

# O utjecaju ulja na prelaz topline pri isparivanju rashladnih medija na preplavljenim isparivačima

Dr Boris Slipčević, dipl. inž.,  
»Sulzer-Escher Wyss«;  
Lindau, BRD

U članku su prikazani najvažniji eksperimentalni i teoretski radovi o uticaju ulja na prelaz toplote pri isparivanju smesa iz halogenih rashladnih medijuma (frigena) i ulja na preplavljenim isparivačima od glatkih i rebrastih cevi.

## Uvod

Pregled eksperimentalnih i teoretskih radova sa područja isparivanja smjese rashladnih medija i ulja na preplavljenim pojedinačnim glatkim i rebrastim cijevima je prikazan u radu autora [1]. U ovom članku će se prikazati utjecaj ulja na prelaz topline pri isparivanju rashladnih medija na preplavljenim isparivačima iz glatkih i rebrastih medija na preplavljenim isparivačima iz glatkih i rebrastih cijevi.

U tablici 1. je prikazan pregled najvažnijih eksperimentalnih radova sa tog područja. U tablici su opisani eksperimentalni objekti, primjenjeni rashladni mediji, kao i istraživano područje temperatura isparivanja, gustoća toplinskog toka i koncentracije ulja.

## Rezultati eksperimenata

Heimbach [2] je istraživao prelaz topline pri isparivanju smjesa rashladnih medija R12 i R22 sa mineralnim uljem, koje se u tehnici hlađenja koristi za podmazivanje stapnih kompresora. Nakon 40-satnog pogona sa čistim rashladnim medijem su vršena mjerenja sa smjesom rashladnog medija i ulja, pri čemu se koncentracija ulja postepeno povećava od  $\xi = 0$ , preko  $\xi = 1\%$ ,  $\xi = 30\%$ , do konačne vrijednosti od  $\xi = 6\%$ . U cijelom području temperatura isparivanja su rashladni medij i ulje bili međusobno potpuno topivi. Mjerenja su vršena na isparivaču iz glatkih cijevi.

Utjecaj ulja na prelaz topline pri isparivanju smjesa rashladnih medija sa uljem se najčešće prikazuje u obliku omjera  $(\alpha_{SG})_{\xi} / \alpha_{SG}$ , pri čemu se koeficijenti prelaza topline  $(\alpha_{SG})_{\xi}$  od-

nose na smjesu rashladnog medija i ulja, a  $\alpha_{SG}$  na one za čisti rashladni medij. Indeks SG ukazuje na to, da su mjerenja vršena sa snopom glatkih cijevi.

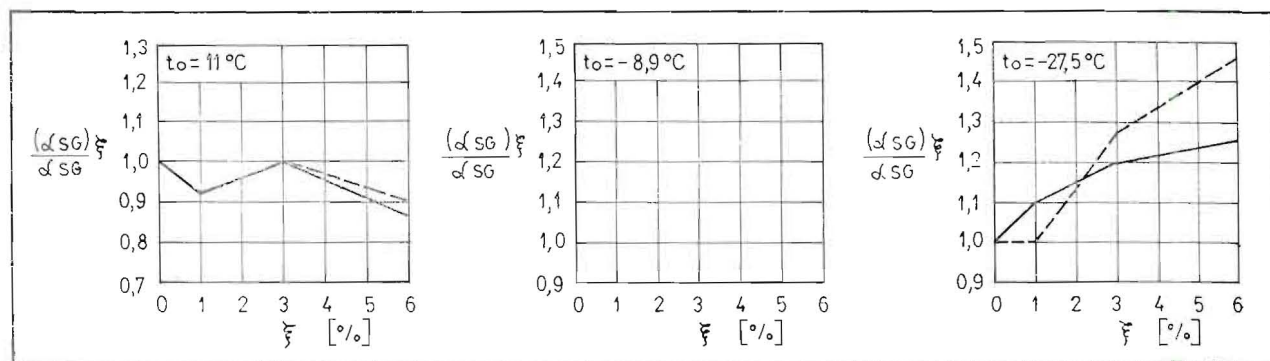
Na sl. 1. je prikazan utjecaj temperature isparivanja i koncentracije ulja na prelaz topline pri isparivanju smjese R12 i ulja. Za temperaturu isparivanja od  $t_0 = +11^{\circ}\text{C}$  su za  $\xi = 0$  i  $\xi = 3\%$  koeficijenti prelaza topline smjese jednaki onima za čisti rashladni medij  $[(\alpha_{SG})_{\xi} = \alpha_{SG}]$ . Za temperaturu isparivanja od  $t_0 = -8,9^{\circ}\text{C}$  su koeficijenti prelaza topline smjese za  $\xi \leq 1\%$  jednaki onima za čisti rashladni medij, dok je za  $\xi \geq 1\%$  uvijek  $(\alpha_{SG})_{\xi} = \alpha_{SG}$ . Za temperaturu isparivanja od  $t_0 = 27,5^{\circ}\text{C}$  su skoro uvijek koeficijenti prelaza topline smjese viši od onih za čisti rashladni medij. Pri temperaturama isparivanja nižih od  $0^{\circ}\text{C}$  ne utječe mali dodatak ulja ( $\xi < 1\%$ ) praktički uopće na prelaz topline, dok za  $\xi > 1\%$  dolazi do povećanja koeficijenta prelaza topline  $(\alpha_{SG})_{\xi}$  u usporedbi sa onim za čisti rashladni medij  $\alpha_{SG}$ , ali samo do oko  $\xi = 6\%$ , nakon čega se koeficijent prelaza topline smjese ponovo smanjuje. Spomenuti porast koeficijenta prelaza topline smjese je posljedica stvaranja pjene, koje je pri višim gustoćama toplinskog toka tako intenzivno, da se isparivačke cijevi više ne mogu ni vidjeti, jer su potpuno prekrivene pjenom.

