

R744 (CO₂) mint hűtőközeg – alapok és megfontolások 2. rész

Hogyan teljesít a CO₂ versenytársaival szemben?

A cikksorozat első részében az R744 (CO₂) használatával kapcsolatban bevezettünk néhány alapfogalmat. Miközben 1-es (GWP) értékű üvegházhatása rendkívül alacsony, ami figyelemreméltó a környezet szempontjából, az R744 jellemzői és magasabb működési nyomása új megfontolásokat igényel a felhasználás és alkalmazás vonatkozásában a tradicionális rendszerekhez képest.

Az előző cikkben összefoglaltuk az R744 tulajdonságait, és megvizsgáltuk hogyan illeszkedik a hűtőközeggel szembeni tradicionális és újonnan felmerülő követelményekhez. Szintén megemlítettünk néhány okot, amiért a CO₂ hűtőrendszer eltér a hagyományostól, nevezetesen az egyes környezeti hőmérsékleteknél fellépő transzkritikus üzem miatt szükséges tervezési szempontokat.

Cikkünkben folytatjuk az áttekintést, számba véve az R744 potenciális kockázatait, összehasonlítva a CO₂-t más tradicionális és új hűtőközeggel, mérlegelve előnyeiket és hátrányaikat.

Az R744 veszélyei

Az R744 nem tűzveszélyes, de nagy a nyomása, magas koncentrációban toxikus, továbbá alkalmazásakor számolni kell a szárazjég képződés lehetőségével. Cikkünk ismerteti néhányat a veszélyek közül és általános útmutatást ad ezek csökkentésére. A rendszerek tervezésre vonatkozó részletesebb információk, melyek segítséget adnak a veszély minimalizálására, későbbi cikkekben kapnak majd helyet.

Fulladásveszély

Az R744 szagtalan, nehezebb a levegőnél és fulladást okoz. Az R744 határértéke - mérgező tulajdonsága miatt - a gyakorlatban alacsonyabb a HFC hűtőközegeknél. (A HFC közegek nem mérgezőek.):

- R744 határértéke a gyakorlatban: 0.1 kg/m³ (56,000 ppm);
- R404A határértéke a gyakorlatban: 0.48 kg/m³ (120,000 ppm)

Megjegyzés: A gyakorlati határértéket az EN378 rögzíti, de a helyi szabályozás eltérhet ettől.

A CO₂ TLV küszöbértéke 5000PPM (0.5%), az Ammónia TLV értéke 25 PPM (0.0025%), ami a legmagasabb 8 óra időtartamra vonatkozó érték.

Az 1. táblázat összefoglalja a CO₂ levegőben mért különböző koncentrációinak a hatását.

1. táblázat: CO₂ hatása különböző levegőben mért koncentrációknál

CO ₂ PPM	Hatás
370	Az atmoszférában mérhető koncentráció
5000	Hosszú időtartamú kitettség (8 óra) határértéke
15000	Rövid időtartamú kitettség (10 perc) határértéke
30000	Rossz közérzet, légzési nehézség, fejfájás, szédülés, stb.

100000	Eszméletvesztés, halál
300000	Azonnali halál

Amennyiben szivárgás miatt a R744 koncentráció zárt térben (pl. hűtőkamrában) a gyakorlati határérték fölé emelkedhet, gondoskodni kell a fulladás elleni védelemről. Ez lehet szivárgás érzékelő, ami riaszt szivárgás esetén.

Magas nyomások

Az R744 rendszerek a hagyományosnál jelentősen magasabb nyomásokkal üzemelnek különösen, amikor a környezeti hőmérséklet a kritikus pont fölé kényszeríti működésüket. Ennek következtében a rendszer elemek, csővezetékek szerszámok és készülékek kialakításának garantálnia kell a biztonságos működést a magasabb nyomáson (Lásd részletesebben a 2. táblázatban). Meg kell jegyeznünk, hogy némely rendszernél (pl. kaszkád rendszer) a nyomás leálláskor magasabb lehet, mint a maximális névleges szívónyomás érték (PS), (és következésképpen a lefúvató szelep beállítási értéke). A lefúvató szelep hiba esetén, pl. áramkimaradáskor nyitni fog.

