



UDK: 621.565

## TEHNIČKI SISTEMI ZA KLIMATIZACIJU KABINA POLJOPRIVREDNIH I MELIORATIVNIH MAŠINA

**Kosta Gligorević, Ivan Zlatanović, Mićo V. Oljača**

*Poljoprivredni fakultet -Beograd, Zemun*

**Sadržaj:** U radu je predstavljeno nekoliko tipova A/C (Air Condition) sistema za klimatizaciju kabina savremenih poljoprivrednih i meliorativnih mašina. Izbor sistema je napravljen na bazi rashladnog fluida koji se koristi kao radna materija, a sa ciljem poređenja tehničkih i eksploatacionih karakteristika.

Analizirane su mogućnosti primene dva rashladna fluida R134a (terafluoretan  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ) i  $\text{CO}_2$  (ugljiendioksid), sagledane i poređene njihove termomehantičke i eksploatacione karakteristike, kao i osobine njihovog uticaja sa stanovišta ekologije i globalnog zagrevanja.

Treba napomenuti da se  $\text{CO}_2$  koristi u sistemima poslednje generacije i da poseduje određene prednosti sa stanovišta ekologije o kojima će u radu biti reči.

Tehničke i eksploatacione karakteristike analiziranih A/C sistema biće analizirane i sa strane ergonomskih zakonitosti koje ovi sistemi treba da ispune.

**Ključne reči:** kabina, klimatizacija, rashladni fluid, ergonomija

### UVOD

Među veoma bitne činioce za ugodan i nesmetan rad rukovaoca poljoprivrednim i meliorativnim mašinama svrstavamo mikroklimu kabine. Pod mikroklimom se podrazumeva skup različitih klimatskih faktora unutar nekog ograničenog prostora. Osnovni klimatski faktori koji čine mikroklimu kabine su:

- temperatura vazduha
- vlažnost vazduha,
- brzina strujanja vazduha,
- toplotno zračenje,
- vazdušni pritisak.

Mikroklima u radnoj okolini čoveka ima, sa stanovišta ergonomije, izuzetno veliki značaj. Poznato je da normalna temperatura čoveka iznosi oko  $37^\circ\text{C}$  i da ta temperatura obezbeđuje optimalne uslove za odvijanje svih vitalnih funkcija organizma. I mala odstupanja od normalne telesne temperature dovode do smetnji u funkcionisanju organizma i ugrožavaju ne samo radnu sposobnost čoveka, nego čak i njegovo zdravlje. Čovečiji organizam poseduje poseban mehanizam - termoregulacioni mehanizam - pomoću kojeg održava normalnu telesnu temperaturu na konstantnoj vrednosti.

Održavanje konstantne telesne temperature podrazumeva neprekidno stvaranje toplote u organizmu i neprekidnu razmenu stvorene toplote sa okolinom. Pri uravnoteženoj razmeni toplote sa okolinom čovek ima termički neutralan osećaj, kada čovečiji organizam odaje manje toplote nego što stvara, tada se okolina oseća kao topla, a kada odaje više toplote nego što stvara, tada se okolina oseća kao hladna.

Mikroklima u kabini poljoprivrednih i meliorativnih mašina se formira pod uticajem različitih faktora, koji mogu da se svrstaju u dve osnovne grupe [1]:

1. tehnički faktori, i
2. eksploatacioni faktori.

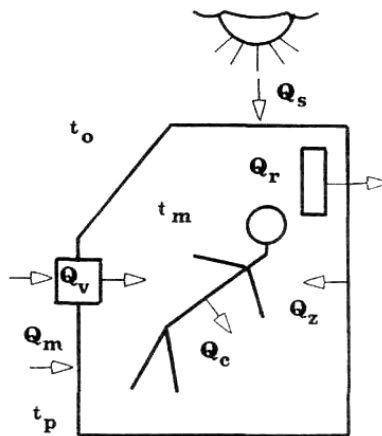
Tehnički faktori obuhvataju relevantne konstruktivno-tehničke karakteristike mašine i njene kabine, a eksploatacioni faktori uslove i način korišćenja mašine.

Od eksploatacionih faktora na formiranje mikroklimе u kabini mašine najveću ulogu imaju spoljašnji klimatski faktori. S obzirom na visoke temperature vazduha i veliku osunčanost u doba najintenzivnijih poljoprivrednih i meliorativnih radova, u kabinama poljoprivrednih i meliorativnih mašina se formira za čoveka nepovoljna mikroklima, karakteristična, pre svega po povišenoj temperaturi vazduha unutar kabine. Da bi se ova pojava sprečila, na osnovu eksperimentalnih istraživanja i analize toplotnog bilansa u kabini, utvrđeno je da stvaranju povoljne mikroklimе u kabini doprinose: termoizolacija kabine, **klimatizacija** i zaštita od radijacije sunca [1].

