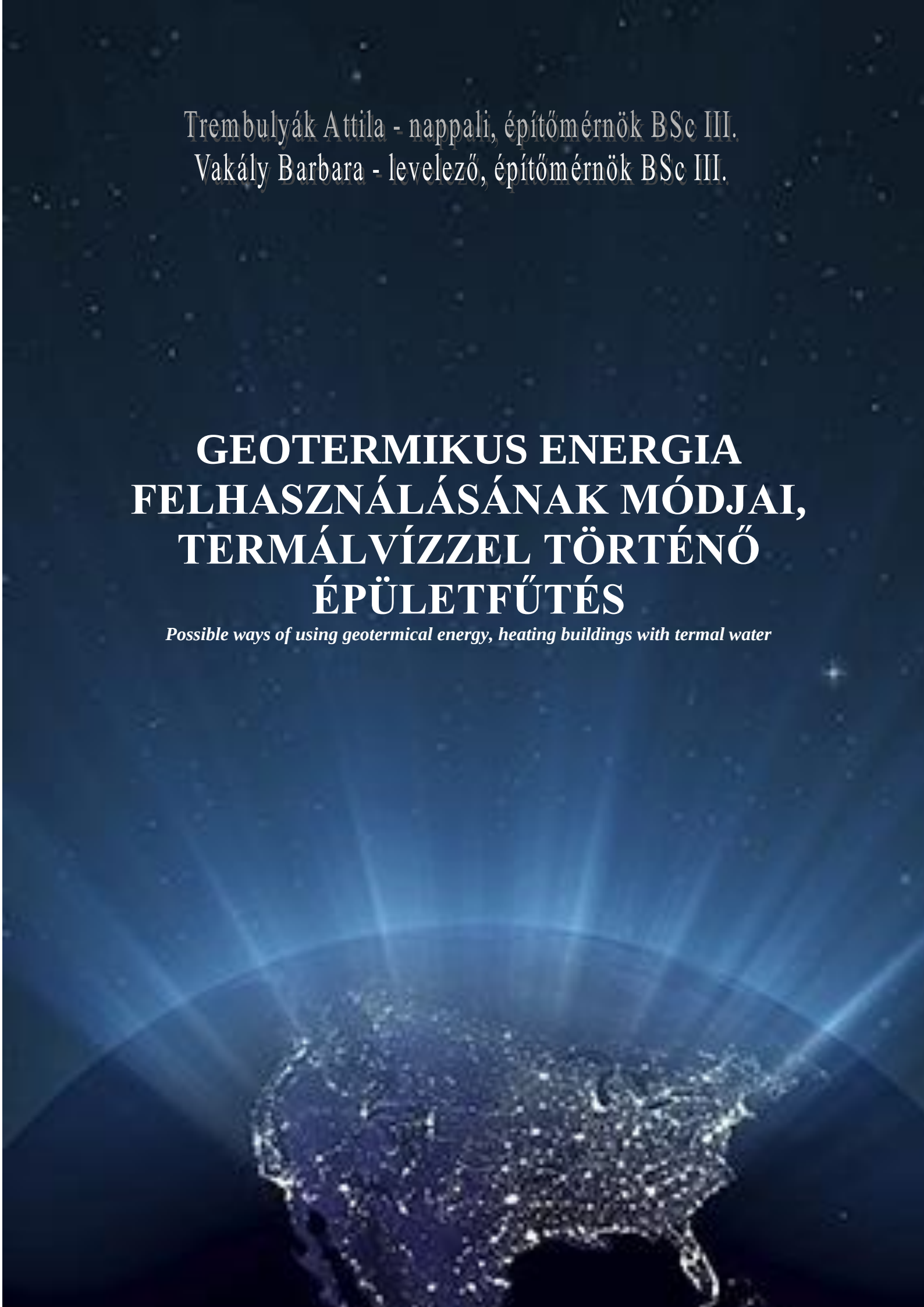


Trembulyák Attila - nappali, építőmérnök BSc III.
Vakály Barbara - levelező, építőmérnök BSc III.

GEOTERMIKUS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK MÓDJAI, TERMÁLVÍZZEL TÖRTÉNŐ ÉPÜLETFŰTÉS

Possible ways of using geothermal energy, heating buildings with termal water



TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	2
1. BEVEZETÉS.....	3
2. GEOTERMIKUS ENERGIA	4
2.1. Geotermikus energia általános bemutatása	4
2.2. Hazánk geotermikus adottságai	4
2.3. Termálvíz, és hazánk hévízkincsének bemutatása	8
2.4. Geotermikus energia hasznosításának szabályai	10
2.5. Vízgazdálkodással kapcsolatos szabályozások	11
2.6. Geotermikus hőszivattyúk	11
2.6.1. Geotermikus és egyéb szondatípusok	13
2.6.2. Hőszivattyú típusok és alkalmazási megoldások	15
3. VERESEGYHÁZI TERMÁLVÍZ ÜZEMŰ KÖZMŰ BEMUTATÁSA	23
3.1. Veresegyházi geotermikus energia hasznosítása	23
3.1.1. „Veresegyházi geotermikus közmű kiterjesztése új termelőkút fúrásával”	23
3.1.2. „A térség vízföldtani adatai”	25
3.2. Energetikai számítások	30
3.2.1. Az épületfűtés számítása földgáz felhasználása esetén	30
3.2.2. Az épületfűtés számítása geotermikus energia felhasználás esetén	34
3.2.3. A geotermikus energiával történő épületfűtés és a földgázzal történő épületfűtés összehasonlítása	35
4. FOGALOMTÁR.....	36
5. IRODALOMJEGYZÉK.....	38
6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	39

1. BEVEZETÉS

Dolgozatunk során bemutatjuk a geotermikus energia felhasználásának lehetséges módjait és foglalkozunk a hőszivattyúval történő energiakinyeréssel. Részletesen tárgyaljuk a termálvízzel történő épületfűtést, és bemutatunk egy olyan megvalósult projektet, amely 1993. óta folyamatosan bővül és példaértékű Magyarországon a geotermikus energia felhasználás szempontjából. Továbbá összehasonlításra kerül a hagyományos és geotermikus energiafelhasználás. A Kárpát-medence területén a geotermikus adottságok nagyon kedvezőek, főként Magyarországon. Itt található a legnagyobb terület Közép Európában, ahol a földi hőáram jelentősen meghaladja a világtátlagot.

A dolgozat további célja bemutatni a geotermiában rejlő felhasználási lehetőségeket, mely energiát Földünk raktároz, mivel a fosszilis energiaforrásaink végesek.

2. GEOTERMIKUS ENERGIA

2.1. Geotermikus energia általános bemutatása

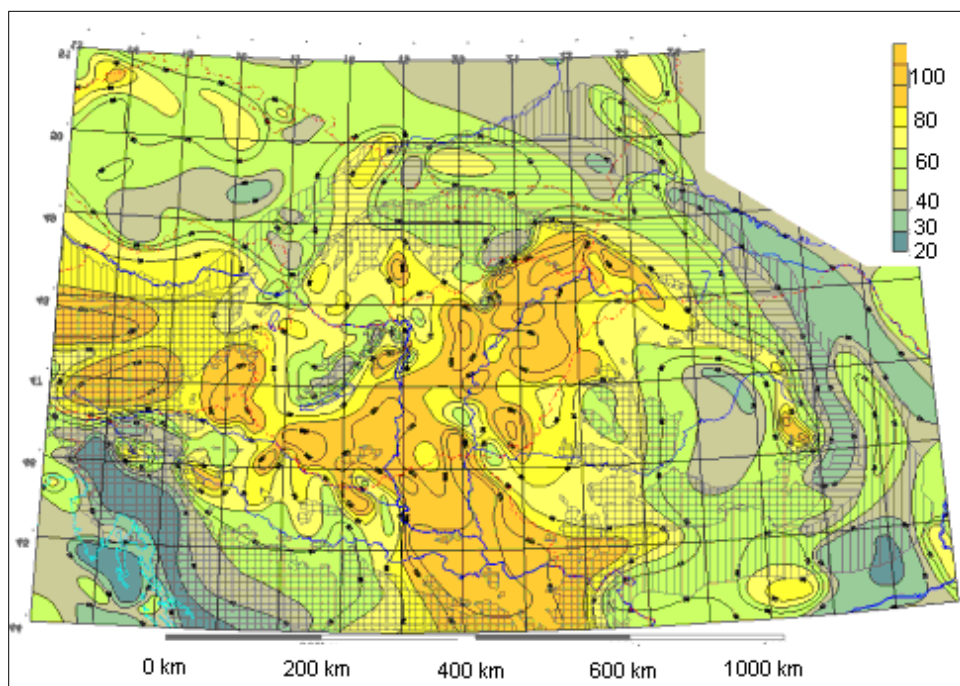
A geotermikus energia a földkéregben tárolt hőenergia. A föld magját alkotó magmából és a napsugárzásból töltődik rendszeresen, de a nyári hűtési üzemmóddal mi magunk is töltünk vissza némi hőenergiát. Az évszakok megszokott körforgása folyamán ez az energia minden évben kiegészül.

2.2. Hazánk geotermikus adottságai

A Kárpát-medencében különösen hazánk területe alatt a földkéreg vékonyabb, ezért a geotermikus adottságaink kedvezőek. Közép Európában Magyarország a legnagyobb olyan terület, ahol a földi hőáram jelentősen meghaladja a világtátlagot.

Hőáram: ugyanabban a mélységben mért gradiens érték és ugyanarra a mélységre megállapított hővezető-képesség szorzata (W/m^2).

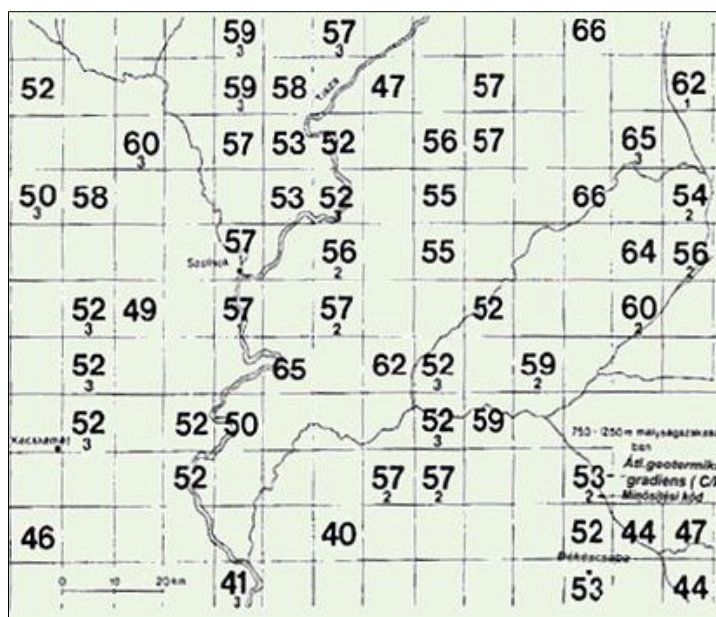
Ezeket a számunkra kedvező paramétereket mutatja az 1. ábra.



1. ábra

(forrás: <http://www.napcsapda.hu/geotermikus.html>)

Az egységnyi mélységnövekedéshez tartozó hőmérsékletemelkedést jelentő geotermikus gradiens átlagértéke a Földön általában $0,020\text{--}0,033\text{ }^{\circ}\text{C/m}$, nálunk pedig általában $0,042\text{--}0,066\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (2. ábra). A fenti termikus adottságok miatt nálunk $1000\text{--}2000\text{ m}$ mélységben a réteghőmérséklet eléri, sőt meg is haladja a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot (Alföld területe). A hőmérsékleti izotermák 3000 m mélységben már $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti hőmérséklettel rendelkező mezőket fednek fel. Ez magas talajhőmérséklet, és hévizek, a legalább $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os rétegvíz mind kedveznek a hőszivattyús technológiának.



2. ábra

(forrás: <http://www.foldenergia.siteset.hu/index.php?m=14099>)

Hazánkban igen kedvező lehetőségei vannak a geotermikus energiával történő fűtésnek, vízmelegítésnek és a nyári lakáshűtésnek. Leginkább a földhő használható energiaforrásnak, melyet talajvízből, folyó- vagy tóvízből 50-100 m mélyen elhelyezett szondákkal kinyerve hasznosítunk. A talajvíz és a kőzetek hőmérséklete, szemben a napenergiával, télen sem csökken, segédűtés nélkül is ellátja feladatát.

