

Mr. sc. Predrag Kralj, asist.  
Mr. sc. Ante Bukša, pred.  
Mr. sc. Dragan Martinović, asist.  
Visoka pomorska škola u Rijeci  
Studentska 2, Rijeka

Pregledni članak  
UDK 629.5.048.78:504.3(094.2)

## RAZVOJ BRODSKIH RASHLADNIH SUSTAVA – UTJECAJ PROPISA O ZAŠTITI OKOLIŠA

*Usvojeni propisi međunarodnih ustanova koje je prihvatila i naša zemlja, nepovratno mijenjaju smjer razvoja brodskih rashladnih uređaja. Regulira se ispuštanje sredstava koja oštećuju ozonski omotač tako da se neka sredstva zabranjuju te se moraju u dogledno vrijeme povući iz upotrebe, a primjena se drugih ograničava. Primarni je problem brodovlasnika kako provesti izmjenu rashladnog uređaja u skladu s propisima, a sekundarni se tiče novogradnji – koji rashladni sustav ugraditi. U radu su navedena rashladna sredstva koja se primjenjuju u velikoj većini današnjih brodova te neka pojedinačna sredstva i smjese više sredstava koja se mogu upotrijebiti kao zamjenska. Nadalje, u radu su sistematizirane metode preinaka rashladnih sustava, postojećih sustava ili sustava koji će se tek ugraditi na novogradnje. Istaknute su neke prednosti i nedostaci zamjenskih rashladnih sredstava ili cijelog postupka preinake. Na osnovi postojećeg koncepta kontrolirane atmosfere – CA, te propisa LR o rashladnom sustavu koji koristi NH<sub>3</sub>, predloženo je rješenje kojim se mogu zadržati postojeća, prema termodinamičnim i drugim fizikalnim svojstvima, najprihvatljivija rashladna sredstva, a da se istodobno spriječi njihovo ispuštanje u atmosferu i oštećivanje ozonskog omotača.*

### 1. UVOD

Odabir rashladnog sredstva ovisi o poznatim kriterijima: termodinamičkim svojstvima, zapaljivosti, otrovnosti, kemijskoj reaktivnosti, korozivnosti, cijeni te o štetnom utjecaju na okoliš. Posljednji kriterij, uveden tzv. Montrealskim protokolom (1987.), te njegovim amandmanima iz Londona i Copenhagena – Prilogom VI. Konvencije MARPOL, uvjetuje daljnji razvoj brodskih rashladnih uređaja.

Navedenim se propisima, među ostalim, ograničava primjena sredstava koja oštećuju ozonski omotač<sup>1</sup> te ih se nastoji potpuno zamijeniti. Klorofluorouglicji (CFC) čiji je ODP=1, poput R-12, potpuno su zabranjeni i u razvijenim zemljama zadnji rok za prestanak upotrebe bio je 1996. (u zemljama EU čak 1. siječnja 1995.). Hidroklorofluorouglicji (HCFC) sa znatno manjim ODP (za R-22 iznosi 0,05) postupno će se izbacivati iz upotrebe do 2030. godine (u Njemačkoj do

<sup>1</sup> ODP (engl. ozone depletion potential) neke tvari dobije se usporedbom s ODP-om rashladnog sredstva R-11.

1. siječnja 2000.). Štetan se utjecaj sredstava ispuštenih u atmosferu, na žalost, time ne završava. Naime, ispušteni plinovi pridonose ukupnom porastu srednje temperature zraka, odnosno globalnom zatopljenju<sup>2</sup>.