Upravo iz prethodno pomenutih razloga savremene poljoprivredne i meliorativne mašine danas ne možemo zamisliti bez funkcionalno i kvalitetno izvedenog sistema za klimatizaciju (AC sistema-AirConditioning System), pa su zato oni gotovo bez izuzetka prisutni, kako bi se rukovaocima obezbedili što povoljniji uslovi za rad.

### TOPLOTNI BILANS KABINE

Da bi smo mogli da odredimo i pravilno dimenzionišemo parametre sistema za klimatizaciju u kabinama poljoprivrednih i meliorativnih mašina, neophodno je da prethodno utvrdimo toplotni bilans u kabini mašine (Sl. 1).



Sl. 1. Toplotni bilans u kabini mašine [1]

Toplotni bilans kabine predstavlja sumu količine toplote koja se od različitih izvora i na različite načine dovodi, odnosno odvodi iz kabine.

U toplom periodu godine dobici toplote u kabini su sledeći:

- toplota dobijena zračenjem sunca  $Q_s$ ,
- toplota dobijena od spoljašnjeg vazduha preko zidova kabine  $Q_z$  (pod pretpostavkom da je temperatura vazduha u kabini niža od temperature okolnog vazduha),
- toplota dobijena od motora preko prednje pregrade kabine  $Q_m$ ,
- toplota koju odaje vozač  $Q_c$ , i
- toplota dobijena ventilacijom kabine (pod pretpostavkom da je temperatura vazduha u kabini niža od temperature okolnog vazduha)  $Q_v$ .

Gubici toplote u kabini potiču od rada sistema za klimatizaciju i iznose  $Q_r$ .

Količina dovedene i odvedene toplote, u stacionarnom stanju, međusobno su jednake, pa jednačina toplotnog bilansa glasi:

$$Q_r = Q_s + Q_z + Q_m + Q_c + Q_v$$

Na ovaj način se precizno mogu dimenzionisati osnovni eksploatacioni parametri sistema za klimatizaciju (AC sistema).

Iz toplotnog bilansa se takođe može zaključiti da potreban rashladni kapacitet sistema za klimatizaciju neposredno zavisi od efikasnosti **pasivnih mera** snižavanja temperature vazduha u kabini (termoizolacija kabine, zaštita senkom od sunčevog zračenja). Radi održavanja za čoveka povoljne mikroklike sa jedne strane i uštede energije sa druge strane, zahteva se optimum svih komponenata AC sistema. Odvođenje viška toplote iz kabine mašine pomoću AC sistema predstavlja najefikasniju **aktivnu meru** normalizacije mikroklike.

## TEHNIČKI SISTEMI ZA KLIMATIZACIJU KABINA

AC sistemi motornih vozila i radnih mašina rade na principu rashladnog ciklusa koji podrazumeva sledeće procese:

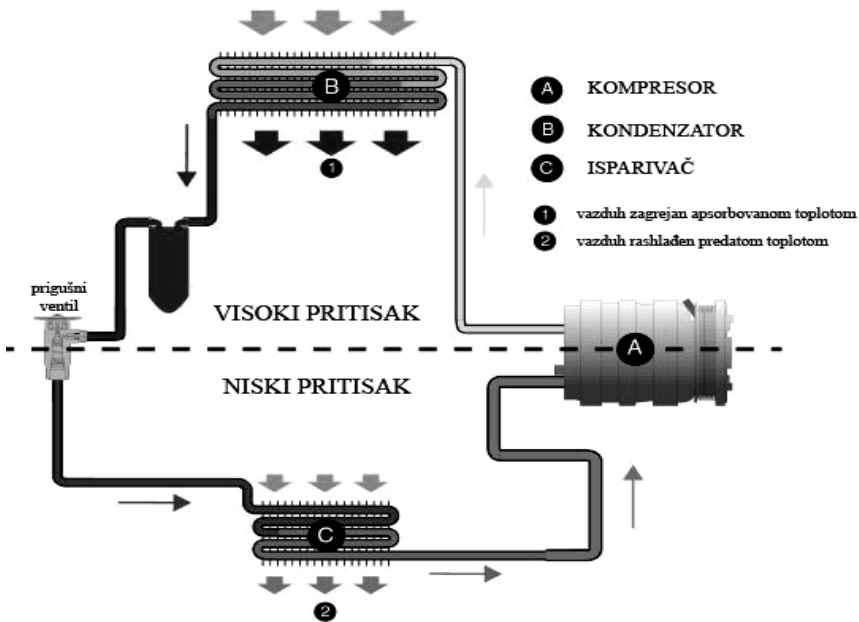
- sabijanje ili kompresija rashladnog fluida,
- kondenzacija rashladnog fluida, i
- evaporaciju ili isparavanje rashladnog fluida.

