BIBLID 0350–1426 (2006) 35:2 p. 38–46

KOMERCIJALNO
HLAĐENJE – NA PUTU KA ODRŽIVOSTI

U radu je, na osnovu razmatranja uticaja propisa o zaštiti čovekove okoline na buduće komercijalne rashladne sisteme, utvrđeno da je proces izbacivanja supstanci koje razaraju ozonski omotač brži nego što je to predviđeno Montrealskim protokolom, i da se kao zamena za CFC i HCFC rashladne fluide uglavnom koriste fluidi HFC. Sa druge strane, dalje korišćenje HFC-a je pod znakom pitanja, imajući u vidu Protokol iz Kjota. Zbog toga se moraju primeniti neophodne mere koje će isticanje gasova koji izazivaju efekat staklene bašte u atmosferu svesti na minimum. Zamena sistema sa direktnom ekspanzijom indirektnim sistemima može da dovede do značajnog smanjenja isticanja, i neophodna je za lokalno opasne rashladne fluide kao što su ugljovodonici i amonijak, ali ona dovodi do povećane potrošnje energije i veće emisije CO_2 tokom proizvodnje energije potrebne za pogon ovih rashladnih sistema. Taj problem se može umanjiti primenom CO_2 kao rashladnog fluida. Prednost takođe može biti korišćenje lokalno bezbednog prirodnog fluida kao što je CO_2 u sistemima sa direktnom ekspanzijom, ali razmena toplote u natkritičnom području dovodi do lošijih energetskih performansi, što može delimično biti kompenzovano boljom efikasnošću komponenti i konfiguracijom ciklusa, ali sa verovatno većim troškovima sistema. Pored troškova eksploatacije, u daljem tehničkom razvoju moraju biti pažljivo razmotreni i investicioni troškovi, u cilju dobijanja po prirodu manje opasnog održivog komercijalnog rashladnog sistema, primenom koncepta ekološke efikasnosti.

KLJUČNE REČI: komercijalni rashladni sistemi; Montrealski protokol; Protokol iz Kjota; ugljen-dioksid; rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom; indirektni rashladni sistem

Prof. dr HORST KRUSE, Forschungzentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH, Hanover, BR Deutchland

COMMERCIAL REFRIGERATION – ON THE WAY TO SUSTAINABILITY

Summarizing the considerations regarding future commercial systems under the impact of environmental regulations, it can be concluded that phase-out of ozone-depleting substances is well under way and is taking place earlier than the Montreal Protocol prescribes in industrialized and also developing countries, mainly by applying HFCs as substitutes for CFCs and HCFCs.

Indirect refrigeration systems would make it possible to markedly reduce leakage and are necessary for locally dangerous refrigerants such as hydrocarbons or ammonia, e.g. in supermarkets, but show higher costs and energy consumption which can be reduced by applying CO_2 as a secondary coolant.

Therefore, it might be advantageous to apply a locally safe natural fluid such as CO_2 direct-expansion systems, but the supercritical heat rejection for CO_2 leads to lower energetic cycle performance, which may partly be compensated by better component efficiences and cycle conffigurations, but presumably at higher system costs.

Therefore, besides the running costs, the investments costs have to be evaluated very carefully when trying to pursue technical developments for more environmentally friendly sustainable commercial refrigeration systems by applying the concept of eco-efficiency.

KEY WORDS: commercial refrigeration systems; the Montreal Protocol; the Kyoto Protocol; carbon-dioxide; direct-expansion refrigeration system; indirect refrigeration system

Pozadina problema

Uticaj razaranja ozonskog omotača na čovekovu okolinu, kao tema Montrealskog protokola (1987) i emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte koja je predmet Protokola iz Kyota (1997), vodili su do velikih promena u svim primenama hlađenja, budući da široko korišćeni rashladni fluidi CFC, HCFC i HFC značajno doprinose razaranju ozona i globalnom zagrevanju.

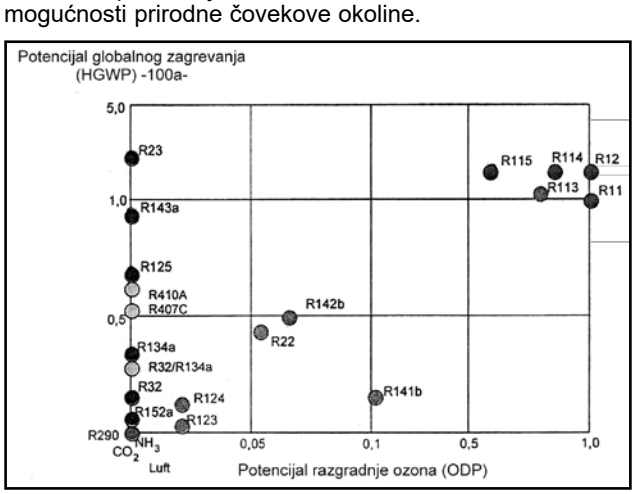
U prošlosti, pored klimatizacije u auto-industriji, komercijalni rashladni sistemi, pogotovo oni koji se koriste u supermarketima, bili su među najvećim emiterima rashladnih supstanci koje narušavaju ozonski omotač i utiču na globalno zagrevanje. Iz tog razloga, mnogo napora je uloženo da se uvedu novi rashladni fluidi u ovu oblast u cilju redukcije velikih ispuštanja štetnih supstanci kako je to bilo u prošlosti.

Glavna tema na Konferenciji IIR o komercijalnom hlađenju, održanoj u Vićenci, u Italiji, 30. i 31. avgusta 2005. godine, bila je zamena rashladnih fluida i redukcija emisije, pogotovo u sistemima koji se koriste u supermarketima – prelaskom sa prethodno korišćenih jednostepenih sistema sa R-502, preko međurešenja sa direktnim i indirektnim sistemima koji rade sa HCFC i HFC, sa zapaljivim i nezapaljivim prirodnim rashladnim fluidima kao što su ugljovodonici, amonijak i ugljen-dioksid u kaskadnim konfiguracijama za oba temperaturska nivoa, do u poslednje vreme razvijenih i instalisanih sistema sa direktnom ekspanzijom CO_2.

Kada se razmatra razvoj, pitanje je da li ćemo se u budućnosti približiti stvarnoj održivosti kao cilju, budući da rešenje problema čovekove okoline koji se tiču atmosfere, a koji su prouzrokovani rashladnim fluidima, ne može biti jedini cilj; redukcija emisija CO_2 prouzrokovane proizvodnjom energije u elektranama koje rade na fosilna goriva, a koja se koristi u rashladnim sistemima, takođe mora biti razmatrana. Kada se razvijaju budući sistemi za komercijalno hlađenje, moraju se uporediti troškovi sistema i mora se razmotriti ekološka efikasnost u cilju procene stvarnog napretka održivosti.

I. Uvod

Konferencija Ujedinjenih nacija o čovekovoj okolini i razvoju održana 1992. u Riju de Žaneiru, poznata kao "Svetski samit", ili "Konferencija u Riju", bazirana na izveštaju Rimskog kluba iz 1972. – "Granice razvoja" i izveštaju iz Brundtlanda "Čovekova okolina i razvoj" – utvrdila je u "Agendi 21" i "Klimatskom sporazumu" potrebu za održivim razvojem, ukazujući na neophodnost zadržavanja koncentracije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte na nivou koji obezbeđuje prirodnu adaptaciju ekosistema na klimatske promene bez ugrožavanja proizvodnje hrane i koja obezbeđuje održivi ekonomski razvoj. Održivi razvoj tako podrazumeva stalno unapređivanje kvaliteta života čovečanstva u okviru mogućnosti prirodne čovekove okoline.



Slika 1. ODP i GWP glavnih rashladnih fluida

Iako je Konferencija u Riju održana 1992, Montrealski protokol potpisan 5 godina pre, a Protokol u Kjotu 5 godina kasnije, princip održivosti treba koristiti pri primeni tehnologija hlađenja koje troše energiju i koje koriste sintetičke ili prirodne rashladne fluide i uključuju različite investicione i eksploatacione troškove. Zbog toga princip "ekološke efikasnosti" treba primenjivati kada se procenjuju različiti rashladni sistemi prema njihovoj održivosti.