Na sl. 2. je prikazan omjer  $(\alpha_{SG})_{\xi} / \alpha_{SG}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R22 i ulja na preplavljenom isparivaču iz glatkih cijevi, u ovisnosti od temperature isparivanja i koncentracije ulja prema mjerenjima Heimbacha [2]. Smjesa ulja od  $\xi > 1\%$ , pri nižim temperaturama isparivanja, odnosno  $\xi > 3\%$  pri  $t_0 = 0,3^{\circ}\text{C}$  dovodi do porasta koeficijenta prelaza topline smjese  $(\alpha_{SG})_{\xi}$  u usporedbi sa onim za čisti rashladni medij  $\alpha_{SG}$ . Već prema koncentraciji ulja može taj porast iznositi do 50% u usporedbi sa vrijednostima za čisti rashladni medij. Kod ulja, koja se ne miješaju sa rashladnim medijem, se međutim ne opaža poboljšanje prelaza topline pri isparivanju smjese rashladnog medija i ulja.

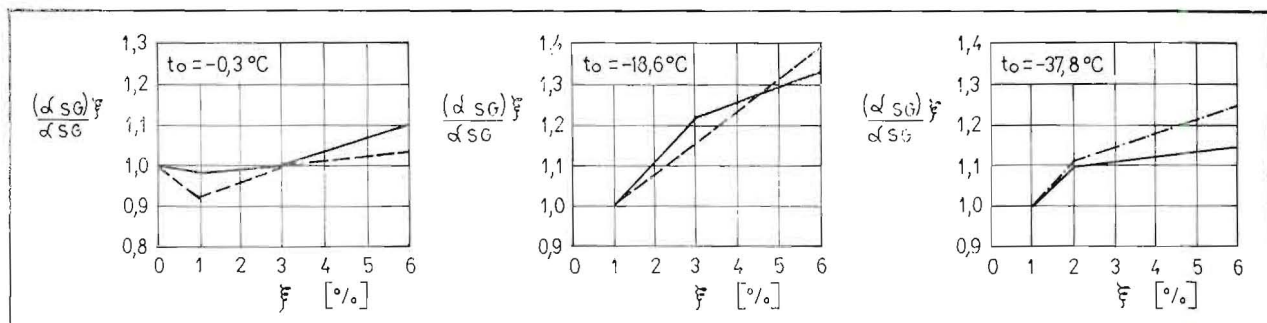
Heimbach [5] je također istraživao prelaz topline pri isparivanju smjesa iz rashladnih medija R12 i R22 sa uljem na preplavljenim isparivačima iz rebrastih cijevi, pri čemu je koncentracija ulja postepeno povećavana od  $\xi = 0$ , preko  $\xi = 1\%$ ,  $\xi = 3\%$ ,  $\xi = 6\%$ , do konačne vrijednosti od  $\xi = 10\%$ , odnosno  $\xi = 15\%$ . U tim eksperimentima je korišteno ne samo isto ulje, kao i u ranije spomenutima sa glatkocijevnim isparivačem, nego i jedno ulje vrlo velikog viskoziteta, koje se koristi za podmazivanje centrifugalnih