Rashladni fluid cirkuliše kroz sistem (Sl. 2), pod dejstvom kompresora (A), a ceo sistem možemo podeliti na dva dela, i to:

- deo sistema pod visokim pritiskom (deo instalacije na Sl. 2. obojen crvenom bojom),
- deo sistema pod niskim pritiskom (deo instalacije na Sl. 2. obojen plavom bojom).

Suvozasićenu paru freona usisava kompresor (A), komprimuje je na veći pritisak pri čemu naglo raste temperatura. U zavisnosti od stepena sabijanja kompresora taj porast temperature može iznositi od 25-75 °C na ulazu u vazduhom hlađen kondenzator (B).

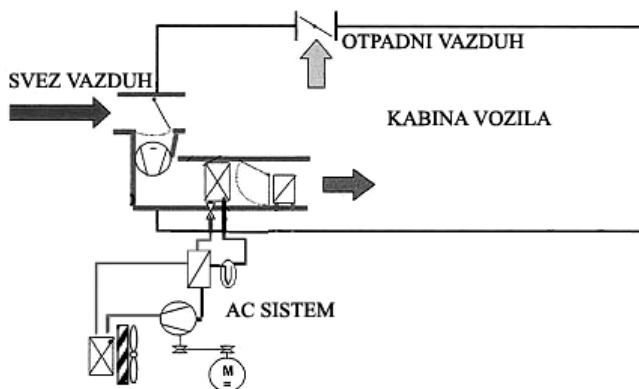
U kondenzatoru dolazi do promene faze rashladnog fluida u tečnu fazu a tečnost freona odlazi u resiver koji je takođe komponenta sistema u zoni visokog pritiska. Ova komponenta sistema služi za sakupljanje i filtraciju kondenzata.



Sl. 2. Strukturna šema AC sistema

Daljom cirkulacijom kroz sistem, tečni rashladni fluid dolazi do prigušnog ventila kojim se pritisak umanjuje do pritiska isparavanja, tj. niskog pritiska sistema koji vlada u isparivaču (C). Okolni vazduh struji preko spoljašnjih površina isparivača, najčešće pod prinudom ventilatora, i na taj način biva rashlađen. Ovako rashlađen vazduh se ubacuje u kabinu, gde znatno menja parametre mikroklimе. Na ovaj način se stvaraju znatno prijatniji uslovi za rad rukovaoca mašine, jer se temperatura vazduha u kabini dovodi na optimalni nivo.

Na (Sl. 3) može se uočiti položaj AC sistema u odnosu na tretirani prostor (kabina radne mašine ili vozila).



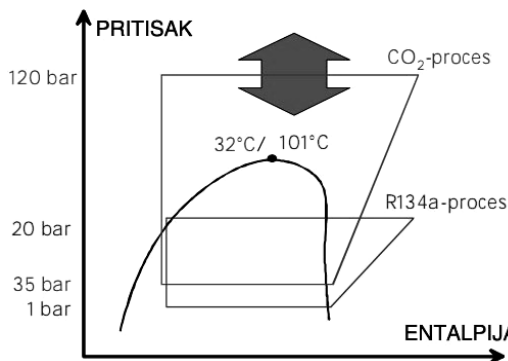
Sl. 3. Mesto komponenti sistema u odnosu na tretirani prostor vozila

## UPOREDNI PRIKAZ A/C SISTEMA SA RAZLIČITIM RASHLADNIM FLUIDIMA

Do otprilike 1993. godine ogromna većina klimatizovanih kabina u automobilima i mašinama, širom Sveta, bila je opremljena AC sistemima koji rade sa R12 kao rashladnim fluidom [2]. Prosečna količina punjenja po vozilu iznosila je 1,2 kg freona R12 što bi na godišnjem nivou bila potreba od oko 0,4 kg/vozilu usled curenja u atmosferu. Iz ekoloških razloga R12 je povučen iz upotrebe i zamenjen sa R134a čije je uvođenje u sve masovnije upotrebu sa sobom donelo i bolje sisteme zaptivanja freona, bolje ventile ali i komplikovanije kompresore. Ovo je dovelo do poboljšanja AC sistema kao i do manje emisije u atmosferu. Ovakvi sistemi su prosečno sadržali 0,91 kg R134a po vozilu uz gubitke od 0,096 kg/vozilu godišnje.

