



KÜLÖNBÖZŐ MUNKAKÖZEGGEL MŰKÖDŐ HŐSZIVATTYÚK ÖSSZEHAISONLÍTÓ EXERGETIKAI ELEMZÉSE

EXERGY ANALYSIS OF A VAPOUR COMPRESSION HEAT PUMP USING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS

Dósa János,¹ Tomuş Ovidiu-Bogdan²

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

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

Abstract

The paper presents the comparative exergetic analysis of heat pumps using refrigerants with different ozone depletion potential and global warming potentials. Globally, the air conditioning of houses is seen as a major energy challenge as the economic development of countries, the majority situated in hot climates, will lead to a growing demand for chilling. Added to this is the increasingly widespread use of heat pumps in areas with a temperate climate to increase energy efficiency. As a result, the environmental impact of refrigerants from ozone depletion potential and global warming potential point of view cannot be overlooked. On the other hand, an environmental benefit of high energy efficiency is the reduction of greenhouse gas emissions from fossil fuel combustion for various purposes. The purpose of this approach is to highlight how the use of different types of refrigerants will impact the exergy efficiency of heat pumps.

Keywords: *heat pump, exergy efficiency, refrigerants, environmental impact.*

Összefoglalás

A dolgozat bemutatja a különböző ózonlebontó potenciállal és globális felmelegedési potenciállal rendelkező hűtőközegeket használó hőszivattyúk összehasonlító exergetikai elemzését. Világviszonylatban a házak légkondicionálását nagy energiaügyi kihívásnak tekintik, mivel a túlnyomórészt forró éghajlaton elhelyezkedő országok gazdasági fejlődése a hűtés iránti kereslet növekedéséhez vezet. Emellett a hőszivattyúk egyre elterjedtebb alkalmazása a mérsékelt éghajlatú területeken az energiahatékonyság növelése érdekében tovább növeli a hűtőközegek széles körű felhasználását. Ennek eredményeként nem szabad figyelmen kívül hagyni a hűtőközegek környezeti hatását. Másrészt a magas energiahatékonyság környezeti előnye a fosszilis tüzelőanyagok különféle célú elégetése során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Ennek a megközelítésnek az a célja, hogy rávilágítson arra, hogy a modern környezetkímélő hűtőközegek használata milyen hatással van a hőszivattyúk energiahatékonyságára.

Kulcsszavak: *hőszivattyú, energiahatékonyság, hűtőközeg, környezeti hatás.*

1. Bevezetés

Az energiatakarékosság napjainkban egyre fontosabb, mert a világ a 70-es évek óta gyakorlatilag állandó energiaválságban van, ami időről időre súlyosbodik.

Az energiaválságot egyre égetőbb környezeti problémák súlyosbítják, emiatt az új, környezet-

barát energiatermelési technológiák egyre nagyobb teret hódítanak.

Egy ilyen technológia a hőszivattyú, amely 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

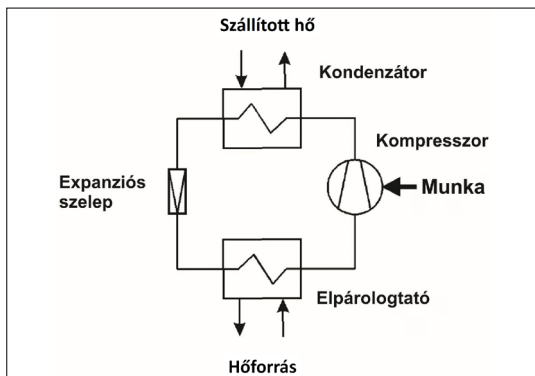
gazdálkodás, melynek során a hűtési energiát és hulladékhőt fűtésben és melegvíz-készítésben fel lehet használni, illetve a környezeti hőt lehet hasznosítani.

