

ODREĐIVANJE I KORELISANJE DEVIJACIJA KINEMATSKE VIZKOZNOSTI BINARNIH I TROKOMPONENTNIH TEČNIH SMEŠA

M. N. Sovilj[♦], B. G. Nikolovski
Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Srbija,

ISSN 2232-755X

UDC 543.428.3/.4:546.790

DOI: 10.7251/GHTE1207011S

Naučni rad

U ovom radu su prikazani rezultati određivanja i korelisanja devijacija kinematske viskoznosti binarnih i trokomponentnih tečnih smeša na temperaturama 20, 25, 30 i 35°C i atmosferskom pritisku. Od binarnih smeša ispitivane su sledeće smeše: hloroform+2-propanol, 2-propanol+2-butanol, hloroform+2-butanol, 2-propanol+etanol i 2-butanol+etanol. Trokomponentne smeše su nastale od korespondentnih binarnih smeša, a činile su ih sledeće smeše: hloroform+2-propanol+2-butanol i 2-propanol+2-butanol+etanol. Brojčane vrednosti za devijaciju kinematske viskoznosti binarnih i trokomponentnih tečnih smeša dobijene su primenom poznatih jednačina, koje daju odstupanje izmerene vrednosti kinematske viskoznosti tečne smeše i sumarnog doprinosa kinematske viskoznosti čistih komponenata smeše. Vrednosti devijacije kinematske viskoznosti binarnih tečnih smeša korelisane su jednačinom koju su predložili Redlich i Kister. Vrednosti devijacija trokomponentnih tečnih smeša korelisane su pomoću modela koji je dao Cibulka, a koji u sebi uključuje doprinose binarnih tečnih smeša, kao i vrednosti konstanti koje se računaju primenom neke od numeričkih procedura

Ključne reči: devijacija kinematske viskoznosti, binarne i tokomponentne tečne smeše.

UVOD

Poznavanje vrednosti kinematske viskoznosti tečnih smeša je neophodno pri rešavanju brojnih inženjerskih problema vezanih za prenos toplote, prenos mase, kao i transport tečnih fluida. Primera radi, pri proračunu koeficijenta prenosa mase, neophodnog pri projektovanju uređaja gas-tečnost, neophodni su podaci za gustinu, kinematsku (dinamičku) viskoznost i međufazni napon komponenata tečnih smeša. Za dobijanje eksperimentalnih podataka za kinematsku viskoznost trokomponentnih tečnih smeša potrebno je često mnogo vremena. To je jedan od glavnih razloga što se ovi podaci mogu retko naći u literaturi. Do njih se radije dolazi korelisanjem eksperimentalnih podataka za binarne tečne smeše, koje su konstituenti trokomponentnih tečnih smeša. U tu svrhu koriste se teorijske, poluempirijske i empirijske relacije koje se mogu naći u dostupnoj literaturi. Veći broj radova publikovan je u literaturi koji se bave korelisanjem kinematske viskoznosti binarnih i višekomponentnih tečnih smeša na osnovu podataka za čiste komponente (1-4). Na bazi pristupa Ratcliffa i Khana (5) za model koji važi za apsolutnu viskoznost, Al-Besharah i sar. (6) su definisali relaciju za kinematsku viskoznost idealnih višekomponentnih smeša, a zatim je razvili za kinematsku viskoznost trokomponentnih realnih tečnih smeša. Jedna grupa autora doprinela je razvoju empirijskih i polu-teorijskih relacija koje povezuju kinematsku viskoznost i sastav tečnih smeša (7,8). U ovom radu izvršeno je poređenje najpoznatijih empirijskih relacija koje važe za binarne i trokomponentne tečne smeše, a koriste eksperimentalne podatke za kinematsku viskoznost čistih komponenata i binarnih smeša.

Kao merilo slaganja računskih i eksperimentalnih podataka korišćena je vrednost relativnog procentualnog odstupanja za devijaciju kinematske viskoznosti. Na bazi eksperimentalnih podataka objavljeno je nekoliko radova u kojima je analizirana zavisnost kinematske viskoznosti i molarne zapremine binarnih i trokomponentnih tečnih smeša od sastava na različitim temperaturama (8,9).

Kod većine višekomponentnih tečnih smeša ne postoji linearna zavisnost između kinematske viskoznosti i sastava smeše. U ovom radu će biti prikazani računski podaci za devijaciju kinematske viskoznosti, dobijeni na bazi eksperimentalnih podataka za kinematsku viskoznost binarnih i trokomponentnih tečnih smeša na temperaturama od 20, 25, 30 i 35°C i atmosferskom pritisku. Podaci su određivani za pet binarnih tečnih smeša: 2-propanol+2-butanol; 2-propanol+hloroform; hloroform+2-butanol; 2-butanol+etanol i hloroform+etanol, kao i za dve trokomponentne tečne smeše: hloroform+2-propanol+2-butanol i 2-propanol+2-butanol+etanol. S druge strane, uporediti će se podaci za devijaciju kinematske viskoznosti sa računskim podacima dobijenim korišćenjem odabranih empirijskih korelacija.