Tablica 1. Pregled najvažnijih eksperimentalnih radova sa područja isparivanja smjese rashladnih medija i ulja na snopovima iz glatkih i rebrastih cijevi

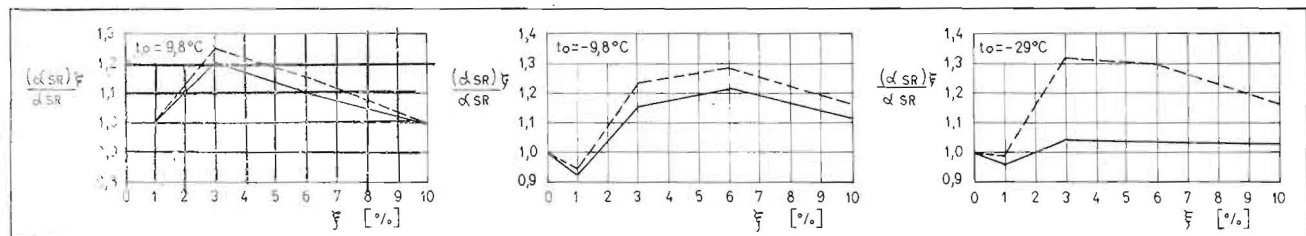
Literatura	Autor	Opitni objekt	Rashladni medija	Istraživano područje		
				temp. isparivanja $t_o$ , °C	koncentracija ulja $\xi$ , %	gustoća toplinskog toka $q$ , W/m <sup>2</sup>
[2]	Heimbach	snop glatkih cijevi	R12 R22	$-35^\circ \leq t_o \leq +11^\circ$ $-45^\circ \leq t_o \leq 0^\circ$	0 do 6%	$12\ 000 \leq q \leq 34\ 000$
[3]	Danilova Dundin	snop rebrastih cijevi	R12	$-20^\circ \leq t_o \leq +10^\circ$	8%	$400 \leq q \leq 9\ 000$
[4]	Wallner Dick	snop glatkih cijevi	R11	$p_o = 1\ \text{bar}$ $t_o \approx 23,7^\circ\text{C}$	0 do 5%	$2\ 400 \leq q \leq 16\ 000$
[5]	Heimbach	snop rebrastih cijevi	R12 R22	$-30^\circ \leq t_o \leq +10^\circ$ $-37^\circ \leq t_o \leq 0^\circ$	0 do 15%	$4\ 000 \leq q \leq 10\ 000$



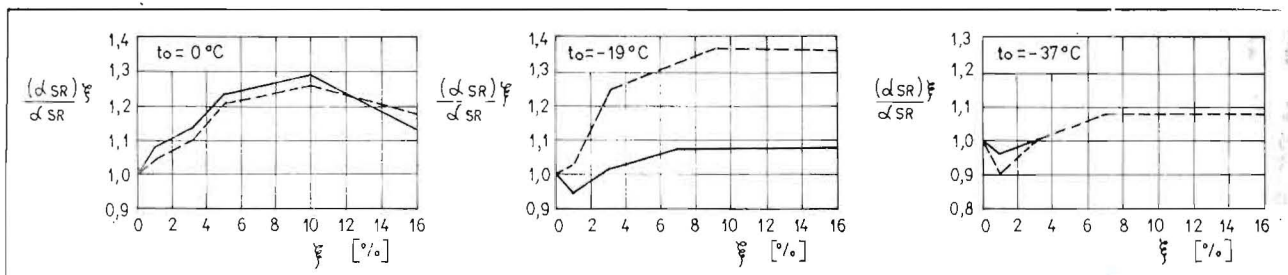
Sl. 1. Omjer  $(\alpha_{sg})\xi / \alpha_{sg}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R12 i ulja na preplavljenom isparivaču iz glatkih cijevi prema Heimbachu [2]. Puno izvučene linije se odnose na  $q = 15\ 000\ \text{W/m}^2$ , a crtkane linije na  $q = 30\ 000\ \text{W/m}^2$



