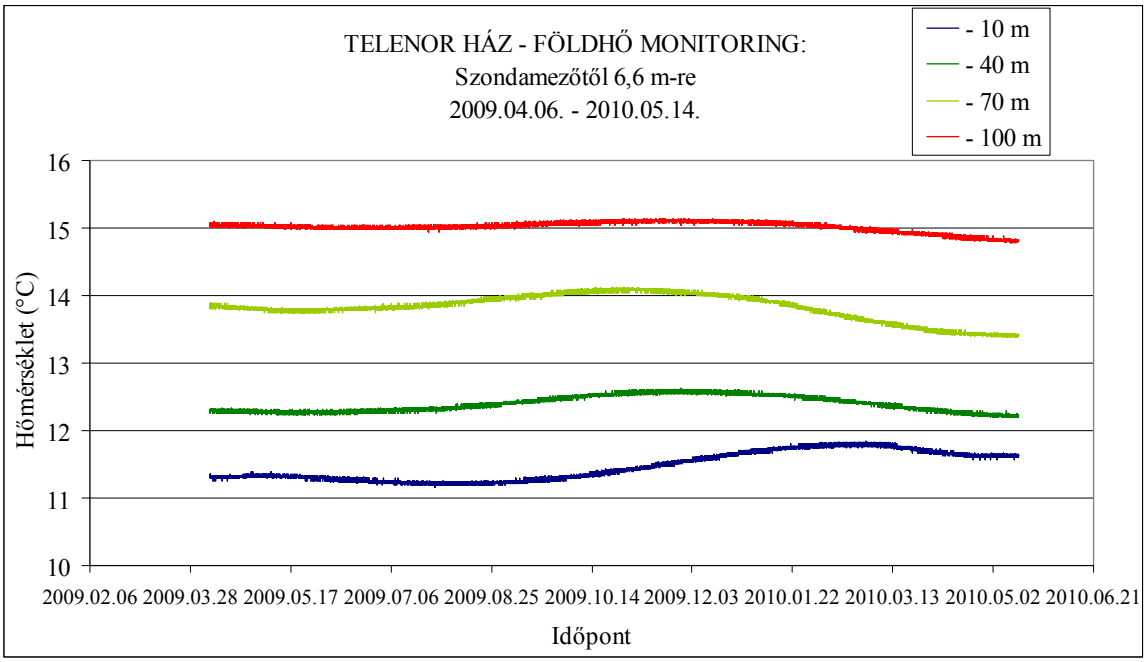
A 2. mérési pont két aktív szonda között, a szondáktól 3,5 m-re található. A regisztrálás 2008.10.18-án kezdődött, de a mérés a berendezés hitelesítése és karbantartása miatt nem volt folyamatos. A következő grafikonon (55. ábra) láthatóak a mért eredmények, amelyek szerint az aktív szondáktól 3,5 m távolságra már alig változik a hőmérséklet. A legnagyobb nyugalmi állapottól való eltérés sem haladta meg eddig a 0,66°C-ot.





55. ábra: A 2. monitoring pontban mért hőmérséklet

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. Látható az 56. ábra grafikonján, hogy a szondarendszer működése alig okozott hőmérsékletváltozást. A mérési adatok szerint ez az érték nem haladta meg a 0,41°C-ot.



56. 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.

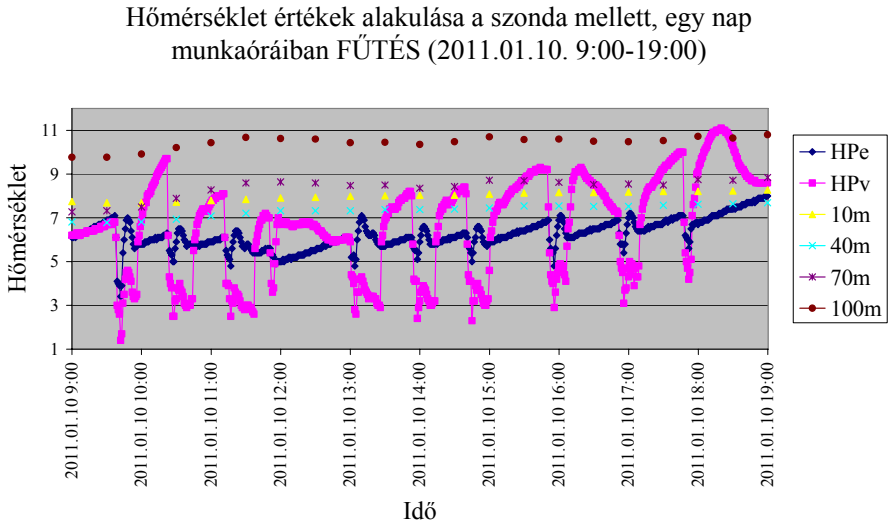
A működő földhőszondától 3,5 m-re a fűtés 0,28°C hőmérséklet csökkenést eredményezett. A hűtés hatására a fűtés következtében lehűlt földtani közeg hőmérséklete 0,08°C-ot emelkedett. A földhőszonda mezőtől 6,6m-re elhelyezett mérési ponton alig volt észlelhető hőmérsékletváltozás a nyugalmi állapothoz képest.

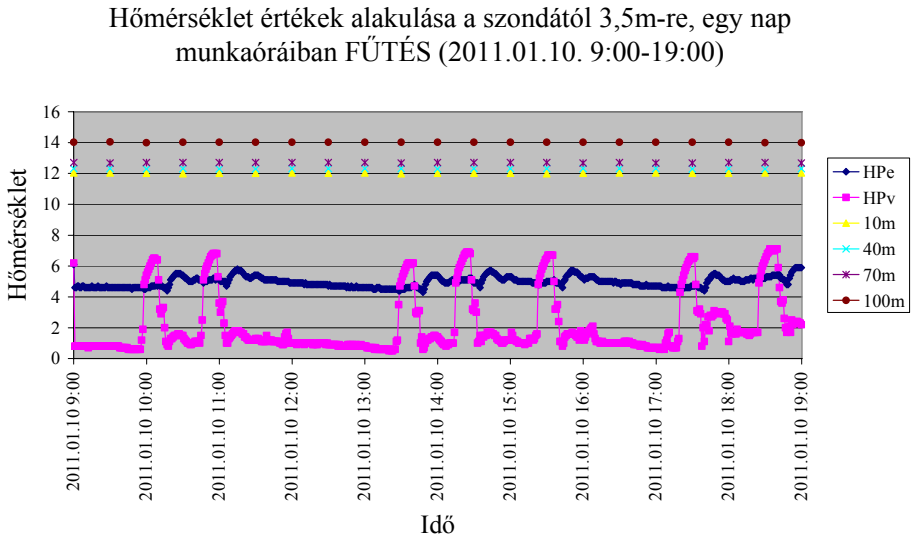
A szezonális hőmérséklet hatások mellett megvizsgáltam egy napi fűtési és hűtési üzem hatását a monitoring mérőpontokra és a kőzetkörnyezetre. A kiválasztott napi üzemben vizsgálható a hőszivattyúk indításának, leállításának és a „regenerációs üzemszünetnek” a környezeti hőmérséklet hatása (57. ábra) fűtési üzemben, és (58. ábra) hűtési üzemben.

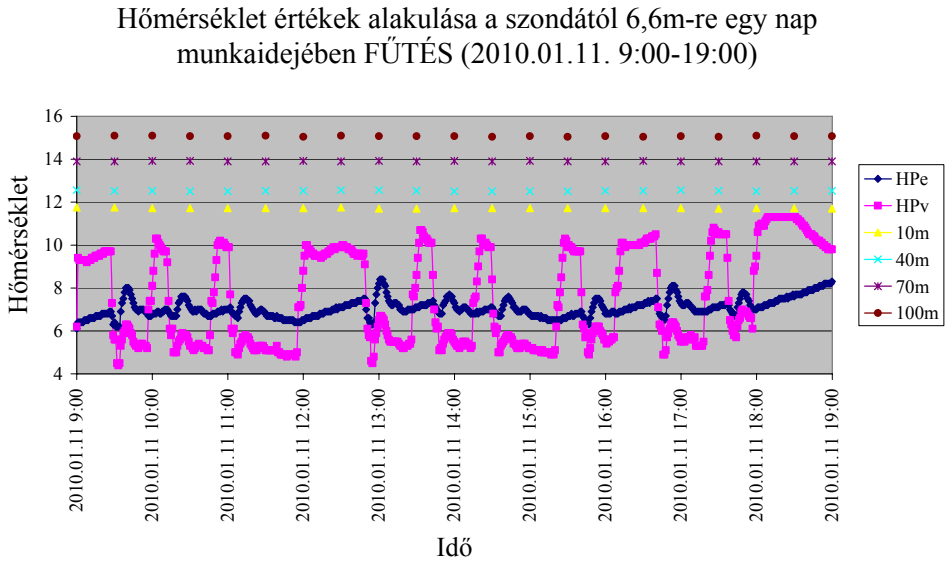
A vizsgálatoknál az I. sz. hőszivattyúhoz a I. szondamező működése tartozik a I. aknában elhelyezett működő szonda melletti monitoring hőmérséklet füzérrel.

A vizsgálatoknál a II. sz. hőszivattyúhoz a II. szondamező működése tartozik a II. aknában elhelyezett működő szondától 3,5 m-re lévő monitoring hőmérséklet füzérrel.

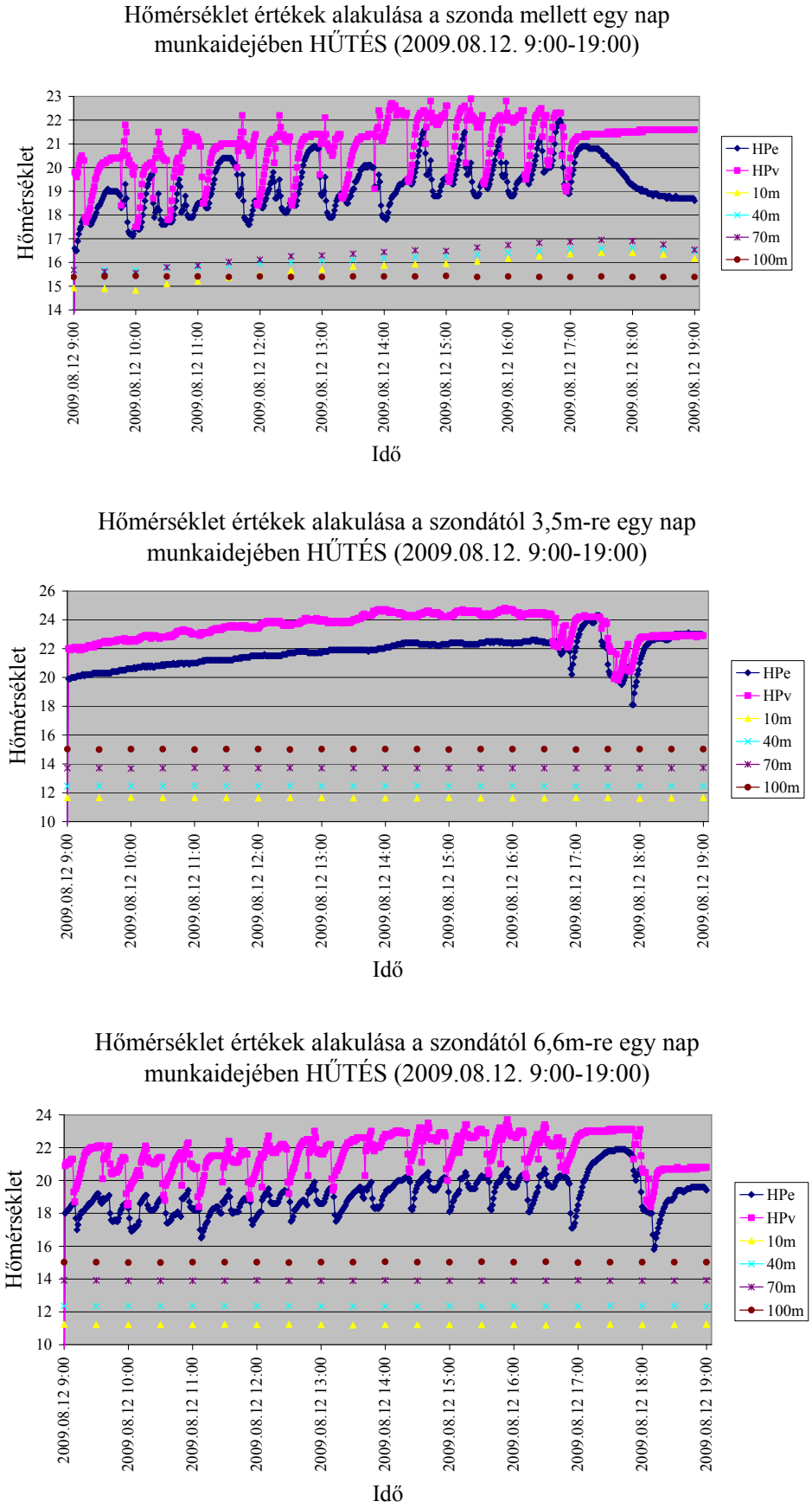
A vizsgálatoknál a III. sz. hőszivattyúhoz a III. szondamező működése tartozik a szondamezőtől 6,6 m távolságra lévő monitoring hőmérséklet füzérrel.







57. ábra: Monitoring a hőszivattyúk működésének függvényében fűtési időszakban



58. 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:

Fűtésben a vezérgép a II. volt a középső ábrán. Ez futott a legegyenletesebben. Kapcsolási száma 7. Az I. gép kapcsolási száma 10, a III. gép kapcsolási száma 9 volt. A gépenkénti hőfoklépcső is változó: I./3-3,5°C, a II./4°C, a III./2°C. Ennek indoka, hogy a vezérgép mellé az épület BMS automatika rendszere lépteti a többi gépet, nem alakul ki az egyenletes hőfoklépcső. Ezzel szemben a II. vezérgép harmonikus görbéi mutatják a tervezett állapotot elérő hőfoklépcsőt.

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. Az általam irányított monitoring fejlesztések közül példaként az 60. ábrán láthatók a vizsgált TELENOR HÁZ SPF monitoring adatai, melyhez annyi kiegészítés kell, hogy az SPF értékek alakulását jelentősen csökkentette a BHE szondamező eredeti helyről áttelepített elhelyezése, ami 200 méteres többlet gerincvezetéki szivattyúzási teljesítményt jelent a hőközpontig, ennek megnövekedett villamos energia igényével. Ennek számítását az alábbiak szerint végeztem el, és az 59. ábra mutatja a szükséges többlet szivattyúzási teljesítményt leíró függvényt.

Vegyük a példa számítás kedvéért a Telenor III. aknát!

A hidraulikai áramkör paraméterei: V= 72 m3/h, dp= 331 kPa.

A szondamező az eredetileg tervezett helyéről egy távolabbi helyszínen került kialakításra. Ennek a kellemetlen eredménye volt, hogy hosszabb bekötő gerinc vezeték alkalmazása vált szükségessé. A következő vizsgálatban azt mutatom be, hogy a többlet gerincvezeték hossza hogyan befolyásolja a rendszer összes nyomásesését, illetve a szivattyúzási teljesítményt.

A gépházi szakasz és az akna, illetve a szondamező adatait nem változtatva vizsgálom a többlet gerinchálózaton eső nyomást, mivel a szállított tömegáram és az említett szakaszok hidraulikai adottságai nem változnak. (A nem változó ellenállás összegét Δp0-al jelölöm.) Ez azt eredményezi, hogy a feltételezett teljes körellenállást csak a vizsgált gerincszakasz hossza befolyásolja. A hidraulikai méretezésből adódik, hogy az adott áramlási viszonyok mellett az alkalmazott Ø160 KPE cső fajlagos nyomásvesztesége: s'=166 Pa/m. Az összes nyomásveszteség így a teljes hidraulikai körre: $\Delta p = \Delta p_0 + l \times s'$, ahol „l" a vizsgált gerincvezeték hossza. A III-as akna gerincvezetéki nyomvonalon mért távolsága 400m kiépített állapotban. Ha az akna pozícióját 0-400m között változtatom (gerincvezeték hossza: 0-800m között változik), az adódó körellenállásokat leíró függvényt szemlélteti a diagram kék egyenese.

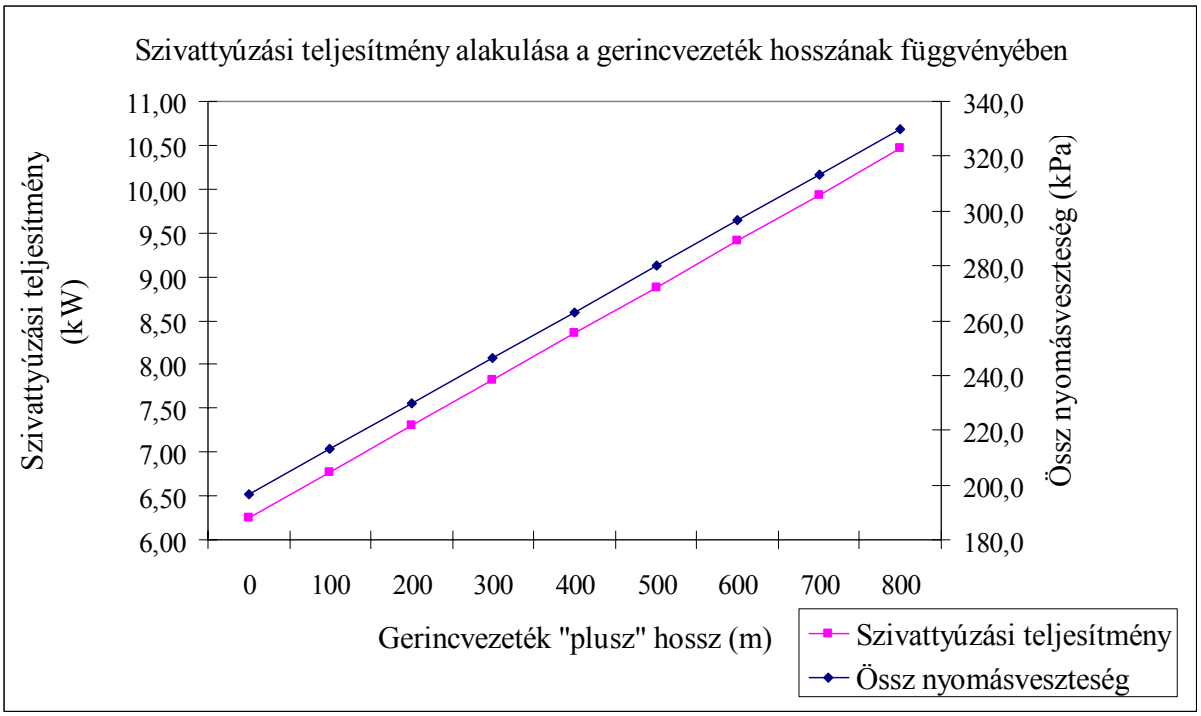
Az általánosan használt szivattyúzási teljesítmény képletet felhasználva:

$$P = \frac{\dot{V} \times \Delta p}{\eta} \qquad (17)$$

ahol V-térfogatáram (m3/s), Δp-emelőmagasság (Pa), η-szivattyú hatásfok(-); adódik a diagramon szemléltetett másik görbe, a szivattyúzási teljesítmény a gerincvezeték hosszának függvényében. Ebben a közelítésben a hatásfokot η=0,63-nak vettem, mint a jelenleg üzemelő szivattyú hatásfoka, és feltételezem, hogy minden kialakuló munkaponthoz tudok olyan szivattyút választani, aminek az adott munkapontban a hatásfoka ennyire adódik.

A diagramból látszik, hogy a szondamezű gerincvezetékét minél rövidebbre sikerül tervezni, annál kedvezőbb szivattyúzási teljesítményt lehet elérni a rendszer üzemeltetése során.

Ez a megállapítás magyarázza a három rendszer (három különböző gerincvezeték) jóságfoka közt adódó különbséget, hiszen a legközelebbi mező szivattyúzási teljesítménye jóval kevesebbre adódik, mint a 200 m-rel távolabb lévő, 400m beépített csőhosszal többel rendelkező rendszeré.

