

L. Szabó Gábor

Geotermikus energiával működtetett abszorpciós hűtési rendszerek modellezése

Gábor L. Szabó: Modeling of the absorptive refrigeration systems run by geothermal energy

Summary

The aim of the article is to demonstrate an engineering solution which may promote the exploitation of the potential of renewable energy resources, and may provide cheap energy production for rural industries.

Keywords: renewable energy resources, geothermal energy, absorption cooling systems

ÖSSZEFOGLALÓ

A publikációm témája, a vidékfejlesztéshez kapcsolódik. Céлом felhívni a figyelmet egy olyan gépészeti megoldásra, mely növeli a vidék versenyképességét. A versenyképesség növelésének kérdése összetett, több ágazatot átfogó szemléletet igényel. A cikkben röviden megvizsgálom a rendelkezésre álló primer erőforrásainkat, majd ezekből kiemelem a geotermikus energiát, mint olyat, melyben hazánk nagy lehetőségekkel rendelkezik. Ennek az erőforrásnak van egy gyengéje, ennek a kiküszöbölésére mutatok be egy gépészeti megoldást, mely mindemellett képes az eddigiekhez képest olcsóbb hidegenergiát előállítani.

Kulcsszavak: megújuló energia, geotermikus energia, abszorpciós hűtési rendszerek

BEVEZETÉS

A cikk célja, hogy bemutasson egy olyan gépészeti megoldást, mely elősegítheti, az egyik megújuló energiaforrás nyújtotta lehetőségek kiaknázását, valamint biztosíthatja a vidéki ipar számára az olcsón előállított hidegenergiát.

A vidékfejlesztéséről sokan, sokat írtak, elsősorban pénzügyi és humán megközelítésből. A cikkben ezért igyekszem a kérdést műszaki szemmel megvizsgálni. A kérdés összetett, ezért csak egyes szempontokat emelek ki.

A SZÓBA JÖVŐ ENERGIAFORRÁSOKRÓL

A vidék fejleszthetőségéhez elengedhetetlen az, hogy rendelkezésre álljon nagymennyiségben és olcsón a hideg-, a hő- és a villamos energia. Mindegyiket közvetve állítjuk elő, valamilyen primer energia hordozóból. Ezen primer energiahordozók a nukleáris, a fosszilis, és a megújulók. Vizsgáljuk meg őket részletesebben.

A nukleáris energiahordozók segítségével jelentős és olcsó, elsősorban villamos energiát tudunk előállítani. Paks II. megépülése előrevetíti, hogy a vidék fejlesztéséhez olcsó elektromos áram fog rendelkezésre állni.

Magyarország fosszilis energiahordozó készletei kimerülőben vannak, illetve gazdaságtalan a kitermelésük. Emiatt jelentős importra szorulunk. Mindamelllett nem szabad elfeledkezni arról, hogy alkalmazásuk jelentősen hozzájárul a globális felmelegedéshez. Belőlük hő és villamos energiát tudunk előállítani.

A harmadik primer energiaforrás a megújulók csoportja. Ide több típus tartozik, ezek a nap-, a szél-, a geotermikus energia és a biomassza tüzelő anyagok. Fajtaikról és alkalmazhatóságukról a magyar szakemberek véleménye erősen megoszlik, elsősorban tudományterületeik véleménye alapján. Vizsgáljuk meg őket röviden.

Kezdjük a biomasszával. Ez a típus erősen hasonlít a fosszilis energiahordozókhoz, tekintve hogy elégetése során nyerjük ki a benne rejlő kémiai energiát, így inkább átmenetet képez a két típus között. A különbség a kettő között az, hogy emberi léptékkal mérve újratermelődik. Ebből Magyarország számottevő „készlettel” rendelkezik, elsősorban a vidéki részein. Nagy hátránya viszont, hogy nehezebben tervezhető az előállított mennyiség és főképp annak minősége (pl. a változó szemcseméret a faaprítéknál), valamint gépészeti oldalról komolyabb figyelmet igényel a hasznosító berendezések üzeme. Ezek ellenére ez az egyik erősségünk lehet a jövőben. Elsősorban hő, másodrészt villamos energia előállítására alkalmas.