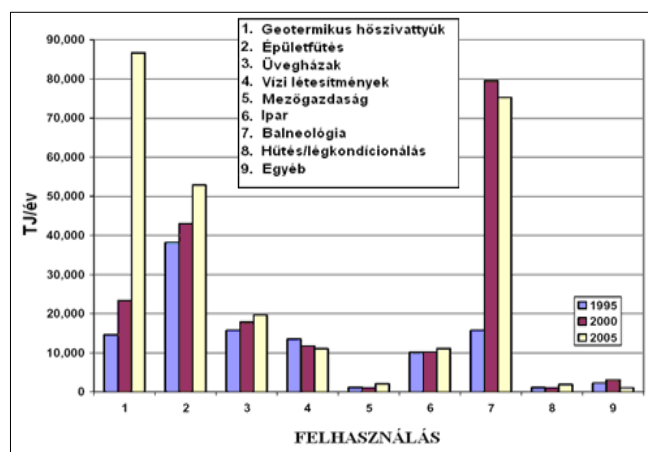
A *földhő fluxusa* hazánk felszínén 0,09 W/m/óra, 100 m mélységben eléri a 0,11 W-ot. Az 1 km²-en 90 MW nyerhető vele, hazánk egész területén 8100 MW, közel annyi, mint a háztartások összes hőigénye. Az 1-es táblázat a geotermikus energia felhasználását mutatja.

1. táblázat

	FELHASZNÁLÁS (TJ/év)		
	1995	2000	2005
Geotermikus hőszivattyúk	14,617	23,275	86,673
Épületűtés	38,23	42,926	52,868
Üvegházak fűtése	15,742	17,864	19,607
Tavak hőellátása	13,493	11,733	10,969
Mezőgazdaság (pl. szárítók)	1,124	1,038	2, 13
Ipari felhasználás	10,12	10,22	11,068
Balneológia	15,74	79,546	75,289
Hűtés, utak jégtelenítése	1,124	1,063	1,885
Egyéb	2,249	3,034	1,045
Összes	112,441	190,699	261,418

(forrás: <http://alternativa.ewk.hu/geotermikus-energia>)

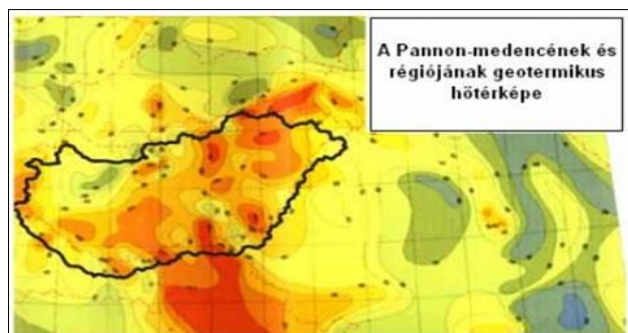
Geotermikus energia felhasználás szerinti eloszlása:



3. ábra

(forrás: <http://alternativa.ewk.hu/geotermikus-energia>)

Magyarországon a 2002-től megkezdett hatósági engedélyezési eljárás és törvényi szabályozás után 2005 év végére a hőszivattyúkkal előállított hőmennyiség becslés alapján meghaladja az 5 MW-ot.



4. ábra

(forrás: <http://klimakor.lapunk.hu/?modul=blog&a=126497>)

Annak eldöntésére, hogy alkalmas-e fűtésre a hőszivattyú vagy nem, egy-egy esetben a munkaszám ad támpontot, azaz, hogy a hőszivattyú által leadott energiamennyiség hányszorosa a működtetéshez felhasznált elektromos energiának. Az elérhető munkaszám elsősorban a hőforrás és az előremenő hőmérséklet különbségétől függ. A hőfokkülönbség 1 °C-os csökkentésével 2,5 % elektromos energia-megtakarítás jár együtt. A talajvíz a hőszivattyúk működtetésének ideális eleme, mivel egész évben rendelkezésre áll, hőmérséklete pedig viszonylag állandónak tekinthető. Bizonyos berendezésekkel olyan házakban, amelyeknek minden helyiségében padlófűtés működik, csak 35 °C-os előremenő vízhőmérsékletre van szükség. Ebben az esetben az éves munkaszám 4, szélsőséges esetben akár 6 is lehet. Még 55 °C-os előremenő hőmérséklet mellett is megvalósítható a hőszivattyú monoenergikus alkalmazása.

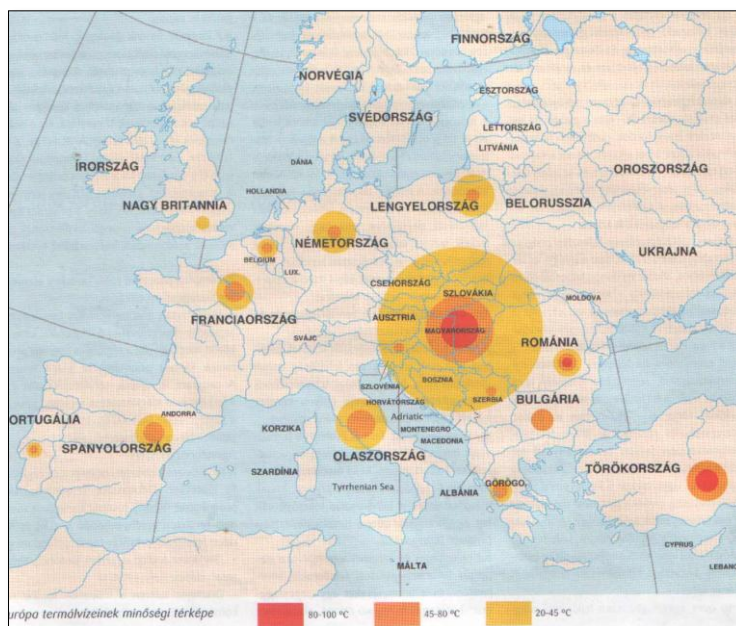
A kutakat hőszivattyús rendszereknél 50-100 m-es mélység jellemzi, közvetlen termálvíz felhasználásnál azonban nagymélységűek, akár 1,5-3 km mélyek is lehetnek. Felhasználástól függően lehetnek energetikai, erőművi vagy komplex kapcsolt fürdő felhasználási célúak. A komplex kapcsolt hőenergia hasznosításának a hatásfok növelése céljából itt is az úgynevezett fáradt, alacsonyabb hőmérsékletű termálvíz (fürdők elfolyó vize) lehet a hőszivattyú primer oldalának hordozó közege. Ezek a komplex hasznosítási módok a hőszivattyús rendszerek nagyfokú elterjedését (6-szoros növekedés az elmúlt 10 évben) eredményezték a világon.

2.3. Termálvíz, és hazánk hévízkincsének bemutatása

Termálvíznek nevezünk minden olyan felszín alatti vizet, melynek kifolyó, felszínen mért hőmérséklete 30 °C, vagy annál magasabb.

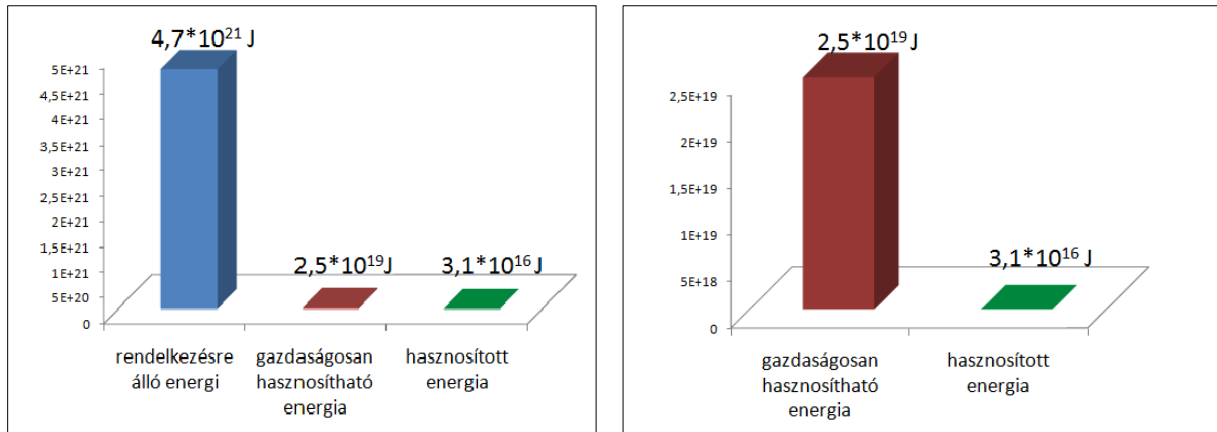
A felszín alatti vizeket a földhő fűti fel, ezért egyértelműen tekinthetjük a termálvizet geotermikus energiának. A föld mélyében előforduló vizeket a belső terek fűtésére, orvostudományban gyógyászati célokra, használati melegvíz-szolgáltatásra, termál fürdőkben, ipari célokra és a mezőgazdaságban egyaránt használható. Vannak azonban a jelenlegi felhasználásnak hátrányai is. Jelen pillanatban a termálvíz 85 %-át szivattyúzással termelik ki (csupán egy-két visszasajtoló kút működik minden országban), amely kis rétegnyomásra utal. A szennyvízkezelés elégtelen, a felhasznált termálvíz egy részét a felszíni vizekbe vezetik veszélyeztetve az ökoszisztémát. Az ellenőrző-megfigyelő rendszer (monitoring) eltérő az egyes országokban, de sok esetben speciális rendszereket alkalmaznak, ellenben a termálvizeket tartalmazó rétegekre eddig még nem építették ki.

A forró altalaj, a magas közethőmérséklet még nem elégséges a hévizek, termálvizek kialakulásához. Ehhez szükség van a vizet tároló és az azt leadni képes kőzetekre, képződményekre, melyeket vízádóknak nevezünk. A Kárpát-medence földtörténeti fejlődése során kialakult állapotok ehhez kedvező körülményeket biztosítanak. Gyakorlatilag nincs olyan része Magyarországnak, ahol a felszín alatt ne fordulnának elő jó vízádó tulajdonságú képződmények (6. ábra).



6. ábra Termálvíz előfordulása Magyarországon
(forrás: <http://nemzetifaklya.atw.hu/news.php?readmore=12>)

A vízadókban tárolt vizek - a geotermikus adottságok következtében - a mélységgel arányosan növekvő hőfokúak. A hazai felszín alatti vízkészletekben tárolt hőmennyiség 4,7 millió petajoule ($1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$), amiből a törvényi háttérrel és az elérhető technológiákat figyelembe véve 250-350 petajoule-t lehetne hasznosítani, ehhez képest jelenleg 3,1 petajoule kerül hasznosításra (4. ábra).



7. ábra Gazdaságosan hasznosítható, és hasznosított termálvízből nyerhető energia

Magyarország adottságai termálvizek tekintetében a geotermikus gradiens mértéke miatt kedvezőek. A víz előfordulásának függvénye, hogy megvalósítható-e az energia kinyerés.

Eddig hazánkban Veresegyházon, Kistelken, Bólyon, Mórahalmon és Gárdonyban használnak termálvizet épületfűtésre. Mindegyik esetben szükség van termelőkútra és szivattyúra, a termálvíz hőjét pedig hőcserélőn át egy radiátoros fűtési rendszerbe vezetik (a talajhő által felfűtött termálvizet hozzuk fel, és keringtetjük a hőközpontokban). A termálvíz hőfoka az előfordulásának mélységétől függ, annál melegebb, minél mélyebbről hozzuk fel, tehát a kút mélysége a tervezett energiafelhasználástól függ. A hőforrásoldal kialakításakor egy cementezett vagy köpenycsővel ellátott kút, felső részébe bűvárszivattyút helyezünk el.

2.4. Geotermikus energia hasznosításának szabályai

A Hőszivattyúk kivitelezésénél nagy szerepe van a jogszabályoknak, melyet a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII., illetve a környezetvédelemről szóló 1995. évi LIII. törvény szabályozza. A szükséges engedélyek nélkül egy beruházás sem kezdődik el. A projektnek rendelkeznie kell legalább elvi építési engedéllyel. Hőszivattyúk alkalmazásánál, kútfúratok kiépítésénél az illetékes bányakapitányság adja a Bányakapitánysági Létesítési Engedély tervet, ezek a bányakapitányságok a Magyar Bányászati és Földtani hivatalhoz tartoznak.

A függőleges zárt csőhurokkal ellátott szondás primer rendszerek megvalósítása minden esetben engedélyköteles, mivel „a geotermikus energia hasznosítása, valamint a felszín alatti víz termelésével együtt nem járó kutatása és kinyerése”. Az országban Budapesten, Szolnokon, Pécsen, Veszprémben, és Miskolcon van bányakapitányság.

A talajkollektorok kiépítése általában nem engedélyköteles, de vannak kivételek, például, ha a kollektorok elhelyezésével kapcsolatos földmunkák során a terepet rendezik, és ha a korábbi terepszinthez képest legalább 100 cm-es változás következik be, akkor a helyileg illetékes építésügyi hatóság engedélye szükséges a tereprendezéshez.

Bányakapitánysági Létesítési terv tartalma:

- Tervező és tulajdonos megfelelő nyilatkozata;
- Tervezési alapadatok bemutatása;
- Földtani, vízföldtani, geotermikus viszonyok leírása, várható rétegsor megadása;
- Fúrások számának méretezése vagy megadása;
- Konkrét fűrási terv leírása, biztonságtechnikai és környezetvédelmi előírásokkal, szükségesetén több verzióban
- Átnézetes és lokális koordinátahelyes térképek, kötelező mellékletek (tulajdoni lap, telektérkép, jogosultság);

Mélyfűrás kivitelezéséhez szükséges fűrási alapeológiai, műszaki-biztonsági adatokat, követelményeket a geológiai-műszaki tervben (a továbbiakban: geo-műszakiterv) határozzák meg.