Ovaj rad opisuje tehničke promene u komercijalnom hlađenju, koje, od samog početka, treba da odgovore na izazove čovekove okoline – od Montrealskog protokola, preko Protokola iz Kjota i sada traženjem pravog puta kojim treba poći u budućnosti ka stvarnoj održivosti. Autor opisuje ovaj proces kroz svoje sopstveno iskustvo, budući da je, kao univerzitetski profesor, bio uključen u tehnološke promene koje su počele sa Montrealskim protokolom, i sada kao rukovodilac svog privatnog istraživačkog instituta za rashladnu tehniku i toplotne pumpe – FKW u Hanoveru.

II. Propisi koji se tiču čovekove okoline i odnose se na rashladnu tehniku, klimatizaciju i toplotne pumpe

Globalna pitanja koja se tiču čovekove okoline a odnose se na razgradnju ozonskog omotača od 1987, kada je potpisan Montrealski protokol o "Supstancama koje razgrađuju ozonski omotač", i na globalno zagrevanje od 1997, kada je potpisan Protokol u Kjotu o gasovima koji izazivaju efekat staklene bašte – značajno utiču na rashladnu, klimatizacionu i industriju toplotnih pumpi.

Uticaj rashladnih fluida na razgradnju ozona i globalno zagrevanje predstavljen je takozvanim *potencijalom za razgradnju ozona* (Ozone Depletion Potential – ODP) i *potencijalom globalnog zagrevanja* (Global Warming Potential – GWP), kao što je prikazano na slici 1.

Razgradnja ozona

Montrealski protokol. Montrealski protokol potpisan u septembru 1987. zahtevao je postepeno izbacivanje 50% hlorofluorougljovodonika (CFC) do 1998, u cilju stabilizacije sadržaja supstanci koje razaraju ozonski omotač na vrednosti od 2,7 ppm.

UNEP Workshop, Hag 1988. Oko godinu dana kasnije, Program Ujedinjenih nacija za zaštitu čovekove okoline (UNEP) zahtevao je od ovog autora da organizuje za UNEP Workshop, koji je održan u Hagu u oktobru 1988, tri prezentacije koje se odnose na primenu rashladne tehnike, a koje bi razmatrale mogućnosti zamene fluida CFC. Ove prezentacije su održali: za stambene sisteme dr Kuijpers, iz Holandije, za industrijske sisteme dr Haukas, iz Norveške, i za komercijalne sisteme, autor ovog rada.

U njegovoj prezentaciji, on je kao zamenu za R-12 u malim i za R-502 u velikim komercijalnim sistemima predložio R-22, koji nije bio predmet Montrealskog protokola. Ukoliko viši pritisci ili temperature na potisu ne dozvoljavaju korišćenje R-22 sa postojećom opremom kao što je kompresor i slično, on je preporučio mešanje R-22 sa drugim, već postojećim na tržištu, fluidima iz familije ugljovodonika sa nižom tačkom ključanja kao što je R-142b ili R-152a, u skladu sa njegovom publikacijom raspoloživih zamena za CFC [1].

U SAD, proizvođači kompresora su razvili sistem sa ubrizgavanjem tečnog rashladnog fluida za kompresore sa R-22 za primenu u supermarketima i nazvali ga "zahtevano hlađenje" u cilju održavanja temperature na potisu na nivou sličnom kao sa R-502. U Evropi, sledeći predlog da se koriste mešavine rashladnih fluida, jedan evropski hemijski proizvođač predstavio je mešavinu za komercijalno hlađenje R-69S/L (R-22/R-218/C_3H_8) kao zamenu za R-502 za primenu u supermarketima.

Workshop UNEP-a u Hagu bila je prva prilika za preispitivanje Montrealskog protokola u cilju njegovog prilagođavanja rastućim naučnim, ekonomskim i tehničkim saznanjima o razgradnji ozona i razvoju zamena za rashladne fluide CFC.

Da bi se omogućilo potpisnicima Protokola da ocene to prvo preispitivanje na njihovom predstojećem sastanku, osnovan je Komitet za tehničke opcije za hlađenje, klimatizaciju i toplotne pumpe, koji je na Londonskom sastanku 1990. trebalo da podnese odgovarajući izveštaj [2]. Ovaj autor je bio odgovoran za sekciju o komercijalnom hlađenju u izveštaju o tehničkim mogućnostima kao vodeći autor. On je takođe ostao na toj dužnosti sve do poslednjeg preispitivanja u 2002, kao pripreme za sastanak u Londonu 2003. godine.

Sastanak u Londonu 1990. Na prvom sastanku u Londonu, raspored CFC iz Montrealskog protokola je modifikovan tako da je umesto redukcije na 50%, dogovoreno potpuno izbacivanje iz upotrebe do 2000. godine. Osim toga, dugoročno izbacivanje iz upotrebe HCFC-a posle 2020. godine takođe je uzeto u preliminarno razmatranje i dogovoreno da se o njemu odluči na sledećem sastanku u Kopenhagenu.

Sastanak u Kopenhagenu 1992. godine. Na sastanku u Kopenhagenu predviđeno je postepeno izbacivanje iz upotrebe HCFC-a do 2020. u industrijalizovanim zemljama, dok je rok za zemlje u razvoju 2040. godina.

Sastanak u Beču 1994. godine. Na sastanku u Beču definisan je detaljan plan izbacivanja iz upotrebe CFC-a – za razvijene zemlje do 1996, a za zemlje u razvoju do 2010. godine.

Nacionalni i evropski propisi

Razlog za forsiranje propisa o CFC i razmatranje propisa u pogledu hlorofluorougljovodonika (HCFC) baziran je na preispitivanju od strane naučnika i na činjenici da su različite zemlje u Evropi već primenjivale mnogo strože nacionalne propise, na primer nordijske zemlje, Holandija, Austrija i Nemačka, kao zemlje koje su u ovome prednjačile i po čijim propisima je izbacivanje iz upotrebe CFC-a predviđeno do 1995, a zabrana R-22 do 1. januara 2000. godine.

Ovo je bilo prvi put da je doneta odluka o zabrani HCFC-a, i to je takođe uticalo na buduće međunarodne odluke. U narednoj godini (1990), predsednik Džordž Buš je potpisao akt o čistom vazduhu koji predviđa izbacivanje HCFC-a do 2015. godine. Evropska zajednica se takođe složila oko izbacivanja HCFC-a iz upotrebe do 2015, sa postepenim smanjivanjem upotrebe ovih fluida.

Montrealski protokol je uticao na industriju rashladnih uređaja da u upotrebu uvede novorazvijene fluorougljovodonike (HFC) kao zamenu za CFC i HCFC – fluide koji sadrže hlor i koji razaraju ozonski omotač. Tako je R-134a kao zamena za R-12, trenutno odigrao značajnu ulogu u gotovo svim rashladnim i klimatizacionim oblastima, od frižidera do velikih čilera i posebno u klimatizaciji automobila. R-22 je još uvek važan rashladni fluid u postojećim rashladnim i klimatizacionim sistemima širom sveta.

Montrealski protokol kao i propisi EU, već kontrolišu proizvodnju i prodaju R-22 i drugih HCFC-a. Oba propisa daju raspored izbacivanja iz upotrebe kao postepenu redukciju dozvoljenih količina HCFC-a, ali propisi EU predviđaju znatno bržu dinamiku.

Zamene za R-22

Traganje za pogodnom zamenom za R-22 pokazuje da nema proste zamene koja pokriva njegovu široku oblast primene i poseduje sve tehničke prednosti koje ovaj rashladni fluid nudi.