A földrajzi adottságaink miatt széleenergiában vagyunk a legszegényebbek. Ebből az erőforrásból, egyedül az Alpoknál lehet jelentősebb mennyiséget „kitermelni”. Kizárólag áramtermelésre használjuk.

A harmadik megújuló energiaforrás a napenergia. Hazánk adottságai ebben a tekintetben átlagosnak mondhatók európai szinten. Viszont meg kell jegyezni, hogy a hasznosító gépészeti rendszerek hatásfoka alacsony. Napkollektoroknál 40 [%] körüli, míg napelemeknél csupán 25 [%] az elérhető maximális hatásfok a technikai jelenlegi állása szerint. Ennek ellenére kisebb léptékekben hasznosítjuk mind hő-, mind villamos energia előállítására.

Végül vizsgáljuk meg a geotermikus energiát. Magyarország geotermikus energiában nagyhatalomnak számít, a rendelkezésünkre álló készletekkel Európában csak Izland vetekedhet. Csak míg ott, ezzel az energia fajtával, a vulkánosság kockázata is jár, addig nálunk nincs ilyen probléma. Ennek ellenére nálunk kevésbé használjuk ezt az erőforrást, melynek elsősorban az az oka, hogy a hetvenes évek olajválságára, Magyarország más választ adott.

A geotermikus energia hasznosításánál néhány szempontra ügyelni kell. Először is két fő típusát különböztetjük meg. Kinyerés szempontjából beszélhetünk zárt, illetve nyitott rendszerről. A zárt kinyerés alatt azokat a megoldásokat ért-

jük, mikor csupán a kőzetek hőenergiáját nyerjük ki, és általunk meghatározott hőközvetítő folyadék kering a kisajtoló rendszerben. Ezt a típust jellemzően épület-léptékben használhatjuk hőszivattyús fűtés és használati melegvíz előállításra. A másik fajta hasznosítási mód, a nyitott. Ebben az esetben egy adott talajrétegben található rétegvíz hozzuk fel a felszínre, majd lehűtve sajtoljuk vissza a talajba egy távolabbi ponton. (A visszasajtolás fontos művelet, nélküle a térség hő- és vízgazdálkodása felborulna, így hosszú távon károkat okozna.) Egy hőcsereelővel le kell választani ezt az ásványokban gazdag geotermikus vizet a rendszer többi részéről. Bár rétegvizekben ez a térség gazdag, ennek ellenére jelentős távolságokra lehetnek a kitermelő kutak a felhasználás helyétől. A kitermelés, az elszállítás, és a visszasajtolás nagy méretekben illetve teljesítményeknél válik kifizetődővé. A kitermelő kutaknak van egy igénye még, amit figyelembe kell vennünk. Ez pedig az, hogy egész évben folyamatos működést igényelnek. Ha nincs folyamatos elvétel, akkor a kutakat le kell „fojtani”, ennek hatására, a csúcsigényeknél kisebb vízmennyiséget tudunk kinyerni, ezáltal a kút hatásfoka romlik. Tudnunk kell, hogy a kinyert hőenergiát könnyen át tudjuk alakítani ipari hőenergiává.

A geotermikus energia mérnöki szemmel nézve biztosabb, tartósabb, nagyobb mennyiségű hő kinyerésére alkalmas, mint a biomassza tüzelőanyagok, viszont a beruházási költségek is nagyobbak. Így csak nagyobb teljesítmények esetén válik kifizetődővé. Véleményem szerint a hazánk hőenergia ellátásának ez lehet a jövője, ha meg tudjuk oldani, hogy nyári állapotban ne kelljen a geotermikus kutakat lefojtani. Erre szeretnék egy olyan műszaki megoldást bemutatni, mely egyúttal képes a vidékfejlesztéséhez a meglévő megoldásokhoz viszonyítva olcsóbb hidegenergiát nagy mennyiségben biztosítani.