Sl. 2. Omjer  $(\alpha_{sg})\xi / \alpha_{sg}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R22 i ulja na preplavljenom isparivaču iz glatkih cijevi prema Heimbachu [2]. Puno izvučene linije se odnose na  $q = 15\ 000\ \text{W/m}^2$ , crta-točka linija na  $q = 25\ 000\ \text{W/m}^2$ , a crtkane linije na  $q = 30\ 000\ \text{W/m}^2$



Sl. 3. Omjer  $(\alpha_{sr})\xi / \alpha_{sr}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R12 i ulja na preplavljenom isparivaču iz rebrastih cijevi prema Heimbachu [5]. Puno izvučene linije se odnose na  $q = 5\ 000\ \text{W/m}^2$ , a crtkane linije na  $q = 11\ 000\ \text{W/m}^2$



Sl. 4. Omjer  $(\alpha_{SR})_{\xi} / \alpha_{SR}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R12 i ulja na preplavljenom isparivaču iz rebrastih cijevi prema Heimbachu [5]. Puno izvučene linije se odnose na  $q = 4000 \text{ W/m}^2$ , a crtkane linije na  $q = 10000 \text{ W/m}^2$

kompresora. I u ovim pokusima su opažani slični fenomeni, koji su već ranije opisani.

Rezultati tih eksperimenata su i ovdje prikazani u obliku omjera  $(\alpha_{SR})_{\xi} / \alpha_{SR}$  kao funkcija temperature isparivanja i koncentracije ulja, za razne gustoće toplinskog toka kao parametar. Indeks SR ukazuje na to, da su eksperimenti vršeni na preplavljenim isparivačima iz rebrastih cijevi.

Na tim je slikama vidljivo, da su u području  $0\% \leq \xi \leq 1\%$  koeficijenti prelaza topline smjese  $(\alpha_{RS})_{\xi}$  jednaki onima za čisti rashladni medij  $\alpha_{SR}$  (uz iznimku rashladnog medija R22 pri  $t_o = 0^{\circ}\text{C}$ ). Za koncentracije ulja između 3% i 6% dolazi najčešće do povećanja koeficijenta prelaza topline smjese  $(\alpha_{SR})_{\xi}$  u usporedbi sa onim za čisti rashladni medij  $\alpha_{SR}$ . Za  $\xi > 6\%$  dolazi u većini slučajeva do ponovnog smanjenja koeficijenta prelaza topline smjese. Maksimalno poboljšanje koeficijenta prelaza topline pri isparivanju smjese rashladnog medija i ulja u usporedbi sa onim za čisti rashladni medij iznosi oko 30%.

Danilova [3] je istraživala prelaz topline pri isparivanju smjese rashladnog medija R12 i ulja HF-12 na preplavljenim isparivačima iz rebrastih cijevi, pri čemu je koncentracija ulja iznosila  $\xi = 8\% = \text{konst.}$  Ona je ustanovila, da je pri isparivanju smjese rashladnog medija i ulja utjecaj pritiska isparivanja u istraživanom području  $-20^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq +10^{\circ}\text{C}$  manji nego pri isparivanju čistog rashladnog medija. Za spomenutu koncentraciju ulja je uvijek  $(\alpha_{SR})_{\xi} < \alpha_{SR}$ , tako da je u svim slučajevima omjer  $(\alpha_{SR})_{\xi} / \alpha_{SR}$  manji od jedinice, kako je to na sl. 5 vidljivo. Sa porastom temperature isparivanja se spomenuti omjer koeficijenta prelaza topline smanjuje.

Vizuelna opažanja su pokazala, da je intenzitet procesa isparivanja smjese rashladnog medija R12 i ulja manji nego kod čistog rashladnog medija. Pri velikim gustoćama toplinskog toka i niskim temperaturama isparivanja se opaža stvaranje pjene. Pri malim gustoćama toplinskog toka ne dolazi na donjim cijevima isparivača do stvaranja parnih mjehurića.

