Szupermarket-architektúrák ökohatékonyságának összehasonlítása

A HONEYWELL REFRIGERANTS 2017. JÚLIUSI CIKKE – SZERZŐK: NACER ACHAICHIA, TECHNOLOGY LEADER EMEAI / PAVEL WISNIK, SENIOR APPLICATION ENGINEER.

A kereskedelmi hűtés ágazatát a magas GWP-jű (globális felmelegedési potenciálú) közegek, például az R-404A használata és a magas szivárgási arányok miatt világszerte a politika és a törvényalkotók felügyelik. Európában az F-gáz rendelet tiltja a magas GWP-jű hűtőközegek alkalmazását, továbbá a CO_2-egyenérték függvényében a HFC-k használatának fokozatos csökkentését írja elő. A jövő megoldását az alacsony GWP-jű hűtőközegek jelentik. Az F-gáz rendelet szerinti előírások teljesítését és a kereskedelmi hűtési szektorban felhasznált energia mennyiségének csökkentését célzó különféle modern architektúrák kidolgozása napjainkban komoly kutatási-fejlesztési munka tárgyát képezi.

Jelenleg két olyan megoldás van terítéken, amelyek alkalmazásával a kereskedelmi szektor elérheti az F-gáz rendelet által kitűzött célokat. Az R-404A-t használó meglévő rendszerek esetén az alacsonyabb GWP-jű hűtőközegre való átállás a leggyorsabb, leggazdaságosabb és legkörnyezetkímélőbb megoldás. Új rendszerek esetén több architektúra is szóba jöhet. Az R-744/HFO vagy a közelmúltban kifejlesztett HFO-keverékek kombinációja további előnyöket kínálnak a biztonság és a teljesítmény terén.

A különféle architektúrák mind környezeti, mind gazdasági hatásokat figyelembe vevő összehasonlítására az egyik legmegfelelőbb mutató az ökohatékonyság.

Az ökohatékonyság fogalma

A hűtőrendszerek ökológiai lábnyomának számszerűsítésére több módszert is kidolgoztak. Az egyszerűsége miatt több törvényalkotó által is használt GWP a kibocsátás környezetre gyakorolt közvetlen hatásának mérőszáma. A GWP a szivárgási aránytól függően a környezeti hatások összességének legfeljebb 10–35%-ért felelős. A TEWI (teljes egyenértékű felmelegítő hatás) a közvetlen és közvetett hatások mutatója, vagyis a hűtőrendszer üzemeltetéséhez közvetetten szükséges energiafelhasználást is tartalmazza. A GWP-vel ellentétben a TEWI a környezeti hatásnak akár 95%-át is lefedheti. A hiányzó hatásokat csak teljes körű LCCP-elemzéssel (élettartamra eső összes éghajlati hatás) lehet meghatározni. Itt már azonban feltételezéseket kell felállítani, konkrétan az alkatrészek és a közegek előállításához, a berendezések szállításához és összeszereléséhez, a karbantartáshoz és szervizeléshez, a selejtezéshez stb. szükséges szürke energiára vonatkozóan, ami nehezíti a becslést, és a pontosságra sincs kifejezetten jó hatással.

Az említett mutatók közös hibája, hogy mindegyik egydimenziós. Minden rendszer környezeti hatása csökkenthető jobb teljesítményű alkatrészek, nagyobb kondenzátorok, ejektorok stb. használatával. Más szóval mindig javítható a környezeti hatás, ha az adott rendszerre eső kiadásokat tetszőlegesen növelhetjük. A rendszer összköltsége tehát fontos paraméter, amit a rendszerek környezeti teljesítményének összehasonlításakor figyelembe kell vennünk. **Az ökohatékonyság egy olyan kétdimenziós mutató, amely a rendszerek környezeti hatásait és teljes használati költségét egyaránt figyelembe veszi.**

Kereskedelmi hűtési architektúrák

A mérnökök azért dolgoznak új architektúrák kifejlesztésén, hogy csökkenteni tudják a szupermarketek ökológiai lábnyomát, és meg tudjanak felelni a szabályozásoknak. Az összehasonlításhoz hat olyan architektúrát választottunk ki, amelyek a jelenleg használt főbb rendszereket és az alacsony GWP-jű hűtőközeggel működő új rendszereket egyaránt jól lefedik.