Što se tiče zamene R-22 i R-502 u SAD, Program za ocenu alternativnih rashladnih fluida (AREP) za zamenu R-22 i R-502, ustanovljen je od strane ARI i doveo je do 10 najpogodnijih "kandidata" koje treba dalje ispitivati. U Evropi su takođe vršena teorijska i eksperimentalna ispitivanja od strane ICI, FKW i ILK kao što je navedno u [3].

Dakle, glavne zamene za HCFC-22 trenutno su nezapaljive mešavine HFC-a R-32 ili R143a i R-125, sa R-134a ili bez njega, kao što su R-404A, R-507, R-407C i R-410A. Štaviše, ugljovodonik propan (R-290) razmatran je kao moguća jednokomponentna ali zapaljiva zamena za R-22.

Globalno zagrevanje

Ukupan ekvivalentni uticaj na globalno zagrevanje. Tokom preispitivanja Montrealskog protokola, sekundarni uticaj sintetičkih rashladnih fluida na Zemljinu atmosferu, nazvan efekat globalnog zagrevanja od strane gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, počinje da se razmatra sve više i više. Već na sastanku u Londonu 1990. godine, procedura procene uticaja na globalno zagrevanje je bila razmatrana u cilju zamene supstanci koje razgrađuju ozon sa fluidima koji imaju najmanji mogući uticaj na globalno zagrevanje. Potpisnice su zahtevale uvođenje procedure za ocenu efekta globalnog zagrevanja.

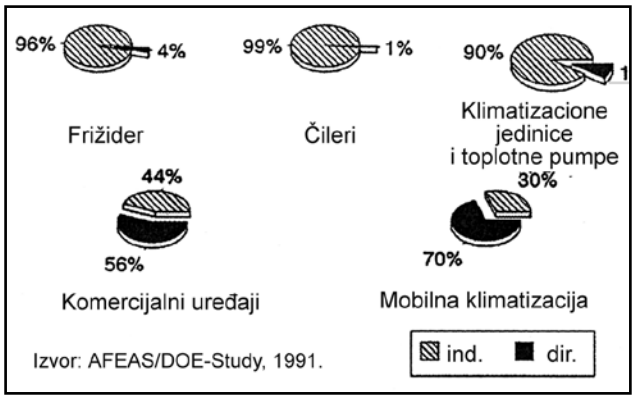
Na sledećem sastanku u Kopenhagenu, predstavljen je koncept za ocenu ukupne sume globalnog zagrevanja izazvanog rashladnim sistemima, naime kroz emisiju rashladnog fluida i kroz emisiju CO_2 iz termoelektrana na fosilna goriva koje proizvode energiju za pokretanje rashladnih sistema; nazvan je ukupan ekvivalentni uticaj na globalno zagrevanje (TEWI – Total Equivalent Warming Impact) i razvijen je od strane Ministarstva energetike SAD i nacionalnih laboratorija u Ouk Ridžu. Ovaj koncept je veoma dobar za ocenu uticaja na globalno zagrevanje različitih rashladnih i klimatizacionih sistema i toplotnih pumpi, sa različitim rashladnim fluidima koji predstavljaju najbolji izbor sa stanovišta čovekove okoline kada zamenjuju supstance koje razaraju ozonski omotač, obezbeđujući niski ukupni efekat globalnog zagrevanja. Tako, ne samo ODP za CFC i HCFC, već i njihov GWP i odgovarajući podaci za njihove zamene su važne vrednosti kada se istražuju ne samo posledice uticaja na čovekovu okolinu prouzorkovane emisijom iz sistema, nego i emisija CO_2 prouzrokovana njihovom potrošnjom energije i oni igraju veoma značajnu ulogu u ovoj oceni.

Odnos direktne emisije rashladnih fluida i indirektne emisije CO_2 prouzrokovane radom rashladnih sistema, u zavisnosti od njihovog curenja i potrošnje energije u sistemu za različite primene prikazan je na slici 2.

Na slici 2 može se videti da je drugi po redu najveći izvor direktne emisije rashladnih fluda posle mobilne klimatizacije, komercijalno hlađenje. U proseku, komercijalni sistemi učestvovali su u TEWI u 1991. godini sa 56% direktno usled relativno visokog stepena curenja iz instalacija i sa 44% preko indirektnog energijskog efekta [4].

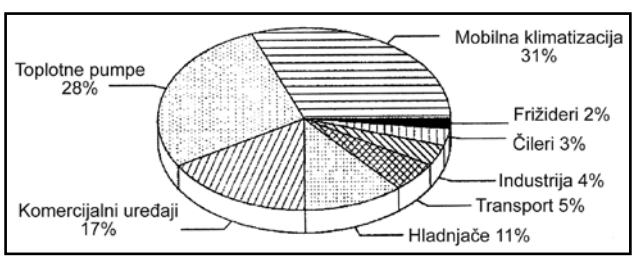
Sumirajući broj sistema sa specifičnom direktnom emisijom i potrebe za rashladnim fluidima za nove sisteme, potrošnja rashladnih fluida u celom svetu u 1991. godini za različite primene prikazana je na slici 3.

Sa svetskom potrošnjom rashladnih fluida u 1991. godini od 484 200 t/godišnje, sektor komercijalnog hlađenja je bio treći najveći potrošač sa udelom od 17% (slika 3). Oko 1/3 čini potrošnja za nove sisteme i oko 2/3 za servisne potrebe postojećih sistema [4].



Slika 2. Direktni i indirektni deo TEWI

Protokol iz Kjota. Ovaj protokol o redukciji gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, uključujući HFC i perfluorougljovodonike (PFC), korišćene kao rashladni fluidi koji takođe doprinose svojim značajnim GWP (slika 1) sekundarnom efektu na čovekovu okolinu, sledeća je prekretnica ka alternativnim rashladnim sistemima.



Slika 3. Potrošnja rashladnih fluida u svetu 1991. god.

U Protokolu iz Kjota, HFC i PFC među šest navedenih gasova (CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC i SF_6) čine dva od tri industrijska gasa zajedno sa sumpor-heksafluoridom koji su pokriveni propisima. Zbog toga emisije rashladnih fluida HFC i PFC u atmosferu moraju biti redukovane što je više moguće.

Imajući ovo u vidu, Danska je primenila najstrože mere, objavljene u januaru 2000. od strane Ministarstva za energiju i čovekovu okolinu, po kojima se rashladni fluidi HFC izbaciju iz upotrebe do 2006. godine.

Kasnije, Velika Britanija u Programu klimatskih promena, izdatom u martu 2000. godine od strane Ministarstvu čovekove okoline, transporta i regiona, podvlači da „HFC nisu održiva tehnologija na duge staze“ i da „HFC treba koristiti samo tamo gde druge sigurne, tehnički izvodljive, efikasne u pogledu troškova i prihvatljivije sa stanovišta zaštite čovekove okoline alternative ne postoje“.

Evropski Savet ministara za čovekovu okolinu 14. oktobra 2004. godine odobrio je nacrt evropskih propisa koji se tiču emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Dalje mere za kontrolu emisije HFC-a uključuju izbacivanje iz upotrebe R-134a u novim klima-sistemima za automobile između 2009. i 2013. godine. Ova najava je u Evropi dovela do značajne nesigurnosti u pogledu dugoročne budućnosti HFC-a kao zamene za rashladne fluide CFC i HCFC.

Budući da stari CFC-i i HCFC-i i novi HFC-i imaju značajni GWP, važan zadatak za budućnost je da se smanji curenje i da se unapredi zaptivanje rashladnih sistema.