[♦] Korespondentni autor: Milan N. Sovilj, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Vojvode Putnika 1, 21000 Novi Sad, Srbija, e-mail: miso@uns.ac.rs

TEORIJSKI DEO

Devijacija kinematske viskoznosti binarnih tečnih smeša se računa iz opšte poznate relacije:

$$\Delta\eta_b = \eta_b - \sum_{i=1}^2 x_i \eta_i \quad (1)$$

gde su: η_b – kinematska viskoznost binarne smeše, cm^2/s ; $\Delta\eta_b$ – devijacija kinematske viskoznosti binarne tečne smeše, cm^2/s ; η_i – kinematska viskoznost čiste komponente u smeši, cm^2/s ; x_i – molski udeo komponente u binarnoj smeši, mol/mol. Na bazi eksperimentalno određenih vrednosti za kinematsku viskoznost binarnih tečnih smeša, prikazanih u prethodnim radovima (8,9), izračunati su podaci za devijaciju kinematske viskoznosti za svih 5 binarnih smeša i prikazani u tabeli 2. S druge strane, devijacija kinematske viskoznosti binarnih smeša može se korelisati relacijom koju su predložili Redlich i Kister (10), sledećeg oblika:

$$\Delta\eta = x_1 x_2 \sum_{k=0}^m A_k (x_1 - x_2)^k \quad (2)$$

gde su: m – stepen polinoma koji figuriše u relaciji; A_k – konstante. Konstante A_k se određuju primenom multiple regresione analize bazirane na metodi najmanjih kvadrata, x_1, x_2 – molski udeli komponentata 1 i 2 u binarnoj tečnoj smeši, mol/mol, respektivno.

Vrednosti devijacije za kinematsku viskoznost trokomponentnih smeša računaju se po relaciji sledećeg oblika:

$$\Delta\eta_t = \eta_t - \sum_{i=1}^3 x_i \eta_i \quad (3)$$

gde su: η_t – kinematska viskoznost ternerne smeše, cm^2/s ; $\Delta\eta_t$ – devijacija kinematske viskoznosti trokomponentne tečne smeše, cm^2/s ; η_i – kinematska viskoznost čiste komponente u smeši, cm^2/s ; x_i – molski udeo komponente u ternernoj smeši, mol/mol. Na bazi eksperimentalno određenih vrednosti za dinamičku viskoznost trokomponentnih tečnih smeša izračunati su podaci za devijaciju dinamičke viskoznosti za dve trokomponentne tečne smeše.

Devijacija kinematske viskoznosti trokomponentnih tečnih se može korelisati poznatom jednačinom koju je razvio Cibulka (11), a koja ima oblik:

$$\ln \eta_t = \Delta\eta_{12} + \Delta\eta_{23} + \Delta\eta_{13} + x_1 x_2 (1 - x_1 - x_2) (B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2) \quad (4)$$

gde su: η_t – kinematska viskoznost trokomponentne smeše, cm^2/s , $\Delta\eta_{12}$, $\Delta\eta_{23}$ i $\Delta\eta_{13}$ – binarni doprinosi za kinematsku viskoznost, računati po relaciji Redlich Kistera, jedn. (2), cm^2/s a B_0 , B_1 i B_2 – koeficijenti u jednačini Cibulke (11).

Poređenje slaganja eksperimentalnih i računskih podataka za devijaciju kinematske viskoznosti binarnih i trokomponentnih tečnih smeša vršeno je pomoću dva parametra, i to:

$$\delta = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|(Y_i^{exp.} - Y_i^{rac.})|}{Y_i^{exp.}} \quad (5)$$

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{exp.} - Y_i^{rac.})^2}{N - p} \right]^{1/2} \quad (6)$$

gde su: δ – relativno procentualno odstupanje eksperimentalnih i računskih podataka, %, σ – standardna devijacija, cm^2/s ; N – broj eksperimentalnih tačaka; p – broj parametara u odgovarajućoj jednačini; $Y_i^{exp.}$, $Y_i^{rac.}$ – eksperimentalne i računске vrednosti devijacije kinematske viskoznosti $\Delta\eta_b$ ili $\Delta\eta_t$ cm^2/s .

EKSPERIMENTALNI DEO

Materijali. Sve čiste tečnosti, korišćene u ovom radu, su nabavljene kao komercijalne susstance od firme Zorka, Šabac, Srbija. Tečnosti su korišćene bez dodatnog prečišćanja. Njihova čistoća je proveravana pomoću gasno-tečnog hromatografa i bila je veća od 99,4% za 2-propanol i 2-butanol, i veća od 99,0% za hloroform i etanol.

