

# PRIMENA RASHLADNIH SISTEMA SA UGLJEN-DIOKSIDOM

Primena rashladnih sistema sa ugljen-dioksidom (CO<sub>2</sub>) u komfornom hlađenju vazduha svoj vrhunac je dostigla u 1920-im. U ranim 1930-im novi rashladni sistemi sa CO<sub>2</sub> za hlađenje vazduha i hladnjače praktično su nestali. Depresija je izazvala znatno smanjenje broja instalacija, a pojava R12 u sistemima za komforno hlađenje zamenila je upotrebu ugljen-dioksida kao „sigurnog“ rashladnog fluida. Tokom tih godina, izvestan broj formiranih rashladnih kompanija koje su proizvodile amonijačne kompresore, pustile su i liniju kompresora sa ugljen-dioksidom. To im je omogućilo učešće na rastućem tržištu komfornog hlađenja.

Ovaj tekst je jedno od poglavlja knjige „Prvi vek klimatizacije“, u izdanju ASHRAE-a. Autor teksta je William S. Bodinus, iz „Gustafson Comany“, u Čikagu, SAD.

## CO<sub>2</sub> u 19. veku

U knjizi „Toplota i hladnoća: ovladavanje velikim unutrašnjim prostorom“, koju je izdao ASHRAE, istorijska primena CO<sub>2</sub> kao rashladnog fluida objašnjena je ovako:

„CO<sub>2</sub> (takođe poznat kao ugljen-dioksid ili anhidrid ugljene kiseline), kao rashladni fluid za parno-kompresione sisteme, prvi je predložio Aleksandar Tvajning (Twining), koji ga je pomenuo u svom britanskom patentu 1950. Tadeuš S. C. Lou (Lowe) eksperimentisao je sa ugljen-dioksidom za vojne balone u 1860-im, uočavajući mogućnosti njegove primene kao rashladnog fluida prilikom registracije britanskog patenta 952, 1867, i izrade mašine za led oko 1869, u Džeksonu, u državi Misisipi. Takođe je napravio mašinu na palubi broda za transport smrznutog mesa u Meksičkom zalivu. Lou nije dalje razvijao svoje ideje.

Karl (Carl) Linde je takođe eksperimentisao sa ugljen-dioksidom kada je konstruisao mašinu za F. Krupa u Eсену, u Nemačkoj, 1882. V. Rejt (Raydt) je 1884. patentirao kompresioni sistem za pravljenje leda pomoću ugljen-dioksida, a J. Harison je 1884. registrovao patent za uređaj za proizvodnju ugljen-dioksida za potrebe hlađenja. Međutim,

upotreba ugljen-dioksida nije stvarno napredovala sve dok Franc Vindhauzen (Franz Windhausen) nije u Nemačkoj konstruisao kompresor za ugljen-dioksid, patentiran (British Patent 2864) 1886. i prodat britanskom „J. & E. Hall“ koji ga je poboljšao i oko 1890. počeo njegovu proizvodnju. „Holova“ mašina sa ugljen-dioksidom je naišla na široku primenu na brodovima, zamenjujući dotada korišćene mašine sa komprimovanim vazduhom.

Mašine sa ugljen-dioksidom su univerzalno korišćene na britanskim brodovima u 1940-im, da bi zatim bile zamenjene hlorofluorougljenicima kao rashladnim fluidima.

U SAD, ugljen-dioksid je bio uspešno korišćen u 1890-im za hlađenje, a u 1900-im za komforno hlađenje. Branilac njegovog principa u SAD bila je „Kroeschell Bros. Ice Machine Comany“, koja je proizvodila sisteme zaštićene patentom kupljenim od Mađara Juliusa Sedlačka (Sedlacek).

## Razvoj kompanija koje su koristile ugljen-dioksid

U 1897, „Kroeschell Bros. Boiler Comany“ obrazovala je u Čikagu posebnu kompaniju za proizvodnju kompresora sa CO<sub>2</sub>, nazvanu „Kroeschell Bros. Ice Machine Company“. „Krešel“ je proizvodio kompresore za hlađenje sa ugljen-dioksidom, kondenzatore, hladnjake vode i rasoline, visokopritisni CO<sub>2</sub>, ventile i armaturu za sisteme za rashladno skladištenje. U 1924, „Krešel“ se integrisao sa „Brunswick Refrigeration Company“ iz Novog Brunsvika, u državi Njujork, koja je proizvodila amonijačne kompresore i odgovarajući pribor.

