



Orest Fabris \*

ISSN 0469 - 6255  
(123 - 134)

## ZAMJENA FREONA - situacija 1996/97 SUBSTITUTION FOR FREONS - situation in 1996/97

UDK 546.171.1+547.412.6/.7+547.412.1]:504.3

Stručni rad  
Professional paper

### Sažetak

Štetnost rashladnih medija (freona) po okoliš dokazana je prije 20-ak godina, a od prije 10 godina počela je organizirana međunarodna bitka za njihovu zamjenu. Ovim radom dan je pregled trenutačne situacije i mogućih rješenja za budućnost. Od, do sada, najčešćih rashladnih medija: R-12, R-22 i R-502; za prvog je nađeno adekvatno rješenje (novi freon R-134a), za drugog još nema pravog rješenja, dok su za trećeg moguća rješenja novi freoni R-404a i/ili R-507. Novi freoni, međutim, donose nove zahtjeve u projektiranju rashladnih instalacija, izvođenju, eksploataciji i servisiranju. Na kraju rada dani su dijagrami i tabele za najvažnije nove rashladne medije: R-134a, R-407c i R-404a.

### Summary

Harmful effects of cooling media (Freons) on the environment was proved some twenty years ago and an organized, international effort for their substitution began ten years ago. This paper deals with the current situation and possible solutions for the future. Some solutions for the most frequent cooling media - R12, R-22 and R-502 have been found up to now. An adequate solution for the first one - new Freon R-134a has been found, the second one hasn't a real solution yet and for the third one the possible solutions are new Freons R-404a and/or R-507. However, new Freons are accompanied with new demands as for designing, cooling installation construction, exploitation and servicing. The paper has been supplied with diagrams and tables for the most important new cooling media: R-134a, R-407c and R-404a.

### 1. Uvod Introduction

Prije nešto više od tri godine autor je objavio rad pod sličnim naslovom (Lit. 9.1.), gdje je dan pregled tadašnje situacije s freonima i mogućnošću njihove zamjene sa amonijakom. U međuvremenu restrikcije za upotrebu freona su se još više pooštrile, amonijak, ipak, nije u znatnijoj mjeri počeo istiskivati freon, a pojavili su se i novi freoni koji su po ekološkim, termodinamičkim, ekonomskim i drugim kriterijima prihvatljivi.

Cilj ovog rada je sažeti postojeću problematiku freona, ozona i efekta staklenika, te pokazati nova stremjenja u zamjeni najčešćih freona, kao što su R-12, R-22 i R-502.

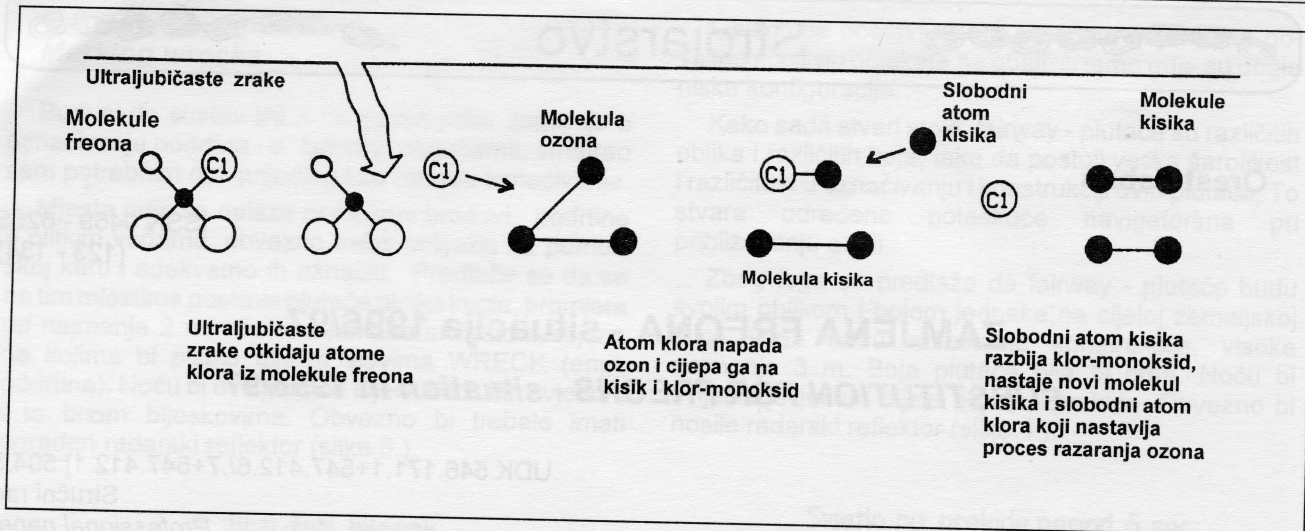
### 2. Freoni Freons

Termodinamičke zahtjeve jednog rashladnog ciklusa može zadovoljiti svaki medij koji se može dovesti u takvo stanje da u isparivaču preuzima toplinu, a da u kondenzatoru predaje toplinu. Gledajući samo ovaj kriterij, takvih medija u prirodi ima barem stotinu (zrak, voda/para, amonijak, ugljik-dioksid, sumpordioksid, metan, etan, ... itd.). U praksi, međutim, moraju biti zadovoljeni i kriteriji: sigurnosti na radu, ekologije, ekonomičnosti (cijene), ponašanja u kontaktu sa drugim dijelovima instalacije itd. Uzimajući u obzir i ove druge kriterije, praktičan broj rashladnih medija se svodi na njih desetak, od kojih su najpoznatiji do sada bili:

- derivati metana: R-11, R-12, R-22 ...
- derivati etana: R-114, R115 ...
- azeotropne smjese: R-502 (48,8% R-22 i 51,2% R-115) ...
- neorganski spojevi: NH<sub>3</sub> (amonijak) ...

Svi rashladni mediji sa oznakom "R" u praksi su poznati pod komercijalnim nazivom "freoni". U novijoj znanstvenoj literaturi oni se obilježavaju kao: CFC-11, CFC-12, HCFC-22 itd., da bi se upozorilo na strukturni

\* Dr. sci. Orest Fabris  
Veleučilište u Dubrovniku, Dubrovnik



Slika 1. Shematski prikaz razaranja ozona u atmosferi  
Figure 1. A schema of ozone destruction in the atmosphere

sastav njihovih molekula (za R-12, na primjer, kemijska je formula  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , odakle i proistječe kratica CFC, ili za R-22 formula je  $\text{HCF}_2\text{Cl}$  odakle je HCFC itd).

Gore spomenuti freoni u praksi su se široko upotrebljavali za hladnjake u kućanstvu, vitrine u trgovinama, agregate za hlađenje skladišta, "split" klima uređaje, rashladne centrale za hotele, bolnice itd. S druge strane  $\text{NH}_3$ , kao rashladni medij, najčešće se upotrebljavao za velika, industrijska postrojenja kao što su gradske hladnjače, umjetna klizališta, procesna industrija (pivovare, mljekare, rafinerije itd.).

Ovu, sve donedavno, standardnu sliku upotrebe rashladnih medija izmijenila su dva ozbiljna ekološka problema: razaranje ozonskog omotača u višim slojevima atmosfere i tzv. efekt staklenika. Oba ova problema izravno su vezana za freone.

### 3. Freoni i ozon Freons and ozone

Ozon (kemijska oznaka  $\text{O}_3$ ) je alotropska modifikacija kisika ( $\text{O}_2$ ), plavičaste je boje i ima prodoran (prijetan) miris, a nastaje uglavnom u visokim slojevima atmosfere (10 do 50 km iznad površine Zemlje - stratosfera) pod utjecajem ultraljubičastog dijela Sunčeve svjetlosti. Za život na Zemlji on predstavlja zaštitni sloj jer sprječava prodiranje veće količine ultraljubičastih zraka do njezine površine. Nastupi li razaranje (ili preciznije, stanjenje) ozonskog sloja, do Zemljine površine stiže više ultraljubičastih zraka, pa se kao posljedica toga pojavljuju učestale bolesti raka kože, katarakta očiju, manja otpornost na različite infekcije, smanjeni prinosi žitarica itd.

Do prvih spoznaja o tome da se freoni, ispušteni u slobodnu atmosferu, polagano dižu u najviše slojeve i uništavaju čestice ozona (sl. 1.) došlo se 1974. godine.

Pošto je to i znanstveno dokazano, međunarodna je zajednica 16. rujna 1987. donijela tzv. Montrealski protokol o postupnom prestanku proizvodnje i

upotrebe freona. Poslije su te restrikcije upotpunjene na Londonskoj konferenciji 1990. i Kopenhagenskim sporazumom 1992.