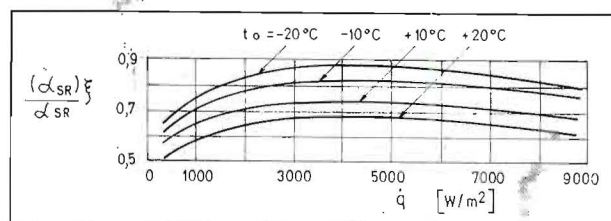
Da bi se ispitao utjecaj raznih parametara na stvaranje pjene pri isparivanju smjese rashladnog medija R11 i ulja su u laboratoriju firme »Sulzer AG«, u Winterthuru, u Švicarskoj, vršena sistematska mjerenja na jednom preplavljenom isparivaču, koji se sastojao iz 112 uobičajenih ba-

krenih rebrastih cijevi sa šahovskim smještajem. Na čeonj strani isparivača se nalazila jedna staklena ploča, koja je omogućavala vizuelna promatranja i snimanje procesa stvaranja pjene. Smjesa rashladnog medija R11 i ulja »Suniso 6« (firme »Sun Oil«, SAD) je isparivala pri normalnom pritisku ( $p_o \approx 1 \text{ bar}$ ,  $t_o \approx +23^{\circ}\text{C}$ ). Eksperimenti su vršeni pri raznim koncentracijama ulja i raznim srednjim logaritamskim temperaturnim razlikama (= raznih gustoća toplinskog toka).

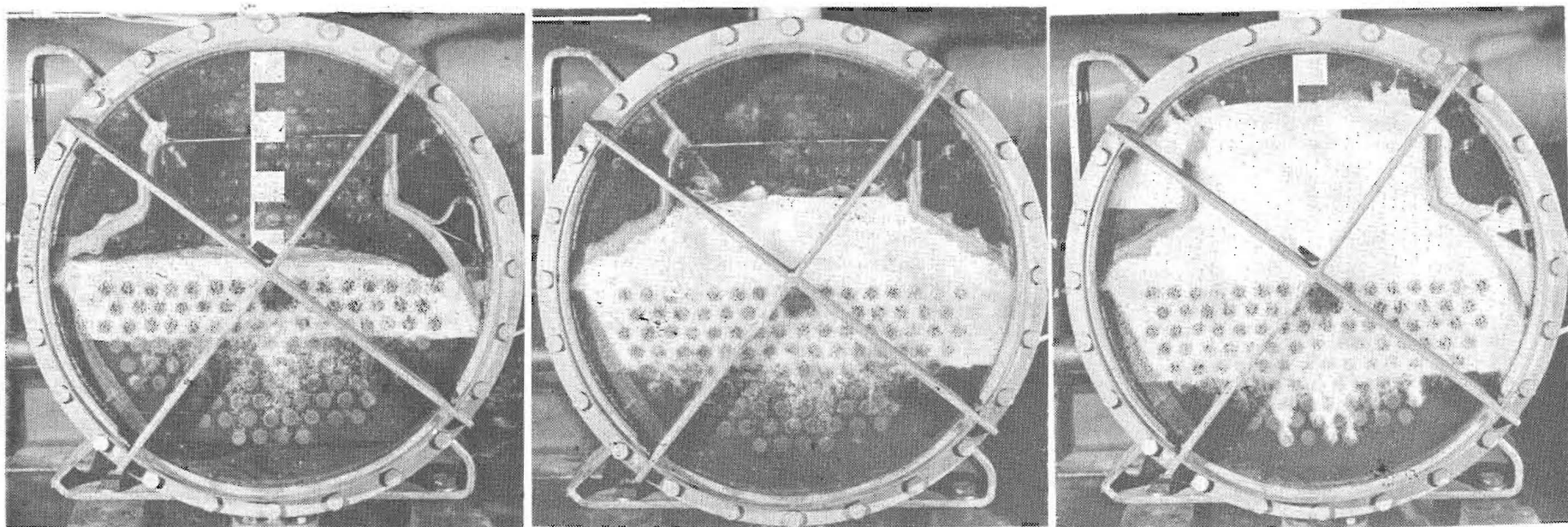
Na sl. 6A su prikazani rezultati eksperimenata za  $\Delta t_m = 10 \text{ K} = \text{konst.}$  i za razne koncentracije ulja od  $\xi = 0,5\%$ ;  $\xi = 1\%$  i  $\xi = 5\%$ . Sa te serije slika je vidljiv utjecaj ulja na stvaranje pjene: čim je veća koncentracija ulja, tim je intenzivnije stvaranje pjene.