Drugo rešenje može da bude korišćenje rashladnih fluida sa zanemarljivim GWP-om kao što su stari rashladni fluidi – amonijak, ugljovodonici ili CO_2 (slika 1). Od ovih rashladnih fluida, često nazivanih prirodni fluidi, amonijak ima GWP = 0 zbog kratkog vremena opstanka u atmosferi, dok ugljovodonici i CO_2 imaju mali ali zanemarljiv GWP. Zbog sve većeg broja sugestija za korišćenje prirodnih gasova, prisutnih u atmosferi, kao rashladnih fluida i rukovodeći se uglavnom predlogom Gustava Lorencena da se kao rashladni fluid u klimatizaciji automobila koristi CO_2, autor, kao predsednik komisije B2 Međunarodnog instituta za hlađenje, organizovao je 1994. godine sa Univerzitetom u Hanoveru i FKW, prvu konferenciju IIR o radnim fluidima. Cilj ove konferencije je bio da se ispita ponašanje ovih fluida u vrstama primene u kojima do tada nisu bili korišćeni, tj. amonijaka za klimatizaciju, vazdušnog ciklusa za vozove i CO_2 za klimatizaciju automobila i druge oblasti primene.

III. Komercijalno hlađenje

Tipovi opreme koji se koriste u komercijalnom hlađenju veoma su različiti u zavisnosti od veličine, opreme koja podržava specifični rashladni ciklus i punjenja rashladnim fluidom [6].

Centralizovani sistemi za komercijalno hlađenje mogu se naći u supermarketima i globalno ih ima oko 120 000; ti sistemi imaju širok opseg rashladnih kapaciteta. Punjenje rashladnim fluidom varira od 100 kg do 1500 kg. Rashladni sistem je instalisan u mašinskoj sali i rashladni fluid cirkuliše od te sale do vitrina instalisanih u prodajnoj oblasti. Za sisteme u supermarketima prethodni R-502 je zamenjen prvo sa R-22 pa sada sa njegovim zamenama.

Relativno novi koncept, nazvan „razdvojeni sistem“, drastično je ograničio dužine cevi sa rasladnim fluidom pošto su kompresori instalirani u zvučno izolovane prostorije unutar ili blizu prodajne zone, što dovodi do značajne redukcije u punjenju instalacije rashladnim fluidom.

Kondenzatorske jedinice se uobičajeno instaliraju u specijalizovanim prodavnicama. Punjenje rashladnim fluidom varira između 1 i 5 kg. Procenjuje se da je ukupni broj instalisanih jedinica oko 2,5 miliona. Izbor rashladnog fluida zavisi od nivoa temperature koju pojedina primena zahteva. Za umereno niske temperature, R-134a, i za niske temperature, R-22, još su u upotrebi, i pored HFC zamena za R-22 predstavljaju prioritetnu opciju. Iz sigurnosnih razloga, ugljovodonici nisu široko rasprostranjena opcija za opremu kod koje je punjenje rashladnim fluidom reda veličine 1 do 5 kg.

Agregatirana oprema podrazumeva mnogo različitih vrsta opreme, uključujući automate, ledomate i slično, najšire rečeno, sve vrste male opreme instalisane u prodavnicama ili javnim površinama u mnogim zemljama u razvoju kao i u razvijeim zemljama. Globalno je u upotrebi 10 do 12 miliona komada ove opreme. Punjenje rashladnim fluidom varira od 200 g do 1 kg. Sada se najčešće primenjuje R-134a, koji je u najvećoj meri zamenio R-12. U nekim evropskim zemljama počeli su sa primenom ugljovodonika, u principu samo R-600a, sa punjenjem do 150 g, a ponekad do 800 g, u zavisnosti od nacionalnih propisa. Bilo kako, R-134a je u ovom trenutku dominirajući izbor za agregatiranu opremu.

U najskorije vreme, nezapaljivi prirodni gas CO_2 (R-744) počeo je da se uvodi na tržište od strane najvećih proizvođača pića, zahvaljujući razvoju malih R-744 kompresora za ovu upotrebu [7].

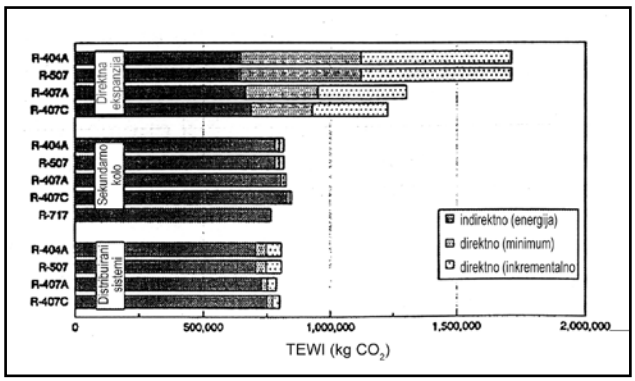
Procena sa stanovišta čovekove okoline novih komercijalnih sistema

Veliki komercijalni sistemi

Direktno hlađenje

Teorijska razmatranja. Kod komercijalnih rashladnih sistema za značajnim curenjem, rashladni fluid koji se koristi utiče preko njegovog GWP i koeficijenta hlađenja na

broj TEWI određenog sistema. Ovi odnosi su prezentovani u prvoj studiji AFEAS/DOE [4] 1991. godine i precizirani u projektu TEWI III 1997. godine, koji je pored ostalih takođe "pokrio" komercijalne rashladne sisteme u Evropi (slika 4) [8].



Slika 4. TEWI niskotemperaturskog hlađenja u Evropi

Studija o sistemima u supermarketima TEWI III urađena je sa različitim rashladnim fluidima za sadašnje i buduće sisteme kao što su sistemi sa direktnom ekspanzijom koji su do sada uglavnom korišćeni, indirektni rashladni sistemi sa sekundarnim rashladnim fluidom i razdvojeni sistemi favorizovani u SAD, koji predstavljaju male, vodom hlađene i akustički izolovane sisteme postavljene u blizini supermarketa, koji obezbeđuju hlađenje preko kratkih tečnih i usisnih vodova koji idu do rashladnih ormana.

TEWI je računat za različite sisteme sa temperaturskim nivoima u supermarketima pod pretpostavkama koje su razumne za evropske uslove kao i za različite druge delove sveta.

Rezultati za niskotemperaturske primene na slici 4 pokazuju veliki TEWI za konvencionalne sisteme sa direktnom ekspanzijom sa različitim rashladnim fluidima, u poređenju sa sistemima sa sekundarnim fluidom ili razdvojenim sistemima.

Iz studije TEWI III mora se zaključiti da konvencionalni rashladni sistemi za supermarkete sa direktnom ekspanzijom, velikim punjenjem rashladnog fluida HFC i dugačkim cevovodima, imaju značajan potencijal za curenje fluida u okolinu, i ne mogu biti rešenje u budućnosti ukoliko se curenje maksimalno ne smanji.

Eksperimentalna istraživanja. Među zamenama za R-22 i R-502, pri radu u sistemima sa direktnom ekspanzijom u skladu sa projektom TEWI III, indirektan efekat TEWI prouzrokovan energijom skoro je jednak za sve HFC, dok R-407C pokazuje najniži direktan efekat prouzrokovan nižim GWP u poređenju sa R-404A i R-507.

U Nemačkoj, nakon istraživačkog programa DKV koji se odnosi na zamene za CFC, sponzorisanog od BMFT (Federalno ministarstvo za istraživanje i tehnologiju), kao nastavak ovog programa, dva kasnija projekta su sponzorisana sa FKW kao podugovaračem, a ticala su se zamene za R-22 ili R-502, korišćenjem R-404A ili R-407C u jednu ruku kao novih fluida u sistemima sa direktnom ekspanzijom, a u drugu ruku primenom indirektnog hlađenja sa amonijakom [9].

Dvogodišnja studija je urađena za novi konvencionalni supermarket u kojem je novi rashladni fluid R-404A korišćen jednu godinu, a sledeće godine je korišćen R-407C. Nakon toga dva rashladna fluida su poređena u cilju nalaženja energetskih prednosti jednog fluida u odnosu na drugi. Drugi fluid je pokazao značajno temperatursko klizanje koje može korisno da utiče na potrošnju energije.

