

Proračun sistema sa vodenim rastvorom etilen-glikola

Branislav Ercegović, dipl. inž.,
RO »Mašinoprojekt«,
11000 Beograd, Dobrinjska 8a

U radu se izlazu osnovne karakteristike vodenog rastvora etilen-glikola i vode, kao najčešće korišćenog sredstva za zaštitu od smrzavanja. Analiziran je uticaj karakteristika rastvora na izbor ekspanzionih sudova, proračun pada pritiska i izbor opreme. Prikazana je opšta metoda proračuna sistema koji rade sa tečnostima čije su karakteristike drukčije od onih koje ima voda i saopšteni su rezultati proračuna za rastvor etilen-glikola i vode.

Uvod

Uvek kada postoji mogućnost da se u sistemu jave temperature nize od $+4^{\circ}\text{C}$, vodi je potrebno dodavati sredstva za zaštitu od zamrzavanja, poznata pod komercijalnim nazivom »antifrizi«, Tipični sistemi u tehnici KGH u kojima se javljaju ovako niske temperature su:

- rekuperativni izmenjivači toplote za povratak »otpadne toplote« u sistemima provetravanja;
 - pred-grejači za zaštitu od smrzavanja regenerativnih izmenjivača toplote;
 - izmenjivači za ugradnju u zemlju pri pri-meni toplotnih pumpi;
 - solarni kolektori i si.
- Najčešće sredstvo koje se koristi za zaštitu od smrzavanja je etilen-glikol.

Opšte karakteristike rastvora etilen-glikola i vode

Čisti etilen-glikol je bezbojna tečnost, bez mi-risa, i potpuno se rastvara u vodi. Otrovan je i ne sme se koristiti u sistemima gde postoji opasnost da prodre u vodu za piće.

Pri korišćenju vodenog rastvora etilen-glikola, najveći je problem korozije. Čisti etilen-glikol je u principu manje korozivan za metale od vode, ali vodeni rastvor etilen-glikola izaziva znatno veću koroziju metala od čiste vode. To je zato

što je etilen-glikol organska materija koja se vezuje sa kiseonikom (oksidira), stvarajući kisele materije koje izazivaju koroziju. Intenzitet korozije zavisi od mnogih faktora, kao što su temperatura, količina vazduha u vodi, kombinaciji metalnih komponenata koje su izložene dejstvu korozije itd. Zbog toga se komercijalnom etilen-glikolu dodaju inhibitori (sredstva koja usporavaju hemijsku reakciju), za sprečavanje korozije metala. To je i osnovni razlog što vodeni rastvor etilen-glikola ima ograničen vek trajanja. Tokom eksploatacije ovih sistema potrebno je u određenim vremenskim razmacima vršiti analizu rastvora i sadržaja inhibitora, prema uputstvima isporučioa etilen-glikola, i po potrebi rastvor dopuniti ili zameniti.

Fizičke karakteristike rastvora date su na dijagramima od 1 do 4. Na osnovu minimalne temperature koja se može javiti u sistemu, iz dijagrama se bira potrebna koncentracija rastvora. U principu minimalna temperatura nije jednaka spoljnoj projektnoj temperaturi vazduha zimi, jer se SPT određuje uzimajući u obzir toplotnu akumulaciju zgrada i sl. i uvek je viša od minimalne temperature vazduha.

Izbor ekspanzionog suda

Da bi se pravilno izabrao ekspanzioni sud potrebno je tačno izračunati zapreminu širenja rastvora etilen-glikola i vode pri zagrevanju. Proračun zapremine širenja vrši se iz uslova da je masa u zatvorenom sistemu konstantna.