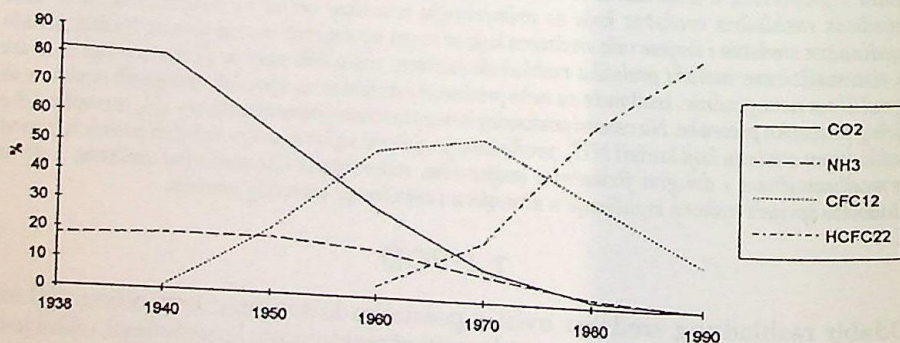
Problem s globalnim zatopljenjem složeniji je nego što se čini, jer utjecaj pojedinoga rashladnog sustava može biti direktan i indirektan. Ispuštanjem sredstva u atmosferu direktno se utječe na globalno zatopljenje. Za pogon uređaja potrebna je električna energija, za proizvodnju koje brodski strojevi koriste fosilna (uglavnom tekuća) goriva. Zbog toga se indirektno, za potrebe pogona, također ispuštaju sredstva koja imaju određeni GWP.

Tvrtka *Sabroe Refrigeration* uvodi pojam TEWI<sup>3</sup>, kojim se uzima u obzir direktan i indirektan utjecaj rashladnog sustava na globalno zatopljenje.

## 2. SREDSTVA U PRIMJENI I ZAMJENSKA SREDSTVA

Na slici 1. prikazan je u postocima udio pojedinoga primarnoga rashladnog sredstva na brodovima s hlađenim skladištima ili brodovima za prijevoz ukapljenog plina, klasificiranim od LR. Može se pretpostaviti da je na brodovima koje su klasificirala druga klasifikacijska društva, stanje približno isto.

Očita je dominacija R-22 kao primarnoga rashladnog sredstva. Ako se uzme u obzir da je R-22 najčešće rashladno sredstvo i u direktnim rashladnim sustavima provijanta te rashladnim sustavima klima-jedinica, dominacija je još veća.



Slika 1. Udio rashladnih sredstava u primarnim rashladnim sustavima tereta

Malen udio odnosi se na R-12, a praktički neznan udio odnosi se na NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> ili R-502<sup>4</sup>, koji se koriste na veoma malo starih brodova. Zamjenska rashladna

<sup>2</sup> GWP (engl. global warming potential) također je relativna vrijednost u odnosu prema CO<sub>2</sub>.

<sup>3</sup> TEWI od engl. Total Equivalent Warming Impact.

<sup>4</sup> R-502 azeotropna je smjesa R-22 i R-115.

Tablica 1. Fizikalna svojstva nekih rashladnih tvari [7]

	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	HCFC-142b	HCFC-141b	HCFC-123	HFC-23	HFC-152a	HFC-134a	HFC-125	HCFC-124	HCFC-22	Relativna mol. masa	Vrelište [°C]	Kritična temp. [°C]	Kritični tlak [MPa]	Gustoća kapljevine kod 25 °C [t/m <sup>3</sup> ]	Granica zapaljivosti u zraku [vol %]	ODP	GWP	Otrovnost*	
	44,1	44,01	17,03	100,47	116,95	152,9	70,01	66	102	120,02	136,5	86,47		-40,75	96	96	4,98	1,194	-0,05	0,3	1 (TLV)	
	-42,5	-78,48	-33,35	-9,8	32	27,9	-82,03	-24,7	-26,5	-48,5	-11											
	96,85	31	132,4	137,1	210,3	185	25,9	113,5	100,6	66,3	122,2	96										
	4,256	7,376	11,3	4,124	4,64	3,79	4,83	4,5	3,95	3,52	3,57	96										
	2,2	0,494	0,6028	1,12/2C	1,23	1,46	0,670	0,911	1,203	1,25/200C	1,364	4,98										
	-9,5	-	15,5- 27	6,7 - 14,9	6,4-15,1	-	-	3,9-16,9	-	-	-	1,194										
	0	0	0	0,06	0,08	0,02	0	0	0	0	0,02	-0,05										
	1(0)**	0	0	0,30	0,08	0,02		0,03	0,27	0,6	0,1	0,3										
	5000 (TLV)	1000 (TLV)	25 (TLV)	1000 (AEL)	100 (AEL)	100 (AEL)		1000 (AEL)	1000 (AEL)	1000 (AEL)	500 (AEL)	1 (TLV)										

