

Hűtőközegek: Nincs még fenntartható megoldást kínáló jövőkép

Risto Ciconkov

Szent Cirill & Metod Egyetem, Gépészmérnöki kar, Macedónia, Skopje, Pf. 464

CIKK INFORMÁCIÓ

Cikktörténet:

Érkezett: 2017.09.12

Felülvizsgálva: 2017.12.11

Elfogadva: 2017.12.13

Online elérhető:

2017.12.19

Kulcsszavak:

Hűtőközeg

CFC

HFC

HFO

Természetes

Jövőkép

KIVONAT

A cikk a hűtőközegek történetét dolgozza fel, és az ózonréteg védelmére, valamint a klímaváltozásra vonatkozó nemzetközi egyezményeket mutatja be. Rámutat, hogy tanulnunk kell múltbéli hibáinkból és felsorol sikeres irányelveket alkalmazó országokat.

A cikk bemutatja a leginkább használt hűtőközegeket: az ammóniát, a szén-dioxidot és a szénhidrogéneket. Leírja előnyeiket, hátrányait és felhasználásukat. Részletesen foglalkozik a fluor-alapú gázok negyedik generációjával, a hidro-fluor-olefinekkel (HFO). A legelterjedtebbek az R1234yf és az R1234ze(E), valamint ezek hidro-fluor-karbonos (HFC) blendjei.

Bemutat egy jövőképet természetes hűtőanyagok alkalmazásával. Innovációk: új komponensek, alacsony töltetű ammóniás rendszerek felhasználásának elterjedése minél több területen. Továbbfejlesztett széndioxidos rendszerek párhuzamos kompresszorokkal, ejektorokkal, és evaporatív kondenzátorok alkalmazásával. Nagy potenciál rejlik az R290-ben, hogy a split klíma egységek terén első számú hűtőanyaggá lépjen elő. Végezetül új szemléletet javasol a cikk.

© Elsevier Ltd and IIR. Minden jog fenntartva

1. Bevezetés

Rowland és Molina kutatók 1974-ben közöltek adatokat az ózonréteg elvékonyodásáról az úgynevezett CFC-gázok miatt a sztratoszférában, és a jövőre nézve a CFC-gázok kibocsátásának teljes tiltását javasolták.

A jelen tanulmány szerzője ugyanebben az évben végzett gépészmérnökként, és miután 43 éven át dolgozott a hűtőiparban, 2017-ben vonult vissza. Tehát szinte egész munkássága során „nyomás” alatt és dilemmában volt, illetve van a hűtőanyagok miatt. Az elérhető hűtőközeg (és a technológia) választék meglehetősen komplikált vitatémává vált. A hűtő- és klímaiparban sok felhasználási területen továbbra is nagy a zavar és a bizonytalanság a közvetítőközegek tekintetében. Ehhez jön a nagyszámú, különböző érdekeket képviselő csoport: vegyipari vállalatok, berendezések gyártói, forgalmazók, kivitelezők, végfelhasználók, természetvédelmi szervezetek, politikusok és maga a nyilvánosság.

Egyelőre nincs univerzális megoldás a hűtőközegekre, ha minden releváns szempontot figyelembe vesz az ember: a hűtőkapacitás méretét, hőmérsékleti viszonyokat, felhasználási területet, költséget, a rendelkezésre álló szervíz hálózatot, energiahatékonyságot, környező levegőt, a biztonságot, szabályozásokat, a környezetet stb.

2. A hűtőközegek története

Az 1. ábra a hűtőanyagok történetét mutatja be az első, 1834-ben megvalósított mechanikus hűtéssel

kezdődően, amikor még etil-étert használtak. Ezután több természetes hűtőközeg is felhasználásra került, mint például az ammónia, a szén-dioxid, a szénhidrogének, stb.

1930 után vette kezdetét a freonoknak nevezett CFC hűtőközegek használatának elterjedése, később pedig a HCFC hűtőközegeket vezették be főként a légkondicionálás területén. A CFC gázok kiváló hűtőanyagok, rendkívül stabilak és az emberi szervezetre nem károsak. Hovatovább a CFC gázokat inhaláló szerekben is felhasználták, ami az emberi testbe való közvetlen bejutást jelent.

Ugyanakkor a freonok ózonréteget lebontóknak minősülnek (ODS) és emiatt a Montreali Jegyzőkönyv nevű nemzetközi egyezmény fokozatos kivezetésüket írta elő. Emellett rendkívül magas a globális felmelegedést indukáló potenciáljuk is (GWP).

Az 1987-es Montreali Jegyzőkönyv nem említi a HCFC gázokat, mert azoknak alacsony az ózonréteget károsító ODP-értékük. A HCFC-22, a légkondicionálásban leggyakrabban használt hűtőanyag ODP-értéke például csupán 0,034. Néhány lelkiismeretesebb cég el is kezdte a CFC-eket kiváltani R22-vel vagy HCFC-gázok vegyületeivel. Azonban az 1992-es Koppenhágai Kiegészítés már a HCFC-gázokat is tartalmazza, kicsit hosszabb kivezetési időt ajánlva. Így bizonyos szempontból a freonokat korábban HCFC-re cserélő vállalatok becsapva érezhették magukat.

1990-ben a norvég Gustav Lorentzen azt állította, hogy természetes anyagokkal, ózonbarát hűtőközegekkel lehetséges megoldást találni. Kutatói munkássága

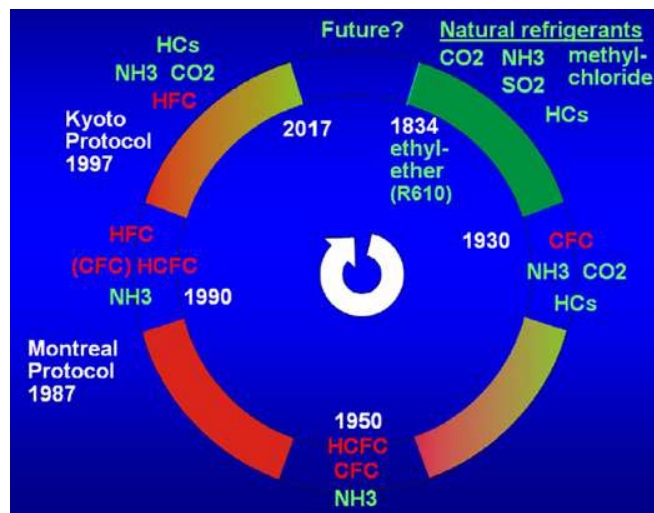
mellett tapasztalt mérnök is volt, aki korábban dolgozott már ammóniával és széndioxiddal is. Ezek tehát már kipróbált hűtőanyagok voltak, de szükség volt még a CO₂ rendszerek továbbfejlesztésére, hogy energia-hatékonyabbak legyenek üzemi állapotban.