Világviszonylatban a házak hűtését jelentős energiakihívásnak tekintik, mivel a többségében meleg éghajlaton fekvő országok gazdasági fejlődése a klímaberendezések iránti kereslet növekedéséhez vezet. Ehhez járul a hőszivattyúk egyre elterjedtebb alkalmazása a mérsékelt éghajlatú területeken, az energiahatékonyság növelése érdekében. Ennek eredményeként a hűtőközegek környezeti hatásait nem lehet figyelmen kívül hagyni.

Másrészt a magas energiahatékonyság környezeti előnye a fosszilis tüzelőanyagok különféle célú elégetése során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Ennek a megközelítésnek az a célja, hogy rávilágítson arra, hogy a modern környezetkímélő hűtőközegek használata milyen hatással van a hőszivattyúk exergia-hatékonyságára.

2. Gőzkompresziós hőszivattyúk

A gőzkompresziós hőszivattyúk talán a legszélesebb körben használt hőszivattyútípusok. Ezek közül az első típusok R-717 (ammónia-) hűtőközeggel dolgoztak, és ez a hűtőközeg ma is elterjedt a nagy hűtőrendszerekben. Az ammónia a környezetre és az emberekre egyaránt veszélyes vegyület, mivel mérgező és robbanásveszélyes. Később alkalmaztak propánt (C_3H_8), metil-kloridot (CH_3Cl), kén-dioxidot (SO_2), és több más vegyületet. A Freon vegyületcsalád a halogénezett szénhidrogének kereskedelmi neve, mely általánosan elterjedt a hűtőgépiparban kiváló tulajdonságai miatt. A freonokat vagy, ahogy még ismeretek, CFC-ket, széles körben használták kiváló stabilitásuk és biztonságos használhatóságuk miatt:



1. ábra. A gőzkompresziós hőszivattyú

nem gyúlékonyak és kevésbé mérgezőek, mint más hűtőközegek. Sajnos, egy tulajdonságuk igen veszélyessé vált: ha a freon a felső atmoszférába jut, klórtartalma erősen rombolja az ózonréteget, mely a Nap erős ibolyántúli sugárzásától védi a föld felszínét.

A CFC-hűtőközegeket újabb és kevésbé környezetszennyező hűtőközegek váltották, a hidrokloro-fluorokarbonok (HCFC), ilyen például az R-22, melyet a legtöbb mai háztartási hűtőszekrényben használnak, és a HFC-k (például az R-134a), amelyek a gépkocsikban terjedtek el. Jelenleg ezek a közegeket is ki akarják vonni, tehát egyre több kutatás foglalkozik ezzel a témakörrel.

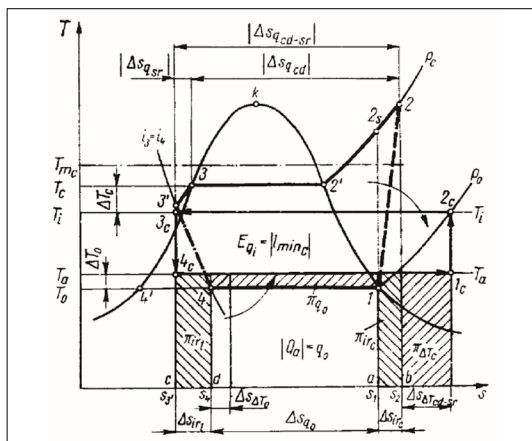
Egy ilyen közeg, amely teljesen semleges környezet védelmi szempontból, és nem is mérgező, a vízgőz. Tehát, a továbbiakban, az ammónia (R-717), egy modernebb környezetbarát hűtőközeget (R-134a) és a vízgőzzel működő hőszivattyúkat mutatjuk be.

2.1. A gőzkompresziós hőszivattyú

Az alacsony hőteljesítményű energiaforrások kiaknázására alkalmas hőszivattyúk a gőzkompresziós, víz-víz rendszerűek [1] [2].