\* TLV (Threshold Limit Value), AEL (Allowable Exposure Limit)

\*\* Mnogo se više CO<sub>2</sub> nalazi u ispušnim plinovima, no što ga se ispušta iz rashladnih uređaja.

sredstva, uz navedena fizikalna svojstva, moraju ispunjavati uvjet  $ODP=0$ , uz što manji GWP. Štetan utjecaj sredstava na globalno zatopljenje nije još reguliran propisima, no pitanje je vremena kada će se to morati učiniti.

U tablici 1., navedena su, za primjenu u brodskim rashladnim uređajima, važnija svojstva nekih rashladnih tvari. Na tržištu se također nude smjese R-404a (R-125, R-143a, R1-34a), R-407 (R-32, R-125, R-134a) te druge. Tvrtka za proizvodnju rashladnih sredstava *Du Pont* patentirala je smjese za zamjenu R-12 prema različitim kriterijima. Smjesa se može sastojati od HCFC-22, HFC-152a, CFC-114, HCFC-124 i drugih sredstava u različitim omjerima.

U tablici 2. prikazan je odnos pet važnijih radnih parametara R-12 i patentiranih *Du Pont* smjesa<sup>5</sup>. Vrijednosti su dobivene pri radu uređaja uz sljedeće konstantne veličine: temperatura kondenzacije 54,44°C, temperatura isparivanja -10°C, pregrijanje 5°C, bez pothlađivanja.

Vidljivo je da smjese mogu imati i veći rashladni učin uz, što je za zaštitu okoliša bitno, veći rashladni množilac ili, drugim riječima, veću energetska efikasnost.

Tablica 2. Odnos vrijednosti važnijih parametara rashladnog uređaja koji radi s R-12 i smjesom HCFC-22, HFC 152a, CFC-114, HCFC-124 i drugih tvari [7]

	R-12	Smjesa
Relativni rashladni učin (prema R-12)	1	0,95 - 1,05
Rashladni množilac $\epsilon$	2,1	2,16 - 2,17
Pretlak isparivača [MPa]	0,133	0,112 - 0,126
Pretlak kondenzatora [MPa]	1,372	1,365 - 1,505
Temperatura izlaza iz kondenzatora [°C]	70	85 - 87,78

### 3. METODE PREINAKE RASHLADNOG SUSTAVA

Metode kojima se brodске rashladne uređaje čini neškodljivima za okoliš, tj. takvima da ne oštećuju ozonski omotač te da imaju što manji utjecaj na globalno zatopljenje, mogu se podijeliti:

1. zamjena rashladnog sredstva
2. drukčije tehnološko rješenje rashladnog procesa.

Dok prva grupa metoda pretpostavlja samo manje zahvate na rashladnom uređaju, drugi je tip rješenja, zbog cijene i složenosti potrebnih preinaka, prihvatljiviji za novougrađene uređaje.

Na prvi su pogled metode zamjene rashladnih sredstava jeftina i jednostavna rješenja, no nije posve tako. Prvi primjer takva rješenja jest zamjena R-12 s R-22, u skladu s propisima usvojenim Montrelaskim protokolom o zabrani R-12. Taka će se izmjena, barem kao privremeno rješenje, morati izvesti ili se već

<sup>5</sup> Radi se više smjesa različitih omjera, te je u tablici dan raspon.

izvela, na velikoj većini brodova za prijevoz kontejneriziranog tereta s centralnim rashladnim sustavom skladišta.