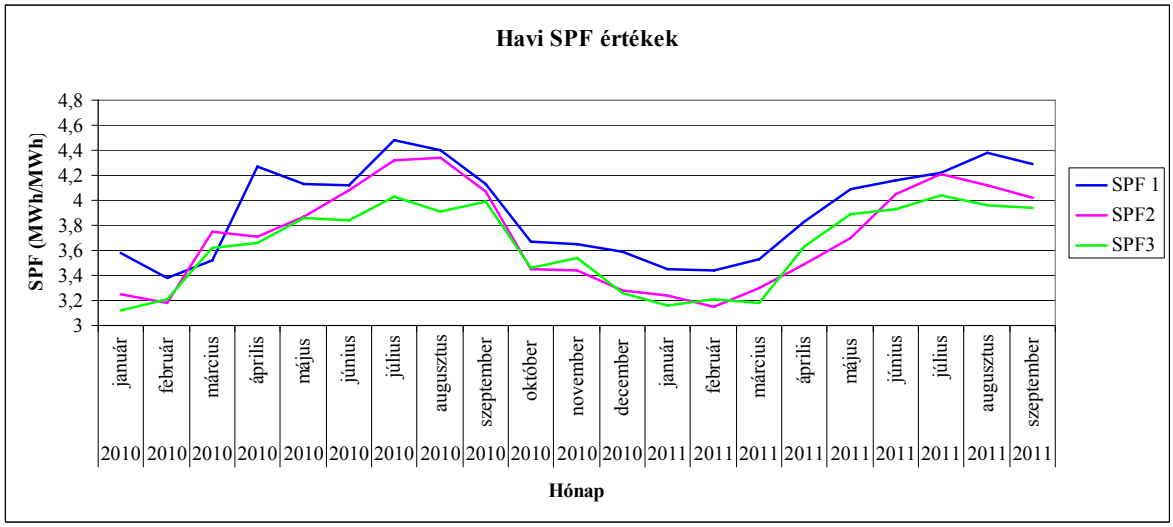


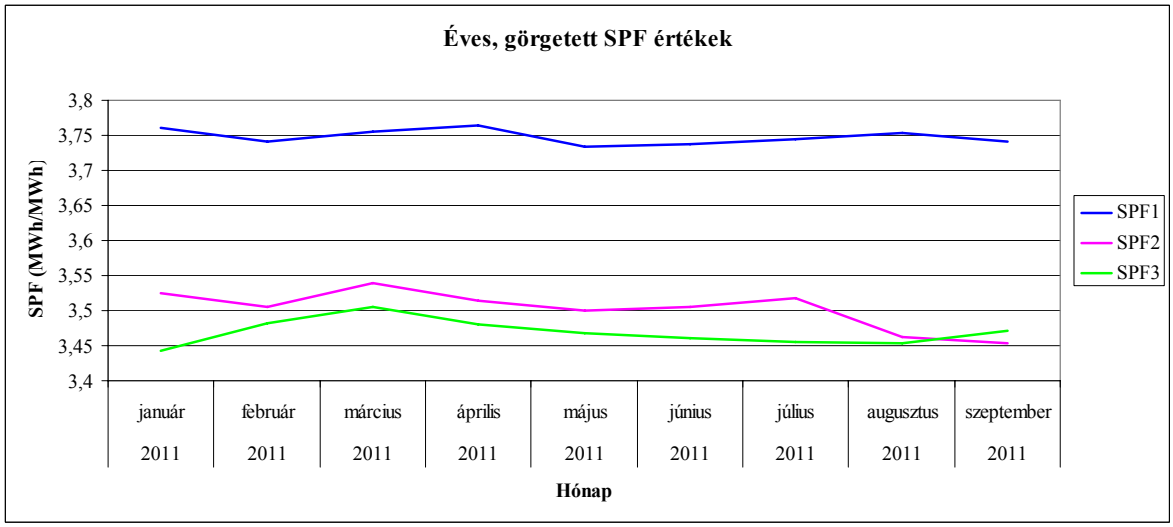
59. ábra: Szivattyúzási teljesítmény alakulása a gerincvezeték hosszának függvényében

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

Nézve egy gyakorlati példát: a Telenor három önálló rendszerének SPF görbéi vannak a 60. 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.





60. 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.

Mindezek ellenére a hőszivattyús rendszer a 3 db hőszivattyúval a beruházó elvárásai szerinti hatékonysággal dolgozik és a várt megtérülési időt, a 6 évet eddigi működési eredmények alapján a rendszer teljesíteni fogja.

4.3.1.3 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.

A fúrások során a 130 db szondán túl 2 db földszondát építettünk be a földhő monitoring illetve a földhőszonda rendszer működésének vizsgálata érdekében. Így a szondák közötti és a

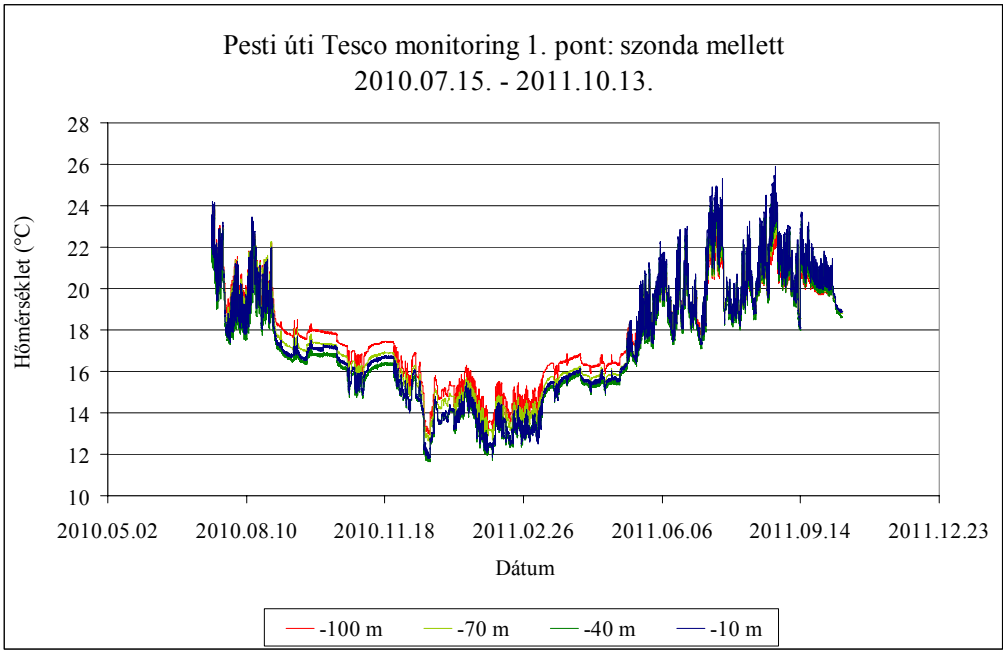
szonda mezőn kívüli kőzetkörnyezetnek a folyamatos hőmérséklet változását tudjuk regisztrálni. Az egyik monitoring pont egy működő földhőszonda mellett, a második a szondamezőtől 5 m távolságra került telepítésre. A beépített hőmérséklet-regisztrálók 30 perces gyakorisággal rögzítik a hőmérsékleti adatokat. Az első (közvetlenül egy működő földhőszonda mellett) 2010.07.15-én, a második hőmérsékletregisztráló (két földhőszonda között) 2010.05.20. óta működik.

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

- 10 m: 13,9°C
- 40 m: 14,6°C
- 70 m: 16,1°C
- 100 m: 18,0°C

A 2010.05.20. óta mért hőmérsékleti értékek egyértelműen mutatják az azóta eltelt fűtési-hűtési időszak hatását a földtani környezetre.

1. mérési pont: a működő földhőszonda mellett 100 m-es hőmérsékletfüzér került telepítésre, ami 10 m, 40 m, 70 m, 100 m-ben van ellátva érzékelővel.



61. ábra: Az 1. mérési pontban regisztrált értékek

Az 61. 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 felmelegedés mértéke azonban a relatív magas induló

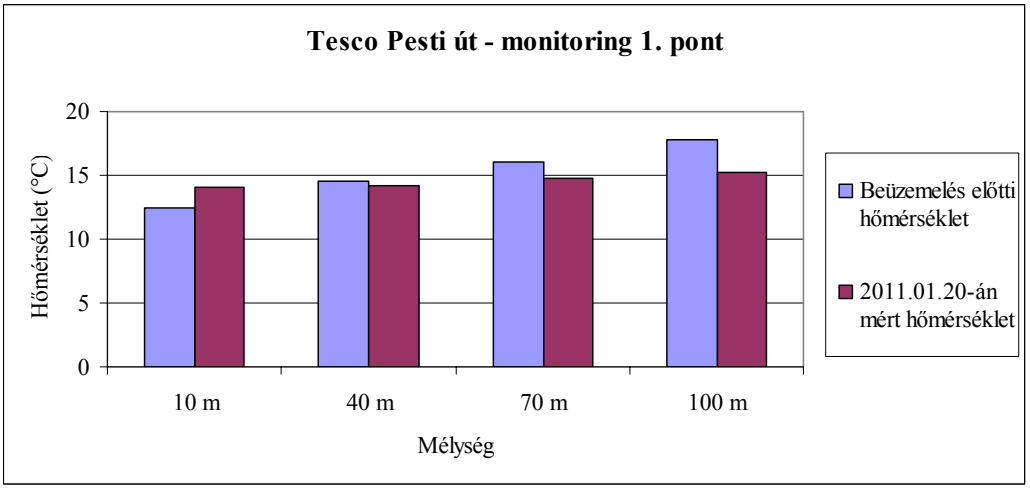
kőzethőmérséklethez viszonyítva nem jelentős. Ennek oka, hogy a nyár végi időszakban indult a rendszer és a gázmotor hulladékhő „extra terhelő” hatását a gázmotoros rendszer kísérleti szakaszos indításai nem tudták előidézni.

Az őszi átmeneti időszakban a hőmérséklet megközelítette a nyugalmi állapotot, majd a fűtés kezdetével hőt vettünk ki a talajból. Ennek következményeként lehűlést regisztráltak a műszerek (11. táblázat).

11. Táblázat: A nyugalmi és a fűtési szezonban mért pillanatnyi értékek összehasonlítása

1. pont	Beüzemelés előtti hőmérséklet	2011.01.20-án mért hőmérséklet
10 m	12,43°C	14,02°C
40 m	14,48°C	14,17°C
70 m	16,01°C	14,78°C
100 m	17,78°C	15,29°C

A mért különbségeket diagramon is ábrázoltuk (62. ábra), és a következtetés: fűtési üzemnél minimális kőzethőmérséklet-csökkenés van.



62. ábra: A nyugalmi és a fűtési szezonban mért pillanatnyi értékek összehasonlítása grafikonon

2. mérőpont: 5 méterre az aktív szondáktól egy monitoring szondában van elhelyezve a hőmérsékletfüzér és 3 mélységben van hőmérsékletmérés: 20m, 50m és 80m-ben.

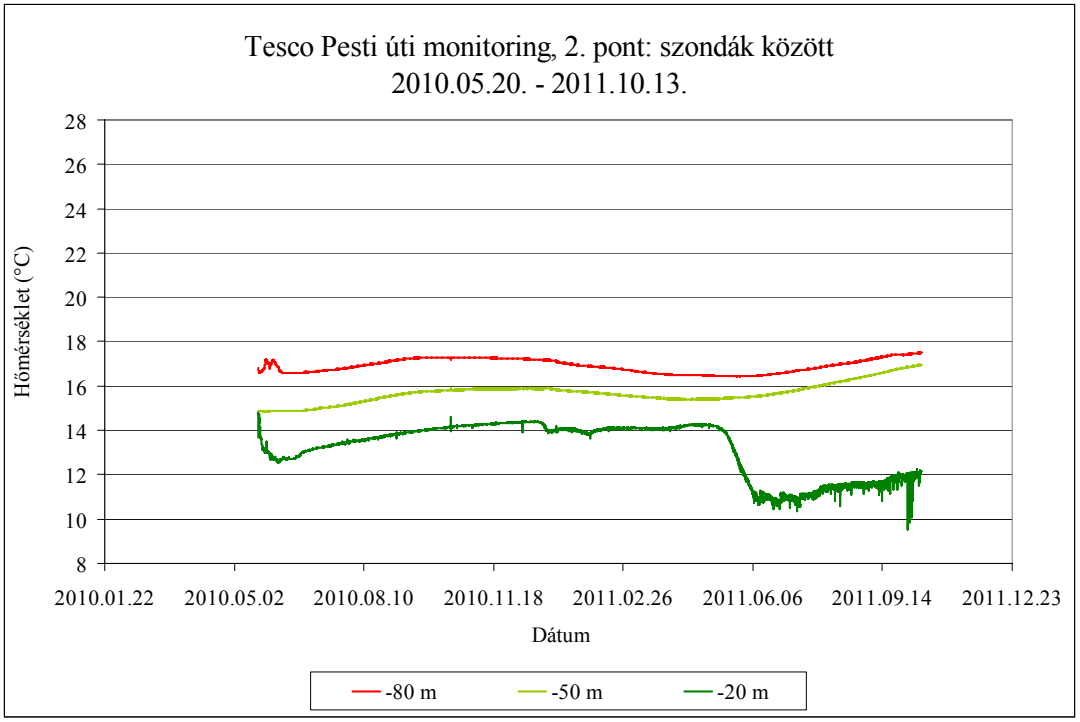
2010.06.10.-2011.01.20.: A hőmérsékleti monitoring a 2. pontban a hőszivattyús rendszer indításakor kezdődött. A mérést három mélységben végezzük, 20, 50 illetve 80 m mélyen a működő szondák között. A földtani közeg hőmérséklete beüzemelés előtt:

- 20 m: 12,73°C
- 50 m: 14,87°C
- 80 m: 16,61 °C

A grafikonon egymás alatt látható a három mélységben mért hőmérséklet az idő függvényében (63. ábra). A beüzemelés nyári időszakkal kezdődött, az épületet hűteni kellett, tehát a hőszivattyús rendszer hőt táplál a földtani közegbe. Ezért látható egy tized fokokban mérhető melegedés minden mélységben. Majd beindult a fűtési szezon, ezért kezdett csökkeni a hőmérséklet 2010 decemberében. 2011.01.20-án a következő értékeket mértük:

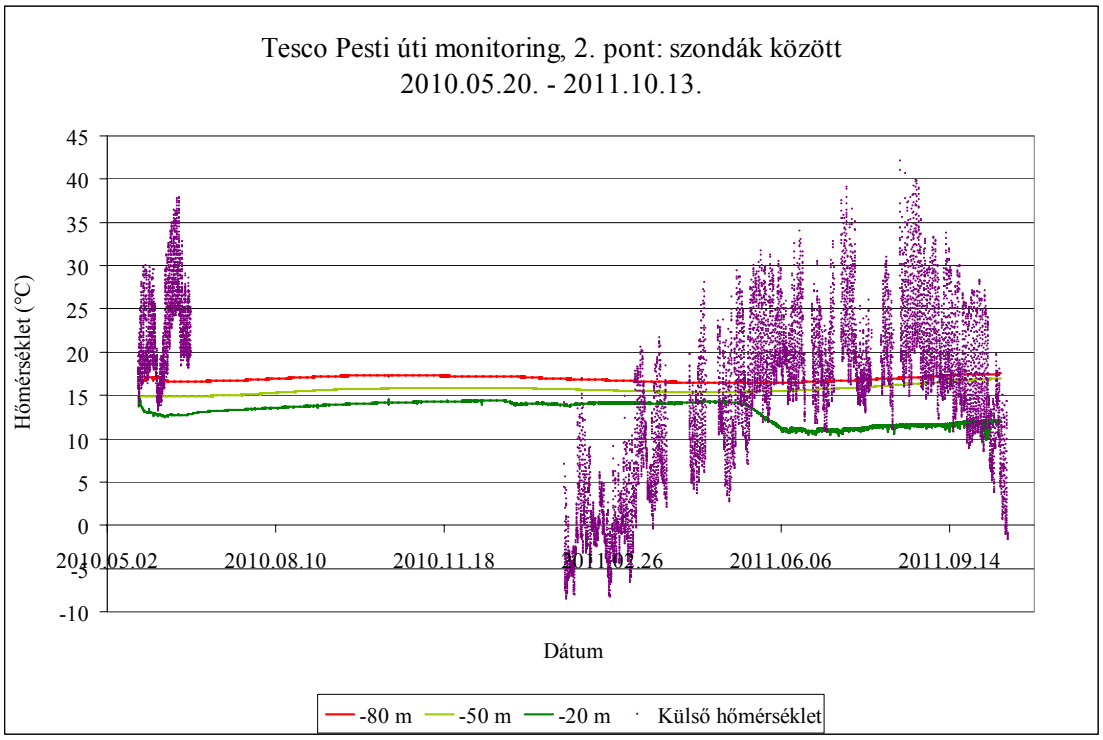
- 20 m: 14,05°C
- 50 m: 15,75°C
- 80 m: 16,95°C

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.



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

A 64. ábrán a 2. mérési pontban rögzített hőmérséklet-adatokat tüntettük fel a Tesco Global Áruházak Zrt. által szolgáltatott illetve a saját mért külső hőmérséklet adatok függvényében. Látható, hogy 5 méterre az aktív szondáktól egy hónap működés mellett a meleg nyári időjárás sem okozott jelentős változást a felszín alatti hőmérsékletekben.

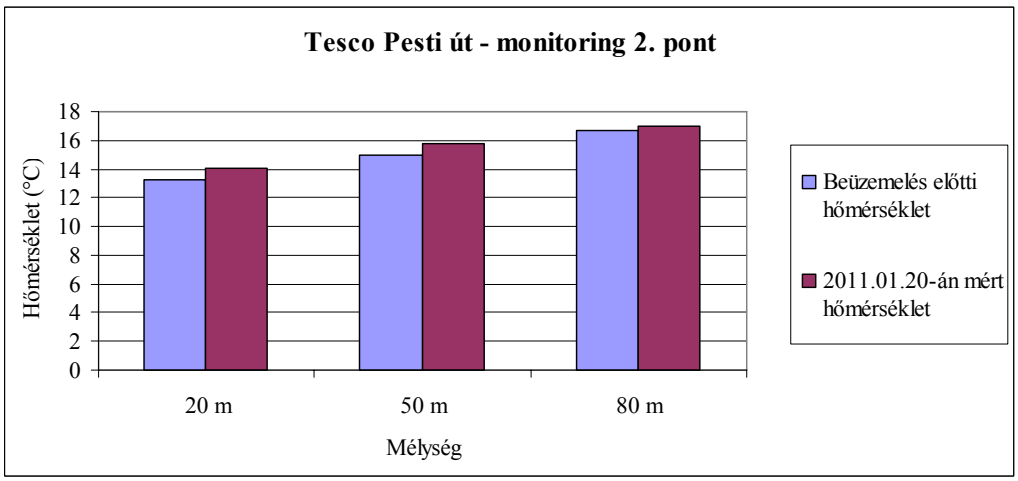


64. ábra: A Tesco 2. monitoring pontjában rögzített adatok a külső hőmérséklet függvényében

9. Táblázat: A nyugalmi és a fűtési időszakban mért pillanatnyi értékek összehasonlítása

2. pont	Beüzemelés előtti hőmérséklet	2011.01.20-án mért hőmérséklet
20 m	13,29°C	14,05°C
50 m	14,92°C	15,75°C
80 m	16,71°C	16,95°C

A 2. pontban mért hőmérséklet-változás oszlopdiagramon ábrázolva:



65. ábra: A nyugalmi és a fűtési időszakban mért pillanatnyi értékek összehasonlítása grafikonon

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 mutatkozhat meg.

Az önálló hőszivattyús rendszereknél többéves tapasztalat alapján a nyári hűtési időszakban a kiinduló (az átmeneti időszakban regenerálódó) 15°C hőmérséklethez képest 5-7°C hőmérséklet-növekedés van a földtani közegben a hővezető-képességétől függően. A TESCO projekt esetében a nyári hűtési EER faktor reális értékelésére egy teljes nyári hűtési időszak kiértékelése után lehet megalapozottan nyilatkozni. Az eddigi adatokból (24°C körüli) azonban megállapítható, hogy a monitoring rendszer alkalmazásával az esetleges magasabb hőmérsékleti földhő anomáliák (37-40ºC) is kezelhetők rendszerszabályozási beavatkozásokkal.

Az eddigi mérések alátámasztják azt a pozitív geotermikus gradiens anomáliát, mely a projekt helyszínére jellemző. Fentiek alapján megalapozottan feltételezhető a TESCO számára a további hatékony és hosszútávon fenntartható, sikeres hőszivattyús üzemeltetés.

4.3.2 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 másik következtetés a mérésekből, hogy a fenntarthatóság mellett 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 9. ábra alapján 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, méretezések 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 többletköltség jelentkezik! **Mintegy 7 milliárd forint!**

Másik irányú hatás a földhőszonda fúrás felesleges költsége, mely 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 az esetleges feleslegesen fúrt szondáknak a beruházási költségre.

További szempont, hogy a pontosan mért és méretezett BHE rendszer teljesíti az elvárt környezetvédelmi- és CO_2-megtakarítási mutatókat. Ezzel megalapozott lehet a jövőben a megújuló energia pályázatoknál a műszaki előkészítés és a tervezői felelősségvállalás. Nem utolsó sorban a közvélemény tájékoztatásában is megerősítette a mérés és modellezés bevezetése óta a BHE hőszivattyús rendszerek iránti bizalmat.

Természetesen a BHE rendszerek mérése és modellezése egy költségtényező a tervezés időszakában. Mivel a piacon már verseny van a mérést és modellezést végző cégek között, ezért a költségek az összes beruházási költséghez képest elenyészőek. Jellemzően egy darab BHE telepítésével egyezik meg a mai mérési-modellezési költség, miközben eredményeivel akár 10 darab BHE telepítésétől is megóvhatja a beruházót, vagy „alulméretezés” elkerülésével az üzemeltetési költséget jelentősen csökkentheti a 25 éves üzemidőre vetítve.

További rendkívül 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.

Mint a disszertáció is bemutatja, a BHE hőszivattyús rendszer in situ telepítési helyén a hővezetést és a - tömedékeléssel, a fúrás adataival, minőségével összefüggő - fúrólyuk-ellenállásmérést, tizedes pontossággal tudjuk mérni, és a hasznosítható földhő kapacitást modellezni. De ez az eredmény csak akkor tud hasznosulni a hőszivattyús rendszer hatékony működésében, ha a gépészeti méretezési adatok valósak, a későbbi tényleges üzemeltetési időkkel, teljesítmény igénnyel és hőfoklépcsőkkel, fűtési és hűtési igényekkel megegyeznek.

Nem elégséges tervezési alapadat a fűtési és hűtési csúcsigények megadása, hanem szükséges az épületek egész éves pontos havi hőszükségleti és hőterhelési görbéjének lefuttatása. Ezekből a valós hőszivattyú üzemórák számíthatók, mely a valós energetikai, környezetvédelmi és gazdaságossági mutatók számításának is alapja.