Ez a típusú hőszivattyú (1. ábra) alkalmas arra, hogy $40^\circ C$ alatti hőmérsékleten lévő vízből származó hulladékhőt hasznosítson, a használati meleg vizet $50-80^\circ C$ -ra felmelegítve. Az ilyen hőszivattyú matematikai modellje a [3] értekezés keretén belül volt kidolgozva, tehát a továbbiakban annak a modellnek az alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit.

A 2. ábra a gőzkompresziós hőszivattyú körfolyamatát mutatja be [4]. Ezen a körfolyamaton alapul a gőzkompresziós hőszivattyú matematikai modelljének a kidolgozása.



2. ábra. A gőzkompresziós hőszivattyú körfolyamata

1. táblázat. Az ammónia- (R-717) hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges teljesítmény, P_e [kW]	5,03	4,30	3,59
Exergiaveszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	9,11	8,57	7,46
Exergiaveszteség az expanziós szelepen π_{irt} [%]	5,55	4,90	4,22
Exergia veszteség az elpárolgatóban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{q0} [%]	9,43	11,12	13,45
Exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	26,09	29,20	33,82
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,62	7,74	9,29
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,96	6,97	8,36
Exergia-hatásfok ηE	50,48	47,17	42,47

2. táblázat. R-134a-hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges teljesítmény, P_e [kW]	5,54	4,52	3,75
Exergiaveszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	12,15	9,21	7,61
Exergiaveszteség az expanziós szelepen π_{irt} [%]	15,56	14,58	12,37
Exergiaveszteség az elpárolgatóban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{q0} [%]	8,40	10,51	12,81
Exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	16,96	21,87	25,35
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,01	7,37	8,89
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,41	6,64	8,01
Exergia-hatásfok ηE	46,91	43,82	41,86

3. táblázat. A vízgőz (R-718) hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

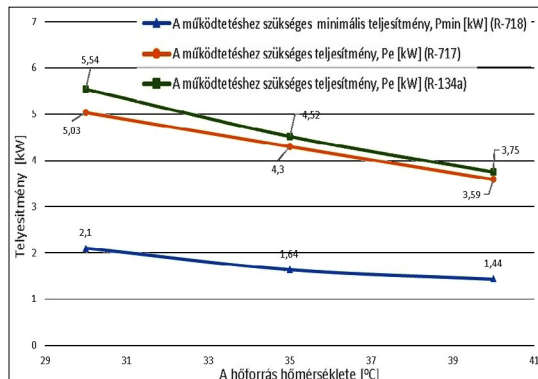
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges minimális teljesítmény, P_{min} [kW]	2,1	1,64	1,44
Exergiaveszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	16,47	17,86	19,34
Exergiaveszteség a fojtószelepen π_{irt} [%]	8,90	10,71	13,11
Exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	29,91	30,30	31,67
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,37	7,51	9,1
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,62	6,60	7,95
Exergia-hatásfok, ηE	44,63	41,13	35,87

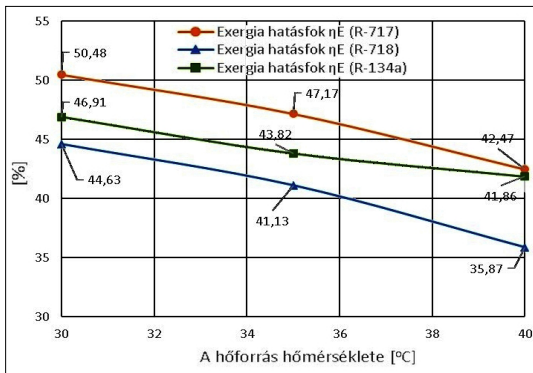
Az **5. ábrában** jól látszik, hogy a hőmérséklet emelkedésével, a körfolyamat működtetéséhez szükséges teljesítmény mértéke csökken.