Po navedenim aktima, koje su već potpisale skoro sve zemlje Svijeta, za freone grupe CFC (R-11, R-12, R-113, R-114, R-115 i njihove smjese R-500, R-502) predviđena su sljedeća (obavezna) ograničenja:

- 1986. - zamrzava se postojeća razina proizvodnje
- 1993. - smanjuje se proizvodnja na 50% od one iz 1986.
- 1994/95. - smanjuje se proizvodnja na 25% od one iz 1986.

1996. - prestanak proizvodnje.

Za freone grupe HCFC (R-22, R-123, R-124, R-141b, R-142b itd.) ograničenja su drugačija, a konkretno za R-22, koji je najvažniji za praktičnu upotrebu su:

- 1996. - zamrzavaju se postojeće razine proizvodnje
- 2005. - smanjenje proizvodnje na 65% od one iz 1996.
- 2010. - smanjenje proizvodnje na 35% od one iz 1996.
- 2030. - prestanak proizvodnje.

Ovdje treba napomenuti da su neke zemlje same sebi nametnule još strože uvjete - tako je, na primjer, u Njemačkoj od 01.01.1992. u novim rashladnim uređajima zabranjena upotreba R-11, R-12, R-500 i R-502, a od 01.01.2000. to će vrijediti i za R-22.

U tablici 1. dano je koliko je koji rashladni medij opasan za ozonski sloj. Kao jedinica mjere uzeta je štetnost R-11 kao najopasnijeg među svim freonima.

U usporedbi s njim, R-22 oko 20 puta manje razara ozonski sloj, R-502 oko 4 puta itd. Ti odnosi, zapravo njihove recipročne vrijednosti, označeni su s "ODP" (*Ozone depletion potential*).

Kao što se iz gornje tablice vidi, neki freoni imaju vrijednosti  $\text{ODP}=0$ , tj. uopće ne razaraju ozonski sloj. Osim  $\text{NH}_3$  (amonijaka), tu se uglavnom radi o novim freonima čije molekule ne sadrže atome klor (Cl), kao glavnog uzročnika ove pojave. Ovi freoni označavaju se sa HFC.



Tablica 1.  
Table 1.

Rashladni medij	ODP	GWP	Trajnost (god)	Otrovnost	Zapaljivost	Ulje
R-11	1,0	1,0	60	ne	ne	
R-12	1,0	3,2	120	ne	ne	M, MA, A, (E)
R-113	0,8	1,3	90	ne	ne	
R-114	1,0	3,9	200	ne	ne	
R-115	0,6	7,5	400	ne	ne	
R-22	0,05	0,3	15	ne	ne	M, MA, A, (E)
R-502	0,23	3,7	-	ne	ne	M, MA, A, (E)
R-134a	0	0,3	16	ne	ne	E
R-152a	0	0,3	2	ne	ne	E
R-123	0,02	0,02	2			
R-125	0	0,06	28	ne	ne	E
R-404a	0	0,94	-	ne	ne	E
R-407a	0	0,3	-	ne	ne	E
NH <sub>3</sub>	0	0	-	da	da	M, PAO, (PAG)

M - mineralno ulje

A - akril-benzen ulje

PAO - poli-alfa-olefin

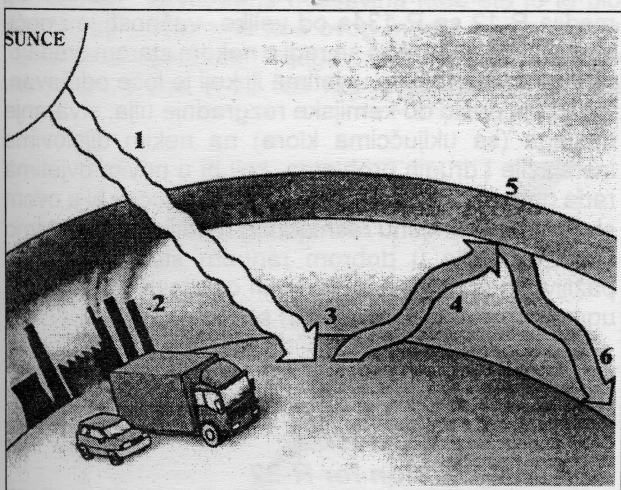
MA - mineralno ulje + akril-benzen

E - ester ulje

PAG - poli-glikol

#### 4. Efekt staklenika Global Warming Potential

Osim nepovoljnog efekta razaranja ozonskog sloja, pare rashladnih medija u atmosferi uzrokuju i tzv. efekt staklenika (ista, i još mnogo teža, je situacija sa CO<sub>2</sub>, koji nastaje izgaranjem raznih goriva). Naime, toplinske zrake (kao dio sunčeva spektra) lako prodiru kroz atmosferu do Zemljine površine, a ona, tako zagrijana, šalje svoje toplinske zrake prema Svemiru, ali njih zadržava gornji dio atmosfere, gdje su se nakupile pare CO<sub>2</sub>, freona i drugo.



Slika 2. Shematski prikaz stvaranja efekta staklenika

Figure 2. A Layout of Global Warming Potential Formulation

1. Kratkovalne sunčeve zrake; 2. Produkti izgaranja, freoni i drugi plinovi; 3. Sunčeve zrake zagrijavaju Zemlju; 4. Zračenje Zemlje prema atmosferi (dugi valovi); 5. Odbijanje dugovalnog zračenja natrag prema Zemlji; 6. Počinje prekomjerno zagrijavanje Zemlje.

Razlog toj nepovoljnoj pojavi je u duljini toplinskih valova - Sunčevo zračenje nastaje pri vrlo visokoj temperaturi i ima kratke valove, koji lako prolaze do Zemljine površine, a suprotno tome, Zemljino zračenje nastaje pri relativno niskoj temperaturi i ima znatno dulje valove, koje spomenute pare ne propuštaju. Sasvim slično događa se i pri prolazu svjetlosti kroz staklo, na čemu se zasnivaju efekti staklenika i kolektora Sunčeve energije.

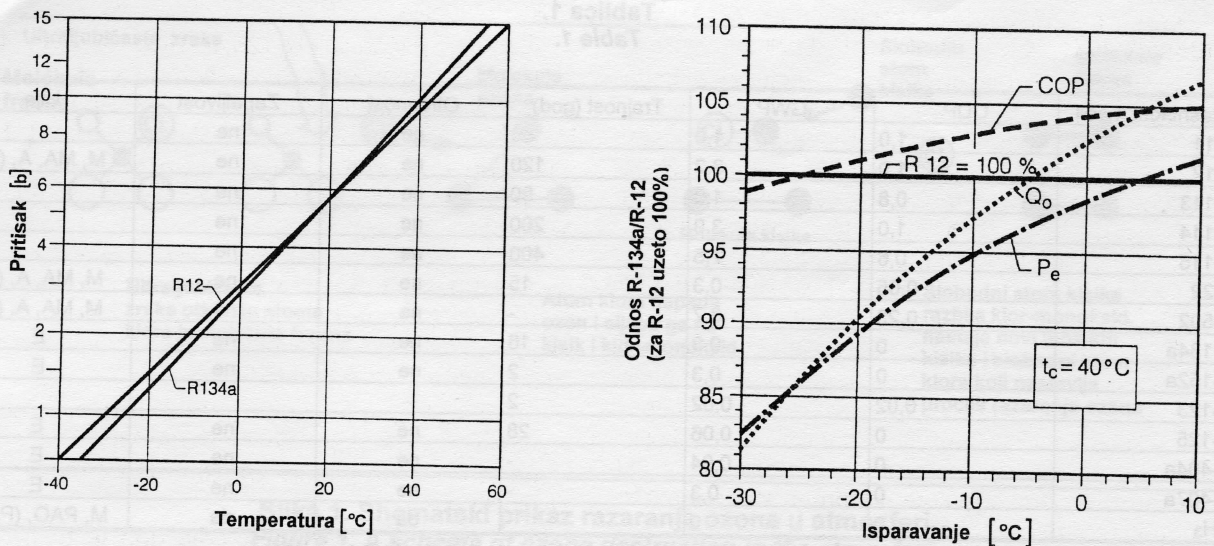
Zbog efekta staklenika narušava se toplinska ravnoteža na Zemlji, pa njezina srednja temperatura postupno raste, što neposredno utječe na klimu, širenje pustinje, topljenje leda na polovima itd. Taj efekt označen je sa "GWP" (Global warming potential) i također je uvršten u tablicu 1., uzimajući opet za jedinicu efekt freona R-11. Zorni prikaz ove problematike dan je na slici 2.