Tartalmazza:

- a fűrás azonosítási adatait, teljes nevét, jeleit, koordinátáit és jellegét;
- a fűrás tervezett mélységét, szakaszonkénti átmérőjét és a szakasz hosszát;
- a rétegsort, benne az iszapveszteséges rétegek mélységét, a korbeosztást;
- a fűrás során tervezett szelvényezéseket;
- a béléscső oszlopok beépítési mélységét, azok átmérőjét;
- a tervezett szűrők helyét, méretét, a tömörszelencék elhelyezési mélységeit, a cementpalástok magasságát;
- a béléscső zárásvizsgálatok (próbanyomások) tervezett értékét, a leürítési korlátozásokat;

2.5. Vízgazdálkodással kapcsolatos szabályozások

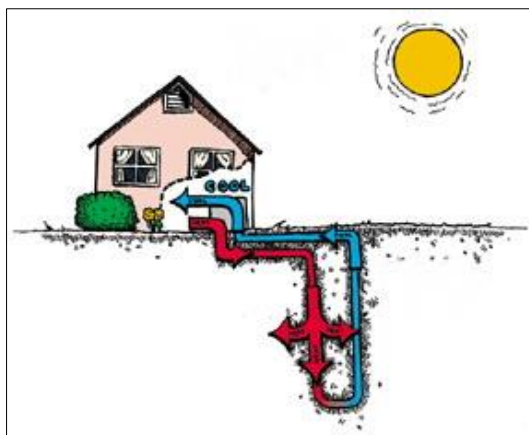
A vízkivétellel történő beavatkozásoknál a szükséges engedélyeket a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségtől kell kérni, amely hivatal megállapítja az adott beruházásra betartandó környezetvédelmi előírásokat, a Vízgazdálkodási törvény alapján, az 1995. évi LVII. törvény 1. § A törvény a felszín alatti és a felszíni vizekről rendelkezik.

Összefoglalva geotermikus energiafelhasználáskor a bányajáradékot, a vizek kitermelésekor vízkészlet-járadékot fizetünk az államnak.

2.6. Geotermikus hőszivattyúk

A geotermikus hőszivattyú olyan berendezés, amely az alacsony energiatartalmú megújuló forrásokból hőenergiát nyer, vagyis kis mennyiségű külső energia befektetéssel hőtranszferet valósít meg a hidegebb közegből a magasabb hőtartalmú közeg felé. A hőszivattyú olyan, mint a hűtőgép csak fordított elven működik, a talajban összegyűlt hőenergiát hasznosítja. Lehet vele hűteni, fűteni és használati melegvíz előállítására is alkalmas.

COP (Coefficient of Performance) megmutatja, hogy a szivattyú által leadott tényleges hőteljesítmény hányszorosa a felvett illetve a rendszer működéséhez szükséges teljesítménynek.

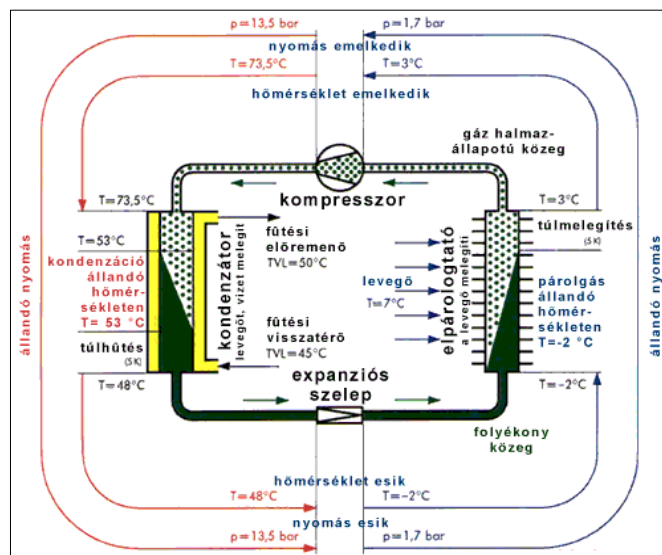


8. ábra

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

A COP tényezővel szemben nagyobb jelentőséggel bír a JAZ (éves teljesítménytényező) tényező. A COP-val ellentétben ez nem laboratóriumban mért érték, hanem az adott rendszer egy éven át történő vizsgálata. Akkor nevezhető egy rendszer működőképesnek, ha a teljesítménytényező (JAZ) egyenlő a jóságfokkal (COP). Például, egy 4-es COP értékű szivattyú, nem megfelelő radiátorokkal ellátott kedvezőtlen hőszigetelésű épületben elérhet 2,9-es (JAZ) teljesítménytényezőt. Ez eredményezheti a többlet energiaköltség keletkezését, és a szivattyú élettartam csökkenését.

A hőszivattyúk hőforrásként a talaj illetve a talajvíz hőjét hasznosítják fűtésre vagy egyéb melegvíz készítés célra. A kollektor rendszerből érkező folyadékból az elpárolgatóban a hűtőközeg hőt vesz fel. A hűtőközeg ezután a kompresszorba jut, ahol a nyomását növelve a közeg hőmérséklete megnő és összenyomja azt. Az így létrejött forró gőz a kondenzátorba jut, ahol a forró gőz lehűl és hőt ad át a fűtőkörben keringő víznek, felmelegítve azt. A rendszerben található expanziós szelep szabályozza a hűtőközeg tömegáramát figyelembe véve az elpárolgatóban és a kondenzátorban található nyomáskülönbség szükséges mértékét (9. ábra).



9. ábra

(forrás: <http://www.foek.hu/korkep/enhat/hoszivattyu/hoszivattyu.html>)

A szondák, amelyek függőleges, vagy vízszintes elhelyezésben kerülnek a földbe összegyűjtik a föld hőjét. A geotermikus hőszivattyú viszonylag alacsony hőmérsékletű vízből képes melegvizet előállítani. Ezt a 14-15 °C állandó hőt, egy zárt rendszeren keresztül a felszínre hozza, és készít belőle 55-60 °C hasznosítható hőt. Ezt a melegvizet fel lehet használni fűtésre, és úgynevezett passzív hűtésre az áramlási irány megfordításával. A megfordítható áramlási irányú hőszivattyút reverzibilis hőszivattyúnak nevezzük. A geotermikus hőszivattyú a „szíve” az egész rendszernek.

A geotermikus hőszivattyúval előállított energia hasznosításának egyik nagy előnye a napenergiával szemben, hogy nincs sem időjáráshoz, sem napszakhoz kötve. Kis szervíz igényű, halk berendezés (40-47 dB), nem szennyezi a környezetet. A fűtőanyag utánpótlás független az emberi beavatkozástól. Hátránya azonban, hogy a geotermikus hőszivattyú elektromos árammal működik, tehát az üzemeltetéséhez szükség van egy másik energiaforrásra is. Ez azt jelenti egy adott létesítmény geo-fűtése esetén, hogy a hagyományos fűtés költsége helyett a villamos energiaköltség megnő, hozzávetőlegesen a megspórolt gázmennyiség értékének 30-40 %-val. A megtakarítás a hagyományos fűtés költségéhez viszonyítva hozzávetőlegesen 40 %.

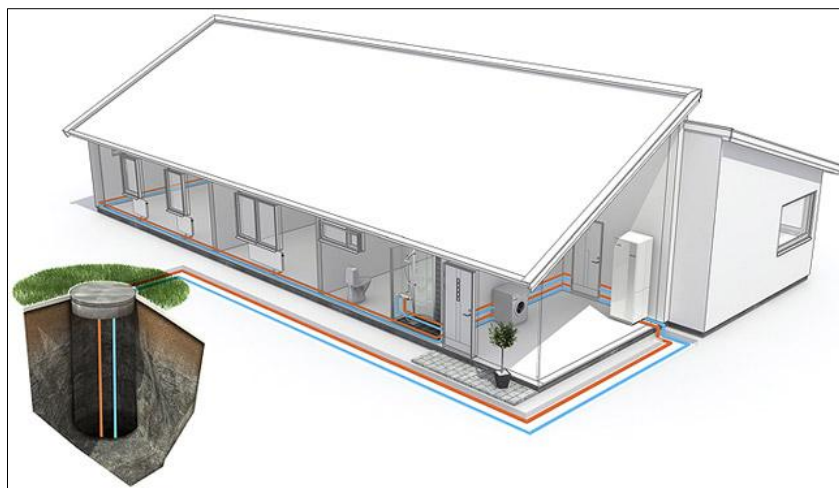
Kiváló megoldást nyújtanak a hibrid szerkezetek. Ebben az esetben napkollektorral állítjuk elő a hőszivattyú üzemeléséhez szükséges energiát. Természetesen ezek az adatok nem minden épületre igazak. Van, ahol nagyobb és van ahol kisebb a megtakarítás. Függ az épület nagyságától, szivattyúk teljesítményétől és számától, valamint az épület szigetelésétől.

2.6.1. Geotermikus és egyéb szondatípusok

1. Függőleges talajszonda

A talajtakaró alatt található Földkéreg, az úgynevezett “felszín közeli geotermikus réteg”, jól hasznosítható hőforrás, amely egész év során megközelítőleg azonos hőmérsékletű. Általában 60-120 méter mély furatokban elhelyezett függőleges szondák (10. ábra) kis helyigényűek a vízszintes kollektorokkal ellentétben. Könnyen telepíthető, és alkalmazható akár meglévő fosszilis tüzelőanyagú fűtési rendszerek kiváltása esetén is.

A szondákban, hasonlóan a kollektor-rendszerhez, környezetre ártalmatlan víz-propilénglikol keverék kering. A hőszivattyú méretéből, a fűtési rendszer tulajdonságaiból és a rendelkezésre álló geológiai, geofizikai adatokból megállapítja a telepítést végző cég a szükséges furatok számát, mélységét valamint a szonda típusát.

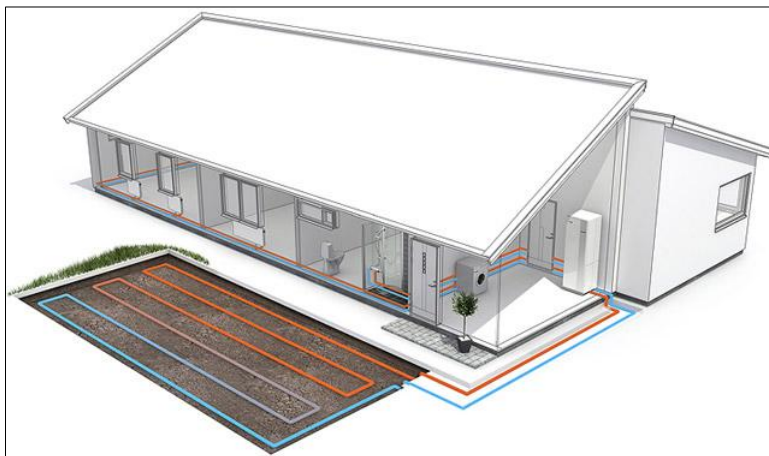


10. ábra

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

2. Vízszintes talaj kollektor

A Föld felszíne a Napsugárzás hatására egész évben rengeteg energiát képes eltárolni. A hőenergia egy része direkt napsugárzás formájában abszorbeálódik, azonban a csapadékkal és a levegővel is nagymennyiségű hőenergia jut a talajba. Ez ingyen rendelkezésre álló energia költséghatékonyan hasznosítható. Amennyiben a talaj nedvességtartalma magas, a rendelkezésre álló talajhő is nagyobb. A hőforrás hasznosítására műanyag (KPE, PE) csöveket fektetnek a talajba. A kollektorok feletti földterületet szabadon kell hagyni, épületet ráépíteni, lebetonozni, aszfaltozni nem szabad. A talaj kollektorok telepítése a legtöbb esetben nem engedélyköteles (11. ábra).

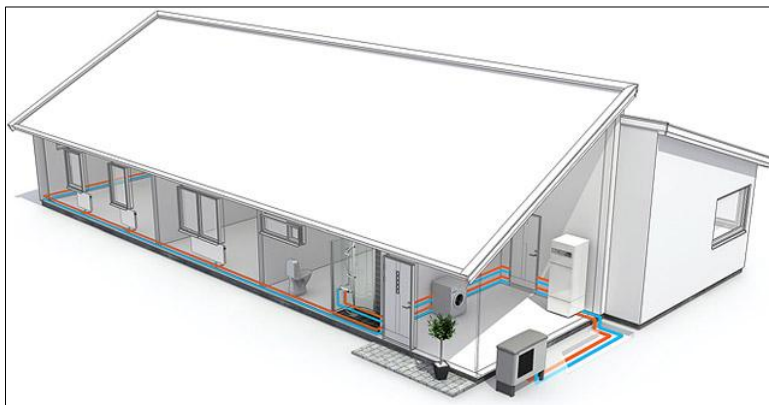


11. ábra

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

3. Levegőszonda

Ebben az esetben a levegőből próbáljuk kiaknázni a hőt. Mivel a levegő rossz vezető, ezért sokkal nagyobbra kell méretezni a rendszert, és a hatásfok is gyengébb lesz, mint a többi megoldásnál. Ellenben sokkal kisebb ráfordítást igényel, olcsóbb megoldás. Sikeresen alkalmazzák a hőszivattyúk kombinálását napkollektorokkal. Abban az esetben, ha elkerülhetetlen a levegőszondás változat alkalmazása, érdemes ezt a lehetőséget is számba venni (12. ábra).