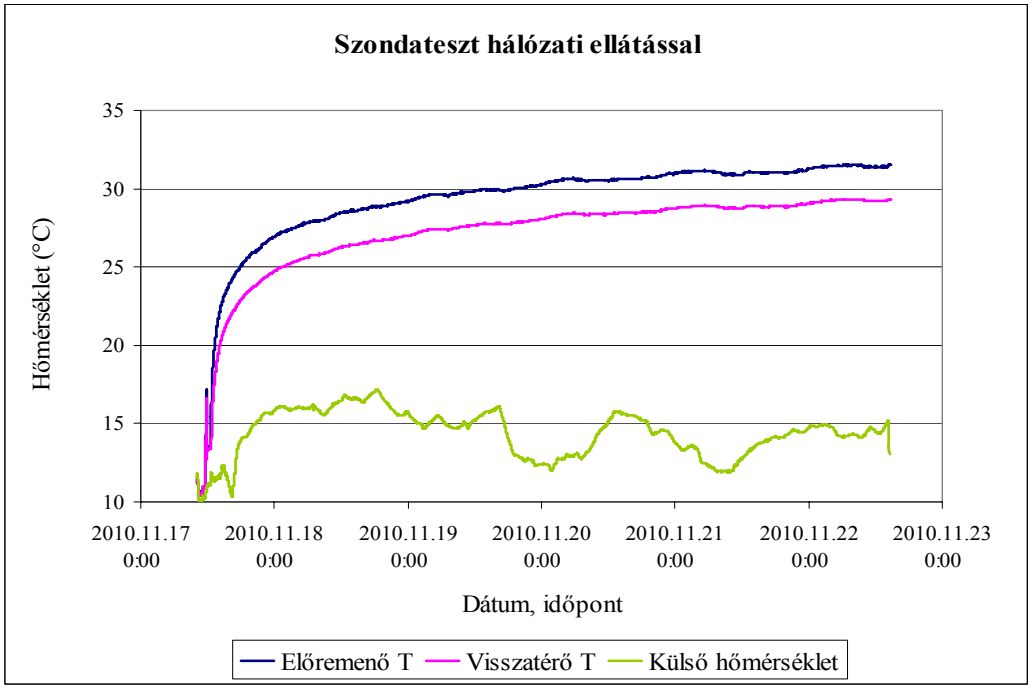
Tehát az épületgépészeti energetikai tervezés, méretezés és modellezés színvonalát is fejleszteni szükséges a megbízhatóan és elvárt hatásfokkal működő BHE hőszivattyús rendszerek elterjedése érdekében. Ez a követelmény a KEOP és ZBR pályázati rendszer „SPF kritériumának” teljesítése miatt is szükséges.

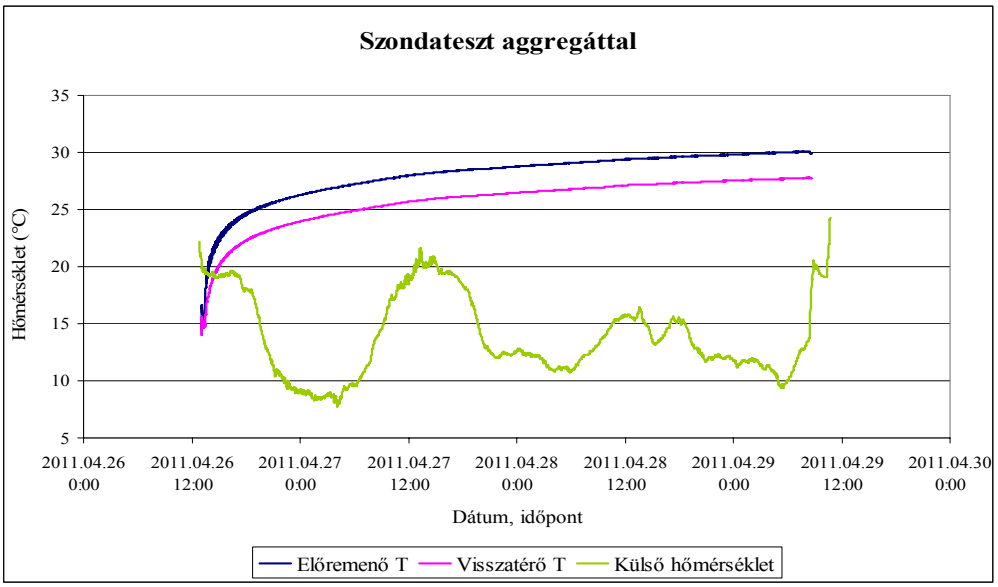
A tudományos kutatásokban is megindult a BHE rendszerek működésének és azok elemeinek részletes hatásvizsgálata. Számos diplomamunka és ma már egy-két PhD értekezés is vizsgálja a BHE működésének fizikai folyamatait, hővezetési hatékonyságra gyakorolt hatásokat, mérési módszerek kiegészítését és ezen adatok korábbi földtani adatokkal való összehasonlítását, kiegészítését.

4.3.3 Földtudományi és műszaki megállapítások

1. A BHE rendszereknél a hővezetési tényező mért adatokból való meghatározására Európában a Kelvini vonalforrás elméletén alapuló kiértékelési, míg az USA-ban a hengerforrás elméletre alapozott kalkuláció terjedt el. Európában a svéd és svájci kutatócsoportok alakították ki azt a numerikus mérési-modellezési eljárást, mely elégséges pontosságú eredményeket ad, reális mérési időigény alatt és megfizethető berendezésigénnyel, így végső soron a beruházó is gazdaságosan tud hőszivattyús projektet előkészíteni. Természetesen a mérési adatok kiértékelése például a hengerforrás elmélettel tovább pontosítható, de ez a kiértékelési-modellezési idő növelésével jár, összességében növeli a költségeket. Mint más területen, itt is a piac dönti el a hatékonyság, a megfizethetőség és nem utolsó sorban e mérések marketingje alapján, hogy mely mérést illetve kiértékelést preferálja.

2. 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. Erre azért van szükség, mert a hálózati feszültség ingadozik, ezzel arányosan Ohm törvénye szerint az áramerősség is ingadozik, és a teljesítményszámítás képletében a két ingadozás egymás szorzataként, négyzetesen jelenik meg. Példaként bemutatok két mérést (66. ábra): egyik tesztnél sem volt még beépítve a feszültség-stabilizátor, az első esetben a tesztelőt hálózati feszültséggel láttuk el, a második mérésnél pedig aggregátot használtunk az áramellátás biztosítására. A grafikonokon látható, hogy 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.





66. ábra: Szondateszt hálózati ellátással és aggregáttal

- 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 ezen 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.

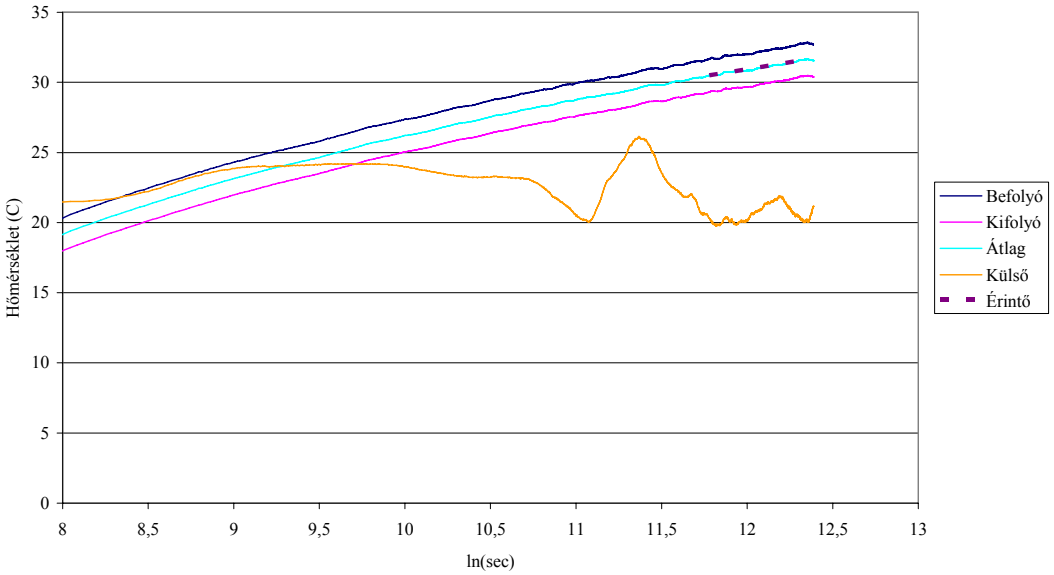
3. A BHE rendszerek hatékony működéséhez fontos a földtani rétegsor pontos ismerete. Nem elegendő a fúrást végző fúrómesterek információja, szükséges a geofizikai szelvényezés, mely pontosítja a réteghatárokat és a rétegsor kőzetleírását, a vízrétegek elhelyezkedését és a várható vízadó képességet.
4. A hazai, döntően üledékes kőzetek fúrhatóak ún. vízöblítéses technológiával. Törekedni kell a BHE méretéhez képest a legkisebb fúrási átmérőre, ezzel a hővezetés javítható.
5. 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.
6. A hővezetés alapvetően függ a fúrólyuk tömedékelésétől. El kell kerülni a különböző vízadó rétegek BHE menti összenyitását.
7. 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:

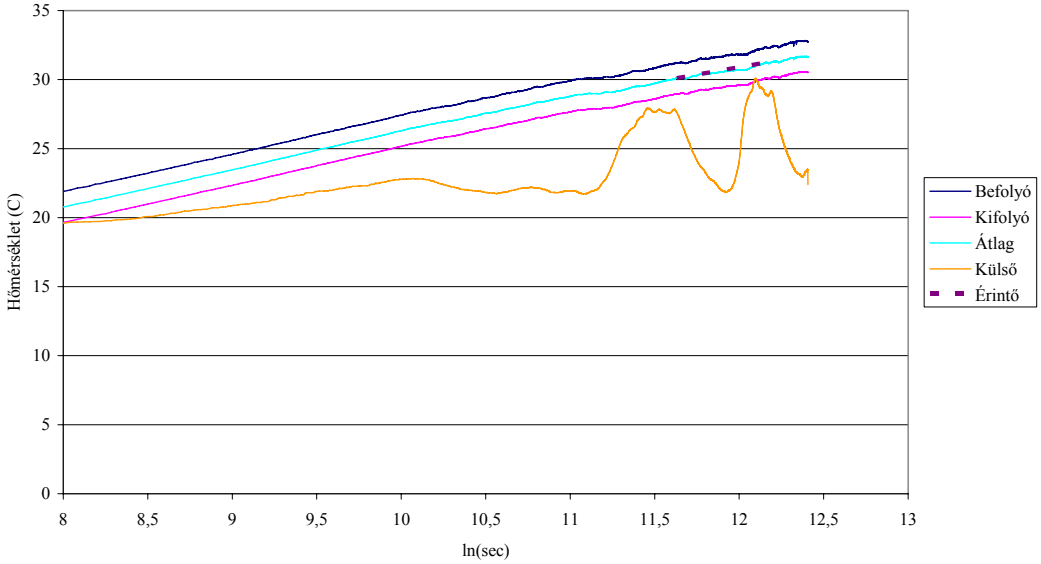
10. Táblázat: Példák tömedék-komponensek arányának megválasztására

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

8. A tervezési szempontok előírhatják megnövelt hatású termikus hővezetőanyag alkalmazását vízzel. Tapasztalat szerint ezek az anyagok váltakozó előnyt jelentenek telepítési területenként. Itt bemutatom két, azonos területen végzett mérés eredményének eltérését. Az adott területen a felszín alatt néhány méteres mélységig

holocén homokos-kavicsos feltalaj található. A holocén feltalajt pleisztocén homok, kavics és agyag követi a rétegsorban. A pleisztocént miocén korú agyag és homok rétegek váltják fel. A méréshez mindként esetben 110 méteres szimpla U hurokkal beépített 40x3,7 mm-es szondát alkalmaztunk, és megmértük a talphőmérsékleti értékeket, amely 18,7-18,8˚C volt.





67. ábra: A két elvégzett TRT mérés a bentonit-cement-víz és a termikusan javított tömedékelőanyag esetében

A 2011 nyarán elvégzett szondatesztek eredményeit (67. ábra) kiértékelve határoztuk meg a területre jellemző hővezetőképesség (λ) értékeket az eltérő típusú tömedékelő anyagok függvényében.

- Mérés hagyományos bentonit-cement-víz tömedékelésű szondában: 1,90 W/mK

- Mérés termikusan javított tömedékelőanyaggal körülvett szondában: 2,12 W/mK

Megállapítható, hogy a termikusan javított anyaggal való tömedékelés 10%-os javulást eredményezett. Ez a hazai termikusan javított tömedékelőanyag-árak mellett nem jelent egyértelmű gazdasági előnyt. 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. Továbbá különösen nagy teljesítményű BHE rendszereknél érdemes megvizsgálni az alkalmazását.

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. Ha a telepítési hely gyenge hővezetésű rétegsorral rendelkezik, akkor csak a hővezetést javító tömedékeléssel lehet javítani a feltételeket, nem lehetséges a BHE hosszának növelése. Csak abban az esetben van lehetőségünk a BHE hosszának növelésére, ha a hőszivattyúhoz külön a gépésztervező választja a rendszer keringtető-szivattyúját és méretezi előzetesen hidraulikailag a kiválasztott szonda típusához és méreteihez.

9. 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. Először durva kavics kerül a lyuktalpra mindaddig, amíg a lyuk alatti üreget elzárja, és megindul a fúrólyukban felfelé 2-3 métert. Ezt kimérjük, majd a rendszeresített tömedékelőanyagot bekeverjük és feltöltjük a BHE-t körülvevő fúrólyukszelvényt. Ezzel megakadályozható a tömedékelőanyag üregbe való beszivárgása. Természetesen a kismértékű ülepedést pótolni kell a tömedékelőanyaggal egy napi várakozás és ellenőrzés után.
10. 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.
11. A vízadó rétegek pozitív hővezetési hatásait az idézett mérések és modellezések már igazolták, ezért fontos a felszín alatti vízáramlás irányának és sebességének figyelembe vétele. Túlértékelésük, helytelen vizsgálatuk a BHE rendszer hatásfokát ronthatja, a rendszer elemei egymást gyengíthetik.

12. A szondacső anyaga és mérete, elrendezése befolyásolhatja a BHE teljesítményét. A hazai első projekteknél a 25 mm-es dupla U szondák lettek alkalmazva, de mivel kihozataluk kevesebb, mint a 32 mm-es U szondáknak, később a szimpla és dupla 32 mm-es U-típusúak lettek alkalmazva. Később 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.

11. Táblázat: PE anyagok tulajdonságai (Bálint et al., 2011)

	PE-Xa	PE-100
30°C	100 év/13,3 bar	50 év/13,5 bar
40°C	100 év/11,8 bar	50 év/11,6 bar
50°C	100 év/10,5 bar	15 év/10,4 bar
60°C	50 év/9,5 bar	5 év/7,7 bar
70°C	50 év/8,5 bar	2 év/6,2 bar
80°C	25 év/7,6 bar	-
90°C	15 év/6,9 bar	-

A szondák anyagában is vannak lényeges minőségi és árdifferenciák. A hazai üledékes rétegsorban a PE 80 és PE 100 SDR 11 megfelel. A keményebb kőzeteknél légkalapácsos fúrási technológiához alkalmazzuk a PE-Xa Rehau szondacsövet, mert az anyaguk térhálósított és jobban ellenáll a felületi esetleges sérüléseknek.

13. A BHE-ben hőközvetítő folyadékként általában etilén- vagy propilén-glikol van alkalmazva. Ez a folyadék 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. Ezekre az összefüggésekre mutat példát a következő elemzés:

Kiindulási paraméterek:

Méretezési hőmérsékletek a BHE-ben: $T_{w,in}$=3,5°C

$T_{w,out}$=0°C

Elvárt teljesítmény:

- szimpla DN40-es szonda esetén: Q_t= 4794W
- dupla DN32-es szonda esetén Q_t= 4794W=2x2397W

Méretezett szondahossz: 100 m

A három vizsgált közeg: tiszta víz, monoetilén glikol, propilén glikol. A glikolokat a tapasztalatoknak és gyártói előírásoknak megfelelően -13°C-os fagyáspontra kevert

állapotban vizsgáljuk. Ez a monoetilén-glikol esetében 25 tf%, a propilén-glikol esetében 30 tf%.

12. Táblázat: A méretezési középhőmérsékleten a vizsgált közegek fizikai paraméterei

Közeg	Sűrűség (kg/m^3)	Fajhő (kJ/kgK)	Kinematikai viszkozitás (m^2/s)
Tiszta víz	1000	4216	$1{,}689*10^{-6}$
Monoetilén-glikol (25%)	1050	3793	$3{,}882*10^{-6}$
Propilén-glikol (30%)	1039	3853	$7{,}033*10^{-6}$

Az összehasonlítás során a szondából kivehető teljesítmény és a méretezési hőmérsékletek lettek állandónak tekintve, hogy a hozzá kapcsolódó hőszivattyú hűtő-körfolyamatának külső paramétereit minél kevésbé befolyásolja. Mivel:

$$Q_t = c \times \dot{m} \times \Delta T \text{, azaz } \dot{m} = Q_t / (c \times \Delta T) \qquad (18)$$

ahol

Q_t: hőteljesítmény (W)

c: fajhő (kJ/kgK)

m: tömegáram (kg/s)

ΔT: hőmérsékletkülönbség (K)

Behelyettesítve az elvárt teljesítményt (Q), a fajhőt (c) és a hőmérséklet-különbséget (Δt), adódnak a vizsgált közegek tömegáramai:

13. Táblázat: A vizsgált közeg tömegáramai

Közeg	Tömegáram (kg/h)	
	DN40-es szonda	DN32-es szonda
Tiszta víz	1169	585
Monoetilén-glikol	1300	650
Propilén-glikol	1280	640

A fenti tömegáramokat, illetve a kiindulási paramétereket figyelembe véve, felhasználva, hogy

$$\Delta p = \left(\frac{\beta \times L}{d} + \sum \zeta \right) \times \frac{\rho}{2} \upsilon^2 (Pa) \qquad (19)$$

Ahol

Δp: nyomásesés (Pa)

β: csősúrlódási tényező (-)

L: csőhossz (m)

d: csőátmérő (m)

ζ: alaki ellenállás (-)

ρ: sűrűség (kg/m^3)

υ: áramlási sebesség (m/s)

$$\text{illetve } P = \frac{\dot{V} \times \Delta p}{\eta} = \frac{\frac{\dot{m}}{\rho} \times \Delta p}{\eta} (W) \qquad (20)$$

Ahol
P: elektromos teljesítmény (W)

V: térfogatáram (m^3/h)

Δp: nyomásesés (Pa)

η: szivattyú hatásfok (-)

m: tömegáram (kg/s)

ρ: sűrűség (kg/m^3)

a különböző közegekre adódó nyomásesések és szivattyúzási teljesítmények egy átlagos szivattyú jóságfokával (η=0,3) a következők:

14. Táblázat: Különböző közegek esetén a nyomásesések és szivattyúzási teljesítmények

	Tiszta víz		Monoetilén-glikol		Propilén-glikol	
	Δp (kPa)	P (W)	Δp (kPa)	P (W)	Δp (kPa)	P (W)
Sz.DN40	15,853	61,76	23,174	95,62	22,538	92,53
D.DN32	14,028	27,36	12,747	26,29	18,302	37,58

Biztonsági szempontból a glikolt a hőszivattyús elpárologtató hőcserélőjének védelme érdekében mégis alkalmazzuk. Egy rendszerautomatika hiba is előidézhet folyamatos hőszivattyú üzemórát, és ekkor elvileg bekövetkezhet egy jól méretezett BHE rendszernél is a lefagyás.

4.3.4 A BHE hőszivattyús rendszerek gazdaságossági értékelése

Magyarországon az első kérdés a beruházóktól, hogy a BHE hőszivattyús rendszer mennyi többlet beruházási költséget jelent, mennyire lesz gazdaságos és mennyi lesz a megtérülési idő?

Ebből kiindulva a BHE hőszivattyús rendszerek elterjedésének kulcsa valóban a gazdaságos működésben és a fajlagos beruházási költségek csökkentésében van. Köztudott, hogy egy hőszivattyús rendszer gazdaságosságát nagyon sok szempont befolyásolja, a teljesség igénye nélkül: tervezési, méretezési, modellezési, kivitelezési, üzemeltetési körülmények, továbbá az ingatlan használójának szokásai és nem utolsó sorban a mindenkori primer energiahordozók árarány a.

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

A vizsgálatot itt is érdemes ki és nagy rendszerekre szétválasztani.

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

A HGD Kft működése során, irányításommal 150 db. kisteljesítményű BHE hőszivattyús rendszert tervezett és kivitelezett. Ezek adataiból egy reprezentatív 15-ös mintát alakítottam ki a gazdasági vizsgálathoz. A minta kiválasztásakor törekedtem az országos egyenletes eloszlásra, a földtani viszonyok széles skálájára és a hőszivattyú teljesítmény skála (9-30 kW) reprezentálására. Ezek alapján a 15. táblázatban szereplő adatokat kaptam.

A kisteljesítményű rendszerek árait különösen befolyásolja az egyre növekvő árverseny a vállalkozók között. Egyes becslések szerint több száz fúrási vállalkozó van a piacon, akiknek döntő többsége minden minőségi ellenőrzés nélkül tevékenykedik. A BHE fúrási árak a 2.600.-Ft/métertől kezdődnek, különösen alföldi területen. A BHE szondák sok esetben ellenőrzés nélkül garázsokban, műhelyekben, vagy a helyszínen vannak fúziósan összesütve. Ekkor a szondaárak 400.- Ft/métertől kezdődnek.