Ugyanakkor jól látszik, hogy a vízgőzhűtőközzel működő hőszivattyú kevesebb energiát igényel a körfolyamat működtetéséhez.

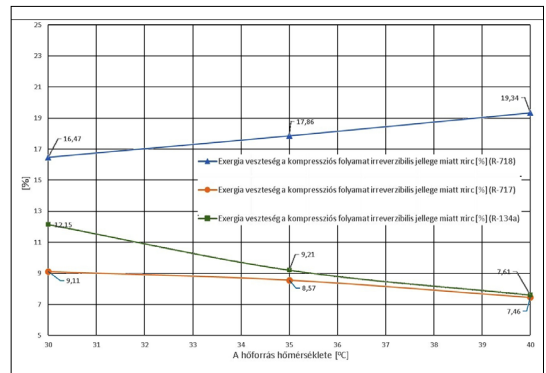
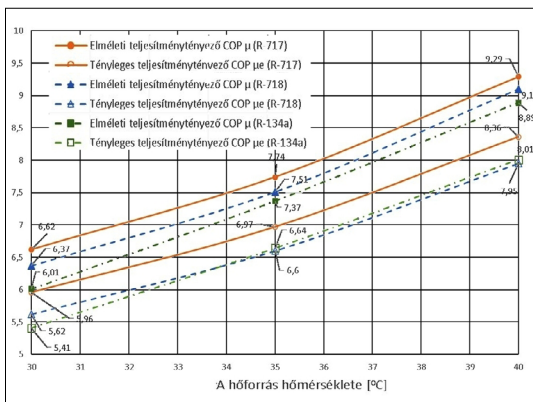
A körfolyamat működtetéséhez szükséges teljesítmény az R-134a-hűtőközzel működő hőszivattyú esetében a legnagyobb (**5. ábra**).

A **6. ábrán** látszik, hogy ugyanaz a függőség van a hőforrás hőmérséklete és az exergia-hatásfok között, mint a teljesítmény esetében, a hőmérséklet emelkedésével az exergia-hatásfok csökken. Ebből a szempontból is az ammónia- (R-717) hűtőközzel működő hőszivattyú jobban teljesít, az exergia hatásfoka jobb minden esetben, míg

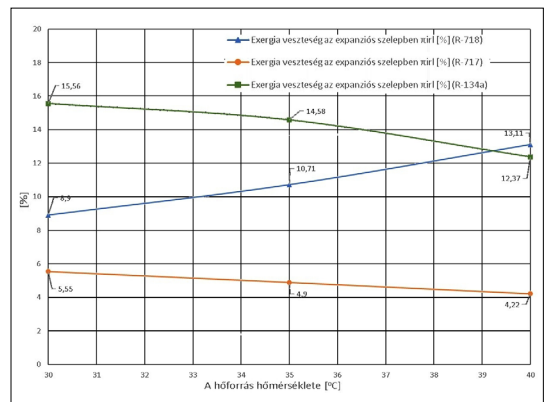
**5. ábra.** A működéshez szükséges teljesítmény



6. ábra. Az exergia-hatásfok

8. ábra. Exergia veszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} 

7. ábra. Az elméleti és a tényleges teljesítménytényező (COP)

9. ábra. Exergiaveszteség az expanziós szelepből π_{irl}

az R-134a-hűtőközeg esetében a kettő között helyezkedik el, de magas hőforrás-hőmérsékleten majdnem egyenlő az ammónia-hűtőközeg exergia-hatásfokával.

A hőszivattyú legfontosabb hőtani jellemzői az elméleti teljesítménytényező, (COP) μ és a tényleges teljesítménytényező, μ_e .

A 7. ábrán az elméleti teljesítménytényező, μ és a tényleges teljesítménytényező, μ_e változása lett ábrázolva a hőforrás hőmérséklete függvényében. A háromtípusú hűtőközeg használata esetében a hőforrás hőmérséklete emelkedésével, az elméleti teljesítménytényező és a tényleges teljesítménytényező, COP is növekedik.

