



A HŰTŐKÖZEG TÍPUSÁNAK HATÁSA A HŐSZIVATTYÚK SZERKEZETÉRE ÉS TELJESÍTMÉNYIGÉNYÉRE

INFLUENCE OF COOLING AGENT TYPE ON THE DESIGN AND POWER DEMAND OF HEAT PUMPS

Dósa János,¹ Tomus Ovidiu Bogdan²

¹ Petrozsényi Egyetem, Gép és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék, Petrozsény, Románia. iondosa@upet.ro

² Petrozsényi Egyetem, Gép és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék, Petrozsény, Románia. bogdantomus@upet.ro

Abstract

The paper presents the comparative exergetic analysis of different heat pump designs from an energy consumption point of view. Heat pumps are usually classified according to the environment from which they extract heat in order to help the consumer in choosing a heat pump type, based on the available heat sources. From the construction point of view, a wide variety of heat pumps have appeared as a result of the various heat sources to be considered, and the refrigerants used. Also, due to the desire to improve their operation, various constructive variants have been developed. Considering that all heat pumps use electricity to operate, their energy consumption for producing the same thermal effect should be a criterion for their choice, along with economic aspects.

Keywords: *heat pump, exergy analysis, power demand.*

Összefoglalás

A tanulmány a különböző hőszivattyú-konstrukciók összehasonlító exergetikai elemzését mutatja be energiafogyasztási szempontból. A hőszivattyúkat általában aszerint osztályozzák, hogy milyen környezetből nyerik a hőt, ahhoz, hogy a fogyasztók kiválaszthassák a megfelelő hőszivattyútípust, a rendelkezésre álló hőforrások alapján. Konstruktív szempontból a hőszivattyúk széles választéka jelent meg a kiaknázható hőforrások függvényében, valamint a felhasznált hűtőközegek miatt. Emellett a működésük javítására irányuló törekvés miatt különböző konstruktív változatok kerültek fejlesztésre. Mivel valamennyi hőszivattyú villamos energiával működik, az azonos hőhatás előállításához szükséges energiafogyasztásuk, a gazdasági szempontok mellett, a kiválasztásuk kritériumának kellene lennie.

Kulcsszavak: *hőszivattyú, exergiaelemzés, energiaigény.*

1. Bevezetés

A hőszivattyú egy olyan hőerőgép, mely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki és azt magasabb hőmérsékletű környezetbe leadja. Használatának célja a hőenergiával való gazdálkodás, melynek során hűtési energiát és hulladékhőt fűtésben és melegvíz-készítésben fel lehet használni, illetve környezeti hőt lehet hasznosítani.

A hőszivattyú-technológia viszonylag régi technológia, gyakorlatilag a 70-es évek energiaválsága adott lendületet a kutatásoknak ezen a területen.

Napjainkban az EU és az ENSZ kidolgoztak közös célokat a fenntartható jövőért, és az egyik ilyen cél a megfizethető és tiszta energia. Ennek az irányelvnek a tükrében a hőszivattyú-technológia új reneszánszát éli, egyre több hőszivattyú kerül telepítésre.

A hőszivattyús fűtés az Európai Unió zöld energiaváltásában központi szerepet tölt be, így egyre több cég épít hőszivattyút, ennek eredményeként különböző cégek egyedi tervezési megoldásokat alkalmaznak.

A dolgozat célja, hogy rávilágítson a hőszivattyú működésének különböző aspektusaira exergia és energiafelhasználás szempontjából.

2. A hőszivattyúk osztályozása

A hőszivattyúkat általában aszerint osztályozák, hogy milyen környezetből nyerik ki a hőt, ezzel segítve a fogyasztónak, aki a rendelkezésére álló hőforrás alapján egy bizonyos típusú hőszivattyút választ [1–8].

A legtöbb információforrás szerint a legfontosabb hőszivattyútípusok a következők:

- Geotermikus hőszivattyúk;
- Levegő-víz hőszivattyúk;
- Levegő-levegő hőszivattyúk;
- Víz-víz hőszivattyúk.

Tehát, általában a hőforrás szerint lettek osztályozva, ami érthető mivel a célközönség a felhasználó.

Ugyanakkor a rendszer felépítése szerint is lehet osztályozni:

A hőszivattyúk csoportosítása a rendszer felépítése szerint lehet:

- monovalens rendszer, amely kisegítő fűtés nélkül működik, földhőszondák fűrése, sík kollektor telepítése által valósul meg, termál- és egyéb hulladékhő, talajvíz hőjének felhasználására építik ki;
- bivalens rendszer, amely kisegítő fűtéssel működik, és levegő, felszíni víz hőjének felhasználására építik ki.

Szerkezeti szempontból nagyon sokféle hőszivattyú jelent meg a különféle hőforrások hatására, amelyek kiaknázását mérlegelték, valamint a felhasznált hűtőközegek miatt. Ezenkívül a működésük javításának vágya miatt különféle konstrukciós változatok jelentek meg.