Bitan pokazatelj o štetnosti pojedinog rashladnog medija je i njegov opstanak u atmosferi, tj. vrijeme potrebno da se potpuno dezintegrira. Tako je, na primjer, vrijeme trajanja R-11 oko 60 godina, R-12 oko 120 godina, R-22 oko 15 godina itd. (tablica 1.).

Razmatrajući gornje ekološke probleme, valja reći da se neki rashladni mediji, kao R-11 i R-12, ne upotrebljavaju samo u rashladnoj tehnici nego (i to u znatnim količinama) i za proizvodnju pjenastih masa, za aerosole, kao sredstva za kemijsko čišćenje itd. Još su opasniji za ozonski sloj spojevi slični freonima, zvani haloni, a nalaze se u protupožarnim aparatima (na primjer).

#### 5. Zamjena za R-12 Substitution for R-12

Kao što se iz tablice 1. vidi, R-12 je jedan od ekološki najštetnijih medija. Osim toga, on je bio jako rasprostranjen, te je njegova zamjena bila prioritarna.



Slika 3. Svojstva freona R-134a u odnosu prema R-12  
Figure 3. R-134a Freon features in relation to R-12

Kao moguća zamjena za R-12 predlagano je i testirano više rashladnih medija od kojih su u užem izboru bili: R-134a, R-152a, smjesa R-134a / R-152a i R-290 (propan). Međutim, vrlo brzo se iskristaliziralo da je R-134a jedino pravo rješenje, jer su R-152a i R290 zapaljivi i eksplozivni, pa je njihova primjena ograničena.

R-134a ima kemijski sastav  $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$ , sasvim je bezopasan za ozonski sloj, a efekt staklenika mu je preko 10 puta manji nego li je to kod R-12. Po svojim termodinamičkim svojstvima i efektima vrlo je sličan R-12 što se vidi iz dijagrama na slici 3.

Veza temperatura / pritisak za široko radno područje (od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+60^\circ\text{C}$ ) vrlo je slična za R-12 i R-134a. Što se tiče rashladnog učina ( $Q_o$ ), on je isti, ili čak nešto bolji, kod R-134a u oblasti klimatizacije i umjerenog hlađenja. Za oblast dubljeg hlađenja (do  $-30^\circ\text{C}$ ) rashladni učin uređaja sa R-134a opada i do 15% u odnosu na isti uređaj sa R-12. Istovremeno, međutim, kod R-134a opada i apsorbirana snaga ( $P_e$ ) tako da je efikasnost ciklusa (COP - odnos: učin hlađenja / apsorbirana snaga) skoro u cijeloj oblasti rada bolja nego li kod R-12.

U usporedbi sa R-12, R-134a ima nešto povoljnije pokazatelje i po pitanju najviših temperatura komprimiranog plina, ulja i namotaja el. motora. Kao jedini problem kod upotrebe R-134a pojavilo se pitanje vrste ulja, jer on ne rastvara uobičajna mineralna i sintetička ulja. Rješenje je nađeno razvojem novih ulja na bazi Poliol-Estera i Polialken-Glikola. Ova ulja imaju slična svojstva kao i mineralna i sintetička ulja, ali, osim što ih rastvara R-134a, ona su vrlo higroskopna (upijaju vlagu). O ovoj činjenici treba strogo voditi računa od momenta proizvodnje rashladnih uređaja, do montaže i servisiranja - instalacije moraju biti dobro osušene, vakuumirane i sa ugrađenim većim sušačima.

Danas je situacija na tržištu takva da se bez problema mogu nabaviti freon R-134a i sve komponente za njegovu upotrebu, dok proizvođači gotovih

uređaja u svojim prospektima više uopće i ne spominju R-12.

Za postojeće instalacije interesantno je i pitanje zamjene R-12 sa R-134a. Tu, naravno, osim samog rashladnog fluida treba zamijeniti i ulje za podmazivanje. Ta zamjena mora biti potpuna, tj. stara instalacija se mora 100% očistiti od prethodnog freona R-12 i njegovog ulja. Posebno osjetljivo se pokazalo ulje na bazi poliglikola, jer ono reagira i s najmanjim ostacima starog ulja i rashladnog fluida. Veću toleranciju u tom pogledu imaju ester-ulja koja se, uostalom, puno više koriste u praksi. I u ovom slučaju treba naglasiti problem s vlagom.

Kod praktičnih slučajeva zamjene rashladnog medija R-12 sa R-134a od velike važnosti je i opće stanje instalacije. Ako se radi o nekom starom uređaju, koji je radio u teškim uvjetima ili koji je loše održavan, možda je došlo do kemijske razgradnje ulja, stvaranje naslaga (sa uključcima klora) na nekim dijelovima instalacije i drugih problema, koji bi u novim uvjetima rada doveli do brzog zakazivanja. Zaključak bi u ovom slučaju bio: zamjenu rashladnog medija obavite samo kod instalacije u dobrom radnom stanju, izuzetno pažljivo ih očistite od prethodnih ostataka R-12 i ulja, i ugraditi im novi (znatno veći) sušač.

## 6. Zamjena za R-22 Substitution for R-22

U slučaju zamjene freona R-22 situacija nije tako jasna, odnosno još nije pronađen rashladni medij koji bi imao iste ili vrlo slične osobine kao R-22. Takvo stanje, međutim, ima izgleda da stalno ostane, a to bi značilo da će današnji uređaji sa R-22 doživjeti niz izmjena i raspršiti se u svom razvoju prema upotrebi R-134a,  $\text{NH}_3$ , R-404a i nekim drugim rashladnim fluidima.



Trenutno kao moguće zamjene za R-22 u literaturi, a i u praktičnim izvedbama, spominju se i pojavljuju: R-134a, R-407c, R-507, R-404a i R-410a.

R-134a nije stvarna zamjena za R-22 jer se njihova svojstva znatno razlikuju. Osnovni problem leži u tzv. volumnom rashladnom kapacitetu, odnosno za isti volumen usisane i komprimirane pare uređaj sa R-22 ostvaruje znatno veći rashladni kapacitet od istog uređaja sa R-134a. Ovo znači da za isti kapacitet, kompresori za R-134a trebaju biti gabaritno veći, a slično tome cijevi i izmjenjivači topline (što se tiče apsorbirane snage, međutim, ona ostaje ista).

Ipak, R-134a ostaje kao mogućnost u mnogim slučajevima i već danas velike svjetske tvrtke nude rashladne centrale i sa R-134a. Naravno, one su specifično skuplje, ali zato predstavljaju rješenje sa kojim neće biti problema u bliskoj budućnosti, koje je tehnički provjereno, a i jedino je koje u jednom stupnju može dosegnuti temperaturu kondenzacije i do 60°C.

R-407c, za razliku od dosadašnjih rashladnih medija, nije čista (jednokomponentna) supstanca, nego je mješavina od R-32, R-125 i R-134a u odnosu 23%, 25%, 52%. Osim toga, to je tzv. zeotropna mješavina što znači da njezin sastav nije isti u tekućoj i parnoj fazi. Iz ovog proizlazi nekoliko praktičnih problema. Prvo, u toku isparavanja, i pored toga što je konstantan pritisak, temperatura isparavanja se mijenja: raste, a u toku kondenzacije: pada. Za R-407c ovo "klizanje temperature" iznosi 5,8°C (kod 10 bara). Drugo, nejednaki sastav tekuće i parne faze u slučaju curenja iz instalacije narušava sastav preostalog sadržaja. Treće, iz istog razloga, kao gore, R-407c ne preporučuje se koristiti kod potopljenih isparivača sa recirkulacijom radnog medija. Usporedba osobina R-407c sa R-22 dana je na slici 4.