Rövidítések	
AHRI	Klíma-, fűtő- és hűtőipari szervezet
CDM	Tiszta fejlesztési mechanizmus
CER	Tanúsított kibocsátás-csökkenés
CFC	Klór-fluor-karbon (klórozott-fluorozott karbonát) („kemény freonok”)
CO ₂	Szén-dioxid
COP	Teljesítménytényező (hatásfok)
GWP	Globális felmelegedési potenciál
HC	Szénhidrogén
HCFC	Hidro-klór-fluor-karbon („lágú vagy telítetlen freonok”)
HFC	Hidro-fluor-karbon („zöld freonok”)
HFO	Hidro-fluor-olefin
IIR	Nemzetközi hűtőipari szervezet
MAC	Mobil légkondicionálás
ODP	Ózonkárosító potenciál
ODS	Ózonkárosító anyag
PHE	Lemezes hőcserélő
RAC	Hűtés – és klimatechnika
RTOC	Hűtés, klíma és hőszivattyú technológiai lehetőségek bizottsága
TEAP	Technológiai és gazdasági értékelő fórum
TEWI	Teljes ekvivalens felmelegítő hatás
UNEP	ENSZ környezetvédelmi programja
UNFCCC	ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény

Apróbb módosításoktól eltekintve, mint pl. az olajtípus, a zöld freonok (HFC) kompatibilisek a CFC-berendezésekkel. Számos meglévő CFC-rendszert alakítottak át HFC rendszerré. Így a legtöbb gyártó anélkül, hogy a gyártósorok, eljárások és a dolgozók ismereteinek megváltoztatására kényszerült volna, HFC-s berendezések gyártására váltott. Ez mind gazdasági, mind műszaki szempontból érthető és elvárható volt, hiszen ebben az időben nem létezett szabályozás az F-gázok korlátozására. Tehát úgy is fogalmazhatunk, hogy a HFC-gázok a Montreáli Jegyzőkönyv hatására jelentek meg a piacon. **Tulajdonképpen a HFC-gázok a Montreáli Jegyzőkönyv termékei.**

A Montreáli Jegyzőkönyv és kiegészítései szerint a CFC hűtőanyagok fokozatos kivezetése (a fejlődő országokat is ideértve) 2010-ig befejeződött.

Az elmúlt nyolc évtizedben igen magas globális felmelegedést okozó potenciállal (GWP) rendelkező CFC-gázok kerültek a légkörbe, és ami még rosszabb, rendkívül hosszú élettartammal bírnak. A legelterjed-



1. sz. ábra: A hűtőközegek történelme

tebb hűtőanyag, az R12-gáz GWP értéke például 10.300, míg az élettartama 102 év (UNEP, 2014). Körülvesznek minket az R12 és a hozzá hasonló gázok, és nem tudható, hogy jelenleg mekkora az atmoszférában a mennyiségük. Különös, hogy sok, mostanában publikált jelentés nem szolgál információval arról, mekkora részük van a CFC-gázoknak a globális felmelegedésben. 1990-ben úgy hitték, hogy ez az arány kb. 15%, de kémiai stabilitásukat figyelembe véve biztosra vehető, hogy szerepük még mindig jelentős, és egészen biztosan jelentősebb, mint a HFC-gázoké.

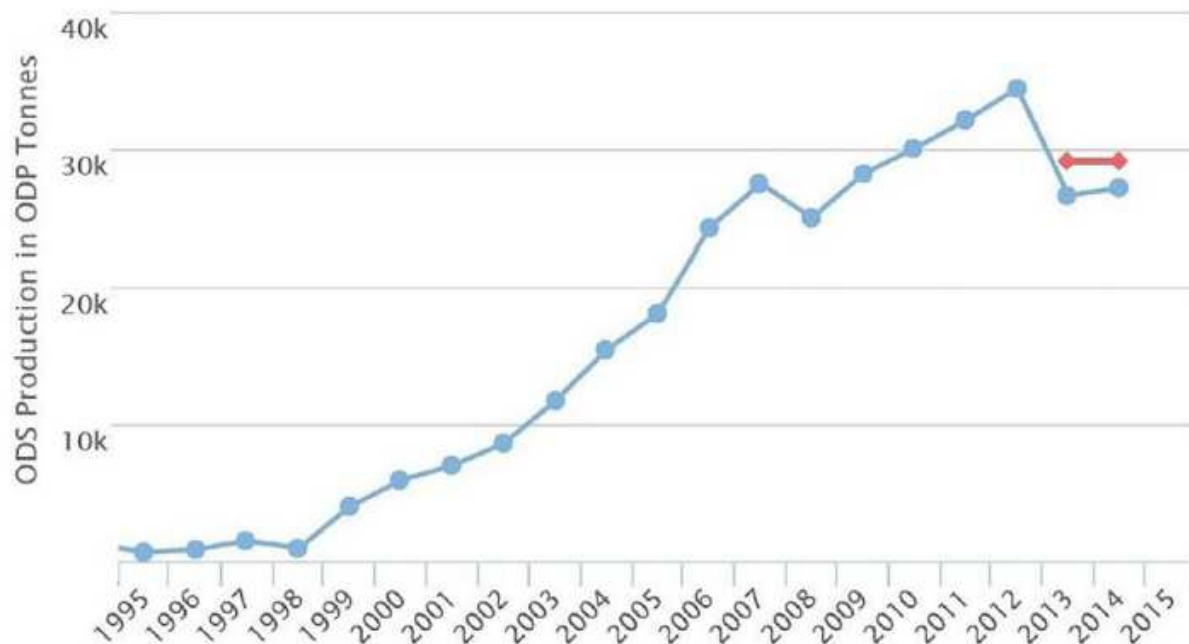
A HFC-gázok fokozatos kivezetése később vette kezdetét, és a fejlődő országokban egészen 2040-ig el fog tartani. Köztudott, hogy a legelterjedtebb HCFC-gáz az R22, melynek GWP-értéke 1780, élettartama pedig 12 év. Vajon mekkora az üvegház-hatásra gyakorolt szerepük ma a CFC és a HCFC gázoknak?

3. Tanulnunk kell múltbéli hibáinkból

Az ózonkárosító anyagok fokozatos kivezetése során elkövetett hibák megértése érdekében álljon itt egy időrendbe szedett lista az ide vonatkozó egyezményekről.

- 1987: Montreáli Jegyzőkönyv
- 1992: UNFCCC (ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény); HFC-gázok bevezetése
- 1997: Kyotói Jegyzőkönyv (HFC-gázok szabályozása)
- 2007: A HFC-gázok kivezetésének felgyorsítása (Montreáli Jegyzőkönyv) Klímabarát technológiák figyelembe vétele
- 2015: Párizsi megállapodás a klímaváltozásról
- 2016: A Montreáli Jegyzőkönyv Kigali Módosítása (HFC-gázok kivezetése) HFO-gázok bevezetése (telítetlen HFC-gázok)

Észrevehető, hogy a CFC alternatívájaként szolgáló HFC-hűtőközegek használata az 1992. évi Éghajlatváltozási Keretegyezménnyel szinte egy időben kezdődött. Az 1997-es Kyotói Jegyzőkönyv a HFC-anyagokat (F-gázok) már az üvegház-hatást okozó gázok közé sorolja, mivel magas a globális felmelegedést



2. sz. ábra: HCFC-gázok gyártási trendje Kínában (UNEP, 2016a)

okozó potenciáljuk (GWP). Ezzel egy időben azonban a HFC-gázok felhasználási területének a bővülése zajlott. Ezt globális szintű, „szándékos hibának” tekinthetjük. Ezt a helyzetet nagymértékben enyhíthette volna a természetes hűtőanyagok (ammónia, szénhidrogének és CO₂) használata, de a nemzetközi közösség nem reagált megfelelően a HFC-gázokban érdekelt vegyipari és egyéb vállalatok lobbitevékenységére. Természetesen más tényezők is közrejátszottak, mint például a CFC és a HFC technológiák kompatibilitása, a költségek, a gyakorlat stb. De a súlyos hiba az volt, hogy a Montreáli Jegyzőkönyv testületei és az érvényesítésére kijelölt ügynökségek (UNEP, UNIDO, UNDP, Világbank) általában figyelmen kívül hagyták a klímaváltozás szempontját.