Sokkal jobban szolgálja a jelen dolgozat céljait a hőszivattyúk működési folyamatok és típusok szerinti csoportosítása [9–11]:

A. Gőzkompresziós ciklussal működő hőszivattyúk:

- A.1. Kompresziós hőszivattyúk:
 - Forgódugattyús;
 - Forgókompresszoros;
 - Turbókompresszoros.

A. 2. Abszorpciós hőszivattyúk:

- Indirekt fűtésűek;
- Direkt fűtésűek;

- Adszorpciós hőszivattyúk;
- Reszorpciós hőszivattyúk;
- Ejektor-hőszivattyúk.

B. Gázkompresziós hőszivattyúk:

- Levegős folyamatúak;
- Philips-folyamatúak;
- Vortex-cső;
- Vuilleumier-elvű.

C. Termoelektromos hatással működő

A fent említett hőszivattyútípusok közül elemezni fogunk minden fontosabb osztályból legalább egy típust: gőzkompresziós ciklussal működő, gázciklussal működő és termoelektromos hatással működő hőszivattyút.

3. Hőszivattyúk felépítése és körfolyamatok

3.1. A gőzkompresziós hőszivattyúk

A gőzkompresziós hőszivattyúk talán a legszélesebb körben használt hőszivattyútípusok. Ezek közül az első típusok R12- (ammónia) hűtőközeggel dolgoztak, és ez a hűtőközeg ma is elterjedt nagy hűtőrendszerekben. A hűtőgépiparban általánosan elterjedt a Freon vegyületcsalád, amely a halogénezett szénhidrogének kereskedelmi neve, melyek kiváló tulajdonságokkal rendelkeznek. A freon klórtartalma erősen rombolja az ózonréteget, ezért a CFC-hűtőközegeket újabb, kevésbé környezetszennyező hűtőközegek váltották, a hidrokloro-fluorokarbonok (HCFC).

A vízgőz egy olyan közeg, amely teljesen semleges környezet védelmi szempontból, tehát, a továbbiakban, az ammónia és a vízgőzzel működő gőzkompresziós hőszivattyúkat mutatjuk be.

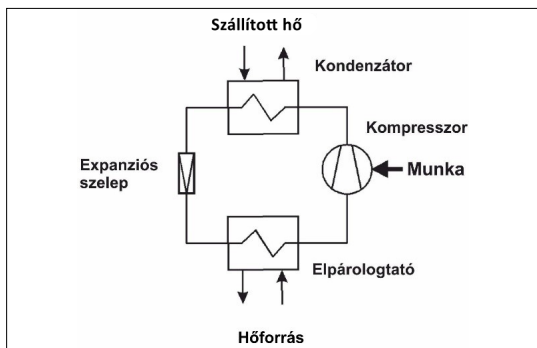
3.1.1. A gőzkompresziós ammónia hűtőközeggel működő hőszivattyú

Az alacsony hőteljesítményű energiaforrások kiaknázására alkalmas hőszivattyúk a gőzkompresziós, víz-víz rendszerűek [10, 11]. Ez a típusú hőszivattyú (1. ábra és 2. ábra) alkalmas arra, hogy 40 °C alatti hőmérsékleten lévő vízből származó hulladékhőt hasznosítson, a használati meleg vizet 50–80 °C-ra felmelegítve.

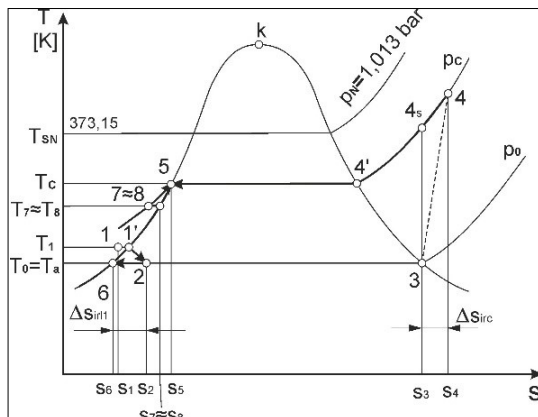
Az ilyen hőszivattyú matematikai modellje ki volt dolgozva a [12] cikk keretén belül, tehát a továbbiakban annak a modellnek az alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit.

3.1.2. A gőzkompresziós vízgőz hűtőközeggel működő hőszivattyú

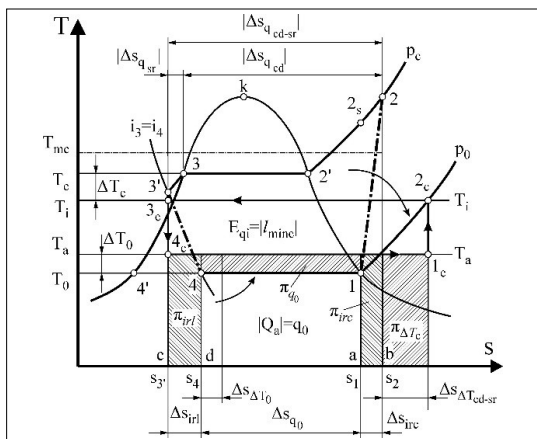
A 3. ábra egy gőzkompresziós vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyút mutat be, míg ennek a körfolyamata 4. ábrán látható.