❶ Centralizált DX (közvetlen elpárolgású rendszer) R-404A közeggel mind a mélyhűtésben (LT), mind a normálhűtésben (MT)

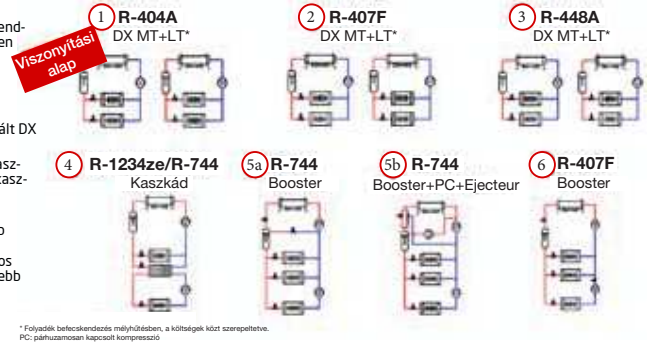
❷ Az 1. rendszerhez hasonló, de R-407F közeget használó centralizált DX

❸ Az 1. rendszerhez hasonló, de R-448A (Solstice® N40) közeget használó centralizált DX

❹ MT DX R-1234ze architektúrára és LT szubkritikus DX CO_2 architektúrára épülő kaszkádrendszer. Az LT CO_2 oldalon leadott hő kaszkádrendszerben kerül átadásra az MT HFO rendszerben.

❺ a) Transzkritikus CO_2 booster a hidegebb éghajlatú régiókba
b) Transzkritikus CO_2 booster párhuzamos kompresszióval és ejektorral a melegebb éghajlatú régiókba

❻ R-407F booster



* Folyadék befecskendezés mélyhűtésben, a költségek közt szerepeltetve.
PC: párhuzamosan kapcsolt kompresszió

Feltételezések

Az összehasonlításhoz egy tipikus, 2000 m^2-es szupermarketet vettünk alapul a pozitív oldalon (MT) 68 kW, a negatív oldalon (LT) 18 kW teljesítménnyel. Két eltérő európai régiót vizsgáltunk: egy hidegebbet, amit Hamburg (Németország) képvisel, és egy melegebbet, amit pedig Sevilla (Spanyolország). A hőmérséklet-változások adatait a 2016-os meteorológiai adatbázisból vettük. Mindkét régióban megállapítottuk a nappali és éjszakai havi középhőmérsékletet. A szupermarketek névleges terhelését a nappali hőmérsékletek szerint választottuk meg. Éjszakai hűtési terhelésként a névleges terhelés felével számoltunk, hogy figyelembe vegyük az energiaveszteségek nyitvatartási időn kívül jelentkező csökkenését.

A villamosenergia-fogyasztás számításánál a következő összetevőket vettük figyelembe: kompresszorok, a kondenzátorok ventilátorai, az elpárologtatók ventilátorai, a hűtőbútorok ventilátorai és világítása, jégtelenítő fűtőszálak (csak az LT egységekben), annak feltételezésével, hogy 24 óra alatt csak 4 alkalommal működnek, és minden jégtelenítési ciklus 30 percig tart. A felhasznált villamos energia költsége 0,097 euró/kWh, az erőműben ebből adódó CO_2-kibocsátás pedig 0,43 kg/kWh.