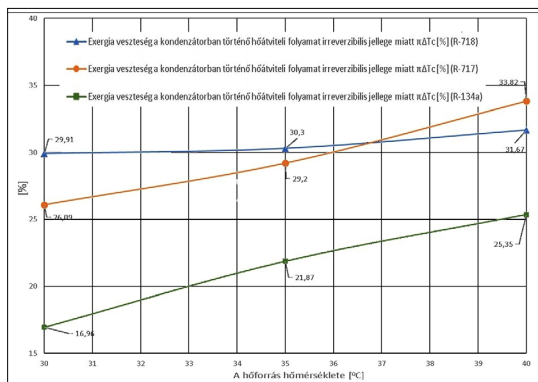
Amint a 7. ábra mutatja, az elméleti teljesítménytényező az ammónia (R-717) esetében a legnagyobb, utána következik a vízgőz (R-718) és R-134a. Ami a tényleges teljesítménytényezőt illeti, magasabb hőforrás-hőmérsékleten az R-134a teljesítménytényezője jobb, mint az R-718-hűtőközeg (vígőz).

A 8., 9. és 10. ábrán a következő exergiaveszteségek vannak feltüntetve: az exergiaveszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%], az exergiaveszteség a fojtó-, illetve az expanziós szelepből π_{irl} [%], az exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi_{\Delta T_c}$ [%].

Az exergia-hatásfok arra enged következtetni, hogy a veszteségek aránya megmarad, tehát a legnagyobb exergiaveszteségek a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében állnak elő, ezt követi az R-134a hűtőközeggel működő hőszivattyú, míg az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében a legkisebb exergiaveszteségekkel számolunk.

Ez így is van a 8. ábra esetében, ahol az exergiaveszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} van megjelenítve.

Az exergiaveszteség értéke a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} , a vízgőz- (R-718) hűtőközeg esetében a legnagyobb, és nő a



10. ábra. Exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$

hőforrás hőmérsékletével, míg az R-717 és R-134a esetében csökken.

Meg kell jegyezni, hogy vízgőzt használó hőszivattyú felépítése a használt hűtőközeg miatt sokkal bonyolultabb, így hát csak azok a veszteségek vannak feltüntetve, amelyek minden esetben előállnak.

A 9. ábrában a veszteségek nagyságrendje a különböző hűtőközegek használata mellett, a hőforrás mérsékelt hőmérséklete függvényében a következő: a R-134a, a vízgőzhűtőközeg (R-718) és ammónia (R-717).

A magasabb hőforrás-hőmérséklet esetében a vízgőzhűtőközeggel (R-718) működő hőszivattyú vesztesége nagyobb, mint az R-134a-hűtőközeg esetében, és mint az ammónia (R-717) esetében.

A 10. ábra esetében az exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$ minden típusú hűtőközeg esetén megnövekszik.

Alacsonyabb hőforrás-hőmérsékleten az exergiaveszteség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$ magasabb az R-718-hűtőközeegnél, míg magasabb hőforrás-hőmérsékleten ez a veszteség nagyobb az R-717-hűtőközeegnél, míg az R-134a minden esetben a legalacsonyabb.

4. Következtetések

Az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői jobbakként, mint a vízgőz- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői, míg az R-134a-hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzőinek értékei általában a kettő között vannak.

Kivételt képez a működtetéshez szükséges teljesítmény, amely a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel

működő hőszivattyú esetében sokkal kisebb, például a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően kb. 2,5-szer kisebb, 3,59 kW az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyúhoz viszonyítva, amely csak 1,44 kW-t igényel. Ami a R-134a-hűtőközeggel működő hőszivattyút illeti, a teljesítmény 3,75 kW.