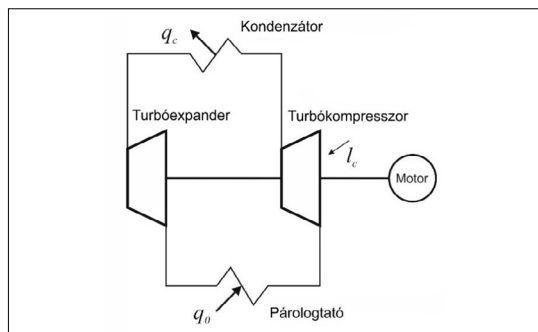
1. ábra. Az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú



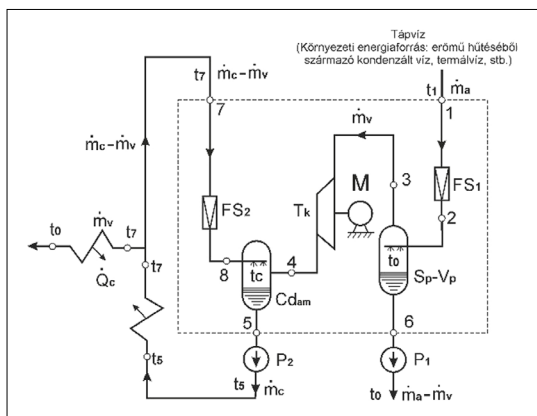
4. ábra. A vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú körfolyamata



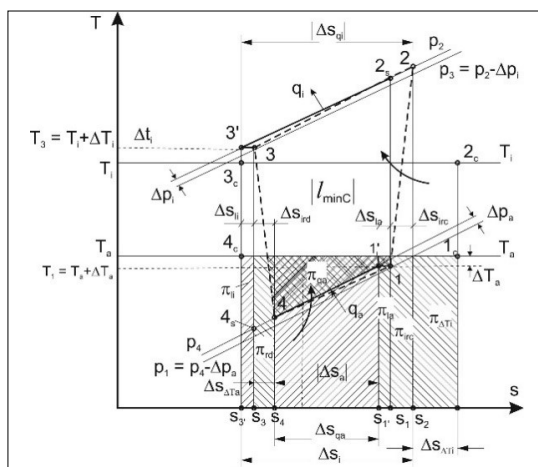
2. ábra. Az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú körfolyamata



5. ábra. Gázkompressziós hőszivattyú



3. ábra. A vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú



6. ábra. Gázkompressziós hőszivattyú körfolyamata

3.2. Gázkompressziós hőszivattyú

A gázkompressziós hőszivattyú alapvető felépítése (5. ábra) hasonló a gőzkompressziós hőszivattyúéhoz, ahogy az 1. ábrán látható, míg a körfolyamata a 6. ábrán látható.

Termodinamikai szempontból a gőzkompressziós hőszivattyú (3. ábra) a gyakorlati alkalmazásra módosított Carnot-körfolyamat szerint működik.

Az expanderben az izentropikus expanziót az expanziós szelepleben egy izentalpikus folyamat

váltja fel, míg a kompresszorban izentropikus kompresszió következik be, ami a T_c hőmérsékleten, a kondenzációs hőmérsékletnél magasabb hőmérsékletet eredményez (4. ábra) [10, 11].

Az gázkompressziós hőszivattyú elméleti körfolyamata (3. ábra) egy Joule-körfolyamat [10, 11], amelyben az expanziót és a kompressziót turbógépek segítségével érik el.

Míg a gőzkompressziós hőszivattyú működését, mivel széles körben elterjedtek, számos cikkben bemutatták, addig a gázkompressziós hőszivattyút nem használják olyan gyakran, ezért ritkább a rávonatkozó szakirodalom.

A gázkompressziós hőszivattyú alapvető jellemzője a kompressziós arány [10, 11]:

$$\beta_c = \frac{p_2}{p_1} \quad (1)$$

ahol p_2 a kimeneti nyomás, p_1 a turbókompresszor bemeneti nyomása, barban.

A hőszivattyúk jellemző paramétere a COP (teljesítménytényező), amely a gázkompressziós hőszivattyúkra a következő képlettel fejezhető ki [10, 11]:

$$\mu_t = \frac{1}{1 - \beta_c^{\frac{1-k}{k}}} \quad (2)$$

ahol k az adiabatikus együttható.