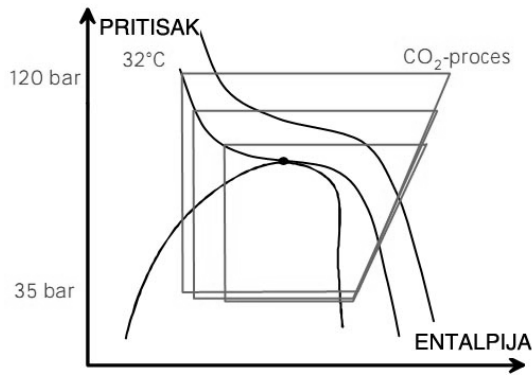
Neka od poslednjih istraživanja [2] alternativnih rashladnih fluida stavila su u centar pažnje odlične termodinamičke rashladne karakteristike nekih zapaljivih materija kao što je propan. Međutim, upotreba ovakvih sistema u AC sistemima na automobilima i radnim mašinama će još dugo biti izbegavana iz bezbednosnih razloga.

Istraživanja su potom usmerena i na drugu stranu gde se pažnja sve više počela posvećivati CO<sub>2</sub> sistemima koji nemaju direktan uticaj na globalno zagrevanje ali se njihov radni ciklus bitno razlikuje od sistema sa R134a [3]. Ova razlika je posledica niske temperature kritične tačke CO<sub>2</sub> koja iznosi 31,1°C. Primećujemo (Sl. 4) da su pritisci na kojima se toplota odvodi, u kondenzatoru rashladnog sistema, u nad kritičnoj oblasti i visoki (130-150 bar), dok su pritisci isparavanja ispod kritične tačke i iznose oko 35-40 bar, što dovodi do zahteva za boljom kontrolom procesa kompresije i ekspanzije. Na uporednom termodinamičkom prikazu (sl. 4) levokretnih kružnih procesa sa CO<sub>2</sub> (plavom bojom) i R134a (crvenom bojom) u tehničkom log-p-h dijagramu, primećuje se drastična razlika u pritiscima kondenzacije.



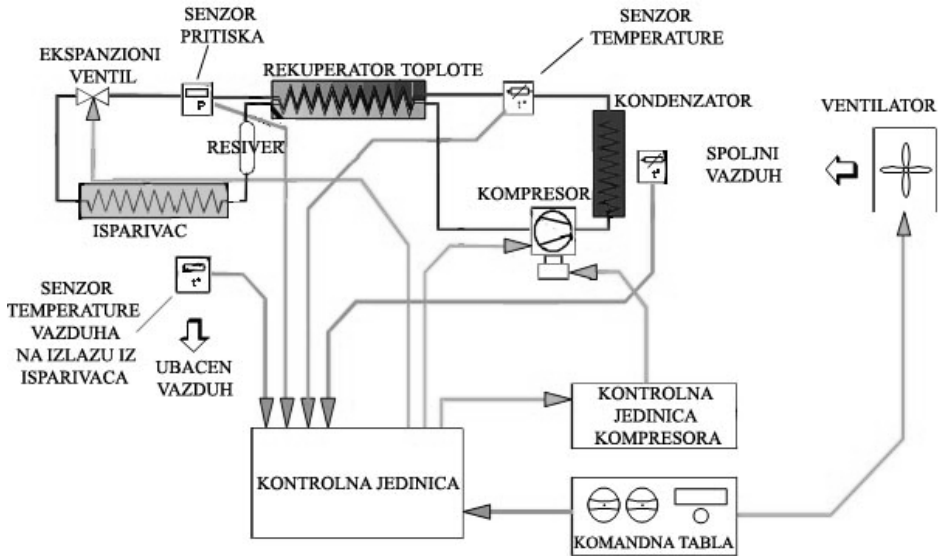
Sl. 4. Uporedni termodinamički prikaz ciklusa sa CO<sub>2</sub> i R134a

Rashladni učinak u procesu sa CO<sub>2</sub> će dosta zavistiti od variranja vrednosti (Sl.5) temperature vazduha koji prestrujava preko kondenzatora (niže spoljašnje temperature znače veći rashladni učinak). Sa razvojem tehnologije kompresorske industrije ovakvi sistemi su se počeli pojavljivati tek posle 2004. godine u obliku pogodnom za isplativu masovnu primenu.