Az 1990-es gazdasági átmenet Kelet-Európában, így a volt Jugoszláviában is magával hozta a korábban ebben a régióban hagyományos hűtőközegnek számító ammónia fokozatos kivételét. Rengeteg ammóniával működő kereskedelmi hűtőrendszert cseréltek le CFC-vel, HCFC-vel, majd később HFC-vel működő rendszerekre. A Ciconkov, 2010-es tanulmányban több indok és részletesebb magyarázat olvasható. Ezen túlmenően számos, ammóniát felhasználó rendszer gyártója bezárt és az ammóniás hűtőtechnikával foglalkozó munkaerő úgymond eltűnt. A Makedón Köztársaságban egyetlen nagy hűtőipari berendezéseket előállító vállalat volt, amely ammónia-gyárakat is magában foglalt és ahol az ismert kutató, Gustav Lorentzen dolgozott fiatal szakemberként a 60-as években. Ez a gyár 2000-ben bezárta kapuit. Ez volt az egyik oka annak, hogy e cikk szerzője megszervezését kezdeményezte a nemzetközi

ammóniás hűtőtechnológiai konferenciának, mely 2005 óta két évente Ohridban kerül megrendezésre.

Szinte minden A5 országbeli projektben, mely a Montreáli Jegyzőkönyv hatálya alatt a múltban pénzügyi támogatásban részesült, a CFC és HCFC-gázokat HFC-gázokkal váltották ki, a háztartási hűtőgépek elhanyagolható kivételével (Ciconkov, 2010). A HFC-rendszerek preferálásának fő oka az alacsony bekerülési költség volt (költséghatékonyságként beállítva), ami nem megfelelő megközelítés, hiszen e helyett inkább az életciklus költségeit, az alacsony TEWI értéket és egyéb jótékony környezeti hatásokat kellene figyelembe venni.

A CFC-ről HFC-re való átállással csökkent az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása, ám ez nem bizonyult fenntartható megoldásnak. Ezért került bevezetésre 2016-ban a Montreáli Jegyzőkönyv Kigali Módosítása: az elkövetkező évtizedekben a HFC-gázok használatának fokozatos megszüntetésén kell dolgoznunk.

3.1 HCFC-22, HFC-23 és a Kyotói Jegyzőkönyv

A Tiszta Fejlesztési Mechanizmus (CDM) egyike a Kyotói Jegyzőkönyvben meghatározott Rugalmas mechanizmusoknak. A Jegyzőkönyv ösztönzi a kibocsátás-csökkentő projekteket, melyek során Kibocsátás Csökkentési Egységeket (CER) lehet átruházni. 2008-2010-ben 10-20 USD/tonna között mozgott a CER ára. 2012 szeptemberére az ár 5 USD/tonna alá zuhant, jelenleg (2017) pedig az 1 USD-t sem éri el.

A HFC-23 egy melléktermék, mely a HCFC-22 gyártása során keletkezik. A HFC-23 felmelegedési potenciálja (GWP) 12.400, és meglehetősen vonzóan bizonyult a HFC-23 megsemmisítését célzó Tiszta Fejlesztési Mechanizmusok regisztrálására. A CDM fonák ösztönzést jelentett még több HFC-23, és így még több pénz termelésére. Néhány év múlva a HFC-23-mal való kibocsátási egység-kereskedelmet leállították. A HCFC-k gyártása Kínában 1998 óta drasztikusan megnövekedett; a gyártási trend a 2. ábrán látható. A HCFC-22 melegítő potenciálja 1780.

4. Sikeres példaként szolgáló irányelvek

Dánia a tipikus példa arra, hogy a nemzeti szintű szabályozásnak lehet sikeres hatása az ártalmas hűtőközegek kiküszöbölésére. 2001-2002-ben Dánia országos szabályozást vezetett be az F-gázokra (EPA Denmark, 2011) A cél többféle berendezés fogyasztásának és kibocsátásának a csökkentésére irányult. Bizonyos célokra teljesen betiltották az F-gázok használatát, adókat vetettek ki rájuk és ugyanakkor támogatták az alternatív technológiákra irányuló kutatás-fejlesztést. 2006 óta elhatározták, hogy a legtöbb iparágban megvalósítják a HFC-hűtőgázok fokozatos kivezetését. Ma Dánia a világ legfejlettebb országa az ózon- és klímabarát hűtési technológiák tekintetében. Később több másik európai ország is megadózta az F-gázokat.

Szintén sikeres szabályozás a freonok használatának csökkentésére irányuló 517/2014 európai rendelet, amely 2015. januárjában lépett hatályba az alábbi intézkedéscsomaggal (Eurammon, 2017):

- Kivezetés: az F-gázokat 2030-ra fokozatosan 79%-kal csökkentik az 1990-es szinthez képest.
- Használat korlátozása: 2020-tól a magas GWP-értékkel rendelkező freonok, mint pl. az R404A
- Kvótarendszer: A tényleges freon-felhasználás kontrollálása érdekében F-gáz kvóták kerülnek meghatározásra.
- Szivárgásteresztelés: a szivárgások elkerülésére a jövőben szigorúbb szabályozás lép életbe.
- Üzemeltetési kötelezettségek: berendezések telepítését, karbantartását, szervizelését, javítását vagy használaton kívül helyezését kizárólag képesített szakember végezheti.

A német kormány pénzügyi szubvenciót nyújt a természetes hűtőanyagokkal működő rendszerek megvalósításához. Ma Németországban található a legtöbb CO₂-hűtőközegetes transzkritikus üzemű hűtőrendszert alkalmazó szupermarket. A japán kormány pénzügyi támogatást nyújt az Eco-Cute megnevezésű, CO₂ hűtőanyagot felhasználó, háztartási melegvizet

előállító hőszivattyúk megvásárlásához. Az utóbbi években több millió ilyen hőszivattyút értékesítettek

Jelenleg Európában a vállalkozások támogatáshoz vagy adókedvezményhez juthatnak, ha természetes hűtő-közeggel üzemelő (környezetbarát) hűtőrendszerekbe ruháznak be. Ez az egyik oka annak, hogy Európa a természetes hűtőközegek használatában olyan előre-haladott a világ többi részéhez képest. Másfelől vannak olyan multinacionális vállalatok (pl. áruház-láncok), melyek a fejlődő országokban HFC-t (R404A) felhasználó hűtőrendszereket építenek ki. Ennek fő oka, hogy ezekben az országokban nincsenek megfelelően képzett szakemberek a CO₂ és ammóniás rendszerek kiépítésére.

5. Természetes hűtőközegek

A legelterjedtebb természetes hűtőközegek az ammónia (R717), a széndioxid (R744), valamint a szénhidrogének, mint pl. az izobután (R600a) és a propán (R290). Ezek a hűtőanyagok már a 19. századtól fogva ismertek.

