

Zakonodavni okvir

EU Uredba 517/2014

Prof.dr.sc. Marino Grozdek

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

1

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

1.1 Važeći propisi

Staro	Novo	Naziv akta europske unije koji se provode u Hrvatskoj
EZ 1005/2009		Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o tvarima koje oštećuju ozonski sloj
EZ 842/2006	EZ 517/2014	Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima
EZ 303/2008	EZ 2015/2067	Uredba Komisije kojim se utvrđuju minimalni zahtjevi i uvjeti za uzajamno priznavanje certifikacije fizičkih osoba u pogledu nepokretne rashladne i klimatizacijske opreme i dizalica topline te rashladnih jedinica kamiona hladnjača i prikolica hladnjača koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove, kao i certifikacije poduzeća u pogledu nepokretne rashladne i klimatizacijske opreme i dizalica topline koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove
EZ 1516/2007		Uredba Komisije kojom se utvrđuju standardni zahtjevi u pogledu provjere propuštanja nepokretne opreme za hlađenje i klimatizaciju te dizalica topline koje sadrže određene fluorirane stakleničke plinove

16/10/2019

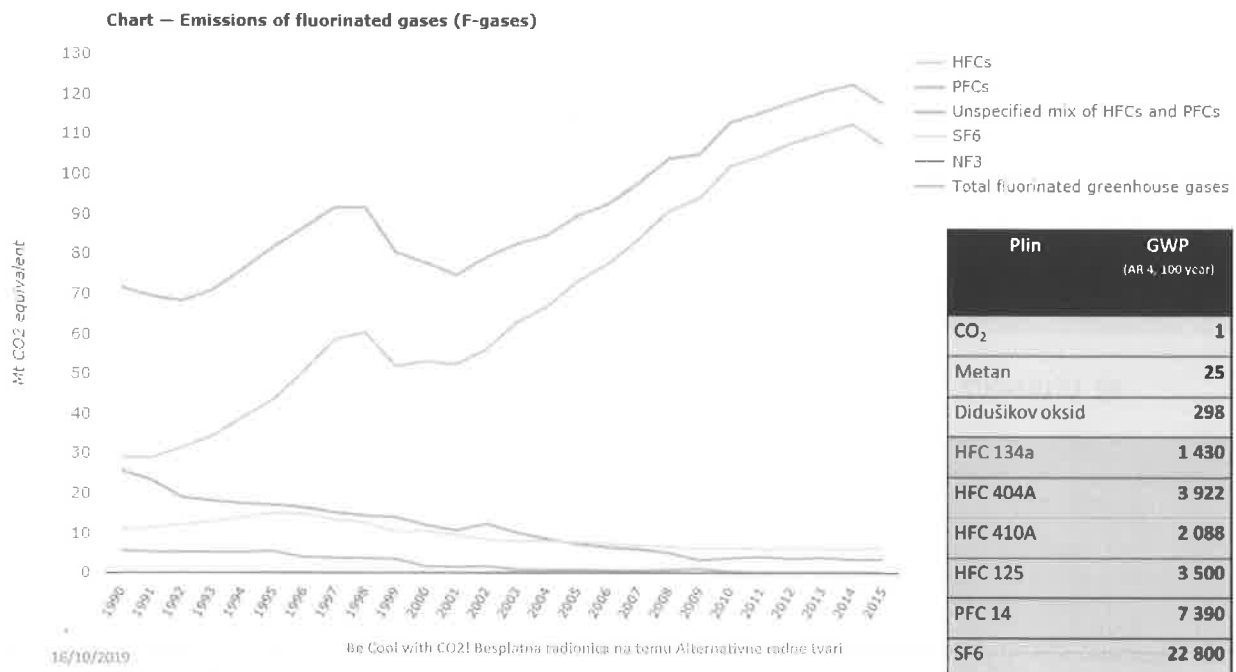
Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

2

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA**1.1 Važeći propisi**

Staro	Novo	Naziv akta europske unije koji se provode u Hrvatskoj
2006/40/EZ		Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o emisijama iz klimatizacijskih uređaja u motornim vozilima
EZ 307/2008		Uredba Komisije kojom se utvrđuju minimalni zahtjevi i uvjeti za uzajamno priznavanje certifikacije osoba u pogledu opreme za klimatizaciju zraka određenih motornih vozila koja sadrži određene fluorirane stakleničke plinove
EZ 308/2008	EZ 2015/2065	Uredba Komisije kojom se utvrđuje format kojim se države članice koriste za obavješćivanje o svojim programima osposobljavanja i certifikacije
EZ 1494/2007	EZ 2015/2068	Uredba Komisije kojom se utvrđuje oblik oznaka za proizvode i opremu koji sadržavaju fluorirane stakleničke plinove

Broj	Naziv važećih akta Republike Hrvatske
NN 130/11, 47/14	Zakon o zaštiti zraka
NN 90/14	Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima
NN 03/13	Pravilnik o izobrazbi osoba koje obavljaju djelatnost prikupljanja, provjere propuštanja, ugradnje i održavanja ili servisiranja opreme i uređaja koji sadrže tvari koje oštećuju ozonski sloj ili fluorirane stakleničke plinove ili o njima ovise

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA**1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)****Emisije FSP 1990 – 2015 u EU***Izvor: EU Agencija za zaštitu okoliša (EEA)*

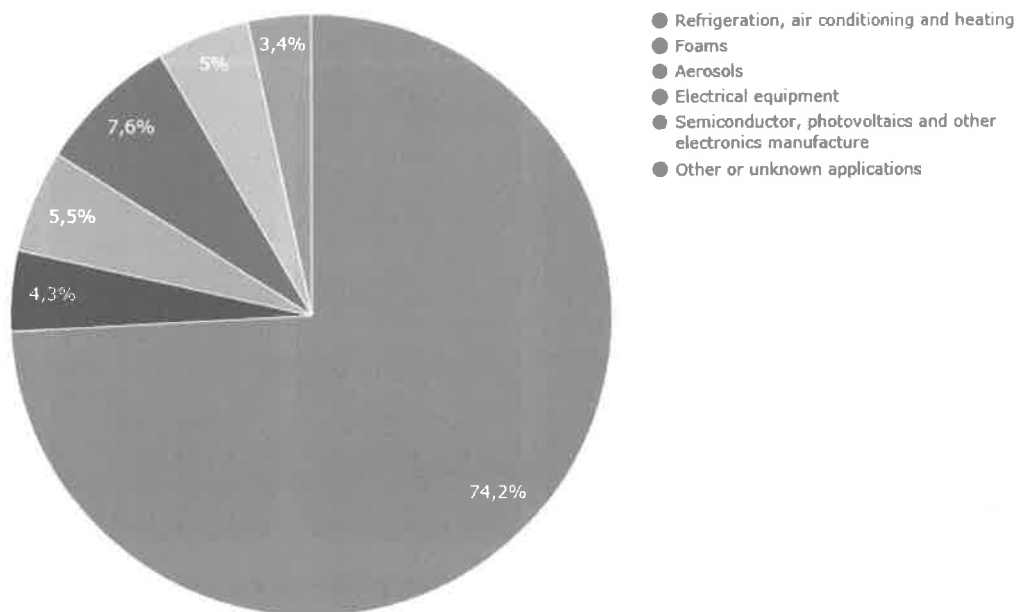
1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

With contribution of the LIFE programme of the European Union

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)

Primjena FSP u EU u 2016

Izvor: EU Agencija za zaštitu okoliša (EEA)



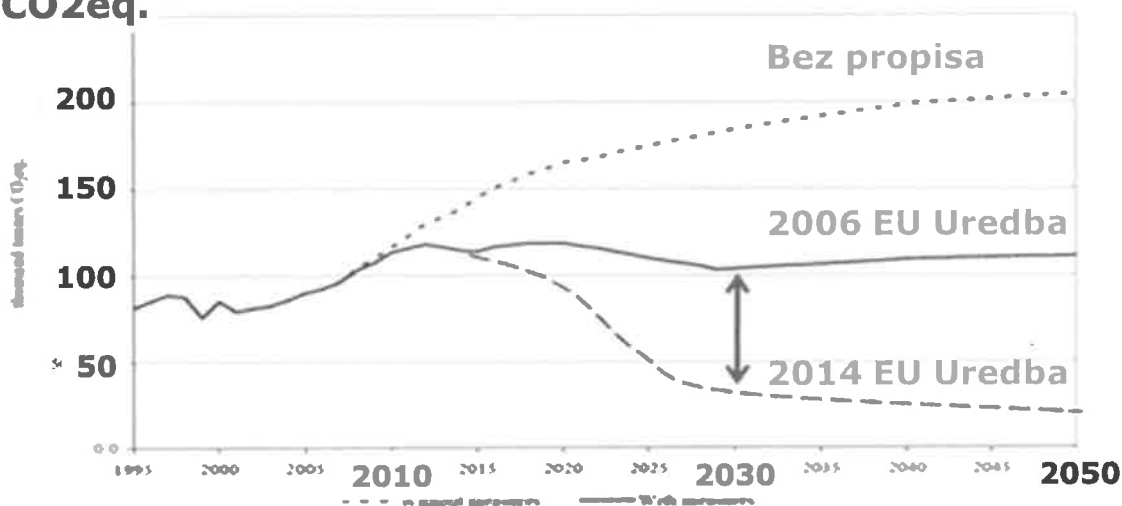
1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

With contribution of the LIFE programme of the European Union

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)

Predviđanje potrošnje sukladno regulativama

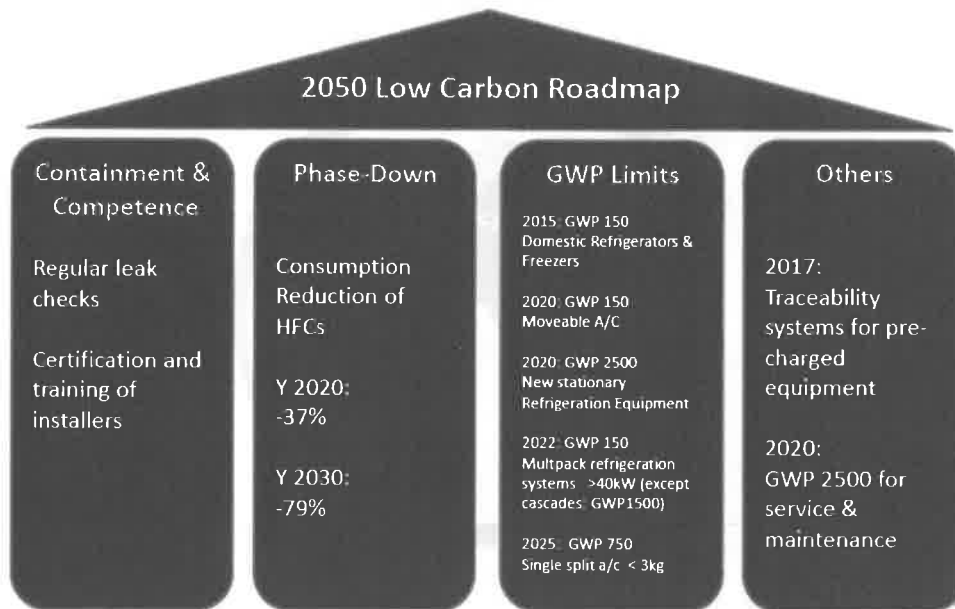
Mt CO₂eq.



1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

With contribution of the LIFE programme of the European Union

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)



Strategije smanjenja emisije stakleničkih plinova obuhvaćenih Uredbom EZ br. 517/2014

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

7

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

With contribution of the LIFE programme of the European Union

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)

Određivanje punjenja rashladnog uređaja u tonama CO₂ ekvivalenta

$$\text{CO}_2 \text{ ekvivalent [tona]} = \text{masa punjenja uređaja [kg]} \times \text{GWP}/1000$$

RADNA TVAR	NAZIV	GWP	32 CO ₂ ekv. (kg)	10 CO ₂ ekv. (kg)	50 CO ₂ ekv. (kg)	500 CO ₂ ekv. (kg)
22		14600	0,34*	0,68*	3,37	33,78
32		675	2,40	12,20	24,07	240,74
134a		1430	3,50	7,00	34,06	340,65
125		3500	1,42*	2,82*	14,28	142,86
245a		3050	4,85	9,70	48,54	485,44
604A		5922	1,71*	3,42*	17,15	171,49
407A		2107	2,31*	4,61*	23,15	231,50
407C		1774	2,62*	5,23*	26,18	261,85
407D		907	3,07	6,14	30,73	307,31
407F	Performa LT *	1925	2,36*	4,71*	23,60	235,97
407A		2058	2,31*	4,61*	23,15	231,45
407B	SCELON* MO59	2346	2,31*	4,61*	23,15	231,33
423A	SCELON* MO70	3143	1,50*	3,00*	15,00	150,06
423B	SCELON* MO29	2729	1,80*	3,60*	18,12	181,22
423C	SCELON* 191C **	2260	2,31*	4,61*	23,15	231,30
424A	RS44	2440	2,30*	4,60*	23,09	230,92
424B	RS24	1508	3,12	6,24	31,06	310,56
424C	FR00	2150	2,34*	4,68*	23,39	233,86
424D	RS53	1907	1,50*	3,00*	15,06	150,62
424E	RS45	1245	1,50*	3,00*	15,01	150,08
424F	SCELON* MO49plus	1805	2,31*	4,61*	23,10	231,01
424G	SCELON* MO99	2265	2,31*	4,61*	23,07	230,75
442A	RS50	1988	2,65*	5,30*	26,48	264,83
442B		1997	3,50	7,00	35,79	357,91
507		3985	1,21*	2,41*	12,06	120,47
508A		1274	0,39*	0,78*	3,78	37,83
508B	Siva 95	1106	0,37	0,74	3,71	37,12
*	SCELON* MO93	1805	1,51*	3,02*	15,14	151,41

*Priloga tablica je privremena od 1. siječnja 2017. godine.

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

8

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)

Sustav	Područje primjene	Podpodručje primjene
Nepokretna rashladna oprema	Kućanski hladnjaci	Hladnjaci i zamrzivači za hlađenje i čuvanje hrane
	Komercijalno hlađenje	Samostalne jedinice Kondenzacijske jedinice Centralni rashladni sustavi
	Industrijsko hlađenje	Industrijsko hlađenje
Nepokretni klimatizacijski uređaji i dizalice topline	Nepokretni klimatizacijski uređaji i dizalice topline	Mobilni sobni klimatizacijski uređaji Split uređaji Multi split sustavi Krovni klimatizacijski uređaji Rashladnici vode s volumetričkim kompresorima Dizalice topline (samo grijanje)
Mobilni uređaji za klimatizaciju putničkog prostora	Cestovni promet	Klimatizacija putničkih vozila Klimatizacija kamiona Klimatizacija autobusa
		Željeznički promet
	Promet morem	Klimatizacija terentnih brodova Klimatizacija putničkih brodova
Mobilni sustavi za hlađenje teretnog prostora	Hlađenje robe u transportu	Rashladni kamioni i prikolice hladnjača* (> 3,5 tona) Rashladni kontejneri* Rashladna vozila hladnjače (kombiji) Rashladni brodovi za ribarenje

* Na oprema označenoj zvjezdicom primjenjuje se pravila kao da se radi o nepokretnoj rashladnoj opremi; **crveni okvir – nepokretna rashladna oprema – podliježe provjeri propuštanja**
zeleni okvir – pokretna rashladna oprema – ne podliježe provjeri propuštanja

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA

1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)

Zahtjevi koji se odnose na nepokretne uređaje

Table 3: Overview of requirements in stationary equipment categories

Measure	Stationary refrigeration and AC			
	A	B	C	D
Leakage prevention and repair as soon as possible (Art. 3)	✓	✓	✓	✓
Installation ¹³ , maintenance or servicing of the equipment by certified personnel and companies (Art. 3)	✓	✓	✓	✓
Minimum frequency of leak checks by certified personnel (Art. 4)		12 mo. (*)	6 mo. (*)	3 mo. (*)
Installation of leakage detection system which must be checked at least every 12 mo. (Art. 3)				✓
Record keeping (Art. 6)		✓	✓	✓
Recovery of F-gases before final disposal of the equipment, and when appropriate during maintenance or servicing, by certified personnel (Art. 8 and Art. 10)	✓	✓	✓	✓
Labelling of equipment (Art. 12)	✓	✓	✓	✓

(*) If the stationary refrigeration or air conditioning equipment is equipped with a leakage detection system the frequency of leak checks doubles to 24 months, 12 months and 6 months for classes B, C and D, respectively.