15. Táblázat: 15 kisteljesítményű mintaprojekt gazdasági vizsgálata

	Sorszám	**Helyiség**	**Teljesítmény**	**Szondaszám**	**Beruházási költség (nettó m Ft)**	**Támogatás (bruttó m Ft)**
6-12 kW	1.	Gödöllő	11	2x100	3,6	
	2.	Göd	7	1x120	3	
	3.	Tahitótfalu	11	2x100	3,8	
	4.	Bp. XVI.	9	2x80	3,28	
	5.	Törökbálint	11	2x100	3,2	
13-17 kW	6.	Bp. XVI.	17	3x100	5,2	1,47
	7.	Bp. XVIII.	14	3x80	4,8	1,47
	8.	Bp. XV.	14	3x100	5,4	
	9.	Pomáz	14	3x80	3,9	
	10.	Budakalász	17	3x100	4,5	
17-29 kW	11.	Bp. XIV.	22	4x110	7,3	
	12.	Pomáz	22	6x100	7	
	13.	Bp. XII.	25	6x85	10,2	1,2
	14.	Bp. XI.	20	4x100	6	
	15.	Göd	20	4x100	6,3	
	Összesen:		234		77,48	
	Átlag:		**15,6**		**5,16**	

Kemény kőzeteknél a fúrási és szonda költségek elérhetik összesen a 10.000.- Ft/métert például az előírt PE-XA típusú szonda esetében. Tehát ebből látszik, hogy a telepítési

költségek tág határok között vannak. Ezért a beruházási költség vizsgálathoz a teljesítményarányos átlagot vettem figyelembe. Ez alapján a 15 db-os mintából: 331.111 Ft/kW nettó +Áfa 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 12. mellékletben bemutatok egy gazdasági számítást, melyben 15,6 kW aktív fűtés és HMV készítés mellett, 8,5 kW passzív hűtés esetén látható az új BHE hőszivattyús rendszer beruházási költsége és megtérülési ideje. A számításokat elvégeztem pályázati támogatás esetére is, melyeket mellékelek.

Az eredményekből látható, hogy 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 legalább 30% kell, hogy legyen, a legális hőszivattyú rendszer telepítések érdekében.

4.3.4.2 Nagy teljesítményű BHE rendszerek gazdaságossági elemzése

Megállapítható, hogy a fajlagos beruházási költségek kisebbek a nagyteljesítményű BHE rendszereknél. A kérdés, hogy mennyivel kisebbek?

Az előző pontban vizsgált fúrási körülményekkel és piaci szempontokkal foglalkozó megállapítások itt is igazak (nyomott árak, fúrási körülmények változatossága stb.) de ebben az esetben a felkészültebb vállalkozói kör kisebb, viszont a „versenyelőnyök” kijátszásában még nagyobb tapasztalataik vannak. Ebben a szolgáltatási szegmensben is a minőség és az anyagok, tervek minősége, logisztika, stb. nagyon széles skálán változnak. Az olcsóság sokszor jár együtt a minőség romlásával a szabályok megszegésével. Sajnos a mai generál vállalkozói kör ezt nem veszi figyelembe, csak az ár minimalizálására törekszik.

Ehhez a vizsgálathoz is a HGD Kft által tervezett és kivitelezett 10 db legnagyobb teljesítményű BHE hőszivattyús beruházás adatait vettem figyelembe. A beruházási helyek csak számokkal vannak jelölve, mivel a projekt tulajdonosok nem járultak hozzá a pénzügyi adatok közléséhez.

16. Táblázat: 10 nagyteljesítményű mintaprojekt gazdasági vizsgálata

Sor-szám	Helyiség	Teljesítmény [kW]	Szondahossz [m]	Költség beruh. [Nettó mFt]	Támogatás	
					Igen [%]	Nem
1.	Bp. XVII	325	6000	55		X
2.	Páty	610	12000	97		
3.	Bp. XV	818	8100	120		X
4.	Törökbálint	960	18000	200		X
5.	Bp. XVII	860	13000	100		X
6.	Bp. XIV	1240	22500	215		X
7.	Törökbálint	700	18000	159		
8.	Dorog	130	2200	23,5		X
9.	Bp. XVI	125	2400	25,33		X
10.	Mezőkövesd	422	8750	56		X
Átlag:		**619**	**11085**	**104**		

Ez alapján a 10 darabos mintából **168.012 Ft/kW** nettó + Áfa = **210.015 Ft/kW** fajlagos beruházási költség adódik.

A következőkben a kapott beruházási költséghez megvizsgálom a megtérülési időt.

Itt egy lényeges szempont, hogy a beruházó a villamos energiát mennyiért kapja a szolgáltatótól. Nagyteljesítményű BHE rendszereknél szinte minden esetben a „H” vagy „GEO” tarifánál jobb áraik vannak, de ezt üzleti titokként kezelik.

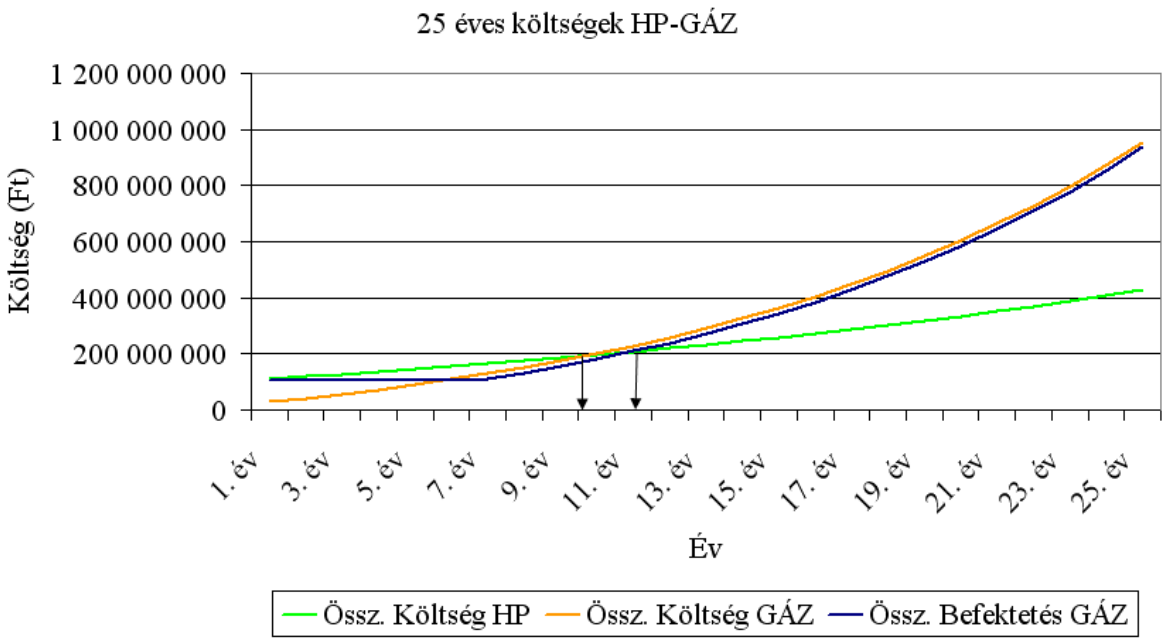
Ezért a mellékelt mintaszámításokban egy valószínűsített 20 Ft/kWh árral számolok. A számításokat itt is elvégeztem pályázati támogatás nélküli és támogatásos esetre, de itt a támogatási intenzitástól függően több lehetőséget vizsgáltam, mivel a pályázatoknál van vállalkozói kör általában régiótól függően 25%-50%-60%-os támogatással. Ezen kívül lehetnek az önkormányzatok 85% támogatással. Ezeket a számításokat a 13-16. melléklet tartalmazza. Az eredményeket összesítettem a 17. táblázatban.

A gazdasági és megtérülési számítást elvégeztem a 17. 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.) és a kapott háttérszámításokat a 18. melléklet tartalmazza.

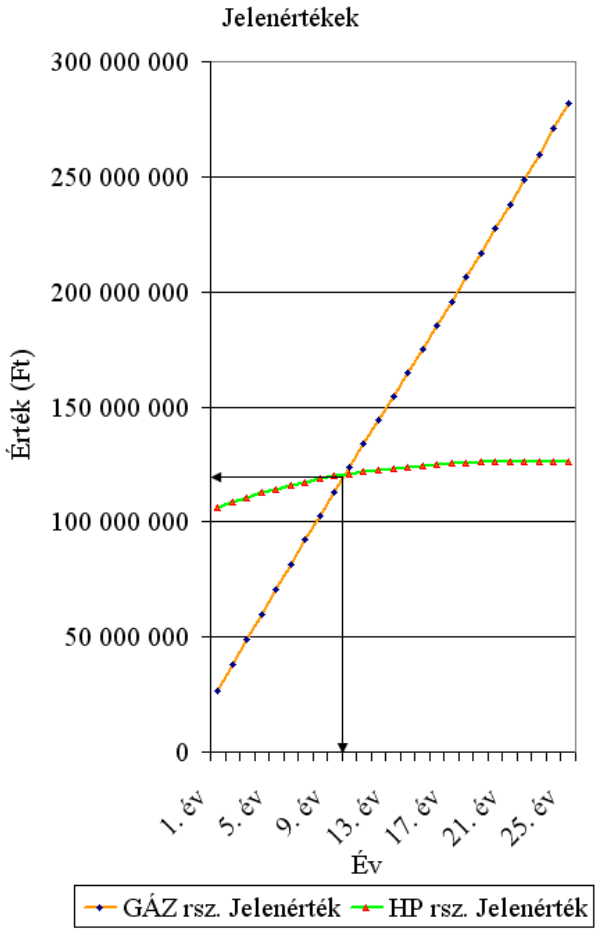
17. Táblázat: A 10 mintaprojekt megtérülési ideje

Ssz.	Helyiség	Teljesítmény (kW)	Költség különbözet [nettó mFt]	Üzemeltetési költs. [Ft/év]	Támogatás		Megtérülési idő (év)
					Igen	Nem	
1.	Bp. XVII	325	35	9,2		X	3,80
2.	Páty	610	13,32	15,59	X		0,85
3.	Bp. XV	818	70	19,62		X	3,57
4.	Törökbálint	960	140	27		X	5,19
5.	Bp. XVII	860	104,12	17,59		X	5,92
6.	Bp. XIV	1240	215	25,54		X	8,42
7.	Törökbálint	700	109	22,98		X	4,74
8.	Dorog	130	17	3,22		X	5,28
9.	Bp. XVI	125	18,33	3,06		X	5,99
10.	Mezőkövesd	422	71	12,34		X	5,75
Átlag:		**619**	**79,277**	**15,614**			**4,95**

A 68. 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.



68. ábra: 25 éves költségek: hőszivattyú-gáz



69. ábra: Jelenértékek

A 69. 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.

Értékelésnek 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:

$$\dot{V} = 800 \times 1200 \, {}^{l}\!/_{h} = 960 \, {}^{m^3}\!/_{h} = 0{,}266 \, {}^{m^3}\!/_{s} \qquad (21)$$

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

$$P = \frac{\dot{V} \times \Delta p}{\eta} = \frac{0{,}266 \times 35000}{0{,}6} = 15.554W = 15{,}554kW \qquad (22)$$

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.

4.3.4. 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:

$$CO_{2,\text{végenergia}} = 0{,}56\,\text{kg}/\text{kWh} \qquad (23)$$

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:

$$\begin{aligned} &SPF_{krit,en} \geq \frac{1}{\eta_{\text{erömü}} \times \eta_{\text{hálózat}}} \\ &\frac{1}{\eta_{\text{erömü}} \times \eta_{\text{hálózat}}} = \frac{1}{0{,}323 \times 0{,}9} = 3{,}44 \\ &SPF_{krit,en} \geq 3{,}44 \end{aligned} \qquad (24)$$

Azaz az $SPF_{krit,en}$ 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.

$$SPF_{A-B} = \frac{\text{Megtermelt_energia}_{A-B}\text{_(kWh)}}{\text{Felhasznált_energia}_{A-B}\text{_(kWh)}} \qquad (25)$$

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:

$$e_{HP} = \frac{0{,}56(kg_{CO_2} / kWh_{el})}{4{,}0(kWh_{hö} / kWh_{el})} = 0{,}14(kg_{CO_2} / kWh_{hő}) \qquad (26)$$

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:

$$e_{hk}= 2{,}1\ [kg\ CO_2/m^3] \times r_{hk} = 2{,}1 \times 0{,}125 = 0{,}263\ [kg\ CO_2/kWh] \qquad (27)$$
$$e_{kk}= 2{,}1\ [kg\ CO_2/m^3] \times r_{kk} = 2{,}1 \times 0{,}104 = 0{,}218\ [kg\ CO_2/kWh] \qquad (28)$$

Ezzel a CO_2-emisszió megtakarítás mértéke a hőszivattyús rendszerrel:

- Hagyományos gázkazán esetén: $\Delta e_{hk}=e_{hk}-e_{HP}=0{,}263-0{,}14=0{,}123\ [kg\ CO_2/kWh]$ (29)
- Kondenzációs gázkazán esetén: $\Delta e_{kk}=e_{kk}-e_{HP}=0{,}218-0{,}14=0{,}078\ [kg\ CO_2/kWh]$ (30)

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:

$$\Delta e_{hűtés}=e_{lk}-e_{HP}=(0{,}560/1{,}3) - (0{,}560/3{,}5) = 0{,}271\ [kg\ CO_2/m^3] \qquad (31)$$

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:

$$\Delta e_{fűtés}=e_{hp}-e_{hk}=(CO_{2,végenergia}/SPF)-e_{hk} \qquad (32)$$

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

$$SPF_{krit,körny,hk}=CO_{2,végenergia}/e_k \qquad (33)$$

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

$$\mathbf{SPF_{krit,körny,hk}=CO_{2,végenergia}/e_{hk}=0{,}56/0{,}263=2{,}13} \qquad (34)$$

$$\mathbf{SPF_{krit,körny,kk}=CO_{2,végenergia}/e_{kk}=0{,}56/0{,}218=2{,}57} \qquad (35)$$

Az e fölötti SPF érték tekinthető környezetvédelem szempontjából hatékonynak.

C) Milyen esetben gazdaságilag hatékony a hőszivattyús rendszer?

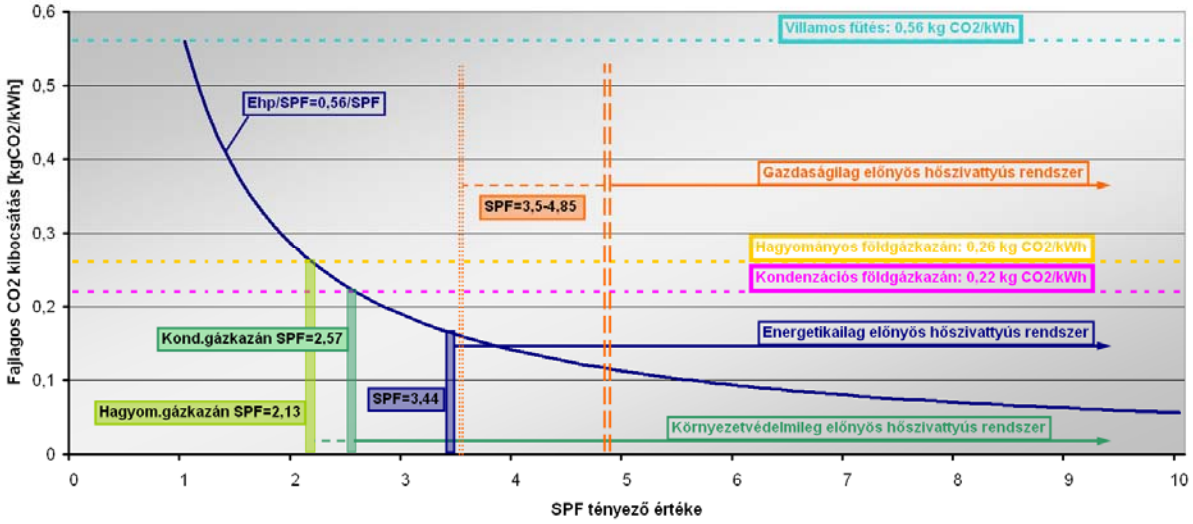
Ez a kérdés határozható meg a legkevésbé egzakt módon. Az $SPF_{krit,gazd}$ gazdasági megtérülést biztosító érték erősen függ a hőszivattyús technológia fajtájától (levegős, talajszondás, vízkutas, talajkollektoros, energiacölöpös, stb.), a felhasználás jellegétől (folyamatos vagy szakaszos, fűtés, hűtés 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 70. ábrán látható diagram:



70. 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.

Az alábbi 18. táblázatból látható a TELENOR Zrt.-től kapott éves CO_2 megtakarítási eredmény a különböző műszaki rendszerek hatására, köztük a hőszivattyús rendszerre vonatkozó adat.

18. Táblázat: Telenor Ház energiahatékonysága

	Energia (kWh)	**CO_2 (tonna)**
Hőszivattyú	**900 000**	**364**
Napkollektor	80 000	32
Épületfelügyelet	300 000	120
Lekapcsolások, szakaszos üzemek	470 000	190
Árnyékolás	50 000	20
Hőszigetelő üvegezés	50 000	20
Érzékelők, világítás, stb.	200 000	80
Összesen	**~2 100 000**	**800-850**

Általánosságban megállapítható, hogy a BHE rendszer mivel zárt rendszer ezért közvetlen környezetvédelmi kockázatot nem jelent, ha a vonatkozó szabályokat és területi telepítési korlátokat betartják. Igazolja ezt a megállapítást a nemzetközi engedélyezési gyakorlat is, mely általában lazább, mint a hazai. Sok európai országban csak bejelentési kötelezettség van, de ez nem csökkenti a rendszerek biztonságát, mert a tervezési és kivitelezési normák sokkal szigorúbban vannak betartva és esetleg ellenőrizve, mint hazánkban.

4.3.5 A BHE hőszivattyús rendszerek jövőbeni lehetőségei, várható fejlődése

A Megújuló Energia Nemzeti Cselekvési Terv 2020 földhő hőszivattyús célszámai megvalósításához a hőszivattyús szakterület nagy fejlesztése szükséges. Ez egy „kihívás” a hőszivattyús piac szereplőinek. Meg kell teremteni a szabályozott és minőségileg ellenőrzött hőszivattyús piacot.

Ehhez földtani oldalról a méréseket, modellezéseket általánosan elfogadottá kell tenni. A mérő berendezéseket és módszereket a nemzetközi fejlesztések és a hazai mérési piac fejlődéséhez igazítva alkalmazni kell. A földhővezetési tényező mérésének és a fúrólyuk ellenállás mérésének módszereit további kísérletekkel bővíteni kell és az eredményeket, ha azok gyakorlati szempontból is versenyképesek, át kell venni.

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. Ezek az adatok a további fejlesztésekhez is adnak új információkat.

Megítélésem szerint a hazai földhő potenciál sokkal nagyobb, mint az eddigi óvatos becslésekben szerepel, vagy akár a 2020-as tervekben célul van kitűzve. Hosszú távon a BHE hőszivattyús rendszerek elterjedését a fosszilis energiaárak, az esetleges fosszilis energia hiány (újabb politikai események), a nukleáris energia hazai alkalmazásának jövője, a hazai erőmű rendszer hatásfok javítása és a megújuló alapú villamos energiatermelés növekedése, ennek előmozdításához a tározós erőmű kapacitás megteremtése fogja befolyásolni energiapolitikai és szakmai szempontból. Ezek mellett azonban fontos a hazai „energia szegénység” leküzdése a lakosság fizető képességének javítása.

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.

Ennek véleményem szerint fele továbbra is a BHE hőszivattyús rendszer lesz. Különösen a 2014. január 01.-től induló új EU költségvetési időszaktól várható a pénzügyi támogatás ennek a megújuló energia felhasználáson alapuló hőszivattyús technológiának.

4.4 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.

MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék
M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó fontosabb publikációk
M3. EHPA hőszivattyús eladási statisztika 2010
M4. VDI 4640 hővezetőképesség értékek
M5. Telenor geofizikai szelvénye
M6. A HGD Kft. által végzett mérések (2006-2011)
M7. TRT mérések elhelyezkedése Budapesten és környékén
M8. Raiffeisen geofizikai szelvénye
M9. Raiffeisen monitoring TRT alatt
M1.0 Telenor EED méretezés
M11. Tesco geofizikai szelvénye
M12. Gazdasági számítás kis rendszerre
M13. Gazdasági számítás nagy rendszerre 30%
M14. Gazdasági számítás nagy rendszerre 50%
M15. Gazdasági számítás nagy rendszerre 60%
M16. Gazdasági számítás nagy rendszerre 85%
M17. Talajszondás hőszivattyús rendszerek hatósági engedélyeztetése
M18. Gazdasági és megtérülési számítás nagy rendszer esetén

M1 IRODALOMJEGYZÉK

ACUNA, J., MOGENSEN, P., PALM, B. (2010): Distributed Thermal Response Test on a U-pipe Borehole Heat Exchanger, World Geothermal Congress, 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, p. 1-14.

BÁLINT B., BOBOK E., BUDAY T., DE CARLI M., KOZÁK M., LORBERER Á.F., WILLIAMS M.R., PÜSPÖKI Z., SZŰCS P., TÓTH A., TÖRÖK I. (2011): Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése – Hidrogeotermikus rendszerek és földtani vetületeik, GEOREN, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, 3. munkacsoport, p. 98-99.

DITTUS, FW., BOELTER, LMK. (1930). Heat transfer in automobile radiators of the tubular type, Publications in Engineering, Vol.: 2, p. 443-461.

DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., DRAHOS D. (2002): Hungary. – In: HURTER, S., HAENEL, R. (eds): *Atlas of Geothermal Resources in Europe*. – Publication No. 17311 of the European Comission, Office for Offical Publications of the European Communities. L-2985, Luxemburg. p. 36-38.

EARTH ENERGY DESIGN 3.0 (2008): User Manual, BLOCON, USA. p. 5-7., 10-25.

EUGSTER, W.J., SANNER, B. AND MANDS, E. (2002): Stand der Entwicklung und Anwendung des Thermal-Response-Test. – *Proc. 7. Geothermische Fachtagung*, p. 304-314.

FORSÉN, M. (2011): Heat Pump Statistics 2010, 4th EHPA European Heat Pump Conference, London-Paddington, 1.6.2011., p. 4.

FUJII, H., OKUBO, H., ITOI, R. (2007): Interpretation of Thermal Response Tests in the Presence of Groundwater Flow, Kyushu University, Fukuoka, Japan, p. 1-14.