U 1915, Fred Vitenmajer (Wittenmeier), koji je radio u „Krešelovom“ odeljenju za hlađenje, dao je ostavku i formirao u Čikagu drugu kompaniju za rashladne mašine sa ugljen-dioksidom. Vitenmajerova kompanija je proizvodila liniju horizontalnih kompresora sa dvostrukim dejstvom, vrlo sličnu „Krešelovoj“ liniji. Kompanija je, nakon prestanka proizvodnje kompresora u 1930-im, postala izvođač radova u oblasti hlađenja, pod upravom njegovog sina, dugi niz godina.

Kompanija Volfa (Wolf) Lindea postala je veliki proizvođač amonijačnih kompresora u poslednjoj četvrtini 1800-ih i na početku 1900-ih, ali je bila neznatan faktor u proizvodnji kompresora sa CO<sub>2</sub> i rashladnih sistema sa CO<sub>2</sub>. Njen veliki posao bili su amonijačni sistemi za pivare, fabrike za preradu i drugu primenu u velikim rashladnim skladištima. Mašine sa ugljen-dioksidom za hlađenje vazduha proizvedile su i „American Carbonic Machinery Company“ i „Carbondale Machine Company“.

KGH  
– nekada

– nekada

## Ugljen-dioksid – siguran rashladni fluid

Pri kraju 1890-ih, „Krešel“ je reklamirao ugljen-dioksid kao siguran rashladni fluid. Sumpor-dioksid (SO<sub>2</sub>) i amonijak (NH<sub>3</sub>), s druge strane, bili su izuzetno štetni. Kompresiona rashladna postrojenja morala su biti daleko udaljena od ljudi. Isto tako, kada su u amonijačnim kompresorima postojali ekstremni stepeni sabijanja, dolazilo je do eksplozija.

Pošto je ugljen-dioksid bio jedini neotrovni i nezapaljivi rashladni fluid, korišćen je u manjim, vertikalnim kompresorima za hladnjake i izložbene vitrine i bivao instaliran u trgovinama hranom, hotelskim kuhinjama, bolnicama, salama za bankete, restoranima, velikim javnim tržnicama i na putničkim brodovima. Najveći broj tih rashladnih postrojenja hladio je kalcijum-hlorid koji je cirkulisao u hladnjacima.

Temperatura dovodne rasoline bila je obično oko -12 °C. Rashladni elementi u rashladnim sanducima bili su prvobitno od galvaniziranih čeličnih cevi montiranih na bočnom zidu ili iznad u bunkerima. Manji hladnjaci su koristili cevne zmijske od gvozdene cevi savijenih sa poluprečnikom 102 mm. Velika rashladna skladišta obično su imala cevne zmijske od gvozdene cevi od 51 mm, slično montirane na zidovima. Kroz te cevne zmijske cirkulisala je kalcijumova rasolina.

Krajem 1920-ih, čelična cev sa čeličnim rebrima 102 mm x 102 mm utisnutim sa korakom od 13 mm povećala je moć hlađenja. Ventilator-konvektorske jedinice za cirkulaciju vazduha, zvane rashladni difuzori, takođe su korišćene sa grupom spirala od ravnih cevi ili ventilator-konvektora korišćenih u rashladnim sanducima za rashladno skladištenje.

U radu Freda Vitenmajera, iz 1916, pod nazivom „Razvoj rashladne mašine sa CO<sub>2</sub>“, on opisuje jednu dvotonsku (7 kW) mašinu sa CO<sub>2</sub> koju je instalirao u „Marquette Building“, radi hlađenja podruma u kući. U to vreme, cena tečnog rashladnog fluida ugljen-dioksida u burićima od 23 kg bila je od 4 do 5 centi za funtu. Cena je u 1920-im porasla na 6 centi.