Egy másik paraméter, amely alapján a hőszivattyúk összehasonlíthatók, az alábbi egyenlet segítségével kiszámítható exergiahatékonyság [10, 11]:

$$\eta_E = \frac{|l_{\min C}|}{|l|} \quad (3)$$

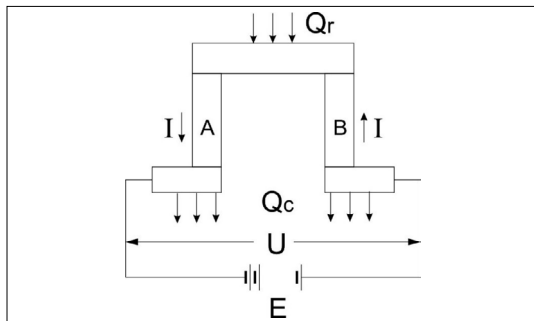
ahol $l_{\min C}$ az ideális Carnot-körfolyamat fajlagos minimális munkája $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, míg l a tényleges körfolyamat fajlagos munkája $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ -ban.

A gázkompressziós hőszivattyú tényleges körfolyamata alapján (6. ábra) [10, 11] számítások végezhetők olyan jellemző paraméterek meghatározásáért, amelyek összehasonlíthatók az elemzett hőszivattyúk megfelelő jellemzőivel.

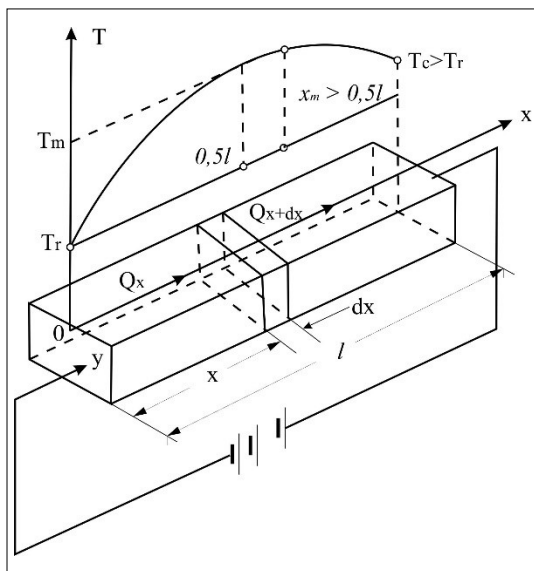
3.3. A termoelektromos hatással működő hőszivattyú

A 7. ábra egy termoelektromos hőszivattyút míg a 8. ábra egy termoelektromos elem vázlatát mutatja be [10, 11].

Ezek az eszközök a termoelektromos jelenségen alapulnak, nevezetesen a Seebeck-, Peltier- és Thomson- effektusok ebbe a kategóriájába tartoznak. Azt a jelenséget, amelyben két különböző elektromos vezető vagy félvezető közötti hőmér-



7. ábra. Termoelektromos hőszivattyú



8. ábra. Termoelektromos elem

séklet-különbség feszültségkülönbséget hoz létre a két anyag között, Seebeck néven ismert. A két vezető vagy félvezető egyikére hőt alkalmazva a felmelegített elektronok a hidegebb felé áramlanak. A Seebeck-effektus fordított jelenségét Peltier-nek nevezik; a két anyagot összekötő csomóponton átfolyó elektromos áram egységnyi idő alatt hőt bocsát ki vagy nyel el a találkozásnál, hogy kiegyenlítse a két anyag kémiai potenciáljának különbségét.

Thomson-effektusnak nevezzük azt a hőfejlesztést vagy -elnyelést, amikor az elektromos áram egyetlen anyagból álló áramkörön halad keresztül, amelynek hossza mentén hőmérséklet-különbség van.

Ez a hőátadás a vezetőkben lévő áramokkal szembeni elektromos ellenállással összefüggő közös hőtermelésre épül. Megjegyzendő, hogy a

Thomson- és Peltier-effektusok reverzibilis folyamatokra utalnak. A termoelektromos rendszerek tervezésénél általában figyelmen kívül hagyják a Thomson-effektus hatását.

A termoelektromos hőszivattyú matematikai modellje alapvetően különbözik a fent bemutatott hőszivattyúk modelljeitől, ezért a továbbiakban bővebben mutatjuk be.

A termoelektromos hőszivattyú esetében, a **8. ábrán** látható termoelektromos elem vázlatos rajza alapján, az elem hidegpontján átmenő hőáramlat a következő egyenlet segítségével számítható ki [10]:

$$Q_r = \alpha \cdot I \cdot T_r - 0.5 \cdot R \cdot I^2 - \Lambda \cdot \Delta T, \text{ (W)} \quad (4)$$

ahol:

α a teljes Seebeck-együttható $V \cdot K^{-1}$ -ben;

R a teljes elektromos ellenállás Ω -ban;

Λ a termoelektromos elem teljes vezetőképessége $W \cdot K^{-1}$ -ben.