GEHLIN, S., NORDELL, B. (1997): Thermal Response Test – a Mobile Equipment for Determining Thermal Resistance of Borehole. - *Proc. Megastock '97*, 1997, p. 103-108.

GEHLIN, S. AND HELLSTRÖM, G. (2000): Comparison of four models for thermal response test evaluation. *ASHRAE transactions,* 109, p. 1 –12.

GEOLOGIK THERMAL RESPONSE TEST ANALYSIS SOFTWARE (2010): User Manual, GeoLogik Software GmbH, Germany, p. 7-23.

GROUND LOOP DESIGN PREMIER (2010): User's Manual, 2010 Celsia, LLC., Gaia Geothermal, USA, p. 7-36.

GUSTAFSSON, A. M., NORDELL B.: Thermal Response Test While Drilling, Div. Of Architecture and Infrastructure Lulea University of Technology, p. 1-5.

HOLICS L. (1998): Fizika összefoglaló, TypoTex Elektronikus Kiadó Kft., Budapest, p. 333., 336., 341.

KOMLÓS F. – FODOR Z. – KAPROS Z. – VASZIL L. (2007): „Csináljuk jól!" Hőszivattyúzás, Energiahatékonysági sorozat, p. 6., 13-14., 45-47., 49.

LENKEY L. (1999.): Geothermics of the Pannonian basin and its bearing ont he tectonics of basin evolution – PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam. p. 215.

LUND, J. W., FREESTON, D. H., BOYD, T. L. (2010): Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, p. 3.

MAHÖSZ – EHPA-nak készített stat., 2011

MÁDLNÉ SZŐNYI J. (2006): A geotermikus energia – Készletek, kutatás, hasznosítás, Grafon Kiadó, p. 23.

MÁDLNÉ SZŐNYI J. – RYBACH L. – LENKEY L. – HÁMOR T. – ZSEMLE F. (2008): A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon - Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttértanulmány, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, p. 6., 14., 23., 38.

MÉGEL, T., ROHNER, E., WAGNER, R., RYBACH L. (2010): The Use of the Underground as a Geothermal Storage for Different Heating and Cooling Needs, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, p. 1-2.

M. REUSS, E. KONSTANTINIDOU, B. SANNER (2006): 10 YEARS VDI 4640 – German Guidelines for Ground Coupled Heat Pumps, Utes and Direct Thermal Use of the Underground, p. 2-3.

Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv, p. 12., 21., 24-26., 31., 199., 202-213.

NÉMETH I., BÖJTHE Á. (2009): Tervezési segédlet, GEORT - Geothermal Response Test Kft., p. 2-3., 12-13.

REZESSY, G., SZŐTS, T., HÁMOR, T. (2003): The assessment and inventory of geothermal energy. – In: Proceedings European Geothermal Conference 2003, Szeged (Abstracts CD-ROM)

REZESSY G., SZANYI J., HÁMOR T. (2005): Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának kialakításáról, MGSZ Budapest, p. 82.

RYBACH, L. (ed.) (1985): Heat flow and geothermal processes. – In: *Proceedings of IUGG Interdisciplinary Symposium* No. 10, Hamburg, Germany August 1983. – Journal of Geodynamics, Special Issue 4., 1-4: p. 349.

RYBACH, L., EUGSTER, W.J., (2002): Sustainability aspects of geothermal heat pumps. – In: *Proceedings, 27th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California. p. 50-64.

SANNER, B., REUSS, M., MANDS, E. AND MÜLLER, J. (2000): Thermal Response Test - Experiences in Germany. *Proc. Terrastock 2000*, p. 177-182.

SCHLÜNDER, EU. (1983). HEDH – Heat exchanger design handbook, Vol. 2. Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, p. 70., 700-760., 850-860., 1081-1116.

SEIDL, G. (2007): Hőszivattyúk Magyarországon, Magyar Épületgépészet, LVI. Évfolyam, 2007/6. szám, p. 5.

SPITLER, J.D., REES, S. AND YAVUZTURK, C. (1999): More Commentson In-situ Borehole Thermal Conductivity Testing. *The Source* 3-4/99., p. 165-169.

SZANYI, J. (2005): Magyarország geotermikus energiavagyonának számítása. – In: Rezessy, G., Szanyi, J. és Hámor, T. (2005): A geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről, I. Fázis. – Jelentés, Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest, p. 50-52., 75.

SZANYI J., KOVÁCS B. (2007): A Kárpát-medence geotermikusenergia potenciálja, III. Kisteleki Geotermia Konferencia, p. 3-5.

TARI, CS., SZANYI, J., KOVÁCS, B. (2011): Effect of Geological and Hydrogeological Conditions ont he Performance of Vertical Ground Heat Exchanger System, p. 1-10.

TÓTH L. (2008): Geotermikus hőszivattyús rendszerek nemzetközi és hazai elfogadottsága, tervezésük földtani kérdései – Diplomamunka, Debreceni Egyetem, Természettudományi Kar, 8., p. 31-32., 36-44.

TUOMAS G, GUSTAFSSON A-M, NORDELL B. (2003). Thermal Response Test Integrated to Drilling. Proc. Futurestock, 9th Int. Conf. on Thermal Energy System 2003. Warsaw. Part I, p. 411-415.

VDI4640 (2010): Part 1.: p. 11.; Part 2.: p. 17-21, 23.

VÖLGYESI, L. (2002): Geofizika, Műegyetemi Kiadó, Budapest (www.agt.bme.hu)

ZOGG, M. (2008): History of Heat Pumps Swiss Contributions and International Milestones, 9th International IEA Heat Pump Conference, 20 – 22 May 2008, Zürich, Switzerland, p. 5.

M2 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven:

1. Tóth L, Šlihte S., Ádám B., Petróczki K., Korzenszky K., 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.

Európai Hőszivattyú Szövetség

Hőszivattyús eladási statisztika 2010

	Magyarország	Eladás 2010			Beüzemelt kW 2010		
1.	**Helységfűtés (családi ház és harmadik szektor)**	<20 kW_{th} [1]	>20 kW_{th} [1]	**Total**	<20 kW_{th} [1]	>20 kW_{th} [1]	**Total**
1.1	Csak fűtés [2]						
1.1.1	Folyadékelosztású rendszer						
	levegő / víz	88	18	106	88	18	106
	víz / víz	62	24	86	62	24	86
	sólé / víz	109	66	175	109	66	175
	direkt elpárologtatás / víz	0	0	0	0	0	0
	egyéb [5]	0	0	0	0	0	0
	Subtotal 1.1.1	259	108	367	259	108	367
1.1.2	Használt levegő						
	levegő / levegő [3]	35	7	42	35	7	42
	levegő / levegő + HX [4]	0	0	0	0	0	0
	levegő / víz [3]	3	0	3	3	0	3
	levegő / víz + HX [4]	0	0	0	0	0	0
	egyéb [5]	0	0	0	0	0	0
	Részösszeg 1.1.2	38	7	45	38	7	45
	Részösszeg csak fűtésre	**297**	**115**	**412**	**297**	**115**	**412**
1.2	Reverzibilis (fűtés és/vagy hűtés) [6]						
	levegő / levegő [7]	8	28	36	8	28	36
	levegő / víz	135	3	138	135	3	138
	sólé / víz	106	59	165	106	59	165
	VRF/VRV [8]	90	181	271	90	181	271
	egyéb [5]	5	4	9	5	4	9
	Részösszeg reverzibilis	344	275	619	344	275	619
	Teljes helységfűtés	**641**	**390**	**1 031**	**641**	**390**	**1 031**
2.	**Csak melegvíz**						
2.1	Melegvíz készítő hőszivattyú	10	0	10	10	0	10
2.2	Használt levegő (Exhaust air)	14	0	14	14	0	14
	Részösszeg melegvíz	24	0	24	24	0	24
3.	**Távfűtés [9]**						
4.	**Ipari hőszivattyúk**						
	levegős						
	talaj forrású						
	víz forrású						
	Részösszeg ipari hőszivattyúk			0			0
5.	**Termikus meghajtású hőszivattyúk**						
	Abszorpciós hőszivattyú						
6.	**gáz/kompressziós egységek**						
	Összes hőszivattyú			1 055			1 055

Country:	Hungary
Completed by:	Béla Ádám
Date:	5 May 2011.

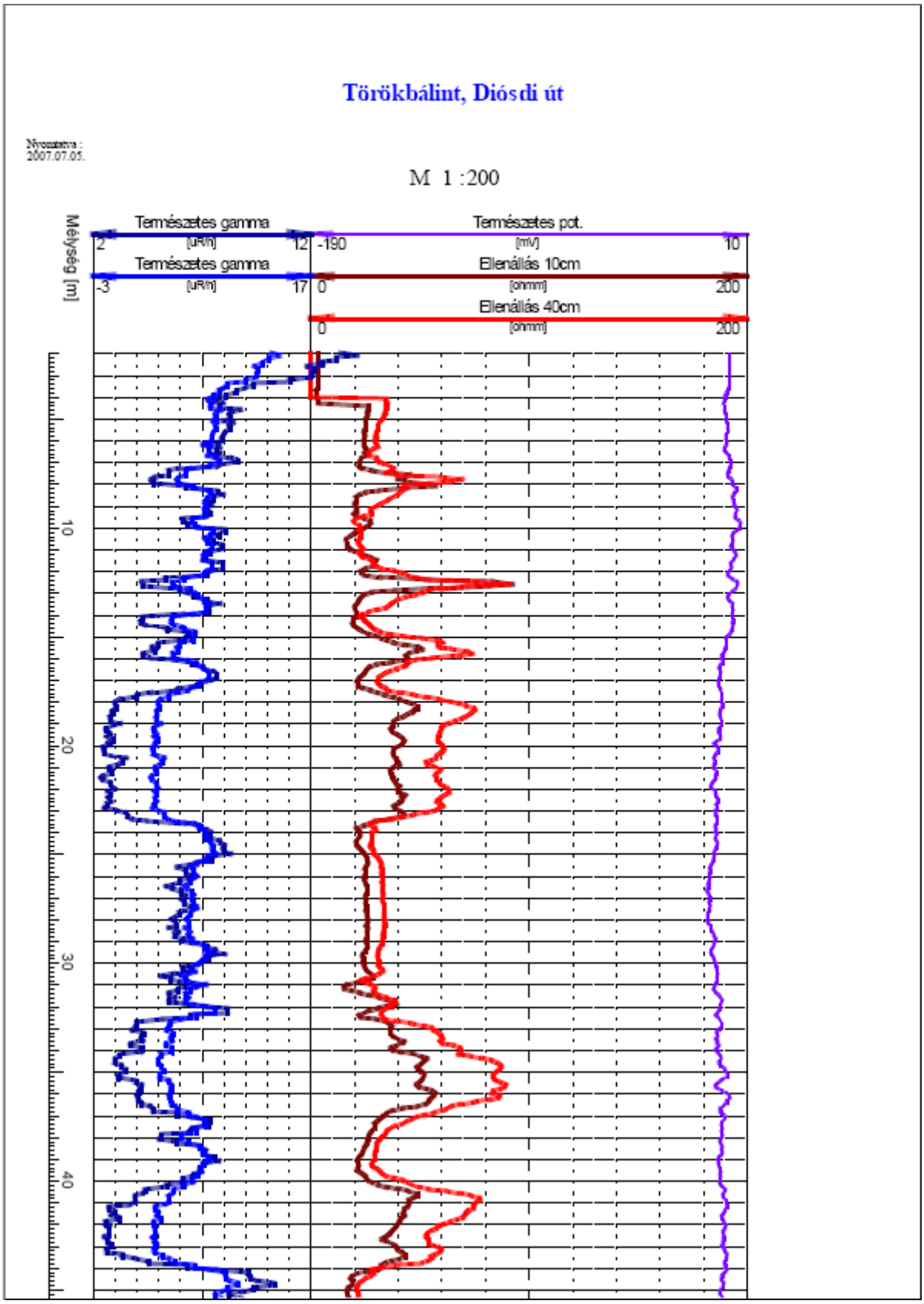
M4.: Hővezetőképesség értékek (VDI 4640)

	Type of rock		**Thermal conductivity λ** in W/(m·K)		**Volume-related specific heat capacity $\rho \cdot cp$** in MJ/(m³·K)	**Density ρ** in 10^3 kg/m³
				Rec.value		
Unconsolidated	clay/silt, dry		0,4–1,0	0,5	1,5–1,6	1,8–2,0
	clay/silt, water-saturated		1,1–3,1	1,8	2,0–2,8	2,0–2,2
	sand, dry		0,3–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2
	sand, moist		1,0–1,9	1,4	1,6–2,2	1,9–2,2
	sand, water-saturated		2,0–3,0	2,4	2,2–2,8	1,9–2,3
	gravel/stones, dry		0,4–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2
	gravel/stones, water-saturated		1,6–2,5	1,8	2,2–2,6	1,9–2,3
	till/loam		1,1–2,9	2,4	1,5–2,5	1,8–2,3
	peat, soft lignite		0,2–0,7	0,4	0,5–3,8	0,5–1,1
Sedimentary rock	clay/silt stone		1,1–3,4	2,2	2,1–2,4	2,4–2,6
	sandstone		1,9–4,6	2,8	1,8–2,6	2,2–2,7
	conglomerate/breccia		1,3–5,1	2,3	1,8–2,6	2,2–2,7
	marlstone		1,8–2,9	2,3	2,2–2,3	2,3–2,6
	limestone		2,0–3,9	2,7	2,1–2,4	2,4–2,7
	dolomitic rock		3,0–5,0	3,5	2,1–2,4	2,4–2,7
	sulphate rock (anhydrite)		1,5–7,7	4,1	2,0	2,8–3,0
	sulphate rock (gypsum)		1,3–2,8	1,6	2,0	2,2–2,4
	chloride rock (rock salt, potash)		3,6–6,1	5,4	1,2	2,1–2,2
	anthracite		0,3–0,6	0,4	1,3–1,8	1,3–1,6
Magmatic rock	tuff		1,1	1,1		
	vulcanite, acid to intermediate	e.g. rhyolite, trachyte	3,1–3,4	3,3	2,1	2,6
		e.g. latite, dacite	2,0–2,9	2,6	2,9	2,9–3,0
	vulcanite, alkaline to ultra-alkaline	e.g. andesite, basalt	1,3–2,3	1,7	2,3–2,6	2,6–3,2
	plutonite, acid to intermediate	granite	2,1–4,1	3,2	2,1–3,0	2,4–3,0
		syenite	1,7–3,5	2,6	2,4	2,5–3,0
	plutonite, alkaline to ultra-alkaline	diorite	2,0–2,9	2,5	2,9	2,9–3,0
		gabbro	1,7–2,9	2,0	2,6	2,8–3,1

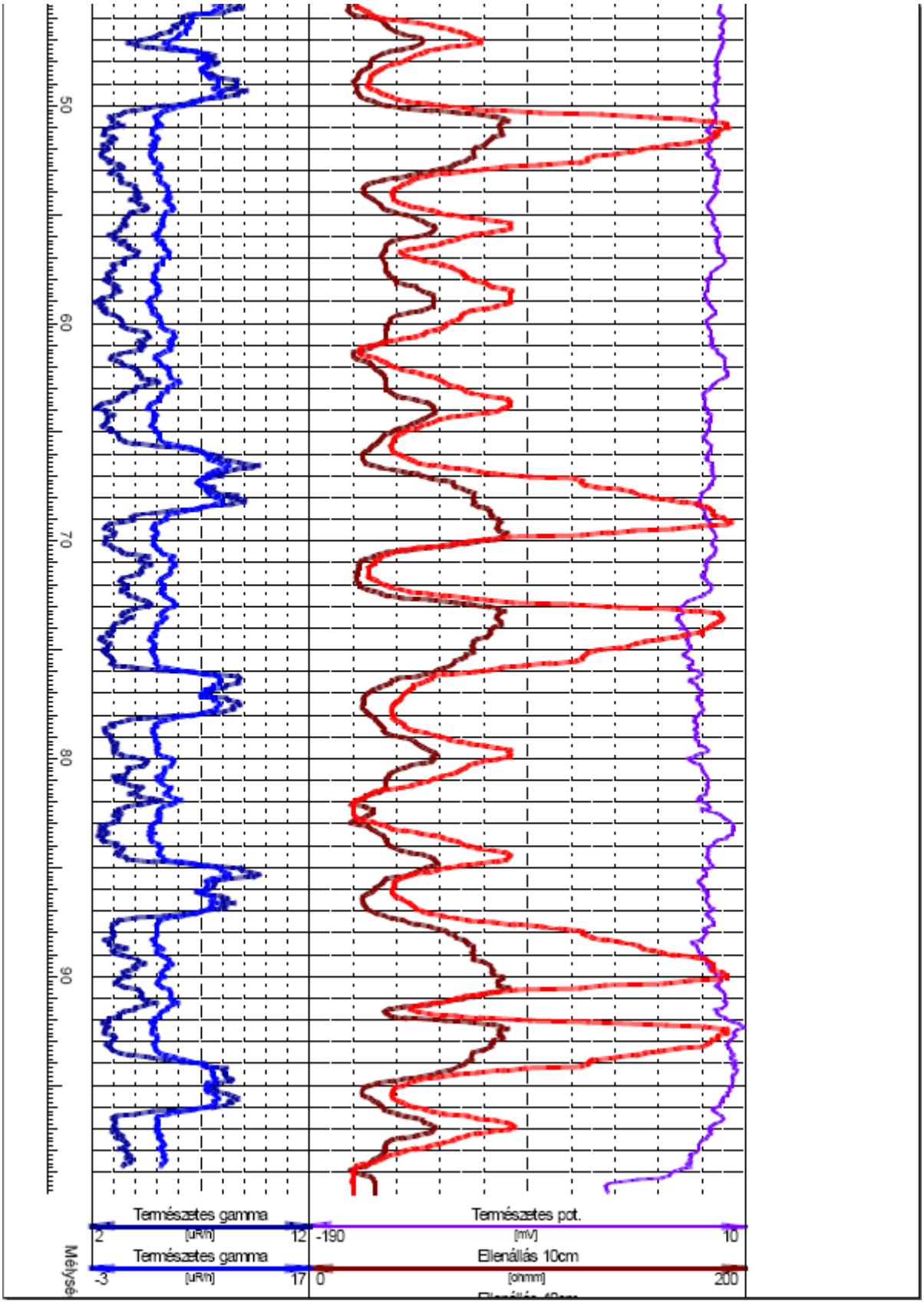
M4.: Hővezetőképesség értékek (VDI 4640)

	Type of rock		**Thermal conductivity λ** in W/(m·K)		**Volume-related specific heat capacity $\rho \cdot cp$** in MJ/(m^3·K)	**Density ρ** in 10^3 kg/m^3
				Rec. value		
Metamorphic rock	slightly metamorphic	clay shale	1,5–2,6	2,1	2,2–2,5	2,4–2,7
		chert	4,5–5,0	4,5	2,2	2,5–2,7
	moderately to highly metamorphic	marble	2,1–3,1	2,5	2,0	2,5–2,8
		quartzite	5,0–6,0	5,5	2,1	2,5–2,7
		mica schist	1,5–3,1	2,2	2,2–2,4	2,4–2,7
		gneiss	1,9–4,0	2,9	1,8–2,4	2,4–2,7
		amphibolite	2,1–3,6	2,9	2,0–2,3	2,6–2,9
Other materials	bentonite		0,5–0,8	0,6	~3,9	
	concrete		0,9–2,0	1,6	~1,8	~2,0
	ice (–10 °C)		2,32		1,87	0,919
	synthetics (HD-PE)		0,42		1,8	0,96
	air (0 °C to 20 °C)		0,02		0,0012	0,0012
	steel		60		3,12	7,8
	water (+10 °C)		0,59		4,15	0,999

M5.: Telenor geofizikai szelvénye

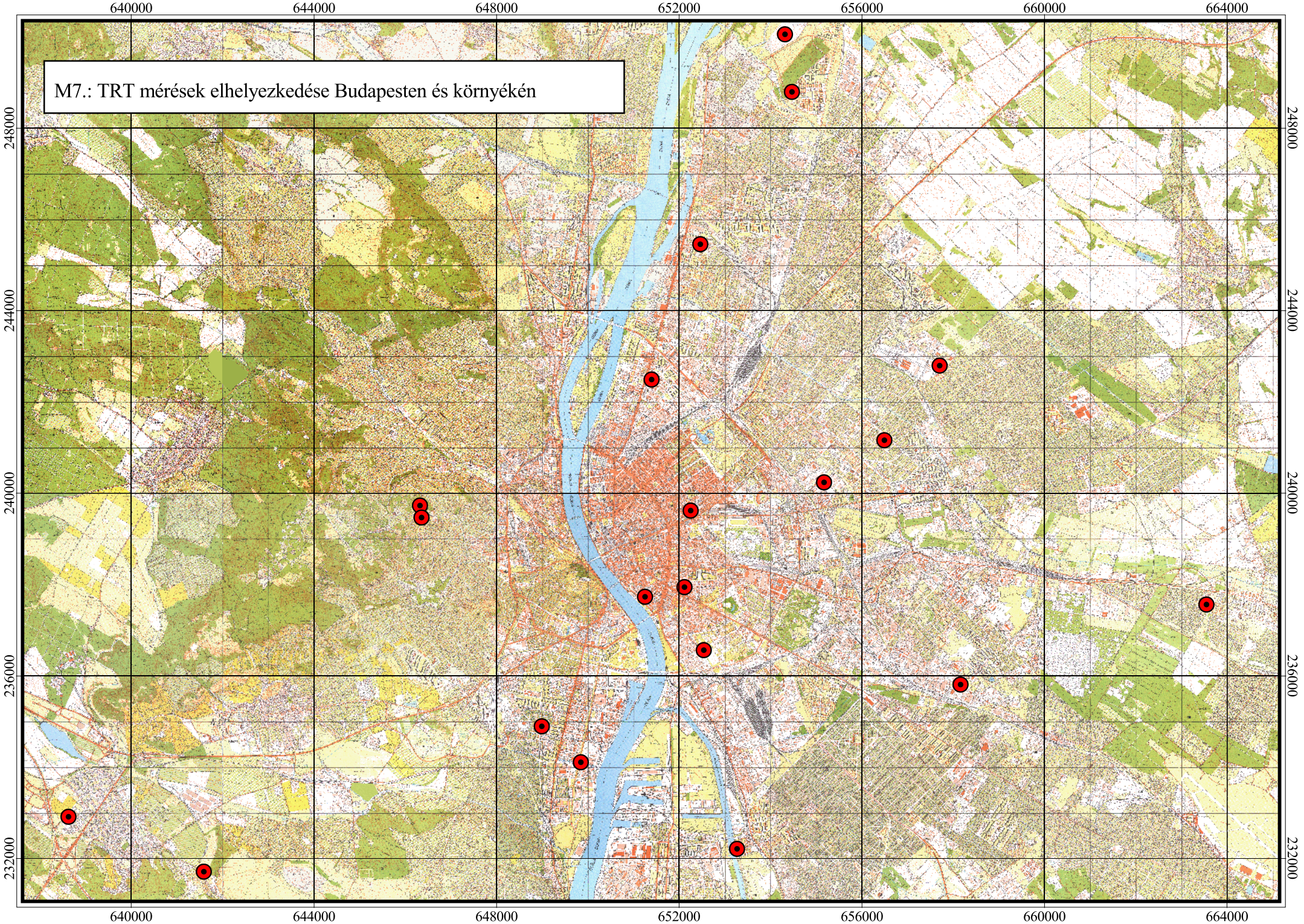


M5.: Telenor geofizikai szelvénye



M6.: A HGD Kft. által végzett mérések (2006-2011)