A beruházási költségek, vagyis a rendszer kezdeti költségei a vizsgálat kritikus fontosságú paraméterei. Mindegyik rendszerhez részletes költségvetést dolgoztunk ki, amelyben szerepeltek a kompresszorközpontok, a hőcserélők, a rendszer elemei (csővezetékek, szelepek, szigetelés, eredeti hűtőközeg-töltet nagysága, szerelvények és forraszanyagok). A hűtőrendszerek szokásos összetevőinek telepítésére vonatkozó normaórák alapján ugyanígy szerepeltettük a kivitelezési költségeket is (hőcserélők, kompresszorközpontok, csővezetékek, szigetelés, vezetékezés, rendszer üzembe helyezése stb.). Az összköltség része még az OPEX (működési költségek), amelynek alapjául a rendszeres karbantartási munkákat (olaj, szűrők cseréje, kisebb javítások) vettük figyelembe. Az elemzést az egységek 15 éves élettartamára vonatkozóan végeztük, évi 15%-os szivárgási arányt figyelembe véve.

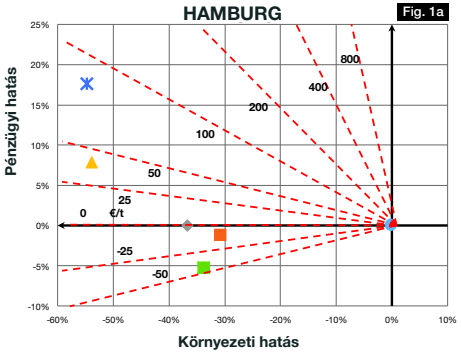
Eredmények

Az architektúrák szimulációját házon belül (Honeywell K+F) végeztük, a kompresszorok kiválasztásához és a hőcserélők kalibrálásához pedig külső féltől származó szoftvert használtunk.

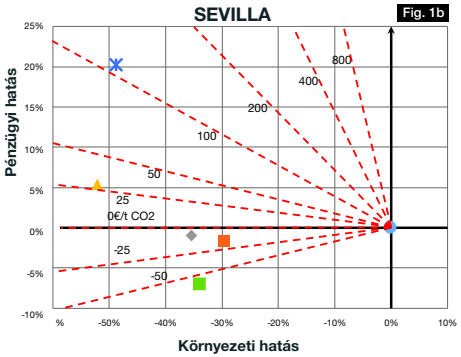
A kapott eredményeket az 1a ábrán látható, Hamburgra vonatkozó, és az 1b ábrán látható, Sevillára vonatkozó ökohatékonysági diagramokon mutatjuk be a viszonyítási alapként figyelembe vett R-404A rendszerhez képest %-ban.

HAMBURGRA ÉS SEVILLÁRA VONATKOZÓ ÖKOHATÉKONYSÁGI DIAGRAM

HAMBURG — Fig. 1a



SEVILLA — Fig. 1b



Az R-404A-val üzemelő referencia-rendszerhez képest mindegyik változat javulást mutat a környezeti hatások terén, de eltérő gazdasági hatásokkal.

A 2. és 3. architektúra nagyon hasonló a referenciához, csak a hűtőközegben különbözik attól (tipikus retrofit esete). A hűtőközeg környezeti hatása jelentősre adódik. Az R-407F-et és a Solstice® N40-et már sok szupermarketben alkalmazzák, nem csak alacsony GWP-jük, hanem a számos alkalmazásban – MT és LT esetben egyaránt – megmutatkozó energiamegtakarítás miatt is: mindkét anyag környezeti hatása kisebb, a teljes költségük pedig azonos vagy akár alacsonyabb. A legkisebb környezeti hatást a CO_2- és a HFO/CO_2 kaszkádrendszerek okozzák. Ez elsősorban a kisebb mértékű közvetlen hatásnak köszönhető, a felhasznált hűtőközegek GWP-je ugyanis nagyon alacsony. A kaszkádrendszer mind környezeti, mind gazdasági szempontból nagyon ígéretes teljesítményt nyújt.