Sl. 6B prikazuje rezultate eksperimenata za koncentraciju ulja od  $\xi = 5\% = \text{konst.}$  i razne srednje logaritamske temperaturne razlike od  $\Delta t_m = 2,5 \text{ K}$ ;  $5 \text{ K}$  i  $10 \text{ K}$ . Očito je da povećanje srednje logaritamske temperaturne razlike (a to odgovara povećanju gustoće toplinskog toka) pogoduje stvaranju pjene. Na taj način se rezultati tih eksperimenata poklapaju sa rezultatima ostalih autora.

Pregled ostalih radova na području prelaza topline pri isparivanju smjese rashladnih medija i ulja je dao Burkhardt [6], koji je na osnovu vlastitih eksperimenata predložio jedan novi postupak za proračun prelaza topline. Osim jednog jedinog izuzetka, na osnovu tih pokusa koeficijenti prelaza topline smjese rashladnog medija R11 i ulja su uvijek niži od onih za čisti rashladni medij R11. Kao razlog za to smanjenje prelaza topline pretpostavlja Burkhardt stvaranje sloja ulja na faznoj granici parnog mjehura, koji povećava otpor prelazu topline. Povećanjem koncentracije ulja se smanjuje i broj aktivnih kljališta, tako da i zbog toga dolazi do smanjenja koeficijenta prelaza topline.



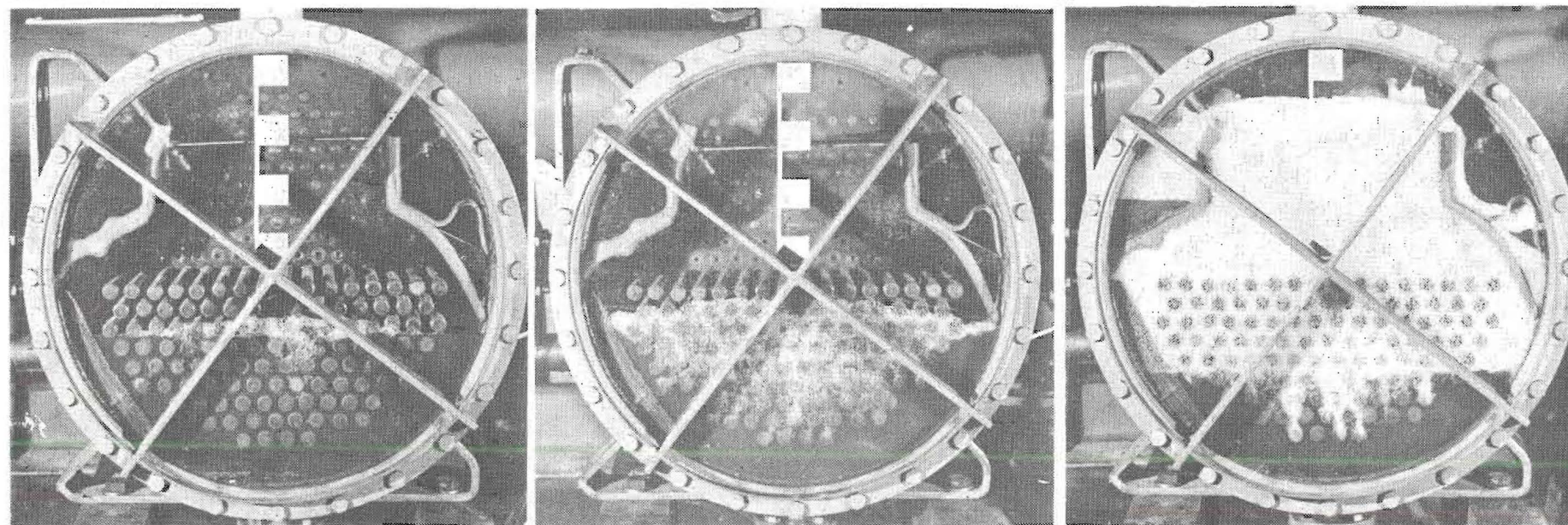
Sl. 5. Omjer  $(\alpha_{SR})_{\xi} / \alpha_{SR}$  pri isparivanju smjese rashladnog medija R12 i ulja HF-12 na preplavljenom isparivaču iz rebrastih cijevi prema Danilovoj [3]