Hely		Teljesítmény (kW)	Mély-ség	Szondatípus	λ (W/mK)	R_b (mK/W)
Budapest XV.	Késmárk u. 11.	818	100 m	32x2,9 mm dupla	2,61	
Újvidék		653	120 m	32x2,9 mm dupla	2,07	
Dorog		115	100 m	40x3,7 mm szimpla	1,68	
Budapest XIII.	Angyalföldi u. 21.	230	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,3	
Budapest XII.	Lóránt u. 18.	17-25	47 m	40x3,7 mm szimpla	(42W/m)	
Budapest XIII.	Szekszárdi – Tomori u.	675	125 m	40x3,7 mm szimpla	2,82	
Törökbálint	Pannon út	966	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,8	
Budapest IX.	Mester u.	1180/ 1250	125 m	32x2,9 mm dupla	2,17	
Budapest XI.	Kondorosi u.	157	125 m	40x3,7 mm szimpla	1,94	
Budapest IV.	Ipari Park u. 10.	670	100/150 m	40x3,7 mm szimpla	2,3	
Budapest VIII.	Corvin sétány	1200	150/200 m	32x2,9 mm dupla/40x3,7 mm szimpla	1,94/1,98	
Budapest XII.	Tündér utca 9.	33	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,59	0,12
Budapest XI.	Bornemissza tér 12.	110	100 m	40x3,7 mm szimpla	1,86	
Budapest X.	Gyömrői út 104.	490	100 m	40x3,7 mm szimpla	1,83	
Budapest XVII.	Pesti út 5-7.	740	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,62	0,15
Szeged	Jósika u. 21.	292	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,16	0,154
Törökbálint	Óvoda u.	685	150 m	40x3,7 mm szimpla	2,51	0,113
Budapest XIV.	Pillangó utca 15.	1204	150 m	40x3,7 mm szimpla	2,09	0,156
Budapest IX.	Lónyay u. 38.		10 m	25x2,3 mm PE-Xa	2,37	0,063
Győr	Szabadság u.1.	22	90 m	40x3,7 mm szimpla	2,26	0,153
Budapest XX.	Vízisport u. 12.	230	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,81	0,233
Budapest IV.	Tóth A. u. 16.	250	100 m	40x3,7 mm szimpla	2,3	0,14
Kiskunhalas	Kőrösi út 14.	250	100 m	32x2,9 mm dupla	2,3	0,127
Mórahalom	Guczi sor 1-5.	1646	125 m	40x3,7 mm szimpla	2,099	0,1
Budapest VII.	Huszár u.	200	150 m	40x3,7 mm szimpla	1,732	0,11
Pécs	Basamalom u. 33.	117	100 m	32x2,9 mm dupla	2,58	0,19
Budapest XIV.	Bonyhádi u. 47.	21	100 m	40x3,7 mm szimpla	1,90-2,12	0,16-0,18



M7.: TRT mérések elhelyezkedése Budapesten és környékén

(Előzetes)

Raiffeisen Bank Rt. 2. kút
Bp. XV. Késmárk u. 13-15.

MÉLYFURÁS-GEOFIZIKAI MÉRÉSEK

Kutat. ter.: Budapest XV. Késmárk u. 13-15. Területi kód: - Adattári név: raifbank	Geo Log Környv.véd. és Geofizikai Kft. 1142 Bp. Rákospatak u. 79/b. Tel./fax: (1) 3635643 www.geo-log.hu posta@geo-log.hu
Megrendelô: Hidro-Geodrilling Kft. Kivitelezô: Hidro-Geodrilling Kft. A fúrás célja: hôszivattyú telepítés módja: teljesszelvény	A mérést végezte: Kasza Zoltán feldolgozta: Szücsi P.;Tasnádi H. értelmezte: Szongoth Gábor ellenôrizte: Bartha Zoltán

Mérési idôpont: 2005.11.08.

Talpmélység (m) : Fúrt átmérô (mm):	150.0 127
BÉLÉSCSÖ sarumélység (m): külsô/belsô átm.(mm): típus:	 8.0 273 / 259 acél
ISZAP szint (m): típus : sûrûség (g/cm^3): ellenállás (Ωm) : hômérséklet (°C) :	 0.0 víz 1.0 3.94 15.0

Mélységszámítás kezdete : terepszint
Méréssel elért max. mélység (m) : 149.8
Talphômérséklet (°C) (122 m-nél): 15.3

Elvégzett mérések	Szonda típusa	Szelvénynév terepi felvételen	Szonda-hossz (cm)
Fajlagos ellenállás (pot.)	merev	E10,E40	10,40
Természetes potenciál	merev	SP	-
Természetes gamma	KCTG/9062	GR	-
Hômérséklet, diff.hômérséklet	KCTG/9062	TL,DIT	-
Lyukátmérô	KCTG/9062	DH,BIT	-

iértékelés: A fúrás az épülô létesítmény alapzatának kiásott gödör mellé mélyül gy a mélységet már terepszinttôl tudtuk venni. A mérések során az elektromos zondával 149.8 m-ig jártunk el, de a bôség-természetes gamma szonda már csak 20.6 m-ig jutott le. A rétegsort az új mérés alapján pontosítottuk.

ízadásra alkalmas rétegek: I 45.0 - 58.0 m
II 69.0 - 105.4 m

10.26-i méréssel (néhány méterre, a gödörben mélyített fúrás) jól korrelál a zelvény. Az 55-57.4 m közti, magasabb ellenállású, elôzôleg lehetséges vízadóna egadott réteg egészen elvékonyodott, ezért azt a szakaszt már nem minôsítettük nnak. A fent permeábilisnak megadott rétegeknél az elektromos szelvény inamizmusát a természetes gamma szelvény nem követi, ami azt mutatja, hogy az rték csökkenéseket (pl. 77 m-nél) nem agyagosodás okozza, és ezek a szakaszok i egadhatók vízadóknak. A megadott intervallumok a környezetet és a közeli úrást figyelembe véve alkalmasak lehetnek 500-600 l/p termelésre, de nem szabad igyelmen kívül hagyni, hogy több kút egymás mellé telepítésével a vízadó épesség várhatóan romlani fog az egymásrahatás miatt. A területre jellemzô ízutánpótlási sajátságokat becsülni csak a már kiképzett kutakban végzett

M8.: Raiffeisen geofizikai szelvénye

Raiffeisen Bank Rt.

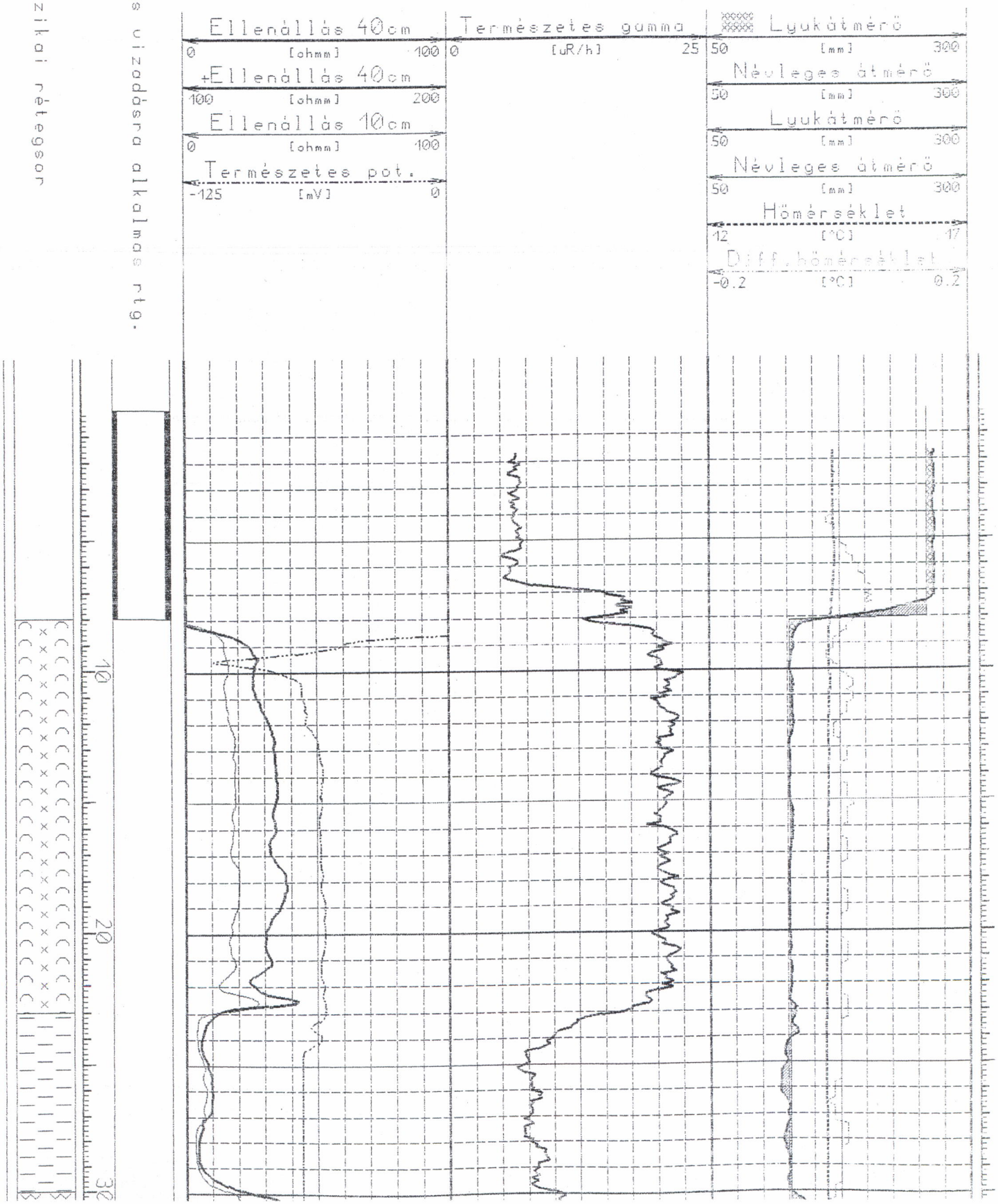
Bp. XV. Késmárk u. 13-15.

05. 11. 11.

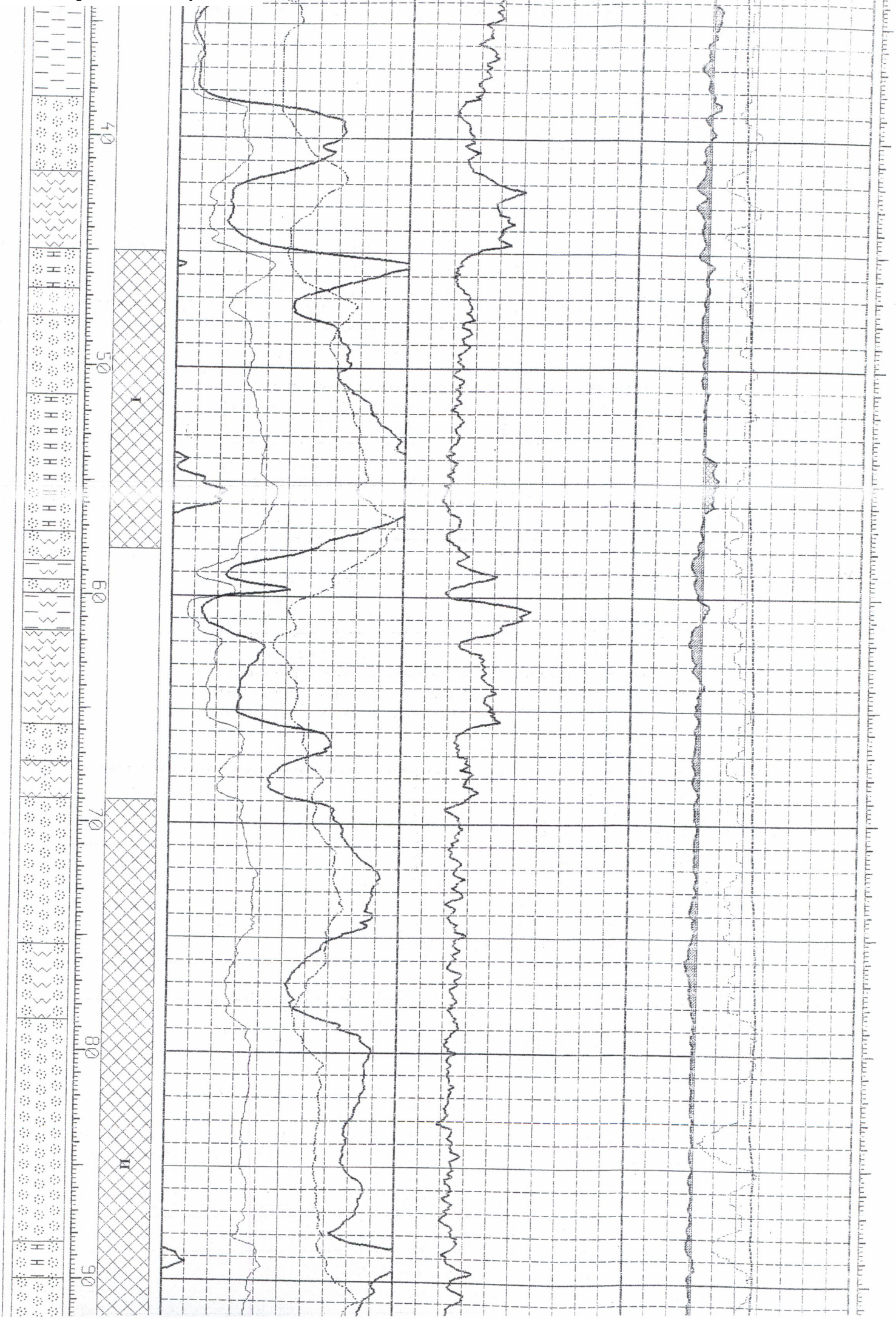
Geofizikai rétegsor

Cső és vízadásra alkalmas rtg.

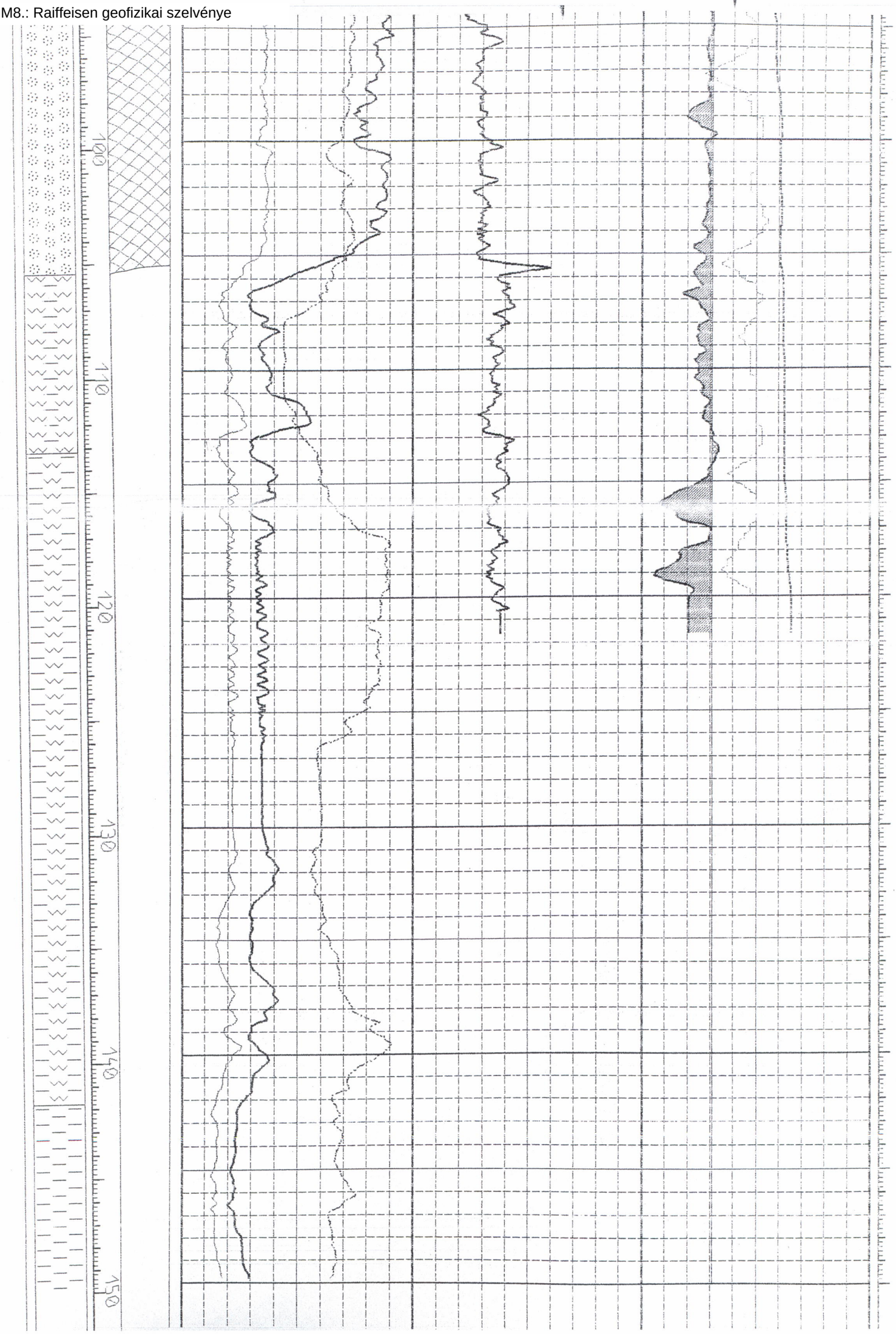
SCALE 1 : 200



M8.: Raiffeisen geofizikai szelvénye



M8.: Raiffeisen geofizikai szelvénye



M8.: Raiffeisen geofizikai szelvénye

Geofizikai rétegsor

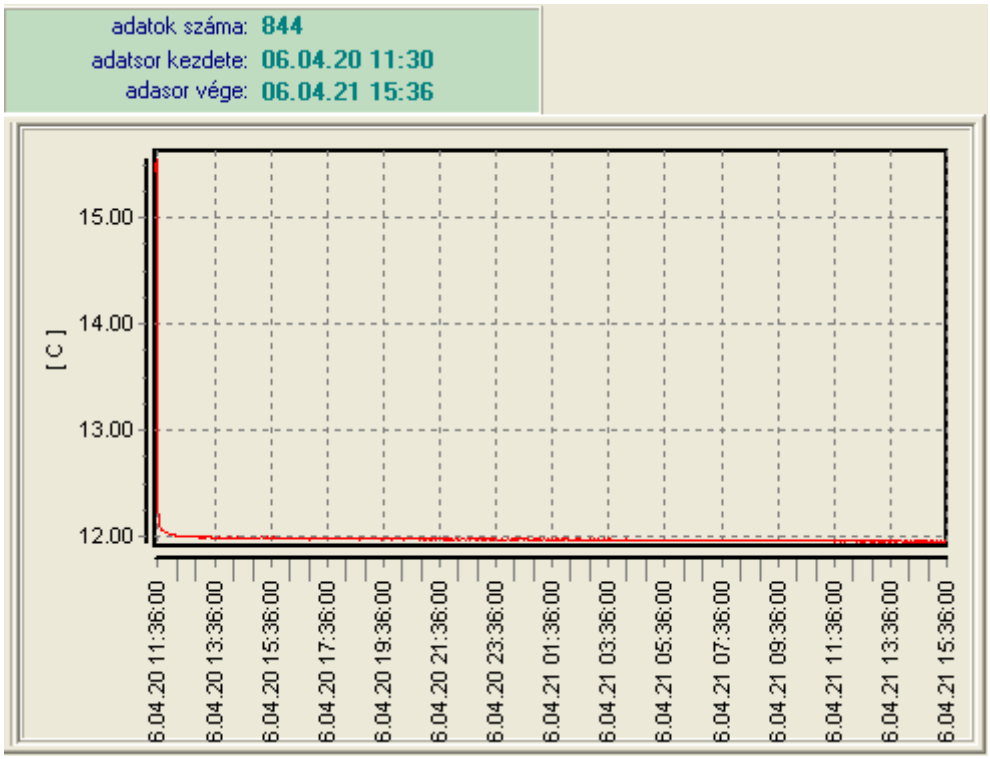
Cső- és cinkdárda alkalmas rtg.