Ekperimentalne vrednosti za gustinu i kinematsku viskoznost za sve čiste komponente su upoređivane sa literaturnim vrednostima, tabela 1.

Tabela 1. Vrednosti gustine i kinematske viskoznosti za čiste komponente na različitim temperaturama: [Komponente: P (2-Propanol); B (2-Butanol); H (Hloroform); E (Etanol)].

Table 1. Values of density and kinematic viscosity for pure components at different temperatures: [Components: P (2-Propanol); B (2-Butanol); H (Chloroform); E (Ethanol)].

Komponenta (Component)	Temperatura (°C) Temperature (°C)	Gustina, ρ , g/cm ³ Density, ρ , g/cm ³		Kinematska viskoznost, $\nu \times 10^2$, cm ² /s Kinematic viscosity, $\nu \times 10^2$, cm ² /s	
		Ekspierimental Experimental	Literatura Literature	Ekspierimental Experimental	Literatura Literature
H	20	1,4772	1,4890 ^a	0,3899	0,3828 ^a
	25	1,4461	1,4727 ^b	0,3760	0,3637 ^b
	30	1,4513	1,4706 ^a	0,3679	0,3309 ^a
	35	1,4325	1,4611 ^a	0,3476	0,3514 ^a
P	20	0,7862	0,7864 ^c	3,0650	3,0646 ^a
	25	0,7817	0,7812 ^c	2,5700	2,5717 ^a
	30	0,7771	0,7769 ^a	2,3021	2,3027 ^a
	35	0,7731	-	1,9490	-
B	20	0,8046	0,8063 ^c	4,9304	4,9609 ^a
	25	0,7980	0,8025 ^d	4,3872	3,5560 ^a
	30	0,7935	0,7987 ^d	3,7278	-
	35	0,7898	0,7898 ^d	3,1337	-
E	20	0,8068	0,7893 ^e	2,2198	1,4873 ^e
	25	0,8019	0,7851 ^e	1,9853	1,3503 ^g
	30	0,7963	0,7807 ^f	1,8398	1,2331 ^g
	35	0,7923	-	1,6256	-

^aReferenca 12, ^bReferenca 13, ^cReferenca 14, ^dReference 15, ^eReference 16, ^fReference 17, ^gReference 18.

Merenja. Za eksperimentalno merenje kinematske viskoznosti čistih komponenata i tečnih smeša korišćen je standardni Ubbelohdeov viskozimetar. Aparatura je bila potopljena u termostatsko kupatilo na konstantnoj temperaturi sa greškom očitavanja temperature od $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Viskozimetar je kalibrisan sa bidestilovanom vodom i čistom komponentom na svakoj temperaturi. Oko 30 min je bilo potrebno za uravnotežavanje temperature pre nego što se pristupilo praktičnim merenjima. Vreme isticanja fluida je uvek bilo preko 180 s; tačnost merenja je bila 0,1 s, a kao rezultat ovih okolnosti greška merenja kinematske viskoznosti bila je $\pm 0,5\%$. Pošto se na osnovu brojčanih vrednosti kinematske vrednosti mogu izračunati i podaci za dinamičku viskozost, potrebno je znati još i gustinu, te se pristupilo merenju gustine na svim temperaturama za sve čiste komponente, korišćene u ovom radu. Gustine čistih komponenata i tečnih smeša su merene pomoću digitalnog gustinometra firme Anton Paar, Graz, Austrija, koji je obezbeđivao tačnost merenja gustine od 1×10^{-4} g/cm³. Svi eksperimenti su izvođeni s ponavljanjem od najmanje tri puta za isti sastav tečnosti, a za dalji rad su korišćeni srednji rezultati. Podaci o kinematskoj viskoznosti čistih komponenata, korišćenih u ovom radu, zajedno sa vrednostima gustina, prikazani su u tabeli 1. na odabranim temperaturama od 20, 25, 30 i 35°C i atmosferskom pritisku. Sva eksperimentalna merenja gustine i kinematske viskoznosti binarnih i trokomponentnih smeša su ranije izvršena i prikazana u radu Barjaktarović (19).