Az elméleti teljesítménytényező, COP_μ a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően 9,29 az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, míg a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 9,1, tehát csak 2%-kal nagyobb, és az R-134a esetében is nagyon közel van, 8,89.

A tényleges teljesítménytényező, $COP_{\mu e}$ a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően 8,36 az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, míg a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 7,95, tehát 5,2%-kal nagyobb, és ebben az esetben az R-134a tényleges teljesítménytényező értéke 8,01, tehát a két érték között helyezkedik el.

Ezek az értékek a teljesítménytényező esetében azt mutatják, hogy bár az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői jobbakként, nem jelentősen jobbakként, mint az R-134a-hűtőközeg esetében, sőt a vízgőzhűtőközeg eredményeihez viszonyítva se mutatnak nagy eltéréseket.

Ha az exergia-hatásfokot elemezzük, itt is jobb értékeket lehet felmutatni az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében. A 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú exergia-hatásfoka $\eta_E = 42,47\%$, míg a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében $\eta_E = 35,87\%$, tehát 18,4%-kal nagyobb. Az R-134a-típusú modern hűtőközeg használata esetében ez az érték $\eta_E = 41,86\%$, ami alig észlelhetően kisebb.

Az értékek közötti különbségek (a tényleges teljesítménytényező, $COP_{\mu e}$, illetve exergia-hatásfok) magasabbakként, mint a megengedett hibahatár az energiamérleg készítése esetében, ami 3% [7], tehát nem lehet figyelmen kívül hagyni.

Még egy utolsó összehasonlítási kritérium maradt, a hűtőközeg hatása a környezetre.

Ebből a szempontból a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú messze a legjobb választás. Ugyanis baleset esetén a vízgőz teljesen semleges a környezetre gyakorolt hatás szempontjából, míg az ammónia kifejezetten káros, mérgező, és ráadásul robbanásveszélyes.

Ami az R-134a-t illeti, ez egy modern hűtőközeg, globális felmelegedési potenciálja (GWP) 1430

(CO₂-hoz viszonyítva), és ózonlebontó potenciálja (ODP) nulla [8]. Itt meg kell említeni, hogy az ammónia bár mérgező és gyúlékony, globális felmelegedési potenciálja (GWP) nulla, és ózonlebontó potenciálja (ODP) is nulla [9].

Tehát abban az esetben, amikor hőszivattyú használata szükséges olyan helyeken, ahol a hűtőközeg-szivárgás kockázatot jelent, mint például bányákban, alagutakban stb. a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyúk használata biztonsági szempontból tökéletes megoldás, és nem eredményez sokkal magasabb energiaköltségeket.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Radcenco, V. et. al.: *Processes in Refrigeration Equipment*. Didactică si Pedagogică Publishing House, Bucharest, 1983, 372–390.
- [2] Energy Department of the USA <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/water-source-heat-pumps> (letöltve 2022 szeptember 15)
- [3] Dosa, I.: *Power Plant Waste Heat Recovery for Household Heating Using Heat Pumps*. Multiscience-XXVIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc, 10-11 april 2014, 1–8.
<https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2616.2406>
- [4] Radcenco, V. et. al.: *Heat Pumps*. Tehnica Publishing House, Bucharest, 1985, 65-211.
- [5] Radcenco, V. et. al.: *Refrigeration Installations and Cryogenics: Problems and Applications*. Tehnica Publishing House, Bucuresti, 1987, 75–100.
- [6] Laza I.: *Refrigeration Plants*. Universitatea Tehnica, Timisoara, 1995, 60-125
- [7] *** *Guide to Development and Analysis of Energy Balance*. M.O. of Romania, part. I, nr.792/11.11.2003.
- [8] Gasservei SA (letöltve: 2022. szeptember 30.)
<https://gas-servei.com/shop/docs/technical-data-sheet-r-134a-gas-servei.pdf>
- [9] Danfoss (letöltve: 2022. szeptember 30.)
<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/ammonia-nh3/>