2. táblázat: R744 nyomásai álláskor illetve a tipikus működési nyomások

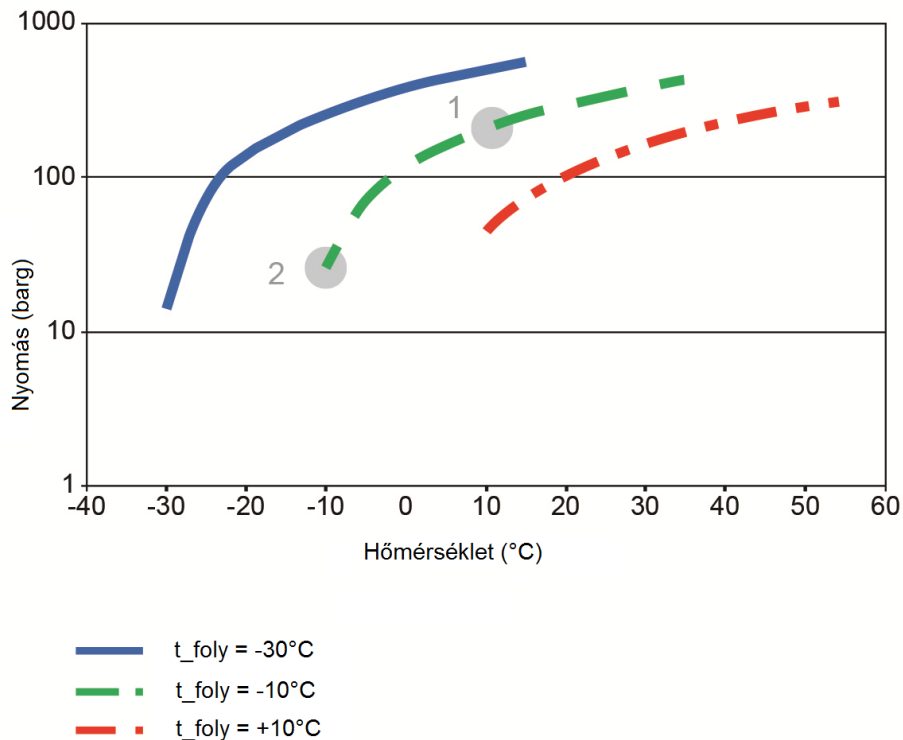
Álláskor 50°F (10°C) környezetnél	638 psig (44 barg)
Álláskor 86°F (30°C) környezetnél	1031 psig (71,1 barg)
Alacsony hőmérsékletű elpárolgató (fagyasztott áru)	145 – 218 psig (10 – 15 barg)
Normál hőmérsékletű elpárolgató (hűtött áru)	363 – 435 psig (25 – 30 barg)
Kaszkád kondenzátor	435 – 508 psig (30 – 35 barg)
Kaszkád magasnyomás védelem (nyomóoldal)	522 psig (36 barg)
Kaszkád lefúvató szelep (nyomóoldal)	580 psig (40 barg)
Transzkritikus nyomóoldal	1305 psig (90 barg)
Transzkritikus magasnyomás védelem (nyomóoldal)	1566 – 1827 psig (108 – 126 barg)
transzkritikus lefúvató szelep (nyomóoldal)	1740 – 2030 psig (120 – 140 barg)

A lefúvatósi nyomás érték elérésnek megakadályozásához, ami előfordulhat áramkimaradáskor vagy a rendszer váratlan leállásakor, a rendszer egy kiegészítő hűtést kaphat. Ez tipikusan egy segéd (szünetmentes) áramforrásról működik, és bekapcsol, ha a nyomás egy beállított érték fölé emelkedne (ami alacsonyabb, mint a maximális megengedett szívónyomás PS de magasabb, mint a normál működési nyomás). A kiegészítő hűtés úgy van méretezve, hogy leálláskor, amikor nincs terhelés, (eltekintve a környezetből felvett hőtől) elegendő hőt vonjon el a nyomás biztonságos alacsony oldali határérték alatt tartása érdekében.