Pod pretpostavkom da se radi o višecilindričnom stapnom kompresoru, potrebne su sljedeće radnje: 1. smanjiti kapacitet kompresora (ako se radi o direktnom pogonu, može se ugraditi elektromotor s manjim brojem okretaja ili remenski prijenos koji će dati odgovarajući broj okretaja kompresora, a ako se radi o remenski pogonjenom kompresoru, može se promijeniti prijenosni omjer remenica<sup>6</sup>); 2. promjena ili ugradnja ili podešavanje pomoćnih elemenata sustava (termoekspanzijskih ventila, sigurnosnih ventila, separatora ulja, kompresorskog ulja, filtra/sušioća, instrumenata).

*Unitor Ship Service* tvrdi da se takav postupak može provesti za dva do tri dana uz trošak od 3.000\$ do 50.000\$, ovisno o veličini i starosti uređaja. Treba voditi računa o već spomenutoj činjenici da je i R-22 "pod udarom" propisa te da se radi o privremenom rješenju.[8]

Trajno bi rješenje bilo da se R-12 zamijeni s R-134a. Sličnih su termodinamičkih svojstava, no R-134a ne može koristiti mineralna ulja te se sustav mora isprazniti od ulja i isprati. Sustav se mora izvakuirati i osušiti, a zbog znatno manje gustoće R-134a i mogućih većih gubitaka sredstava, posebna se pažnja mora posvetiti otklanjanju propuštanja.

Predlažu se rješenja prema kojima se R-12 zamjenjuje smjesom više tvari. Prednost je u tome da se ne zahtijeva zamjena dijelova ili ulja za podmazivanje, no nedostatak je da se u smjesi koriste i zapaljive tvari.

Zbog povećana udjela zraka (kisik), na tlačnoj strani kompresora može doći do zapaljenja.

Prirodna rashladna sredstva NH<sub>3</sub> i CO<sub>2</sub> ne dolaze u obzir zbog velikih troškova povezanih s potrebnim preinakama sustava ili neodgovarajućih termodinamičkih svojstava.

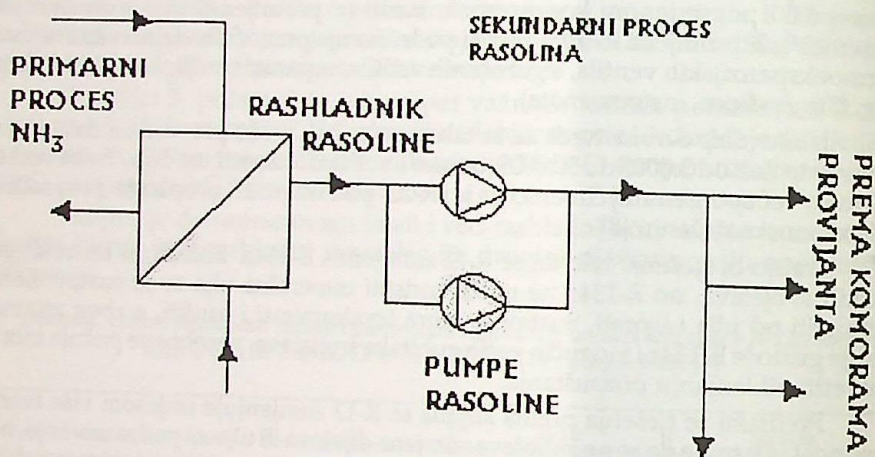
Iako nije štetan poput R-12, R-22 se zbog ukupna udjela u brodskim rashladnim uređajima i sustavima, mora zamijeniti. Nije još proizvedeno rashladno sredstvo svojstava sličnih svojstvima R-22 i primjenljivo u tako velikom broju različitih rashladnih sustava.

U sustavima s višim temperaturama isparivanja moguća je zamjena s R-134, a za niže temperature razvijene su različite smjese. Smjesa R 125, R-143a i R-134a ima ODP = 0, ali i GWP = 0,94. Smjesa R-32, R-125 i R-134a u tom je pogledu nešto bolja (GWP = 0,33). Problem je u nedovoljnim saznanjima o ponašanju tih smjesa tijekom eksploatacije te posebno u činjenici da se radi o zapaljivim tvarima. Zamjenu je moguće obaviti i s propanom, NH<sub>3</sub> te CO<sub>2</sub>, no i s tim su rješenjima povezana određena, prije navedena ograničenja.