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1. dato je poređenje eksperimentalno određenih vrednosti kinematske viskoznosti za čiste komponente sa literaturnim podacima, uzetim iz različitih izvora. Brojčane vrednosti devijacija kinematske viskoznosti za sve binarne i trokomponentne tečne smeše određene su pomoću univerzalnih jednačina, datim izrazima (1) i (3) za ispitivane temperature od 20, 25, 30 i 35°C i atmosferski pritisak. Devijacije kinematske viskoznosti za binarne smeše: hloroform+2-propanol; 2-propanol+2-butanol, hloroform+2-butanol, 2-propanol+etanol i 2-butanol+etanol prikazane su u tabeli 2. S druge strane, devijacije kinematske viskoznosti za dve ispitivane trokomponentne smeše: hloroform+2-propanol+2-butanol i 2-propanol+2-butanol+etanol date su u tabeli 3. Iz tabele 2. može se uočiti da devijacije kinematske viskoznosti za svih pet ispitivanih binarnih smeša imaju i pozitivne i negativne vrednosti.

Tabela 2. Vrednosti devijacija kinematske viskoznosti za binarne tečne smeše na različitim temperaturama:
 [Smeše: I) P + B; II) H + P; III) H + B; IV) P + E i V) B + E].
 Table 2. Values of kinematic viscosity deviations for binary liquid mixtures at different temperatures:
 [Mixtures: I) P + B; II) H + P; III) H + B; IV) P + E and V) B + E].

Smeša Mixture	x_1 (mol/mol)	$\Delta v_b \times 10^7, \text{ cm}^2/\text{s}$			
		20°C	25°C	30°C	35°C
Binarna smeša I Binary mixture I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,1205	1,15	-0,31	0,78	0,83
	0,2357	1,50	-0,89	0,17	1,07
	0,3457	2,26	0,32	-0,05	0,79
	0,4513	0,43	-0,87	-0,09	0,79
	0,64920	0,49	-0,96	-0,36	0,82
	0,5523	-0,72	-2,19	-0,77	0,06
	0,74210	0,52	-0,87	-0,68	0,19
	0,8312	1,05	-0,29	-0,63	0,28
	0,9174	0,76	0,05	-0,21	0,57
	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Binarna smeša II Binary mixture II	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,0646	-4,09	-4,41	-3,35	-2,10
	0,1344	-9,62	-9,26	-7,10	-6,01
	0,2102	-12,98	-11,96	-9,63	-7,55
	0,2927	-15,36	-14,51	-11,35	-9,07
	0,3830	-15,56	-14,26	-11,35	-8,93
	0,4822	-16,11	-14,54	-11,85	-9,41
	0,5916	-14,11	-12,15	-9,99	-7,90
	0,7129	-10,53	-9,32	-7,72	-6,23
	0,8482	-5,75	-5,17	-4,32	3,42
	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Binarna smeša III Binary mixture III	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,0530	-5,25	-4,85	-4,89	-3,27
	0,1118	-9,75	-8,45	-7,91	-5,88
	0,1774	-11,86	-10,29	-9,18	-7,14
	0,2512	-12,15	-11,29	-9,71	-7,79
	0,3348	-12,65	-10,91	-9,78	-7,86
	0,4302	-11,70	-10,03	-9,09	-7,29
	0,5401	-9,82	-8,64	-7,71	-6,07
	0,6681	-7,27	-6,47	-5,66	-4,60
	0,8192	-3,90	-3,59	-3,21	-2,48
	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Smeša Mixture	x_1 (mol/mol)	$\Delta v_b \times 10^7, \text{ cm}^2/\text{s}$			
		20°C	25°C	30°C	35°C
Binarna smeša IV Binary mixture IV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,0785	-3,34	-3,07	-3,07	-2,21
	0,1609	-3,31	-2,69	-3,11	-2,10
	0,2474	-2,97	-2,79	-3,14	-2,28
	0,3384	-2,83	-3,33	-3,09	-2,29
	0,4341	-2,12	-2,43	-3,11	-1,70
	0,5350	-2,13	-0,01	-2,34	-1,52
	0,6416	-1,67	0,31	-2,59	-1,32
	0,7542	-0,80	1,19	-2,02	-1,14
	0,8735	-0,09	1,72	-1,80	-0,91
	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Binarna smeša V Binary mixture V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,0646	-1,98	-3,30	-3,28	-2,38
	0,1345	-2,70	-3,75	-3,91	-2,51
	0,2104	-3,87	-4,15	-3,98	-2,66
	0,2930	-4,38	-5,64	-4,78	-3,27
	0,3833	-6,40	-5,78	-4,83	-3,31
	0,4825	-5,92	-5,90	-4,23	-3,22
	0,5919	-5,52	-6,11	-4,64	-2,95
	0,7132	-4,90	-5,11	-3,49	-2,34

	0,8484	-2,82	-3,88	-2,04	-1,02
	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 3. Vrednosti devijacija kinematske viskoznosti za trokomponentne tečne smeše na različitim temperaturama:
[Smeše: VI) H + B + E i VII) P + B + E].

Table 3. Values of kinematic viscosity deviations for ternary liquid mixtures at different temperatures:
[Mixtures: VI) H + B + E and VII) P + B + E].