Zapremina rastvora pri najnižoj temperaturi je:

$$V_0 = \frac{m}{\rho_0} \quad (\text{m}^3) \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{m}{\rho_1} \quad (\text{m}^3) \quad (2)$$

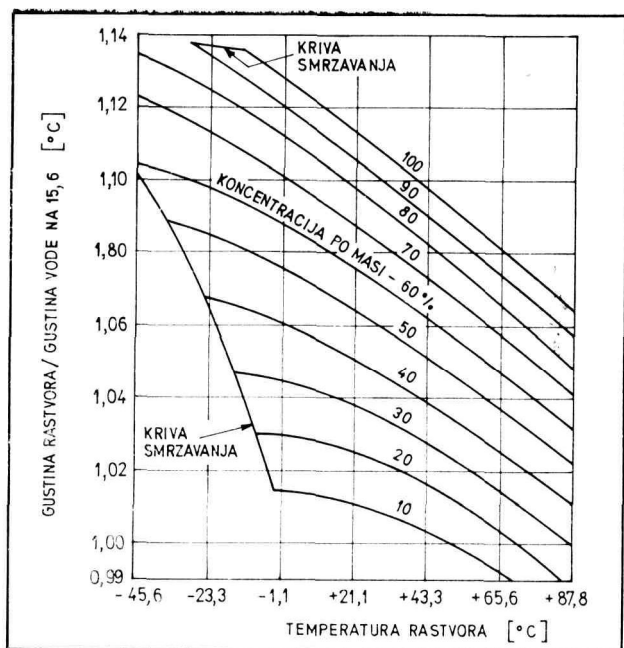
gde je:

m — masa rastvora (kg),

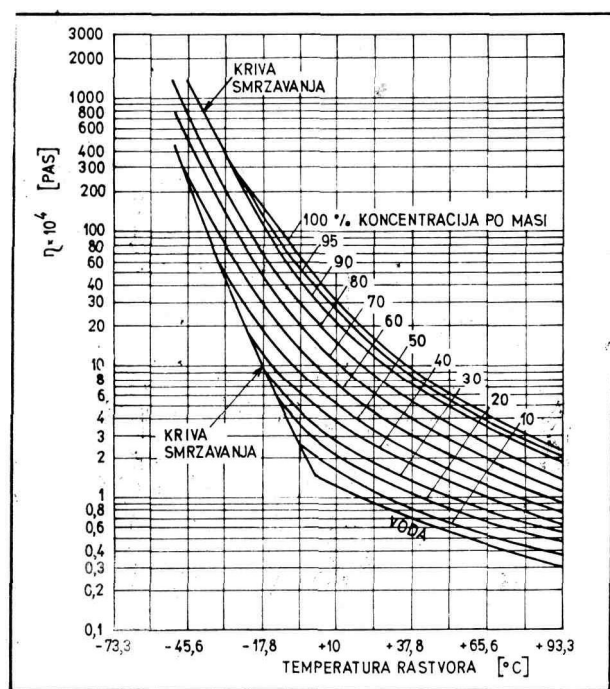
ρ_0 — gustina rastvora pri najnižoj temperaturi (kg/m^3), ρ_1 — gustina rastvora pri najvišoj

temperaturi (kg/m^3).

Oduzimanjem jednačine (1) od jednačine (2), dobija se izraz za izračunavanje zapremine širenja:



Dijagram 1. Gustina rastvora etilen-glikola i vode. U pitanju je relativna gustina u odnosu na vodu pri 15,6°C



Dijagram 2. Dinamička viskoznost rastvora etilen-glikola

$$\Delta V = m \cdot \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_0} \right) m^3 \quad (3)$$

odnosno posle zamenjivanja izraza za masu iz jednačine (1), $m = V_0 \rho_0$:

$$\Delta V = V_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \right) m^3 \quad (4)$$

Pri izračunavanju zapremine koju treba da primi ekspanzioni sud, zanemaruje se širenje izmenjivača toplote i cevovoda pri zagrevanju.

Iz izraza (3) vidi se da zapremina širenja zavisi od faktora:

$$K = \frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \quad (5)$$

Za običnu vodu, faktor K se izračunava prema gustini ρ_0 na 4°C, kada voda ima maksimalnu gustinu, a to je praktično i najniža temperatura pri kojoj smemo da koristimo običnu vodu u sistemu.

Rastvor etilen-glikola i vode nema maksimum gustine pre tačke smrzavanja. Gustina rastvora je funkcija koncentracije etilen-glikola i temperature. Pošto koncentraciju etilen-glikola određujemo u zavisnosti od minimalne temperature, to je, praktično, gustina smeše pri minimalnoj temperaturi funkcija samo minimalne temperature,

Na osnovu izraza (5) za faktor K, izračunate su vrednosti za razne temperature i koncentracije i prikazane u dijagramu broj 5.