R-507 je mješavina R-125 i R-143a (50%, 50%), ali se i pored toga ponaša kao jednokomponentna supstanca, tzv. azeotropna mješavina (kao što je to bio R-502, na primjer), te kod ovog medija nema efekta "klizanja temperature". Njegovi radni pritisci su nešto viši nego li kod R-22, ali mu je efikasnost ciklusa

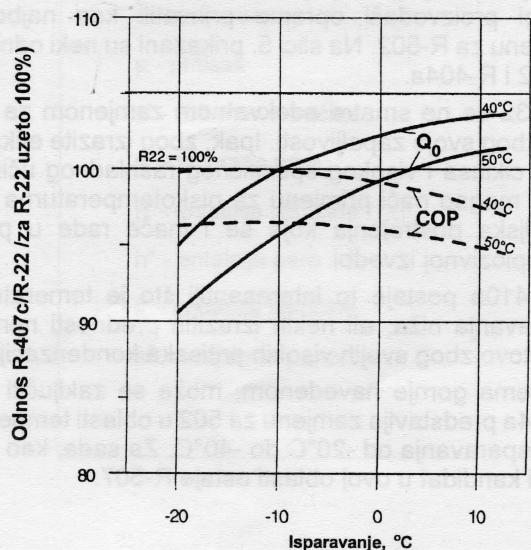
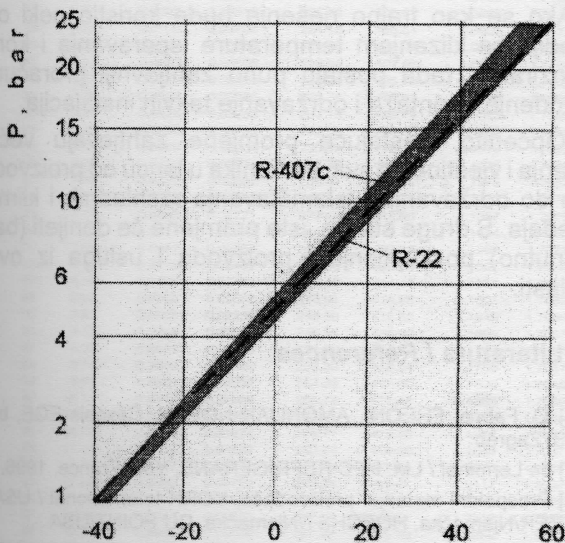
osjetno manja. Još jedna mana mu je relativno veliki efekt staklenika,  $GWP \approx 1$ .

R-404a je mješavina R-125, R-143a i R-134a (44%, 52%, 4%), a stvoren je prvenstveno kao zamjena za R-502. On je također zeotropna mješavina, ali mu je klizanje temperatura svega 0,4°C (kod 10 bara), pa se naziva i kvazi-azeotropna mješavina. Već prema svom sastavu ovaj medij je vrlo sličan R-507, te su mu i osobine slične.

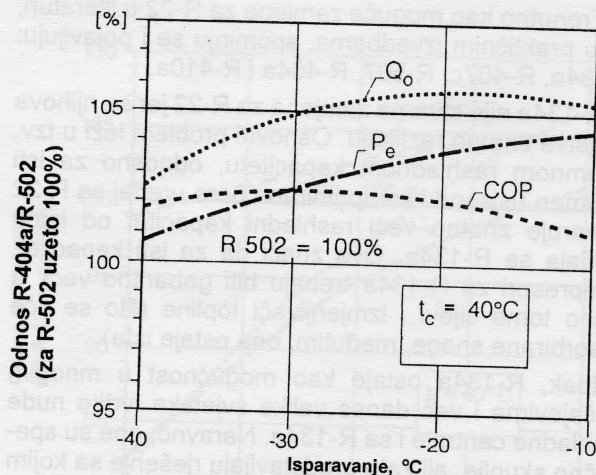
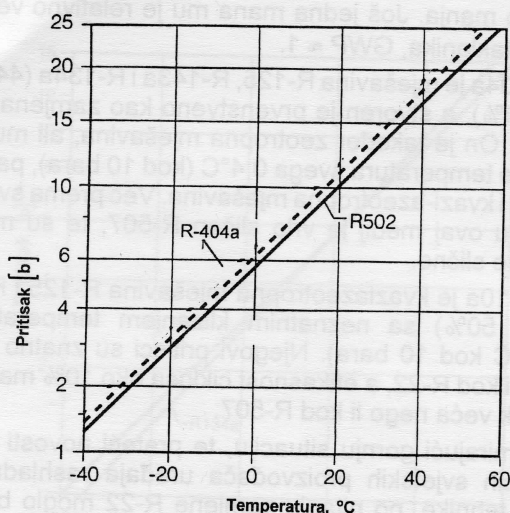
R-410a je kvazi-azeotropna mješavina R-125 i R-32 (50%, 50%) sa neznatnim klizanjem temperature (0,15°C kod 10 bara). Njegovi pritisci su znatno viši nego li kod R-22, a efikasnost ciklusa oko 10% manja, ali ipak veća nego li kod R-507.

Sumirajući gornju situaciju, te prateći novosti kod najvećih svjetskih proizvođača uređaja rashladne i klima tehnike, po pitanju zamjene R-22 moglo bi se zaključiti:

- R-22 koristi se još uvijek gdje god je to moguće pogotovo za male uređaje, dok je, na primjer, za uređaje preko 300 kW rashladnog kapaciteta u Europi zabranjena upotreba R-22 već iza 2000 g.
- Za velike rashladne uređaje gdje se koriste vijčani ili centrifugalni kompresori, R-134a predstavlja odličnu zamjenu za R-22. Kod ovih kompresora, naime, povećan volumni kapacitet na usisu nije nikakav problem, jer ga rotacioni strojevi, u principu, uvijek imaju dovoljno.
- Za manje i srednje rashladne uređaje R-407c je vrlo izgledno rješenje. Ovdje je, međutim, vrlo bitna pravilna izvedba rashladnog ciklusa - klizanje temperature treba savladati čistom protustrujnom izvedbom izmjenjivača topline, a problem curenja i cirkulacije ulja odgovarajućim konstruktivnim detaljima.
- Za male uređaje, kao što su "split" aparati za klimatizaciju, još se ne nazire pravo rješenje.
- Na kraju treba spomenuti i  $NH_3$  čije se rashladne centrale, pa i agregati za hladnjače, sve više nude.



Slika 4. Svojstva R-407c u odnosu na R-22  
Figure 4. R-407c features in relation to R-22



Slika 5. Svojstva R-404a u odnosu prema R-502  
Figure 5. R-404a features in relation to R-502

## 7. Zamjena za R-502 Substitution for R-502

Ako se R-502 posmatra kao rashladni medij za postizanje niskih temperatura od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-40^{\circ}\text{C}$  (jednostupanjska kompresija), onda su njegove moguće zamjene R-507, R-404a, R-32 i R-410a.

R-507 već je spomenut kao moguća zamjena za R-22. Zbog svoje male efikasnosti ciklusa u odnosu na R-22 on tamo nije prošao, ali u ovom slučaju mogao bi biti kompromisno rješenje. Tako se, na primjer, u lit. 2. navodi da je R-507 najbolji kandidat za ledene piste (klizališta).

R-404a se pojavio među prvim rashladnim medijima iz grupe HFC kao zamjena za R-502 i komercijalno je već vrlo dobro zastupljen na tržištu. Termodinamički, međutim, on nema nekih posebnih prednosti nad R-507: pritisci su mu samo neznatno niži, efekt staklenika mu nije značajnije bolji. Ipak, ostaje činjenica da su ga mnogi proizvođači opreme prihvatili kao najbolju zamjenu za R-502. Na slici 5. prikazani su neki odnosi R-502 i R-404a.

R-32 se ne smatra adekvatnom zamjenom za R-502 zbog svoje zapaljivosti. Ipak, zbog izrazite efikasnosti ciklusa i visokog specifičnog rashladnog učina, on bi mogao naći primjenu za niskotemperaturna industrijska postrojenja koja se i inače rade u protueksplozivnoj izvedbi.

R-410a postaje to interesantiji što je temperatura isparavanja niža, ali nekih izrazitih prednosti nema, pogotovo zbog svojih visokih pritisaka kondenzacije.

Prema gornje navedenom, može se zaključiti da R-404a predstavlja zamjenu za R-502 u oblasti temperatura isparavanja od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-40^{\circ}\text{C}$ . Za sada, kao još jedini kandidat u ovoj oblasti ostaje R-507.

## 8. Zaključak Conclusion

U svezi sa zamjenom freona radi očuvanja ozonskog sloja i smanjenja efekta staklenika, na osnovi gornjeg, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Zamjena, koju su zamislili znanstvenici, a političari propisali, napreduje vrlo dobro i, ako se tako može reći, prečena je prva polovica puta.
- Promatrajući zamjenu pojedinih (do sada najčešćih) rashladnih medija, negdje je situacija sasvim jasna (kod R-12), negdje je skoro jasna (kod R-502), a negdje se još dosta luta i istražuje (kod R-22).
- Zamjena freona koja je u tijeku imaće niz zahtjeva i posljedice u praksi, jer: novi freoni su skuplji, uz nove freone idu i nova ulja, neki specifični zahtjevi su bolje čišćenje instalacije, bolje vakumiranje, veći sušači, a instrumente za servisiranje praktično treba izmijeniti itd.
- Ako se kao trajno rješenje bude koristio neki od medija sa klizanjem temperature isparavanja i kondenziranja, tada postaju puno zahtjevniji proračun, izvođenje, montaža i održavanje takvih instalacija.
- Općenito, nastajuće promjene zahtjevaju veća znanja i vještine od svih sudionika u lancu od proizvodnje do održavanja i iskorištavanja rashladnih i klima uređaja. S druge strane, iste promjene će donijeti (bar trenutno) poskupljenje i proizvoda i usluga iz ove oblasti.