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA**1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)****Zabrana stavljanja proizvoda na tržište**

Proizvod i oprema	Datum zabrane	
Spremnici za jednokratnu uporabu za fluorirane stakleničke plinove koji se koriste za servisiranje, održavanje ili punjenje rashladne i klimatizacijske opreme te opreme za dizalice topline, protupožarnih sustava ili rasklopnih uređaja ili se koriste kao otapala	4. srpnja 2007.	
Hladnjaci i zamrzivači za kućnu uporabu koji sadrže HFC s GWP-om od 150 ili više	1. siječnja 2015.	
Hladnjaci i zamrzivači koji se koriste u komercijalne svrhe (hermetički zatvorena oprema)	koji sadrže HFC s GWP-om od 2 500 ili više	1. siječnja 2020.
	koji sadrže HFC s GWP-om od 150 ili više	1. siječnja 2022.
Nepokretna rashladna oprema koja sadrži HFC ili čije funkcioniranje ovisi o HFC s GWP-om od 2500 ili više, osim opreme osmišljene za rashlađivanje proizvoda na temperaturama ispod -50 °C	1. siječnja 2020.	
Višeskupni centralizirani rashladni sustavi koji se koriste u komercijalne svrhe s nazivnim kapacitetom od 40 kW ili više koji sadrže fluorirane stakleničke plinove ili čije funkcioniranje ovisi o fluoriranim stakleničkim plinovima s GWP-om od 150 ili više, osim u primarnom krugu rashladnog sredstva kaskadnih sustava kada je moguće koristiti fluorirane stakleničke plinove s GWP-om manjim od 1500	1. siječnja 2022.	
Pokretna sobna klimatizacijska oprema (hermetički zatvorena oprema koju krajnji korisnik može pomicati između soba) koji sadrže HFC s GWP-om 150 ili više	1. siječnja 2020.	
Jednostruki razdvojeni klimatizacijski sustavi (split klimatizacijski uređaji) s manje od 3 kg fluoriranih stakleničkih plinova koji sadrže fluorirane stakleničke plinove ili čije funkcioniranje ovisi o fluoriranim stakleničkim plinovima s GWP-om od 750 ili više	1. siječnja 2025.	

1. NACIONALNO I EUROPSKO ZAKONODAVSTVO O ZAŠTITI OKOLIŠA**1.2 Uredba o određenim fluoriranim stakleničkim plinovima (EZ 517/2014)****Zabrana održavanja ili servisiranja opreme**

Od 1. siječnja 2020. zabranjuje se servisiranje i održavanje rashladne opreme s minimalnim punjenjem 40 tona CO₂ s radnom tvari s GWP >= 2500

Refrigerant	GWP	Minimum charge size (kg)
404A	3922	10.20
422D	2729	14.66
507	3985	10.04

Izuzeci – dopušteno je servisiranje i održavanje rashladne opreme s radnom tvari s GWP >= 2500:

o uređaji s punjenjem manjim od 40t CO₂ ekv.

o vojna oprema

o uređaji za duboko smrzavanje (ispod -50°C)

o obnovljeni i oporabljeni HFC-i s GWP > 2500 mogu se koristiti do 2030. godine uz ograničenja:

- oporabljeni: da su propisno označeni te da se koriste za servisiranje i održavanje postojeće rashladne opreme.
- obnovljeni:
 - da se koriste za servisiranje i održavanje postojeće rashladne opreme,
 - da su prikupljeni iz takve rashladne opreme,
 - mogu biti korišteni samo od poduzeća koje je obavilo prikupljanje kao dio održavanja ili servisiranja ili od poduzeća za koje je prikupljanje obavljeno kao dio održavanja ili servisiranja.

Alternativne radne tvari i njihove značajke

Prof.dr.sc. Marino Grozdek

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

1

2. RADNE TVARI

2.1 Svojstva radnih tvari - organskog ili anorganskog podrijetla (sintetičke i prirodne)

Kriterij	Svojstva radne tvari
Funkcionalne osobine	<ul style="list-style-type: none">o fizikalna i kemijska stabilnosto nekoroziivnost, ne smije otapati materijale konstrukcijeo ne reagiranje fizikalno ili kemijsko s mazivim uljem, naročito uz prisutnost vlage
Sigurnosne osobine	<ul style="list-style-type: none">o nezapaljivost, čista tvar ili u smjesi sa zrakom, uljem i vlagomo neeksplozivnosto neotrovnosto lagano otkrivanje prisutnosti u zrakuo neškodljivost po okolinu
Termodinamičke osobine	<ul style="list-style-type: none">o niska temperatura isparavanja pri atmosferskom tlakuo umjeren tlak zasićenja pri temperaturi 35-45 °Co umjeren kompresijski omjer, p_k/p_io visoko položena kritična točkao velika latentna toplina isparavanja i kondenzacijeo veliki volumetrički rashladni učinak q_v [kJ/m³]o velika gustoća (mali specifični volumen)o mala viskoznosto veliki koeficijent toplinske vodljivostio veliki dielektrični otpor za rad u hermetički zatvorenim kompresorimao niska točka smrzavanja
Ekološke osobine	<ul style="list-style-type: none">o bez utjecaja na razgradnju ozonskog sloja (ODP=0)o što manji utjecaj na zagrijavanje atmosfere (mali GWP)

16/10/2019

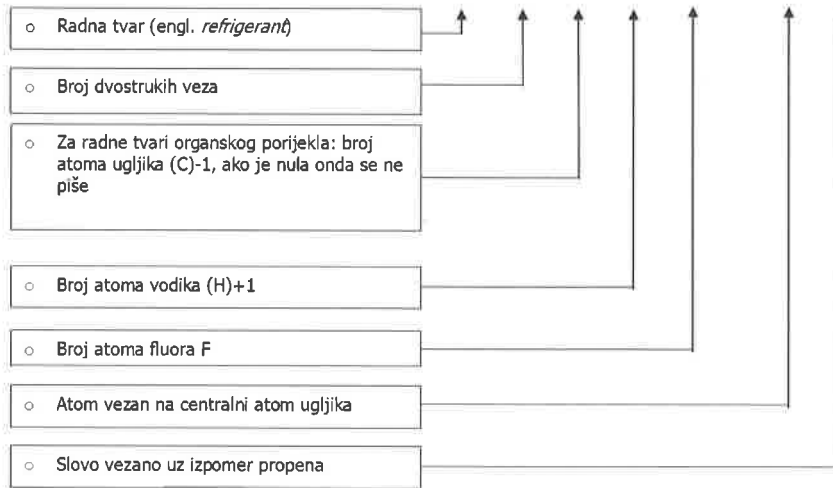
Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

2

2. RADNE TVARI

2.2 Označavanje radnih tvari

R- _ _ _ _ _



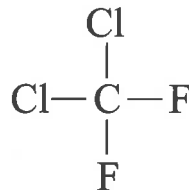
Posebni slučajevi

- prvi broj 7 – tvar anorganskog porijekla; druga dva broja predstavljaju molekularnu masu tvari
- radne tvari reda 400 – zeotropske smjese
- radne tvari reda 500 – azeotropske smjese

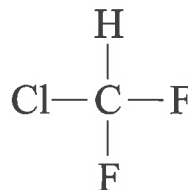
2. RADNE TVARI

2.2 Označavanje radnih tvari

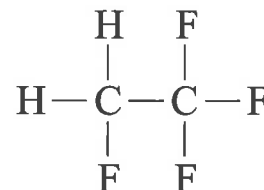
Skupina RT: CFC
ASHRAE oznaka: R12
Kemijska formula: CF_2Cl_2



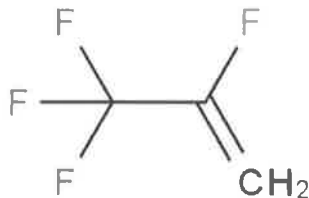
HCFC
R22
 CHF_2Cl



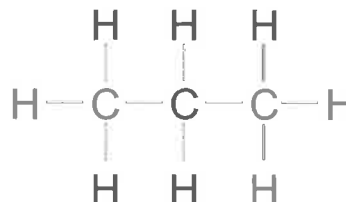
HFC
R134a
 $C_2H_2F_4$



Skupina RT: HFO
ASHRAE oznaka: R1234yf
Kemijska formula: $C_3H_2F_4$



HC (propan)
R-290
 C_3H_8



2. RADNE TVARI

2.3 Primjena radnih tvari i njihove zamjene (retrofitting)

Primjena	CFC/HCFC	Retrofitting	Novi sustavi
Klimatizacija i industrijsko hlađenje	R-11	R-123	
	R-12	R-134a, R-401a	R-134a
	R-22	R-407C	R-407C, R-410A
Split i prozorski klima uređaji	R-22	R-407C	R-407C, R-410A
Avionski klima uređaji	R-12, R-12B1	R-124	R-124
Automobilski klima uređaji	R-12	R-134a, R-401c	R-134a, R-1234yf, R-1234ze
Hladnjače iznad 0°C	R-12	R-401a,b	R-134a
Kućanski aparati i mali komercijalni rashladni uređaji	R-12	R-401a,b	R-134a, R-600a
Laki komercijalni uređaji	R-22	R-404a	R-404a
Hladnjače ispod -18°C Pokretne hladnjače (kamioni, vagoni) iznad 0°C	R-502	R-402a	R-404a
	R-12	R-402b R-401b	R-23 R-134a
Pokretne hladnjače (kamioni, vagoni) za smrznutu robu	R-502, R-12	R-402a	R-404a
	R-500	R-401a	R-134a
Komercijalni rashladni uređaji, oko i iznad 0°C	R-12	R-401b	R-134a
Komercijalni rashladni uređaji, niske i srednje temperature	R-22	R-404a	R-404a, R-507 CO ₂ , NH ₃
Vrlo niske temperature	R-13B1		R-23
	R-13, R-503	R-508a,b	R-508a,b

2. RADNE TVARI

2.4 Klasifikacija radnih tvari prema sigurnosnim zahtjevima

	Sigurnosna grupa	
	Jako zapaljivo	A3
Slabo zapaljivo	A2	B2
	A2L	B2L
Nezapaljivo	A1	B1
	Slabo otrovan	Jako otrovan

klasa	kriterij
A	Granica izloženosti od 400 ppm-a ili više
B	Granica izloženosti ispod 400 ppm-a
klasa	kriterij
1	Nema širenja plamena
2L	Ima širenje plamena Maksimalna brzina gorenja manja od 10 cm / s
	Donja razina zapaljenja > 3,5% volumena
2	Toplina izgaranja < 19 000 kJ/kg
	Isti zahtjevi kao kod klase 2L ali maksimalna brzina gorenja veća od 10 cm / s
3	Ima širenje plamena
	Donja razina zapaljenja ≤ 3,5% volumena
	Toplina izgaranja ≥ 19 000 kJ/kg

2. RADNE TVARI

2.4 Klasifikacija radnih tvari prema sigurnosnim zahtjevima

	1	2L	2	3
A	11,12,13,13B1,14,22,23,113,114,115,116,124,125,134A,218,227ea,236fa,C318,401A,401B,401C,402A,402B,403B,404A,407A,407B,407C,407D,407E,407F,408A,409A,409B,410A,410B,414A,414B,416A,417A,417B,420A,421A,421B,422A,422B,422C,422D,423A,424A,425A,426A,427A,428A,434A,437A,438A,442A,500,501,502,503,504,507A,508A,508B,509A,403A,411A,411B,412A,413A,418A,419A,744,	1234yf,1234ze(E),32,143A	142b,152a,415A,415B,406A,439A,440A,512A,	50,170,1150,290,1270,E170,600,600a,601,601a,429A,430A,431A,432A,433A,433B,433C,435A,436A,436B,441A,510A,511a.
B	30,123,245fa	717		

2. RADNE TVARI

2.5 Prirodne radne tvari s niskim GWP

Radna tvar	HFC	Prirodna			HFO
		HCs	Amonijak	CO ₂	1234yf
GWP (100 years)	XX R134a 1300 – R410A 1900	✓ 3 - 5	✓✓ 0	✓✓ 1	✓ 4
Otrovnost	✓✓	✓✓	XX	✓	✓✓
Zapaljivost	✓✓	XX	X	✓✓	X
Materijali	✓	✓	X	✓	✓
Tlak	✓	✓	✓	XX ¹	✓
Dostupnost	✓✓	✓	✓	✓	XX
Sličnost	✓✓	✓	✓	X	X

Vrlo slabo XX

Slabo X Dobro ✓

Vrlo dobro ✓✓

Referenca: F-gas support Information Sheet - RAC7 alternatives

2. RADNE TVARI

2.6 Prirodne radne tvari s niskim GWP – Amonijak (NH₃), R-717

Primjena

- U industrijskom hlađenju.
- Za rashladnike vode (engl. water chiller) i dizalice topline velikog rashladnog i ogrjevnog učinka.

Prednosti

- Amonijak je ekološki prihvatljiva radna tvar (ODP=0 i GWP=0).
- Zbog dobrih termodinamičkih svojstava potrošnja energije rashladnih sustava s amonijakom je manja nego kod klasičnih uređaja sa sintetičkim radnim tvarima.
- Propuštanje se lako otkriva.

Razlike u odnosu na sintetičke radne tvari

- Zbog nemogućnosti korištenja bakra (bakarnih namotaja motora), kompresori za amonijak su otvorenog tipa gradnje.
- Cjevovodi i armatura ne smiju biti od obojenih metala.
- Ulja korištena u sustavima s amonijakom, uglavnom mineralna ulja, ne otapaju se u amonijaku. Nasuprot tome, maziva ulja se otapaju u svim vrstama freona i s njima čine homogene smjese.

2. RADNE TVARI

2.7 Prirodne radne tvari s niskim GWP - propan (R-290), izobutan (R-600a) i propilen (R-1270)

Propan i izobutan primjenjuju se u:

- kućnim hladnjacima (R-600a), GWP=3, ODP=0
- komercijalnom hlađenju (R-290), GWP=3,3; ODP=0
- klimatizaciji i dizalicama topline (R-290 i R-1270 → GWP=1,8; ODP=0)

Propan i izobutan su zamjena za:

- R-600a zamjena za R-134a,
- R-290 zamjena za R-22.

Dozvoljene količine punjenja prema normi EN 378 su:

- sustavi sa punjenjem od 0,15 kg ili manje mogu biti ugrađene u prostorijama bilo kojeg volumena.
- za sustave sa punjenjem većim od 0,15 kg, volumen prostorije treba biti takav da naglo propuštanje radne tvari ne poveća koncentraciju iznad granice od 0,008 kg/m³.

U radu s ugljikovodicima treba:

- izbjegavati bilo kakav kontakt sa vatrom ili iskrama.
- koristiti samo ultrazvučno zavarivanje. Klasično zavarivanje nije dopušteno.
- termostati moraju biti unutar hladnjaka kako bi se izbjeglo zapaljenje u slučaju propuštanja.
- sve elektro komponente moraju biti napravljene u protupožarnoj izvedbi.

2. RADNE TVARI

2.8 Prirodne radne tvari s niskim GWP - propan (R-290)

Propan (R-290) – zamjena za R-22, R-404A, R-407C, R-507A

Prednosti propana u odnosu na ostale RT:

- ne razgrađuje ozon, ODP=0
- ima mali utjecaj na globalno zatopljenje, GWP=3/100 god,
- ima povoljna termofizikalna svojstva što za posljedicu ima visoku energetska učinkovitost,
- kompatibilan s gotovo skoro svim dostupnim materijalima u rashladnoj tehnici.

Materijali koji nisu kompatibilni i ne smiju se koristiti s ugljikovodicima su EPDM (etilen-propilen-dien monomer), prirodna i silikonska guma!

Temperatura samozapaljenja je 450°C!

Tip ulja	Simptomi
Mineralna (M)	Potpuna topivost s ugljikovodicima. Pretjerana topivost pri visokim temperaturama kada je potrebno odabrati ulje s visokom viskoznošću.
Alkil benzen (AB)	Potpuno topiv. Ulje tipične viskoznosti primjenjivo pri svim uvjetima.
Polusintetičko (AB i M)	Spojem sintetičkog i mineralnog ulja postižu se željena svojstva za upotrebu s ugljikovodicima.
Poliesterska (POE)	Pokazuje pretjeranu topivost s ugljikovodicima.
Polialkilen glikol (PAG)	Topiv i djelomično topiv s ugljikovodicima ovisno o uvjetima.
Polialfaolefin (PAO)	Topiv s ugljikovodicima, obično se koriste kod niskih temperatura.

16/10/2019

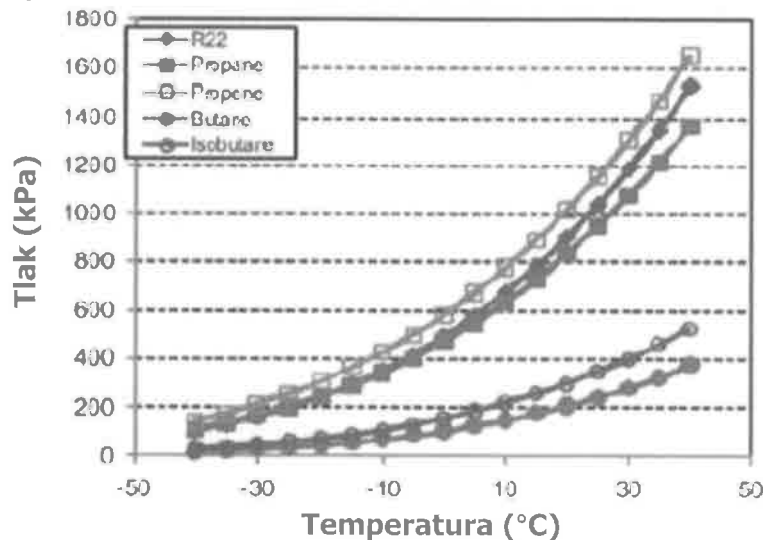
Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

11

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Krivulje zasićenja HC radnih tvari i radne tvari R-22



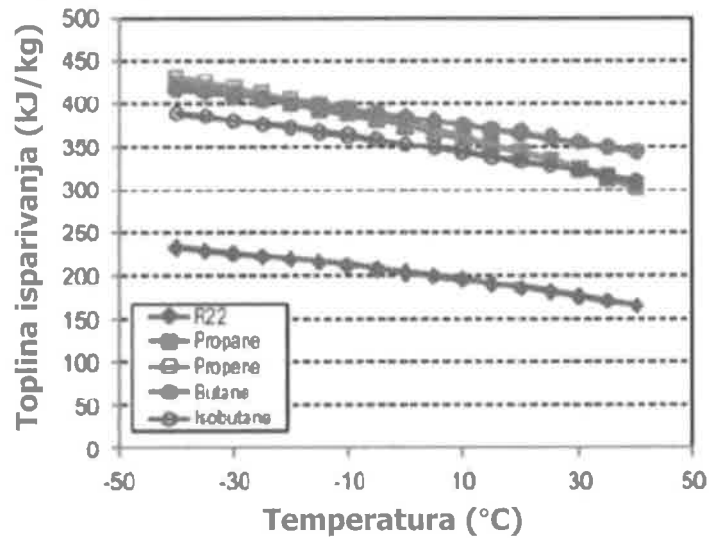
Komentar:

- radi nižih tlakova zasićenja propan je prikladan za primjene kod visokih temperatura kondenzacije,
- niži tlakovi zasićenja omogućuju izradu izmjenjivača s tanjim stjenkama cijevi,
- propan (R-290) i propilen (R-1270) imaju slična svojstva kao i R-404A te se stoga koriste u niskom, srednjem i visokom području temperatura,
- Radi vrlo niskog tlaka zasićenja izobutan (R-600a) radi u području vakuuma te se stoga primjenjuje u malim kućanskim i komercijalnim sustavima hlađenja.