Rezultati pokazuju da se u periodu merenja od 2 godine sa dva različita rashladna fluida u istom sistemu supermarketa ne mogu identifikovati značajne prednosti ili mane jednog od fluida. Povrh svega, primećeno je da različiti GWP za dva rashladna fluida, pretpostavljajući isti nivo isticanja, pokazuju prednost za R-407C, kao što se može videti u projektu TEWI III koji se bavi niskim temperaturama. Zbog toga, izbor budućeg rashladnog sistema HFC za supermarkete može biti ili indirektni sistem sa sekundarnim fluidom, ili direktan razdvojeni vodom hlađeni sistem HFC.

Druga mogućnost može biti primena rashladnih fluida sa vrlo niskim GWP u direktnim sistemima. Sa izuzetkom CO_2, drugi prethodno pomenuti prirodni fluidi, kao što su amonijak i ugljovodonici, pokazuju opasan lokalni uticaj usled njihove zapaljivosti ili toksičnosti, i zbog toga nisu povoljni za sisteme sa direktnom ekspanzijom unutar oblasti supermarketa pristupačne ljudima. Dakle, za ove lokalno opasne rashladne fluide mora se primeniti indirektni sistem. Za direktne sisteme sa prirodnim fluidima, može se koristiti samo CO_2 i mogu se prezentovati drugi problemi koji će biti razmatrani posle toga.

Indirektno hlađenje

Teorijska razmatranja. Kao što se može videti iz rezultata projekta TEWI III (slika 4) indirektni rashladni sistemi, mada imaju niži TEWI, traže više energije od konvencionalnih ili razdvojenih sistema sa direktnom ekspanzijom za supermarkete. To nije važno samo zbog razmatranja TEWI i iz ekonomskih razloga za vlasnika supermarketa, jer su potrošnja energije i eksploatacioni troškovi važni i za kupce: veća potrošnja energije od one za sistem sa direktnom ekspanzijom treba da se izbegava.

Štaviše, veći investicioni troškovi mogu odvratiti vlasnika supermarketa od takvog sistema. Zbog toga, važno polje istraživanja i razvoja je nalaženje pogodnog sekundarnog fluida sa niskom dodatnom potrošnjom energije svojstvenoj zahtevima za energijom od strane pumpi za rashladnu tečnost kao i dodatnom razlikom temperatura u primarnom/sekundarnom razmenjivaču toplote za rashladni fluid. Relevantne studije su izvedene od strane FKW i prikazane na konferenciji AICARR u Veroni 2000. godine [10].

Može se zaključiti da među sekundarnim rashladnim fludima na tržištu, u poređenju sa starim dobro poznatim kalcijum-hloridom, praktično nema sekundarnih rashladnih fluida koji pokazuju znatno bolje ponašanje u pogledu zahteva za energijom za pogon pumpi i razmenu toplote u cilju smanjenja značajnih energetskih nepogodnosti indirektnih rashladnih sistema.

Razlog je što se kod ove vrste fluida za transport toplote koristi osetna toplota, što znači moraju da cirkulišu velike količine tečnosti, a to prouzrokuje specifične probleme u oblasti niskih temperatura u kojoj visoka viskoznost povećava potrebnu snagu za pogon pumpi.

Eksperimentalna ispitivanja. U cilju pronalaženja, u skladu sa studijom o TEWI, najboljeg rešenja za buduće supermarkete u pogledu efekta staklene bašte, u okviru drugog projekta nemačkog Ministarstva za istraživanje i tehnologiju, odlučeno je da isti proizvođač napravi amonijačni supermarket sa termodinamički odličnim rashladnim fluidom i sa jednim od najboljih fluida koji se koristi za indirektno hlađenje i da FKW kao podugovarač izvrši merenja [9].

Poređenje sa pomenutim merenjima R-404A i R-407C u supermarketima za iste stepen-dane, pokazuje da je, zbog veće potrošnje energije indirektnih sistema, ukupna potrošnja energije u amonijačnim supermarketima oko 15% veća u poređenju sa direktnim sistemima R-404A ili R-407C u supermarketima, ali usled praktično nultog GWP amonijaka,

TEWI je mnogo manji nego kod direktnih sistema sa fluidima HFC.

Rasolina korišćena u indirektnim sistemima je bio tifoksit, koji pokazuje prilično visoku viskoznost u delovima sistema supermarketa sa niskim temperaturama, gde snaga za pumpanje strogo zavisi od viskoznosti. Zbog toga se zaključuje da postoji potreba za korišćenjem boljih fluida kao sekundarnih rashladnih fluida u indirektnim sistemima.

Pomoću određenih mera optimizacije, dodatna potrošnja energije amonijačnih sistema u supermarketima može da se smanji na oko 10% u odnosu na direktne sisteme [9].

Drugi proizvođač sistema za supermarkete potvrdio je ovu tvrdnju merenjima koja pokazuju 18% veću potrošnju energije za tifoksit i 11% za haj kul (High Cool) [11].

Više ili manje, isti rezultati se mogu naći u teorijskim razmatranjima u okviru projekta TEWI III, što dovodi do zaključka da mada mnogo manji TEWI može da se dostigne sa indirektnim sistemima u poređenju sa konvencionalnim sistemima sa HFC, potrošnja energije je uvek veća za indirektne sisteme koji koriste amonijak, najbolji rashladni fluid sa enegetske tačke gledišta i jednu od najboljih rashladnih tečnosti.

Zbog toga se zaključuje da, naročito za rashladne ormane sa niskim temperaturama u supermarketima, mora biti pronađen drugi sekundarni fluid radi značajnog smanjenja potrošnje energije koja je posledica velike potrošnje energije za pogon pumpi.

Indirektni rashladni sistemi sa ugljen-dioksidom

U cilju unapređenja pomenutih sistema, druga mogućnost može biti korišćenje sekundarnog fluida sa promenom faze koji obezbeđuje manje zahteve za energijom za pogon pumpi i bolje karakteristike u pogledu razmene toplote, posebno na niskim temperaturama. To se može postići korišćenjem fluida koji menjaju stanje iz tečnog u gasovito u ovom opsegu temperatura, što znači da rashladni fluid sam po sebi može da se koristi kao sekundarni fluid za niske temperature. Budući da sintetički rashladni fluidi pokazuju dobro poznate nedostatke u pogledu GWP-a, i da prirodni rashladni fluidi, sa izuzetkom CO_2, mogu da prouzrokuju lokalne probleme u pogledu sigurnosti, samo je CO_2 sam po sebi kandidat za sekundarni rashladni fluid. On ima mnogo bolje karakteristike u pogledu prenosa od konvencionalnih jednofaznih fluida, kao i veoma nizak viskozitet, koji je jedan do dva reda veličine manji od onoga u konvencionalnih fluida raspoloživih na tržištu. Primena CO_2 kao sekundarnog fluida predložena je 1993. godine, nezavisno od strane Pearsona i FKW-a u patentnim prijavama i publikacijama [12 i 13].

Godine 1996, švedska kompanija je napravila prvi amonijačni sistem sa indirektnim hlađenjem CO_2 u niskotemperaturskom ciklusu u supermarketu u Lundu [14]. Osim toga, supermarketi sa R-404A sa takvim indirektnim rashladnim sistemima koji koriste CO_2 u niskotemperaturskom ciklusu takođe su izgrađeni, najvećim delom u skandinavskim zemljama.

Direktni kaskadni sistemi sa ugljen-dioksidom

Pitanje je da li je sistem CO_2 sa direktnim isparavanjem u oblasti niskih temperatura, kako je prikazano na slici 5, konkurentniji u pogledu cene i potrošnje energije, od pomenutog sistema u kome se CO_2 koristi kao sekundarni fluid. Teorijska poređenja ova dva sistema [15] dovode do zaključka da su oni gotovo jednaki kada se porede potrošnja energije i godišnji troškovi, blagom prednošću kaskadnog sistema (slika 5).

Značajan nedostatak kaskadnog sistema je što kaskadni hladnjak mora da bude na nižem temperatuskom nivou, da se ne bi premašio pritisak za konvencionalne kompresore od 26 bara u niskotemperaturskom ciklusu. To znači da temperatura isparavanja u visokotemperaturskom ciklusu mora biti znatno niža u rashladne svrhe, što dovodi do većih gubitaka u prenosu toplote u visokotemperaturskom ciklusu.