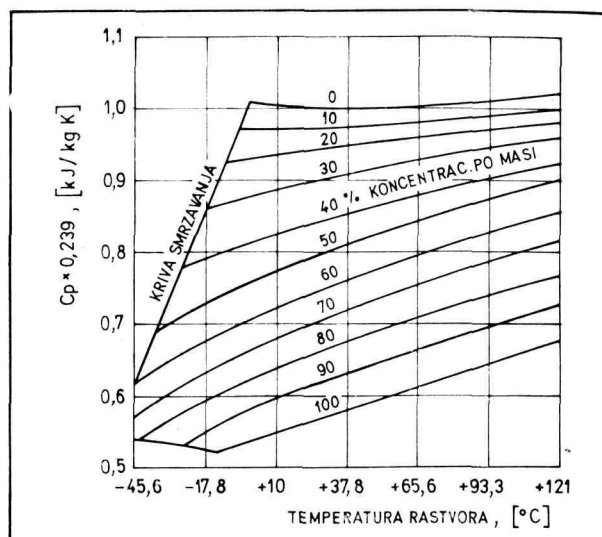
Sada se zapremina ekspanzivnog suda određuje iz poznatog izraza:

$$V = \frac{\Delta V \cdot P_{\max}}{P_{\max} - P_{st}} \quad (6)$$

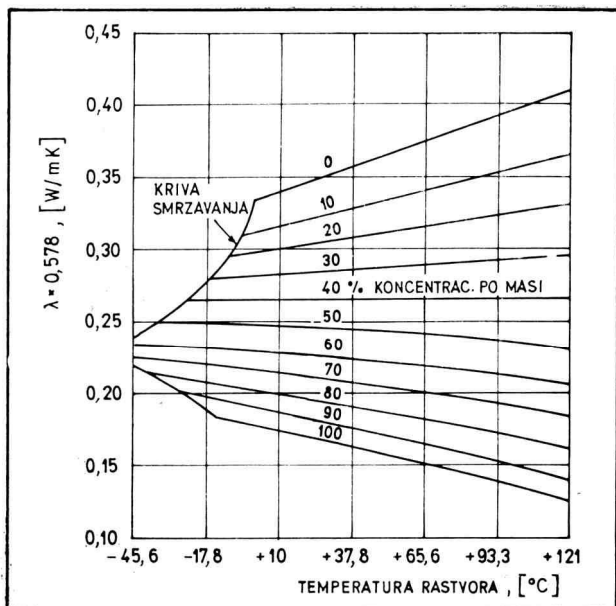
gde je:

V — zapremina ekspanzionog suda,
 $P_{\max}$ — maksimalni dozvoljeni pritisak (bar),
 P_{st} — statički pritisak (bar).

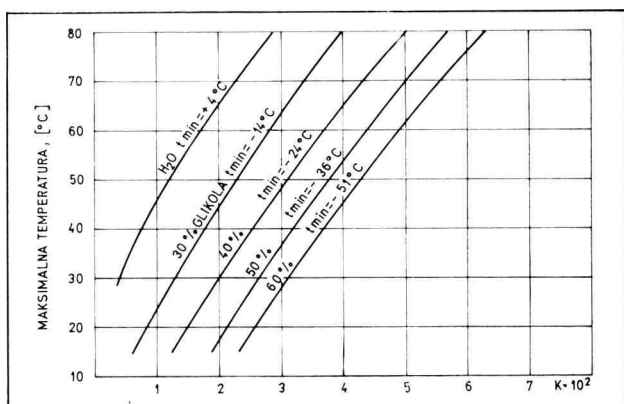
Kada smo izabrali ekspanzioni sud prve standardne veće zapremine, možemo da izračunamo pritisak do koga treba puniti sistem rastvorom prilikom montaže. Na slici 1. prikazani su položaji membrane i veličine stanja pri karakterističnim temperaturama u sistemu. Iz uslova da se