Prvo su korišćeni kondenzatori sa posudom i cevnom zmijskom, a onda su 1902. istisnuti efikasnijim dvocevničkim kondenzatorima. U Vitenmajerovom članku se kaže da su male, vertikalne, cilindrične kompresore do 12 tona (42 kW) vrlo brzo nasledili kompresori horizontalnog tipa veličine do 50 tona (176 kW). Do 1916, građene su mašine do 200 tona (704 kW) svaka. Vitenmajer ukazuje na svoju prvu instalaciju za hlađenje vazduha, koju je proizvela kompanija „Krešel“, kombinujući aranžman cevne zmijske hladnjaka vazduha sa cevnom zmijskom za isparavanje direktnom ekspanzijom direktno u skruberu.

## Komforno hlađenje u dvoranama

Najstariji bioskopi, kao što je „Orpheum“ u Los Anđelesu, bili su opremljeni sistemima sa direktnom ekspanzijom koji su koristili hlađenje ugljen-dioksidom.

Drugi članak Freda Vitenmajera, koji se pojavio u julu 1922, u „Ice and Refrigeration“, odnosio se na hlađenje pozorišta i javnih zgrada. „Kroeschel Company“ je skoro 10 godina bila hladila pozorišta pre nego što su u članku objašnjeni osnovni principi hlađenja dvorana kao što je hlađenje 472 L/s (9 kW) dovodnog vazduha u pozorištima u severnim državama, sa 25% dodatka za područja na jugu. Te sugestije za kapacitet bazirane su na 50% spoljnog vazduha i 25% recirkulacionog vazduha. Konstrukcija isparivača se zasnivala na korišćenju cevne zmijske od gvozdene cevi (32 mm), izračunatih na 35 stopa po toni hlađenja. Recirkulaciona raspršujuća voda trebalo je da bude instalirana pre i posle prednje strane cevne zmijske, po stopi od 0,2 L/s. Temperatura isparavanja ugljen-dioksida sugerisano je da bude -6 °C, što odgovara pritisku od oko 30 atmosfera. Merači pri-

tiska ugljen-dioksida za rad često su pokazivali atmosfere, gde je 1 atmosfera iznosila približno 7 kg.

Ovaj visoki pritisak zahteva teške čelične cevi i armaturu, da bi izdržale pritisak isparavanja od 204 kg i više pošto se pritisci ugljen-dioksida u sistemu izjednače. Sugerisano je da brzina vazduha kroz isparivač iznosi 2,5 m/s. Temperatura vode za raspršivanje je pretpostavljeno da iznosi 14 °C, što je bilo dovoljno toplo da spreči porast leda na spiralama. U radu se preporučuje temperatura vode od 10°C. Ako se žele bolji uslovi u prostoriji, trebalo bi instalirati cevne zmijske za ponovno zagrevanje.

Tipičan klimatizacioni sistem u francuskoj sobi hotela „Congress“ u Čikagu, koristio je ovaj sistem koji je grejao vazduh u prostorijama na 22 °C, sa 70% relativne vlažnosti.

Za sisteme za raspodelu dovodnog vazduha u dvoranama, Vitenmajerov članak sugerise podne dovodne sisteme kroz izlaze u obliku pečurke. To je bio standardni metod za grejanje. Leto, kada je ta vrsta hlađenja vazduha bila u funkciji, ona je bila najneugodnija, pošto su čovekovi donji udovi bili veoma hladni zbog dovodnog vazduha kakav je bio u 50-im. Autor se seća ličnog neprijatnog iskustva u pozorištima u kasnim 20-im i ranim 30-im.

Kompresori sa ugljen-dioksidom koje je napravio „Krešel“, počinjući 1897, bili su poznati kao „kompresori za Severni pol“. Prve mašine su bile vertikalne, dvoecilindrične, uređaji jednostrukog dejstva, sa vodom hlađenim cevima kondenzatora oko kućišta cilindra, sa kapacitetom od 4 kW do 7 kW. Zatim su bile razvijene horizontalne mašine dvostrukog dejstva, kapaciteta od 28 kW do 70 kW i, generalno, bile su patentirane nakon konstrukcije parne mašine. Tada su kondenzatori bili napravljeni sa odvojenim rezervoarom i u obliku cevne zmijske.