Budući da jednoznačan odgovor o zamjenskim rashladnim sredstvima nisu dali ni proizvođači niti je to pokazala praksa, brodovlasnicima je teško odlučiti se koje tehnološko rješenje primijeniti na novogradnji. Jedna je od mogućnosti indirektni rashladni sustav s amonijakom kao primarnim rashladnim

<sup>6</sup> Pritom treba voditi računa o sljedećem: da li će privješana pumpa ulja davati pri smanjenom broju okretaja dovoljan tlak, da li je dovoljna snaga pogonskog elektromotora te podesiti hidraulički sustav regulacije kapaciteta.

sredstvom<sup>7</sup>. Indirektni sustavi  $\text{NH}_3$  - rasolina, koriste se na brodovima s hladnim skladištima tereta, no takvo je rješenje prihvatljivo i za rashladne uređaje provijanta i klima- jedinica. To je rješenje posebno zanimljivo za putničke brodove s rashladnim sustavima većih kapaciteta. Shematski je prikazano na slici 2.



Slika 2. Indirektni rashladni sustav  $\text{NH}_3$ -rasolina ( $\text{CaCl}_2$ )

Jedan od bitnih nedostataka indirektnog sustava s rasolinom kao sekundarnim medijem, jest agresivnost rasoline. To se donekle rješava debelim stjenkama cjevovoda rasoline te zaštitnim premazima, što poskupljuje cijelu izvedbu. DNV<sup>8</sup> predlaže rješenje s  $\text{CO}_2$  kao sekundarnim medijem. Cirkulacija  $\text{CO}_2$  može se obavljati pumpama ili kompresorima. Dok u direktnim sustavima ni  $\text{NH}_3$  ni  $\text{CO}_2$  nisu pogodni, primijenjeni u indirektnom rashladnom sustavu zadovoljavajuće su rješenje. Ipak, bez obzira na način cirkulacije  $\text{CO}_2$ , u oba se slučaja radi o visokotlačnom cjevovodu, što je povezano sa sigurnosnim problemima (atestiranjem cjevovoda, dodatnom sigurnosnom opremom).

Nedostatak je rješenja s  $\text{NH}_3$  i u činjenici da klasifikacijska društva zahtijevaju posebnu kontrolu atmosfere u prostoru rashladnog uređaja, glede ispuštanja  $\text{NH}_3$ . Princip kontrole prikazan je shematski na slici 3.

Prostorija rashladnog uređaja hermetički se zatvara dvostrukim samozatvarajućim vratima. Prostorija ima pristup otvorenoj palubi zbog sigurnosti posade. Negativno je balansiran sustav ventilacije, s ulaznim otvorom pri dnu te isisnim otvorom pri vrhu prostorije. Zahtijeva se barem deset izmjena zraka na sat, a mora postojati i poseban "booster"-ventilator koji se uključuje u slučaju da razina

<sup>7</sup> Propisi LR zahtijevaju da se  $\text{NH}_3$  koristi isključivo kao primarno rashladno sredstvo u indirektnom rashladnom sustavu.

<sup>8</sup> Det Norske Veritas.

para  $\text{NH}_3$  u atmosferi prostorije prijeđe vrijednosti od 500 ppm. Tada se zaustavljaju pogonski strojevi kompresora i uključuje alarm. Ako udio para  $\text{NH}_3$  prijeđe 1% volumena prostorije, postrojenje se mora električki izolirati.