SCALE 1 : 200

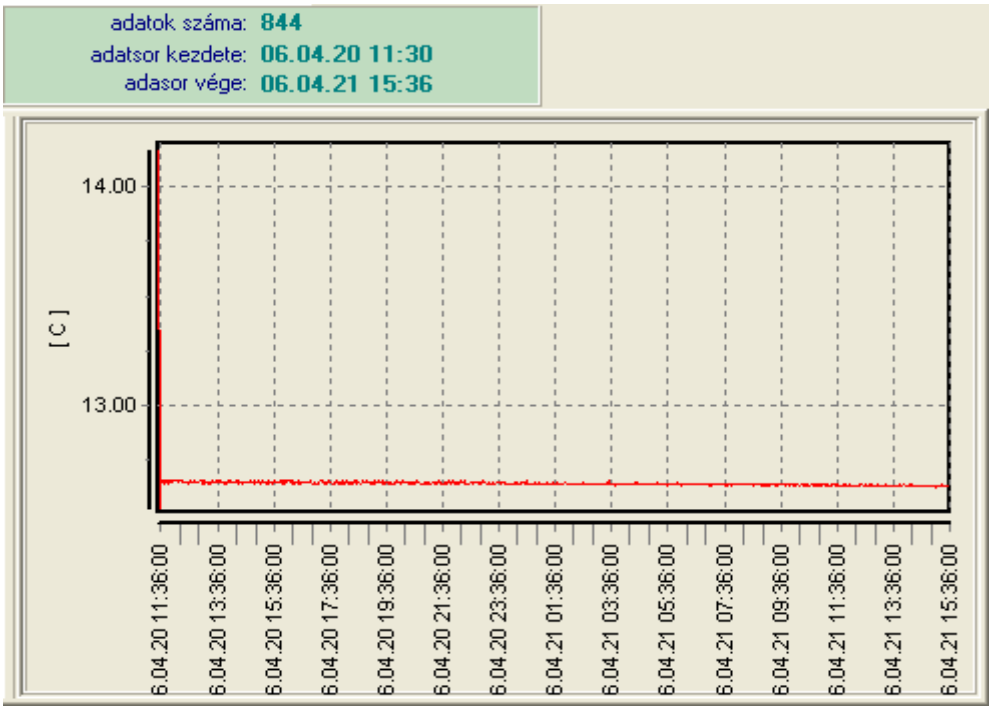
Ellenállás 40cm	Természetes gamma	Lyukátmérő
0 [ohmm] 100	0 [uR/h] 25	50 [mm] 300
+Ellenállás 40cm		Névleges átmérő
100 [ohmm] 200		50 [mm] 300
Ellenállás 10cm		Lyukátmérő
0 [ohmm] 100		50 [mm] 300
Természetes pot.		Névleges átmérő
-125 [mV] 0		50 [mm] 300
		Hőmérséklet
		12 [°C] 17
		Diff.hőmérséklet
		-0.2 [°C] 0.2

ag	3 aleuritos agyag	30 aleurit	31 agyagos aleurit	33 homokos aleurit
ok	43 aleuritos homok	50 finomszemű homok	114 meszes homok	172 riolittufa
-özésre alkalmas	216 fém_béléscső_l			

M9.: Raiffeisen monitoring TRT alatt

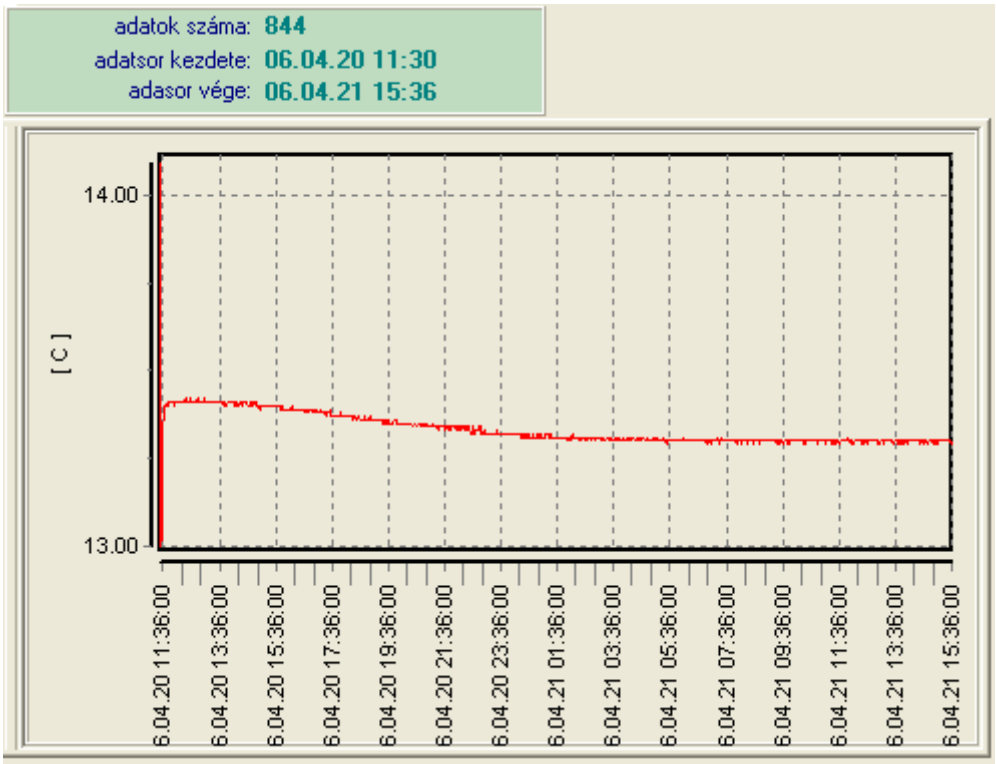


Hőmérséklet alakulása a Raiffeisen szondateszttől 5m távolságban, 10m mélységben, regisztrálás gyakorisága: 2 perc

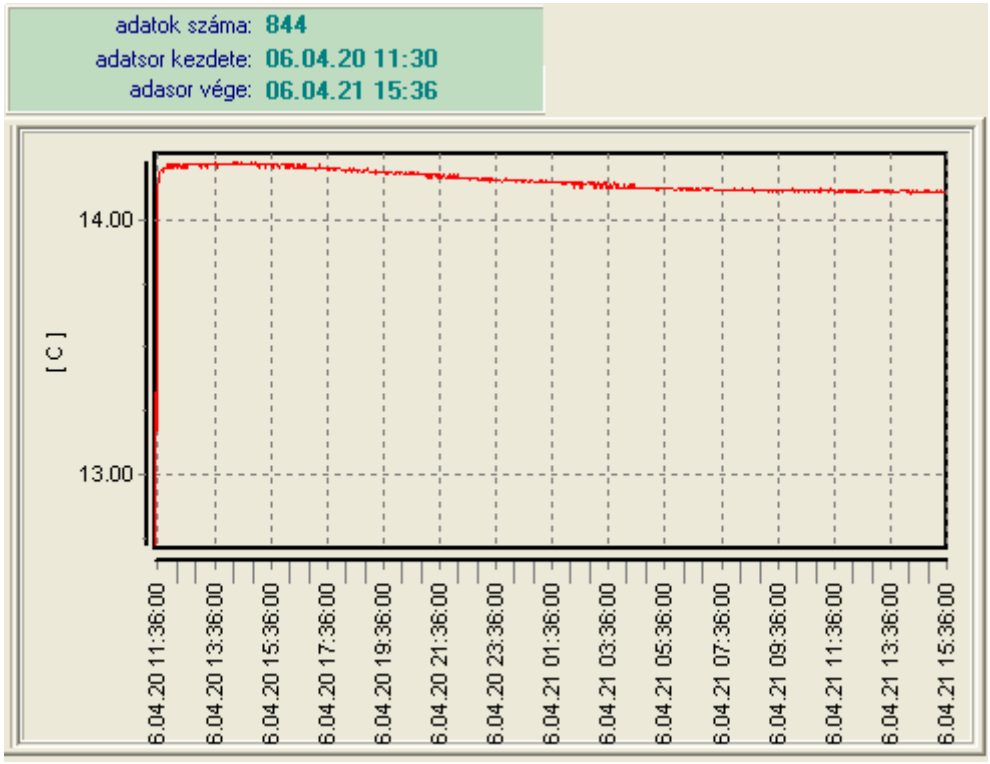


Hőmérséklet alakulása a Raiffeisen szondateszttől 5m távolságban, 40m mélységben, regisztrálás gyakorisága: 2 perc

M9.: Raiffeisen monitoring TRT alatt



Hőmérséklet alakulása a Raiffeisen szondateszttől 5m távolságban, 70m mélységben, regisztrálás gyakorisága: 2 perc



Hőmérséklet alakulása a Raiffeisen szondateszttől 5m távolságban, 100m mélységben, regisztrálás gyakorisága: 2 perc

M10.: Telenor EED méretezés

EED Version 2.0, Aug 16, 2005, license for LASLO TOTH, HIDRO-GEODRILLING
P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner
Input file:E:\Telenor\Törökbálint\Szondaszám méretezés.dat
Date: 2007.08.06. Time: 10:35:33

MEMORY NOTES FOR PROJECT
-3 mező, modellezés mezőnként

D E S I G N D A T A

==========

GROUND

Ground thermal conductivity	2.800 W/m,K
Ground heat capacity	2600000 J/mł,K
Ground surface temperature	10.00 °C
Geothermal heat flux	0.0900 W/m

BOREHOLE

Configuration: 60 : 3 x 20, rectangle

- g-function No.	260
Borehole depth	100.00 m
Borehole spacing	7.00 m
Borehole installation	SINGLE-U
Borehole diameter	0.150 m
U-pipe diameter	0.040 m
U-pipe thickness	0.0037 m
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing	0.0700 m
Filling thermal conductivity	0.900 W/m,K
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.
Number of multipoles 1
Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.480 W/m,K
Specific heat capacity	3795 J/kg,K
Density	1052 kg/mł
Viscosity	0.005200 kg/m,s
Freezing point	-14.0 °C
Flow rate per borehole	0.000350 mł/s

BASE LOAD

Seasonal performance factor (heating)	4.00
Seasonal performance factor (cooling)	5.66

M10.: Telenor EED méretezés

Monthly energy values

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	52.70	0.00	
FEB	43.20	0.00	
MAR	5.58	0.00	
APR	0.00	11.70	
MAY	0.00	42.31	
JUN	0.00	117.00	
JUL	0.00	120.90	
AUG	0.00	120.90	
SEP	0.00	40.95	
OCT	3.72	0.00	
NOV	43.40	0.00	
DEC	52.70	0.00	
	---	---	
Total	201.30	453.77	

PEAK LOAD

Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	100.00	17.0	0.00	0.0
FEB	100.00	16.0	0.00	0.0
MAR	30.00	6.0	0.00	0.0
APR	0.00	0.0	97.50	4.0
MAY	0.00	0.0	195.00	7.0
JUN	0.00	0.0	325.00	12.0
JUL	0.00	0.0	325.00	12.0
AUG	0.00	0.0	325.00	12.0
SEP	0.00	0.0	195.00	7.0
OCT	30.00	4.0	0.00	0.0
NOV	60.00	10.0	0.00	0.0
DEC	100.00	14.0	0.00	0.0

Number of simulation years 25
First month of operation SEP

C A L C U L A T E D V A L U E S

Total borehole length 6000.0 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal 0.5440 K/(W/m)

Reynolds number 2765
Thermal resistance fluid/pipe 0.0147 K/(W/m)

M10.: Telenor EED méretezés

Thermal resistance pipe material 0.0775 K/(W/m)
Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1642 K/(W/m)

Effective borehole thermal res. 0.1673 K/(W/m)

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	9.02	12.50	-0.00
FEB	7.40	12.50	-0.00
MAR	0.96	3.75	-0.00
APR	-3.14	0.00	-19.12
MAY	-11.37	0.00	-38.24
JUN	-31.43	0.00	-63.74
JUL	-32.48	0.00	-63.74
AUG	-32.48	0.00	-63.74
SEP	-11.00	0.00	-38.24
OCT	0.64	3.75	-0.00
NOV	7.43	7.50	-0.00
DEC	9.02	12.50	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
JAN	11.61	8.00	11.37	13.81	16.89
FEB	11.61	8.40	11.77	14.18	17.24
MAR	11.61	10.64	14.02	16.42	19.46
APR	11.61	12.27	15.54	17.93	20.96
MAY	11.61	15.52	18.59	20.98	23.99
JUN	11.61	23.27	26.20	28.57	31.57
JUL	11.61	24.49	27.29	29.65	32.64
AUG	11.61	25.22	27.92	30.25	33.23
SEP	15.68	17.88	20.54	22.84	25.80
OCT	11.69	13.53	16.17	18.43	21.37
NOV	9.12	10.69	13.31	15.54	18.46
DEC	8.25	9.75	12.29	14.48	17.38

BASE LOAD: YEAR 25
Minimum mean fluid temperature 16.89 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 33.23 °C at end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
JAN	11.61	7.10	10.46	12.90	15.99
FEB	11.61	7.08	10.45	12.86	15.92
MAR	11.61	9.99	13.38	15.77	18.82

APR	11.61	12.27	15.54	17.93	20.96
MAY	11.61	15.52	18.59	20.98	23.99
JUN	11.61	23.27	26.20	28.57	31.57
JUL	11.61	24.49	27.29	29.65	32.64
AUG	11.61	25.22	27.92	30.25	33.23
SEP	15.68	17.88	20.54	22.84	25.80
OCT	11.01	12.85	15.49	17.75	20.69
NOV	9.10	10.67	13.30	15.52	18.44
DEC	7.37	8.87	11.41	13.59	16.50

PEAK HEAT LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature	15.92 °C	at end of FEB
Maximum mean fluid temperature	33.23 °C	at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
JAN	11.61	8.00	11.37	13.81	16.89
FEB	11.61	8.40	11.77	14.18	17.24
MAR	11.61	10.64	14.02	16.42	19.46
APR	11.61	15.77	19.04	21.43	24.46
MAY	11.61	21.83	24.91	27.29	30.31
JUN	11.61	31.35	34.29	36.66	39.66
JUL	11.61	32.31	35.12	37.47	40.46
AUG	11.61	33.05	35.75	38.08	41.06
SEP	22.08	24.28	26.95	29.25	32.20
OCT	11.69	13.53	16.17	18.43	21.37
NOV	9.12	10.69	13.31	15.54	18.46
DEC	8.25	9.75	12.29	14.48	17.38

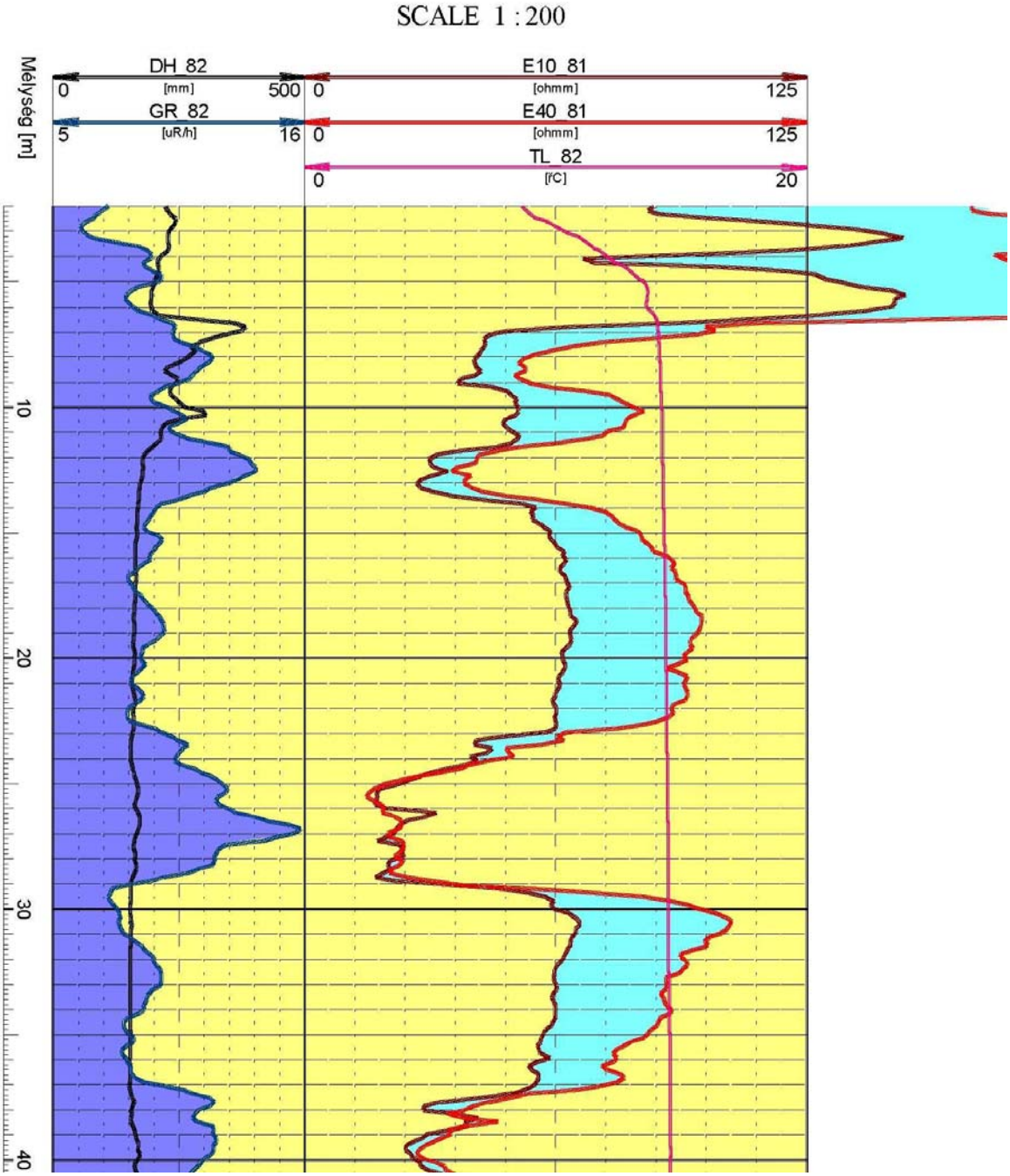
PEAK COOL LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature	16.89 °C	at end of JAN
Maximum mean fluid temperature	35.06 °C	at end of AUG