5.1 Ammónia (R717)

Az ammónia egy kiváló hűtőanyag, amelyet az elmúlt 140 évben főként nagyobb kapacitású, ipari hűtőrendszerekben használtak. Előnyei (Pearson, 2008):

- Környezetbarát: ODP = 0, GWP < 1;
- Nagy energiahatékonyságú még magas kondenzációs hőmérsékleten is;
- Kiváló termodinamikai tulajdonságok: magas kritikus hőmérséklet (132 °C), nagy látens hő, nagy gáz sűrűség, kitűnő hőátadási tényező;
- A nyomógáz véghőmérséklet értékei kiváló lehetőséget biztosítanak a veszteség hő visszanyerésére;
- Gőz állapotban könnyebb a levegőnél;
- Átható szagánál fogva könnyen észlelhető;
- Olcsó.

Az ammónia hátrányai:

- Mérgező
- A levegőben 16-28% közötti koncentrációban mérsékeltén gyúlékony
- Rézzel nem kompatibilis
- A nyomógáz véghőmérséklet más hűtőközegekhez viszonyítva magas. Ez a nagyobb mértékű adiabatikus kitevővel magyarázható.

Az ammóniát nehéz meggyújtani: csak nagy koncentrációban, rendkívül korlátozott feltételek mellett és kizárólag folyamatos külső tűzforrás mellett gyúlékony.

Az ammónia küszöbértéke (TLV) 25 ppm. Toxicitása az egyetlen valós hátránya. Mindazonáltal erőteljes szaga már 5 ppm koncentrációnál annyira zavaró, hogy az emberek kénytelenek elhagyni a területet.

Az ammóniás hűtőrendszerek a biztonsági tényezők miatt jogi szabályozás hatálya alá esnek, ez azonban a többi hűtőközeg esetében is fennáll. Ha ezeket a szabályozásokat és szabványokat szigorúan betartják és a kezelő személyzet számára biztosítva van a megfelelő képzés, a kockázat szintjét az egyéb hűtőanyagokkal azonos szintre lehet minimalizálni.

Az ammóniával működő rendszerek jelentik a legjobb megoldást a hűtőházakra, valamint számos ipari felhasználási területre, mint pl. étel- és ital-feldolgozás, sörfőzdék, tejüzemek, és 90°C-nál nem forróbb meleg vizet előállító hőszivattyúk. Közvetett hűtésű ammóniás folyadék-hűtőket használnak pl. épületek központi légkondicionáló rendszereiben (repülőterek, kórházak, hivatalok stb.). Az alacsony hűtőközeg töltetű technológiák jövőbeli fejlődésével a kereskedelemben is várható az ammóniás hűtőrendszerek bővülése.

5.2 Szén-dioxid (R744)

A szén-dioxid mint hűtőközeg története már a 19. század közepén kezdődött, de az 1950-es évektől teljesen eltűnt, hogy helyet adjon az akkor hatékonyabbnak tűnő más anyagoknak. Manapság viszont sikeresen tér vissza a hűtőipar több területére. Az R744 jelentősen különbözik valamennyi más elterjedt hűtőközegetől. Előnyei (Pearson, 2014):

- Környezetbarát: ODP = 0, GWP = 1;
- Nem mérgező és nem gyúlékony;
- Nagy volumetrikus hűtőkapacitás → kisebb szállítóteljesítményű kompresszor;
- Kiváló termofizikai tulajdonságok → előnyös hőátadás;
- Kevésbé érzékeny a nyomás veszteségre → könnyebb a hőcserélők tervezése;
- Kisebb szívócső átmérők;
- Kiváló lehetőség a hűtőközeg töltet csökkentésére (mikrocsontról hőcserélőkre);
- Lehetőség hővisszanyerésre melegvízhez;
- Legtöbb anyaggal kompatibilis (nem okoz korróziót).

A CO₂ hátrányai:

- Alacsony kritikus hőmérséklet: 31 °C
- Magas nyomás (120 bar vagy több): magas tervezési nyomás a berendezéseknél;
- Állásidőben extrém magas nyomás (ennek elkerülésére kiegészítő berendezések szükségesek).

A kritikus hőmérséklet felett működő hűtőciklust transzkritikus ciklusnak hívjuk, és a konvencionálishoz képest ez kevésbé energiahatékony, ha a rendszer konvencionális konfigurációjú.

Ez volt az oka annak, hogy a CO₂-rendszerek eleinte hideg, illetve mérsékelt éghajlatú régiókban (Észak-Európa) terjedtek el, ahol a kritikus hőmérséklet alatti működés a domináns.

Az utóbbi évek kutatás-fejlesztési tevékenysége jelentősen hozzájárult a CO₂-rendszerek energiahatékonyságának növeléséhez. A transzkritikus működés javítható a következő módosításokkal (Minetto et al., 2014; Hafner and Hemingsen, 2015; Ciconkov, 2016):

- párhuzamos kompresszor bekötése;
- belső hőcserélő beépítése;
- külső utóhűtő telepítése;
- expanziós eszközként szolgáló ejektorok telepítése.

A CO₂-rendszerek kritikus hőmérséklet alatti működése nagyon hatékony és egy evaporatív kondenzátor használatával még forró éghajlatú helyeken is megoldható (Visser, 2017). A szubkritikus működés emellett elérhető, ha léghűtéses kondenzátor kombinálunk vízpermetezővel és/vagy nedves előtétellel (wet pad) a párologtató hatást kihasználva.

A kompressziós kibocsátási hőmérsékletek kiváló alkalmat nyújtanak a hulladékhő visszanyerésére. Így a rendszer általános energiahatékonysága javul.

Jelenleg a szén-dioxid az egyes számú opció a 4200 GWP-értékkel rendelkező R404A kiváltására a kereskedelmi hűtőrendszerek esetében. Emellett a szupermarketekben működő központi rendszerek szívárgásrátája a múltban 30% körül mozgott a fejlett országokban és sokkal magasabb volt a fejlődő országokban. Az utóbbi néhány évben a CO₂ felhasználása több alkalmazási területen is gyorsabban növekedett a vártnál, amint azt a jelen tanulmány későbbi része leírja.

5.3 Szén-hidrogének

A múltban szénhidrogéneket is használtak hűtőközegeként, de ezek később, a biztonságosabb CFC bevezetésével eltűntek és csak néhány ipari komplexumban maradtak fenn, mint pl. a finomítók. A jelenleg használt hűtőközegek: izobután (R600a), propán (R290), propilén (R1270) és néhány keverék. A szénhidrogének nagyszerűen helyettesítik a CFC-gázokat, így a CFC-vel üzemelő egységek nagyobb változtatások nélkül át tudnak állni szénhidrogénre, mert azok kompatibilisek a rézzel és vegyíthetők a kőolajjal.

5.4 Izobután (R600a)

Az izobután remek alternatívája az R12-nek a háztartási hűtőkben és kisebb kereskedelmi egységekben. Az R600a-val működő háztartási hűtők tömeggyártása 1995-ben kezdődött Németországban, és ezután az egész világon elterjedt, kivéve az USA-ban, ahol szigorú biztonsági előírások tiltják.

Energiahatékonysága nagyon jó, sőt bizonyos források szerint az R134a-nál is jobb. Előnye az alacsony hűtőközeg töltet (kb. 70 g), és az izobután alacsony ára. Az alacsonyabb nyomás miatt egyenletes a működése és alacsony a zajszintje. A biztonságot illetően a jelentések pozitívak és feltehető, hogy az izobután üzemű háztartási hűtők száma meghaladja a R134a-val működő hűtők számát.