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Latentna toplina isparivanja



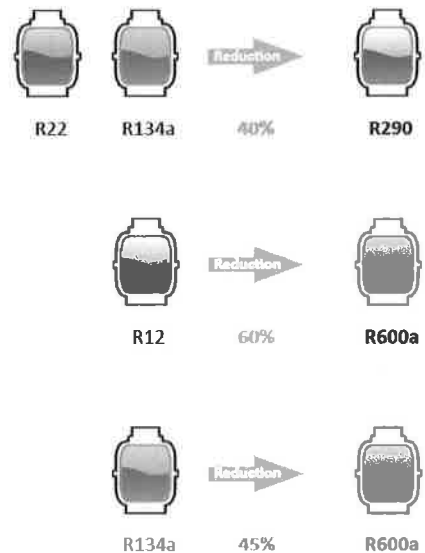
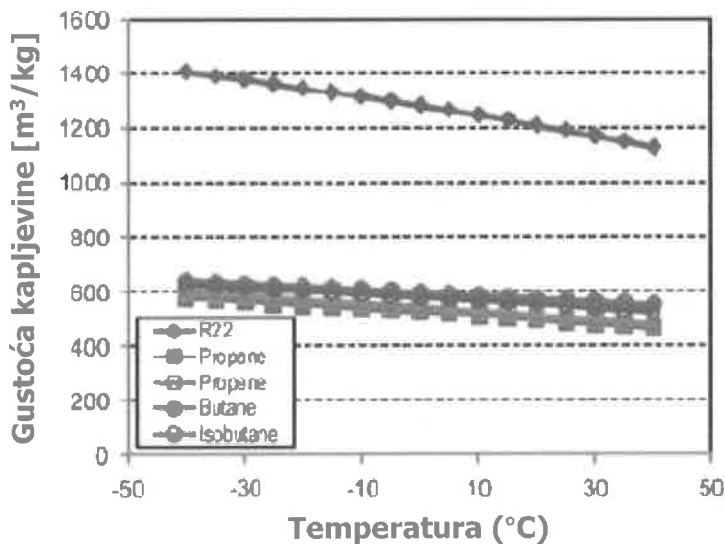
Komentar:

- o ugljikovodici imaju **dvostruko veću** latentnu toplinu isparivanja od R-22 što znači da je maseni protok kroz rashladni sustav s ugljikovodicima za isti učinak hlađenja/grijanja, **upola manji** od onog koji zahtjeva sustav s R-22,
- o slično vrijedi i za ostale HFC radne tvari.

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Gustoća kapljevine



Komentar:

- o ugljikovodici imaju skoro **dvostruko manju** gustoću od R-22 što znači da je potrebno **upola manje** punjenje sustava radnom tvari nego što to zahtjeva sustav s R-22.

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Gustoća pare na usisu u kompresor

Radna tvar	Propan	Propen/ Propilen	Butan	Izo-butan	R22
Oznaka	R290	R1270	R600	R600a	R22
Temperatura isparivanja pri atmosferskoj tlaku [°C]	-42,09	-47,69	-0,90	-11,61	-40,8
Latentna toplina isparivanja [kJ/kg]	425,6	475,2	385,24	366,2	233,95
Kritična temperatura [°C]	96,7	91,1	152,0	134,7	96,2
Kritični tlak [bar]	42,5	55,4	38,0	36,5	49,9
Gustoća pare pri temperaturi 10°C s pregrijanjem 8K [kg/m ³]	10,57	12,55	2,87	4,4	21,74

*Gustoća (pri 10°C) za R-134a je 13 kg/m³

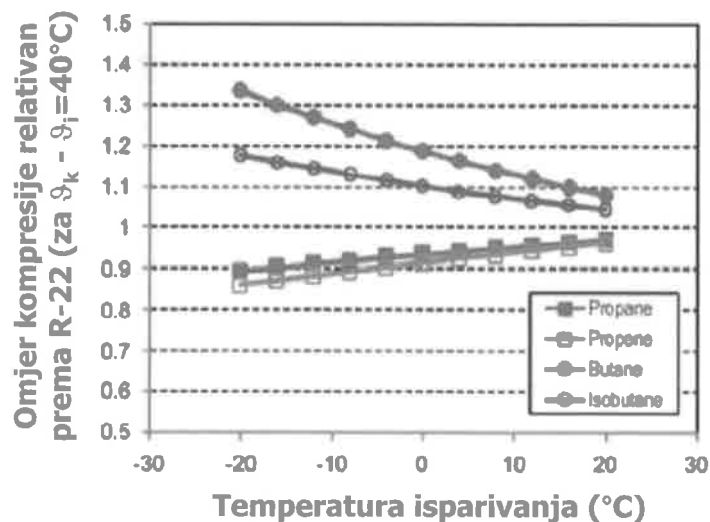
Komentar:

- o maseni protok kompresora s propanom je otprilike **dvostruko manji** nego maseni protoka s radnom tvari R-22,
- o niža gustoća radne tvari uzrokuje i manji pad tlaka duž izmjenjivača, manje dimenzije cijevi i ventila.

2. RADNE TVARI

1.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Omjer kompresije



Komentar:

- o propan i propilen imaju **niži** omjer kompresije (p_k/p_i) od radne tvari R-22,
- o niži omjer kompresije pruža **viši volumetrički stupanj djelovanja kompresora**, odnosno manju potrošnju energije za istu dobavu.

2. RADNE TVARI

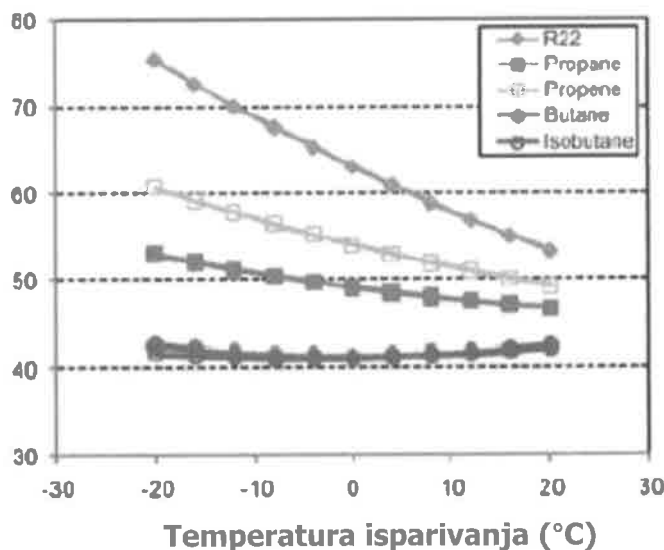
2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima Volumetrički rashladni učinak

Umnožak gustoće radne tvari na usisu u kompresor (ρ_1) i specifičnog rashladnog učinka (q_o) naziva se volumetrički rashladni učinak (q_{oV1})

$$\Phi_o = q_{mRT} q_o = \rho_1 q_{V RT} q_o$$

$$q_{oV1} = \rho_1 q_o = \rho_1 (h_1 - h_4) \text{ , kJ/m}^3$$

Temperatura na izlazu iz kompresora [$^{\circ}\text{C}$] pri $\vartheta_k = 40^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{\text{poth}} = 0^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{\text{preg}} = 5^{\circ}\text{C}$



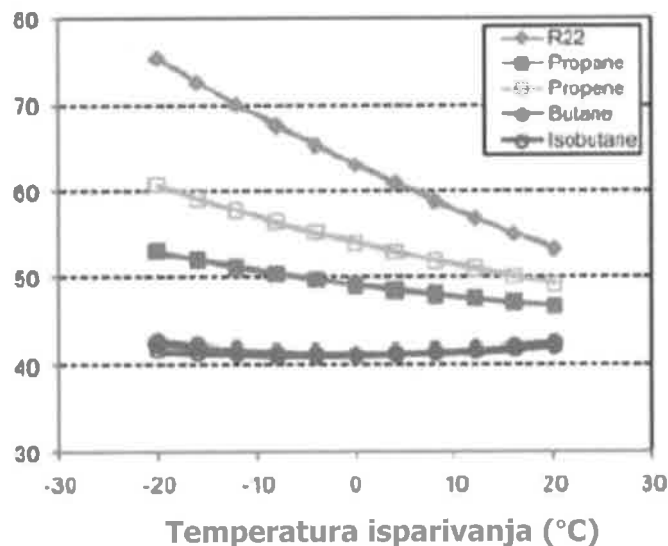
Komentar:

- o volumetrički rashladni učinak **pada** pri snižavanju temperature isparivanja većinom zbog smanjenja gustoće zasićene pare pri nižim temperaturama,
- o veličina kompresora sustava s nižim temperaturama mora biti mnogo **veća** nego kod sustava s višim temperaturama,
- o kompresori za HC radne tvari uvijek će biti **veći** od onih koji koriste R22, s izuzetkom propena,
- o sustavi na kojima se izvrši zamjena R22 s propanom imati uvijek nešto **niži** rashladni učinak.

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima Temperatura na izlazu iz kompresora

Temperatura na izlazu iz kompresora [$^{\circ}\text{C}$] pri $\vartheta_k = 40^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{\text{poth}} = 0^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{\text{preg}} = 5^{\circ}\text{C}$



Komentar:

- o propan ima **mnogo niže temperature na izlazu iz kompresora** za razliku od radne tvari R-22 te time **dozvoljava rad pri višim temperaturama kondenzacije.**

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima

Pad tlaka u cjevovodima i izmjenjivačima topline

o propan i ostali ugljikovodici imaju **niži pad tlaka u isparivaču i kondenzatoru**.

o dimenzije cjevovoda za propan odgovaraju dimenzijama cjevovoda s radnom tvari R-22. Izobutan i butan zahtijevaju veće promjere cijevi za isti rashladni učinak radi potrebnog većeg protoka radne tvari.

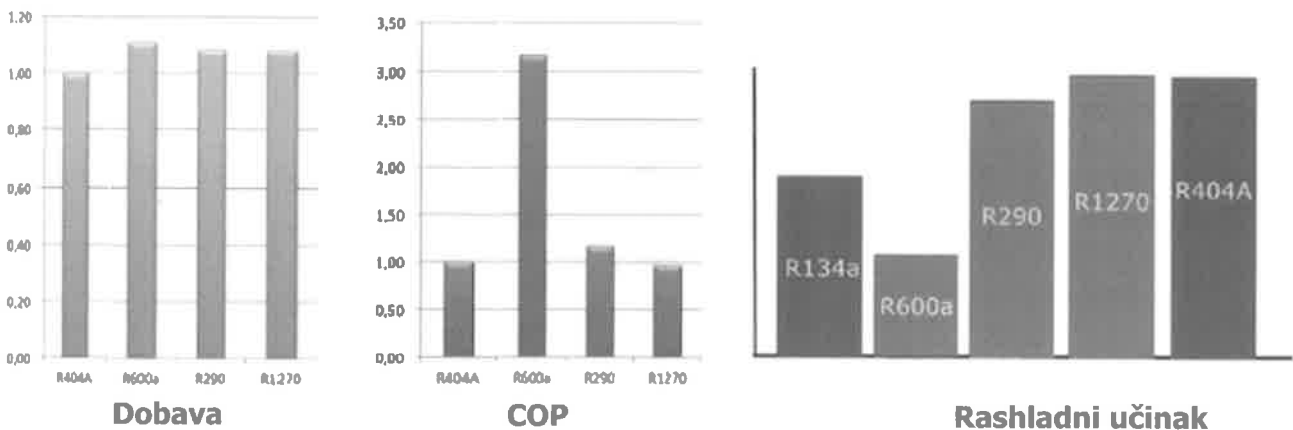
Usporedba radnih karakteristika

o rashladni učinak: 10 kW, temperatura isparivanja: -10°C, temperatura kondenzacije: 35°C, pregrijanje: 5 pothlađenje: 2 K, pad tlaka: 0,5 K, izentropska iskoristivost: 0,7

Radna tvar	Temperatura zasićenja pri 0 bar g [°C]	Potrebna dobava kompresora [m ³ /h]	COP ²	Temperatura na izlazu iz kompresora [°C]	Kompresijski omjer ³
R600a	-12	47,13	3,26	51	4,40
R290	-42	17,35	3,18	59	3,61
R1270	-48	14,3	3,17	67	3,53

2. RADNE TVARI

2.9 Usporedba ugljikovodika s HCFC i HFC radnim tvarima



o faktor hlađenja propana je općenito 20% veća u odnosu na HFC radne tvari (R-134a i R-404A)

o latentna toplina ugljikovodika je i do 2,5 puta veća, a prijenos topline do 1,5 puta veći u odnosu na HFC tvari

Ugljikov dioksid

Termodinamičke osnove i sigurnosni zahtjevi

Prof.dr.sc. Marino Grozdek

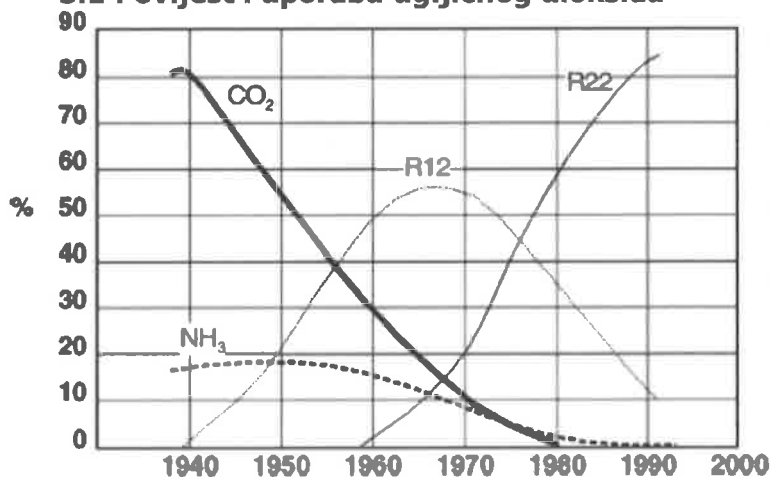
16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

1

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.1 Povijest i uporaba ugljičnog dioksida



- o 1748. William Cullen (Glasgow) – prvi uređaj za tehničko hlađenje – nije zaživio
- o 1850. Alexander Twining – predložio radnu tvar – CO₂
- o 1869. Thaddeus Love – rashladni uređaj s CO₂ – Amerika
- o 1881. Carl Linde – rashladni uređaj s CO₂ – Europa

- o 1930. prva radna tvar CFC (R12) boljih karakteristika od CO₂,
- o do 1930. CO₂ i NH₃ se koriste kao radne tvari,
- o visoki radni tlakovi i snažna propaganda sintetičkih RT – prestanak upotrebe CO₂,
- o 1980. uočene promjene u ozonskom omotaču, razvoj HFC (R134a),
- o 1992. Loretzen & Petersen objavljuju rad o ponovnoj primjeni CO₂ kao RT,
- o nove RT vrednovati putem GWP, ODP, TEWI, od ove godine – GWP<150,

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

2

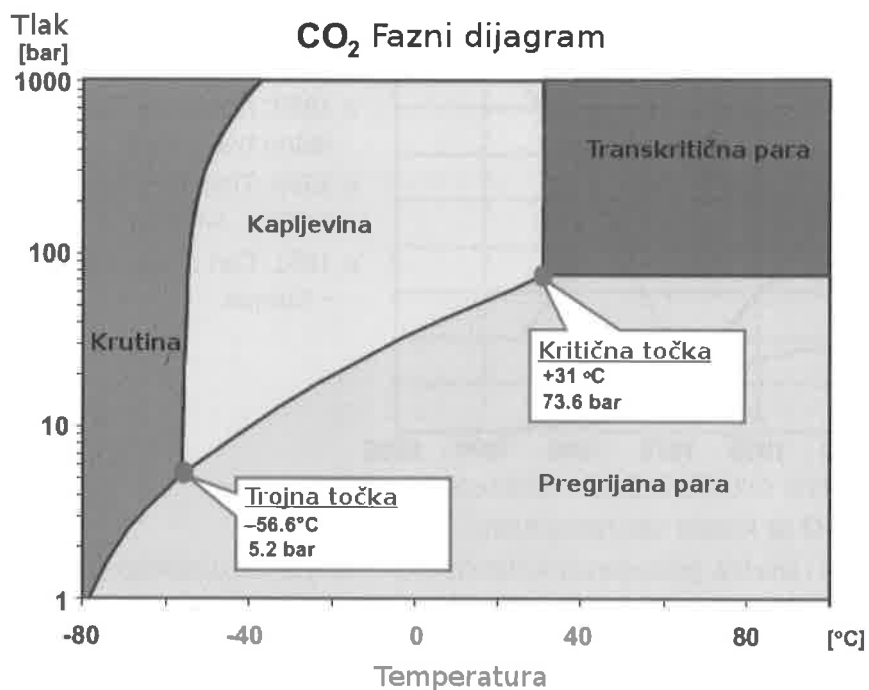
3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.2 Termofizikalna svojstva radnih tvari