Sl. 5. Variranje temperature kondenzacije kod ciklusa CO<sub>2</sub>

Trenutne vrednosti rashladnog učinka sistema sa R12 i R134a su približno iste i ukoliko ih uporedimo sa rashladnim učinkom CO<sub>2</sub> sistema primećujemo da su vrednosti rashladnog učinka CO<sub>2</sub> sistema na oko 60% od vrednosti sistema R134a u komparabilnim uslovima procesa. Poboljšanje rashladnog učinka CO<sub>2</sub> se može podići na 90% učinka R134a uvođenjem rekuperatora toplote (Sl. 6) u AC sistem.



Sl. 6. Šematski prikaz AC sistema sa CO<sub>2</sub>

Naravno, moguća su i slična poboljšanja sistema sa R134a i na ovim rešenjima se danas aktivno radi. Veliki broj rashladnih fluida, prikazanih u tabeli (Tab. 1) se širom sveta analizira u cilju poboljšanja karakteristika AC sistema i njihovog manjeg uticaja na okolinu.

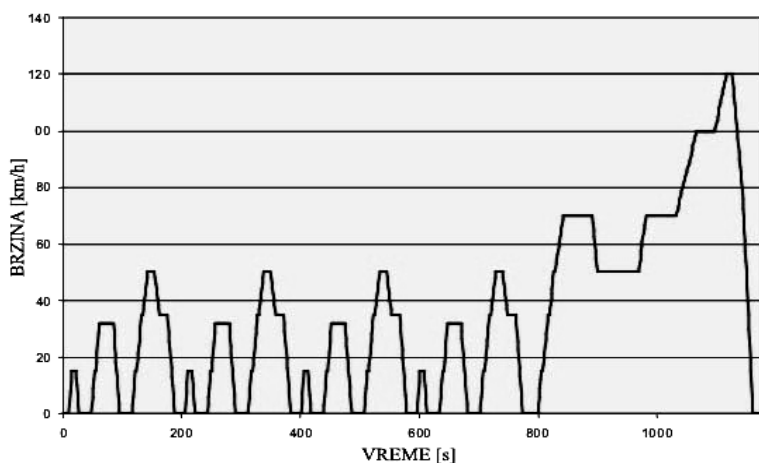
Tabela 1. Neke od alternativnih radnih materija koje se mogu koristiti u AC sistemima radnih mašina i automobila

Alternativa	Sastav	Trgovački naziv
R-401C	40% HCFC-22, 15% HCFC-152a, 52% HCFC-1242	SUVA MP-52
FR-12	39% HCFC-124, 59% HFC-134a, 2% butan	FRIGC
R-406A	55% HCFC-22, 41% HCFC-142b, 4% izobutan	GHG, McCool
HCFC Blend Xi	51% HCFC-22, 28.5% HCFC-124, 16.5% HCFC-142b, 4% izobutan	GHG-X4, Autofrost, Chill-It
HCFC Blend Omicron	55% HCFC-22, 39% HCFC-124, 9.5% HCFC-142b, 1.5% isobutan	Hot Shot, Kar Kool
HCFC Blend Lambda	65% HCFC-22, 39%, 31% HCFC-142b, 4% isobutan	GHG-HP
HCFC Blend Delta	19% HCFC-142b, 79% HFC-134a, 2% ulje za podmazivanje	RB-276, Cool EZ
Blend Zeta	HCFC-152a CF3I	Ikon 12C

Uticaj AC sistema R134a i CO<sub>2</sub> na globalno zagrevanje takođe je različit. Kod R134a uticaj je direktan i manifestuje se direktnim curenjem i emitovanjem u atmosferu, dok je kod CO<sub>2</sub> sistema taj uticaj indirektan i manifestuje se povećanom emisijom produkata sagorevanja goriva usled povećanih energetskeih zahteva za pogon ovog AC sistema.

### Poređenje termomehaničkih karakteristika CO<sub>2</sub> i R134a rashladnog fluida

Poređenje AC sistema koji rade sa CO<sub>2</sub> odnosno R134a izvršiće se pomoću NEFZ (*New European Operating Cycle*) modela (Sl.7) [3], koji predstavlja prethodno usvojen režim rada i način kretanja vozila, tj. etalon usvojen radi mogućnosti da se različiti operativni sistemi vozila-mašine međusobno porede pri istom režimu opterećenja u toku posmatranog vremenskog intervala.