## Literatura / References

- [1] O. Fabris: FREONI, AMONIJAK I OZON, Časopis EGE, br. 2/93, Zagreb
- [2] de Lermiat / LM: HFC REFRIGERANS, York France, 1996.
- [3] Prospektni materijal proizvođača, YORK International / USA, BITZER/Njemačka, HOECHST/Njemačka, DU POINT/USA
- [4] J. Gerstel (DU POINT/DEUTSCHLAND): DER TEMPERATURGLEIT - EIN MASS FÜR DIE ENTMISHUNG UND DIE LEISTUNGSSZAHLEVERBESSERUNG
- [5] ASHRAE: Handbook - REFRIGERATION, 1994.

Rukopis primljen: 14. 4. 1997.



## Prilozi

## R-134a (Termodinamička svojstva)

t	p	v'	v''	h'	h''	s'	s''											
°C	bar	dm <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg K											
-50	0.30	0.6932	0.58686	140.42	366.08	0.7607	1.7719	50	13.18	0.9066	0.01500	271.02	421.74	1.2353	1.7017			
-49	0.32	0.6945	0.58681	141.48	366.71	0.7654	1.7702	51	13.51	0.9105	0.01460	272.58	422.13	1.2400	1.7014			
-48	0.34	0.6958	0.58676	142.54	367.34	0.7701	1.7686	52	13.85	0.9145	0.01420	274.15	422.52	1.2448	1.7011			
-47	0.36	0.6971	0.58671	143.60	367.97	0.7748	1.7669	53	14.20	0.9185	0.01382	275.72	422.90	1.2495	1.7008			
-46	0.38	0.6984	0.58666	144.67	368.60	0.7795	1.7653	54	14.55	0.9226	0.01344	277.30	423.28	1.2543	1.7005			
-45	0.40	0.6997	0.58661	145.73	369.23	0.7842	1.7638	55	14.91	0.9269	0.01306	278.89	423.64	1.2590	1.7001			
-44	0.42	0.7011	0.58656	146.80	369.85	0.7889	1.7622	56	15.28	0.9312	0.01273	280.49	424.00	1.2638	1.6998			
-43	0.45	0.7024	0.58651	147.87	370.48	0.7936	1.7607	57	15.65	0.9356	0.01238	282.10	424.35	1.2686	1.6994			
-42	0.47	0.7038	0.58646	148.94	371.11	0.7983	1.7593	58	16.03	0.9401	0.01205	283.72	424.69	1.2733	1.6990			
-41	0.49	0.7051	0.58641	149.11	371.73	0.8030	1.7578	59	16.42	0.9447	0.01172	285.34	425.03	1.2781	1.6987			
-40	0.52	0.7065	0.58636	150.29	372.36	0.8077	1.7564	60	16.81	0.9494	0.01141	286.97	425.35	1.2829	1.6983			
-39	0.55	0.7079	0.58631	151.38	372.99	0.8124	1.7550	61	17.21	0.9542	0.01110	288.62	425.66	1.2877	1.6979			
-38	0.58	0.7093	0.58626	152.48	373.62	0.8171	1.7537	62	17.62	0.9591	0.01080	290.27	425.96	1.2925	1.6974			
-37	0.61	0.7107	0.58621	153.58	374.25	0.8218	1.7524	63	18.04	0.9640	0.01050	291.93	426.26	1.2974	1.6970			
-36	0.64	0.7121	0.58616	154.77	374.88	0.8265	1.7511	64	18.46	0.9690	0.01022	293.60	426.54	1.3022	1.6965			
-35	0.67	0.7135	0.58611	155.97	375.51	0.8312	1.7498	65	18.89	0.9740	0.00994	295.29	426.81	1.3071	1.6960			
-34	0.70	0.7150	0.58606	157.17	376.14	0.8359	1.7486	66	19.33	0.9791	0.00967	296.98	427.06	1.3120	1.6955			
-33	0.74	0.7164	0.58601	158.37	376.77	0.8406	1.7474	67	19.77	0.9842	0.00940	298.69	427.31	1.3169	1.6950			
-32	0.78	0.7179	0.58596	159.57	377.40	0.8453	1.7462	68	20.23	0.9894	0.00915	300.41	427.53	1.3218	1.6944			
-31	0.81	0.7194	0.58591	160.77	378.03	0.8500	1.7450	69	20.69	0.9947	0.00889	302.14	427.75	1.3267	1.6938			
-30	0.85	0.7208	0.58586	161.97	378.66	0.8547	1.7438	70	21.16	1.0000	0.00865	303.89	427.95	1.3317	1.6932			
-29	0.89	0.7223	0.58581	163.17	379.29	0.8594	1.7426	71	21.63	1.0053	0.00841	305.65	428.13	1.3367	1.6926			
-28	0.94	0.7237	0.58576	164.37	379.92	0.8641	1.7414	72	22.12	1.0106	0.00817	307.42	428.30	1.3417	1.6919			
-27	0.98	0.7252	0.58571	165.57	380.55	0.8688	1.7402	73	22.61	1.0160	0.00794	309.21	428.45	1.3467	1.6912			
-26	1.03	0.7266	0.58566	166.77	381.18	0.8735	1.7390	74	23.11	1.0213	0.00772	311.02	428.58	1.3517	1.6904			
-25	1.07	0.7281	0.58561	167.97	381.81	0.8782	1.7378	75	23.62	1.0267	0.00750	312.84	428.69	1.3568	1.6896			
-24	1.12	0.7300	0.58556	169.17	382.44	0.8829	1.7366	76	24.14	1.0321	0.00728	314.68	428.77	1.3620	1.6887			
-23	1.17	0.7316	0.58551	170.37	383.07	0.8876	1.7354	77	24.67	1.0375	0.00707	316.54	428.84	1.3671	1.6878			
-22	1.22	0.7332	0.58546	171.57	383.70	0.8923	1.7342	78	25.21	1.0430	0.00687	318.42	428.88	1.3723	1.6869			
-21	1.28	0.7348	0.58541	172.77	384.33	0.8970	1.7330	79	25.76	1.0485	0.00666	320.32	428.89	1.3776	1.6859			
-20	1.34	0.7364	0.58536	173.97	384.96	0.9017	1.7318	80	26.31	1.0540	0.00647	322.25	428.87	1.3829	1.6848			
-19	1.39	0.7380	0.58531	175.17	385.59	0.9064	1.7306	81	26.88	1.0596	0.00628	324.20	428.82	1.3882	1.6836			
-18	1.45	0.7396	0.58526	176.37	386.22	0.9111	1.7294	82	27.45	1.0652	0.00608	326.18	428.74	1.3936	1.6824			
-17	1.52	0.7413	0.58521	177.57	386.85	0.9158	1.7282	83	28.04	1.0709	0.00589	328.18	428.62	1.3991	1.6811			
-16	1.58	0.7430	0.58516	178.77	387.48	0.9205	1.7270	84	28.63	1.1167	0.00570	330.22	428.46	1.4046	1.6797			
-15	1.65	0.7446	0.58511	179.97	388.11	0.9252	1.7258	85	29.24	1.1278	0.00552	332.29	428.25	1.4102	1.6781			
-14	1.72	0.7463	0.58506	181.17	388.74	0.9300	1.7246	86	29.85	1.1396	0.00534	334.40	428.00	1.4159	1.6765			
-13	1.79	0.7480	0.58501	182.37	389.37	0.9347	1.7234	87	30.48	1.1520	0.00516	336.55	427.69	1.4217	1.6747			
-12	1.86	0.7498	0.58496	183.57	389.99	0.9395	1.7222	88	31.11	1.1653	0.00499	338.75	427.32	1.4276	1.6728			
-11	1.93	0.7515	0.58491	184.77	390.62	0.9443	1.7210	89	31.76	1.1795	0.00481	341.00	426.88	1.4336	1.6707			
-10	2.01	0.7533	0.58486	185.97	391.25	0.9491	1.7198	90	32.42	1.1947	0.00464	343.31	426.36	1.4397	1.6684			
-9	2.09	0.7551	0.58481	187.17	391.88	0.9539	1.7186	91	33.09	1.2113	0.00446	345.68	425.75	1.4460	1.6659			
-8	2.18	0.7569	0.58476	188.37	392.51	0.9587	1.7174	92	33.77	1.2293	0.00429	348.14	425.03	1.4525	1.6631			
-7	2.26	0.7587	0.58471	189.57	393.14	0.9635	1.7162	93	34.46	1.2492	0.00412	350.68	424.19	1.4593	1.6600			
-6	2.35	0.7605	0.58466	190.77	393.77	0.9683	1.7150	94	35.17	1.2713	0.00394	353.34	423.18	1.4663	1.6565			
-5	2.44	0.7623	0.58461	191.97	394.40	0.9731	1.7138	95	35.89	1.2962	0.00376	356.13	421.98	1.4736	1.6525			
-4	2.53	0.7642	0.58456	193.17	395.03	0.9779	1.7126	96	36.62	1.3249	0.00357	359.11	420.51	1.4814	1.6477			
-3	2.63	0.7661	0.58451	194.37	395.66	0.9827	1.7114	97	37.37	1.3588	0.00338	362.33	418.66	1.4899	1.6420			
-2	2.73	0.7680	0.58446	195.57	396.29	0.9875	1.7102	98	38.13	1.4005	0.00316	365.92	416.21	1.4993	1.6348			
-1	2.83	0.7699	0.58441	196.77	396.92	0.9923	1.7090	99	38.91	1.4551	0.00291	370.08	412.71	1.5102	1.6247			
								100	39.70	1.5374	0.00263	375.08	407.86	1.5233	1.6111			
								101	40.51	1.7751	0.00214	384.93	396.24	1.5493	1.5795			
								101.05	40.56	1.9406	0.00194	390.05	390.05	1.5630	1.5630			
0	2.93	0.7718	0.58436	200.00	396.52	1.0000	1.7195											
1	3.04	0.7738	0.58431	201.31	397.09	1.0047	1.7189											
2	3.15	0.7758	0.58426	202.61	397.66	1.0095	1.7184											
3	3.27	0.7778	0.58421	203.92	398.23	1.0142	1.7178											
4	3.38	0.7798	0.58416	205.23	398.80	1.0189	1.7173											
5	3.50	0.7818	0.58411	206.54	399.37	1.0237	1.7168											
6	3.62	0.7839	0.58406	207.85	399.93	1.0284	1.7163											
7	3.75	0.7860	0.58401	209.16	400.49	1.0331	1.7158											
8	3.88	0.7881	0.58396	210.47	401.05	1.0379	1.7154											
9	4.01	0.7902	0.58391	211.78	401.61	1.0426	1.7149											
10	4.15	0.7924	0.58386	213.09	402.17	1.0473	1.7145											
11	4.29	0.7946	0.58381	214.40	402.73	1.0520	1.7140											
12	4.43	0.7968	0.58376	215.71	403.29	1.0567	1.7136											
13	4.58	0.7990	0.58371	217.02	403.85	1.0615	1.7132											
14	4.73	0.8012	0.58366	218.33	404.41	1.0662	1.7128											
15	4.89	0.8035	0.58361	219.64	404.97	1.0709	1.7124											
16	5.05	0.8058	0.58356	220.95	405.53	1.0756	1.7120											
17	5.21	0.8082	0.58351	222.26	406.09	1.0803	1.7116											