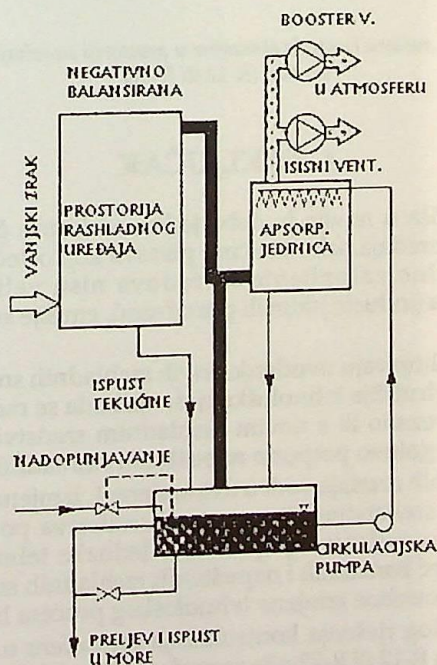
Naveden je samo dio propisa, ali je vidljiv stupanj predostrožnosti koji se poduzima na ovakvom tipu postrojenja.

Može se pojaviti pitanje da li se poput kontroliranja atmosfere u prostoriji rashladnog uređaja s  $\text{NH}_3$  ili relativno novog koncepta kontrole atmosfere (CA) u skladištima tereta, može provesti kontrola atmosfere u prostoriji smještaja rashladnog sustava s R-12 ili R-22 te da li bi to klasifikacijska društva dopustila.

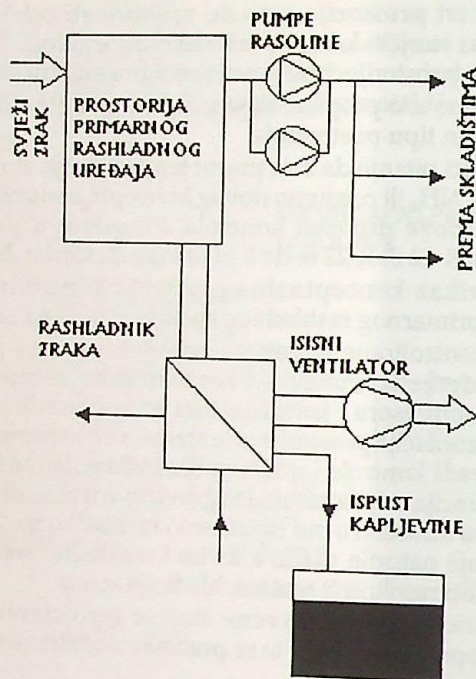
Shematski prikaz konceptualnog rješenja kontroliranja atmosfere u prostoriji smještaja primarnog rashladnog sustava dan je na slici 4.

U prostoriji kontrolirane atmosfere smješten je samo primarni rashladni sustav, cijevi za hlađenje kompresora i kondenzatora te rashladnik i popratne cijevi za hlađenje kompresora i kondenzatora te rashladnik i popratne cijevi za hlađenje rasoline. Ventilacija prostorije nije stalna, već se provodi ako je potreban pristup strojevima radi kontrole i održavanja. Indikacija rada sustava mora biti daljinska, kao i indikacija udjela rashladnog sredstva u atmosferi prostorije. Kako pri isisavanju može u atmosferu biti ispušteno i rashladno sredstvo, zrak se hladi, pri čemu se ukapljuje najprije vlaga, a zatim i rashladno sredstvo. Za hlađenje zraka može se koristiti rasolina iz sustava hlađenja tereta.

Daljnje tretiranje tako dobivene smjese i procjenjivanje isplativosti recikliranja prelazi opseg ovog rada te se predlaže dodatno istraživanje.



Slika 3. Shematski prikaz sustava ventilacije prostorije rashladnog uređaja s  $\text{NH}_3$



Slika 4. Shematski prikaz sustava kontrole atmosfere u prostoriji smještaja primarnog rashladnog uređaja (R-12 ili R-22)

#### 4. ZAKLJUČAK

Zaštita morskog okoliša u novije je doba jedan od bitnih čimbenika u razvoju brodskih rashladnih uređaja. Iako količine plinova koji oštećuju ozonski omotač i/ili utječu na globalno zatopljenje s brodova nisu velike u usporedbi sa stacionarnim izvorima (industrijskim ili prirodnim), emisije se tih plinova također kontroliraju.