## Kompresori za ugljen-dioksid

Upotreba ugljen-dioksida kao rashladnog fluida zahtevala je konstrukciju delova rashladnog kompresora i svih komponentata ciklusa za znatno teže uslove rada. Temperatura isparavanja za niskotemperaturnu primenu bila je oko -15 °C kada je hlađena rasolina kalcijum-hlorida na -9 °C ili -7 °C. Ta temperatura isparavanja od -15 °C dovodila je do pritiska od funte po kvadratnom inču (0,07 bar).

Temperatura kondenzacije kada je leti korišćena voda u rashladnoj kuli, često je bila čak 29 °C, što je dovodilo do pritiska od 1.240 lbs/in<sup>2</sup> (85 bar). Ti pritisci su zahtevali instaliranje izuzetno teških čeličnih cevi i kovane čelične armature i ventile za sve međuveze cevovoda. Kao i kondenzatori, i isparivači su morali da budu konstruisani ne samo za normalne radne pritiske nego i za više ravnotežne pritiske u postrojenju kada ono prestane da radi. Vrsta merača pritiska na usisnoj i potisnoj strani kompresora često je napravljena tako da pokazuje atmosfere, a to je trebalo da pokaže ukoliko sistem radi pod visokim pritiskom. Na primer, ako je usisni pritisak bio 154 kg, merač atmosferskog tipa je pokazivao 23, a ako je potisni pritisak bio 562 kg, isti merač bi pokazivao 83.

Kompresori, i vertikalnog i horizontalnog tipa, pravljani su poput parne mašine konstruisane sa klipom, čvrsto priljubljenim uz okruglo, čelično vratilo, dvostrukog dejstva. Vratilo je bilo zaptiveno pomoću zaptivače.

Aranžman sa dvostrukim ventilom omogućuje usisavanje gasa, zatvaranje sa pokretanjem klipa i otvaranje u potisnoj poziciji, kako se klip pokreće napred i nazad.

Kompresori su stajali u vertikalnom ili horizontalnom položaju. Konstrukcija sa zatvorenim karakterom, korišćena kod vertikalnih vertikalnih amonijačnih kompresora zahtevala bi izuzetno jak omotač ako bi se koristila sa ugljen-dioksi-

dom, da bi odolela pritisku u sistemu. Zbog toga se ona ne bi mogla koristiti. Maksimalna brzina malih vertikalnih kompresora bila je 325 o/min, a najvećih horizontalnih kompresora, 120 o/min.

## Kondenzatori za CO<sub>2</sub>

Kondenzator za ugljen-dioksid imao je dvocevnu konstrukciju sa unutrašnjom 32 mm gvozdenom cevi za vodu i spoljašnjom cevi od 64 mm. Para rashladnog fluida CO<sub>2</sub> bila je kondenzovana u prstenastom prostoru između dve cevi. Kondenzatorska voda je prolazila kroz cev od 32 mm. Ta vrsta međurazmene bila je u to vreme visoko efikasna u poređenju sa kondenzatorom u obliku cevne zmijske u rezervoaru. Pravljena je ista vrsta i veličina dvocevnog hladnjaka vode i hladnjaka rasoline.

Iskustvena procena dvocevnog kondenzatora bila je „jedan 6 m dug dvocevni kondenzator za jednu tonu hlađenja“. Kondenzatori su bili instalirani u grupama visine 12–16 cevi sa postoljem. Tako je 100-tonska (352 kW) mašina zahtevala najmanje osam grupa, svaku visoku 12 cevi. Hladnjaci rasoline bili su takođe procenjivani na 6 m duge cevi za 1 tonu (4 kW) hlađenja.

Dobošasti kondenzatori razvijeni su 1931. Te jedinice su bile načinjene od teških čeličnih cevi od 203 mm (cilindar) i od 25 mm (cev).