Smeša Mixture	x ₁	x ₂	$\Delta v_t \times 10^7, \text{ cm}^2/\text{s}$			
			20°C	25°C	30°C	35°C
Ternerna smeša VI Ternary mixture VI	0,00	0,3833	2,690	2,326	2,080	1,864
	0,0929	0,2973	2,832	2,441	2,182	1,950
	0,1826	0,2124	2,779	2,371	2,169	1,919
	0,2817	0,2208	2,885	2,439	2,276	2,005
	0,2954	0,3176	3,111	2,615	2,415	2,160
	0,3866	0,2302	2,924	2,446	2,298	2,035
	0,498	0,2417	2,948	2,451	2,273	2,032
	0,4746	0,1448	2,750	2,333	2,166	1,904
	0,5865	0,1551	2,802	2,388	2,158	1,914
0,6718	0,1573	2,873	2,461	2,174	1,934	
Ternarna smeša VII Ternary mixture VII	0,00	0,5523	3,843	3,312	2,891	2,476
	0,0575	0,5717	2,667	2,372	2,055	1,793
	0,1193	0,5925	1,927	1,744	1,493	1,341
	0,1901	0,5036	1,469	1,328	1,255	1,182
	0,1948	0,3870	1,464	1,318	1,189	1,098
	0,2704	0,4029	1,129	1,122	0,931	0,844
	0,3622	0,2878	0,863	0,857	0,737	0,685
	0,3526	0,4203	0,831	0,824	0,710	0,656
	0,4547	0,3012	0,685	0,653	0,597	0,564
0,5562	0,3158	0,564	0,523	0,511	0,472	

Devijacije kinematske viskoznosti binarnih tečnih smeša su korelisane dobro poznatom relacijom Redlich-Kistera (10), jedn. (2), pri čemu su koeficijenti u toj jednačini dobijeni korišćenjem metode najmanjih kvadrata i prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Vrednosti konstanti u jednačini Redlich-Kistera (10) za binarne tečne smeše na različitim temperaturama:
[Smeše: I) P + B; II) H + P; III) H + B; IV) P + E i V) B + E].

Table 4. Values of constants in equation by Redlich-Kister (10) for binary liquid mixtures at different temperatures:
[Mixtures: I) P + B; II) H + P; III) H + B; IV) P + E and V) B + E].

Smeša Mixture	Temperatura (°C) Temperature (°C)	Konstante Constants			$\delta, \%$	$\sigma \times 10^8, \text{ cm}^2/\text{s}$
		A ₀	A ₁	A ₂		
Binarna smeša I Binary mixture I	20	1,77x10 ⁻⁷	-1,77x10 ⁻⁷	1,58x10 ⁻⁶	1,12	5,90
	25	-4,22x10 ⁻⁷	-2,92x10 ⁻⁷	3,19x10 ⁻⁷	1,35	6,60
	30	-1,57x10 ⁻⁷	-5,58x10 ⁻⁷	3,22x10 ⁻⁷	0,47	1,76
	35	-2,34x10 ⁻⁷	-3,78x10 ⁻⁷	5,40x10 ⁻⁷	0,68	2,19
Binarna smeša II Binary mixture II	20	-6,29x10 ⁻⁶	2,49x10 ⁻⁶	2,53x10 ⁻⁷	1,55	4,41
	25	-6,29x10 ⁻⁶	2,49x10 ⁻⁶	2,53x10 ⁻⁷	10,20	12,4
	30	-4,55x10 ⁻⁶	1,90x10 ⁻⁶	-1,56x10 ⁻⁷	1,68	2,89
	35	-3,62x10 ⁻⁶	1,48x10 ⁻⁶	-9,10x10 ⁻⁸	2,17	4,25
Binarna smeša III Binary mixture III	20	-4,13x10 ⁻⁶	3,96x10 ⁻⁶	-3,17x10 ⁻⁶	4,13	4,41
	25	-3,60x10 ⁻⁶	3,43x10 ⁻⁶	-3,09x10 ⁻⁶	3,75	2,99
	30	-3,17x10 ⁻⁶	3,10x10 ⁻⁶	-3,00x10 ⁻⁶	4,97	4,48
	35	-2,59x10 ⁻⁶	2,41x10 ⁻⁶	-1,89x10 ⁻⁶	2,40	1,87
Binarna smeša IV Binary mixture IV	20	-7,77x10 ⁻⁷	1,40x10 ⁻⁶	-1,54x10 ⁻⁶	1,09	3,97
	25	-4,52x10 ⁻⁷	2,57x10 ⁻⁶	-3,28x10 ⁻⁷	1,43	4,93
	30	-1,01x10 ⁻⁶	6,84x10 ⁻⁷	-2,12x10 ⁻⁶	1,87	5,27
	35	-6,09x10 ⁻⁷	6,90x10 ⁻⁷	-1,47x10 ⁻⁶	2,53	4,12
Binarna smeša V Binary mixture V	20	-2,39x10 ⁻⁶	9,85x10 ⁻⁸	1,40x10 ⁻⁷	1,09	3,97
	25	-2,34x10 ⁻⁶	8,94x10 ⁻⁸	-1,63x10 ⁻⁶	1,43	4,93
	30	-1,76x10 ⁻⁶	8,53x10 ⁻⁷	-1,54x10 ⁻⁶	1,87	5,27
	35	-1,23x10 ⁻⁶	7,07x10 ⁻⁷	-6,94x10 ⁻⁷	1,56	4,12