TÁVHÚTÉS

Elsőnek vizsgáljuk meg, hogy a hidegenergia igényeket hogy elégítik ki. A termelés jellemzően decentralizáltan történik hazánkban, mely jelentős mértékben megdrágítja a költségeket.

Japánban és Nyugat-Európában (főképp Dániában és Németországban) ezzel ellentétben a hidegenergia termelés centralizáltan történik, elsősorban a távhőszolgáltató cégek vezetésével. A centralizált termelés lehetővé teszi olyan gépészeti megoldások alkalmazását, melyek csak nagy teljesítmények esetén válnak kifizetődővé.

A megoldás az úgy nevezett távhűtés. A távhűtő rendszerek esetén a távvezetékben nem fűtővíz, hanem hidegvíz halad. A nyáron felesleges hőenergiát egy úgy nevezett abszorpciós hűtőben használják fel, ez biztosítja a hűtési igények fedezésére szolgáló teljesítmény nagy részét, míg a csúcsgényeket hagyományos hűtőgépek fedezik. Nem véletlen tehát, hogy ezen országokban a távhűtési rendszereket jellemzően a távhőszolgáltatók üzemeltetik.

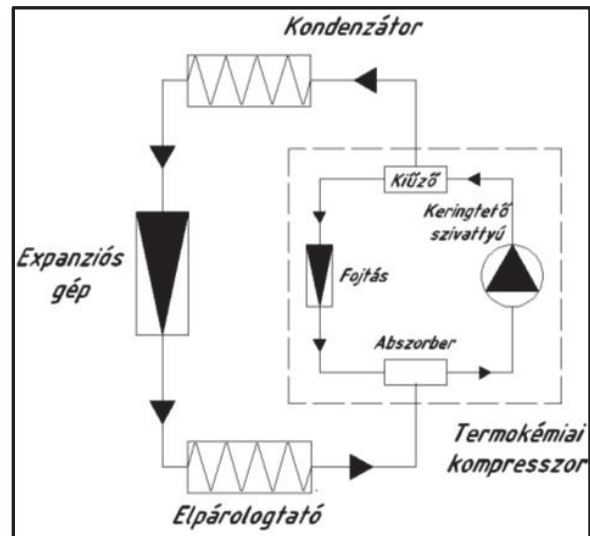
Mivel emiatt a hőtermelői oldalon a téli és nyári állapot közötti igények kiegyenlítődnek, lehetőség lesz a geotermális energia használatára egész évben.

Vizsgáljuk meg részletesebben a távhűtő rendszerek abszorpciós hűtőit.

AZ ABSZORPCIÓS HŰTŐGÉPEK

Az abszorpciós hűtőgépek olyan gépészeti berendezések, melyek rendelkeznek a hűtőgépek négy legfontosabb részegységével, azaz a kompresszorral, az elpárologtatóval, a kondenzátorral és az expanziós szerkezettel. A különbség a hagyományos hűtőgépekkel szemben, hogy itt a kompresszor nem egy mechanikus készülék, hanem egy összetett szerkezet, egy termokémiai berendezés, mely maga is négy részből áll. Ez a négy al-részegység, a kiűző, az abszorber, az oldatkeringető szivattyú és a fojtás. Ez szemlélteti az *1. ábra*:

A gép működését a következőképpen tudjuk leírni. Az elpárologtatóban állítjuk elő a gép működtetésének célját adó hidegenergiát, jellemzően hidegvizet.