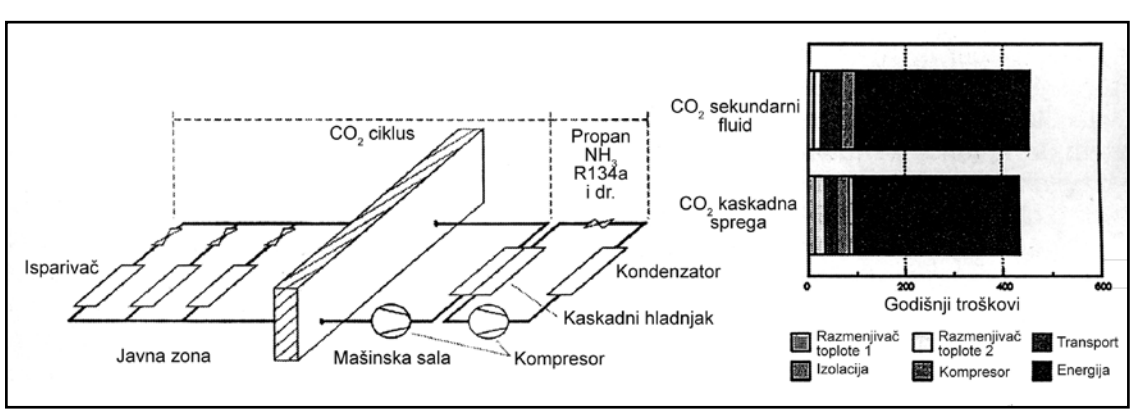
Kompresori sa pritiscima od 40 bara, na primer konstruisani za R-410A, sada se koriste za ove svrhe. Supermarketi sa kaskadnim ciklusom i direktnom ekspanzijom CO_2 u niskotemperaturskom krugu prvo su instalisani u Danskoj [16].

U slučaju korišćenja prirodnih fluida u kolu visoke temperature, na primer amonijaka ili propana, neophodan je indirektan sistem sa rasolinom, što dovodi do već pomenute veće potrošnje energije, mada ne tako visoke kao u niskotemperaturskom delu. R-134a ili R-404A u visokotemperaturskom kolu, sa direktnim isparavanjem, mogu biti izvori potencijalnh problema sa curenjem (slika 5).

Natkritični sistem direktnog hlađenja sa ugljen-dioksidom

Jednostepeni sistemi. Drugo rešenje može biti korišćenje specijalno konstruisanog kompresora CO_2 za više pritiske, kada je moguće i korišćenje natkritičnog ciklusa CO_2 i kod nisko i kod visokotemperturskih primena u supermarketima. Specijalni kompresor CO_2 za ove svrhe prvi put su konstruisali pre nekoliko godina italijanski proizvođači kompresora [17].

Takav sistem je teorijski i eksperimentalno proučavan i procenjivan za razdvojene sisteme [18]. Rezultati pokazuju da, iako takvi sistemi sa konvencionalnom direktnom ekspanzijom CO_2 u rashladnim ormanima ne prouzrokuju direktne probleme curenja vezane za globalno zagrevanje, oni troše mnogo više energije (na treći stepen više nego sistemi R-22), što je posledica transkritičnog ciklusa.

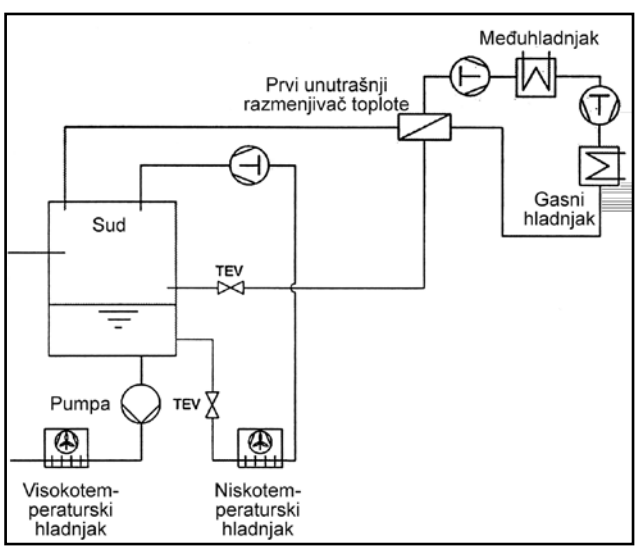


Slika 5. CO_2 kao rashladni fluid u kaskadnom sistemu i godišnji troškovi sistema CO_2

U narednim radovima istih autora [19] rezultati sa terena proračunati u obliku sezonskog koeficijenta hlađenja, u poređenju sa rezultatima za konvencionalni sistem sa direktnom ekspanzijom R-404A, pokazuju da je ukupna potrošnja energije instalisanog sistema CO_2 oko 8% veća nego kod ekvivalentnog rešenja sa R-404A. Troškovi za CO_2 instalaciju su poređeni sa troškovima za ekvivalentnu instalaciju sa direktnom ekspanzijom R-404A, što je najekonomičnija verzija među različitim tipovima komercijalnih sistema i pokazalo se da su troškovi za oko 10% veći kod sistema CO_2. Dakle, moglo bi se zaključiti da je trenutno stanje razvoja energetski i ekonomski većih sistema CO_2, takvo da je to rešenje inferiorno u odnosu na rešenje sa R-404A.

Dvostepeni sistem. Određena poboljšanja mogu se očekivati kada se koristi dvostepeni sistem CO_2, potkritičan u kolu niske i natkritičan u kolu visoke temperature. Takav sistem je projektovao FKW za jednog italijanskog proizvođača koji se bavi supermarketima [20].

Slika 6 prikazuje šemu sistema CO_2 sa sudom na međupritisku koji obezbeđuje tečni CO_2 za visokotemperaturski pumpni sistem i ponovnu kondenzaciju za niskotemperaturski sistem sa direktnim ubrizgavanjem. Dvostepeni visokotemperaturski kompresor sa međuhladnjakom je neophodan da bi se postigla potrošnja energije koju ima uporedivi sistem R-22 [11].



Slika 6. Sistem CO_2 za supermarkete sa dva temperaturska nivoa i sa dvostepenim kompresorom u visokotemperaturskom krugu

Dvostepeni ciklus CO_2 sa otvorenim međuhladnjakom ekperimentalno nije pokazao očekivane rezultate koji se odnose na isti koeficijent hlađenja kao odgovarajući dvostepeni sistem R-22, pa su, uglavnom eksperimentalno, niska efikasnost kompresora od 50% i visok sadržaj ulja u međuhladnjaku, zajedno sa visokim gubicima pritiska u sistemu za povratak ulja, smanjili efikasnost.

Kaskadni sistem sa ugljen-dioksidom. Kako je do sada publikovano, najnovije dostignuće natkritičnog sistema CO_2 za supermarkete je bila instalacija u supermarketu u Veblingenu u Švajcarskoj, koju je proizveo pomenuti nemački proizvođač [21].

Sistem je kaskadnog tipa, radi sa CO_2 u niskotemperaturskom i natkritičnom visokotemperaturskom ciklusu, pri čemu je u oba ciklusa kompresija jednostepena, što dovodi do bolje kontrole protoka ulja.

Sistem najveći deo vremena radi na strani vazduha do temperature okoline od oko 26°C u potkritičnim uslovima sa gotovo istom energetskom efikasnošću kao uporedivi sistem R-404A. Samo iznad temperature okoline od 28°C sistem radi kao natkritični sistem, ali specijalna instalacija pomoću koje se voda prska preko vazduhom hlađenog gasnog hladnjaka obezbeđuje smanjenje potrošnje energije u toplim letnjim uslovima.

Prema merenjima izvršenim do sada, izgleda realno smatrati da sistem CO_2 sa direktnom ekspanzijom za normalne temperature, u poređenju sa sistemom sa R-404A, ima uporedivu potrošnju energije.