A szaggatott piros vonalak egy tonna CO_2 kibocsátás megtakarításának költségét jelzik. Az R-744 közegű architektúrák (5a és 5b) a környezeti hatások lényeges csökkenését mutatják, ez azonban a rendszer élettartamára összesítve jelentős gazdasági hatásokkal jár. A két R-744 közegű rendszer a környezeti hatásokat megtakarított CO_2-tonnánként 80–110 euróval magasabb beruházási költség mellett képes csökkenteni. A HFO / R-744 kaszkádrendszer szintén jelentősen csökkenti a környezeti hatásokat, de emellett a gazdasági hatásai is alacsonyabbak, megtakarított CO_2-tonnánként 25–40 euróval. Az R-407F és R-448A anyagokat használó HFC-megoldások környezeti hatásai 30–40%-kal alacsonyabbak. További előnyük, hogy ezt a csökkenést azonos vagy alacsonyabb gazdasági hatás mellett képesek elérni. Ezen megoldások valamelyikét választva a szupermarketláncok ténylegesen teljesíteni tudják környezetvédelmi célkitűzéseiket, ráadásul hosszú távú gazdasági előnyök mellett.

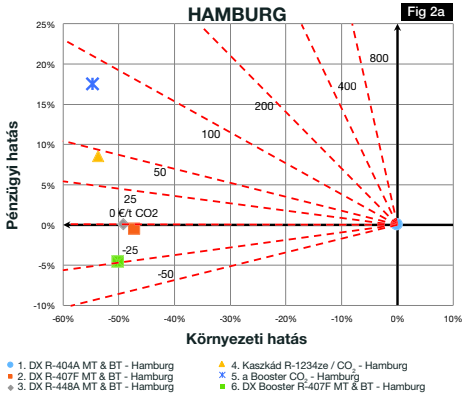
A 4-es számú architektúra egy DX rendszer R-1234ze anyaggal, ami egy A2L közeg. A hatályos szabályozások az ilyen hűtőközegek esetén jelentős töltetmennyiséget tesznek lehetővé, de jelenleg is folynak az egyeztetések annak érdekében, hogy a közeljövőben megszüntethetők legyenek az A2L hűtőközegek töltetmennyiségének további növelésére vonatkozó korlátozások. A GHS (globálisan harmonizált rendszer) és a gyúlékonyságra vonatkozó európai szabályozás szerint a Solstice® ze is nem gyúlékony anyagnak minősül. Az eredmények azt mutatják, hogy a Solstice® ze-hez hasonló hűtőközegek használatát környezeti teljesítményük ismeretében jóval nagyobb mennyiségben is engedélyezni kellene (biztonságosan szabályozva) DX rendszerekben.

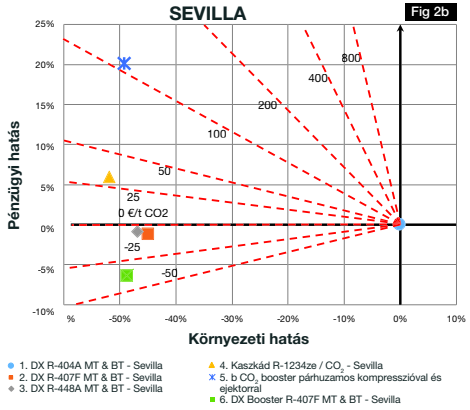
Az R-407F és Solstice® N40 alapú normál rendszerek nem csak, hogy a legalacsonyabb beruházási költségekkel járnak, de az éghajlati viszonyoktól függetlenül (meleg és hideg régiókban egyaránt) a legjobb energetikai teljesítményt is nyújtják. A környezeti hatás pedig egyszerűen tovább javítható a szivárgási arány csökkentésével.

A szivárgási arány csökkentésének előnyei

A továbbiakban mind az R-407F, mind a Solstice® N40 (R-448A) esetében megvizsgáltuk, milyen eredményekkel jár, ha a szivárgási arányt 5%-ra csökkentjük. A szivárgási arány ilyen mértékű csökkentéséhez kapcsolódó költségeket figyelembe véve az említett rendszerek karbantartási költségét is megnöveltük 10%-kal. Az eredményeket a 2a és 2b ábrákon mutatjuk be. Ahogy az várható volt, a szivárgási arány csökkentésének hatására a rendszerek környezeti hatása tovább csökkent, míg a pénzügyi adatok alig vagy egyáltalán nem változtak.