1. ábra

Az abszorpciós hűtőgépek elvi kapcsolása

Ezt úgy tudjuk megtenni, ha a hűtőgépbe belépő visszamelegedett „hidegvíz”-től hőenergiát vonunk el az elpárologtató-hőcserélő másik oldalán lévő közeg, az úgy nevezett munkaközeg segítségével. Ez a munkaközeg folyadék halmazállapotú, és alacsony nyomású. A hőelvonás hatására a „hidegvíz” visszahűl felhasználási hőmérsékletre. A munkaközeg pedig az elvont hőenergiát arra fordítja, hogy közel állandó hőmérsékleten fázist váltson, azaz elpárologjon (lehetőleg teljes egészében). Ez az elpárologott munkaközeg a nyomáskülönbség hatására az alacsony nyomású abszorber felé áramlik. Az abszorber valamilyen folyadékalmaz állapotú „szegény oldat”. Ez azt jelenti, hogy az oldatban a munkaközeg mennyisége kevés. A szegény oldat alacsony nyomáson és hőmérsékleten elnyeli az elpárologató felől érkező gázt, ezáltal munkaközegben „gazdag oldattá” válik. Az elnyelődés hatására hőenergia szabadul fel, melynek elvezetéséről gondoskodnunk kell. Ezt a gazdag oldatot fogja az oldatkeringető szivattyú elszívni az abszorberből, és „benyomni” a kiűzőbe, mindeközben a közeg nyomását megnöveli. A kiűző egy olyan gépészeti berendezés, ahol a „gazdag oldat” hőenergia hatására szétválik forró munkaközeg gázra és „szegény oldatra”. A szegény oldat egy egyszerű fojtáson keresztül visszajut az abszorberbe. A munkaközeg gáz pedig ezután tovább-

halad a kondenzátorba, ahol ismét fázist vált, csak most gázból folyadék lesz.

Mindez magas hőmérsékleten és nyomáson megy végbe. A fázisváltási energia elvezetéséről gondoskodnunk kell. Ez a munkaközeg folyadék keresztülhalad egy expanziós gépen, mely a gyakorlati életben általában egy turbina, de gyakrabban egy egyszerű fojtó szerkezet. Ezután a részegység után a munkaközeg folyadék halmazállapotban, alacsony nyomáson és az expanzió hatására alacsony hőmérsékleten jut vissza az elpárologtatóba, ahol a folyamat kezdődik előlről.

Mint látható a gép működtetéséhez elsősorban a kiűzőben bevezetendő hőenergia szükséges, valamint alárendelt helyeken elektromos áram. A kiűző hőenergia igényét képes fedezni a geotermikus távhő. A kérdés csak az, hogy milyen hatásokkal. Ennek meghatározására egy valóságban megépült mintarendszer alapján következtethetünk a legpontosabban. Mielőtt megvizsgálánk egy mintarendszert, nézzük meg, hogy energetikailag, hogy jellemezhetjük ezeket a gépeket.

AZ ABSZORPCIÓS HŰTŐGÉPEK ENERGETIKAI JELLEMZÉSE

A kompresszoros hűtőgépek energetikai jellemzésére az úgy nevezett fajlagos hűtőtéljesítmény szolgál. Ez a szám az időegység alatt az elpárologtatóban elvont hőenergia és a munkaközeggel közölt elektromos teljesítmény aránya. Hasonló szám a szorpciós gépeknél is van, itt a neve hőviszony, és azt fejezi ki, hogy az elpárologtatóban időegység alatt elvont hő hogyan aránylik a kiűzőben időegység alatt bevitt hőenergiával. Szokásos jelölése ζ , és mértékegység nélküli szám. Csakhogy míg ez a jellemző a kompresszoros gépeknél 4 körüli, addig az abszorpciós gépeknél 0,7. Jobb összehasonlíthatóságot tesz lehetővé az a jellemző, mely a fentivel ellentétben valós hatásfoknak tekinthetünk. A kompresszoros hűtőgépeknél a neve jósági fok, a szorpciós gépeknél pedig termokémiai hatásfok. Ennél az értéknél, már közel ugyanakkora értékeket kapunk. Meghatározni úgy tudjuk, hogy a fajlagos hűtőtéljesít-

ményt, illetve hőviszonyt meghatározzuk a valóságos gépre illetve a gép működését elméleti szinten leíró fordított Carnot körfolyamatra, majd vesszük ennek arányát. Az abszorpciós hűtőgépekre az összefüggés a következőképpen fest:

$$\eta = \frac{\zeta}{\zeta_C} \quad (1)$$

Ahol:

- ζ – A valóságos gép hőviszonya
- ζ_C – A fordított Carnot körfolyamatot megvalósító gép hőviszonya
- η – A valóságos gép termokémiai hatásfoka