12. ábra

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

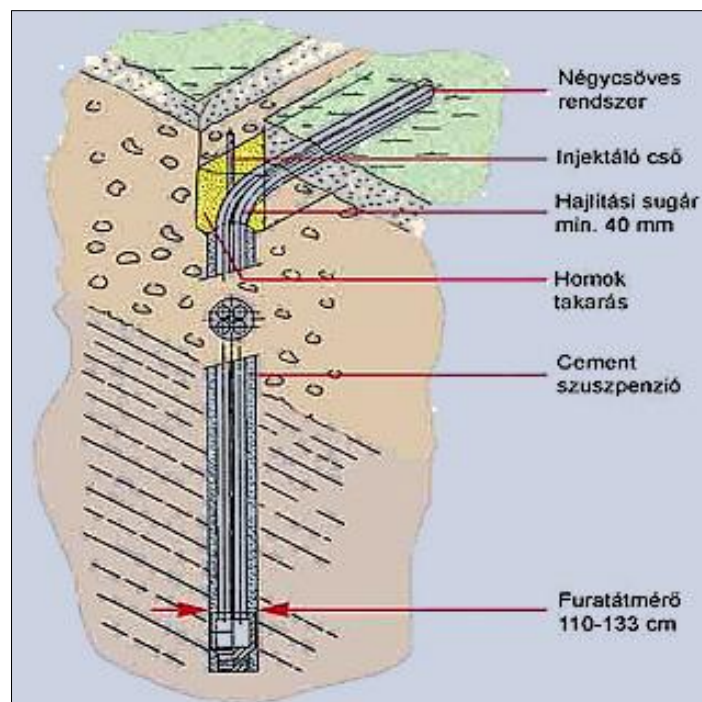
2.6.2. Hőszivattyú típusok és alkalmazási megoldások

A hőszivattyúk típusai

- **Víz fűtötte-víz (AQUA)**
- **Víz fűtötte-levegő**
- **Levegő fűtötte-víz (AERO)**
- **Levegő fűtötte-levegő**

Függőleges talajszonda, és kút kialakítása

A szondalyuk fúrása, a szonda bevezetése, a lyukfal és a szonda közötti tér cement szuszpenzióval való kitöltése szakember feladata, mert ha nem a lyuk aljáig történik, vagy a cement szuszpenzióval való kitöltés nem teljes, a hőátadás drasztikusan romlik, és a kinyerhető hőteljesítmény a tervezett nem éri el. A lyukba a szonda melletti injektáló csövet is le kell vezetni, mert felülről öntve nem lehet a lyukfal és a szonda közötti hézagot teljesen kitölteni. A következő ábra a szonda felépítését mutatja. Egy szondába mindig 2 pár alul összehurkolt csővezeték kerül (13. ábra).



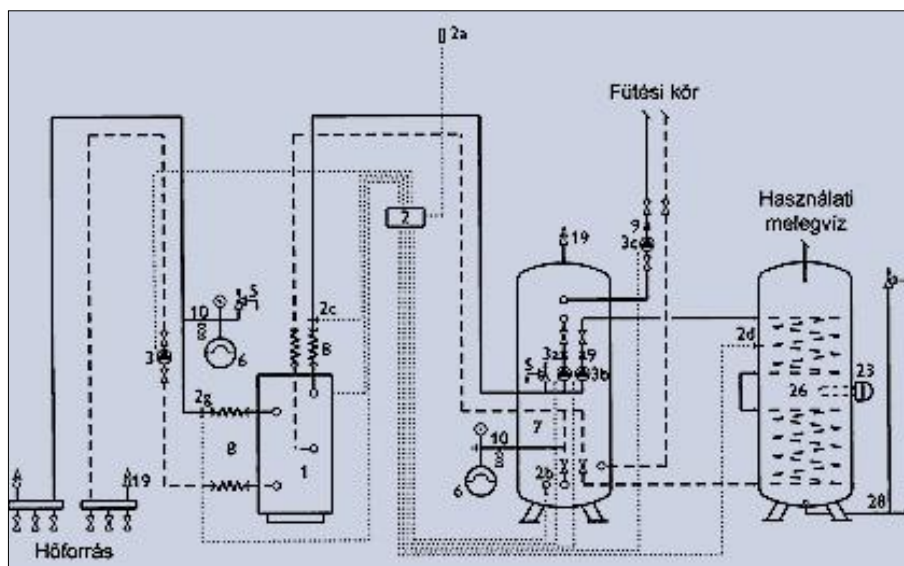
13. ábra Talajszonda kialakítása

A talajszondákat egy külső, épített, ellenőrizhető, osztó-gyűjtő aknában fogjuk össze, és innen juttatunk egypár csővezetékét minimálisan 1-2 méteres földtakarással az épületben elhelyezett hőszivattyúhoz. Az épületbe való csőbevezetést gondosan kell kialakítani. A talajszondás rendszer hidraulikusan zárt, nyomás alatti kör, ezért a keringtető szivattyú és a légtelenítők mellett tágulási tartály és biztonsági szelep beépítése is szükséges.

1. Talajhő-víz hőszivattyú (talaj mint hőforrás)

A talajhő-víz hőszivattyú hidraulikus kapcsolása a talajhő-víz hőszivattyúk fűtési rendszerhez való csatlakoztatása célszerűen puffer-tárolón keresztül történik. A fűtőgépek ki-be kapcsolásos üzem módja indokolja a hőtárolást biztosító puffer-tartály rendszerbe építését, mert így a fűtés folyamatos üzemű. A hőszivattyú a külső hőmérsékletnek megfelelő fűtővizet állítja elő a puffer-tárolóban. A helyiségek hőleadói a fűtővizet a tárolóból kapják, melyet a szivattyú keringtet a fűtési körben. Mivel a talaj hőmérséklete évszaktól függetlenül azonos hőmérsékletű, ezért egész fűtési idényben, kiegészítő fűtés alkalmazása nélkül képes biztosítani mind a hővesztés pótlásához, mind a használati melegvíz előállításához szükséges fűtőtéljesítményt. A komplett fűtési rendszer szabályozását a hőszivattyú szabályozója biztosítja (15. ábra). A talajhő-víz hőszivattyúkat nem csak fűtésre, hanem melegvíz készítésre is használhatjuk.

Természetesen a használati melegvíz készítő üzemben a magasabb fűtővíz előállítása miatt előnytelenebb üzemeltetési költségekkel kell számolni. Az alkalmazott HMV tartály specialitása a nagyobb fűtőfelület, így az alacsonyabb hőmérsékletű fűtővíz is tudja biztosítani a melegvíz előállítását. A felfűtéséhez szükséges fűtővizet nem a puffer-tárolóból, hanem közvetlenül a hőszivattyúból kapja a használati melegvíz (HMV) tartály. A hőszivattyús használati melegvíz készítő rendszereknél is előnykapcsolásban történik a felfűtés. A következő ábra (14. ábra) fűtő és HMV készítő víz-víz hőszivattyús rendszer hidraulikáját mutatja. Kedvező üzemeltetési költségeket érhetünk el, ha a melegvíz készítést a hőszivattyú helyett inkább napkollektorokkal oldjuk meg.



14. ábra Talajvíz – víz szivattyú hidraulikus kapcsolási rajza HMV készítési üzemmódban
(forrás: <http://jagaber.hu/index.php?option=com>)

A talajhő-víz hőszivattyúk a legelterjedtebb hőszivattyús berendezések. A talajhő kinyeréséhez vele érintkező csővezeték (műanyag-KPE) kell elhelyezni a földben. A csővezetékben pld. sóoldat, vagy fagyálló-víz, keveréket keringtetve a talajhő beáramlik a nála alacsonyabb hőmérsékletű hűtőközegbe. Az így felmelegedett közeget szivattyú segítségével juttatjuk a hőszivattyúba, ahol lehűlve a talajcsövekbe áramlik vissza, és a körfolyamat kezdődik előről. A talaj hőmérséklete 5-10 °C közötti, de a hőcsere miatt a hűtőközeghez hőmérsékletkülönbség is szükséges, ezért a folyadék a hőszivattyúhoz 0-5 °C-os hőmérséklettel érkezik. Az előbb említett okokból kell a talajhőt hasznosító hőszivattyús rendszerek talajba kerülő csővezetékét (szonda, kollektor) fagyállóval feltölteni.

A talajhő-víz hőszivattyúk melletti döntés csak akkor indokolható, ha a hőszivattyúk adott fűtési teljesítményét a talajból ki lehet nyerni. Ehhez a talajkollektor esetén megfelelő nagyságú és hővezető képességű, kiásható felület, talajszonda esetén pedig 50-100 méter mélyfúrásra alkalmas terep kell, hogy rendelkezésre álljon. Ha ez nincs meg, akkor levegő-víz hőszivattyú választása javasolható.



15. ábra Kompakt talajhő-víz hőszivattyú, és a fölé helyezett puffer-tároló
(forrás: www.jagaber.hu)

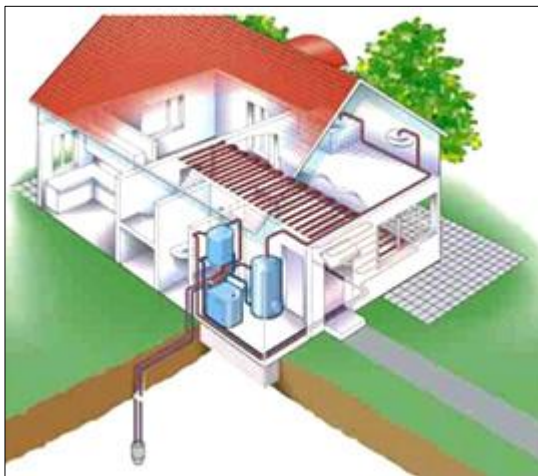
A kompakt berendezés magában foglalja a hőcserélőket (elpárolgató, kondenzátor), Scroll kompresszort, expanziós szelepet, a primer fűtési keringető szivattyút, és a váltószelepet a HMV készítéshez, valamint a komplett hőszivattyús szabályozást. A talajkörben lévő fagyálló keveréket külső szivattyúval keringetjük. A berendezést minden esetben belső térben szükséges elhelyezni.

Talajhő-víz hőszivattyú előnyei

Mivel a talaj hőmérséklete nem függ a külső hőmérséklettől, ezért a magasabb, és közel állandó hőforrás-hőmérséklet miatt kedvezőbb a berendezés jóságfoka (COP). Téli és átmeneti időszakban is közel azonos a berendezés teljesítménye. A talajszondák, vagy a kollektorok szinte bárhol kialakíthatók (kivétel: sziklás helyek). Kiegészítő hőforrásra nincs szükség. Passzív komfort-hűtés kialakítása megoldható (belső, vagy külső hőcserélővel).

Talajhő-víz hőszivattyú hátránya

Hátránya, hogy a hőforrásoldal kialakítása (szondák) költséges (16. ábra).



16. ábra Hőforrásoldal kialakítása talajszondával

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

2. Víz-víz hőszivattyú (talajvíz mint hőforrás)

A talajvízzel üzemelő fűtőgépek jóságfoka a talajvíz éves átlagában kb. 10 °C hőmérsékletéből adódóan jobb, mint a levegő-víz vagy a talajhő-víz hőszivattyúké. A víz-víz rendszerben alkalmazott hőszivattyúk szerkezeti felépítését tekintve túlnyomórészt megegyeznek a talajhő-víz hőszivattyúkkal. A víz kinyerése a talajból általában hatósági engedélyezést igényel, amely engedélyt a beruházás megkezdése előtt célszerű beszerezni. Ugyanakkor a hőszivattyúra (16. ábra) előírt vízminőségi határértékeket is be kell tartani a korróziós károk elkerülése érdekében. Magyarországon kedvező talajvíz hőmérsékletek állnak rendelkezésre. A hőforrás nem csak talajvíz lehet, hanem felszíni víz, szennyvíz, termálvíz is.



16. ábra Víz-víz hőszivattyú

Víz-víz hőszivattyú előnyei

A talajvíz éves átlagos hőmérsékletéből (+10 °C) adódóan a legkedvezőbb jóságfok érhető el. A telepítés helyétől függően a hőforrásoldal kialakítása kedvezőbb költségekkel járhat, mint a talajhő-víz hőszivattyúk esetében. Külső hőcserélő beépítésével passzív hűtés is megvalósítható, amellyel komfort hűtést tudunk biztosítani a lakótérben. Felületi fűtés-hűtés (fal-, mennyezet) kialakítása szükséges hozzá.

Víz-víz hőszivattyú hátránya

A hőforrásoldal kialakítás nagy gondosságot igényel. A rendelkezésre álló hőforrásoldali víztömegáram behatárolja teljesítmény szempontjából az alkalmazható hőszivattyút.