5.5 Propán (R290)

A propán termodinamikai tulajdonságai hasonlóak az R22-éhez, ami azt jelenti, hogy ez utóbbinak megfelelő helyettesítője. Az elmúlt években a propán alkalmazása nőtt, de biztonsági okok és állami szabályozások miatt csupán speciális területeken. Jelenleg a legmagasabb a felhasználása a kisebb kereskedelmi egységekben (hűtött bemutató vitrinek), ahol a hűtőközeg töltet 150 g-ig terjed.

Vannak kezdeményezések a propánnak lakóterek légkondicionálására való használatára, ezek az egységek gyárilag zártak és megfelelő elektromos alkatrészekkel készülnek. Kínában és Indiában már léteznek gyártósorok.

A propán emellett kiváló hűtőközeg autóklimához is, de itt szintén a biztonsági tényező a legnagyobb akadály. Mindemellett Ausztráliában nem hivatalosan több ezer, propánnal üzemelő klímájú jármű van, és egyelőre nincs semmilyen negatív statisztika az üzemelésükről.

6. HFO hűtőközegek

A HFO-gázok (hidro-fluor-olefinek) telítetlen HFC-gázok, melyek a fluor-alapú gázok negyedik generációja. Ezeket a mesterséges hűtőközegeket a következőképpen osztályozzuk: ODP=0, alacsony GWP-értékkel (Bitzer GmbH, 2016), illetve A2L gázok (enyhén gyúlékony).

Amikor az EU betiltotta az R134a-nak a mobil légkondicionáló rendszerekben (MAC) való alkalmazását, ez kutatási projektek sorozatát indukálta. DuPont és Honeywell közösen fejlesztették ki az első hidro-fluor-olefint, mely az R1234yf. Ez egy alacsony GWP-értékű alternatívája az R134a-nak, melynek termodinamikai jellemzői hasonlóan az R134a-ra és felhasználható a mobil klímákban (MAC).

Olykor az R1234ze(E)-t is R134a-helyettesítőnek nevezik, de volumetrikus hűtőkapacitása több mint 20%-kal alacsonyabb az R134a-nál és az R1234yf-nél (Bitzer GmbH, 2016). Ezen kívül a forráspontja (-19 °C) jelentősen korlátozza használatát az alacsonyabb elpárolgási hőmérsékleteken. Ezért inkább folyadék-hűtőkben, valamint magasabb hőmérsékleten alkalmazzák.

Az R1234yf és az R1234ze(E) emellett gyakran használt alapkivétel HFO/HFC keverékekben.

Új HFO/HFC keverékek:

Ezeket a blendeket az EU F-gáz szabályozása és a Kigali Kiegészítés figyelembevételével fejlesztették ki, mint az R134a, R404A, R507A R22, R407C és az R410A alacsony GWP-értékű alternatíváit. Néhányuknak már tesztelték is a hűtőkapacitását és hatékonyságát az AHRI által kezdeményezett „Alternatív Hűtőközeg Értékelő Program” (AREP) keretében, sőt valós rendszerekben is felhasználták őket (AHRI, 2012-2016).

Mivel a legalacsonyabb GWP-értékű hűtőközegek általában gyúlékonyak is, ez korlátozhatja felhasználásukat és további munkára van szükség ahhoz, hogy valóban életképes opcióként számolhassunk velük.

6.1. HFO hűtőközeg árak

A hidro-fluor-olefinek egyik hátulütője meglehetősen magas beszerzési árak. Egy 5 kg-os palack R1234yf kiskereskedelmi ára £462 volt (www.boconlineshop.com, 2017. júliusban), ami 120 USD/kg-ot jelent. Több honlapot felkeresve megállapítható, hogy az ár 110 és 150 USD/kg között mozgott. Az R1234ze(E) kiskereskedelmi ára háromszor alacsonyabb volt, mint az R1234yf ára, azaz 35-50 USD/kg, és még ez az ár is nagyon magas. Ha ehhez hozzávesszük, hogy jelenleg az egész világon csupán két gyártója van a HFO-gázoknak, úgy az új alternatív HFO-hűtőközegek helyzete még inkább kedvezőtlennek látszik.

6.2 Rejt-e magában kockázatot a HFO-gázok alkalmazása?

Az R1234yf enyhén gyúlékony és mobil légkondicionáló egységekben való felhasználása potenciális kockázatot jelenthet. Egyes vizsgálatok, melyeket a Daimler-Benz saját laboratóriumában végzett, megnövekedett kockázatot jeleznek. Ezért több gyártó újra fokozni kezdte alternatív hűtőanyagok után kutató fejlesztő tevékenységét. Ugyanakkor széles körű tesztsorozatok elvégzésével az is bebizonyosodott, hogy a járműklímákban alkalmazott hűtőközeg gyúlékonysága által jelentett kockázat kiküszöbölhető a megfelelő intézkedések alkalmazásával.

Tűz esetén a HFO-1234yf bomlástermékei: hidrogén-fluorid (HF) és karbonil-fluorid (COF₂), melyek rendkívül toxikusak. Emellett a légkörbe való bekerülésük esetén a HFO-gázok tri-fluoro-ecetsavvá bomlanak le (TFA), mely potenciálisan felgyülemlik és kedvezőtlen hatással lehet az ökoszisztémákra azáltal, hogy savasságukat növeli (Hoffmann és Plehn, 2010). Vajon miféle hosszú távú kísérletbe kezdünk a környezetünkön az új szintetikus hűtőközeggel?

7. Téves megközelítés

A hűtőközegek klímára gyakorolt közvetlen hatása kifejezhető a Globális Melegítő Potenciáljukkal (GWP). A UNEP által kiadott RTOC 2014 Értékelő Jelentés tartalmazza a GWP-értékek osztályozását egy 100 éves horizontra vetítve. Ez látható a **2. sz. táblázatban**.

Ez az osztályozás a múltban gyökerezik, amikor még magas GWP-értékű hűtőanyagok voltak elterjedtek. A jövőt a fenntartható fejlődés kontextusában nézve ez az osztályozás nem helyénvaló, főként a környezetvédelem szempontjából. Például a 300 és 1000 közötti GWP-értékű hűtőközeget semmiképpen sem nevezhetjük középkategóriásnak.

Ezidáig 2016 volt a legmelegebb év a történelemben. Felmerül a kérdés, hogy a GWP=704 értékű R32 vajon csakugyan megfelelő alternatíva az R410A helyett?! Márpedig 2015 óta több millió R32-t tartalmazó légkondicionáló egységet adtak el a piacon.

Kiemelt fontosságú, hogy a magas GWP-értékű HFC hűtőközegeket elhagyva rögtön a végcélt képező, alacsony GWP-értékkel rendelkező hűtőanyagokra váltsunk. Sokkal kevésbé lenne költséges, ha kihagynánk a közepes GWP-értékű anyagokra való átállást, valamint utána azokról az alacsonyabb értékű anyagokra történő váltást. A napjainkban végbemenő átmenet is például szolgál: a 2088 GWP-értékű R410A-ról 704 GWP-értékű R32-re váltunk, és ezután a közeljövőben egy alacsony GWP-értékű közegre kellene átállni?!