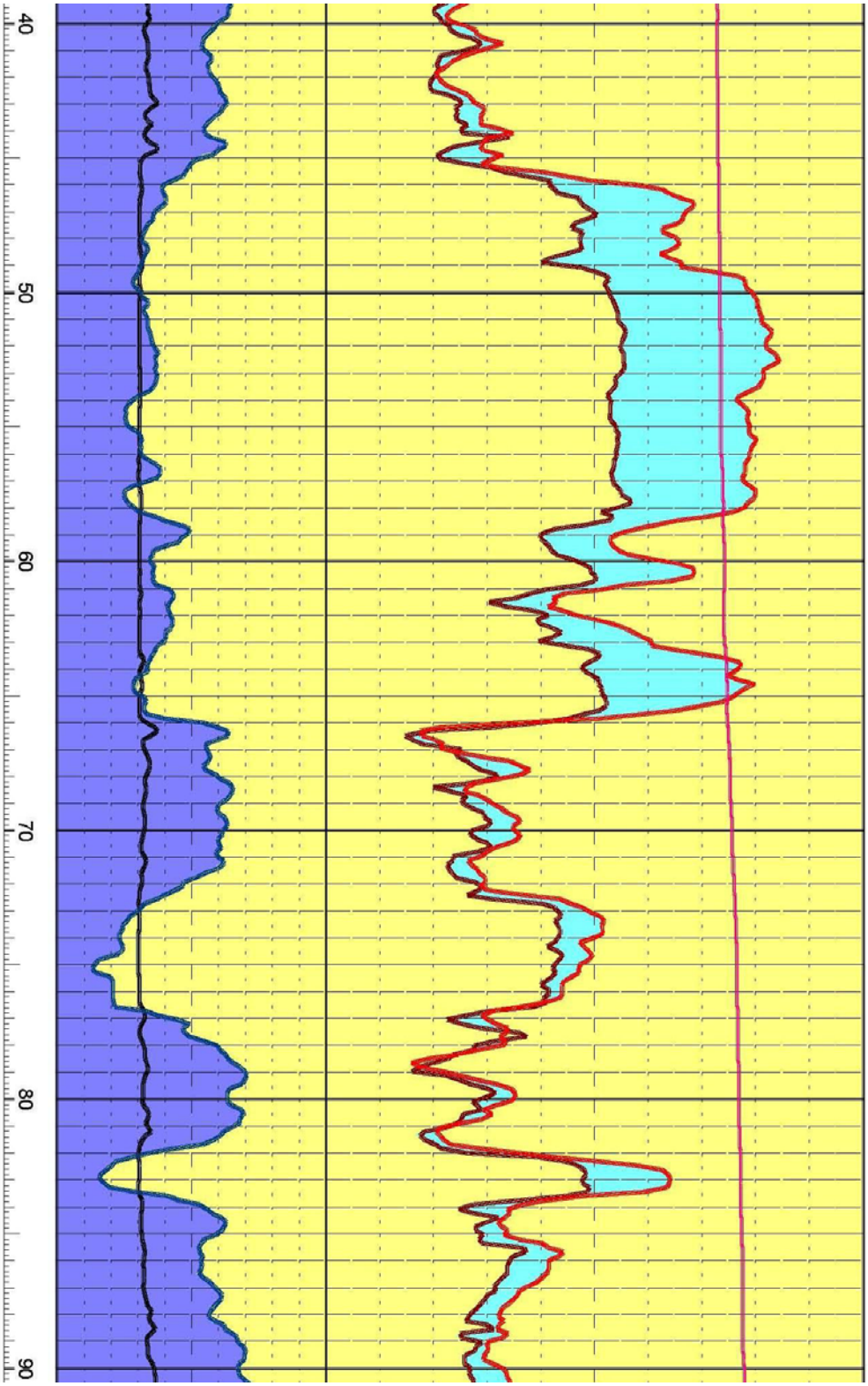
******** END OF FILE **********

M11.: Tesco geofizikai szelvénye

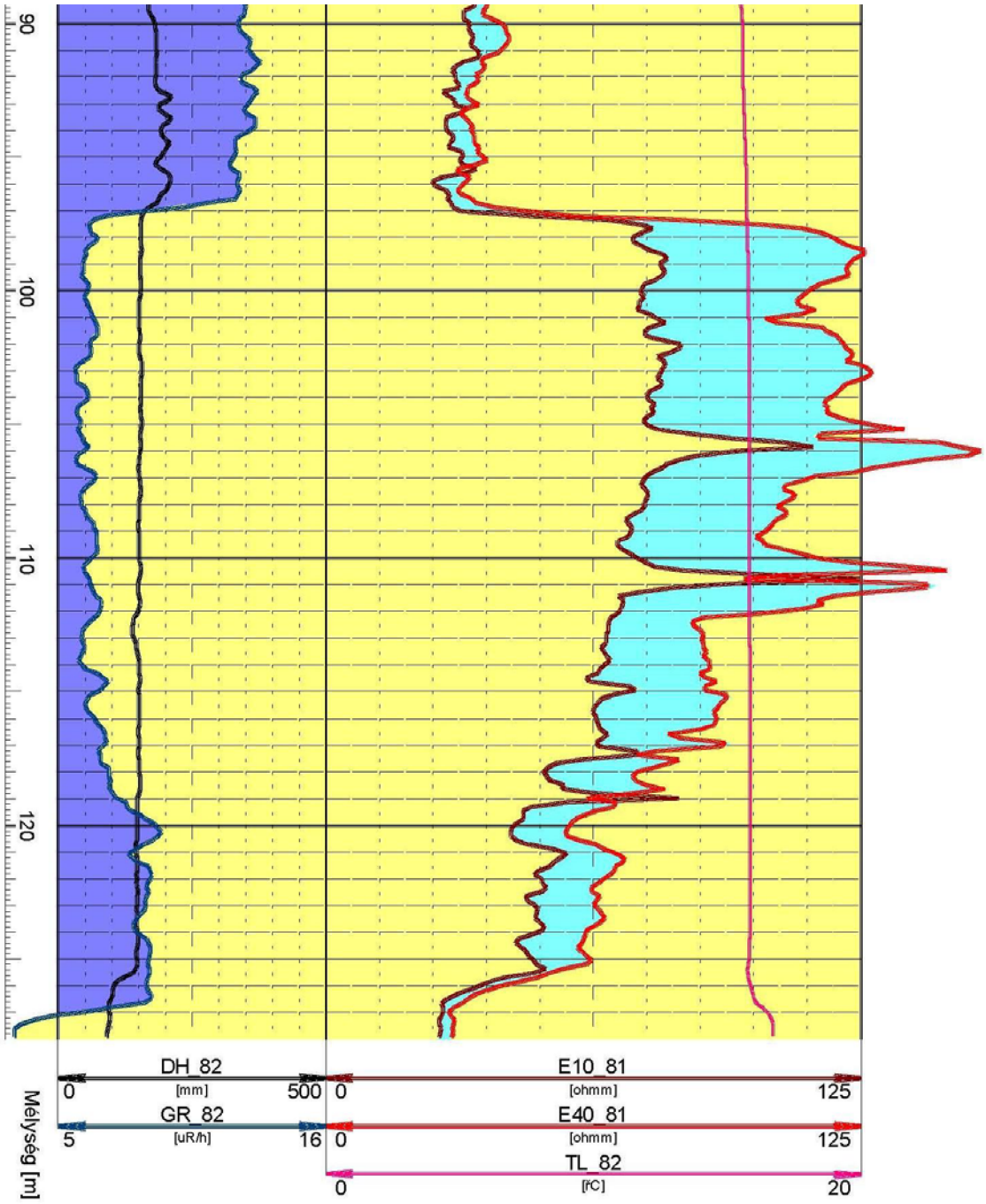
Bp. XVII. rákoskeresztúri TESCO geotermális szondafúrása



M11.: Tesco geofizikai szelvénye



M11.: Tesco geofizikai szelvénye



M12.: Gazdasági számítás kis rendszerre
HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés: 15,6/8,5 kW, pályázati támogatás nélkül				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, HMV, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	2 100 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús rendszer telepítése, fűtés, HMV és hűtés hőközpontig**	5 165 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	2 100 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	5 165 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**2 625 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**6 456 250 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	127 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	31,56 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	3305,08 Nm^3		Szükséges mennyiség	7020,00 kWh
Éves költség	419 746 Ft		Éves költség	221 551 Ft
Fenntartás	50 400 Ft		Fenntartás	25 825 Ft
Alapdíj	12 000 Ft			
Összes költség	**482 146 Ft**		**Összes költség**	**247 376 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	50 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	31,56 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	4080 kWh		Szükséges mennyiség	360 kWh
Éves költség	204 000 Ft		Éves költség	11 362 Ft
Fenntartás	25 825 Ft		Fenntartás	25 825 Ft
Összes költség	**229 825 Ft**		**Összes költség**	**37 187 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**3 831 250 Ft**
Éves megtakarítás				**427 408 Ft**
Megtérülési idő				***8,96 év***

HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés/HMV: 15,6/8,5 kW, pályázati támogatással				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, HMV, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	2 100 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús rendszer telepítése, fűtés, HMV és hűtés hőközpontig**	5 165 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	2 100 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	5 165 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**2 625 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**6 456 250 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	127 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	31,56 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	3705,10 Nm^3		Szükséges mennyiség	7991,02 kWh
Éves költség	470 548 Ft		Éves költség	252 196 Ft
Fenntartás	50 400 Ft		Fenntartás	25 825 Ft
Alapdíj	12 000 Ft			
Összes költség	**532 948 Ft**		**Összes költség**	**278 021 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	50 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	31,56 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	4080 kWh		Szükséges mennyiség	360 kWh
Éves költség	204 000 Ft		Éves költség	11 362 Ft
Fenntartás	25 825 Ft		Fenntartás	25 825 Ft
Összes költség	**229 825 Ft**		**Összes költség**	**37 187 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**3 831 250 Ft**
Éves megtakarítás				**447 565 Ft**
Támogatás, 30%				**1 936 875 Ft**
Megtérülési idő				***4,23 év***

M13.: Gazdasági számítás nagy rendszerre 30%
HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés: kW, a hőszivattyús rendszer pályázati támogatásával				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	30 000 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús primer rendszer telepítése, hűtés és fűtés hőközpontig**	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	30 000 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**37 500 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**128 750 000 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	102 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	109745,7627 Nm^3		Szükséges mennyiség	233100 kWh
Éves költség	11 194 068 Ft		Éves költség	4 662 000 Ft
Fenntartás	720 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**11 914 068 Ft**		**Összes költség**	**5 177 000 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	44 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	192000 kWh		Szükséges mennyiség	96000 kWh
Éves költség	8 448 000 Ft		Éves költség	1 920 000 Ft
Fenntartás	515 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**8 963 000 Ft**		**Összes költség**	**2 435 000 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**91 250 000 Ft**
Éves megtakarítás				**13 265 068 Ft**
Támogatás,		**30%**		**30 900 000 Ft**
Megtérülési idő				***4,55 év***

M14.: Gazdasági számítás nagy rendszerre 50%
HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés: kW, a hőszivattyús rendszer pályázati támogatásával				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	30 000 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús primer rendszer telepítése, hűtés és fűtés hőközpontig**	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	30 000 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**37 500 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**128 750 000 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	102 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	109745,7627 Nm^3		Szükséges mennyiség	233100 kWh
Éves költség	11 194 068 Ft		Éves költség	4 662 000 Ft
Fenntartás	720 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**11 914 068 Ft**		**Összes költség**	**5 177 000 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	44 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	192000 kWh		Szükséges mennyiség	96000 kWh
Éves költség	8 448 000 Ft		Éves költség	1 920 000 Ft
Fenntartás	515 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**8 963 000 Ft**		**Összes költség**	**2 435 000 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**91 250 000 Ft**
Éves megtakarítás				**13 265 068 Ft**
Támogatás,		**50%**		**51 500 000 Ft**
Megtérülési idő				***3,00 év***

M15.: Gazdasági számítás nagy rendszerre 60%
HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés: kW, a hőszivattyús rendszer pályázati támogatásával				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	30 000 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús primer rendszer telepítése, hűtés és fűtés hőközpontig**	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	30 000 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**37 500 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**128 750 000 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	102 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	109745,7627 Nm^3		Szükséges mennyiség	233100 kWh
Éves költség	11 194 068 Ft		Éves költség	4 662 000 Ft
Fenntartás	720 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**11 914 068 Ft**		**Összes költség**	**5 177 000 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	44 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	192000 kWh		Szükséges mennyiség	96000 kWh
Éves költség	8 448 000 Ft		Éves költség	1 920 000 Ft
Fenntartás	515 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**8 963 000 Ft**		**Összes költség**	**2 435 000 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**91 250 000 Ft**
Éves megtakarítás				**13 265 068 Ft**
Támogatás,		**60%**		**61 800 000 Ft**
Megtérülési idő				***2,22 év***

M16.: Gazdasági számítás nagy rendszerre 85%
HGD KFT
1141Bp, Zsigárd u. 21.
Tel:221-1458
Fax: 422-0004

Gazdaságossági számítás

Fűtés/Hűtés: kW, a hőszivattyús rendszer pályázati támogatásával				
Hagyományos rendszer			**Hőszivattyús rendszer**	
Gázkazán, folyadékhűtő, kialakítása a szükséges engedéllyel, gázbevezetéssel, kéményépítéssel	30 000 000 Ft +Áfa		**Hőszivattyús primer rendszer telepítése, hűtés és fűtés hőközpontig**	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen nettó	30 000 000 Ft +Áfa		Összesen nettó	103 000 000 Ft +Áfa
Összesen bruttó	**37 500 000 Ft**		**Összesen bruttó**	**128 750 000 Ft**
Éves fűtési költség				
Gázár	102 Ft /Nm^3		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	109745,7627 Nm^3		Szükséges mennyiség	233100 kWh
Éves költség	11 194 068 Ft		Éves költség	4 662 000 Ft
Fenntartás	720 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**11 914 068 Ft**		**Összes költség**	**5 177 000 Ft**
Éves hűtési költség				
El. áram átl. tarifája	44 Ft /kWh		El.áram átl. tarifája	20,00 Ft /kWh
Szükséges mennyiség	192000 kWh		Szükséges mennyiség	96000 kWh
Éves költség	8 448 000 Ft		Éves költség	1 920 000 Ft
Fenntartás	515 000 Ft		Fenntartás	515 000 Ft
Összes költség	**8 963 000 Ft**		**Összes költség**	**2 435 000 Ft**
Megtérülési idő				
Többlet ráfordítás				**91 250 000 Ft**
Éves megtakarítás				**13 265 068 Ft**
Támogatás,		**85%**		**87 550 000 Ft**
Megtérülési idő				***0,28 év***

M17.: Talajszondás hőszivattyús rendszerek hatósági engedélyeztetése

A zárt, 20 méternél mélyebb földhőszondás hőszivattyús rendszerek létesítése és üzemeltetése Bányakapitányságí engedélyhez kötött.

A Bányakapitányságí engedélyeztetés alap jogszabálya a bányafelügyelet hatáskörébe tartozó sajátos építményekre vonatkozó egyes építésügyi hatósági eljárások szabályairól szóló 96/2005. (XI. 4.) GKM rendelet.

Egyéb vonatkozó jogszabályok és szabványok:

- 6/2010 (VII.30.) NFM rend. a mélyfúrás biztonsági szabályzatáról
- 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM együttes rendelet; 4/2002. (II. 20.) SzCsM-EüM együttes rendelet a munkavédelemről
- 9/2008. (II. 22.) ÖTM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzat kiadásáról
- 267/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalról
- 57/2005. (VII. 7.) GKM rendelet a bányafelügyelet részére fizetendő igazgatási szolgáltatási díjakról, valamint a felügyeleti díj fizetésének részletes szabályairól
- 4/2010. (II.25.) KvVM rendelet a környezetvédelmi, természetvédelmi, valamint a vízügyi hatósági eljárások igazgatási szolgáltatási díjairól szóló 33/2005. (XII.27.) KvVM rendelet módosításáról
- MSZ 22116:2002 Fúrt kutakra vonatkozó szabvány
- MSZ 15298:2002 Vízföldtani napló tartalmi és formai követelményei

A bányafelügyelet építésügyi hatósági, illetőleg építésfelügyeleti feladatait első fokon a területileg illetékes bányakapitányság, másodfokon a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) látja el.

A bányafelügyelet építésügyi hatósági engedélyezési, ellenőrzési és kötelezési eljárásaira, továbbá az építésfelügyeleti ellenőrzésére az épített környezet alakításáról és védelméről szóló 1997. évi LXXVIII. törvényben foglalt kiegészítésekkel és eltérésekkel a közigazgatási hatósági eljárás és szolgáltatás általános szabályairól szóló 2004. évi CXL. törvény rendelkezései az irányadók.

Az említett jogszabályok alapján az alábbi engedélyezési eljárásokat alkalmazzák ma a szondás hőszivattyús rendszerekre: elvi, létesítési, használatbavételi illetve fennmaradási engedélyezési eljárás. Ezek közül a két alábbi eljárásmód a leggyakoribb:

Létesítési engedélyezési eljárás:

Az engedély iránti kérelmet az építtető írásban nyújthatja be a bányakapitánysághoz. Több bányakapitányság illetékességi területét érintő létesítmény engedélyezési ügyében az eljáró bányakapitányságot az MBFH jelöli ki. Az illetékes Bányakapitányság a létesítési és a

használatbavételi eljárásba is több szakhatóságot bevon a vonatkozó jogszabály alapján. Ezek közül ki kell emelni az illetékes Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőséget (KTVF), a tűzoltóságokat, a Kulturális Örökségvédelmi Hivatal irodáit illetve az érintett önkormányzatot.

A létesítési engedélyhatározatban az elkészült létesítményre a Bányakapitányság 180 nap próbaüzem megtartását írhatja elő. Ennek lefolytatására próbaüzemi tervet kell készíteni, amelyben ki kell térni a lehetséges haváriákra és azok elhárítására is. A próbaüzem alatt folyamatosan próbaüzemi naplót kell készíteni, melyben regisztrálni kell a mért adatokat. Amennyiben a próbaüzem eredményes, a létesítmény a használatbavételi eljárás során használatbavételi engedélyt kaphat, amennyiben eredménytelen, a furatok eltömedékelését rendelhetik el.

A használatbavételi engedélyezési eljárás:

Az építési engedélyhez kötött létesítmény, csak használatbavételi engedély alapján vehető használatba és üzemeltethető.

Több megvalósulási szakaszra bontott építkezés esetében az egyes szakaszokban megépített - rendeltetésszerű és biztonságos használatra önmagukban alkalmas - létesítményrészekre szakaszonként külön-külön is lehet használatbavételi engedélyt kérni.

1. Táblázat: A fontosabb igazgatási szolgáltatási díjak BHE rendszerek esetén

	Bányakapitányság igazgatási szolgáltatási díja	KTVF: igazgatási szolgáltatási díja	KTVF külön eljárásban környezeti hatásvizsgálati adatlap
Létesítési engedély	36 000	+ 23 000 Ft	+ 133 000 Ft
Használatbavételi engedély	36 000	+ 23 000 Ft	-

M18. Gazdasági és megtérülési számítás nagy rendszer esetén

Alapadatok a háttérszámításhoz	**Nagy rendszer**
Fajlagos bekerülés Ft/kW	168 012
Rsz. Méret (kW)	619
Bekerülés (Ft)	103 999 428
Villamos ár	25
Villamos növek.	4,00%
Gáz ár	100
Gáz növekedés	8,00%
Banki kamat	5,00%
Jóságfok	4,00
Kazánhatásfok	102,00%
Kazán bekerülés	15 000 000

M18. Gazdasági és megtérülési számítás nagy rendszer esetén

Háttér-számítás	Nagy rendszerek esetén													
	Üzemóra	Elektromos áram ára	Hőszivattyús rendszer üzemeltetési költség	Hőszivattyús rendszer összes költség	Földgáz ára	Kazános rendszer üzemeltetési költsége	Kazános rendszer összes költsége	Banki betét	Banki kamat	Sum pénz gáz	Kazános rendszer összes költsége	Kazános rendszer összes ráfordítása (bekerülés+ üzemeltetés)	Kazános rendszer jelenértéke	Hőszivattyús rendszer jelenértéke jelenérték
Bekerülés	0		0	103 999 428		0	15 000 000	88 999 428	4 449 971		0		0	0
1. év	2000	25,0 Ft	7 737 500	111 736 928	100,0 Ft	12 857 262	27 857 262	80 592 138	4 029 607	80 592 138	0	103 999 428	26 530 725	106 416 122
2. év	2000	26,0 Ft	8 047 000	119 783 928	108,0 Ft	13 885 842	41 743 104	70 735 902	3 536 795	70 735 902	0	103 999 428	37 862 226	108 647 554
3. év	2000	27,0 Ft	8 368 880	128 152 808	116,6 Ft	14 996 710	56 739 814	59 275 988	2 963 799	59 275 988	0	103 999 428	49 013 985	110 703 214
4. év	2000	28,1 Ft	8 703 635	136 856 443	126,0 Ft	16 196 447	72 936 261	46 043 340	2 302 167	46 043 340	0	103 999 428	60 004 842	112 592 135
5. év	2000	29,2 Ft	9 051 781	145 908 224	136,0 Ft	17 492 162	90 428 423	30 853 345	1 542 667	30 853 345	0	103 999 428	70 853 036	114 322 911
6. év	2000	30,4 Ft	9 413 852	155 322 076	146,9 Ft	18 891 535	109 319 958	13 504 477	675 224	13 504 477	0	103 999 428	81 576 236	115 903 724
7. év	2000	31,6 Ft	9 790 406	165 112 482	158,7 Ft	20 402 858	129 722 817	0	0	0	6 223 158	110 222 586	92 191 584	117 342 358
8. év	2000	32,9 Ft	10 182 022	175 294 504	171,4 Ft	22 035 087	151 757 903	0	0	0	28 258 245	132 257 673	102 715 723	118 646 220
9. év	2000	34,2 Ft	10 589 303	185 883 807	185,1 Ft	23 797 894	175 555 797	0	0	0	52 056 138	156 055 566	113 164 832	119 822 359
10. év	2000	35,6 Ft	11 012 875	196 896 682	199,9 Ft	25 701 725	201 257 523	0	0	0	77 757 864	181 757 292	123 554 660	120 877 483
11. év	2000	37,0 Ft	11 453 390	208 350 072	215,9 Ft	27 757 863	229 015 386	0	0	0	105 515 727	209 515 155	133 900 553	121 817 972
12. év	2000	38,5 Ft	11 911 526	220 261 598	233,2 Ft	29 978 492	258 993 878	0	0	0	135 494 219	239 493 647	144 217 483	122 649 899
13. év	2000	40,0 Ft	12 387 987	232 649 585	251,8 Ft	32 376 772	291 370 650	0	0	0	167 870 991	271 870 419	154 520 077	123 379 042
14. év	2000	41,6 Ft	12 883 506	245 533 091	272,0 Ft	34 966 914	326 337 564	0	0	0	202 837 905	306 837 333	164 822 645	124 010 896
15. év	2000	43,3 Ft	13 398 847	258 931 937	293,7 Ft	37 764 267	364 101 830	0	0	0	240 602 171	344 601 599	175 139 206	124 550 689
16. év	2000	45,0 Ft	13 934 800	272 866 738	317,2 Ft	40 785 408	404 887 238	0	0	0	281 387 579	385 387 007	185 483 509	125 003 397
17. év	2000	46,8 Ft	14 492 192	287 358 930	342,6 Ft	44 048 241	448 935 479	0	0	0	325 435 820	429 435 248	195 869 062	125 373 749
18. év	2000	48,7 Ft	15 071 880	302 430 810	370,0 Ft	47 572 100	496 507 579	0	0	0	373 007 920	477 007 348	206 309 154	125 666 248
19. év	2000	50,6 Ft	15 674 755	318 105 565	399,6 Ft	51 377 868	547 885 447	0	0	0	424 385 788	528 385 216	216 816 876	125 885 174
20. év	2000	52,7 Ft	16 301 745	334 407 311	431,6 Ft	55 488 097	603 373 544	0	0	0	479 873 885	583 873 313	227 405 143	126 034 599
21. év	2000	54,8 Ft	16 953 815	351 361 126	466,1 Ft	59 927 145	663 300 689	0	0	0	539 801 030	643 800 458	238 086 718	126 118 394
22. év	2000	57,0 Ft	17 631 968	368 993 094	503,4 Ft	64 721 317	728 022 006	0	0	0	604 522 347	708 521 775	248 874 229	126 140 242
23. év	2000	59,2 Ft	18 337 247	387 330 341	543,7 Ft	69 899 022	797 921 028	0	0	0	674 421 369	778 420 797	259 780 191	126 103 645
24. év	2000	61,6 Ft	19 070 737	406 401 077	587,1 Ft	75 490 944	873 411 971	0	0	0	749 912 313	853 911 741	270 817 025	126 011 933
25. év	2000	64,1 Ft	19 833 566	**426 234 643**	634,1 Ft	81 530 219	**954 942 191**	0	0	0	**831 442 532**	935 441 960	281 997 076	125 868 272