Što se tiče investicionih troškova, pokazano je da su oni još uvek na višem nivou od onih u sistemima R-404A sa direktnom ekspanzijom, odnosno u oblasti investicionih troškova za indirektni sistem R-404A. Dalje smanjenje cene komponenata zbog povećanja proizvodnje kao i mreža cevovoda za rashladnu instalaciju sa značajno manjim prečnicima, može dovesti do daljeg smanjenja investicionih troškova.

Sve u svemu, utvrđeno je da investicioni troškovi sistema CO_2 sa direktnom ekspanzijom mogu imati potencijal za unapređenje zajedno sa vrednostima TEWI za sistem R-404A sa direktnom ekspanzijom. Indirektni sistemi omogućavaju smanjenje punjenja sistema, ali su investicioni i eksploatacioni troškovi znatno veći od sistema sa direktnom ekspanzijom.

Mali komercijalni sistemi

Mali komercijalni sistemi su se do sada koristili za hlađenje sveže hrane i bezalkoholnih napitaka u javnim objektima sa komercijalnom opremom za hlađenje koja uglavnom koristi rashladne fluide koji sadrže ugljovodonike sa fluorom.

Vodeće kompanije, kao što je Koka-kola, javno su se obavezale da će postepeno preći sa HFC-a na prirodne rashladne fluide, u skladu sa najnovijom publikacijom [7]. U okviru ove obaveze Koka-kole da redukuje upotrebu gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, obajavljena je i izjava po kojoj su testovi na objektima pokazali da je oprema sa CO_2 pouzdana i energetski efikasnija nego ekvivalentna instalacija bazirana na fluidima HFC.

Osnova za ovo tvrđenje bile su dve publikacije iz Sanyo-a [22] i Danfoss-a [23].

U relevantnim oblastima primene, prema Sanyo-u, troši se 17% manje energije u poređenju sa originalnim automatima R-134a bez ventilatora i energije za osvetljenje, dok je prema Danfoss-u potrošnja energije za 36% manja uključujući optimizovane ventilatore i svetla za automate i evidentno je poboljšanje od 18% za hladnjake flaša CO_2 u odnosu na standardne hladnjake.

Budući da tehnički podaci za osnovne sisteme nisu raspoloživi, detaljna ocena se ne može doneti, ali generalno se može reći da su, u citiranim testovima, optimizovani sistemi CO_2 poređeni sa neoptimizovanim osnovnim sistemima koji očigledno imaju manju energetsku efikasnost. Ovo umnogome objašnjava široko rasprostranjenu tvrdnju o energetskim prednostima CO_2. Drugi autor Danfossove publikacije tvrdi da se sa sistemom CO_2 može postići koeficijent hlađenja sličan onima kod sistema HFC [24 i 25].

Ovaj primer pokazuje da poređenje neoptimizovanih i optimizovanih sistema ne vodi do nepristrasnih rezultata. Važni za poređenje su takođe i investicioni troškovi za sistem u zavisnosti od stepena optimizacije. Zbog toga, ne mogu samo razmatranja sa stanovišta čovekove okoline bazirana na GWP i potrošnji energije voditi ka putu održivosti budućih rashladnih sistema koji koriste različite rashladne fluide, nego se u obzir moraju uzeti i troškovi.

Ekonomske procene komercijalnih sistema

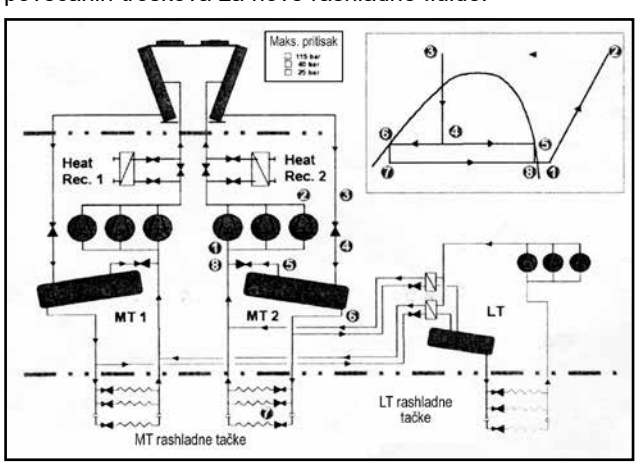
Veliki komercijalni sistemi

Direktno hlađenje. Pre nego što je došlo do tehničkih promena u projektovanju komercijalnih rashladnih sistema u vreme oko Montrealskog protokola i kasnije Protokola iz Kjota, standardna konfiguracija postrojenja R-502 bio je centralizovani agregatirani jednostepeni sistem. Ovi sistemi su optimizovani u pogledu niskih investicionih i eksploatacionih troškova.

Kada se upotrebi ekonomsko razmatranje tehničkog razvoja sistema koji imaju manji uticaj na čovekovu okolinu, mora se voditi računa o promenama u troškovima prouzrokovanim tehničkim promenama sve dok se razmatraju investicioni i eksploatacioni troškovi.

Inicijalne promene do kojih je došlo primenom hlađenja ubrizgavanjem fluida u usisni vod jednostepenog sistema R-22 u cilju održavanja temperature na potisu na nivou vrednosti za sisteme R-502 ili primenom u početku R-69S/L, mešavine već postojećih fluida, nisu značajno povećale troškove i nisu vodile do sistema bez hlora koji ne uništavaju ozonski omotač.

Razvoj, sa visokim troškovima, supstanci koje ne sadrže hlor i koje mogu da zamene R-22, omogućio je nastajanje sistema koji nisu opasni po ozonski omotač, bez upadljivog povećanja investicionih i eksploatacionih troškova preko povećanih troškova za nove rashladne fluide.



Slika 7. Šema rashladnog sistema sa ugljen-dioksidom

Indirektno hlađenje. Naredne promene ka sistemima sa indirektnim hlađenjem u cilju sprečavanja curenja rashladnog fluida zbog njegovog uticaja na TEWI, značajno su promenile troškove sistema kao i investicione troškove za dodatni krug sa sekundarnim fluidom i eksploatacione troškove usled veće potrošnje energije prouzrokovane dodatnim gubicima u razmeni toplote i snagom za pogon pumpi.

Indirektni rashladni sistem sa ugljen-dioksidom. Unapređenja koja se odnose na bolje rasoline kada se primenjuje CO_2 kao sekundarni fluid, neće značajno povećati investicione troškove uključene kroz skuplje komponente kao što su pumpe, razmenjivači toplote i sl. zbog viših pritisaka usled kojih će mnogo manji prečnici cevi poništiti te troškove. U drugu ruku, pokazali su se znatno manji eksploatacioni troškovi zbog manje energije potrebne za pumpanje i boljeg prolaza toplote kod CO_2 kao sekundarnog fluida.

Kaskadni sistem direktnog hlađenja sa ugljen-dioksidom. Štaviše, sa kasnijim prelaskom sa indirektnog sistema sa CO_2 kao sekundarnim fluidom na direktan kaskadni sistem u niskom stupnju, nema značajnije promene eksploatacionih ili investicionih troškova zbog razlike u troškovima za pumpe i kompresore. Zbog toga se oba sistema mogu smatrati ekvivalentnim u pogledu ukupnih troškova (slika 5).

Natkritični sistem sa direktnim hlađenjem pomoću ugljen-dioksida. Kasnije razvijeni natkritični sistemi CO_2 su slični razdvojenim jednostepenim sistemima, dvostepeni sistemi sa otvorenim međuhladnjakom slični sa ranijim sistemima R-22, ili novorazvijena kaskadna postrojenja uporediva sa gore pomenutim kaskadnim sistemima CO_2 sa drugim visokotemperaturskim rashladnim fluidom kao što je R-404A ili amonijak.