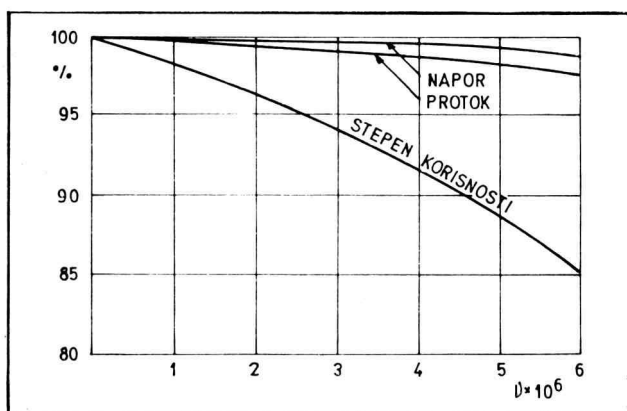
Dijagram 3. Specifična toplota rastvora etilen-glikola i vode



Dijagram 4. Koeficijent provođenja toplote rastvora etilen-glikola i vode



Dijagram 5.



Dijagram 6. Kvalitativna zavisnost napora, protoka i stepena korisnosti u zavisnosti od viskoznosti prema [3]

zanemaruje promena temperature gasa u ekspanzionom sudu, izračunava se pritisak punjenja iz jednačine:

$$P_{1s} \cdot V = P_{1mon} \cdot (V - \Delta V_{1mon})$$

odnosno posle zamenjivanja izraza za brzinu rastvora iz jednačine (8),

$$P_{mon} = P_{st} \cdot \frac{V}{V - \Delta V_{mon}} \quad (7)$$

gde je:

P_{mon} — pritisak u sudu pri montaži (bar), ΔV_{mon} — zapremina sirenja od minimalne temperature do temperature montaže (m^3).

Primer. U sistemu za predgrevanje vazduha nalazi se rastvor sa 40% glikola. Zapremina sistema je 500 (l), a radna temperatura 90/70 °C. $\Delta V = ?$, $t_{sr} = 80^\circ C$, $K = 0,05$, $\Delta V = 5000,05 = 25$ (l).

Proračun pada pritiska

Da bi se za proračun jediničnog pada pritiska pri strujanju rastvora etilen-glikola i vode mogle koristiti tabele za toplu vodu, potrebno je vrednosti jediničnog pada pritiska za vodu korigovati odgovarajućim faktorom. Ako posmatramo iste masene protoke rastvora i ciste vode kroz cev istog prečnika, odnosi brzina rastvora i vode biće:

gde je:

$$w_s/w_v = \rho_v/\rho_s \quad (8)$$

Pri tome ce jedinicni padovi pritiska

$$R_s = \lambda_s \cdot w_s^2 \cdot \rho_s / D \cdot 2 \quad (Pa/m) \quad (9)$$

$$R_v = \lambda_v \cdot w_v^2 \cdot \rho_v / D \cdot 2 \quad (Pa/m) \quad (10)$$

$X_{s,}$ — koeficijent trenja rastvora, X_v — koeficijent trenja ciste vode, w_s — brzina strujanja glikola (m/s), w_v — brzina strujanja ciste vode (m/s), ρ_s — gustina rastvora (kg/m^3), ρ_v — gustina ciste vode (kg/m^3).

Koeficijenti trenja λ_s i X_v biće određeni jednačinom:

$$\lambda = 0,11 (\epsilon/D + 68/R_e)^{0,25} \quad (11)$$

gde je ϵ — apsolutna hrapavost cevi, a R_e — Rejnoldsov broj.

Posle unošenja izraza za koeficijent trenja (11), u jednačine (9) i (10) i deljenja jednačine (9) jednačinom (10), posle skraćivanja se dobija odnos jediničnih padova pritiska:

$$R_s/R_v = \left(\frac{\epsilon + 68 \cdot v_s/w_s}{\epsilon + 68 \cdot v_v/w_v} \right)^{0,25} \cdot (w_s/w_v)^2 \cdot (\rho_s/\rho_v) \quad (12)$$