ÖKOHATÉKONYSÁGI DIAGRAM 5%-OS SZIVÁRGÁSI ARÁNY ESETÉN





Összefoglalás

Az ökohatékonyság egy kétdimenziós mutató, amellyel a környezeti és pénzügyi hatások közel 100%-a lefedhető, ezért a vizsgálat során igen jól használható eszköznek bizonyult a különböző új rendszerek összehasonlítására.

Összehasonlító táblázat az R-404A-hoz képest. Az alacsonyabb értékek jelentik a jobb eredményt.

	Rendszer	Környezeti hatás	Gazdasági hatás	Egy tonna CO_2 megtakarításának költsége euroban
Szivárgási arány 15%	R-407F és R-448A	-30 – -37 %	0 – -7 %	0 – -50 €
	R-1234ze/R-744 kaszkád	-53 %	5 – 7 %	25 – 30 €
	R-744	-49 – -54 %	17 – 20 %	80 – 100 €
Szivárgási arány 5%	R-407F és R-448A	-45 – -51 %	0 – -7 %	0 – -35 €
	R-1234ze/R-744 kaszkád	-53 %	5 – 7 %	25 – 30 €
	R-744	-49 – -54 %	17 – 20 %	80 – 100 €

Bár az R-744 közegű rendszerek környezeti hatása kielégítő, ami elsősorban a hűtőközeg nagyon alacsony GWP-jének köszönhető, üzemeltetésük jelentős többletkiadással jár.

A HFC-s szokásos DX rendszerek szintén jelentősen csökkenthetik a környezeti hatásokat, de emellett pénzügyi szempontból is előnyösek.

A szivárgási arány 15%-ról 5%-ra csökkentésével a HFC/HFO-keverékekkel töltött rendszerek válnak a legelőnyösebbé mind a környezeti, mind a pénzügyi hatások tekintetében. Ilyen rendszereket 2022-ig lehet megvalósítani, karbantartásukra és szervizelésükre pedig nincs határidő megszabva.

Az új létesítések kiegyensúlyozott alternatíváját a Solstice® ze/R-744 közegű kaszkádrendszerek jelentik. Az A2L hűtőközegek nagyobb töltetmennyiségének engedélyezésére vonatkozó korlátozások feloldásával az ilyen anyagok használatának szélesebb körű elterjedése várható.

A szektorunkra vonatkozó gyakorlati példa

Az EPEE (Európai Energiaügyi és Környezetvédelmi Partnerség) „Gapometer" projektje szerint az F-gáz rendelet által előírt fokozatos csökkentési célok, vagyis 2021-ig a kibocsátások 60%-os mérséklése eléréséhez 51 millió tonnányi CO_2-egyenértékben számított csökkenést kell elérni. Ráadásul az újonnan kivitelezett rendszereknek ehhez a csökkenéshez 52%-ban kell hozzájárulniuk (26 millió tonna CO_2-egyenérték).

- Kizárólag R-744 közegű rendszerek használata 2,1–2,6 milliárd euró **KÖLTSÉGET** jelenthet a szektornak (26 millió tonna CO_2-egyenérték *80-100 euró/tonna CO_2-egyenérték = 2123-2654 millió euró)
- HFC/HFO közegű rendszerek használatával (2022-ig) akár 910 millió euró is **MEGTAKARÍTHATÓ** a szektorban (26 millió tonna CO_2-egyenérték *0-(-35) euró/tonna CO_2-egyenérték = 0-(-910) millió euró)

Az ökohatékonyság mint eszköz használatával a szektor 2,1-2,6 milliárd eurós kiadást spórolhat meg.

Megjegyzés: A cikkben leírt vizsgálat még folytatódik, mivel tárgyát fogják képezni további architektúrák is, pl. vízkörös hűtőpultok, R-455A töltetű booster, ze/R-455A töltetű kaszkádrendszer stb. A tanulmány a bemeneti paraméterekre (villamos energia ára, közegek ára, illetve ezek adói) mutatott érzékenységet is vizsgálni fogja.