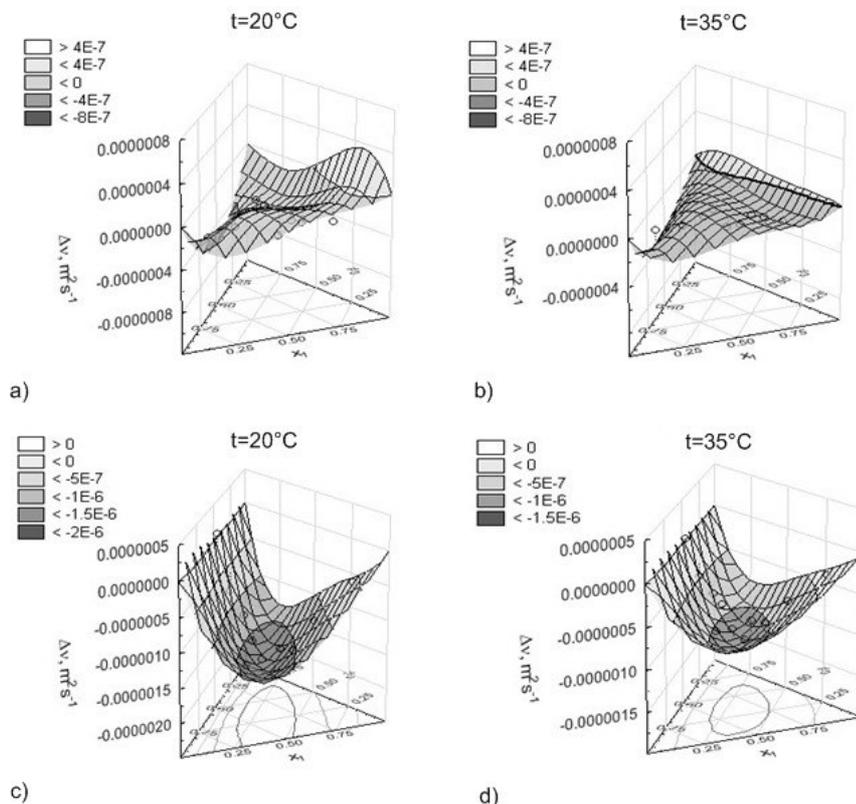
U tabeli 4. se nalaze i vrednosti relativnog odstupanja eksperimentalnih od računskih vrednosti (jedn. 5), kao i vrednosti standardne devijacije, koji su računati po jednačini (6), kao standardni statistički parametri slaganja eksperimentalnih i računskih podataka u ovakvim jednačinama. Relativno odstupanje eksperimentalnih od računskih podataka dobijenih po jednačini Redlich-Kistera (10) za devijaciju kinematske viskoznosti binarnih tečnih smeša kretalo se u dosta širokom intervalu, a vrednosti za svih pet ispitivanih smeša, zavisno od korišćene temperature date su u tabeli (4), pri čemu se δ kretalo u opsegu od 0,47 do 10,20%, dok je vrednost standardne devijacije σ bila u intervalu $(1,76-12,40) \times 10^{-8}$ cm²/s. Na isti način su izračunate vrednosti devijacija σ za dve trokomponentne tečne smeše po jednačini Cibulke (11) i prikazane u tabeli 5. Relativno odstupanje za kinematske viskoznosti za dve trokomponentne tečne smeše računato po jedn. (5), se nešto više razlikovalo od onih za binarne smeše, tabela 5. Ono je bilo u opsegu od 1,99 do 14,73%, a standardna devijacija σ u intervalu $(2,17-8,99) \times 10^{-8}$ cm²/s. Ovakvo slaganje računskih i eksperimentalnih podataka za sve tečne smeše može se prihvatiti kao zadovoljavajuće za potrebe proračuna pri projektovanju uređaja za transport tečnih fluida.

Tabela 5. Vrednosti konstanti u jednačini Cibulke (11) za trokomponentne tečne smeše na različitim temperaturama: [Smeše: VI) P + B + E i VII) H + P + B].