A nyerőkút vízhozamát a választott gyártmányú hőszivattyú tervezési segédletében megadott térfogatárama alapján kell kialakítani. Például egy 13 kW-os géphez akár $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$ talajvíz hozzávezetést is kell biztosítani ahhoz, hogy a szükséges fűtőteliessítményt a berendezés képes legyen leadni. További feladatokat jelent a gépen áthaladt lehűlt víz elvezetése. A csatornahálózatba nem lehet bevezetni, mivel az ilyen nagyságú tömegáramot nem tud befogadni, ezért a legcélszerűbb megoldás az, ha egy nyelő kút kerül kialakításra hasonló méretben, mint a nyerőkút. Ezt a megoldást amiatt is ajánlott választani, mivel így elkerülhető a talajvízháztartás felborulása, ami akár talajsüllyedést is előidézhet. A két kút szükséges távolsága minimum 15 méter. Egy ilyen rendszer elvi kialakítását szemlélteti a következő ábra.

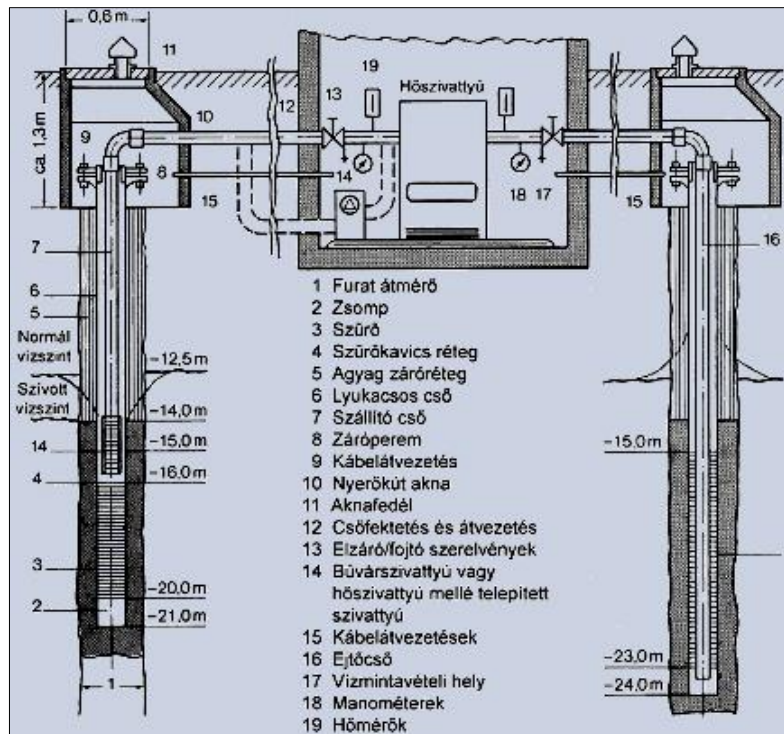


17. ábra Hőforrásoldal kialakítása (víz-víz hőszivattyú)
(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

Mivel a talajvíz hőjét hasznosító víz-víz rendszereknél a hőszivattyún átáramló víz nem több hurkos, zárt körben kering, hanem egy nyitott rendszerben, ezért kialakításánál a következő szempontokat kell figyelembe venni:

A nyerőkút vízhozama, és a nyelőkút befogadóképessége azonos legyen, és a hőszivattyú névleges térfogatáramának feleljen meg. A kinyert víz szűrését meg kell oldani, hogy az se a csővezeték, se a hőszivattyú hőcserélőjének károsodását, eltömítését ne okozhassa.

A vízfelhasználás előtt célszerű a víz minőségét analizáltatni, szinte minden gyártó megadja az üzemeltetéshez szükséges határértékeket. A hőszivattyú elé és után hőmérő, nyomásmérő beépítése, a térfogatáram és a hőfoklépcső beállítására pedig a berendezés után fojtó-szabályozó szelep beépítése indokolt. A 6 méter talajvíz mélységig a hőszivattyú mellé telepíthető speciális önfelszívó szivattyú, a 6 méternél mélyebben lévő talajvíz esetén pedig a nyerőkútban elhelyezett búvárszivattyú alkalmazása javasolt. A 18. ábra egy talajvíz hőjét hasznosító hőszivattyús rendszer nyerő-, és nyelő kútjának kialakítását mutatja.



18. ábra Nyerő-, és nyelő kút kialakítása

A víz-víz hőszivattyúk fűtési rendszerhez való csatlakoztatása célszerűen puffer-tárolón keresztül történik. A fűtőgépek ki-be kapcsolásos üzem módja indokolja a hőtárolást biztosító puffer-tartály rendszerbe építését, mert így a fűtés folyamatos üzemű. A hőszivattyú külső hőmérsékletnek megfelelő fűtővizet állít elő a puffer-tárolóban. A helyiségek hőleadói a fűtővizet a tárolóból kapják, melyet a szivattyú keringtet a fűtési körben. A talajvíz hőmérséklete évszaktól függetlenül közel állandó, ezért egész fűtési idényben, kiegészítő fűtés alkalmazása nélkül képes biztosítani a hőveszteség pótlásához, illetve a használati melegvíz előállításához szükséges fűtőteljesítményt. A komplett fűtési rendszer szabályozását a hőszivattyú szabályozója biztosítja. A víz-víz hőszivattyúkat nem csak fűtésre, hanem hidegvíz készítésre is használhatjuk.

3. Levegő-víz hőszivattyú (levegő mint hőforrás)

A levegő-víz hőszivattyús rendszereknél a külső környezeti levegőt használjuk fel hőforrásként. A hőszivattyú elhelyezhető a külső térben (pl. udvar), vagy a belső térben (pl. pince) természetesen a megfelelő levegő-hozzávezetéssel.



19. ábra Levegő-víz hőszivattyú

Az 19. ábrán látható a hőszivattyú, kompakt felépítésű fűtőgép. Korrozóálló, beégetett zománचेvonattal, valamint hő és hangszigeteléssel ellátott külső burkolattal rendelkezik. A berendezés magában foglalja a levegő mozgatását végző ventilátort, a hőcserélőket (elpárologtató, kondenzátor), a Scroll kompresszort, és a digitális hőszivattyú vezérlést. A teljes fűtési rendszer szabályozásához kiegészítő szabályozók felszerelése szükséges.

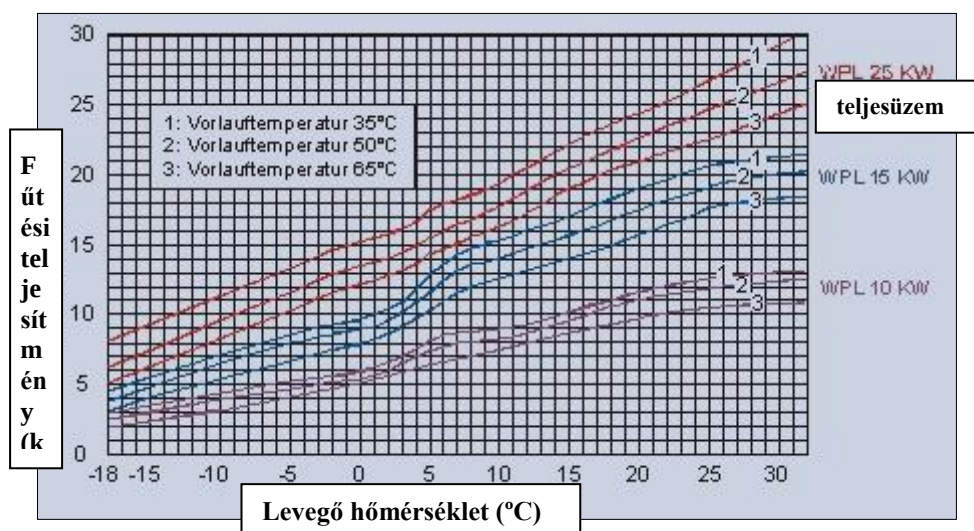
A levegő-víz hőszivattyú előnyei

A levegő korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll, a hőforrás oldal kialakításának „elmaradása” miatt kedvezőek a beruházási költségek, könnyen telepíthető, akár kültérben, akár belső térben.

A levegő-víz hőszivattyú hátrányai

Mivel a levegő fajhője, és sűrűsége kicsi ezért adott fűtési teljesítmény elérése érdekében nagyobb térfogatmennyiségeket kell megmozgatni, ebből adódóan a levegős hőszivattyúk mérete, és zajhatása is nagyobb. Nagy a hőmérsékletkülönbség a hőforrásoldal és a fűtővíz között, ezért a berendezés jószágfoka is kedvezőtlenebb. A berendezések -18 °C -ig üzemelnek, maximum 65 °C -os előremenő vízhőmérséklet mellett.

A fenti előnyök és hátrányok figyelembevétele mellett érdemes levegő-víz hőszivattyúkat alkalmazni fűtési rendszerekben, mivel hazánkban a leghidegebb méretezési hőmérséklet -15 °C , azaz az épület hőveszteségét erre a külső hőmérsékletre határozzák meg. Statisztikai adatokat megnézve, 1 évben 705 órán (4 héten) keresztül van -3 °C alatt a külső hőmérséklet, eddig a hőmérséklet határig kedvező üzemeltetési költségek mellett lehet ezt a típusú hőszivattyút alkalmazni, négy hétig pedig valamilyen kiegészítő fűtést (elektromos patron, gázkazán, vegyes tüzelésű kazán) kell alkalmazni. A 20. ábra diagramja szemlélteti a külső hőmérséklet függvényében a levegős hőszivattyúkkal elérhető fűtési teljesítményt.



20. ábra Elérhető fűtési teljesítmény

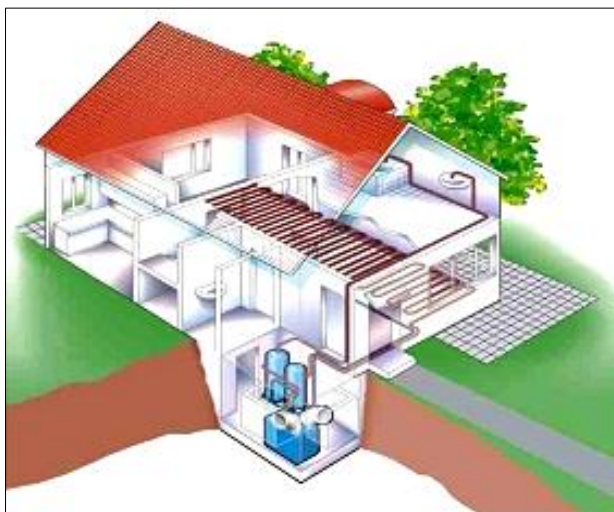
A levegő-víz hőszivattyúkat elhelyezhetjük külső, vagy belső térben egyaránt, hogy melyik megoldást választjuk, ahhoz több szempontot kell figyelembe venni. Beltéri telepítés lehetséges-e, a berendezés elhelyezéséhez megfelelő helyigény szüksége, a zajhatás (a saját, illetve szomszéd házakra), hideg levegő kifűjásának hatása, külső csővezeték hossza, és elhelyezési lehetőségei (hőszivattyú és puffer-tároló között), környező növények hatása (apró termések, levelek stb.) az apróbordás hőcserélőre (21. ábra).



21. ábra Levegő-víz hőszivattyú kültéri elhelyezése

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

A belső térben elhelyezett hőszivattyúk a kültéri zajhatás és a fagyveszély szempontjából kedvezőbbek, azonban helyigényük miatt az épület más célokra használható alapterületét csökkentik. A hőszivattyú elhelyezéséhez megfelelő alapozást kell készíteni. A hőszivattyú közvetlenül lakószoba mellé nem telepíthető. Az üzemközben keletkező kondenzátum elvezetését biztosítani kell. A berendezés levegő hozzá-, illetve elvezetéséről gondoskodni kell úgy, hogy rövidzár ne alakulhasson ki. A rezgéscsillapítás flexibilis gépcsatlakozásokkal oldható meg. A zajhatások csökkentése érdekében szükség szerint a falakat hang gátló burkolattal kell ellátni. A hőszivattyút nyílt égésterű gázkészüléket is magában foglaló helyiségben elhelyezni nem ajánlatos (22. ábra).