	R12	R22	R134a	R407C	R410A	R717	R290	R744
ODP/GWP	1/8500	0,05/1700	0/1300	0/1600	0/1900	0/0	0/3	0/1
Zapaljivost/ otrovnost	ne/ne	ne/ne	ne/ne	ne/ne	ne/ne	da/da	da/ne	ne/ne
Molekularna masa [kg/kmol]	120,9	86,5	102,0	86,2	72,6	17,0	44,1	44,0
Kritični tlak [bar]	41,1	49,7	40,7	46,4	47,9	114,2	42,5	73,8
Kritična temperatura [°C]	112	96	101,1	86,1	70,2	133	96,7	31,1
Volumetrički rashladni učinak q_{0v} ($\vartheta_e = 0$ °C), [kJ/m³]	2734	4356	2868	4029	6763	4382	3907	22545
Prva primjena	1931	1936	1990	1998	1998	1859	-	1869

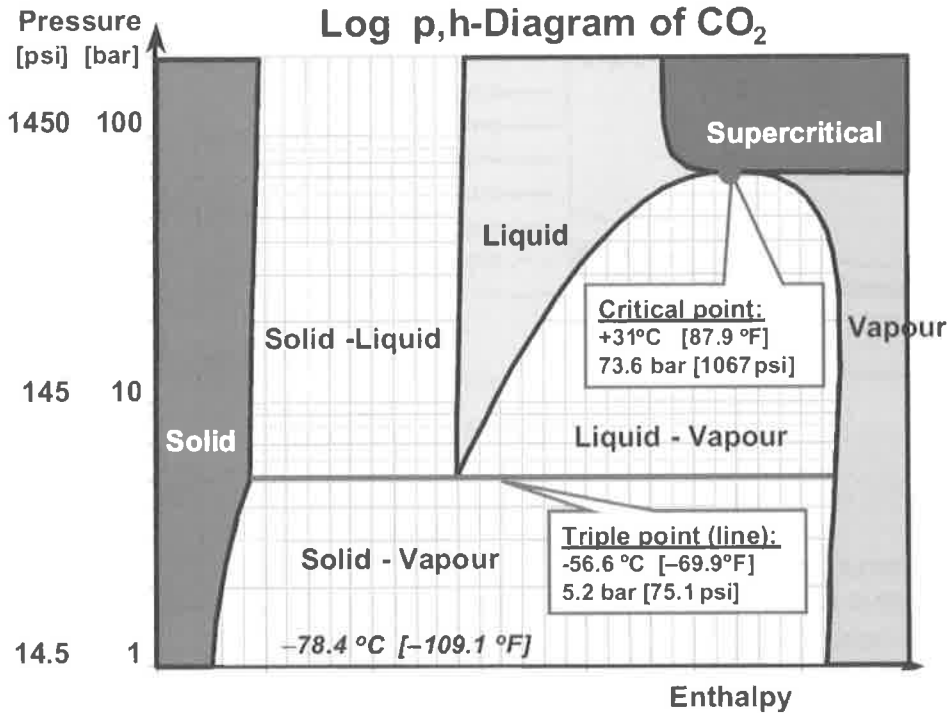
3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



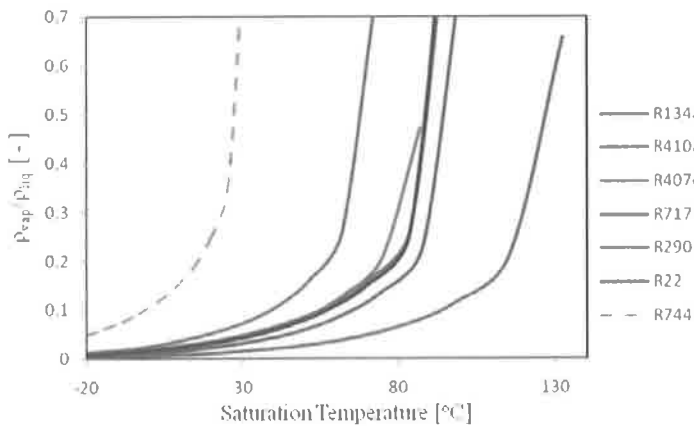
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

5

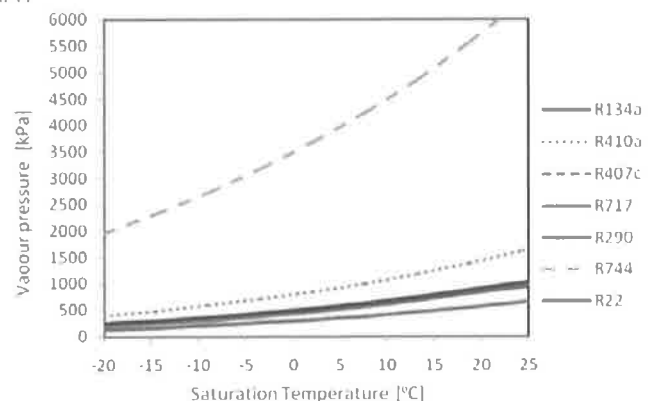
3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



o mala vrijednost omjera gustoće pare i kapljevine – homogeniji tok u manjim kanalima – osnovni razlog zašto CO₂ ima 60 do 70% veći koeficijent prolaza topline od ostalih radnih tvari (osim amonijaka)

o tlak visokotlačne strane kod CO₂ znatno je veći od tlaka pare ostalih radnih tvari – uređaji moraju imati veće debljine stjenki



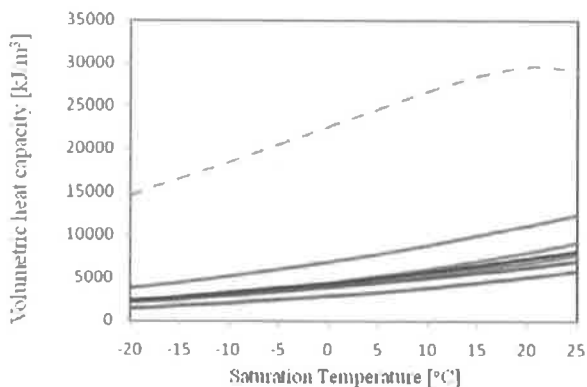
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

6

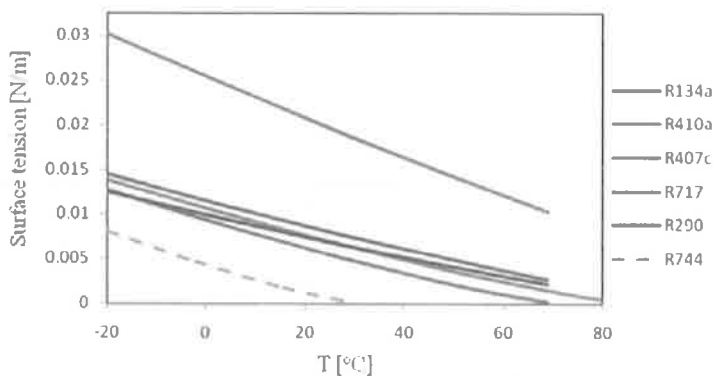
3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



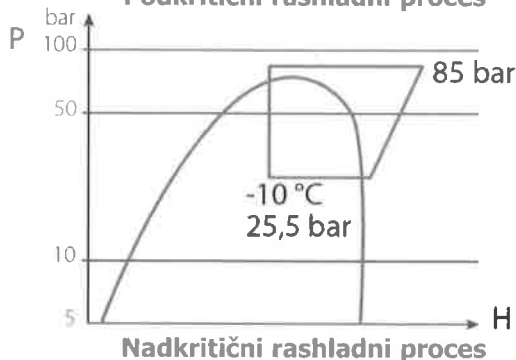
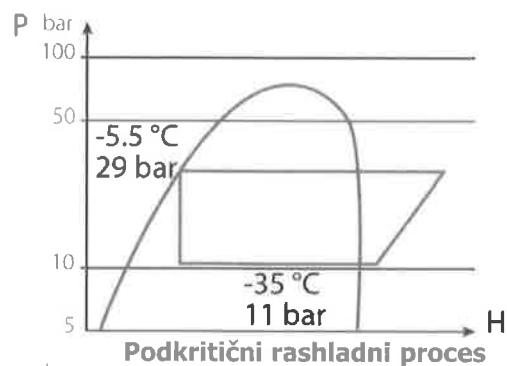
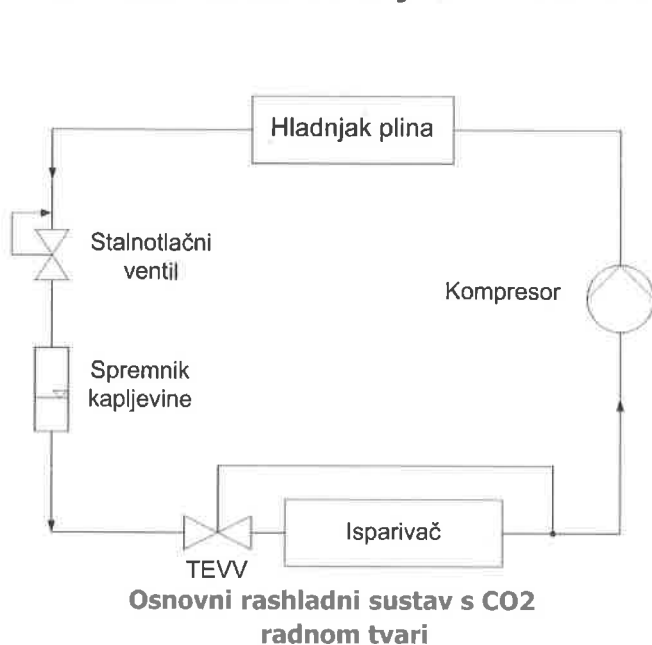
- o volumetrički rashladni učinak 3 do 4 je puta veći nego kod drugih promatranih radnih tvari
- o potrebna manja količina radne tvari u optoku
- o manje dimenzije kompresora

o površinska napetost najniža od svih promatranih radnih tvari → bolje kvašenje cijevi → bolji prijelaz topline



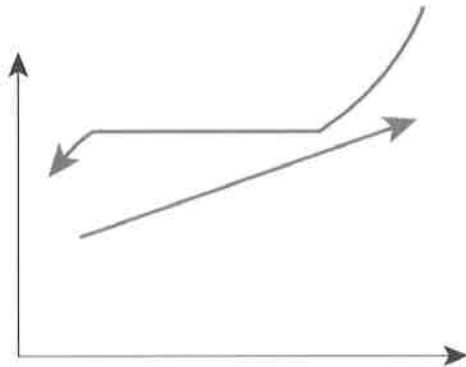
3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari

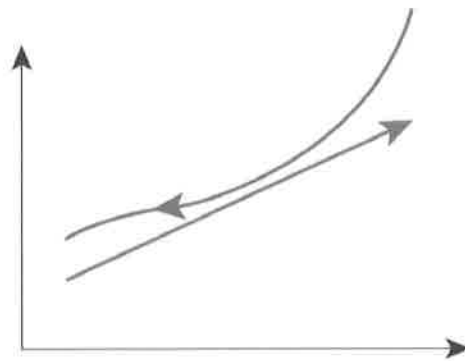


3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



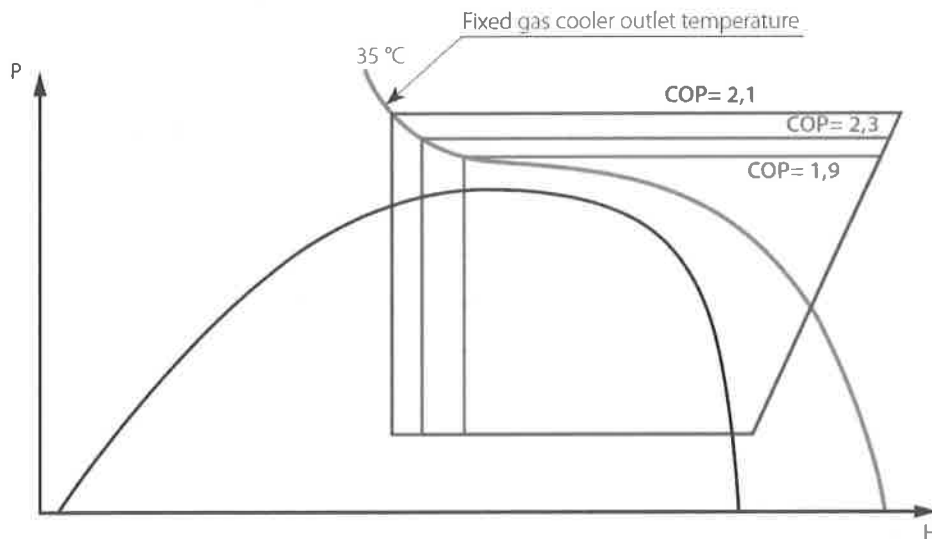
Izmjena topline pri kondenzaciji
radne tvari, npr. HFC



Izmjena topline pri hlađenju plina
radne tvari CO₂

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

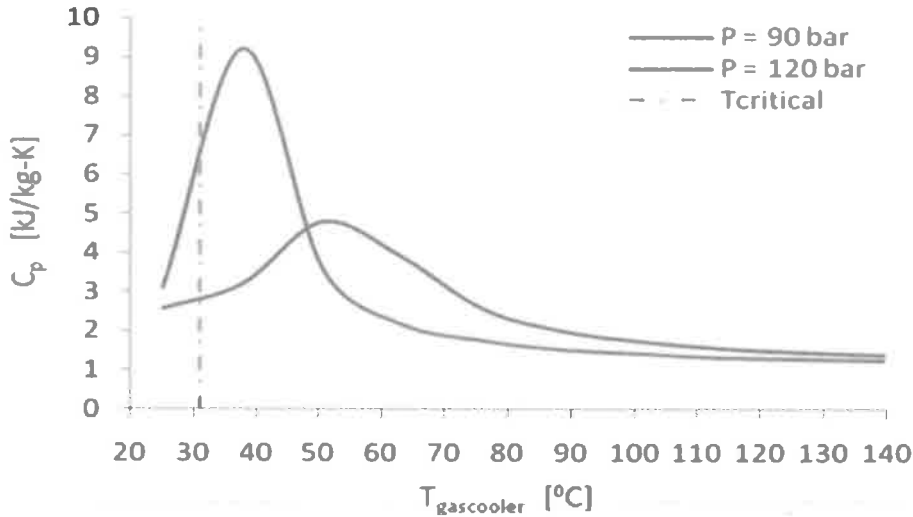
3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



- o nadkritično područje → tlak neovisan o temperaturi
- o specifična toplota isparavanja raste s porastom tlaka ($T_{ex} = \text{konst.}$) do određene granice
- o povećanjem tlaka → povećava se potrebna snaga kompresora
- o potrebno pronaći optimum

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari

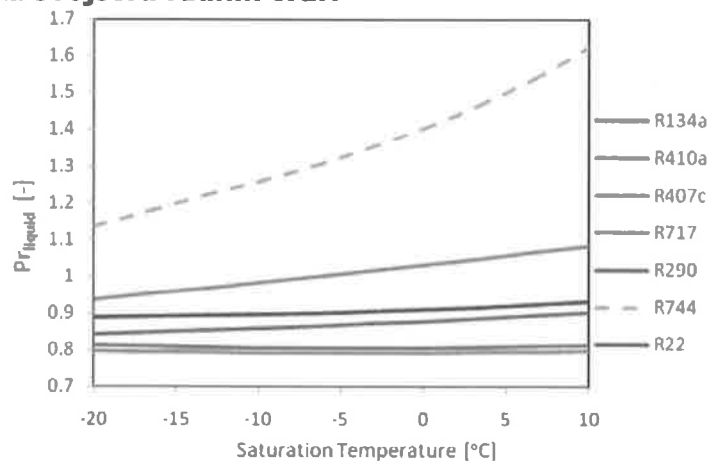


o specifični toplinski kapacitet raste s približavanjem kritičnoj točki, nakon maksimuma, naglo opada
 o temperatura kod najveće vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta zove se pseudo-kritična temperatura

o pseudo-kritična temperatura – viša od kritične – raste s porastom tlaka

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



o CO₂ ima vrlo visok Prandtllov broj koji ovisi o:

- dinamičkoj viskoznosti
- specifičnom toplinskom kapacitetu
- koeficijentu provođenja topline