A dilemma: természetes vagy szintetikus hűtőközeg? (Lásd **3. sz. ábra**) Több típusú hűtőközeg (és keverékek) többszöri váltása után: CFC-gázok → HCFC-gázok → HFC-gázok → HFO-gázok (?) le kell vonnunk a tanulságot. El kell kerülnünk, hogy bizonytalan sorsra kárhoztassuk ökoszisztémáinkat.

8. Jövőkép természetes hűtőanyagokkal

8.1 Ammóniával működő hűtőrendszerek

Mivel a fő akadály a biztonsági tényező, több új koncepció is született az ammóniás rendszerek továbbfejlesztésére a hűtőközeg-igény csökkentésével.

Ez legtöbbször új típusú hőcserélőkkel érhető el, valamint folyadéktartályok és szivattyú nélküli rendszerkialakítással. A következő megoldások használhatók:

- Száraz expanziós párologtatók (DX), ahol a hűtőközeg-igény alacsonyabb. A hűtőközeg csövekben párolog, de ez oldható olajat igényel, ezért újonnan fejlesztett olajokat alkalmaznak.
- Lemezes hőcserélők (PHE) alkalmazása az ammóniás rendszerekben párologtatóként és kondenzátorként. A hagyományos forrasztóanyagok nem kompatibilisek az ammóniával, így új típusok kifejlesztése folyik rozsdamentes acélból hegesztett modulokkal és nikkellel forrasztott hőcserélőkkel. A PHE párologtató szintén száraz expanziót alkalmaz, alacsony ammónia-töltettel, elektronikus expanziós szeleppel és oldható olajjal. A PHE-berendezések energiahatékonysága nagyobb, míg méreteik kisebbek.
- Az ún. lemezköteges (shell-and-plate) hőcserélő új típus, gyakorlatilag egy csőköteges (shell-and-tube) és egy PHE-berendezés kombinációja. Nagyon kompakt kivitelűek és rendkívül alacsony a hűtőközeg-igényük. A piacon léteznek viszonylag kicsi ammónia-töltetű folyadékhűtők, amelyekben ilyen hőcserélők vannak. Ezek a kompakt hűtőket a gyárban szerelik össze és tesztelik. Egy 50 kg ammónia-töltetű hűtő 1000 kW hűtőkapacitást biztosít.
- A mikrocsatornás hőcserélők kiváló lehetőséget jelentenek az ammónia és a széndioxid számára. A mikrocsatornás hőcserélők újratervezett kivitele a hagyományos hőcserélőknél alacsonyabb hűtőközeg-igényt tesz lehetővé. Az ammóniával kompatibilis alumínium kiváló ezeknek a hőcserélőknek a gyártására.

Bár az ammónia már a 19. századtól kezdve használatos az ipari klimatizálásban, néhány éve új koncepció született ezen a területen: minden elemnek egy tartályban való elhelyezése, a tető alatti klíma-berendezésekhez hasonlóan. Ezeket az egységeket a gyárban előre összeszerelik, egy gyártó (Evapco, 2017) pedig a következő előnyöket sorolja fel: kevesebb ammónia-felhasználás, alacsonyabb szintű engedélyeztetési kötelezettség, kisebb energia-felhasználás, központi gépészeti helyiség kiküszöbölése, gyorsabb beszerelés és beüzemelés, versenyképes ár, egy kézből történő tervezés és kivitelezés. Ezek kedvezőbbé teszik a helyben összeszerelt rendszereknél.

1. sz. táblázat

HFO és HFO/HFC blendek mint a HFC vegyületek alternatívái

Név	Helyettesítendő	Összetétel	HFO vagy blend	GWP érték	Bizt. oszt.
R-444A	R-134a	R-32/152a/1234ze(E)	blend	93	A2L
R-448A	R-404A	R-32/125/134a/1234yf//1234ze(E)	blend	1400	A1
R-449A	R-404A	R-32/125/1234yf/134a	blend	1400	A1
R-450A	R-134A	R-134a/1234ze(E)	blend	570	A1
R-452A	R-404A	R-32/R125/1234yf	blend	2140	A1
R-452B	R-410A	R-32/R125/1234yf	blend	675	A2L
R-454A	R-404A	R-1234yf/32	blend	250	A2L
R-454B	R-410A	R-32/1234yf	blend	490	A2L
R-454C	R-404A	R-1234yf/32	blend	150	A2L
R-513A	R-134a	R-1234yf/134a	blend	600	A1
R-1234yf	R-134a	-	HFO	< 1	A2L
R-1234z(E)	R-134a	-	HFO	< 1	A2L

Forrás: UNP 2016b; www.chemours.com

CFC-k → HCFC-k → HFC-k

HFO-gázok => hosszú távon bizonytalan kimenet?

Természetes hűtőközegek => hosszú távon már beváltak.

3. ábra: Átmenetek és dilemmák

2. sz. táblázat

GWP szintek osztályozása

GWP érték	Osztály
<30	Rendkívül alacsony, elhanyagolható
<100	Nagyon alacsony
<300	Alacsony
300-1000	Közepes
>1000	Magas
>3000	Nagyon magas
>10.000	Rendkívül magas

Forrás: UNEP, RTOC 2014 jelentés

Az ammónia nem kompatibilis a rézzel és emiatt nem használatos sem hermetikus, sem fél-hermetikus kompresszorokhoz, amelyek esetében az elektromotor réztekercseléssel készül. Újabban azonban megjelentek a piacon alumínium-tekercselésű elektromotorral rendelkező, ammóniát használó félhermetikus folyadékű hűtők. Az ammóniás hűtők bekerülési költsége magasabb, mint a fluor-alapú hűtőké, ám az életciklusra vetített költségük a jobb energiahatékonyság miatt alacsonyabb. Az ammóniás fél-hermetikus kompresszorok tömegtermelése esetén a bekerülési költség is csökkenni fog. A kezdeti szakaszban persze nyilván szükségesek lesznek ösztönző intézkedések.

Ha félhermetikus kompresszorokat használunk ammóniás rendszerekben, megnyílik az ammóniával működő hermetikus kompresszorok gyártásához vezető út is. A hermetikus és félhermetikus ammóniás kompresszorok nagy kihívást jelentenek. Az ilyen termékek lehetővé fogják tenni az ammónia használatát kis és közepes méretű kereskedelmi rendszerekben, mégpedig alacsony ammónia-töltettel, amely emberekre többnyire nem lenne veszélyes. Ha ezekhez az új technikai körülményekhez hozzávesszük az alumínium

mikroszatornás hőcserélők használatának a lehetőségét, akkor a kis és közepes ammóniás rendszerek forradalmi változást hozhatnak a kereskedelmi hűtésben és légkondicionálásban. Valójában nincs különösebb műszaki akadálya, hogy megkezdődjön a kis és közepes méretű ammóniás rendszerek gyártása. Mai állás szerint a fő probléma az összetevők ára. Ez azonban ösztönző intézkedésekkel kiküszöbölhető a kezdeti szakaszban, a tömegtermelés beindulása érdekében.

Hrnjak (2017) részletesebben is leírja az alacsony töltetű ammóniás rendszereket, lásd a 3. táblázatban felsorolt kereskedelmi forgalomban kapható ammóniás hűtők listáját.

Lamb (2016) egy kompakt rendszert mutat be léghűtéses kondenzátorral és szivattyú nélküli alumínium elpárologtatóval, melynek ammónia-igénye kevesebb, mint 0,5 kg/kW.