Konstrukcija isparivača za sisteme komfornog hlađenja vazduha sastojala se od baterija cevni zmijske ugrađenih u zaptiveno, galvanizovano metalno kućište. Rashladne zmijske su bile od čeličnih cevi (32 mm), serpentinskog tipa sa poluprečnikom od 102 mm. Kolektori tečnog ugljen-dioksida sa ručnim ekspanzionim ventilima (ventilima igličastog tipa) bili su vezani za dno svake baterije cevni zmijske. Na vrhu je bio usisni kolektor. Grupa brizgaljki za raspršivanje vode bila je na strani ulaza vazduha i na vrhu cevni zmijske. Voda je dolazila do brizgaljki iz recirkulacione pumpe, primajući vodu iz drenažne posude do baterija cevni zmijske, hladeći tako i vodu i vazduh. Baterija cevni zmijske je bila često visoka 24 cevi i 18 redova duboka. Dimenzije zmijske izračunavane su na bazi 11 m cevi od 32 mm po toni hlađenja.

Pojavom cevne zmijske sa rebrima u ranim 1920-im, baterija cevni zmijske bila je sastavljena od tvrdih bakarnih cevi (25 mm), sa bakarnim rebrima od približno 64 mm, utisnutim u cevi u na rastojanju od 5 do 13 mm. Dubina baterije cevni zmijske

zmijske bila je onda smanjena na 10 ili 12 cevi. Kapacitet je tada računat na bazi 0,9 m do 4,6 m po toni.

Interesantna je činjenica da se povratni vazduh ne meša samo sa spoljnim vazduhom a zatim hladi, već deo povratnog vazduha obilazi cevne zmijske da bi ponovo zagrejao dovodni vazduh. Ovaj metod preinačenja nazvan je „sistem obilaznog voda“ i patentiran je u SAD. Svako ko je koristio taj sistem bio je obavezan da plati 5 centi po cfm (1700 m<sup>3</sup>/h) ukupne količine vazduha dovedenog sistemu. Vlasnik patenta je bio „Auditorium Conditioning Corporation“, u stvari filijala „Carrier Engineering Company“.

## Nestajanje sistema sa CO<sub>2</sub>

Kao što je već rečeno, upotreba sistema sa ugljen-dioksidom bila je na vrhuncu tokom 1920-ih i ranih 1930-ih. Sa pojavom orebrenih cevni zmijske, mnogi mali sistemi komfornog hlađenja su bili instalirani u restoranima, hotelima, javnim prostorima, noćnim klubovima, bolničkim operacionim salama itd., koristeći ugrađene male vertikalne mašine sa ugljen-dioksidom od 3 tone do 20 tona (11 kW do 70 kW). Veće robne kuće su takođe počele da klimatizuju prostorije, koristeći horizontalne mašine sa ugljen-dioksidom do 300–350 tona (1056–1232 kW), u konstrukciji dvostrukih kompresora direktno pogonjenih sinhronim motorima male brzine.

Poslednju prilično veliku instalaciju sistema sa ugljen-dioksidom napravio je „Carrier Corporation“, koristeći „Krešelove“ kompresore koje je konstruisao autor i instalirao u „Commonwealth Edison Company“ u sedištu ove kompanije, gde je ona hladila javne prostore na nižim spratovima, 1935. i 1936. godine. Te mašine su zamenjene centrifugalnim mašinama kada je 15 godina kasnije instalirano novo hlađenje.

Najnovija istraživanja, koja je obavilo servisno odeljenje današnje „Krešelove“ kompanije, pokazuju da na području Čikaga još uvek rade sistemi sa ugljen-dioksidom.

U svakom slučaju, ugljen-dioksid se još uvek koristi. Jedan nedavni članak opisuje primenu ugljen-dioksida u jednom kaskadnom sistemu sa amonijačnim sistemom, a drugi napis opisuje planove jednog japanskog proizvođača automobila da CO<sub>2</sub> koristi u automobilskim klimatizerima.

**kg**

**Copeland**  
brand products

Emerson Climate Technologies  
Selska 93 - 10002 Zagreb, Croatia  
Tel +3851/560 3875 - Fax +3851/560 3879  
Email: balkan.sales@emerson.com



**EMERSON**  
Climate Technologies

EMERSON. CONSIDER IT SOLVED.™