R - 407c (Termodinamička svojstva)

t °C	p' bar	p''	v' dm/kg	v''	h' kJ/kg	h''	s' kJ/kgK	s''
-50	0.753	0.497	0.721	425.53	132.11	382.10	0.7285	1.8684
-49	0.791	0.525	0.722	404.16	133.34	382.76	0.7340	1.8661
-48	0.832	0.555	0.722	384.06	134.57	383.41	0.7395	1.8639
-47	0.874	0.586	0.723	365.15	135.81	384.06	0.7450	1.8616
-46	0.917	0.618	0.724	347.35	137.06	384.71	0.7504	1.8594
-45	0.963	0.652	0.725	330.58	138.31	385.36	0.7559	1.8573
-44	1.010	0.687	0.726	314.77	139.56	386.02	0.7614	1.8552
-43	1.059	0.723	0.727	299.86	140.82	386.67	0.7669	1.8531
-42	1.110	0.762	0.728	285.79	142.09	387.32	0.7723	1.8511
-41	1.163	0.801	0.730	272.50	143.36	387.97	0.7778	1.8491
-40	1.217	0.843	0.731	259.95	144.64	388.62	0.7833	1.8472
-39	1.274	0.886	0.732	248.10	145.92	389.26	0.7887	1.8452
-38	1.333	0.931	0.733	236.88	147.21	389.91	0.7942	1.8434
-37	1.394	0.978	0.734	226.27	148.50	390.56	0.7997	1.8415
-36	1.457	1.026	0.735	216.23	149.80	391.20	0.8051	1.8397
-35	1.523	1.077	0.737	206.72	151.10	391.85	0.8106	1.8379
-34	1.590	1.129	0.738	197.71	152.41	392.49	0.8160	1.8362
-33	1.661	1.184	0.739	189.17	153.72	393.14	0.8215	1.8345
-32	1.733	1.240	0.741	181.07	155.04	393.78	0.8270	1.8328
-31	1.808	1.299	0.742	173.38	156.37	394.42	0.8324	1.8312
-30	1.886	1.360	0.743	166.08	157.70	395.06	0.8379	1.8295
-29	1.966	1.423	0.745	159.16	159.03	395.70	0.8433	1.8280
-28	2.048	1.488	0.746	152.57	160.37	396.34	0.8487	1.8264
-27	2.134	1.556	0.748	146.31	161.72	396.97	0.8542	1.8249
-26	2.222	1.626	0.749	140.36	163.07	397.60	0.8596	1.8234
-25	2.313	1.698	0.751	134.70	164.43	398.24	0.8651	1.8219
-24	2.407	1.773	0.752	129.32	165.79	398.87	0.8705	1.8204
-23	2.504	1.851	0.754	124.19	167.15	399.50	0.8759	1.8190
-22	2.603	1.931	0.756	119.30	168.53	400.13	0.8814	1.8176
-21	2.706	2.015	0.757	114.64	169.90	400.75	0.8868	1.8162
-20	2.812	2.100	0.759	110.20	171.29	401.37	0.8922	1.8149
-19	2.921	2.189	0.761	105.97	172.67	402.00	0.8976	1.8136
-18	3.034	2.281	0.762	101.93	174.07	402.62	0.9031	1.8123
-17	3.149	2.375	0.764	98.08	175.46	403.25	0.9085	1.8110
-16	3.268	2.473	0.766	94.40	176.87	403.85	0.9139	1.8097
-15	3.391	2.573	0.768	90.88	178.28	404.46	0.9193	1.8085
-14	3.517	2.677	0.770	87.52	179.69	405.07	0.9247	1.8073
-13	3.646	2.784	0.772	84.31	181.11	405.68	0.9301	1.8061
-12	3.779	2.895	0.774	81.24	182.53	406.29	0.9355	1.8049
-11	3.916	3.008	0.776	78.30	183.96	406.89	0.9409	1.8037
-10	4.057	3.125	0.778	75.49	185.39	407.49	0.9463	1.8026
-9	4.201	3.246	0.780	72.80	186.83	408.09	0.9517	1.8015
-8	4.349	3.370	0.782	70.22	188.27	408.68	0.9571	1.8004
-7	4.502	3.498	0.784	67.75	189.72	409.28	0.9624	1.7993
-6	4.658	3.630	0.786	65.39	191.18	409.87	0.9678	1.7982
-5	4.818	3.765	0.789	63.12	192.63	410.45	0.9732	1.7971
-4	4.982	3.904	0.791	60.95	194.10	411.03	0.9786	1.7961
-3	5.151	4.048	0.793	58.86	195.57	411.61	0.9839	1.7951
-2	5.324	4.195	0.795	56.86	197.04	412.19	0.9893	1.7940
-1	5.501	4.346	0.798	54.94	198.52	412.76	0.9946	1.7930
0	5.683	4.501	0.800	53.10	200.00	413.33	1.0000	1.7920
1	5.869	4.661	0.803	51.32	201.49	413.90	1.0053	1.7911
2	6.060	4.825	0.805	49.62	202.98	414.46	1.0107	1.7901
3	6.255	4.993	0.808	47.99	204.48	415.02	1.0160	1.7891
4	6.455	5.166	0.810	46.42	205.98	415.57	1.0214	1.7882
5	6.660	5.344	0.813	44.90	207.49	416.12	1.0267	1.7873
6	6.870	5.526	0.816	43.45	209.00	416.67	1.0320	1.7863
7	7.084	5.712	0.818	42.05	210.52	417.21	1.0373	1.7854
8	7.304	5.904	0.821	40.70	212.04	417.74	1.0427	1.7845
9	7.528	6.100	0.824	39.41	213.57	418.28	1.0480	1.7836
10	7.758	6.301	0.827	38.16	215.10	418.80	1.0533	1.7827
11	7.993	6.508	0.830	36.96	216.64	419.33	1.0586	1.7818
12	8.233	6.719	0.833	35.80	218.18	419.85	1.0639	1.7809
13	8.478	6.936	0.836	34.68	219.73	420.36	1.0692	1.7801
14	8.729	7.158	0.839	33.60	221.29	420.87	1.0744	1.7792
15	8.985	7.385	0.842	32.57	222.85	421.37	1.0797	1.7783
16	9.247	7.618	0.845	31.56	224.41	421.86	1.0850	1.7775
17	9.514	7.856	0.848	30.60	225.98	422.36	1.0903	1.7766
18	9.787	8.100	0.852	29.66	227.56	422.84	1.0955	1.7757
19	10.066	8.350	0.855	28.76	229.14	423.32	1.1008	1.7749
20	10.350	8.606	0.858	27.89	230.72	423.79	1.1061	1.7740
21	10.640	8.867	0.862	27.05	232.32	424.26	1.1113	1.7732
22	10.937	9.135	0.865	26.24	233.92	424.72	1.1166	1.7723
23	11.239	9.408	0.869	25.46	235.52	425.18	1.1218	1.7715
24	11.547	9.688	0.872	24.70	237.13	425.62	1.1270	1.7706
25	11.862	9.974	0.876	23.97	238.75	426.06	1.1323	1.7697
26	12.183	10.267	0.880	23.26	240.37	426.50	1.1375	1.7689
27	12.510	10.566	0.883	22.57	242.00	426.92	1.1427	1.7680
28	12.843	10.871	0.887	21.91	243.64	427.34	1.1480	1.7671
29	13.183	11.184	0.891	21.27	245.29	427.75	1.1532	1.7663
30	13.530	11.503	0.895	20.64	246.94	428.15	1.1584	1.7654
31	13.883	11.829	0.899	20.04	248.60	428.55	1.1636	1.7645
32	14.243	12.162	0.903	19.46	250.27	428.93	1.1688	1.7636
33	14.609	12.503	0.907	18.89	251.94	429.31	1.1740	1.7627
34	14.982	12.850	0.912	18.35	253.63	429.68	1.1793	1.7618
35	15.362	13.205	0.916	17.82	255.32	430.03	1.1845	1.7609
36	15.750	13.567	0.920	17.30	257.02	430.38	1.1897	1.7599
37	16.144	13.937	0.925	16.80	258.74	430.72	1.1949	1.7590
38	16.545	14.315	0.929	16.32	260.46	431.05	1.2000	1.7580
39	16.954	14.701	0.934	15.85	262.19	431.37	1.2052	1.7571
40	17.369	15.094	0.939	15.39	263.94	431.67	1.2104	1.7561
41	17.793	15.496	0.943	14.95	265.69	431.97	1.2156	1.7551
42	18.223	15.906	0.948	14.52	267.46	432.25	1.2208	1.7540
43	18.661	16.324	0.953	14.10	269.24	432.52	1.2260	1.7530
44	19.107	16.750	0.958	13.70	271.03	432.78	1.2311	1.7519
45	19.560	17.186	0.963	13.30	272.84	433.02	1.2363	1.7509
46	20.021	17.630	0.968	12.92	274.67	433.25	1.2415	1.7498
47	20.490	18.083	0.974	12.55	276.51	433.47	1.2466	1.7488
48	20.966	18.544	0.979	12.19	278.37	433.67	1.2518	1.7475
49	21.451	19.015	0.984	11.84	280.25	433.86	1.2569	1.7463
50	21.944	19.496	0.990	11.49	282.15	434.03	1.2620	1.7451
51	22.444	19.986	0.996	11.16	284.07	434.18	1.2671	1.7439
52	22.953	20.485	1.002	10.84	286.02	434.32	1.2721	1.7426
53	23.471	20.994	1.007	10.52	288.00	434.44	1.2771	1.7413
54	23.996	21.514	1.013	10.21	290.00	434.53	1.2820	1.7399
55	24.530	22.043	1.020	9.91	292.04	434.61	1.2869	1.7386
56	25.073	22.582	1.026	9.62	294.11	434.67	1.2916	1.7371
57	25.624	23.132	1.032	9.34	296.24	434.71	1.2961	1.7357
58	26.184	23.693	1.039	9.06	298.41	434.72	1.3004	1.7341
59	26.753	24.264	1.045	8.79	300.64	434.71	1.3043	1.7326
60	27.330	24.847	1.052	8.52	302.96	434.67	1.3076	1.7309
61	27.917	25.440	1.059	8.26	305.37	434.61	1.3098	1.7293
62	28.512	26.045	1.066	8.01	307.91	434.52	1.3099	1.7275
63	29.117	26.662	1.074	7.76	310.65	434.40	1.3056	1.7257
64	29.731	27.290	1.081	7.52	313.72	434.24	1.2898	1.7238
65	30.354	27.930	1.089	7.29	317.56	434.05	1.2278	1.7219