A CO₂ rendszerekben található kompresszorcsoport (rack) ötlete ammóniás rendszerekben is alkalmazható, bár más okból: 2 vagy több körösen kialakítani a rendszert. A léghűtött kondenzátor lehet egy egységben a megfelelő számú hűtőkörökkel. Az elpárologtatóknál lévő körök száma a felhasználástól függ. Így az ammóniatöltet megoszlik két vagy több egymástól független rész (kör) között és hiba esetén a szivárgás mértéke is kisebb. Ez a koncepció tehát növeli a biztonságot, a kisebb hűtőközeg-igényű hűtőkörök közötti megosztás miatt.

8.2 CO₂ hűtőrendszerek

A szén-dioxid hűtőközegként való „újjaéledését” Gustav Lorentzen kezdeményezte 1992-ben. A CO₂

3. sz. táblázat

Kereskedelembe kapható ammóniás hűtők listája a teljeség igénye nélkül (Hrniak, 2017)

Légűtés	Kapacitás (kW)	Töltet (g/kW)	Vízűtés	Kapacitás (kW)	Töltet (g/kW)
<u>Hrniak & Litch</u>	13	18	Palm, <u>KTH-Sherpa</u>	9	11
CTS – AMCHIL 5	20	22	ILKA MAFA 100.2	108	23
<u>Cecchinato</u>	120	84	ABB (York) BXA	108	157-43
<u>Refcomp</u> VKA16-14	16	125	<u>Gram</u> (York) LC	38-228	228-37
York YSLC F4F00UW	220	129	<u>Sabroe</u> (York) PAC	57-1074	172-36
<u>N.R.Koeling</u> LK 25	25	159	<u>Mycom</u>	270	370
<u>Evapco</u>	100-200	400			

rendszerek valójában 2010 körül, főként Észak-Európában kezdtek ismét hódítani, mivel a hagyományos kiépítésű transz-kritikus rendszerek forró éghajlaton kevésbé hatékonyak. Sokáig (2014-ig) megfigyelhető volt egy úgynevezett „CO₂-egyenlítő”, amely alatt a szén-dioxidos rendszerek kevésbé hatékonyak és ezért nem javasolták alkalmazásukat. Mindazonáltal a legújabb technológiai innovációk a CO₂-egyenlítő is kezdik áttörni és így a CO₂-rendszerek már a melegebb klímájú régiókban is működnek.

Ona et al. (2017) szerint Európában a transzkritikus CO₂ hűtőrendszerekkel rendelkező áruházak száma 2017-ben 9.000 volt. Becslések szerint ez a szám 2020-ra 25.000 db-ra fog emelkedni, 2025-re pedig 55.000 db-ra. Ha a CO₂ rendszerek a kisebb üzletek számára is egyszerűbbek és olcsóbbak lesznek, akkor várhatóan versenyképesebb lesz ez a típus a HFC-rendszerekénél.

A szén-dioxid könnyedén és hatékonyan alkalmazható hőszivattyúkban használati melegvíz előállítására. Japánban több millió ilyen hőszivattyú működik (Eco-Cute néven), mivel a kormány állami szubvenciókkal támogatja használatukat.

A végfelhasználók (mint például a szupermarketek) általában több különféle hőmérsékletű hűtést igényelnek (pl. hűtőpultokban és hűtőhelyiségekben), emellett fűtést, meghatározott területek légkondicionálását és melegvíz-ellátást. A CO₂-rendszerekben rendkívül sok lehetőség rejlik. Egy integrált CO₂ rendszer egy időben képes akár -50 C fokos hűtést, légkondicionálást, a szükséges tér fűtését és melegvíz-ellátást biztosítani (Hafner, 2017). Ez felülmúlja bármely más HFC rendszer teljesítményét az energiahatékonyság szempontjából.

Az elmúlt néhány évben a transzkritikus CO₂-rendszerek a nagy hűtőkapacitást igénylő ipari felhasználás céljára is kezdenek érdekessé válni. Számos példa bizonyítja Európában, hogy a széndioxid ebben a szegmensben is egyre versenyképesebb (Ona, 2017).

Több ország is bejelentette már, hogy csökkentik a hagyományos üzemanyaggal működő autók számát és ehelyett az elektromos autókat kezdik támogatni.

Várható, hogy az elektromos autók elterjedése egyre gyorsul és úgy tűnik, hogy már a közeljövőben átveszik a vezetést a benzinüzemű autókkal szemben. Az elektromos autók utasterének fűtése viszont nagy problémát jelent, mivel az ellenállással való fűtés épp a jármű üzemeléséhez szükséges, roppant értékes áramot veszi el. Célszerűbb megoldás egy hűtésre és fűtésre egyaránt alkalmas megfordítható üzemű hűtő-fűtő légkondicionáló. Ez nagy lehetőség a CO₂ légkondicionáló egységek számára, melyek fűtő üzemmódban hatékonyabbak, mint a HFO hőszivattyúk.

Úgy tűnik, hamarosan a szén-dioxid lesz az egyes számú hűtőközeg.

8.3. HC hűtőrendszerek

A HC-600a az elsődleges hűtőközeg-opció az új háztartási hűtők gyártásához. Előrejelzések szerint 2020-ra globális szinten az új hűtőknek kb. 75%-a HC-600a-val fog működni (UNEP-2, 2016b).

A kereskedelmi hűtés terén a kompakt rendszerekben egyre gyakrabban helyettesíti az R404A-t és az R22-t az R290, akár 150 g-os hűtőközeg-igénnyel. A hűtőközeg töltetek korlátai továbbra is behatárolják a HC-hűtőanyaggal működő berendezések nagyságát. Több gyártó is jelezte, hogy az R290-nel üzemelő egységek energiahatékonysága (kb. 10%-kal) jobb, mint a hasonló, de R404A-t használó egységeké (IIR, 2016).

Egyre inkább tért hódítanak a szobai légkondicionáló egységek (split rendszerek), főként a HCFC-22-t és HFC-410A-t alkalmazó fejlődő országokban. Kína évente 100 millió légkondicionáló egységet gyárt le, melynek 40%-át exportálják (Hydrocarbons21.com, 2017). A HCFC fokozatos kivezetéséhez kapcsolódóan Kínában és Indiában számos új, R290-re alapozott gyártósort telepítettek és tanúsítottak a GIZ-Proklima támogatásával. A 4. sz. táblázatban láthatóak az ide vonatkozó műszaki adatok.

4. sz. táblázat

R290-üzemű AC egységek műszaki adatai; kínai és indiai projektek (Wypior, 2014)

Projekt helyszíne	Hűtőkapacitás (kW)	COP (EER)	Töltet (g)
Kína	2,70	3,55	265
Kína	3,50	3,52	330
India	3,34	3,70	300

Az R290-nek AC-egységekben hűtőközegként történő alkalmazása a következő előnyökkel jár: magasabb energiahatékonyság, nagyon alacsony GWP (=3), magasabb hűtőkapacitás és teljesítményi együtttható, valamint olcsóbb hűtőközeg. Kihívást jelent a gyúlékonyság és a korlátozott töltet nagyság (a szoba méreteihez viszonyítva) a szabványok és építési szabályozások miatt. Rugalmasabb biztonsági előírások bevezetése lenne szükséges a piac elősegítése és a biztonsági szint javítása érdekében, a beüzemelési és szervizelési képzéseket is ideértve. 2016-ig 250.000 db R290-üzemű split klíma berendezést értékesítettek Indiában, Kínában pedig idén (2017-ben) 100.000 db ilyen berendezés értékesítése várható (Denzinger, 2016).