A — a

A — b

A — c



B — a

B — b

B — c

Sl. 6. Iparivanje smjese rashladnog medija R11 i ulja na osnovu istraživanja firme »Sulzer AC«. A)  $\Delta t_m = 10 \text{ K} = \text{konst.}$ ; a)  $\xi = 0,5\%$ ; b)  $\xi = 1\%$ ; c)  $\xi = 5\%$ ; B)  $\xi = 5\% = \text{konst.}$ ; a)  $\Delta t_m = 2,5 \text{ K}$ ; b)  $\Delta t_m = 5 \text{ K}$ ; c)  $\Delta t_m = 10 \text{ K}$

Zbog proturiječnih eksperimentalnih podataka raznih autora se ne može pouzdano utvrditi utjecaj ulja na prelaz topline pri isparivanju smjesa rashladnih medija i ulja. Spomenimo kao dodatnu otežavajuću okolnost, da točna koncentracija ulja za vrijeme praktičnog pogona nije uopće poznata, jer ona ovisi ne samo o vrsti primjenjenih kompresora (sapni, vijčani ili turbo-kompresori), nego i o načinu pogona. Čak je i za istu vrstu kompresora nemoguće točno definirati koncentraciju ulja, jer ona ovisi o konstrukciji kompresora i primjenjenom odjeljivaču ulja. Na žalost, koncentracija ulja u kružnom toku rashladnog medija se ne može odrediti ni na osnovu podataka u stručnoj literaturi, ni na osnovu vrlo oskudnih podataka proizvođača kompresora. Osim što ulje utječe na prelaz topline pri isparivanju, ono zahtijeva u pogonu i niz dodatnih uređaja, kao npr. odjeljivače ulja, povratne uljovode, izmjenjivače topline za odvajanje rashladnog medija i ulja itd., bez kojih se ne može osigurati pouzdani pogon rashladnog uređaja.

Pri termodinamičkom proračunu preplavljenih isparivača iz glatkih ili rebrastih cijevi se zbog sigurnosti proračuna preporučuje — neovisno od ovdje spomenutih rezultata — računati sa koeficijentom prelaza topline koji je ili jednak, ili niži od onog za čisti rashladni medij. To znači da se ne preporučuje uzeti u obzir povećanje koeficijenta prelaza topline uslijed primjese ulja, kako je to eksperimentalno utvrđeno za određene koncentracije ulja.

## Literatura

- [1] SLIPČEVIC, B.: *Utjecaj ulja na prelaz topline pri isparivanju rashladnih medija*, KGH, 1/1988.
- [2] HEIMBACH, P.: *Wärmeübergangskoeffizienten für die Verdampfung von Kältemittel-Öl-Gemischen an einem überfluteten Glattrohr-Bründel*, Kältetechnik-Klimatisierung 24 (1972), s. 287—295.
- [3] DANILOVA, G. N.; DJUNDIN, V. A.: *Teploobmen pri kipeanii freonov - 12 i 22 na pučkah orebrenih trub*. Holodilnaja tehnika 48 (1971) 7. s. 40—43.
- [4] WALLNER, R.; DICK, H. G.: *Heat transfer to boiling refrigerant-oil-mixtures*, XIV kongres Internacionalnog instituta za tehniku hlađenja (IIF), Moskva 2 (1975), s. 351—359.
- [5] HEIMBACH, P.: *Boiling coefficients of refrigerant-oil-mixtures outside a finned tube bundle*, Kongres Internacionalnog Instituta za tehniku hlađenja (IIF). Comm. B1, B2, Freudenstadt, 1972.
- [6] BURKHARDT, J.: *Einfluß der Oberflächenspannung auf den Wärmeübergang beim Blasensieden von Kältemittel R11-Öl-Gemischen*, Forschungsbericht, DKV, Nr. 4, Stuttgart, 1981.

 **oriolik**

Radna organizacija za proizvodnju i promet  
namještaja i poliuretanskih masa