Ezen elemek kiszámítására szolgáló egyenletek a következők:

$$\alpha = |\alpha_A| + |\alpha_B|, \text{ (V/K)} \quad (5)$$

ahol $\alpha_{A,B}$ – a termoelektromos elem A és B komponensének Seebeck-együtthatója $V \cdot K^{-1}$ -ben.

$$R = \rho_A \cdot \frac{l_A}{A_A} + \rho_B \cdot \frac{l_B}{A_B}, \text{ (}\Omega\text{)} \quad (6)$$

ahol:

ρ_A, ρ_B – a termoelektromos elem A és B komponensének ellenállása $\Omega \cdot m$ -ben;

l_A, l_B – a termoelektromos elem A és B komponensének hossza m -ben;

A_A, A_B – a termoelektromos elem A és B komponensének felülete, m^2 -ben.

Végül:

$$\Lambda = \lambda_A \cdot \frac{A_A}{l_A} + \lambda_B \cdot \frac{A_B}{l_B}, \text{ (W/K)} \quad (7)$$

ahol λ_A, λ_B – a termoelektromos elem A és B komponensének hővezetési tényezője $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ -ben.

A termoelektromos rendszer hőtani jellemzőinek megállapításához ki kell számítani a termoelektromos elem melegpontján kilépő hőt, kezdve az energiamérleg egyenletével [10]:

$$Q_c = Q_r + P_i, \text{ W} \quad (8)$$

ahol: P_i – a működéshez szükséges elektromos teljesítmény, W -ban, Q_r – az elem hidegpontján áthaladó hőáramlat W -ban.

A rendszer maximális hűtési hatékonysága:

$$\varepsilon_{fmax} = \frac{Q_r}{P_i} \quad (9)$$

A hőszivattyú maximális hatásfoka, más néven teljesítménytényező (COP):

$$\mu_{max} = \frac{Q_c}{P_i} \quad (10)$$

A hűtés exergetikai hatásfoka:

$$\eta_{Ef} = \frac{m - \frac{T_c}{T_r}}{m + 1} \quad (11)$$

Amelyben m egy paraméter, amely kiszámítható:

$$m = \sqrt{1 + Z \cdot \frac{T_c + T_r}{2}}, \quad (12)$$

ahol Z a termoelektromos elem hatásfoka, amelyet a következő egyenlettel lehet kiszámolni:

$$Z = \frac{\alpha^2}{\Phi_{min}}, \quad (13)$$

míg a Φ_{min} értéket az egyenlet adja meg:

$$\Phi_{min} = (\sqrt{\lambda_A \cdot \rho_A} + \sqrt{\lambda_B \cdot \rho_B})^2. \quad (14)$$

A termoelektromos hőszivattyú exergia-hatásfoka a következőképpen számítható ki:

$$\eta_{Et} = \frac{m - \frac{T_r}{T_c}}{m + 1} \quad (15)$$

4. A hőszivattyúk hőtani jellemzői

A hőszivattyús fűtés az Európai Unió zöld energiaváltásában központi szerepet tölt be, ezért leginkább háztartásokban vannak elterjedve, fűtésre, illetve meleg víz előállítására használják. Alacsony hőteljesítményű energiaforrások kiaknázására alkalmas hőszivattyúk a gőzkompresziós, víz-víz rendszerűek [10, 11]. Ez a típusú hőszivattyú alkalmas arra, hogy 40 °C alatti hőmérsékleten lévő vízből származó hulladékhőt hasznosítson, a használati meleg vizet 50–80 °C-ra felmelegítve.

A fent bemutatott hőszivattyúk ahhoz, hogy működjenek, elektromos áramot használnak. A kompresszort (**1. ábra**), illetve a turbókompresszort (**3. ábra**, **5. ábra**) elektromos motor hajtja, míg a termoelektromos hőszivattyú, ahogy a neve is mutatja, árammal működik, ezért alapvetően különbözik a többi hőszivattyútól.

Amint a **2.**, **4.** és **6. ábrákon** látható, a hőszivattyúk körfolyamata termodinamikai megvalósítása (gőzkompresziós, gázkompressziós stb.), valamint az alkalmazott hűtőközeg típusa erősen befolyásolja az alkalmazott konstruktív megoldásokat. A hőszivattyúk felépítése nagyon változatos,

ha pedig többlépcsős megoldásokat elemeznénk, akkor a konstruktív megoldások még változatosabbak lesznek, és felsorolásuk is sok időt venne igényben.