Xu et al (2016) tanulmányában egy újszerű, alacsony töltetű mikrocsonkás kondenzátor AC split klímában történő alkalmazását javasolta és vizsgálta meg kísérleti jelleggel. A hűtőkapacitást 3,2 kW-ra növelték, míg az optimális R290 töltet 190 g-ra csökkent. Ha további komponensek (mint pl a kompresszor) továbbfejlesztése is megvalósul, a rendszer hűtőközeg-igénye akár 150 g-ra is lecsökkenhet, így megfelelve az IEC biztonsági előírásoknak.

Nagyobb hűtőkapacitáshoz (pl 7 kW) esetleg kivitelezhető az R290-es légkondicionáló egység két hűtőkörrel (a kondenzáló egységben két kompresszorral). Ez a kivitel ugyan drágább, de minden szempontot figyelembe kell venni a hagyományos HFC-rendszerrel való összehasonlításban.

8.4. Megjegyzés

A jelen áttekintés nem foglalkozik a vízzel (R718), sem a levegővel (R729). Ezek is a természetes hűtőközegek csoportjába tartoznak, és főként az R718 nagyon kedvező lehetőségeket rejt magában. Ahhoz azonban további kutatás és fejlesztés szükséges, hogy az egyéb konvencionális hűtőtechnológiákkal versenyképesek legyenek.

8.5. NIK technológiák

A jelen tanulmány nem foglalkozik az egyéb jellegű (Not-in-kind: NIK) hűtéstechnológiákkal. Mindemellett az abszorpciós és adszorpciós berendezések, magneto-kalorikus egységek és más technológiák tekintetében szabad az út a további kutatásra, hogy vajon fenntartható és gazdaságilag életképes megoldásnak bizonyulnak-e. Az abszorpciós készülékek versenyképesek néhány specifikus, veszteség hő felhasználó alkalmazásban, a villanyáram, fűtés és hűtés kombinált előállításában (trigenerálás), jövőbeli perspektívát jelentenek a napenergia használatára a légkondicionálásban, stb.

9. Diszkusszió és következtetések

A Montreáli Jegyzőkönyv deklarálta a világ leg-sikeresebb egyezménye, mely 2010-ben elérte a CFC-gázok teljes kivezetését; azonban néhány tény ellentmond ennek. A Montreáli Jegyzőkönyv testületei figyelmen kívül hagyták a klímaváltozás ügyét és legelőször csak 2007-ben említették dokumentumaik között, e téren bármilyen további intézkedés nélkül. Tulajdonképpen a Montreáli Jegyzőkönyv adott szabad utat a HFC-hűtőgázok számára. Micsoda képmutatás, hogy ezek után a Montreáli Jegyzőkönyv Kigali Módosítása kezdeményezte 2016-ban a HFC-gázok fokozatos betiltását (UNEP-3, 2017)! Ez a folyamat 2036-ig fog tartani a fejlett országokban és 2047-ig a fejlődő országokban, hogy elérjék a HFC-gázok 85%-os szintre való csökkentését. Azt jelenti ez, hogy a Montreáli Jegyzőkönyv teljes folyamata 60 évet fog felölelni (1987-től 2047-ig)?! Vagy akár tovább is eltarthat, ha elterjednek a HFO-hűtőközegek és később valamilyen ártalmas környezeti hatásukra derül fény? S vajon hány ezer ember munkája szükséges a nemzetközi és államszintű adminisztrációban az export-importról, a CO₂-egyenértékben kifejezett megengedett F-gáz kvótákról, engedélyekről, vámügyintézésről, szivárgásmennyiségekről stb. szóló adatgyűjtéshez? Vajon hány ezer embert – végfelhasználókat, szerviztechnikusokat, mérnököket, hűtő- és klímaberendezések gyártóit, stb. – fog ez közvetetten vagy közvetlenül érinteni?

A HFC-gázok legjobb alternatívái a természetes hűtőközegek, mint pl. az ammónia, a széndioxid és a szénhidrogének, azonban ezeknek is vannak korlátai: toxicitás, gyúlékonyság és gyenge anyagkompatibilitás. Ezeket általában orvosolni lehet a célnak megfelelő konfigurációval és a berendezés helyes karbantartásával. Bár a biztonsági szintek fenntartása és a kockázatok minimalizálása elengedhetetlen, de a szabványoknak, osztályba sorolásoknak és jogszabályoknak követnie kellene a műszaki fejlődést és lehetővé kellene tennie a környezetet jobban kímélő alternatívák alkalmazását (Európai Bizottság, 2016).

A természetes hűtőközeg üzemű berendezések bekerülési költsége bizonyos ipari szegmensekben gyakran magasabb, mint a HFC-alapú rendszereké (pl. ammóniás folyadékűtők esetében). A berendezés költsége azonban csökken, ahogy a termelési kapacitások nőnek és a piacon egyre több szállító jelenik meg; ez alapvető közgazdasági elv. Ezen túl a teljes életciklus költsége relevánsabb, mint az első költségek, nem beszélve a környezetvédelmi szempontok figyelembe vételéről.

A hűtéstechnika, ideértve a klimatizálást és a hőszivattyú technológiát, a világ elektromos áram fogyasztásának több mint 17%-át teszi ki (Coulomb,

2016). A hűtéstechnika alkalmazás a jövőben is egyenletesen emelkedni fog, főként a világ népességének 81%-át kitevő fejlődő országokban. Ciconkov (2010) tanulmányában részletesen kifejtette a természetes hűtőközegeknek a fejlődő országokban való alkalmazását akadályozó problémákat és különböző javaslatokat terjesztett elő.

Még a fejlett országokban sincs elég képzett szakember, akik jártasak lennének a természetes hűtőközeget, főként CO₂-t alkalmazó technológiákban. Szükséges lenne egy pénzügyi alap felállítása, ami arra szolgálna, hogy a fejlődő országokban a természetes hűtőanyagok felhasználásáról szóló oktatást támogassa. A Montreáli Jegyzőkönyv Multilaterális Alapja és meglévő ózon-hálózata is részt kellene hogy vegyen ennek az akadálnak a leküzdésében. Ez a tevékenység közvetlenül hozzájárulna a HCFC-gázok fokozatos kivezetéséhez és a HFC-gázok csökkentéséhez, miért várnánk?

Több mint 30 éve beszélünk a CFC-gázok kitiltásáról, most pedig a HFC-gázok lecsökkentéséről, tömérdek a vitatkozás, az elvesztegetett idő, az elköltött pénz, az átmeneti hűtőanyagok, tréningek.

Ahelyett, hogy a HFC-gázok kivezetésével, a hűtőközeg-mennyiségek csökkenésével, a rendszerek átalakításával, környezetvédelmi adókkal, adatgyűjtéssel, korlátozásokkal stb. lennének elfoglalva, **próbáljunk ki egy új megközelítést: az ammónia, CO₂ és szénhidrogének, tehát A TERMÉSZETES HŰTŐKÖZEGEK BEVEZETÉSÉT.** Ezek az ózon- és klímabarát hűtőanyagok hosszú távú és fenntartható megoldást jelentenek.