22. ábra Levegő-víz hőszivattyú beltéri elhelyezése

(forrás: <http://www.solartrade.hu/hoszivattyu/geotermikus-hoszivattyu/>)

3. VERESEGYHÁZI TERMÁLVÍZ ÜZEMŰ KÖZMŰ BEMUTATÁSA

Dolgozatunk során eddig a geotermikus energia hőszivattyúval történő hasznosításával foglalkoztunk, a következőkben a termálvízzel történő geotermikus energiahasznosítást mutatjuk be. A projekt célja kis emissziójú, geotermikus energiát szolgáltató közmű létesítése volt termelő, és visszasajtoló termálkutak fúrásával. A dolgozat tárgyát képező, fenntartható fejlődést megvalósító, energetikai, és egyéb célokra hasznosított beruházás neve „geotermikus közmű kiterjesztése új termálkút fúrásával”. A közmű kiterjesztésénél döntő szerepet játszott, hogy Veresegyház lakossága gyors ütemben nő, ezért a közintézmények hálózata pedig bővítésre szorul, főleg az oktatási, és közigazgatási intézmények. A város döntéshozói könnyen meggyőzték a geotermikus energiafelhasználás másfél évtizedes kedvező tapasztalatai, hogy ne hagyják figyelmen kívül a helyi megújuló energiaforrások alkalmazását. A közeljövőben csatlakozó fogyasztók ellátása megvalósíthatatlan új kút fúrása nélkül. Azonban új kút fúrásával megkétszereződik a rendszer teljesítménye, a fennmaradó kapacitásra jelentkeztek a településen megtelepedett üzemek, nagyfogyasztók. Miután megvalósult a tervezett fejlesztés nem áll le a fokozott megújuló energia felhasználást, hanem épp ellenkezőleg, újabb, és újabb lehetőségeket nyújt a településnek ezen a téren.

3.1. Veresegyházi geotermikus energia hasznosítása

A geotermális energiát sokféleképpen lehet hasznosítani: belső terek fűtésére, használati melegvíz-szolgáltatásra, termálfürdőkben, ipari célokra és a mezőgazdaságban. A termálvíz fűtési és melegvíz-szolgáltatási hasznosítása az energiaárak rohamos emelkedésével egyre jobban kezd elterjedni. Termálvízzel nemcsak közösségi, iroda- és egyedi lakóépületek, kórházak, raktárak, műhelyek stb. fűthetők, hanem egész háztömbök is. Erre Budapesten és az ország más városaiban már az 50-es, 60-as évektől van néhány példa. Azonban Veresegyházon az országban egyedülálló és példaértékű geotermális energia felhasználással találkoztunk munkánk során, amelyet a következő fejezetben részletesen tárgyalunk.

3.1.1. „Veresegyházi geotermikus közmű kiterjesztése új termelőkút fúrásával”

Egy már korábban megvalósult projekt 4. ütemébe nyertünk, melyet kutató munkánk során megvizsgáltunk, szemrevételeztük a helyszíneket, az ott tapasztaltakat pedig dokumentáltuk. A következő fejezetben bemutatjuk a veresegyházi termelő és a visszasajtoló kutak működését, és a város geotermikus energiafelhasználást.

Veresegyház Város Önkormányzata termálkutat üzemeltet, amelynek vizét termálmedence töltéséhez és létesítmények fűtésére hasznosítják úgy, hogy a fűtésből lekerült termálvizet vezetik a medencébe. Az Önkormányzat elhatározta, hogy a meglévő kút hozamának növelésével, új energetikai fogyasztók bekapcsolásával és visszasajtoló kút létesítésével geotermikus közművet épít ki. Veresegyházon, és a csak energetikai célból hasznosított termálvizet visszasajtolja a hévíz-tároló rétegbe.

A beruházás célja a geotermikus energiát szolgáltató, körgyűrűs közmű létrehozása, megújuló, légszennyezést csökkentő energiával, a fenntartható fejlődést biztosító, az energetikai célra hasznosított termálvíz besajtolását lehetővé tevő technológia alkalmazásával. A településfejlesztési célok megállapításánál előtérbe helyezték a település hosszú távú érdekeit, az adottságok hasznosítása során elsőbbséget kell, hogy kapjanak a táj terhelhetőségének megfelelő, az erőforrásokkal fenntartható módon gazdálkodó módszerek. Valamint, hogy „a beruházás egy új munkahelyet teremtsen és kettőt tart meg”.



23. ábra A térség közelítő hidrogeológiai modellje

A terület geológia adottságai alkalmasak voltak geotermikus közmű létesítésére, a 23.-as ábrán látható a térség hidrogeológiai modellje. Az első 35 m-es szakasz törmelékes üledékes kőzet, melynek jellemzője a nagy szivárgási tényező. Az utána következő nagyobb 1300 m-es rétegsor, agyagos, agyagmárgás, homokkőves talajok, kis szivárgási tényezőjű vízzáró rétegek. Ezután a két vízáradó réteg következik, melyek összesen körülbelül 400 m-es vastagságban fordulnak elő. A feljebb helyezkedő egy gyengén repedezett mészkőréteg, ezt követi egy erősen repedezett mészkőréteg, mindkét rétegnek jellemzője, a nagy porozitás és a nagy szivárgási tényező, sűrűsége is jóval kisebb az előzőekénél. A kutak talpa, a két mészkőrétegben van. A víztározó réteg utánpótlási területe a Duna balparti térségében található, ez azt jelenti, hogy összefügg a Dunántúli Középhegységgel.

3.1.2. „A térség vízföldtani adatai”

- **1. réteg 0-15 m között Iszapos homok, iszapos agyag, homok**
A térség sekélymélységű kútjainak helyet adó réteg, Kevés finom szemcsés homokot tartalmaz, néhol kavicsos homokot. Homoktartalma 30% körüli. Talajvíztakaró réteg.
- **2. réteg 15 – 35 m között Kavicsos homok, agyag**
47%-os homoktartalmú, 2 m/nap szivárgási tényezőjű Keleti irányba vastagodó összlet.
- **3. réteg 35 – 400 m között agyag, agyagmárga**
Kis, 2%-os homoktartalmú, agyagos, agyagmárga, kevés homokkő betelepüléssel.
- **4. réteg 400 – 900 m között agyag, homokkő, agyagmárga**
Agyagréteg, az előzőhöz hasonlóan kis homoktartalmú. A B-15 számú kút geofizikai szelvénye alapján a homokkő aránya eléri a 20%-ot.
- **5. réteg 900 – 1100 m között agyag, homokkő, agyagmárga**
Az előzővel megegyező tulajdonsággal rendelkező réteg, azonban a homokkő aránya 35%.
- **6. réteg 1100 – 1400 m között agyag, agyagmárga**
Budai Márga, és Tardi Agyag formációk. Jellemzően agyagos képződmények, 5%-s homokkő aránnyal.
- **7. réteg 1400 – 1500 m között erősen repedezett mészkő**
Repedezett mészkőréteg, melynek horizontális szivárgási tényezője 13 m/nap. Ez a legrepedezettebb zóna jellemzője. A teljes szintre vonatkoztatva 1,0 m/nap. A vertikális szivárgási tényező megegyezik a horizontálissal.
- **8. réteg 1500 – 1800 m között gyengén repedezett mészkő**
Repedezett mészkőréteg, melynek felső zónája részt vesz a hévízforgalomban, Repedezettsége a mélység növekedésével csökken. Szivárgási tényezője az összlet egészére vonatkoztatva 0,9 m/nap.

Jelenleg két termelőkút működik Veresegyházon. Ezek a kutak a veresegyházi közintézmények majdnem 100 %-át látják el geotermikus energiával, ami 30 hőközpontot jelent. A csővezetékes hálózat előremenő, szigetelt ágában a szivattyúzott 64 °C-os víz áramlik, a visszamenő szigeteletlen ágon pedig az 50 °C-os víz. A kitermelés frekvenciaváltós búvárszivattyúval történik (a kitermelő cső 3’’-os). A termelő és nyelőkút között 2 km-es távolságnak kell lennie. A vezetékek vagy nagyszilárdságú műanyagokból készülnek (D=63-180 mm, előremenő szigetelt, visszatérő szigeteletlen), illetve nagy nyomásnak kitett helyen rozsdamentes acélból. A kutak nyugalmi vízszintje 70 m. Az 50 °C-os vizet a termálfürdőben hasznosítják, majd az elhasználódott vizet a patakba illetve a Csomádi úti visszasajtoló kútba vezetik, mely kút 2006-ban fúrtak és 2007 óta működik. Ez a kút 1460 m mély. Az itt termelhető víz hőmérséklete szintén 64 °C-os, vízhozama 2000 l/s (ha termeltetik). Mivel a kút talpa repedezett mészkőrétegben van, nem kell szivattyúzást alkalmazni. A jelenlegi térfogatáram 100 m³/h, melynek 2-3-szorosát is képes elnyelni. A geodetikus szintkülönbségből (a kút nyugalmi vízszintje -81 m) származó nyomás még 240 m³/h visszatáplált vízmennyiségnél is nagyobb, mint a termálkút 1000 m mélységében megállapított hozamegyenletéből és a csőszakaszos ellenállásból számított nyomásigény.

Ezért a meglévő kúton keresztül gravitációs nyeletéssel, vagy minimális szivattyúzási munkával visszatáplálható akár a fenti térfogatáramú hasznosított termálvíz. Ez a körülmény új lehetőséget nyitott a geotermikus energia veresegyházi hasznosítása területén.

A Veresegyházon talált termálvízről a vizsgálatok során kiderült, hogy 9000 éves, és egy kiapadhatatlan energiaforrás. A további vizsgálatok alapján ásványvíznek, később gyógyvíznek minősítettek, melyet 2007-től a Misszió Egészségügyi Központban hasznosítanak.

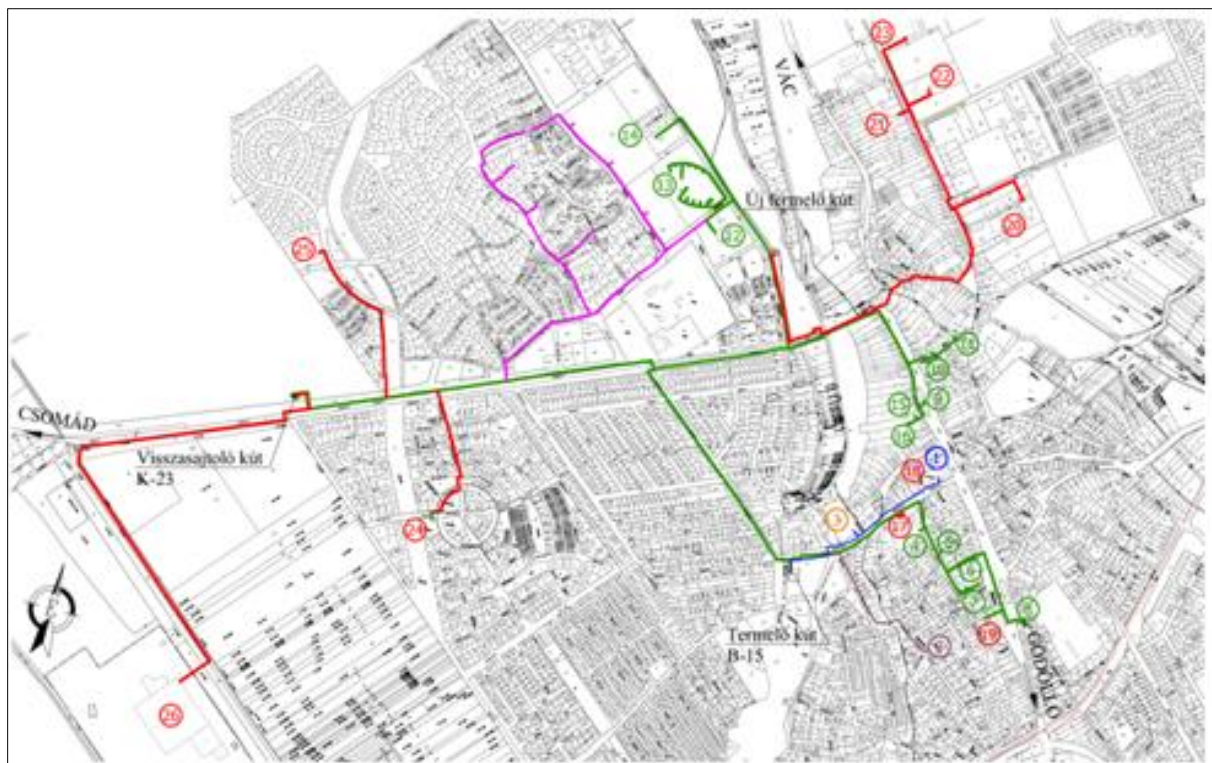
1987-ben fúrták az első termelőkutat Veresegyházon, amely alapja a ma működő termálfürdőnek, illetve a 1993-tól folyamatosan kiépülő energiahasznosító rendszernek. Ez a Szent Erzsébet kút (B12), mely 1420 m mély, vízhozama 1500 l/s és hőmérséklete 64 °C-os.. A vízében sok az oldott CO₂, ami ha nem keveredik levegővel, nem korodálja a csöveket. Elsőként a Fabriczius József Általános Iskolát látták el termálvízfűtéssel, majd 1997-ben a Művelődési Házat és a Zeneiskolát, valamint 2000-2001-ben a Mézesvölgyi Általános Iskolát is. A 2005-ös KIOP (Közép Magyarországi Operatív Program) pályázatot, energiagazdálkodás környezetbarát fejlesztési program keretein belül Veresegyház város megnyerte, így a következő 2 évben egy új kút fúrása történt, mely megvalósította az azóta is működő veresegyházi geotermikus közművet. Ebben az időszakban az akkoriban létezett valamennyi önkormányzati közintézményt geotermikus fűtéssel látták el. A 2007-ben üzembe helyezett geotermikus közmű óta megépült egy új bölcsőde, egy új iskola, egy új szociális otthon, a Fabriczius József Általános Iskola bővítése és építési engedéllyel rendelkezik több közintézmény is.