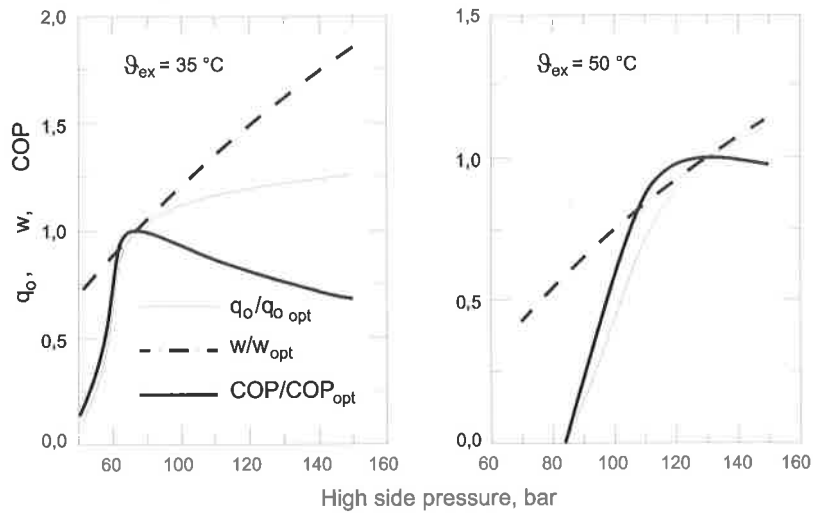
$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$$

o $Pr \rightarrow Nu = f(Re, Pr) \rightarrow \alpha = f(Nu)$

o $Pr \uparrow - \alpha \uparrow$

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari



Utjecaj p_k i T_{ex} na q_o , w i COP

- o tlak bitno utječe na promjenu entalpije
- o COP bitno ovisi o tlaku
- o T_{ex} – temperatura plina na izlazu iz hladnjaka
- o COP raste s porastom tlaka hladnjaka plina samo do određene točke, nakon čega opada

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.3 Termodinamička svojstva radnih tvari

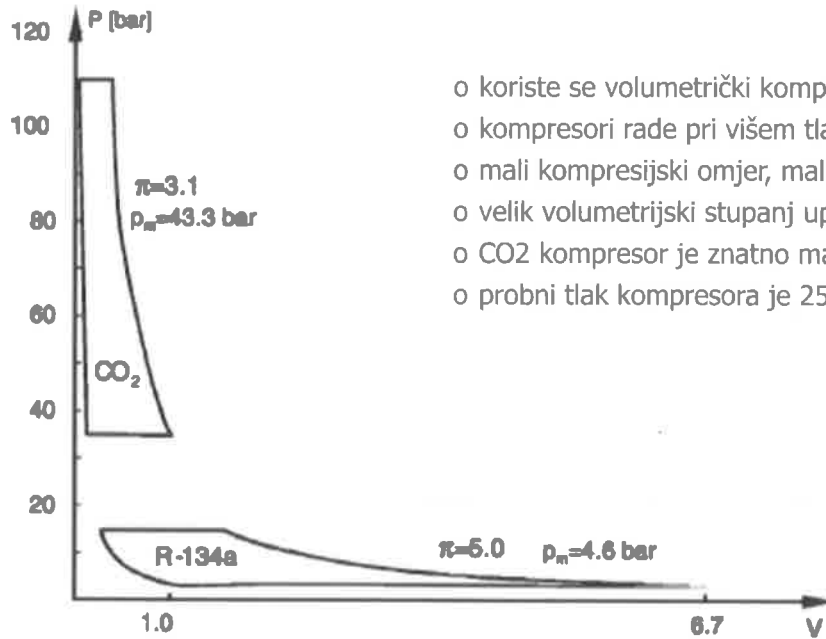
Usporedba CO₂ s drugim radnim tvarima

Svojstvo radne tvari	R-744	HFO	HC	R-717
Rashladni učinak				
Učinkovitost				
Tlak				
Utjecaj na okoliš				
Zapaljivost				
Otrovnost				
Dostupnost kao radna tvar				
Dostupnost komponenata				
Dostupnost stručnjaka				
Cijena radne tvari				
Cijena sustava				

	Bolje od HFCa
	Slično kao i HFC
	Lošije od HFCa

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.4 Konstrukcijski zahtjevi

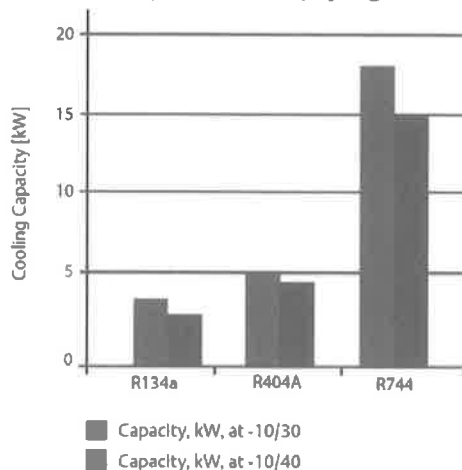


- o koriste se volumetrički kompresori
- o kompresori rade pri višem tlaku, velike razlike tlaka (cca 80 bar)
- o mali kompresijski omjer, mali radni volumeni
- o velik volumetrijski stupanj upijanja (mala ekspanzija)
- o CO₂ kompresor je znatno manji, ali ima deblje stjenke
- o probni tlak kompresora je 250 bar

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.4 Konstrukcijski zahtjevi

- o Dimenzije usisnog i kapljevinskog cjevovoda su manje nego u slučaju HFCa
- o Isparivači i kondenzatori su manji (ili je razlika temperatura na njima manja) nego u slučaju HFCa
- o Snaga kompresora za dani rashladni učinak je slična HFC radnoj tvari, tako da je kombinacija snage motora kompresora i stapajnog volumena različita za CO₂



Usporedba rashladnog učinka CO₂ i HFCa za kompresore istog stapajnog volumena

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.4 Konstrukcijski zahtjevi

Upravljanje

o Upravljanje CO₂ rashladnim uređajima mora biti preciznije i brže nego u slučaju HFCa jer za isti rashladni učinak imaju u pravilu manje kompresora i manji volumen izmjenjivača topline što dovodi do bržih promjena u sustavu.

Maziva

- o Poliolestersko ulje (POE) dobro se miješa s CO₂ te se zbog toga koriste ulja s višom viskoznošću u odnosu na HFC.
- o Posebnu pažnju treba posvetiti da vlaga ne uđe u sustav!
- o Kapljevina CO₂ je teža od ulja, kao i u slučaju HFC-a, te stoga treba predvidjeti dobar sustav za separaciju i povrat ulja u kompresore.

Materijali

- o CO₂ je kompatibilan sa većinom materijala korištenih u sustavima hlađenja.
- o Elastomerne brtve imaju tendenciju pucanja kad se koriste s CO₂.
- o U novije vrijeme se koriste bakrene cijevi s dodatkom željeza (K65)
- o U slučajevima kad se koriste čelične cijevi, npr. većih promjera za razdjelnike/sabirnike potrebno je koristiti čelik za niske temperature.

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.5 Sigurnosni zahtjevi – opasnost od trovanja i gušenja

- o CO₂ nije zapaljiv, ali radi pri visokom tlaku, toksičan je pri visokoj koncentraciji u zraku i može doći do stvaranja suhog leda prilikom propuštanja.
- o CO₂ je bez mirisa, teži je od zraka te može dovesti do gušenja – **Obavezna uporaba uređaja za detekciju propuštanja!**

Radna tvar	Praktična granica [kg/m ³] (prema HRN EN 378)	ppm
R-744	0,1	56.000
R-404A	0,48	120.000

Koncentracija CO ₂ ppm	Utjecaj
370 (0,037 %)	Normalna koncentracija u atmosferi
5.000 (0,5 %)	Gornja granica uređaja za detekciju propuštanja. Dugoročno izlaganje (8 sati)
15.000 (1,5 %)	Glavni alarm. Kratkoročno izlaganje (10 min)
30.000 (3 %)	Neugoda, problemi s disanjem, glavobolja, vrtoglavica
50.000 (5 %)	Omamljenost
100.000 (10 %)	Gubitak svijesti, smrt
300.000 (30 %)	Brza smrt

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.5 Sigurnosni zahtjevi – opasnost od visokog tlaka

- o Svi dijelovi sustava, elementi i oprema moraju biti izvedeni za tlakove pri kojima CO₂ sustavi rade.
- o U kaskadnim podkritičnim sustavima tlak sustava u mirovanju je veći od nazivnog tlaka. **Sustavi moraju biti izvedeni sa sigurnosnim ventilima!**

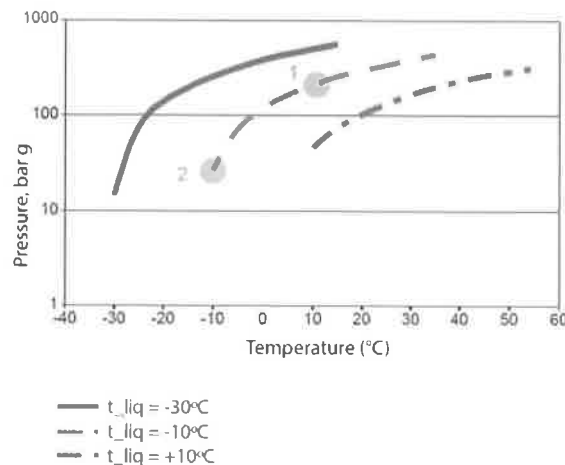
Tipični radni tlakovi i tlakovi u mirovanju sustav s CO₂

Dio sustava	Pretlak [bar]
Mirovanje na 10°C	44
Mirovanje na 30°C	71.1
Isparišač niskog tlaka (zamrznuta roba) - LT	10 do 15
Isparišač visokog tlaka (hlađena roba) - MT	25 do 30
Kondenzator kaskadnog sustava	30 do 35
Aktivacija visokotlačnog presostata kod kaskadnog sustava (visoki tlak)	36
Aktivacija sigurnosnog ventila kod kaskadnog sustava (visoki tlak)	40
Visokotlačna strana nadkritičnog sustava	90
Aktivacija visokotlačnog presostata kod nadkritičnog sustava (visoki tlak)	108 do 106
Aktivacija sigurnosnog ventila kod nadkritičnog sustava (visoki tlak)	120 do 140

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHTJEVI

3.5 Sigurnosni zahtjevi – zarobljena kapljevina CO₂

- o Koeficijent toplinskog širenja kapljevine CO₂ je značajno veći u odnosu druge radne tvari.
- o **Dijelovi sustav gdje može doći do zarobljavanja kapljevine mora biti opremljen sa sigurnosnim ventilima.**



Porast tlaka radi širenja kapljevine uzrokovano porastom temperature

3. CO₂ – TERMODINAMIČKE OSNOVE I SIGURNOSNI ZAHITJEVI

3.5 Sigurnosni zahtjevi – stvaranje suhog leda i opasnost od ozeblina

o Stvaranje suhog leda događa se kad tlak padne ispod trojne točke (4,2 bar pretlaka, -56°C).

o To se može dogoditi prilikom:

- ispuštanja CO₂ na sigurnosnim ventilima,
- ispuštanju CO₂ prilikom servisiranja,
- punjenju sustava koji je u vakuumu.

o Stvaranje suhog leda događa se kad tlak padne ispod trojne točke (4,2 bar pretlaka, -56°C).

o Suhi led može blokirati cjevovod za ispuštanje CO₂ stoga treba koristiti:

- sigurnosne ventile prilagođene namjeni i tlaku,
- prilikom ispuštanja CO₂ iz sustava treba ga ispuštati kao kapljevinu, a tlak sustava treba pratiti,
- CO₂ treba ispuštati u okoliš van zgrade.

o Treba izbjegavati kontakt sa krutinom ili kapljevnom CO₂ jer će izazvati ozeblina.

Ugljikov dioksid

Sustavi hlađenja s CO₂ kao radnom tvari

Prof.dr.sc. Marino Grozdek

16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

1

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.1 Uvod

o Zbog velike gustoće ugljikovog dioksida u odnosu na HFC/HFO radne tvari:

- kompresori za CO₂ imaju značajno manji stapajni volumen, tek 20% stapajnog volumena potrebnog u odnosu na HFC/HFO radnih tvari,
- snaga motora je poprilično slična,
- promjer cijevi je manji, posebno usisnog cjevovoda.

o Zbog visokog tlaka ugljikovog dioksida u odnosu na HFC/HFO radne tvari:

- svi elementi rashladnog kruga moraju biti izvedeni za visoke tlakove
 - LT – 13-16 bar,
 - MT – 25-30 bar,
 - HP – 50-100 bar.
- snaga motora je poprilično slična,
- visoka temperatura nakon kompresije (rezultat visokog politropskog eksponenta kompresije) razlog je što se rashladni sustavi za niskotemperaturnu aplikaciju (LT) moraju izvoditi kao sustavi s dvostupanjskom kompresijom.

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.1 Uvod

o Radi niske kritične temperature CO₂ se kao radna tvar koristi u sustavima komercijalnog hlađenja u slijedećim izvedbama:

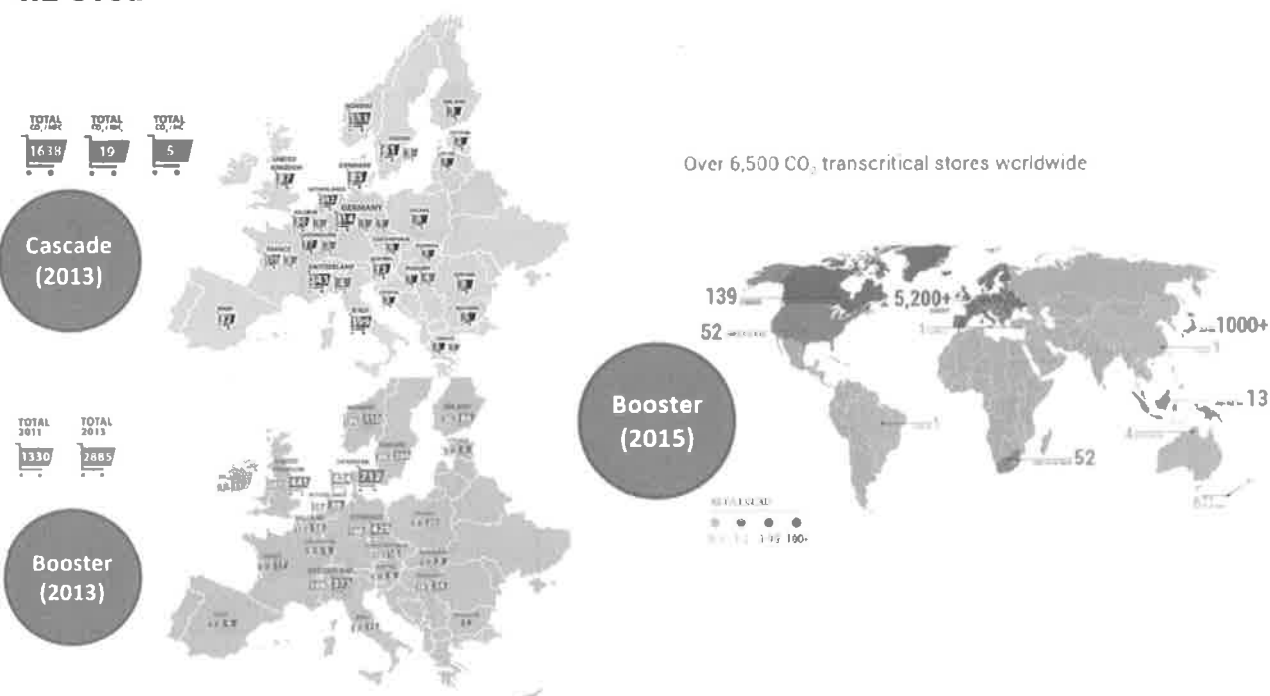
- kao **posredni prijenosnik energije** u sustavima s potopljenim isparivačima u kojima se strujanje CO₂ vrši pomoću pumpi ili
- kao **primarna radna tvar** u sustavima sa suhim isparivačima,

o Zbog svojih specifičnosti CO₂ se u rashladnim sustavima koristi kao:

- u kaskadnim rashladnim uređajima kao posredni prijenosnik energije (engl. **secondary systems**) ili
- u kaskadnim rashladnim uređajima kao sekundarna radna tvar (engl. **cascade systems**) i
- kao primarna radna tvar, odnosno u nadkritičnom sustavu s direktnom ekspanzijom (engl. **transcritical systems**) kao:
 - jednostupanjski nadkritični sustav za srednje temperature hlađenja (single stage transcritical system for MT, engl. medium temperature)
 - dvostupanjski nadkritični sustav za niske temperature hlađenja (engl. booster systems for LT, engl. low temperature)

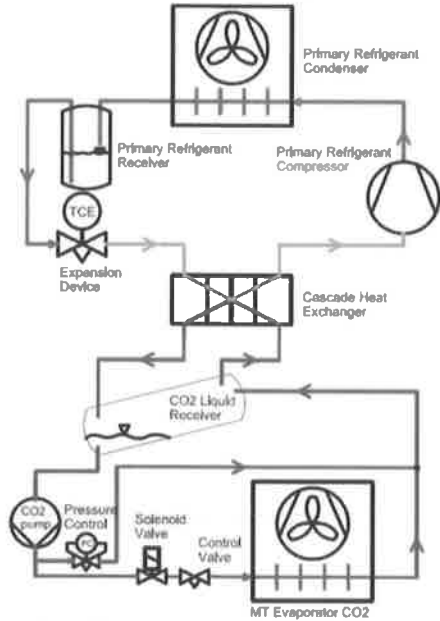
4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.1 Uvod



4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.2 CO2 kao posredni prijenosnik energije – podkritični sekundarni CO2 sustavi



Podkritični pumpni sekundarni CO2 rashladni sustav - MT potrošači

- o U donjoj kaskadi nalazi se CO2 koji se obično hladni na -3°C za MT i na -25°C za LT potrošače.
- o U gornjoj kaskadi (rashladnik kapljevina) nalazi se HFC radna tvar (npr. R-134a), amonijak R-717 ili ugljikovodici (HC).
- o Prednosti:
 - jednostavan sustav,
 - pouzdanost,
 - nema ulja u donjoj kaskadi,
 - manji zahtjevi na čistoću CO2 radne tvari.
- o Nedostaci:
 - izmjenjivač topline – razlika temperature,
 - veliko punjenje CO2.