A hőszivattyúk hőtani jellemzői a következő kezdeti adatok használatával lesznek kiszámolva: a szükséges hőszállítás Q_p , amely fedezi egy háztartás igényét. $Q_i = 28 \text{ kW}$; $T_i = 65 \text{ °C}$ – a használati meleg víz hőmérséklete; T_a – környezeti hőmérséklet (hőforrás). A hőforrás hőmérsékletét annak függvényében állapítottuk meg, hogy a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú nem üzemeltethető a hőforrás alacsonyabb hőmérséklete mellett, tehát $T_a = 30, 35, 40 \text{ °C}$.

A gőzkompresziós hőszivattyú esetében még szükséges pár adat: $\Delta T_c = 5 \text{ °C}$ – a kondenzátor hőátadásához szükséges hőmérséklet/különbség (hőszállítás); $\Delta T_0 = 5 \text{ °C}$ – a párologtató hőátadásához szükséges hőmérsékleti különbség; $T_{sr} = 10 \text{ °C}$ – alul hűtéshez szükséges hőmérsékleti különbség; az alkalmazott hűtőközeg, R717 (ammónia).

A gőzkompresziós, R717- (ammónia) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében az eredmények az **1. táblázat**ban találhatók, míg a víz-hűtőközeggel működő hőszivattyú eredményei a **2. táblázat**ban találhatók. A gőzkompresziós hőszivattyú esetében is a kondenzátor hőátadásához szükséges hőmérséklet-különbség (hőszállítás) és a párologtató hőátadásához szükséges hőmérséklet-különbség $\Delta T_c = \Delta T_0 = 5 \text{ °C}$.

A gőzkompresziós hőszivattyú számításai alapján nyert eredmények a **3. táblázat**ban találhatók.

A termoelektromos hőszivattyú hőtani jellemzői azonos hőforrás-hőmérsékletek, hőmérsék-

1. táblázat. Az ammónia/hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

Hőtani jellemző	Érték		
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	35
Tényleges teljesítmény, P_e [kW]	5,24	4,54	4,54
A hő formájában felvett fajlagos belső energia, q_0 [kJ·kg ⁻¹]	996,29	999,80	999,80
Leadott fajlagos hőmennyiség, q_c [kJ·kg ⁻¹]	1198,23	1170,64	1170,64
Ideális COP μ_c	9,66	11,27	11,27
Elméleti COP μ	5,93	6,85	6,85
Tényleges COP μ_e	5,34	6,17	6,17
Exergia-hatásfok, η_E [%]	61,41	60,79	60,79

let-emelkedések és 28 kW szükséges hőleadás figyelembevételével lettek kiszámítva.

Ezenkívül ki kell választani azokat a félévezető anyagokat, amelyeket a termoelektromos elemek felépítéséhez használtak, jelen esetben a tellúrt (A) és a bizmutot (B).

2. táblázat. A vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

Hőtani jellemző	Érték		
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
Minimális teljesítmény, P_{min} [kW]	3,02	2,84	2,65
Kompreszor teljesítménye, P_c [kW]	4,86	4,86	4,86
Szivattyú teljesítménye, P_p [kW]	0,11	0,06	0,04
Végösszeg P_{tot} [kW]	7,99	7,76	7,55
Exergiavesztesség a kompresziós folyamat irreverzibilis jellege miatt, π_{irc} [%]	15,82	15,82	15,82
Exergiavesztesség a fojtószelepen, π_{irt} [%]	3,97	7,83	11,60
Exergiavesztesség a kondenzátorban történő hőátvitel irreverzibilitása miatt, $\pi_{\Delta T_c}$ [%]	18,02	18,02	18,02
Maximális COP μ_{max}	9,26	9,87	10,56
Tényleges COP μ_e	5,07	5,13	5,15
Exergia-hatásfok η_E [%]	62,20	58,33	54,56

3. táblázat. A gőzkompresziós hőszivattyú hőtani jellemzői

Hőtani jellemző	Érték		
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
Elektromos teljesítmény, P_e [kW]	18,99	18,47	18,06
A tényleges körfolyamat működéséhez szükséges fajlagos munka, l_e [kJ·kg ⁻¹]	87,53	90,58	93,62
Párologtatóban felvett fajlagos hő, q_a [kJ·kg ⁻¹]	44,99	50,01	55,04
A kondenzátorban leadott fajlagos hő, q_i [kJ·kg ⁻¹]	129,02	136,97	144,91
Az ideális Carnot-körfolyamat fajlagos munkája, l_{minC} [kJ·kg ⁻¹]	13,36	12,16	10,72
Ideális COP μ_c	9,657	11,27	13,52
Elméleti COP μ	1,54	1,58	1,61
Tényleges COP μ_e	1,47	1,51	1,55
Exergia-hatásfok η_E [%]	15,90	13,98	11,93

Az anyagok fizikai jellemzői a bizmut esetében: átmérő $d=7$ mm, hossza $l=3,2$ mm, a Seebeck együtthatója $\alpha=-0,21\cdot10^{-3}$ V·K⁻¹, elektromos vezetőképesség $\rho=10^{-5}$ Ω·m; hővezető-képesség $\lambda=1,45$ W·m⁻¹·K⁻¹. A tellúr fizikai jellemzői pedig: hossza $l=3,2$ mm, a Seebeck együtthatója $\alpha=0,23\cdot10^{-3}$ V·K⁻¹, elektromos vezetőképessége $\rho=10^{-5}$ Ω·m; hővezető-képesség $\lambda=1,45$ W·m⁻¹·K⁻¹, míg az átmérőt számítások alapján határozzuk meg. A termoelektromos hőszivattyú esetében az eredmények a **4. táblázatban** vannak feltüntetve.