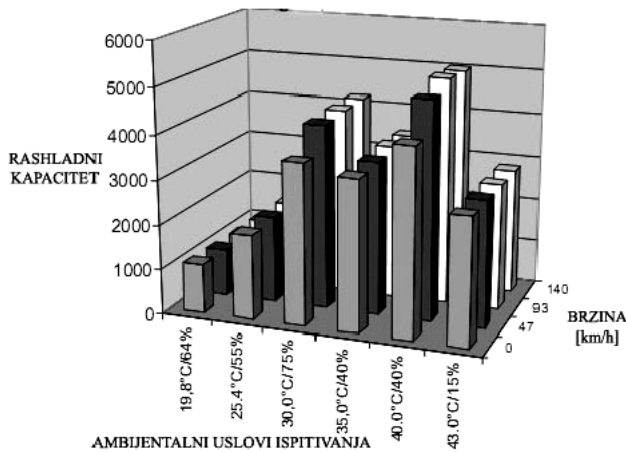


Sl. 7. NEFZ režim kretanja

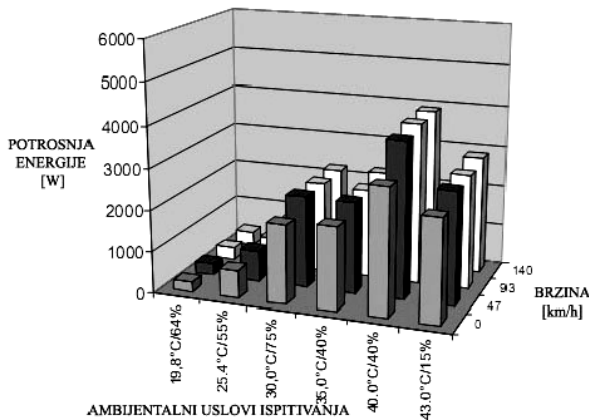
U zavisnosti od spoljašnjih vremenskih uslova, tj. stanja vazduha posmatraćemo ponašanje CO<sub>2</sub> i R134a sistema u šest različitih situacija spoljne temperature i vlažnosti vazduha (Tab. 2) pri istom rashladnom učinku (Dijagram 1). Za isti rashladni učinak merena je potrošnja energije kompresora AC sistema sa CO<sub>2</sub> (Dijagram 2) i sistema sa R134a (Dijagram 3).

Tabela 2. Ambijentalni uslovi ispitivanja

Slučaj	Temperatura	Relativna vlažnost
	[°C]	[%]
1	19,8	64
2	25,4	55
3	30,0	75
4	35,0	40
5	40,0	40
6	43,0	15

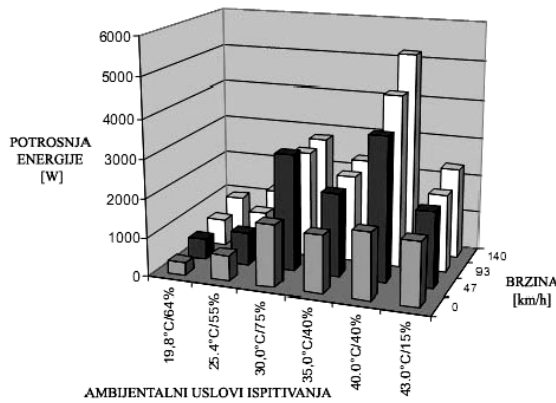


Dijagram 1. Rashladni kapacitet CO<sub>2</sub> i R134a



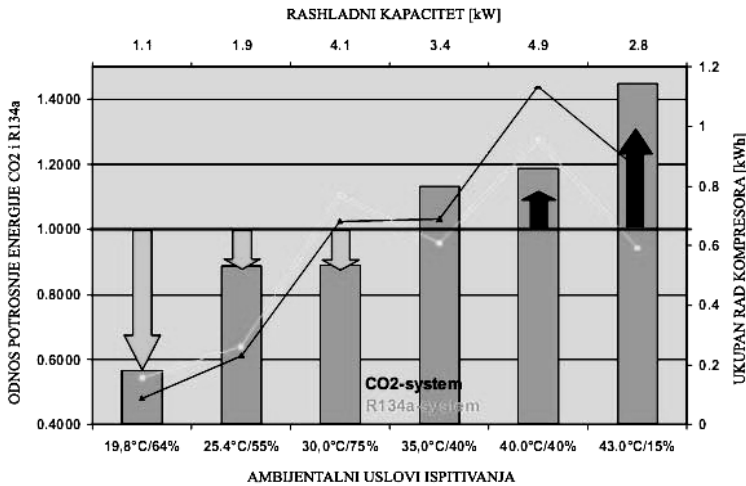
Dijagram 2. Potrošnja energije kompresora CO<sub>2</sub> sistema