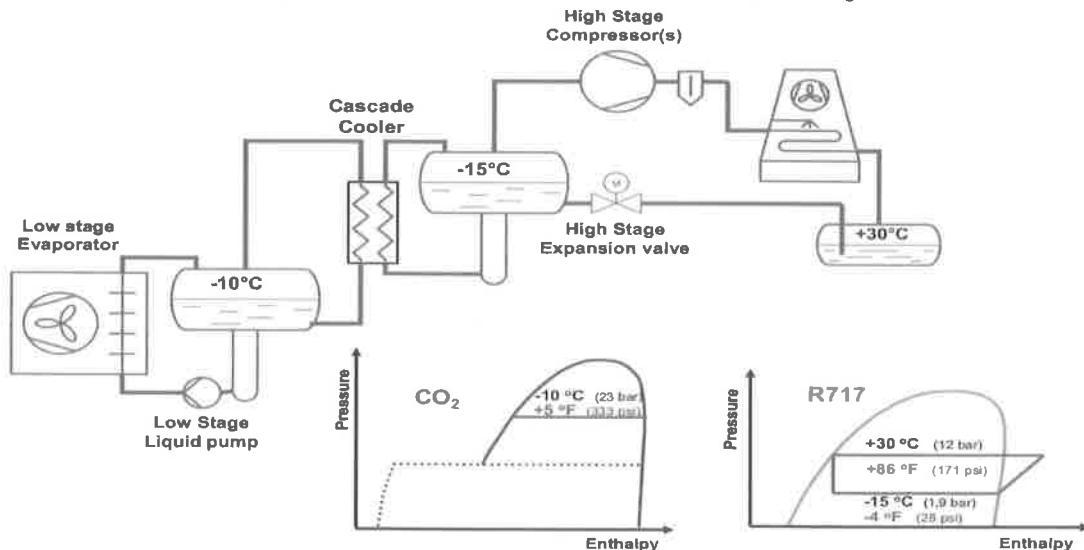
4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.2 CO2 kao posredni prijenosnik energije – podkritični sekundarni CO2 sustavi

Sub-critical cascade system CO2 - NH3 Pumped brine plant - principle

Low stage – CO₂

High stage - NH₃

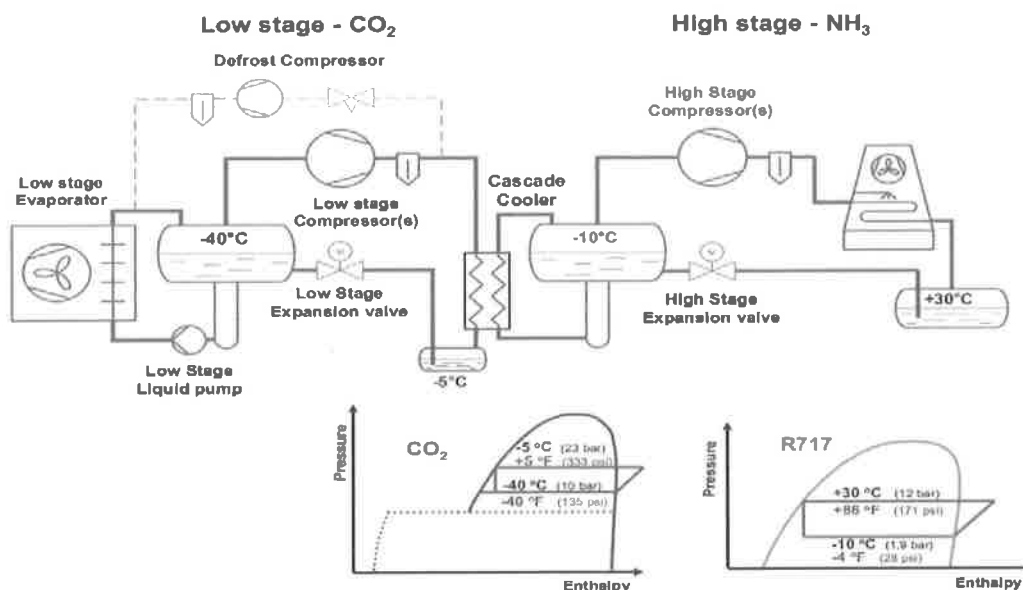


Podkritični pumpni sekundarni CO2 rashladni sustav - MT potrošači

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.2 CO₂ kao posredni prijenosnik energije – podkritični sekundarni CO₂ sustavi

Sub-critical cascade system CO₂ - NH₃ Single temperature plant - principle



Podkritični pumpni sekundarni CO₂ rashladni sustav - LT potrošači

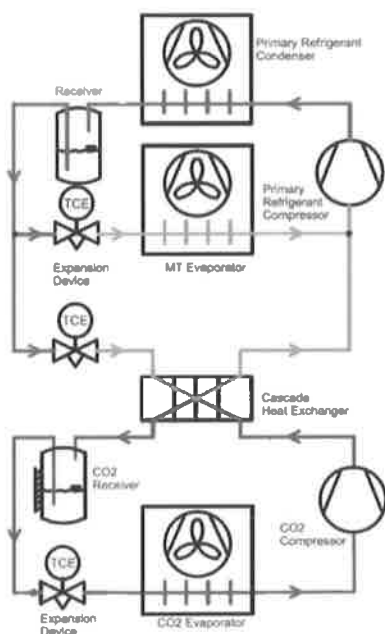
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

7

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.3 CO₂ kao sekundarna radna tvar – podkritični kaskadni CO₂ sustavi



Podkritični kaskadni CO₂ rashladni sustav - LT potrošači

- o U donjoj kaskadi nalazi se CO₂ koji obično isparava na -30 do -40°C LT potrošače.
- o U gornjoj kaskadi nalazi se HFC radna tvar (npr. R-134a), amonijak R-717 ili ugljikovodici (HC) i MT potrošači.
- o Rashladni uređaj gornje kaskade upravlja se na osnovu tlaka u spremniku CO₂ donje kaskade.

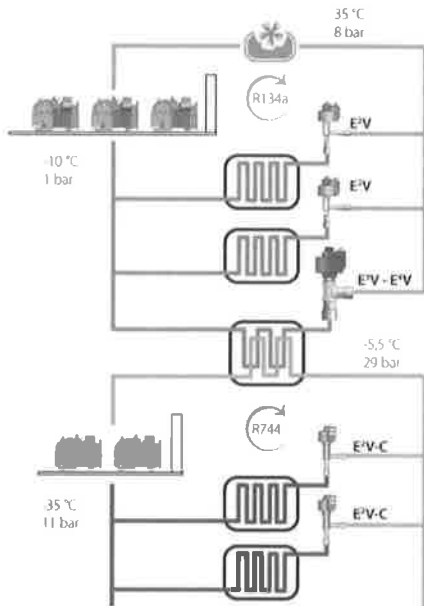
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

8

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.3 CO2 kao sekundarna radna tvar – podkritični kaskadni CO2 sustavi



o Prednosti:

- sustav je sličan tradicionalnom HFC sustavu (R-404A),
- radni tlakovi su slični kao i u HFC sustavima (max 45 bar),
- umjerena masa punjenja HFC-a u gornjoj kaskadi,
- učinkovitost sustava je viša od tipičnog HFC sustava,
- nema ograničenja s obzirom na vanjsku temperaturu zraka.

o Nedostaci:

- ako se u gornjoj kaskadi koristi amonijak MT potrošači neće biti priključeni na nju,
- radni tlakovi u donjoj kaskadi.

Podkritični kaskadni CO2 rashladni sustav - LT potrošači

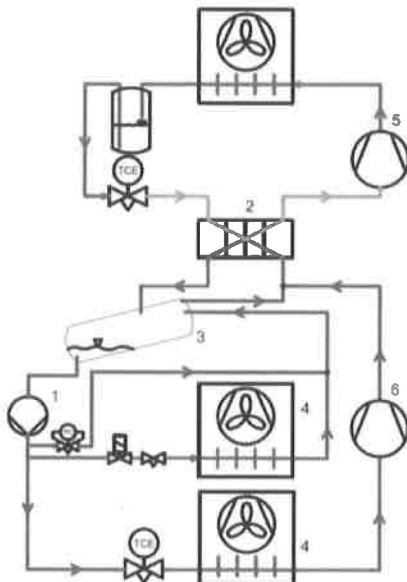
16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

9

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.4 CO2 kao sekundarna radna tvar – podkritični CO2 sustavi (pumpni i s direktnom ekspanzijom)



o Prednosti:

- učinkovitost sustava je visoka čak i u toplim klimatskim područjima,
- mala razlika temperatura na kaskadnom izmjenjivaču,
- maksimalni radni tlakov iznosi 45 bar što pruža mogućnost korištenja bakrenih cijevi i standardnih komponenata.
- 70-90% manje potrošnje električne energije u odnosu na mješavinu vode i propilen glikola

Kaskadni rashladni sustav s pumpnim sustavom za MT i direktnom ekspanzijom CO2 za LT potrošače

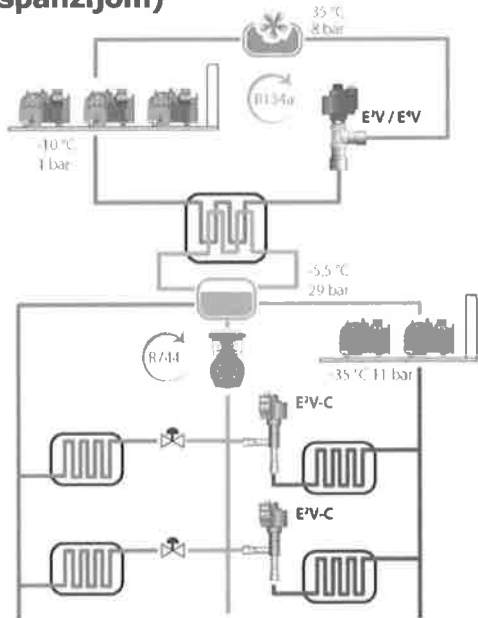
16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

10

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.4 CO₂ kao sekundarna radna tvar – podkritični CO₂ sustavi (pumpni i s direktnom ekspanzijom)



Kaskadni rashladni sustav s pumpnim sustavom za MT i direktnom ekspanzijom CO₂ za LT potrošače

16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

11

o Prednosti:

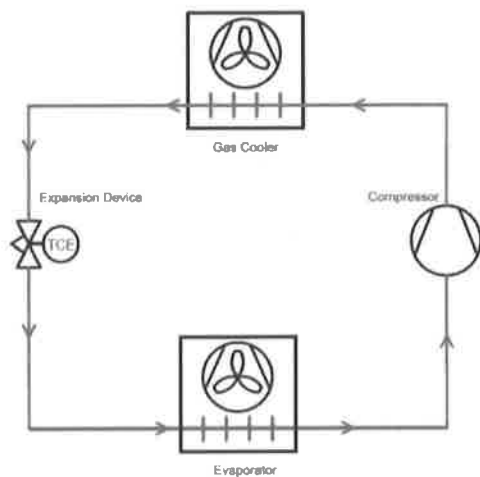
- mogućnost korištenja prirodnih radnih tvari u gornjoj kaskadi, npr. amonijaka koji je smješten samo u strojarnici,
- smanjeno punjenje radnom tvari u slučaju korištenja HFC/HFO,
- prirodna radna tvar CO₂ u krugu potrošača.

o Nedostaci:

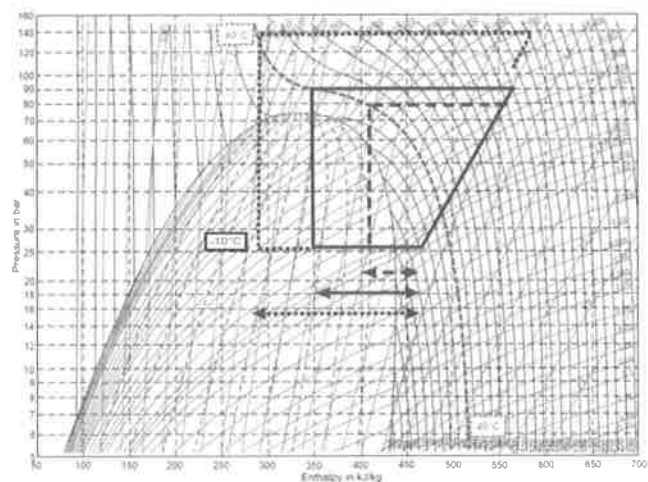
- cjevovod pumpnog sustava mora biti pažljivo projektiran i izveden,
- dodatna potrošnja energije za pogon pumpe,
- radni tlakovi u donjoj kaskadi.

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.5 Nadkritični CO₂ rashladni sustavi



Jednostavan jednostupanjski Nadkritični CO₂ sustav za MT



Log p-h dijagram jednostavanog jednostupanjski nadkritični CO₂ sustav

o Rashladni učinak i učinkovitost sustava (COP, engl. coefficient of performance) značajno ovise o temperaturi okoliša i napunjenosti sustava!

o U nadkritičnom području s padom tlaka smanjuje se rashladni učinak!

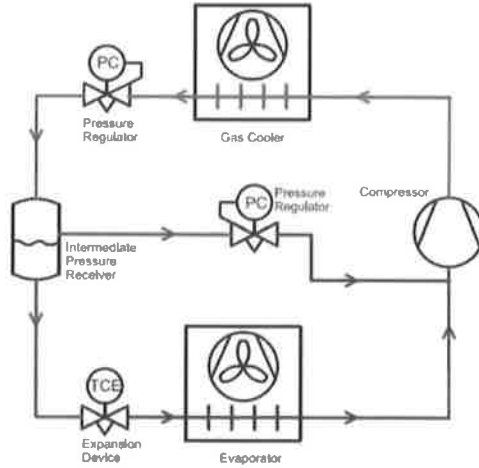
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

12

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.5 Nadkritični CO2 rashladni sustavi



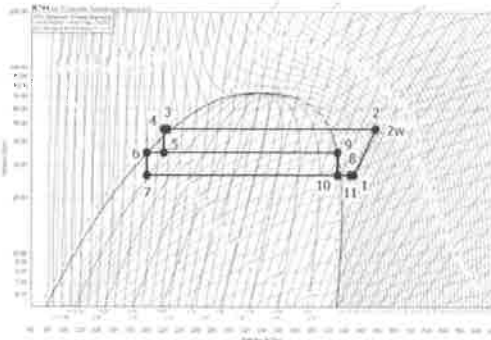
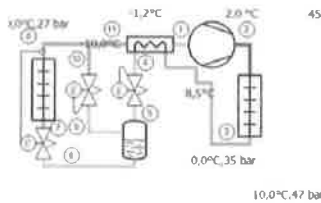
Nadkritični CO2 sustav s kontrolom visokog tlaka u hladnjaku plina i tlaka u u spremniku

o Tlak u hladnjaku plina regulira se da omogući traženi rashladni učinak ili optimalan faktor hlađenja (COP).