Tabela 1. Korekcionni faktori za proračun pada pritiska

Korekcionni faktori →		R _s /R _v												ρ _v /ρ _s
Brzina vode → % glikol.	t°C	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	
30	0	1,6	1,55	1,51	1,47	1,44	1,41	1,4	1,37	1,35	1,33	1,32	1,3	0,932
	80	1,1	1,09	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	0,986
40	0	1,7	1,64	1,6	1,55	1,52	1,49	1,46	1,44	1,42	1,4	1,38	1,37	0,918
	80	1,13	1,11	1,1	1,08	1,07	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	0,957
50	0	1,8	1,76	1,71	1,67	1,63	1,6	1,57	1,54	1,52	1,5	1,48	1,46	0,905
	80	1,17	1,14	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04	0,946
60	0	1,98	1,91	1,86	1,81	1,77	1,73	1,7	1,67	1,64	1,62	1,59	1,57	0,895
	80	1,25	1,22	1,19	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,1	1,09	1,08	0,937

$$R_s/R_v = \left(\frac{\varepsilon + 68 \cdot v_s \cdot \rho_s / (\rho_v \cdot w_v)}{\varepsilon + 68 \cdot v_v / w_v} \right)^{0,25} \cdot (\rho_v / \rho_s) \quad (13)$$

Standardne tabele za toplu vodu sračunate su za vodu temperature 80°C i cevi apsolutne hrapavosti 0,045 (mm). Kada se u jednačinu (13) unesu fizičke karakteristike za toplu vodu i za rastvor etilen-glikola i vode, može se izračunati korekcionni faktor R_s/R_v kojim treba množiti jedinični pad pritiska za vodu, da bi se dobio jedinični pad pritiska za rastvor etilen-glikola i vode. Izračunati korekcionni faktori za različite koncentracije i temperature rastvora dati su u tabeli broj 1.

Lokalni otpori pri strujanju rastvora su:

$$Z_s = \xi \cdot \rho_s \cdot w_s^2 / 2 \quad (14)$$

Kada se u jednačinu (14) unese izraz za brzinu rastvora iz jednačine (8), dobija se da je:

$$Z_s = \Delta p_s - (p_v / p_s)^2 - w_v V^2$$

I unošenjem izraza za lokalne otpore pri strujanju vode dobija se:

$$Z_s = Z_v \cdot \rho_v / \rho_s \quad (15)$$

gde je:

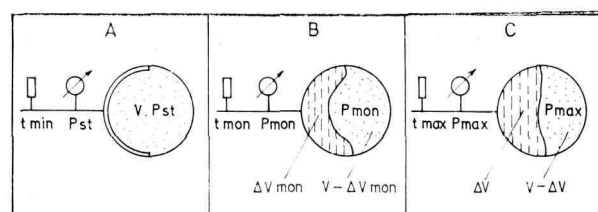
J_j — koeficijent lokalnog otpora,

Z_s — lokalni pad pritiska pri strujanju rastvora

(Pa), Z_v — lokalni pad pritiska pri strujanju vode (Pa).

Korekcionni faktor p_v/p_s za različite temperature i koncentracije rastvora dat je u tabeli 1.

Proračun pada pritiska se sada može izvršiti na sledeći način. Za maseni protok rastvora odrede se jedinični pad pritiska i lokalni pad pritiska za vodu. Zatim se jedinični pad pritiska za vodu množi faktorom R_s/R_v, a lokalni pad pritiska faktorom p_v/p_s.



Sl. 1. A — minimalna temperatura; B — temperatura pri montaži; C — maksimalna temperatura

PRIMER

Kroz cev DN 32 protiče 1 100 kg/h 40%-nog rastvora etilen-glikola i vode srednje temperature 0°C. Koeficijent lokalnog otpora je 10. Odredi-ti padove pritisaka.

Za protok od 1 100 kg/h iz tabela .za toplu vodu očitavamo:

$$R_v = 36 \text{ Pa/m},$$

$$w_v = 0,32 \text{ m/s},$$

$$Z_v = 498 \text{ Pa}$$

U tabeli 1. određujemo korekzione faktore R_s/R_v = 1,6 i p_v/p_s = 0,92

$$R_s = 36 \cdot 1,6 = 57,6 \text{ Pa/m}$$

$$Z_s = 498 \cdot 0,92 = 458,2 \text{ Pa}$$

Izbor cirkulacione pumpe

Prilikom izbora pumpe treba posebnu pažnju posvetiti znatno povećanoj viskoznosti rastvora etilen-glikola u odnosu na cistu vodu, jer se karakteristike pumpe u katalogima daju za cistu vodu.

Dijagram 6. daje kvalitativnu zavisnost protoka, napora i stepena korisnosti pumpe od vis-

(Kraj na 83. str.)