t - temperatura (konst.)

p' - pritisak na početku isparavanja

p'' - pritisak na kraju isparavanja

v' - volumen tekućine

v'' - volumen pare

h' - entalpija tekućine

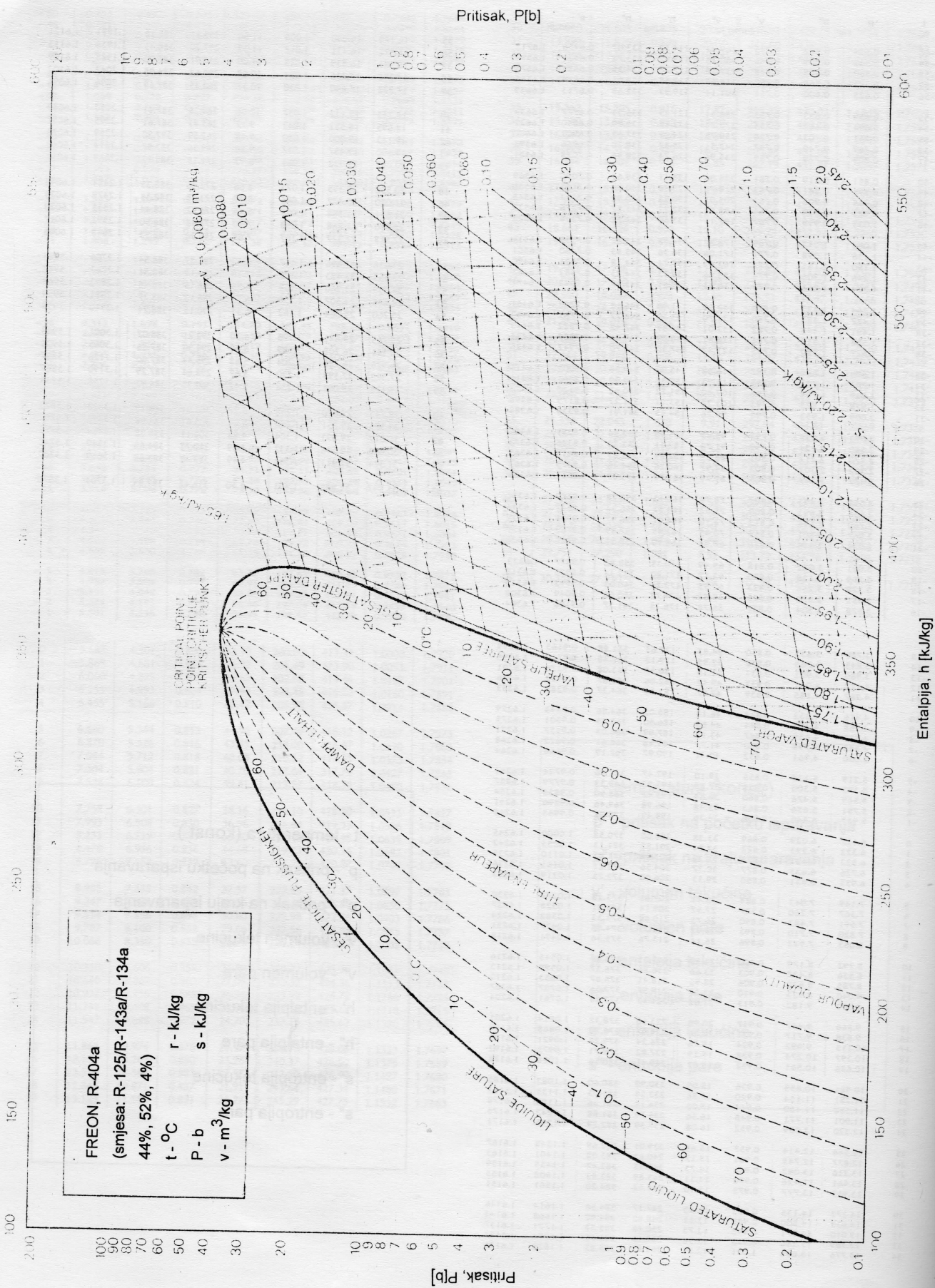
h'' - entalpija pare