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.5 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – podkritični rad

CO2 one stage with gas bypass



$Q_e = 226,19 \text{ kJ/kg}$ Massflow fraction in compressor = 1
 $W = 31,17 \text{ kJ/kg}$ Massflow fraction in evaporator = 0,91
 $COP = 252,88 \text{ kJ/kWh}$

COP_r = 7,26 COP_h = 8,11

Evaporation temperature: -10 °C

50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15

Outlet from evaporator. Superheat: 10 K

70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Intermediate temperature: 0 °C

-40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25

Efficiency of internal heat exchanger: 30 %

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 47 bar Controlled

50 100 150 200

Outlet temperature from gas cooler: 10 °C

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

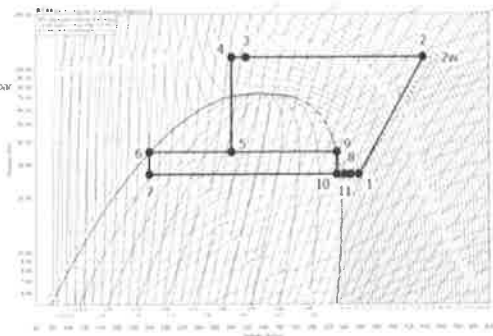
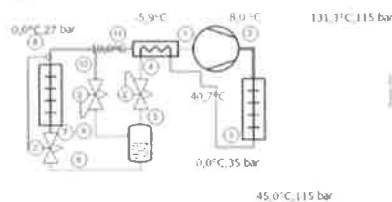
Isentropic efficiency: 67 %

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.5 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – transkritični rad

CO2 one stage with gas bypass



0,0°C, 35 bar
 $Q_e = 139,60 \text{ kJ/kg}$ Massflow fraction in compressor = 1
 $W = 93,81 \text{ kJ/kg}$ Massflow fraction in evaporator = 0,56
 $Q_c = 219,76 \text{ kJ/kg}$

COP_e = 1,49 **COP_h = 2,34**

Evaporation temperature: 10 °C

Outlet from evaporator, Superheat: 10 K

70% 75% 80% 85% 90% 95% 0 5 10 15 K

Intermediate temperature: 0 °C

-40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25

Efficiency of internal heat exchanger: 30 %

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

High pressure: 115 bar

50 100 150 200 Controlled

Outlet temperature from gas cooler: 45 °C

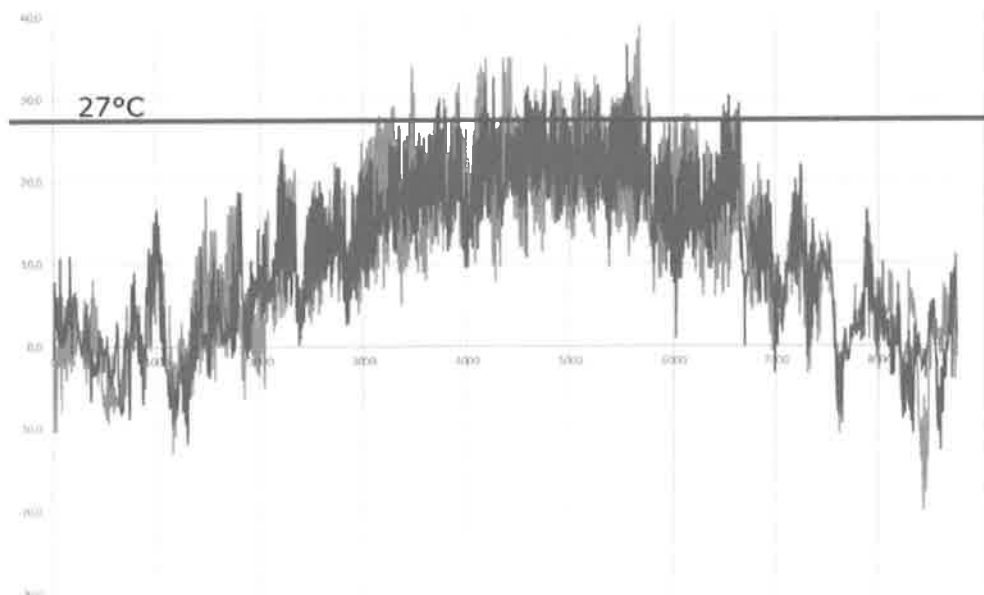
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

Isentropic efficiency: 67 %

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%

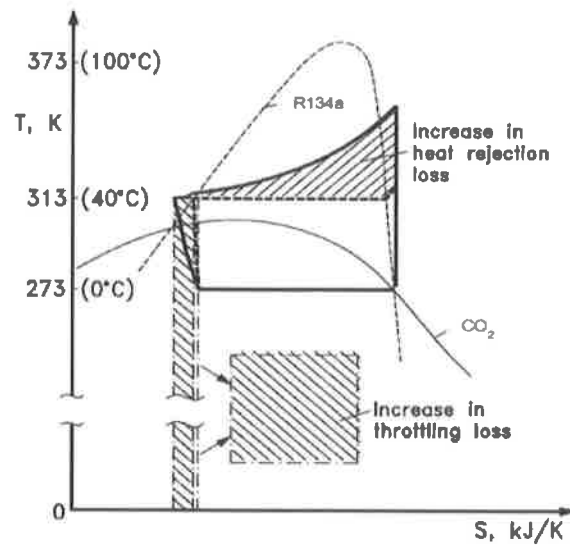
4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.5 Nadkritični CO2 rashladni sustavi



4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

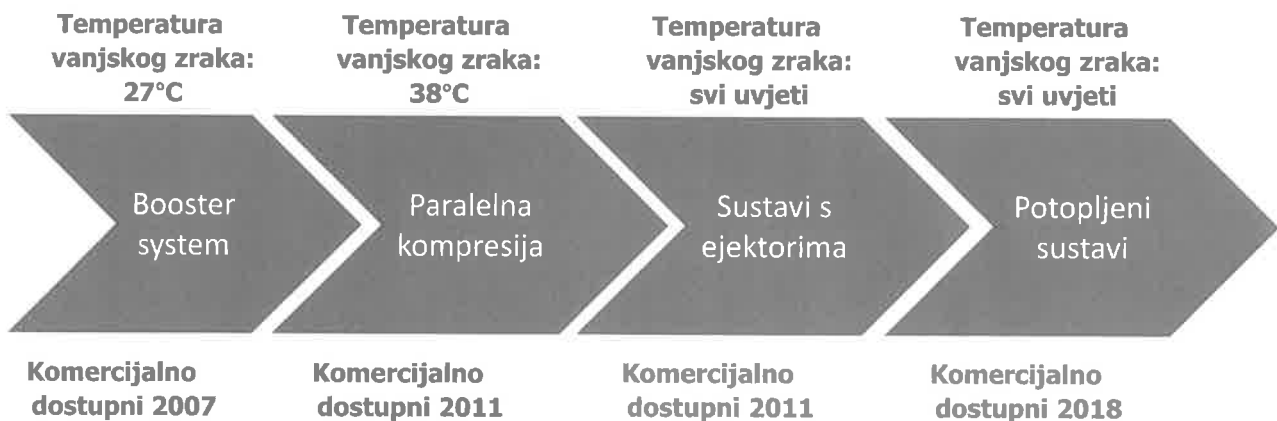
4.5 Nadkritični CO2 rashladni sustavi



Usporedba nadkritičnog CO2 i HFC sustava – izvori nepovrativosti

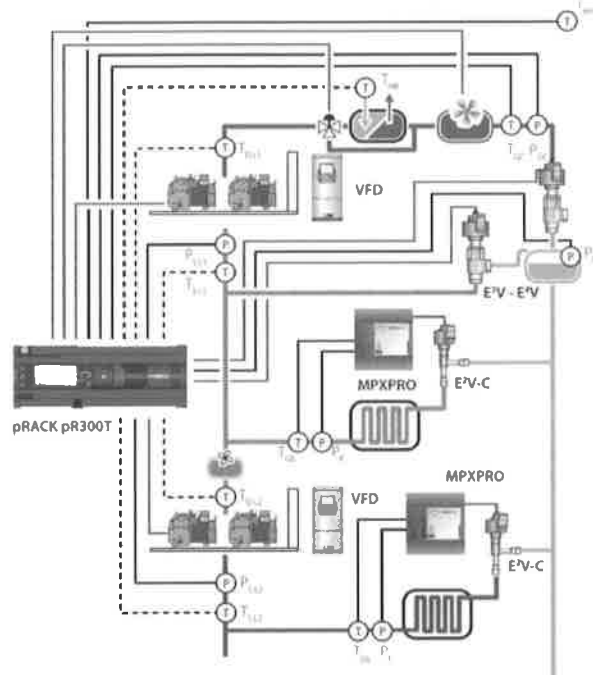
4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.6 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – Povijest razvoja



4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

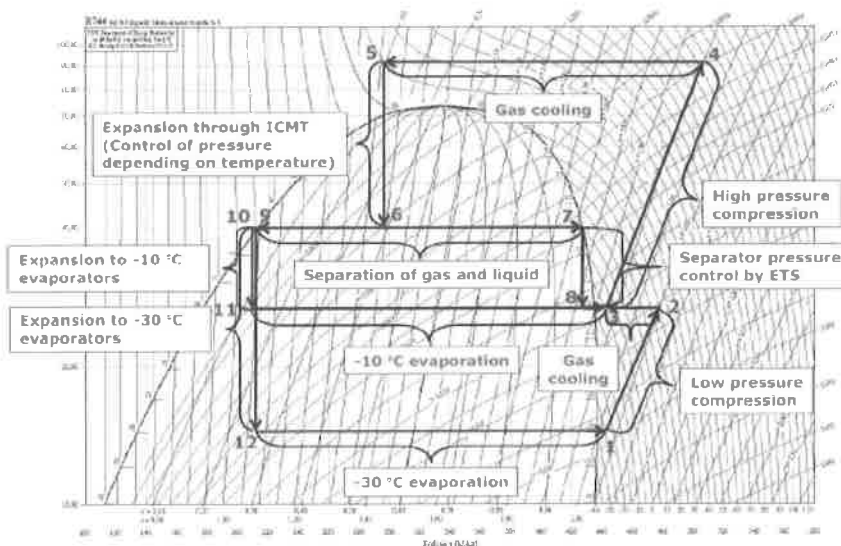
4.7 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav (booster)



Dvostupanjski transkritični CO2 sustav za MT i LT potrošače

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

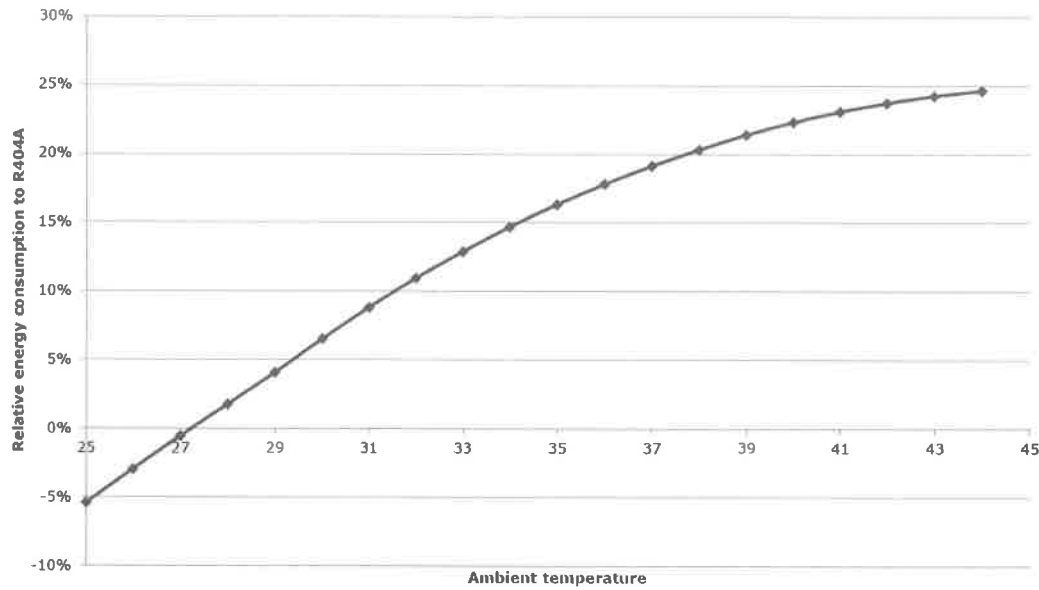
4.8 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav (booster)



Dvostupanjski nadkritični CO2 sustav za MT i LT potrošače

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

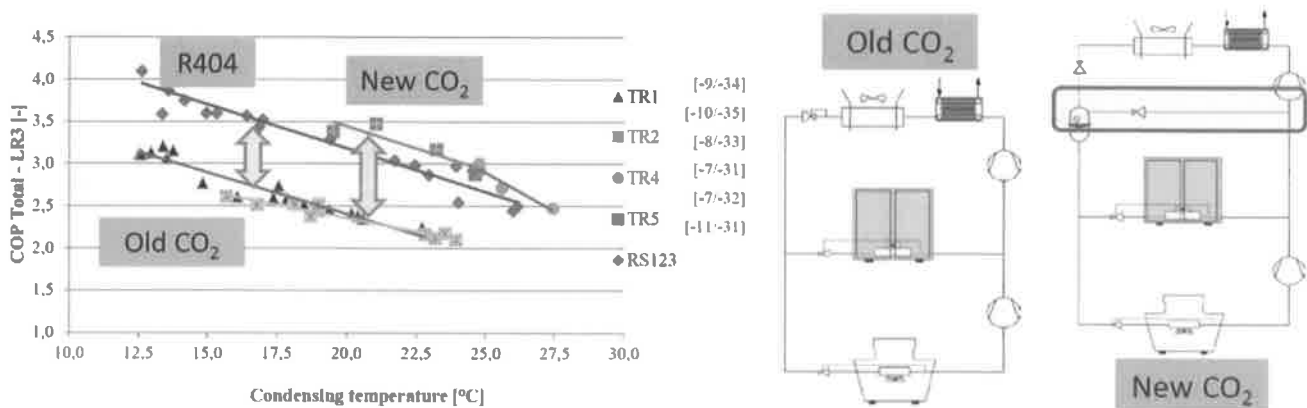
4.8 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav (booster)



Potrošnja energije dvostupanjskog CO2 sustava u odnosu na R-404A

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.8 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav (booster)

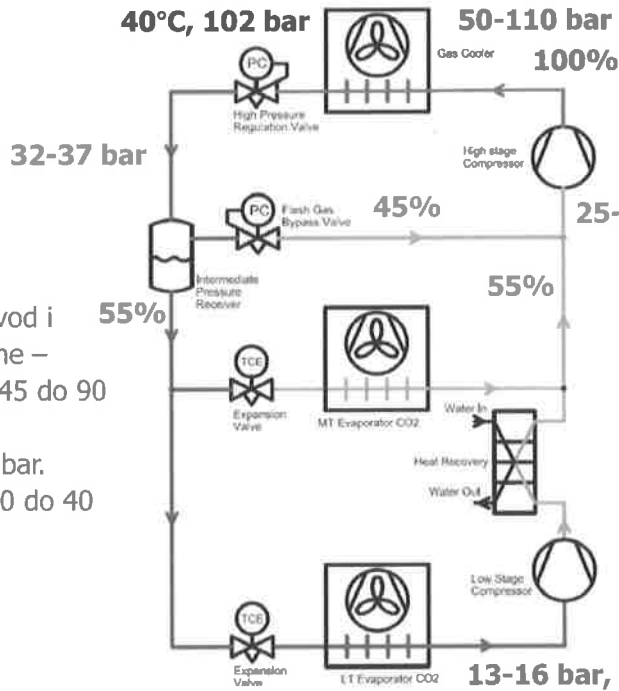


Potrošnja energije dvostupanjskog CO2 sustava u odnosu na R-404A – terenska mjerenja

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.9 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – tlakovi u nadkritičnom CO2 sustavu

o Kapljevinski cjevovod i sakupljač kapljevine – nominalni tlak od 45 do 90 bar. Trend prema konstrukciji za 60 bar. Normalni rad od 30 do 40 bar.



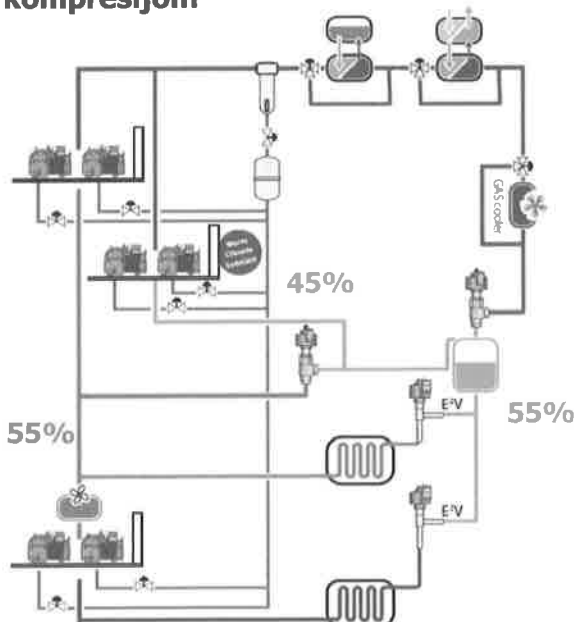
o Visokotlačna strana (tlačni vod kompresora, hladnjak plina do ventila) – konstruiraju se za 120 bar. Normalni rad od 50 do 110 bar.

o Tlak MT usisnog cjevovoda je ograničen maksimalnim dozvoljenim tlakom LT kompresora – 45, 55 bar ili više. Normalni rad od 25 do 35 bar.

o Tlak LT usisnog cjevovoda je ograničen dozvoljenim tlakom na usisa u LT kompresor – 25 do 30 bar.

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.10 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom

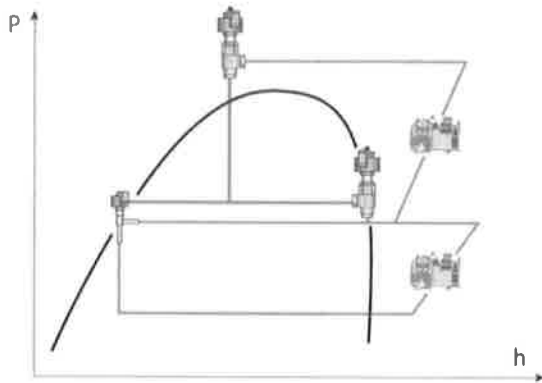


- o Dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom koristi se u područjima s visokom vanjskom temperaturom zraka.
- o Viša učinkovitost sustava (COP).
- o Manja potrebna dobava kompresora u gornjem stupnju.
- o Smanjenje troška za energiju i investiciju postiže se za sustave veće od 150 kW.

Dvostupanjski Nadkritični CO2 sustav s paralelnom kompresijom za MT i LT potrošače

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.10 Nadkritični CO₂ rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom



o U ovisnosti o radnim uvjetima sustav radi u:

- transkritičnom području uz održavanje maksimalnog COP-a,
- podkritičnom području uz održavanje određenog pothlađenja,
- prijelaznom području u kojem se prijelaz između ta dva stanja pokušava učiniti blagim.