Az R744 rendszert óvatosan kell tölteni. A maximális működési nyomás némely rendszernél (úgy mint a kaszkád rendszerek és transzkritikus rendszerek egyes részei) normál esetben alatta van a töltőhenger nyomásának. Ezeket a rendszereket lassan, óvatosan kell tölteni, nehogy a biztonsági szelep kinyisson. Ezt a témát egy későbbi cikkben részletesebben tárgyaljuk.

Bezárt folyadék

Az R744 tágulási együtthatója jelentősen magasabb, mint a többi hűtőközeg esetében. Ennek gyakorlati hatása szelepek közé zárt folyadék esetében az 1. ábrán látható



1.ábra: Bezárt R744 folyadék nyomása és hőmérséklete közötti kapcsolat

Forrás: Danish Technological Institute

A példa 20K hőmérséklet emelkedés hatását mutatja be egy -10°C kezdeti hőmérsékletű bezárt folyadéknál. A nyomás 44 bar-ról közelítőleg 240 bar-ra fog emelkedni. Ennek potenciális a lehetősége kaskád rendszer folyadék vezetékében és ehhez hasonló helyzet fordulhat elő a rendszer más részein illetve egyéb R744 rendszereknél. Ökölszabályként, minden 1°K hőmérsékletemelkedés 10 bar nyomásemelkedést okoz a bezárt R744 folyadéknál.

A bezárt folyadék nyomása minden esetben emelkedik, de az R744 nyomásemelkedése sokkal nagyobb mértékű, mint más hűtőközegeké. Súlyosbítja a helyzetet, hogy a bezárt R744 valószínűleg alacsony hőmérsékletű, így a hőmérsékletemelkedés lehetősége nagyobb, mint más hűtőközegeknél.

Minden esetben, ahol folyadék bezárás lehetősége fennáll, akár üzemeléskor akár szerviz közben, a rendszert el kell látni nyomáscsökkentés védelemmel. A védelem módjaira a következő cikkekben térünk ki a R744 rendszerek tervezési kérdéseinél.

Szárazjég

Szárazjég (szilárd R744) akkor képződik, amikor az R744 nyomása és hőmérséklete a hármaspont ($4,2\text{barg} / -56^{\circ}\text{C}$) alá csökken. Ez megfelelően működő rendszer esetében nem következik be, de előfordulhat az alábbi esetekben:

- R744 gőzt fuvat le a biztonsági szelep
- R744 elengedése szerviz alkalmával (pl. alkatrész csere)

- Vákuumolt rendszer töltése (nyomás 4,2 bar alatt)

A szárazjég miután létrejött nem tágul, de gázzá alakul, ha hőt vesz fel (pl. a környezetből). Amennyiben a szárazjég a rendszeren belül van, a környezetéből hőt vesz fel és gázzá alakul, ami jelentős nyomásnövekedést eredményez:

- Megfelelő nyomáscsökkentő szelepeket kell alkalmazni – lásd további információért és a biztonsági szelepek alkalmazásával kapcsolatban a rendszer kialakításról szóló későbbi cikkeket;
- Mikor szerviz alkalmával R744-et engedünk el a rendszerből, ezt folyadék állapotban kellene megtenni, a rendszerben levő nyomás figyelése mellett. R744-et mindig épületen kívülre kell elengedni.