s' - entropija tekućine

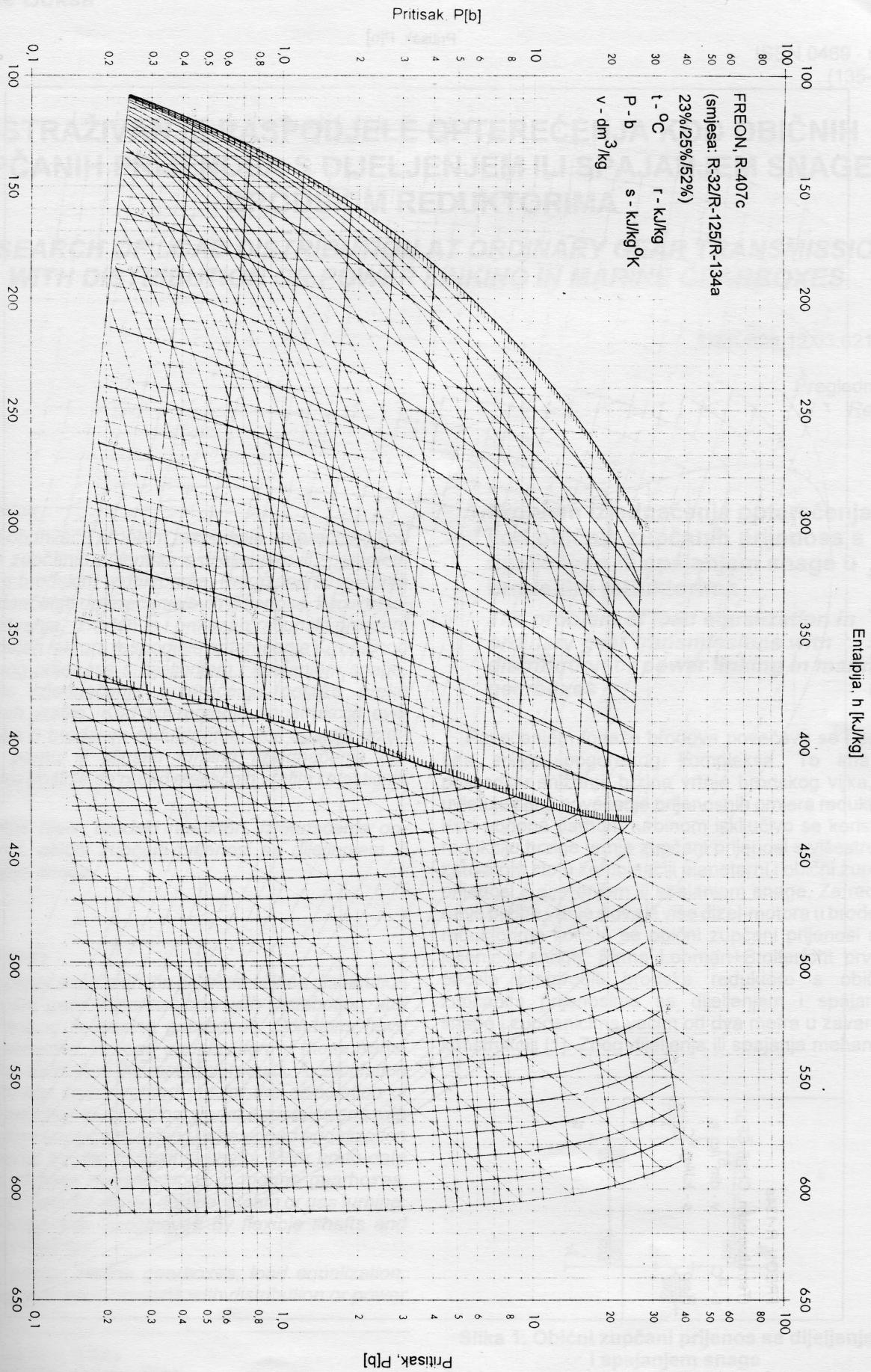
s'' - entropija pare







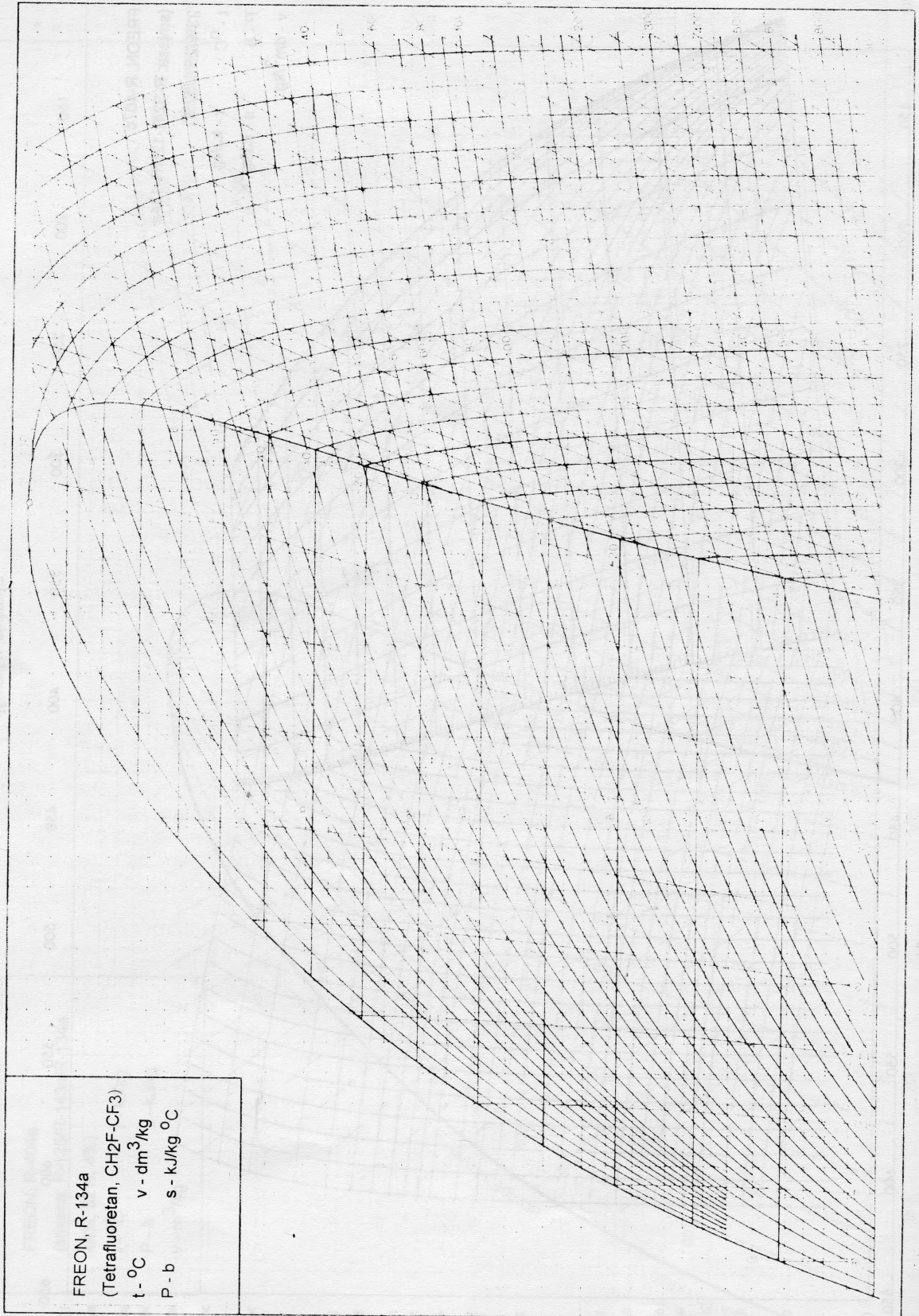




Pritisak, P[b]

Entalpija, h [kJ/kg]

Entalpija, h [kJ/kg]



Pritisak, P[b]