Dvostupanjski nadkritični CO₂ sustav s paralelnom kompresijom za MT i LT potrošače

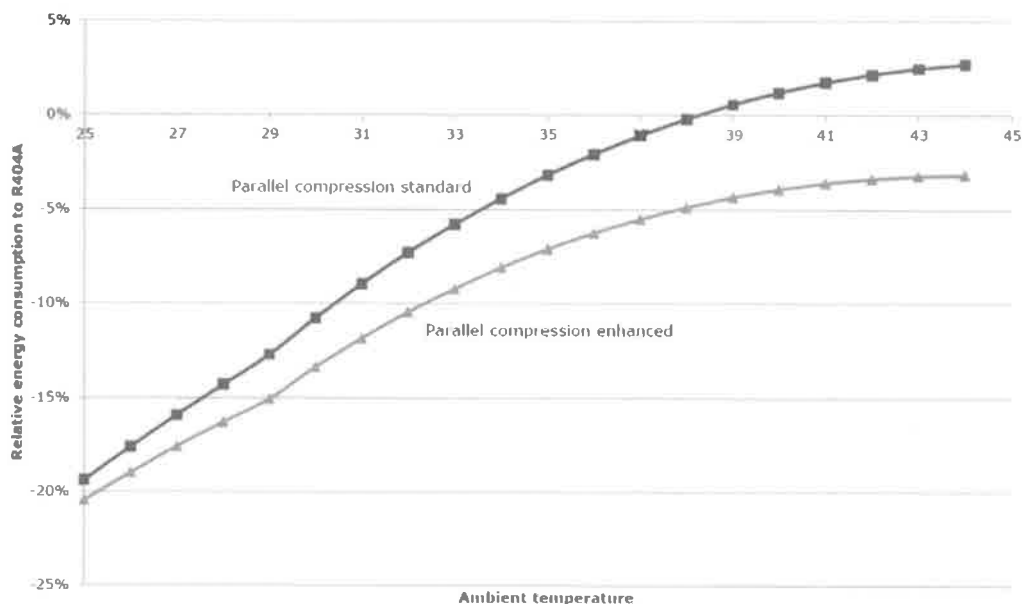
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

25

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.10 Nadkritični CO₂ rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom



Dvostupanjski nadkritični CO₂ sustav s paralelnom kompresijom za MT i LT potrošače

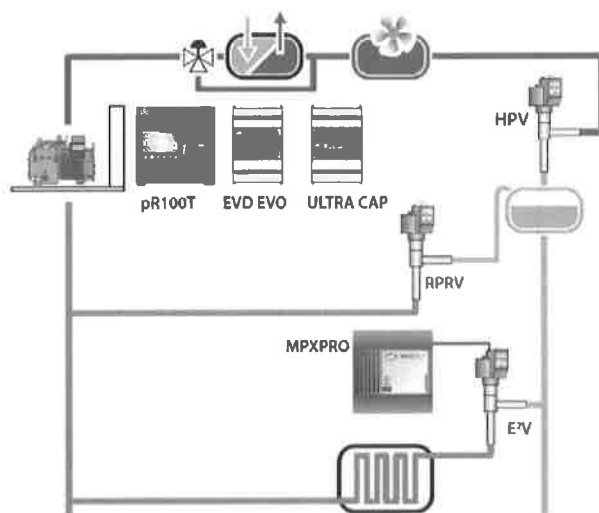
16/10/2019

Be Cool with CO₂! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

26

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

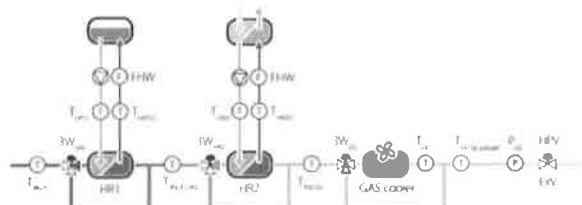
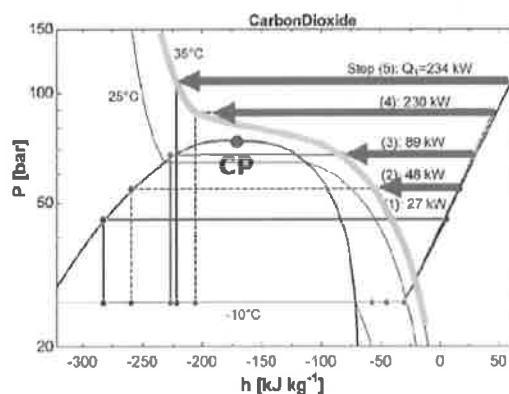
4.11 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – kondenzacijske jedinice do 40 kW



Jednostupanjski CO2 nadkritični sustav – kondenzacijske jedinice (< 40 kW)

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

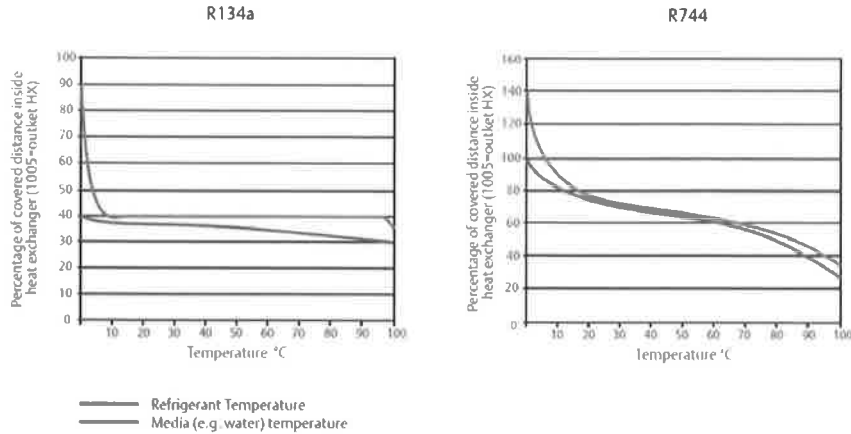
4.12 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – sustav povrata topline



Sustav povrata topline za potrebe zagrijavanja zraka ili potrošne tople vode

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.12 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – sustav povrata topline

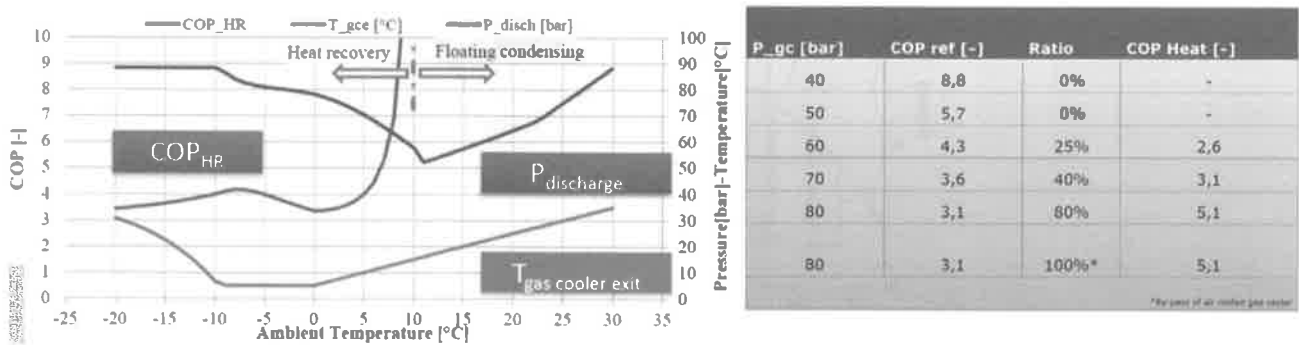


Usporedba temperature vode na izlazu iz izmjenjivača topline u slučaju CO2 i HFC R-134a

o Temperatura vode na izlazu iz izmjenjivača topline u slučaju CO2 sustava puno je viša nego je to slučaj kod HFC R-134a

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

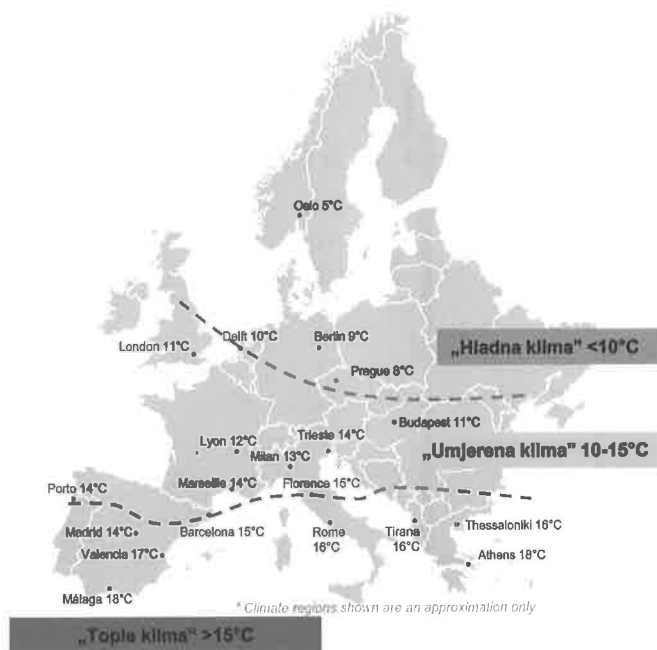
4.12 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – sustav povrata topline



Usporedba učinkovitost sustava u ovisnosti o tlaku plina i vanjskoj temperaturi

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

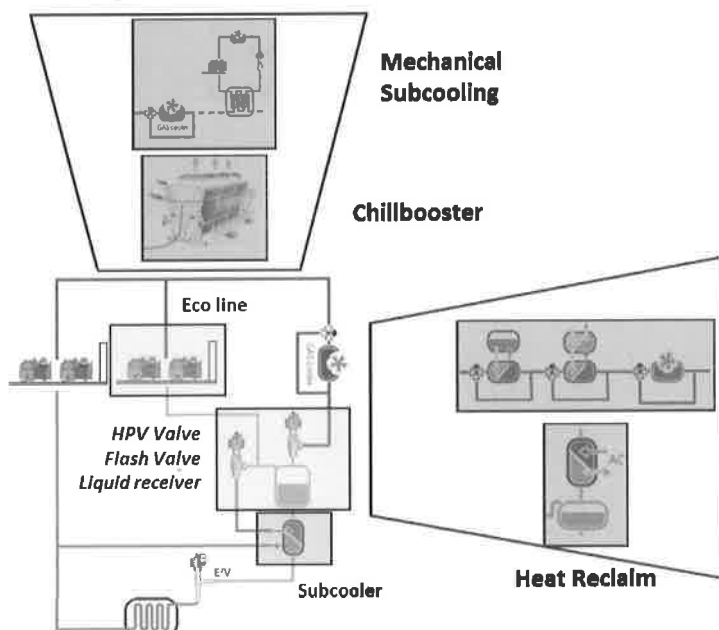
4.13 Nadkritični CO₂ rashladni sustavi – povećanje učinkovitosti u toplim klimatskim uvjetima



Teoretski CO₂ ekvator

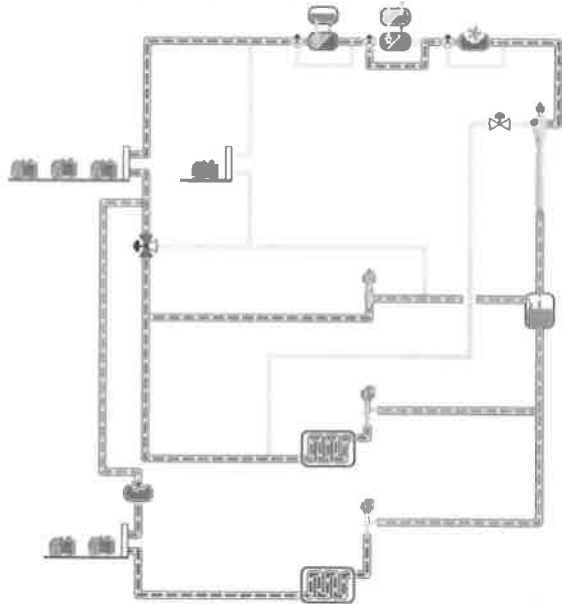
4. RASHLADNI SUSTAVI S CO₂ KAO RADNOM TVARI

4.13 Nadkritični CO₂ rashladni sustavi – povećanje učinkovitosti u toplim klimatskim uvjetima



- o U području hladne klime uređaji rade u podkritičnom režimu rada. Povećanje učinkovitosti moguće je korištenjem:
 - sustava povrata topline i integracije sa sustavom klimatizacije,
 - optimiziranim CO₂ sustavom: HPV i RPRV,
 - pothlađenjem kapljevine.
- o Povećanje učinkovitosti u području umjerene klime moguće je korištenjem:
 - sustava povrata topline i integracije sa sustavom klimatizacije,
 - optimiziranim CO₂ sustavom: HPV i RPRV,
 - pothlađenjem kapljevine,
 - sustavom za mehaničko hlađenje plina,
 - paralelnom kompresijom (ECO line),
 - sustavom za evaporativno hlađenje plina (chillerbooster)

Metode povećanja učinkovitosti u toplim klimatskim uvjetima

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI**4.14 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom**

o Sustav radi kao booster sustav bez paralelne kompresije.

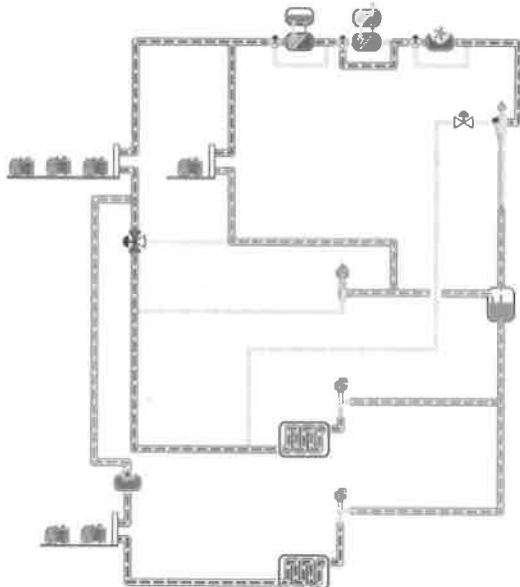
o Ejektor radi kao visokotlačni ventil.

Dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom – zimski pogon

16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

33

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI**4.14 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom**

o Aktivacija paralelnih kompresora.

o Ejektor radi kao visokotlačni ventil.

Dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom – aktivacija paralelne kompresije

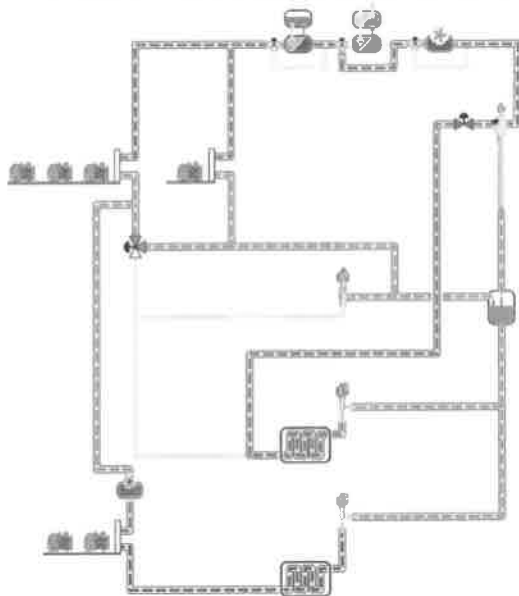
16/10/2019

Be Cool with CO2! Besplatna radionica na temu Alternativne radne tvari

34

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.14 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom

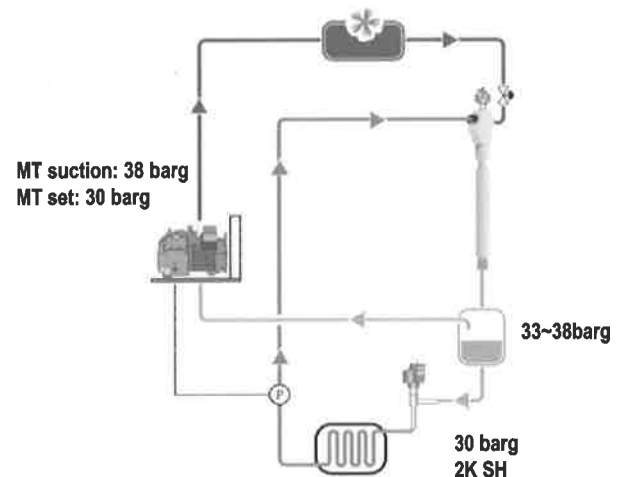
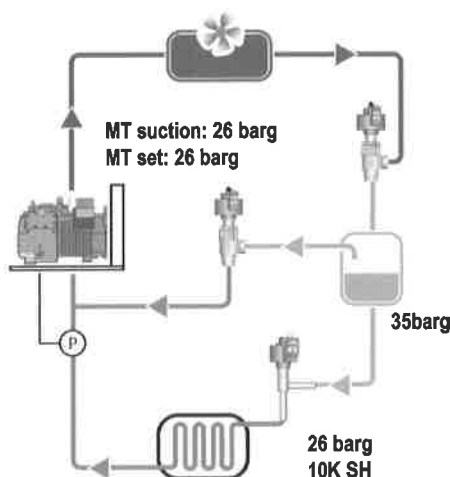


Dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom – aktivacija ejektora

- o Aktivacija paralelnih kompresora.
- o Aktivacija ejektora koji usisava niskotlačnu paru na izlazu iz MT potrošača.

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.14 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom



- o Viši tlak na usisu u MT kompresore.
- o Viši postavni tlak regulatora MT kompresora.
- o Niže pregrijanje MT isparivača.

4. RASHLADNI SUSTAVI S CO2 KAO RADNOM TVARI

4.14 Nadkritični CO2 rashladni sustavi – dvostupanjski sustav s paralelnom kompresijom i plinskim ejektorom