Az elméleti összefüggésbe behelyettesítve a két hőviszony meghatározására szolgáló összefüggéseket, a következő egyenletet kaptam:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_F} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_A} \quad (2)$$

Ahol:

- \dot{Q}_0 – A készülék pillanatnyi hűtési teljesítménye.
- \dot{Q}_F – A készülék pillanatnyi fűtési teljesítmény igénye.
- T_0 – Az elpárologtatóban lévő munkaközeg hőmérséklete.
- T_1 – A kondenzátorban lévő munkaközeg hőmérséklete.
- T_a – Az abszorberben lévő munkaközeg hőmérséklete.
- T_K – A kiűzőben lévő munkaközeg hőmérséklete.

TÁVHŐ MŰKÖDTETÉSŰ ABSZORPCIÓS HŰTÉSI RENDSZER

Magyarországon a Debreceni Távhőszolgáltató élen jár az ilyen jellegű kutatásokban. A mintarendszerem az egyik első megoldásuk, nevezetesen a Kölcsey Központban elhelyezett, távhővel működtetett abszorpciós hűtőgép volt.

A kiűzőbe 90 [°C]-os, 117 [m³/h] térfogatáramú fűtővíz lépett be, majd ott 70 [°C]-ra hűlt vissza. Ez 2,8 [MW] fűtőtéljesítményt takar.

Ezzel egy 7/12 [°C]-os 350 [m³/h] térfogatára-mú, összesen 2 [MW] teljesítményű hűtési rendszert üzemeltettek.

A mintarendszer tapasztalatainak kiértékelése nyomán szükségesség vált a (2)-es egyenlet pontosítása, oly módon, hogy alkalmas legyen a gyártói adatszolgáltatás során nyerhető adatokat felhasználni.

Az összefüggés a következőképpen alakult át:

$$\eta = \frac{\eta_i \cdot \dot{Q}_N}{\dot{Q}_F} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \cdot \frac{T_K}{T_K - T_A} \quad (3)$$

Ahol:

- \dot{Q}_0 – A készülék hűtési teljesítménye névleges üzemi állapotban
- η_i – A gyártó által megadott hatásfok értékek szorzata. Ezek a hatásfokok a névleges üzemi állapottól való eltérés esetére adják meg a valós hűtési teljesítmény értékeit.

Mint látható, az összefüggésből az abszorpciós hűtőgép hatásfokát sokféle tényező határozza meg.

Az elméleti összefüggés és a mintarendszer tanulmányozása után kidolgozásra került egy szimulációs program, melyet folyamatosan fejlesztettem. Ennek segítségével a valóságos abszorpciós hűtőgépek működését aránylag nagy pontossággal tudom lekövetni.