Table 5. Values of constants in equation by Cibulka (11) for ternary liquid mixtures at different temperatures. [Mixtures: VI) P + B + E and VII) H + P + B].

Smeša Mixture	Temperatura (°C) Temperature (°C)	Konstante Constants			δ , %	$\sigma \times 10^8$, cm ² /s
		B ₀	B ₁	B ₂		
Trokomp. smeša VI	20	$3,0 \times 10^{-5}$	$-5,0 \times 10^{-5}$	$-0,3 \times 10^{-5}$	3,05	3,91
	25	$3,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	2,49	3,50
Ternary mixture VI	30	$3,0 \times 10^{-5}$	$-4,0 \times 10^{-5}$	$-4,0 \times 10^{-5}$	2,79	2,87
	35	$2,0 \times 10^{-5}$	$-3,0 \times 10^{-5}$	$-2,0 \times 10^{-5}$	1,99	2,17
Trokomp. smeša VII	20	$-3,0 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$-1,54 \times 10^{-6}$	5,48	2,87
	25	$-2,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-6}$	7,01	3,11
Ternary mixture VII	30	$-3,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$5,21 \times 10^{-6}$	14,73	5,23
	35	$-2,0 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$-1,91 \times 10^{-6}$	8,99	8,99

Na slici 1. prikazano je grafički u 3D dijagramu odstupanje eksperimentalnih podataka za kinematsku viskoznost na dve odabrane temperature za dve trokomponentne tečne smeše [a) hloroform+2-propanol+2-butanol; b) – 2-propanol+2-butanol+etanol] od računski izračunatih vrednosti pomoću korelacije Cibulke (11), koje slikovitije ilustruju slaganje računskih i eksperimentalnih vrednosti.



Slika 1. Slaganje računskih podataka po relaciji Cibulke (11) i eksperimentalnih vrednosti devijacija kinematske viskoznosti u 3D koordinatima za dve trokomponentne tečne smeše na temperaturama 20 i 35°C.

Figure 1. Agreement of numerical data calculated by relation of Cibulka (11) with experimental data of ternary liquid mixtures for kinematic viscosity deviations for two ternary liquid mixtures at temperatures 20 and 35°C in 3D diagram.

ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani rezultati primene empirijskih relacija poznatih iz literature na eksperimentalne podatke za devijaciju kinematske viskoznosti za pet binarnih i dve trokomponentne tečne smeše na temperaturama od 20, 25, 30 i 35°C i atmosferskom pritisku. Binarnе smeše su bile: hloroform+2-propanol, 2-propanol+2-butanol, hloroform+2-butanol, 2-propanol+etanol i 2-butanol+etanol. Trokomponentne smeše su bile: hloroform+2-propanol+2-butanol i 2-propanol+2-butanol+etanol. Za binarne smeše korišćena je empirijska relacija Redlich-Kistera, a za trokomponentne smeše jednačina Cibulke. Najbolje slaganje eksperimentalnih i računskih podataka za binarne smeše postignuto je kod sistema: propanol+butanol, dok je najbolje slaganje za trokomponentne smeše dobijeno kod sistema: 2-propanol+2-butanol+etanol. Ovaj postupak korelisanja može biti sastavni deo procedure projektovanja nekog separacionog procesa u kome su pored termodinamičkih neophodne i vrednosti fizičkih karakteristika višekomponentnih tečnih smeša.