Novi propisi zahtijevaju uvođenje novih rashladnih sredstava, uz preinake postojećih sustava ili drukčija tehnološka rješenja kada se radi o novougrađenim uređajima, što je povezano ili s novim rashladnim sredstvima ili s primjenom starih, veći poznatih i gotovo potpuno napuštenih rashladnih sredstava.

Razvoj rashladnih uređaja vodi u dva smjera: 1. izmjena postojećih rashladnih sredstava novim sredstvima ili smjesama sredstava podjednakih termodinamičkih svojstava, uz zadržavanje približno jednake tehnologije hlađenja; 2. povratak prirodnih, već korištenih i napuštenih rashladnih sredstava ( $\text{NH}_3$  i  $\text{CO}_2$ ) što podrazumijeva i potrebne izmjene tehnološkog procesa hlađenja.

Iznaseni prijedlog rješenja kontroliranja atmosfere u prostoriji smještaja rashladnog uređaja na R-12 ili R-22 nije razrađen, ali je dobra osnova za razmišljanje. Naime, tako se mogu zadržati rashladna sredstva koja su se u praksi pokazala najboljima, jer je njihovo ispuštanje u atmosferu svedeno na minimum.

## LITERATURA

- [1] I. Hansen, Environment-friendly refrigeration for air conditioning in passenger vessels: a producer's point of view, Conference Proceedings on Marine Refrigeration, Vol. 107, No 3, London 1995.
- [2] D. Martinović, Brodski rashladni uređaji, Školska knjiga, Zagreb 1994.
- [3] R. Mohlin, Cargo refrigeration - operational experience, Conference Proceedings on Marine Refrigeration, Vol. 107, No 3, London 1995.
- [4] P. A. Morgan - A. A. Wilson, The development of classification rules for refrigerated cargo installations in recognition of international on CFCs/HCFCs, Conference Proceeding on Marine Refrigeration, Vol. 107, No 3, London 1995.
- [5] E. J. Schau, New installation and conversion of refrigeration plant using CFCs for provision and air conditioning, Conference Proceedings on Marine Refrigeration, Vol. 107, No 3, London 1995
- [6] J. E. Røfren - S. Røfsvik, Reefers for the future - ammonia ( $\text{NH}_3$ ) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) refrigerants for marine refrigeration plants, Conference Proceedings on Marine Refrigeration, Vol. 107, No 3, London 1995.
- [7] Annex VI of MARPOL 73/78 Regulations for the prevention of air pollution from ships and  $\text{NO}_x$  technical code, IMO, London, 1998.
- [8] Tehničke specifikacije proizvođača rashladnih sredstava "Du Pont", 1989.
- [9] Uputa Tvrtke za servisiranje i opskrbu pomoćnih elemenata rashladnih ređaja "Unitor"

### Summary

#### DEVELOPMENT OF THE SHIP'S REFRIGERATING SYSTEMS – AN INFLUENCE OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION REGULATIONS

*The Regulations adopted by the international institutions and the Republic of Croatia as well, have irretrievably changed the development trends of the ship's refrigerating plant. The discharge of the ozone depletion potential is regulated, so that the use of some ODP is prohibited and they must be put out of use in due time, while the use of the other one is restricted. The main problem of the shipowner is how to replace the refrigerating plant according to the regulations, while the secondary one refers to the newbuildings – which refrigerating plant to built in? The paper aims at presenting the refrigerating media in use on board a large number of ships in use at present, as well as some single media and compounds of several media that can be used in exchange of. Furthermore, the paper aims at systematizing the refrigerating system modification methods to be applied for the already existing system or for the one to be built in on newbuildings. Some advantages and disadvantages of the replaced refrigerating media or of the whole replacement procedure have been pointed out. Based on the existing CA concept and on the LR regulations on the refrigerating systems using  $\text{NH}_3$ , a solution is reached, according to which the already existing and, according to the thermodynamic and other physical characteristics, the most acceptable refrigerating media can be kept in use, but trying hard to prevent their leakage into the atmosphere and the ozone depletion.*