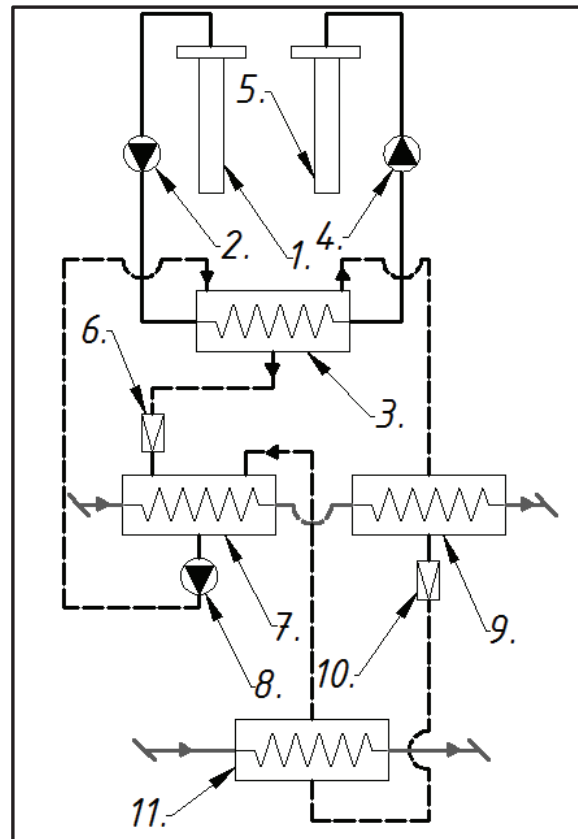
GEOTERMIKUS ENERGIÁVAL MŰKÖDTET ABSZORPCIÓS HŰTŐGÉP HATÁSFOKA

Abban az esetben, ha készülék fűtési energiáját geotermális erőforrásból fedezzük (2. ábra), akkor tervszerűen nem változtathatjuk a tömegáramat, mint ahogy azt cikk elején láthattuk, különben a kút hosszú távon megsínyli. Az ilyen rendszerek szabályozására kizárólag a hőmérsékletek változtatása add lehetőséget.

Az elméleti összefüggés és a szimulációs program azt mutatta, hogy az abszorpciós hűtőgépek hatásfoka függ az előremenő vezetékben érkező közeg hőmérsékletétől.

A függést a 3. ábra mutatja be:

Amint várható volt, a növekvő fűtővíz hőmérséklet növeli a gép hatásfokát, de csak egy bizonyos pontig. A maximum után a hatásfok csökkeni fog. Ez a maximum talán jobban kitűnik a 2. ábráról.

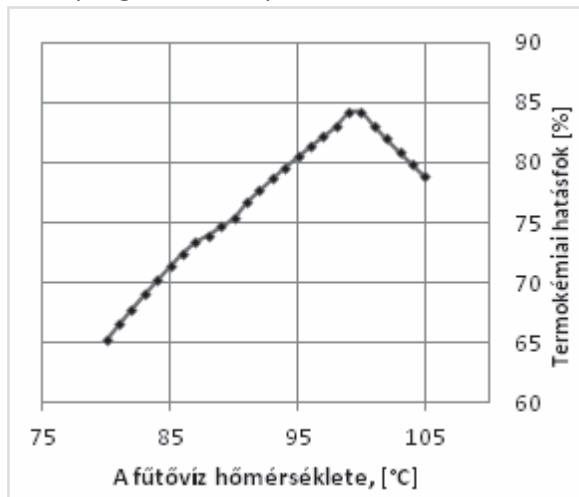


2. ábra Geotermikus energiával működtetett abszorpciós távhűtő rendszer kapcsolása
 1 – Kitermelő kút, 2 – Kitermelő szivattyú,
 3 – Kiűző, 4 – Visszasajtoló szivattyú,
 5 – Visszasajtoló kút, 6 – Fojtás, 7 – Abszorber,
 8 – Oldatkeringető szivattyú, 9 – Kondenzátor,
 10 – Expanziós szerkezet, 11 – Elpárologtató
Folytonos fekete vonal – Geotermikus fűtővíz kör,
Folytonos szürke vonal – Hűtőtorony kör,
Szaggatott fekete vonal – Munkaközeg kör,
Szaggatott szürke vonal – Távhűtővíz kör

A hőforrás hőmérsékletének növekedése egy ideig növekvő hűtőteljesítményt generál, de egy bizonyos határ elérése után a gép nem képes több hidegenergiát előállítani.

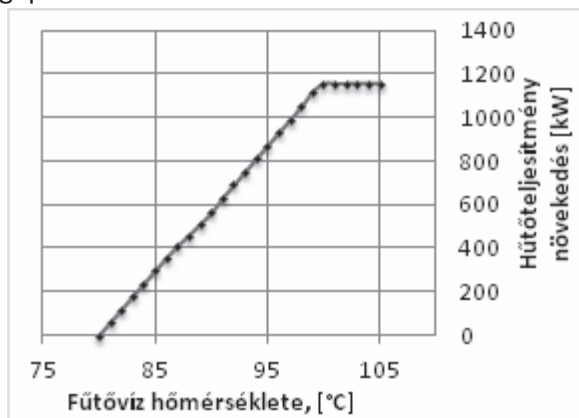
Ez a határ a névleges hűtőkapacitás 111-112 [%]-a környékén mozog, melynek valószínűleg szerkezeti korlátai vannak.