Fagysérülés

Szárazjég vagy folyékony R744 érintése fagysérülést okoz, ezért kerülendő. Védőkesztyű és szemüveg használata szükséges az R744-el való munkához. (A szárazjég felületi hőmérséklete -78.5 °C).

R744 összehasonlítása más hűtőközegekkel

A 3. táblázat az R744 más hűtőközegekkel való alapvető összehasonlítását tartalmazza, ezek között vannak jelenleg általánosan használt és jövőbeni használatra most bevezetésre kerülők. Az összehasonlítás egyszerű közlekedési lámpának megfelelő jelöléseket használ és alapértékként közönséges HFC-eket alkalmaz, mint amilyen az R404A és R134a.

Ez a lehetőségek egy nagyon egyszerű bemutatása – világszerte jelentősen eltérő a helyzet, a hűtőközegek, rendszerelemek elérhetősége és a szakértelem szempontjából.

A kereskedelmi hűtésben egy jól megtervezett és kivitelezett R407A/F rendszernek jobb a hatásfoka, mint az R744 rendszereknek (mindemelllett az R744 az északi klímán hatékonyabb). Ellenben az általános környezeti hatás szempontjából az R744 jobban teljesít, elsősorban szivárgás esetén az alacsony GWP értéke miatt.

3. táblázat: R744 összehasonlítása más hűtőközegekkel

	R744	HFOs	HCs	R717
Teljesítmény	Green	Orange	Orange	Orange
Hatásfok	Orange	Orange	Green	Green
Nyomás	Red	Orange	Orange	Orange
Környezeti hatás	Green	Orange	Green	Green
Gyűlékonyság	Green	Red	Red	Red
Toxikusság	Orange	Orange	Green	Red
A hűtőközeg elérhetősége	Orange	Red	Red	Green
Hűtőköri elemek elérhetősége	Orange	Orange	Green	Green
Rendelkezésre álló szakértelem	Orange	Red	Orange	Red
Hűtőközeg ára	Green	Red	Green	Green
Rendszer bekerülési költsége	Red	Orange	Orange	Red

	HFC-hez hasonló a hűtőközeg
	HFC-hez képest rosszabb a hűtőközeg
	HFC-hez képest jobb a hűtőközeg

HFO: Hidro Fluor Olefin, pl. R1234yf
 HC: Hidro Karbon, pl. R290
 R717: Ammónia

Az R744 mint hűtőközeg előnyei és hátrányai

Az R744 mint hűtőközeg, a következő előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik. A hátrányok kisebbnek tűnnek az előnyökhöz képest, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy hatásuk jelentős az R744 rendszer biztonsága és megbízhatósága szempontjából.