Ezek hőellátásához a meglévő kutak kapacitása már nem elég és felvetette egy új termelőkút fúrásának szükségességét. Az elkészült geohidrológiai vizsgálatok és az elkészült vízföldtani szakvélemény alapján a 3. termálkút maximális vízhozama növelhető a 2. kúthoz képest. A Misszió Egészségügyi Központtal szemben elhelyezkedő 2011-ben fúrt kút 1200 m mély, a víz hőmérséklete szintén 64 °C, viszont a vízhozama jelentős 2500 l/s-os. A vízben található oldott állapotban lévő metánt egy puffer tartályon keresztül kivonják a vízből majd a levegőbe engedik (24. ábra).



24. ábra

Lehetőség adódott arra, hogy a termálvíz közműhálózatának közelében lévő családi házak rácsatlakozhassanak a geotermikus közmű hálózatra. Ennek a rendszernek a használatával a jelenlegi fölgáz árakhoz viszonyítva a megtérülése körülbelül 10-12 év, a rendszer kiépítése fogyasztónként hozzávetőlegesen 1,5 millió Ft. Egyelőre csak azoknak a családi háznak van lehetőségük rácsatlakozni a rendszerre, melyek a vezeték közelében helyezkednek el (25. ábra).



25. ábra

(forrás: Veresegyház-KMOP pályázat, Szita Gábor prezentációja)

A kedvező körülményeket kihasználva Veresegyház Önkormányzata jelentős szabad kapacitással rendelkezik, ami lehetővé teszi, hogy az egyéb hőközpontok, ipari, mezőgazdasági üzemek is kihasználják ezt a lehetőséget. A 2. táblázatban látható összefoglalva a beruházás kb.-i költségei, az energia megtakarítási adatok a geotermikus rendszer használatával.

2 táblázat

A termál energiaszolgáltatásba kapcsolt fogyasztók legnagyobb fűtési hőteljesítmény igénye	3302 kW
Használati melegvíz készítés átlagos hőteljesítmény igénye	165 kW
A feltárt termálvízzel helyettesíthető földgáz energia	40,8 TJ/év
Beruházási költség	650 000 000 Ft
Működési költség	21 000 000 Ft
Energia megtakarítás	62 847 354 Ft
Beruházás megtérülési ideje	15,79 év
Pénzügyi megtérülés rátája	3,05 %

Vizsgálatok kimutatták, hogy környezetvédelmi szempontból a létesítmény megvalósítása nem jár maradandó környezetkárosítással, üzemeltetése során sem a felszíni, sem a felszín alatti vízkészletet nem szennyezi, a visszatáplálás miatt nem csökken a felszín alatti telepenergia. Ugyanakkor nemzetgazdasági szinten már az üzembe helyezés után, a következő 3. táblázatban látható káros emisszióval csökken a levegő terhelése.

3 táblázat

	üzembe helyezés után	berendezés 25 éves élettartama alatt
CO ₂	2125 t/év	53119 t
SO ₂	214 kg/év	5342 kg/év
NO _x	2838 kg/év	70 959 kg/év

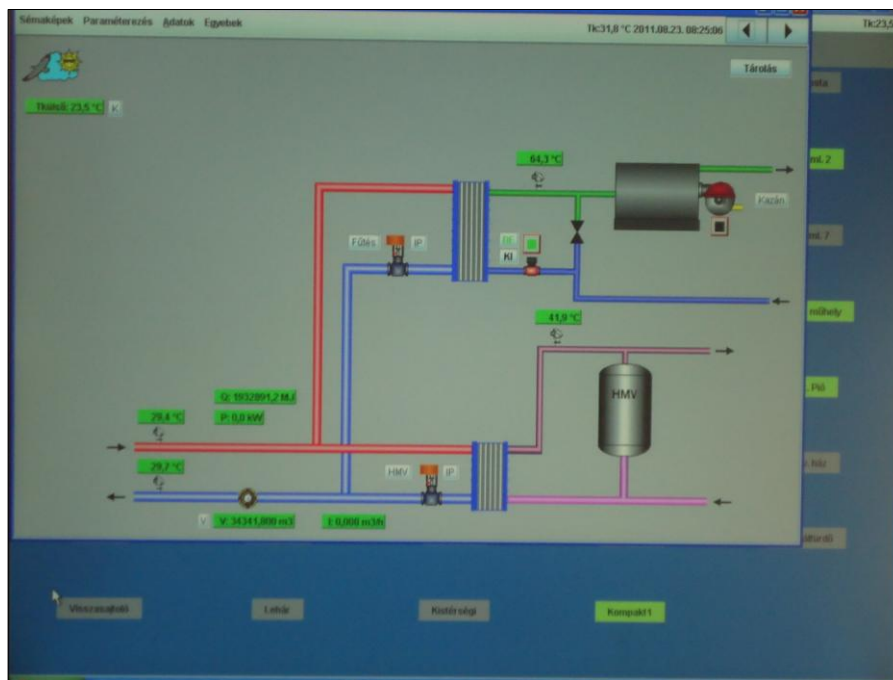
Az energetikai célokra kitermelt termálvíz mennyisége pedig: 265.319 m³/év.

A víz keringetésére frekvenciaváltós szivattyúkat használnak, melyek frekvenciája 30-60 Hertz intervallumon belül mozog (26. ábra). Az összes hőközpont számítógépes vezérlésű, amely elvégzi az ellenőrzés és szabályozás folyamatát (tervezett élettartama 5 év), adatokat gyűjt és tárol. A hőközpontban a PLC-k (Proglammable Logic Controller) tartják a kapcsolatot a központi szerverrel (27. ábra). A drénhálózatnál használatos motoros pillangó szelep az átmérő és vízhozam változtatására szolgál, amellyel az energia mennyisége szabályozható. A számítógép visszajelző és beavatkozó funkciót is ellát, a számítógépek jeleket küldenek a PLC-nek, amelyek a tulajdonképpeni parancsot adják ki a szivattyúknak.



26. ábra Frekvenciaváltó berendezések
(forrás: Veresegyház)

A rendszert a város üzemelteti, amely fenntartja saját magát és még nyereséget is termel. Ez az elektronikai rendszer 10 évre van tervezve. A fenntartási költség csak a hibaelhárítást jelenti.



27. ábra Monitoring rendszer kezelőfelülete
(forrás: Veresegyház)

A szigetetlen csövet direkt a járdák alatt vezetik el, ahol erre lehetőség van, hiszen az 50 °C-os víz télen annyira felmelegíti a talajt, hogy nem engedi, hogy lefagyjon a jég az utakra. Továbbá a termálvizet a Szent Erzsébet kútnál meg lehet venni 830 Ft/m³-es áron. Egyenlőre fő felvásárló a Fóti filmgyár. Az újonnan kialakított medencéhez szállítják a meleg termálvizet a vizes jelenetek forgatásánál. A munka elvégeztével a csatornába engedik.

A megoldandó problémát a településen folyamatosan bővítésre szoruló közintézmények hálózata jelentette. Az új termelőkút megfűrése után a kitermelhető termálvíz legnagyobb térfogatárama nagyobb lesz, mint az előzőé, amit csak kismértékben terhel le a közelmúltban felépített és jövőben megépülő közintézmény. A helyzet tehát olyan, hogy az új kút fűrése nélkül nem lett volna elképzelhető a további fejlesztés, megfűréseával viszont az energiatermelés megkétszereződött. A fennmaradó kútkapacitás kihasználására jelentkeztek a városban lévő nagyüzemek, amelyek közel annyi földgázt tüzelnek el, mint amennyit az összes városi közintézmény igényelne, ha nem részesülne termálvízellátásban.

3.2. Energetikai számítások

A dolgozatunk ezen fejezetében bemutatjuk a veresegyházi közmű kiterjesztése során megvalósult beruházás költséghatékonyságát, energiafelhasználásának alakulását termálvízzel, és földgázzal történő épületfűtés esetén. Megvizsgáltunk, illetve számításokat végeztünk egy általános iskolára vonatkozóan, mely épület fűtési rendszere már termálvíz üzemű.

Az épület energiaszükségletét meghatározó tényezők

- fűtött alapterület;
- nyílászárók hőátbocsájtási tényezője;
- falszerkezet (vastagság, rétegrend, rétegrendi hővezetési tényező);
- födémek;
- aljzatok;
- fűtési napok száma;
- hőmérséklet;
- tájolás;
- hajlásszög;

3.2.1. Az épületfűtés számítása földgáz felhasználása esetén

A fűtött alapterület: 2571 m²

Első lépés a fűtési rendszer nyomásvesztésének meghatározása:

$$p_v = \frac{\Delta p_{100}}{\Delta p_0} \text{ (bar)} \quad (1)$$

ahol:

p_v
 Δp_{100}
 Δp_0

A hőmennyiség meghatározására a következő összefüggést használtuk.

$$Q = A \cdot k \cdot \Delta t \text{ (W)} \quad (2)$$

ahol:

Q hőmennyiség (W)
 A felület nagysága (m²)
 k hőátbocsájtási tényező (W/m²K)
 Δt belső és külső hőmérséklet különbsége (°C)

Az épületszerkezetek vastagságából, a hővezetési tényezőből és a hőátadási tényezőből meghatározzuk a hőátbocsájtási tényező (k) értéket.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{be}} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ki}}} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \quad (3)$$

ahol:

k hőátbocsájtási tényező (W/m²K)

α_{be} hőátadási tényező (W/m²K)

d falvastagság (m)

λ hővezetési tényező (W/mK)

4. táblázat

Típus	Anyag	Vastagság (cm)	λ (W/mK)	k (W/m ² K)
belső fal				2,10
1	mészvakolat	1	0,87	
2	válaszfal	10	0,52	
3	javított mészvakolat	1,5	0,87	
földszinti padló				0,30
1	kavicsfeltöltés	15	0,35	
2	vasbeton	20	1,55	
3	hideg bitumenkenés	0,5		
4	bitumenes vastag lemez	0,4	0,17	
5	EPS 150 hőazigetelő	7	0,04	
6	Austrotherm technológiai	0,009		
7	Austrotherm könnyűbeton	7	0,081	
8	kerámia lap burkolat	1	1,05	
külső ablak				1,60
külső ajtó				1,60
padlásfödém				2,10
1	Beltéri diszperziós festék	0,01		
2	vasbeton	20	1,55	
3	Isover Flamex párafékező	0,1	0,2	
4	Rockwool Deltarock	15	0,033	
pince padló				0,30
1	kavicsfeltöltés	15	0,35	
2	vasbeton	20	1,55	
3	hideg bitumenkenés	0,5		
4	bitumenes vastag lemez	0,4	0,17	
5	NC (EPS) 150 hőszigetelő	7	0,04	
6	Austrotherm technológiai	0,009		

7	Austrotherm könnyűbeton	7	0,081	
8	kerámia lap burkolat	1	1,051	
közbenső födém				1,20
1	burkolat	1	1,05	
2	kavicsbeton	7	1,28	
3	Austrotherm technológiai	0,009		
4	At - 14 expandált polisztirolhab	2	0,045	
5	vasbeton	20	1,55	
6	javított mészvakolat	1	0,87	
tető				0,21
1	Beltéri diszperziós festék			
2	tiszta gipszlapok			
3	Isover Flamex párafékező			
4	Rockwool Deltarock			
5	kiszell. Légr. Szokv. Hő fel			
6	cserépfedés			
pincefal				0,26
1	walkyd festés	0,1		
2	javított mészvakolat	1	0,87	
3	Porothersm pincetégla TM	38	0,0258	
4	Baumit Burkoló Habarcs	1	0,8	
5	extr. Hőszig	5	0,035	
6	2 rtg. Bitumenes vastaglemez	0,4	0,12	
7	hideg bitumenkenés	0,3		
8	vasalt zsalukőfal	20	1,55	
9	kavicsfeltöltés	20	0,35	
külső fal tégalab.				0,39
1	mészvakolat	1	0,81	
2	porotherm 38 N+F TM	38	0,169	
3	Baumit Burkoló Habarcs	1	0,8	
4	kism. Tömör agyagtégla	12	0,72	
külső fal dryvit				0,27
1	mészvakolat	1	0,81	
2	porotherm 38 N+F TM	38	0,169	
3	NC (EPS) 100 hőszigetelő	5	0,04	
4	dryvit dörzsvakolat	0,2	0,99	