Ez az érték az elméleti összefüggésből nem következik több rendszer (elsősorban külföldi) megvizsgálása nyomán derült ki, és lett a szimulációs programba beépítve.



3. ábra Az abszorpciós hűtőgép termokémiai hatásfokának függése a fűtővíz hőmérsékletétől

A 3. és a 4. ábra, a minta rendszer gépe alapján készült, de a görbék lefutása hasonló a többi gépre is.



4. ábra Az abszorpciós hűtőgép hűtőteljesítmény növekedése a fűtővíz hőmérsékletének függvényében

Az abszorpciós hűtőgépekkel kapcsolatban meg lehet figyelni, hogy jellemzően magas hőmérsékletű fűtőközeget igényelnek. Mivel a jelenlegi geotermikus kutakból nyerhető fűtővíz ennél alacsonyabb, mindenképp szükséges lesz az

előremenő fűtővíz hőmérsékletének megemelésére, (melyet a távhőszolgáltatók képesek megoldani) annak érdekében, hogy ezen gépek megfelelő hatásokkal üzemelhessenek. A jövőben célszerű mélyebbre fúrni, annak érdekében, hogy a Föld mélyéről kellően magas hőmérsékletű folyadékot tudjunk felhozni. A témáról részletesebben az [1] szakirodalom foglalkozik

A TOVÁBBÍTÓ VEZETÉK

Ezt a témát erősen kerülni szokás, mert a magyar távhő rendszereknek ez a legnagyobb gyengéje.

A továbbító vezeték, melyet fűtővíz és hűtővíz továbbítására szeretnék használni jelentős hőszigeteléssel kell ellátni annak érdekében, hogy a hőmérséklet ne változzon benne.

Hűtésre is használt vezetékelnél, speciális szigetelést kell alkalmazni, nevezetesen párazáró hőszigeteléseket, melyek nem károsodnak a nedvesség hatására.

Egy jelenség miatt van erre szükség. A jelenség az, hogy a hideg felületen, ha annak hőmérséklete a környező levegő harmatponti hőmérséklete alá csökken, megindul a nedvesség kicsapódás a hideg felületen. A cél az, hogy ez a nedvesség ne károsíthassa a hőszigetelés anyagát.

A jövőben kiépítendő vezeték hálózatoknál, illetve a felújításoknál célszerű ezt is figyelembe venni.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk célja az volt, hogy egy olyan technológiát mutasson be minél szélesebb körben, mely segítségével képesek lehetünk a hidegenergiát olcsón előállítani nagy mennyiségben, ezáltal növelni a vidék versenyképességét. Természetesen ez nem csak a vidéki területeken, de a nagyobb városokban is sikeresen alkalmazható.

Mindezek mellett ne feledjük el, hogy ez a technológia jelentős beruházási költségekkel rendelkezik, melyet akár uniós, akár kormányzati forrásból lehet csak biztosítani.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] F. Kalmár – G. Szabó Analysis of thermal compressor efficiency in case of geothermal energy sources, BUILDING SERV ENG RES TECHNOL, published online 19 June 2013, pp 1-7, DOI: 10.1177/0143624413484601
- [2.] Szabó G. Geotermális energiával működtetett abszorpciós hűtőgép és hőellátó vezetékének energetikai elemzése a hőforrás hőmérsékletének szempontjából, Magyar Épületgépészet, LX. évfolyam, 2011/9. szám, pp 8-11
- [3.] Szabó, G. A geotermikus hőforrás, az abszorpciós hűtőgépek és a termikus kompresszor hatásfokának kapcsolata, 16th „Building Services, Mechanical and Building Industry Days”, International Conference 14-15 October 2010, ISBN 978-963-473-422-2 pp: 138-147
- [4.] Dr. Láng Lajos – Dr. Jakab Zoltán: Hűtéstechnika; Műszaki könyvkiadó; Budapest; 1984
- [5.] Rechnagel – Sprenger – Schramek: Fűtés- és klímatechnika 2000 II. kötet; Dialóg Campus Kiadó; Budapest-Pécs; 2000