Dijagram 3. Potrošnja energije kompresora R134a sistema

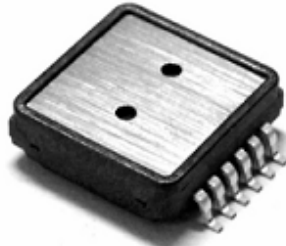
Potrošnja energije oba sistema dosta zavisi od posmatranih ambijentalnih uslova. Primećujemo da je na nižim temperaturama bolja razmena toplote na kondenzatoru kao i to da su padovi pritiska na isparivaču sistema sa R134a rashladnim fluidom veći pri većem rashladnom kapacitetu (Dijagram 4).



Dijagram 4. Poređenje potrošnje energije AC sistema CO<sub>2</sub> i R134a na NEFZ modelu [5]

AC sistem sa CO<sub>2</sub> pokazuje prednost rada na temperaturama manjim od 33°C i rashladni kapacitet mu raste sa povećanjem relativne vlažnosti vazduha. Loše karakteristike su primetne pri malim brzinama kretanja vozila (intenzivniji rad ventilatora kondenzatora) kao i na temperaturama ambijenta većim od 33°C. U svim režimima rada vozila sisteme CO<sub>2</sub> i R134a je moguće porediti, osim pri malim brzinama strujanja vazduha preko kondenzatora. Naravno treba uzeti u obzir da je sistem CO<sub>2</sub> daleko složeniji, u smislu da sve njegove komponente (kondenzator, razvodni sistem, fitinzi, itd.) trebaju raditi na izuzetno visokim pritiscima (oko 140 bar) što otežava

zaptivanje sistema. Rizik curenja  $\text{CO}_2$  u isparivaču je znatno veći nego kod R134a, te obzirom da se radi o gasu  $\text{CO}_2$  čija je povišena koncentracija u kabini štetna, konstrukcija isparivača i njegovog zaptivanja izuzetno je specifična. Jedno od rešenja je primena  $\text{CO}_2$  senzora za detektovanje povišene koncentracije ugljendioksida u kabini vozila-mašine (Sl. 8), [4].



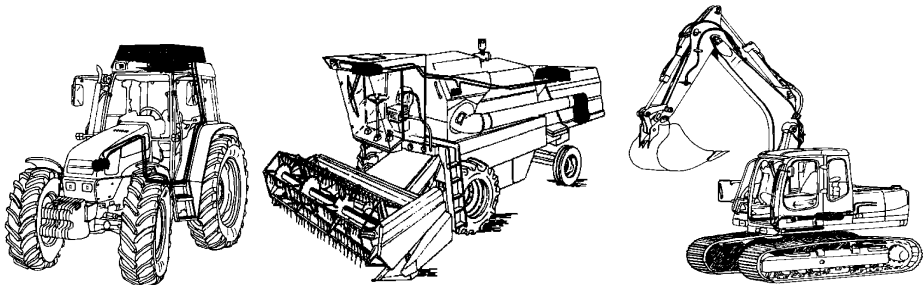
Sl. 8. Izgled  $\text{CO}_2$  senzora

Kao posledica svih ovih specifičnosti trenutna cena  $\text{CO}_2$  sistema je za oko 20-30% veća od cene ekvivalentnog po učinku sistema sa rashladnim fluidim R134a.

### PRIMERI IZVOĐENJA A/C SISTEMA NA POLJOPRIVREDNIM I MELIORATIVNIM MAŠINAMA

Na mašinama koje najčešće rade u stacionarnom režimu ili se kreću malim brzinama, primena A/C sistema sa  $\text{CO}_2$  nije prikladna zbog znatnog smanjenja efikasnosti sa smanjenjem količine vazduha koja struji preko kondenzatora. Ovaj nedostatak se može otkloniti ugradnjom snažnih ventilatora koji će povećati količinu vazduha koji prolazi preko kondenzatora, ali to nije zadovoljavajuće rešenje jer i ventilatori troše dosta energije. Ovakvi sistemi ce u neko dogledno vreme ostati rezervisani za upotrebu na motornim vozilima sa većom brzinom kretanja.