Szerkezetek rétegrendje, hővezetési tényező és vastagság feltüntetésével

5. táblázat

	Tájolás	Hajlásszög	k (W/m²K)	A (m²)
tető	ÉK	45°	0,25	74,8
tető	ÉK	függőleges	0,25	206,0
tető	DK	45°	0,25	279,8
tető	DK	függőleges	0,25	50,4
tető	DNY	45°	0,25	221,6
tető	ÉNY	30°	0,25	134,5
tető	ÉNY	45°	0,25	107,8
tető	ÉNY	függőleges	0,25	37,0
földszinti padló		vízszintes	0,3	478,0
külső ablak	ÉK	függőleges	1,6	66,3
külső ablak	DK	függőleges	1,6	121,1
külső ablak	DNY	függőleges	1,6	67,5
külső ablak	ÉNY	függőleges	1,6	114,7
külső ajtó	ÉK	függőleges	1,6	13,7
külső ajtó	DK	függőleges	1,6	2,7
külső ajtó	DNY	függőleges	1,6	15,1
külső ajtó	ÉNY	függőleges	1,6	11,1
padlásfödém		vízszintes	0,25	254,0
pince padló		vízszintes		252,6
pince padló talajon		vízszintes		478,0
pince fal		függőleges		171,3
külső fal	ÉK	függőleges	0,5	206,0
külső fal	DK	függőleges	0,5	301,7
külső fal	DNY	függőleges	0,5	188,0
külső fal	ÉNY	függőleges	0,5	234,2
külső fal dryvit	ÉK	függőleges	0,35	87,5
külső fal dryvit	DK	függőleges	0,35	52,0
külső fal dryvit	DNY	függőleges	0,35	39,2
külső fal dryvit	ÉNY	függőleges	0,35	114,6

Szerkezetek tájolása, hajlásszöge, „k” értékei, és felülete

A fűtési napok számából, ami országunkban 180 körüli évente, (a vizsgálat tárgyát képző iskolában 203) és az épület átlagos belső hőmérsékletéből, ami $t=20,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, illetve a méretezési hőmérsékletből $t_m=-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ kiszámolhatjuk a fűtési igényt. Kiszámítottuk a kívánt hőmérséklet eléréséhez szükséges gáz térfogatmennyiségét. Ehhez a következő összefüggést használtuk.

$$\dot{V}_{gáz} = \frac{Q}{H_A} \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (4)$$

ahol:

$\dot{V}_{gáz}$ gáz térfogatmennyisége (m^3/h)
 Q szükséges hőmennyiség (kW)
 H_A a gázfűtőértéke (kJ/m^3)

Az épületfűtéshez szükséges energián kívül a használati melegvíz (HMV) előállításakor szintén földgázt kell felhasználni. Ezt hozzá kell adni az épületfűtés energiafelhasználásához, és megkapjuk a szükséges gáz térfogatmennyiségét.

A Református Iskola energiaszükséglete látható a 6. táblázatban.

3. táblázat

Szükséges energia					
Épületfűtéshez		HMV előállítás		Összesen	
GJ/év	$m^3/év$	GJ/év	$m^3/év$	GJ/év	$m^3/év$
307	8796	65	1855	372	10651

Az összesített gáz térfogatmennyiségből kiderül, hogy mennyibe kerül az épület fűtésének üzemeltetése évente.

3.2.2. Az épületfűtés számítása geotermikus energia felhasználás esetén

Egyedi mértékű geotermikus energiafelhasználásnál általában a berendezések elektromos áramfogyasztása közvetlenül a fogyasztót terhelik. Jelen esetben a rendszer a fogyasztók számára leoszló kis elektromos áramfelhasználását belekalkulálták a geotermikus energia árába, ami 1566 Ft/GJ. Azért ilyen kicsi, mert a szivattyúházak költségeit több mint 30 fogyasztó termeli ki a víz felhasználásával.

A Q hőmennyiség értékét az előremenő víz hőmérséklet ($65\text{ }^{\circ}\text{C}$), és a visszatérő víz hőmérsékletéből határozzuk ($48\text{ }^{\circ}\text{C}$) meg, a víz fajhőjének ($c=4,19\text{ kJ/kgK}$) segítségével. Fel kell használni továbbá a fűtőcsövek átmérőjét, és ellenállását $\Delta p = 0,22\text{ (bar)}$.

A csőátmérő ismeretében ($d=20\text{ mm}$) meghatározom a térfogatmennyiséget.

$$Q = v \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \left(\frac{l}{s} \right) \quad (5)$$

ahol:

Q térfogatmennyiség (l/s)
 v sebesség (m/s)
 d csőátmérő (mm)

Az épület fűtőkörén „m” tömegű vizet kell átnyomni, hogy 20,7 °C-os átlaghőmérsékletet kapjunk. A használati meleg víz (HMV) számításakor 365 napra számolunk energiafelhasználást. A csőátmérőből ($d=15$ mm), és az ellenállásokból térfogatáramot (Q) kell számolni. Az alábbi összefüggéssel megkapjuk a földhővel előállítandó HMV-hez szükséges hőmennyiséget.

$$Q = c_{Víz} \cdot \Delta t \cdot m \left(\frac{m^3}{év} \right) \quad (6)$$

ahol:

Q	térfogatmennyiség ($m^3/év$)
$c_{Víz}$	víz fajhője (4,19 KJ/kgK)
m	tömeg (kg)

3.2.3. A geotermikus energiával történő épületfűtés és a földgázzal történő épületfűtés összehasonlítása

A szükséges gáztérfogat egyévi üzemeléshez 10.651 $m^3/év$, illetve 372 GJ/év. A 2010-es gázárak mellett, vagyis 2.610 Ft/GJ-os ár mellett 970.000 Ft-ot jelent. A geotermikus energia jelen pillanatban 1.566 Ft/GJ. Ugyanannyi energiát a geotermikus közművel előállítva, és fogyasztva, csak 580.000 Ft-ba kerül.

Nagyon fontos szempont káros anyag emisszió mennyisége, amely gyakorlatilag csak a közmű előállításakor keletkezik. Ehhez hasonló rendszerek esetében, ahol egyéni mértékben alkalmazzák a geotermikus energiát, megjelenik egyfajta energiatakarékos szemléletmód. A fogyasztó saját energiát használ, ezáltal igyekszik odafigyelni szokásaira, és érdekelté válik abban, hogy fűtőrendszere hatékony legyen. Mindez hozzájárul az energiafogyasztás csökkenéséhez.

4. FOGALOMTÁR

Geotermikus gradiens: a felszín alatti hőmérsékletnövekedés mérőszámaként használt mutató, az egységnyi mélységváltozásra jutó hőmérsékletváltozást fejezi ki. Értéke földi átlagban $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. A magyarországi átlagos geotermikus gradiens $5\text{-}7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ között mozog. Amit a Föld felszínétől számítva hőmérséklet-növekedésnek értelmezünk, valójában pontosan fordított folyamat: a Föld belsejéből érkező hő fokozatos csökkenése bolygónk felszíne felé közeledve. Jelenlegi ismeretek szerint a belső hő radioaktív anyagok bomlásából származik.

Földhő fluxusa: hazánk felszínén $0,09\text{ W/m}^2/\text{óra}$, 100 m mélységben eléri a $0,11\text{ W/m}^2$ -ot. 1 km^2 -en 90 MW nyerhető vele, hazánk egész területén 8100 MW , közel annyi, mint a háztartások összes hőigénye.

Munkaszám: a hőszivattyú által leadott energiamennyiség hányszorosa a működtetéshez felhasznált elektromos energiának.

Jóságfok (COP): a hőszivattyú hatásfokát kifejező érték. A hőszivattyú jóságfokának kiszámításakor a kondenzátorból kijövő fűtőteljesítményt (Q) hasonlítjuk össze a kompresszorba bevitt energiával (W).

Egy levegő hűtésére használt hőszivattyú COP értéke 2. Ennek értelmében 2 kW hűtési energiát nyerünk a szivattyú kompresszorának minden egyes kW fogyasztására vetítve. A COP-t mértékegység nélkül jelöljük. Az előállított hőenergiánál és a bevitt energiánál ugyanazt a mértékegységet használjuk a számításoknál pl. $\text{COP } 4 = 1\text{ kWh}$ elektromos energia felhasználásával 4 kWh hőenergiát állítunk elő.

JAZ: Az energiatámogatáshoz szükséges éves teljesítménytényező. Leadott éves hőmennyiség (Q) és éves szinten felvett villamosenergia (E_v) hányadosa.

Reverzibilis hőszivattyú: Megfordítható áramlási irányú hőszivattyú.

Scroll-kompresszor: nincsenek benne munkaszelepek, illetve szívó/nyomószelep. Komprimálás közben az alacsony és a magas nyomású oldal közötti tömítést a centrifugális erő miatt egymásnak feszülő csigakerekek sima felülete és a felületek között lévő olajfilm biztosítja. Semmi egyéb tömítőanyagot nem használnak a csigák között. A kompresszor álló helyzetében nem szorulnak össze a csigakerekek, nincs elválasztva az alacsony és a magas nyomású oldal, tehát a kondenzátorban lévő magas nyomású gőz visszaáramlana az alacsony nyomású oldal felé, nyomáskiegyenlítődéig. Ennek megakadályozására az álló csigába, a gőz kilépő oldalába beépítettek egy egyszerű súlyzáras visszacsapó szelepet. A scroll-kompresszor nem forog, hanem orbitális pályán mozog, közben a két csiga egymásnak feszül.

Expanziós szelep: az expanziós szelep választja el a készülék magas nyomású oldalát az alacsony nyomásútól. A szelep működését három tényező befolyásolja: 1. a hőmérséklet érzékelő, ami az elpárologtató kimenetére van szerelve, 2. a kiegyenlítő, amely az elpárologtató nyomást érzékeli, valamint a rugó, amely egyensúlyba hozza a kiegyenlítő, illetve az érzékelő nyomást.

HMV: két hőcserélős használati melegvíz tárolók, két hőcserélővel szerelt, opcióként elektromos fűtéssel is kiegészíthetők. Álló kivitelű, zártrendszerű készülékek. Felfűtési mód: bármilyen kazánnal, napkollektorral, vizes kandallóval, elektromos fűtőbetétrel történhet. A tároló egyszerre több fűtési módon is fűthető, általában az alsó hőcserélő szolárral, a felső hőcserélő hagyományos fűtési módon. A készülékek egyidejűleg több vízvételi hely ellátására alkalmasak, a belső felületvédelem miatt a tárolt meleg víz, mind tisztálkodási, mind étkezési célra alkalmas. Aktív anódos rendszer megakadályozza a vízkő lerakódását. A belső hőcserélők kialakítása a napkollektoros rendszerek sajátosságához kialakított. Az opciós lehetőségekkel bármilyen hidraulikai megoldásra alkalmasak.

Hőszivattyú munkaközege: A gőz állapotú munkaközeget egy kompresszor összenyomja és keringeti a rendszerben, ennek folyamán felmelegszik a munkaközege, amely ezután egy kondenzátornak hívott hőcserélőben lehűl és lecsapódik. A kondenzátorban hőjét átadja a fűtendő helyiségnek, majd a folyékony halmazállapotú, mérsékelt hőmérsékletű csapadék nyomáscsökkentő berendezésen áramlik át, amely fojtószelep, kapilláris, esetleg hőhasznosító szerkezet, például egy turbina lehet. A nyomáscsökkentő berendezésen átáramló nagyrészt folyékony munkaközege egy másik hőcserélőbe, az elpárologtatóba jut, ahol a hűtőközege elpárolog, miközben hőt vesz fel a környezetből. Ezután a hűtőközege visszajut a kompresszorba és a folyamat megismétlődik.

Kalorifer: Nagyobb helyiségek, csarnokok, raktárak fűtésére szolgáló nagyobb test, amelyet felmelegítenek és rajta keresztül levegőt áramoltatnak. (léghevítő, légfűtéses kályha...)

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Szita Gábor okl. gépészmérnök, Magyar Geotermális Egyesület elnöke - A termálvíz hasznosítási lehetőségei
- [2] Transenergy tanulmány–Szlovénia, Ausztria, Magyarország és Szlovákia határokkal osztott geotermikus erőforrásai
- [3] Veresegyház-KMOP pályázat-Veresegyházi geotermikus közmű kiterjesztése új termelőkút fúrásával
- [4] Reményi Károly: Megújuló energiák, Akadémia Kiadó, 2007
- [5] Megújuló Energia Kézikönyv, Poppy Seed, 2010
- [6] <http://www.geotermikus.com/GEOTERMIKUS-HOSZIVATTYU.html>
- [7] <http://alternativa.ewk.hu/geotermikus-energia>
- [8] http://www.furas.hu/geotermikus_furas_energia.php#
- [9] <http://www.feszekrakok.hu/hu/epitkezes/gepeszet/futes/geo>
- [10] <http://www.hev-sugar.hu/>

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Tisztelettel szeretnénk megköszönni mindazoknak a személyeknek a segítségét, akik nélkül a Tudományos Diákköri dolgozatunk nem születhetett volna meg:

Pásztor Béla - Veresegyház polgármestere

Csikós István – Veresegyhát Fejlesztési Kft. ügyvezetője

Szita Gábor - okleveles gépészmérnök, Magyar Geotermális Egyesület elnöke

Keszeyné Dr. Say Emma - okleveles vízépítő mérnök, a SZIE-YMÉK Közmű- és Mélyépítés Tanszék Geotechnikai Szakcsoport tanára, témavezetőnk

Dr. Molnár Ildikó - okleveles gépészmérnök, SZIE-YMÉK Közmű- és Mélyépítés Tanszék tanára, témavezetőnk