5. Összegzés

A fent bemutatott adatok alapján az alábbi következtetéseket lehet levonni: a szakirodalomban feltüntetett értékekkel összhangban, a hőszivattyúk hőtani jellemzőinek a hőforrás hőmérsékletétől függő változása a következő:

- a tényleges teljesítménytényező, (COP) μ_e növekedik a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével;
- az exergia-hatásfok, η_E csökken a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével;
- a működtetéshez szükséges elektromos teljesítmény, P_e a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével csökken.

Az exergia-hatásfok, η_E csökkenése a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével, a termoelektromos hőszivattyú esetében 1,1%-kal, a gázkompressziós hőszivattyú esetében 3,97%-kal, a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 7,64%-kal, míg a gőzkompressziós ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 2,16%-kal.

Ahhoz, hogy összehasonlíthassuk a különböző típusú hőszivattyúkat a villamosenergia-fogyasztás függvényében, egy megfelelő összehasonlítási alapot kell találni.

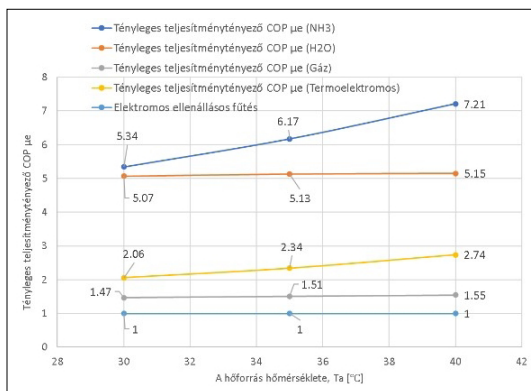
4. táblázat. A termoelektromos hőszivattyú hőtani jellemzői

Hőtani jellemző	Érték		
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges elektromos teljesítmény, P_e [kW]	13,61	11,96	10,22
A hőforrásból hő formájában felvett energia, Q_r [kW]	14,39	16,04	17,78
Ideális COP μ_c	9,66	11,27	13,53
Tényleges COP μ_e	2,06	2,34	2,74
Exergia-hatásfok η_E [%]	21,30	20,80	20,20

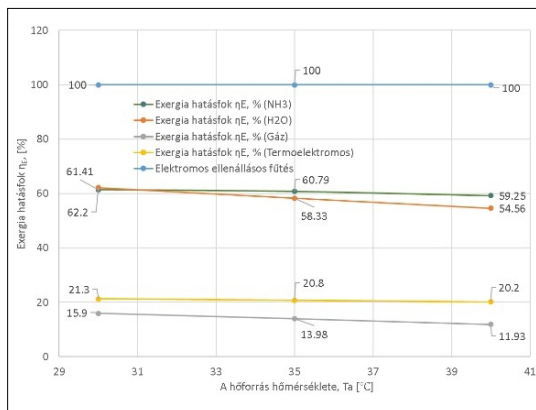
Egy klasszikus fűtési módszer az elektromos ellenállásos fűtés, amely jó összehasonlítási alap, mivel az elektromos ellenállásfűtés konverziós hatékonysága 100%-os abban az értelemben, hogy az összes bejövő elektromos energia hővé alakul [13, 14], ugyanakkor az elektromos exergia tényezője 1 [15]. Az exergiatényező, ahogy a szakirodalom meghatározza, [15] az exergia és az energia közötti arány, többnyire 0 és 1 közötti szám.

A **9. ábra** bemutatja a tényleges teljesítménytényező, (COP) μ_e változását a hőforrás hőmérsékletének függvényében, ahol látható, hogy a tényleges teljesítménytényező, (COP) μ_e növekedik a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével, és ebből a szempontból, a hatékonysági sorrend a következő: a gőzkompressziós ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú, a gőzkompressziós vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú, a termoelektromos hőszivattyú és az utolsó helyen a gázkompressziós hőszivattyú áll. Mivel az összes elektromos energia hővé alakul át, az ellenállás teljesítménytényezőjének 1-re határozzuk meg az értékét, tehát az összes hőszivattyú jobban teljesít ebből a szempontból, mint az ellenállásfűtés.