4. táblázat R744 mint hűtőközeg előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
<p>Nagy hűtőteljesítmény a magas volumetrikus teljesítménynek köszönhetően (kb. 5x nagyobb, mint R404A esetében). Pozitív a hatása a kompresszor szállítóteljesítményére, a hőcserélők és csövezetékek méretére.</p> <p>Alacsonyabb nyomásesés a vezetékben és hőcserélőkben. Pl. hosszú folyadék és szívócső esetén.</p> <p>Jó hőátadás az elpárologtatón és kondenzátoron a magas nyomásnak és sűrűségnek köszönhetően. Ez egyrészt kisebb hőfoklépcsőt tesz lehetővé a hűtőközeg és levegő között növelve a hatásfokot, másrészt lehetőséget biztosít kisebb elpárologtató vagy kondenzátor kiválasztására. Növelt falvastagság szükséges a magasabb nyomások miatt, ezért az R744 rendszer körültekintő tervezést igényel.</p> <p>A nyomásesés az adagolószelepen nagyobb, mint más hűtőközegeknél, ezért alacsonyabb kondenzátornyomás engedhető meg, ami növeli a hatásfokot.</p> <p>A kisebb nyomásviszony magasabb izentropikus hatásfokot eredményez.</p> <p>A legtöbb anyaggal szemben nem korrozív. Nagyon kicsi az eltérés a HFC rendszerekben használt anyagokhoz képest.</p> <p>Az olajjal való jó keveredés megkönnyíti az olaj visszavezetést.. Poliészter olajok ugyanúgy használhatók, mint HFC közegeknél.</p> <p>Alacsony toxicitású és nem gyúlékony</p> <p>GWP értéke alacsony, szivárgáskor a direkt klimatikus hatás elhanyagolható.</p> <p>Előállítása olcsó, könnyen beszerezhető, habár az R744 hermetikus és félhermetikus kompresszoros berendezésekben alkalmazva hűtőközeg minőségű, azaz 99,99% tisztaságú, kell legyen.</p> <p>Nyomógáz hőmérséklete magas, a nagy kompressziós index következtében. Ezzel jó lehetőséget biztosít hő visszanyerésre. Megjegyezzük – transzkritikus rendszerekben a nyomógáz hőmérséklet rendkívül magas, ami nagy eltérést eredményez az elpárolgás és a hő leadás szintje között.</p> <p>A stabil szerkezet kis esélyt ad a molekulák lebomlásnak</p>	<p>A magas nyomások működés közben és leálláskor veszélyt jelentenek, növelik a szivárgás kockázatát. A komponensek speciális kialakítást igényelnek.</p> <p>Speciális kompresszorok szükségesek a nagyobb hűtőteljesítmény miatt (eltérő motor / szállítóteljesítmény arány).</p> <p>Az R744 rendszer akár kaszkád, akár transzkritikus, komplexebb kialakítású. Ez növeli a komponensek és a telepítés költségét.</p> <p>A csövezéshez acél vagy rozsdamentes anyag, speciális hegesztés, eltérő csatlakozás kialakítás szükséges a magasabb nyomások és eltérő anyagok miatt.</p> <p>A bonyolultabb kialakítás nagyobb esélyt ad a tökéletlen működésnek és csökkenti a megbízhatóságot, különösen, ha a beüzemelés nem a leg gondosabban történik</p> <p>Transzkritikus rendszereknél fagyasztott áru hűtésénél az R744 magas nyomógáz hőmérséklete miatt kétfokozatú kompresszió szükséges.</p> <p>R744 transzkritikus rendszerek nem alkalmasak magas környezeti hőmérsékletre, pl. délkelet Ázsia, ahol mindig a kritikuspont felett, nem hatékony transzkritikus üzemállapotban működnek.</p> <p>Az R744-re nincsen olyan szabályozás, mint az Európai F-gáz rendelet, így használata nem áll olyan alapos ellenőrzés alatt, mint a HFC közegek esetén, és a szivárgás ellenőrzése sem olyan szigorú. Mindemellett a magas nyomás miatt a rendszert szivárgásra hajlamos, ami rossz hatású a teljesítményre, ha a szivárgási ráta magas.</p> <p>Vízszennyeződésre nagyon érzékeny, és szokatlan vegyületek képződhetnek, ha szivárgás lép fel a kaszkád hőcserélőben.</p>

a hűtőrendszeren belül.

Nem várható a közeljövőben az R744 korlátozására vagy kivonására vonatkozna jogszabály, így az hosszú távú hűtőközegnek tekinthető.

A sorozat következő cikkeiben az R744-et érintő további témákat tárgyalunk meg részletesebben, beleértve a R744 rendszerek általános aspektusait, a kaszkád, a transzkritikus kétlépcsős és közvetítőközeges rendszerek tervezésével kapcsolatos specifikus információkat továbbá a beüzemelés, üzemeltetés és szerviz kulcsfontosságú kérdéseit.

E cikk tartalma először a „Commercial CO2 Refrigeration Systems: Guide for Subcritical and Transcritical CO2 Applications” című segédletben került közlésre. A teljes segédletet az EmerconClimate.com honlapról lehet letölteni.