Ali visokotemperaturski natkritični ciklus ima nedostatak koji se tiče investicionih troškova zbog skupih komponenata, najmanje onoliko dugo koliko broj proizvedenih komada ostaje mali i eksploatacioni troškovi usled termodinamičkih nedostataka natkritičnog ciklusa CO_2 zahtevaju dodatne skupe mere za poboljšanje – gasni hladnjak prskan vodom i slično.

Mali komercijalni sistemi. Kada se razmatraju mali komercijalni sistemi, troškovi koji nastaju pri promeni tehničkog rešenja sa HFC-a na R-744 kao rashladnih fluida, moraju se pažljivo razmotriti – kako je drugi autor Danfossove publikacije posvećene novim Koka-kolinim sistemima rekao u Bremenu tokom prezentacije novog kompresora R-744 da „ako efikasnost koja je u vezi sa potrošenim novcem nije bolja ili u krajnjem slučaju uporediva sa sistemima HFC/HC, onda CO_2 nije rešenje“.

Iz ovog razmatranja troškova, jasno je da svaki korak koji se tiče komercijalnih rashladnih sistema koji su pogodniji sa stanovišta čovekove okoline, mora biti procenjen sa stanovišta investicionih i eksploatacionih troškova. Zbog toga, na putu ka održivom komercijalnom sistemu, njihova ekološka efikasnost mora se proceniti u budućnosti u cilju određivanja procedura iz drugih tehničkih područja koje se mogu primeniti na komercijalne rashladne sisteme.

IV. Zaključak

Sumirajući razmatranja koja se tiču budućih komercijalnih sistema pod uticajem propisa o zaštiti čovekove okoline, može se zaključiti da je izbacivanje supstanci koje razaraju ozonski omotač uveliko na putu i dešava se ranije nego što je propisano Montrealskim protokolom za industrijske i zemlje u razvoju, uglavnom primenom zamena HFC za CFC i HCFC.

Razmatrana kontrola emisije HFC-a u skladu sa Protokolom iz Kjota prouzrokuje dodatnu zabrinutost u pogledu dalje primene ovih fluida. Moraju se primeniti neophodne mere da bi se sprečilo curenje gasova koji izazivaju efekat staklene bašte u atmosferu. To može da se uradi zamenom sistema sa direktnom ekspanzijom sa indirektnim sistemom, ali potrošnja energije raste i vodi ka većoj emisiji CO_2 tokom proizvodnje energije potrebne za pogon ovih rashladnih sistema.

Indirektni rashladni sistemi mogu dovesti do značajnog smanjenja curenja i neophodni su za lokalno opasne rashladne fluide kao što su ugljovodonici i amonijak npr. u supermarketima, ali oni traže veće troškove i veću potrošnju energije, koji se mogu smanjiti primenom CO_2 kao sekundarnim fluidom.

Zbog toga, primena lokalno bezbednog prirodnog fluida kao što je CO_2 može biti prednost u sistemima sa direktnom ekspanzijom, ali razmena toplote u natkritičnom području za CO_2 dovodi do lošijih energetskih karakteristika ciklusa, što može delimično biti kompenzovano boljom efikasnošću komponenti i konfiguracijom ciklusa, ali sa verovatno većim troškovima sistema. Isto tako, pored troškova eksploatacije, i investicioni troškovi moraju biti pažljivo razmotreni pri

pokušaju daljeg tehničkog razvoja u cilju dobijanja po prirodu manje opasnog održivog komercijalnog rashladnog sistema, primenom koncepta ekološke efikasnosti.

Literatura

[1] **Kruse, H., U. Hesse,** *Possible Substitutes for Fully Halogenated Chlorofluorcarbons (CFC) by using already Marketed Fluids,* Int. J. Refrig., Vol. 11, July 1988, 276–283.

[2] *** Montreal Protocol 1989. *Reassessment, Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps,* Technical Options Report, UNEP.

[3] **Kruse, H., H. König,** *System Comparison of R-22 Replacement Refrigerants: R-407C and R-410A,* Conferece Proceedings: The Earth Forum, Washington, DS, 1998.

[4] *** AFEAS/DOE GW Project: *Energy and Global Wariming Impact of CFC Alternative Technologies,* Executive Summary, Oak Ridge National Laboratory, 1991.

[5] *** Montreal Protocol 1991. Reassessment, *Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps,* Technical Options Committee, UNEP.

[6] *** Montreal Protocol, 2002.

[7] *** The Coca-Cola Company, *Global Commitment to Reducing Greenhouse Gases, Case Study,* EU Food and Drink Industry Environment Review 2004, p. 14. 2004.

[8] *** AFEAS/DOE TEWI-III Report: *Energy and Global Wariming Impact of HFC Refrigerants and Emerging Technologies: TEWI Phase III,* Oak Ridge National Laboratory, 1997.

[9] **Haaf, S.,** *Ammoniak-Kälteanlagen für Supermärkte,* KK-Die Kälte & Klimatechnik n.8 (51), p. 520, 1998.

[10] **Kruse, H.,** *Overview on Refrigerants and Secondary Fluids,* Evoluzione technologica ed impiantistica nella refrigerazione commerciale, Verona, 14. 4. 2000.

[11] **Schiesaro, P., H. Kruse,** *Development of a Two-stage CO_2 Supermarket system,* IIR Conference Commercial Refrigeration, University of Illinois, 2002.

[12] **Pearson, F.,** *Development of Improved Secondary Refrigerants,* Paper presented at The Institute of Refrigeration in London, 1993.

[13] **Enkemann, T., M. Arnemann,** *Investigation of CO_2 as a Secondary Refrigerant,* Proc. Int. Conf. IIR, New applications of natural working fluids in refrigeration and air conditioning, paper presented in Hanover by FKW, p. 721, 1994.

[14] **Rolfsman, L.,** *CO_2 and NH_3 in the Supermarket ICA-Focus.* Proc. Int. Conf. IIR, Applications for natural fluids, Aarhus, Denmark, 1996.

[15] **Infante Fereira, C.A., R. A. Boukens,** *CO_2 Secondary Coolant or Refrigerant for Cascade Systems?* Proc. Int. Conf. IIR, Application for natural refrigerants, Aarhus, Denmark, p. 185, 1996.

[16] **Kauffeld, M.,** *Unter– und überkritische CO_2 Anwendugen in Dänemark,* FKW Seminar XXI, 2001.

[17] **Dorin,** 19. International Trade Fair for Refrigeration and Air Conditioning, IKK-Fair, October 1998. in Nuremberg, Germany.

[18] **Nekså, P., S. Girotto, P. A. Schiefloe,** *Commercial Refrigeration using CO_2 as Refrigerant – System Designed and Experimental Results.* Proc. Int. Conf. IIR, Natural Working Fluids, Oslo, Norway, p. 227, 1998.

[19] **Girotto, S., Nekså, P. Mineto,** *Commercial Refrigeration System with CO_2 as Refrigerant Experimental Results,* Int. Congress of Refrigeration, Washington DC, 2003.

[20] **Camin, G., A. Verondini,** *Investigation of a 2-stage CO_2 systems in Transcritical Operation for Commercial Application,* Arneg, FKW-Seminar XXI, 2001.

[21] **Haaf, S.,** *Erste CO_2-Kälteanlage für Normal und Tiefkühlung in einem Schweizer Hypermarkt,* KK – Die Kälte & Klimatechnik n.2(47), 41–46, 2005.

[22] **Yamasaki, H. et al.,** *Introduction of Transcritical Refrigeration Cycle Utilizing CO_2 as Working Fluid.* 17th International Compressor Engineering Conference at Purdue, 2004.

[23] **Veje, C., J. Süss,** *The Transcritical CO_2 Cycle in Light Commercial Refrigeration Applications.* Proc. 6th IIR – Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Glasgow, 2004.

[24] **Süss, J.,** *Komponenten für CO_2,* KK-Die Kälte & Klimatechnik n. 1 (57), p. 19, 2005.

[25] **Süss, J.,** *Reduzierung der Treibhausgase,* KK-Die Kälte & Klimatechnik n. 5 (58), p. 6, 2005.

kgh