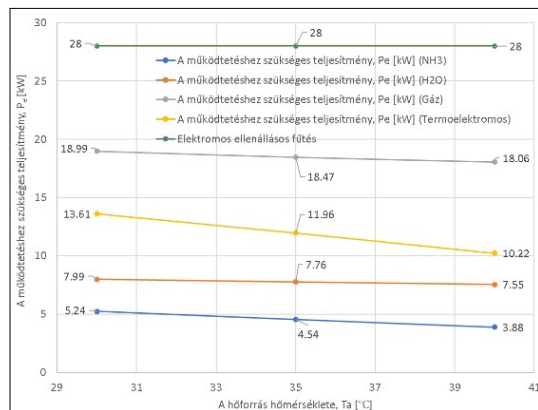
A **10. ábra** bemutatja az exergia-hatásfok, η_E változását a hőforrás hőmérsékletének függvényében, ahol látható, hogy a hatásfok csökken a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével és ebből a szempontból a hatékonysági sorrend a következő: a gőzkompressziós ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú, a gőzkompressziós vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú, a termoelektromos hőszivattyú és az utolsó helyen a gázkompressziós hőszivattyú áll, ebből a szempontból az ellenállásfűtés teljesít legjobban, mivel az elektromos áram lényegében tiszta exergia.



9. ábra. A tényleges teljesítménytényező, COP



10. ábra. Az exergia-hatásfok



11. ábra. A működtetéshez szükséges teljesítmény

A 11. ábra bemutatja a működtetéshez szükséges elektromos teljesítmény, P_e változását a hőforrás hőmérsékletének függvényében, ahol látható, hogy a teljesítmény csökken a hőforrás hőmérsékletének emelkedésével, és ebből a szempontból a hatékonysági sorrend a következő: a gőzkompresziós ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú, a gőzkompresziós vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú, a termoelektromos hőszivattyú és az utolsó helyen a gázkompresziós hőszivattyú áll, ebből a szempontból az ellenállásfűtés teljesít a legrosszabbul, mivel az elektromos áram exergiatényezője 1.

Összegezve, a hőszivattyú kiválasztása egy bizonyos alkalmazásra bonyolultabb, mint első pillantásra gondolnánk, és a hőforrás szerinti osztályozásuk csak egy kiindulópont lehet egy megfelelő hőszivattyú választásában.

Fontos kritérium kellene, hogy legyen a működtetéshez szükséges teljesítmény, mivel ez hosszú távon befolyásolja a működési költségeket, de más gazdasági szempontok se elhanyagolhatók, mint például a kezdeti beruházás, ezek mind befolyásolják azt, hogy a befektetés valaha megtérül-e.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] BOSCH <https://www.bosch-homecomfort.com/hu/hu/residential/tudas/hoszivattyu/hoszivattyu-tipusok-melyiket-valasszuk/> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [2] ESTÉ-Credit Side Kft. <https://rifeng-hoszivattyu.hu/hoszivattyu-tipusok/> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [3] Mitsubishi Electric, ZUBADAN, ecodan. https://www.zubadan.info.hu/tudasbazis/otthoni_felhasznalok/altalanos/A%20h%C5%91szivatty%C3%BA%20t%C3%ADpusai (letöltve: 2024. augusztus 16.)

- [4] HidroGeo Drilling. <https://www.hgd.hu/hu/hoszivattyuk-tipusai> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [5] Energia Partner <https://www.energiapartner.hu/energia/353-a-hoszivattyus-rendszerek-fajtai-jellem-zoi-es-letesitese> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [6] EHPA. <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/types-of-heat-pumps/> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [7] The Renewable Energy Hub, UK <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/heat-pumps-information/the-difference-between-types-of-heat-pumps> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [8] The News – Air Conditioning, Heating Refrigeration. <https://www.achrnews.com/articles/152628-the-9-types-of-heat-pumps> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [9] Branimir Pavkovic: *Alkalmazott hőszivattyús rendszerek új és felújított épületeknél*. Épületenergetika, HUHR/1001/2.2.1/0009, 2012
- [10] Radcenco V. et. al.: *Instalații de pompe de căldură*. Editura Tehnică, București, 1985. 115–367.
- [11] Radcenco V. et. al.: *Processes In Refrigeration Equipment*. Didactică și Pedagogică Publishing House, Bucharest, 1983, 372–390.
- [12] Dosa I.: *Efficiency of Heat Recovery from Exhaust Ventilation Air of Underground Mines*. Revista Minelor, 3. (2015).
- [13] US Department of Energy. <https://www.energy.gov/energysaver/electric-resistance-heating> (letöltve: 2024. augusztus 16.)
- [14] Dincer I. (Szerk.): *Comprehensive Energy Systems. Vol. 1: Energy Fundamentals*. Elsevier, 2018, 265–339.
- [15] Gong M., Wall G.: *Exergy Analysis of the Supply of Energy and Material Resources in the Swedish Society*. Energies, 9. (2016) 707. <https://doi.org/10.3390/en9090707>