LITERATURA

1. Frenkel, Y. I.: Kinetic Theory of liquids, Oxford University Press, London (1946).
2. Partington, J. R.: The Properties of Liquids, Vol. II, in An Advanced Treatise on Physical Chemistry, Longmans, Green, London (1951).
3. Reid, R. C, and T.K. Sherwood: The Properties of Liquid and Gases, Mc-Graw-Hill, New York (1958).
4. Mc-Allister, R. A.: The viscosity of liquid mixtures. AIChE Journal, 6 (1960), 427-431.
5. Ratcliff, G. A., M.A.Khan: Prediction of the viscosities of liquid mixtures by a group solution model. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 49 (1971), 125-129.
6. Al-Besharah, J.M., O.A. Salman, S.A. Akashah: Viscosity of crude oil blends. Industrial & Engineering Chemistry Research, 26 (1987), 2445-2449.
7. Kalidas, R., G.S. Laddha: Viscosity of ternary liquid mixtures. Journal of Chemical Engineering Data, 9 (1964), 142-145.
8. Sovilj, M. N.: Kinematic viscosities of binary and ternary liquid mixtures involving chloroform, 2+propanol, and 2+butanol at several temperatures. Journal of Chemical & Engineering Data, 40 (1995), 1058-1061.
9. Sovilj, M., J. Jakonić: Viscosities and excess molar volumes of binary liquid mixtures containing aliphatic alcohols at several temperatures. Journal of Serbian Chemical Society. 63 (12) (1998), 1001-1009.
10. Redlich, O. J., T. Kister: Algebraic representation of thermodynamic properties and the classification of solutions. Industrial and Engineering Chemistry, 40 (1948), 346- 3478.
11. Cibulka, I.: Estimation of excess volume and density of ternary mixtures of non electrolytes from binary data. Collection of Czechoslovak Chemical Communications. 47 (1982), 1414-1419.
12. Irving, J. B.: Viscosities of Binary Liquid Mixtures: The Effectiveness of Mixture Equations; NEL Report No. 631, National Engineering Laboratory: East Kilbride, Glasgow (1977).
13. Asfour, A. A., F.A.L. Dullien: Viscosities and densities of four binary liquid systems at 20.00 oC. Journal of Chemical & Engineering Data 26 (1981), 312-316.
14. Šedivec, V., J. Flek: Handbook of Analysis of Organic Solvents, Ellis Horwood Ltd., Chichester, Sussex (1976).
15. Riglo, R., M.H. Ubeda, J.F. Ramos, H.E. Martinez: Densities and refractive indexes of binary mixtures in the system: methyl isobutyl ketone-2-butanol. Mathematical relations obtained. Journal of Chemical & Engineering Data 25 (1980), 318-320.
16. Perry, R. H., D.W. Green: Perry`s Chemical Engineering`s Handbook, Sec. 2, 7th ed., McGraw-Hill, New-York (1999).
17. Kumar, O., A. Prakah, S. Prakash: Ultrasonic velocities, densities, and viscosities of triethylamine in methanol, ethanol, and 1- propanol. Journal of Chemical & Engineering Data, 26 (1981), 64-67.
18. Garcia, B., C. Herrera, J.M. Leal: Shear viscosities of binary liquid mixtures: 2 -pirrolidone with 1-alcanols. Journal of Chemical & Engineering Data 36 (1991), 269.
19. Barjaktarović, B., Određivanje i korelisanje fizičkih osobina višekomponentnih tečnih smeša. Magistarski rad, Univerzitet u Novom sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2003.

DETERMINATION AND CORRELATION OF THE KINEMATIC VISCOSITY DEVIATION OF BINARY AND TERNARY LIQUID MIXTURES

M. N. Sovilj, B. G. Nikolovski

University of Novi Sad, Faculty of Technology, Novi Sad, Serbia

Knowing the values of kinematic viscosity of liquid mixtures is essential in solving many engineering problems related to heat transfer, mass transfer and transport of fluids. For example, when calculating the mass transfer coefficient in the design of gas-liquid devices, it is necessary to know of the data for the density, kinematic (dynamic) viscosity and the interfacial tension for components of the liquid mixtures. Obtaining experimental data for the kinematic viscosity of ternary liquid mixtures often requires a lot of time. This is one of the main reasons why these data can rarely be found in the literature. These data are more commonly obtained by means of correlating the experimental data for binary liquid mixtures, which are constituents of ternary liquid mixtures. For this purpose in this paper we used the theoretical, semi-empirical and empirical relations that can be found in the literature. This paper presents the results of determination and correlation of binary and ternary liquid mixtures at temperatures 20, 25, 30 and 35°C and atmospheric pressure. The binary mixtures were investigated, as follows: chloroform+2-propanol, 2-propanol+2-butanol, chloroform+2-butanol, 2-propanol+ethanol, and 2-butanol+ethanol. Ternary mixtures are made from corresponding binary mixtures, and consist of: chloroform+2-propanol+2-butanol and 2-propanol+2-butanol+ethanol. The numerical values for kinematic viscosity deviation of binary and ternary liquid mixtures were obtained by using well-known equations that give the deviation of the measured values of kinematic viscosity of liquid mixtures and the summary of contributions of kinematic viscosity of pure components of the mixture. Deviations of the kinematic viscosities of binary liquid mixtures were correlated using equation by Redlich-Kister. Relative percentage deviations of experimental and calculated values for all five binary mixtures were in the interval from 0.47 to 10.2 %. At the same time, standard deviation of these mixtures was in the interval $(1.76-12.40) \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$. The deviations of ternary liquid mixtures were calculated using the correlation of Cibulka, which in itself includes the contributions of deviations of kinematic viscosities of binary liquid mixtures, as well as the constants that are calculated using some numerical procedure. Relative percentage deviations of experimental and calculated values for two ternary mixtures were in the interval from 1.99 to 14.73 %. On the other hand, standard deviation in these mixtures was in the interval $(2.17-8.99) \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Keywords: kinematic viscosity deviation, binary and ternary liquid mixtures.

Rad primljen: 18. 04. 2012.

Rad prihvaćen: 17. 05. 2012.