Tabela 2. Snaga nekoliko tipova rashladnih uređaja

	Temperatura [°C]		Snaga otapanja [W]	Ras. snaga	
	upotrebe	isparavanja		[W/m ²]	[W/m ³]
Horizontalne gondole	−23 ÷ −25	−35	2000	600	1 500
	−18 ÷ −25	−30	1800	530	1 350
	0 ÷ +2	−7	700	450	1 300
	+3 ÷ +5	−5	600	400	1 200
Poluotvoreni uređaj	0 ÷ +2	−10	650	350	2 300
	+3 ÷ +5	−7	650	300	2 000
Vertikalni otvoreni uređaj	0 ÷ +2	−10	160	500	670
	+3 ÷ +5	−7	160	300	400
	+6 ÷ +8	−5	—	300	400
Uređaj za mlečne proizvode	+6 ÷ +8	−7	—	800	1 270
	+3 ÷ +5	−10	—	930	1 480
Vertikalni zatvoreni ormani	−20 ÷ −22	−35	850	300	1 000
	−18 ÷ −20	−30	780	250	850
Ras. tezge	0 ÷ +1	−10	—	220	—

Tabela 3. Srednje vrednosti mehaničkog stepena iskorišćenja elektromotora

Snaga [kW]	Običan	Prosečan	Dobar
1	0,50	0,75	0,78
3	0,60	0,78	0,80
10	—	0,80	0,83
30	—	0,84	0,86
100	—	0,86	0,89
300	—	0,88	0,91
1 000	—	0,90	0,93

Tabela 4. Srednje vrednosti stepena iskorišćenja rashladnog ciklusa

Primarna snaga [kW]	Srednje vrednosti	Više vrednosti
1	0,57	0,62
3	0,59	0,64
10	0,61	0,66
30	0,63	0,68
100	0,65	0,70
300	0,67	0,72
1 000	0,69	0,74

Tabela 5. Koeficijent smanjenja učinka uređaja u funkciji temperature okoline i relativne vlažnosti

Temperat. uređaja [°C]	t _p = 16°C φ = 60%	t _p = 20°C φ = 60%	t _p = 25°C φ = 60%	t _p = 30°C φ = 60%
−18	0,76	0,88	1,00	1,12
−22	0,78	0,80		1,15
+0/2	0,65	0,80	1,00	1,25
+2/4	0,58	0,78		1,20
+2/4	0,60	0,78		1,33
+4/6	0,52	0,70	1,00	1,25
+6/8	0,45	0,62		1,20
+4/6	0,50	0,72		1,25
+6/8	0,40	0,67	1,00	1,20
+10	0,30	0,60		1,17

Što se tiče vazdušnog kondenzatora, treba osigurati dobru cirkulaciju vazduha: čistiti ga, da bi se odstranila prašina, krupnije čestice, suvo lisce koje može da zapuši rešetke baterija, zatim paziti da se u blizini ne instalira element koji teži da poveća cirkulaciju rashladnog vazduha itd.

(Kraj u idućem broju)

(Nastavak sa 56. str.)

koznosti tečnosti. Iz dijagrama se vidi da se naj-vise menja stepen korisnosti pumpe zbog povećanih gubitaka energije u samoj pumpi. To za posledicu ima potrebnu veću snagu motora pumpe. Posto se projektant ne bavi konstruisanjem pumpi, već njenim izborom, potrebno je konsultovati proizvođača pumpi za potrebne korekcije snage motora pumpe.

Zaključak

Na osnovu prethodne analize, vidi se da se do-davanjem etilen-glikola vodi ne snižava samo temperatura smrzavanja vode, već se i sve ostale fizičke karakteristike vode bitno menjaju. To ima za posledicu da proračuni radeni sa fizičkim karakteristikama vode ne daju realne rezultate. Zbog toga se pri proračunu sistema sa vodenim rastvorom etilen-glikola nastali rastvor mora tretirati kao potpuno novi fluid.

LITERATURA

- [1] REKNAGEL/SPRENGER: Grejanje i klimatizacija, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.
- [2] *** ASHRAE Handbook of Fundamentals Product Directory, ASHRAE New York, 1972.
- [3] ASHRAE Handbook Product Directory, Systems, ASHRAE, New York, 1976.
- [4] *** Carrier, Handbook of Air Conditioning Design, 1987.