Za upotrebu na radnim mašinama, kao veoma efikasni su se pokazali A/C sistemi bazirani na R134a rashladnom fluidu. Šematski prikaz izvođenja sistema baziranog na R134a rashladnom fluidu na nekoliko različitih mašina, može se videti na slici (Sl. 9).



Sl. 9. Izvođenja A/C sistema na poljoprivrednim i meliorativnim mašinama

Ovako koncipirani sistemi najbolje ispunjavaju zahteve koje diktiraju uslovi eksploatacije poljoprivrednih i meliorativnih mašina.

Pored eksploatacionih zahteva koje moraju da ispune, ovi sistemi za klimatizaciju moraju zadovoljiti i osnovne ergonomske uslove, pogotovu u pogledu jednostavnosti rukovanja, tj rasporeda komandi i ventilacionih otvora. Povoljan raspored prethodno pomenutih elemenata A/C sistema omogućava rukovaocu da lako i jednostavno podese željene parametre rada sistema kao i da vazдушnu struju usmeri u željenom pravcu.



Sl.10. Položaj ventilacionih otvora u kabini mašine

## ZAKLJUČAK

Primena sistema za klimatizaciju u kabinama poljoprivrednih i meliorativnih mašina omogućila je upotrebu ovih mašina u raznim uslovima eksploatacije i u mnogome olakšala rad njihovim rukovaocima.

Izbor tehničkih sistema nije previše raznovrstan. Upotreba CO<sub>2</sub> sistema je uglavnom u eksperimentalnoj fazi i teži se da se njegov stepen efikasnosti poveća, kao i da se tehnologija proizvodnje komponentata ovih sistema usavrši kako bi se smanjila njihova cena.

Za sada je sigurno da ce A/C sistemi koncipirani na bazi R134a rashladnog fluida, ostati još jedan duži period u upotrebi bez obzira na direktne posledice dejstva na atmosferu i globalno zagađenje. Dosta se eksperimentiše i sa unapređenjem ovih sistema i razvoju tehnologije proizvodnje pripadajućih komponenti, prvenstveno kompresora, od kojih najviše zavisi efikasnost celokupnog sistema.

## LITERATURA

- [1] Časnji Ferenc: *Ergonomski nedostaci poljoprivrednih traktora*. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1991.
- [2] Preisegger Ewald: *Automotive air conditioning impact of refrigerant on global warming*. Solvay Fluor und Derivate GmbH, D – 30173 Hannover.
- [3] Phoenix Alternate Refrigerant Forum: *A CO<sub>2</sub> refrigerant system for vehicle air-conditioning*. Phoenix, AZ, 28. July 2005.
- [4] Arndt M., Sauer M.: *Infrared carbon dioxide sensor and its applications in automotive air-conditioning systems*. Robert Bosch GmbH, 2006.
- [5] [www.sae.org/altrefrigerant/presentations/vw.pdf](http://www.sae.org/altrefrigerant/presentations/vw.pdf)  
A/C-system COP comparison R134a vs. CO<sub>2</sub>, Dradi, 2000.
- [6] <http://www.icarma.org/policy/hcfc.shtml>  
Montreal Protocol, HCFC Phaseout Schedule

## TECHNICAL SYSTEMS FOR AGRICULTURAL AND MELIORATIVE MACHINERY CABS CLIMATIZATION

**Kosta Gligorević, Ivan Zlatanović, Mićo V. Oljača**

*Faculty of Agriculture - Belgrade, Zemun*

**Abstract:** In this paper are presented several types of A/C (Air Condition) systems for climatization of modern agricultural and meliorative machinery cabs. Systems are selected according to the applied cooling fluid, in purpose of technical and exploitation characteristics comparison.

Possibilities of two cooling fluids application, both R134a (tera fluoro ethane  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ) and  $\text{CO}_2$  (carbon dioxide), are considered and their thermo-mechanical and exploitation characteristics are compared, as well as their influence in sense of ecology and global warming.

It should be noticed that  $\text{CO}_2$  is used in last generation systems and has certain advantages in ecology, which will be mentioned in this paper.

Technical and exploitation characteristics of analyzed A/C systems will be analyzed in terms of ergonomic principles that those systems should satisfy, also.

**Key words:** *cab, climatization, cooling fluid, ergonomics.*