

Ante Jukić, Kornelije Kraguljac, Ivana Šoljić Jerbić, Elvira Vidović,
Ankica Barišić

ISSN 0350-350X

GOMABN 49, 3, 229-249

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK 665.765.035.6:621.892.2:532.13:678.744.33.04:678.021.18

VISKOZNOST I REOLOŠKA SVOJSTVA MINERALNIH MAZIVIH ULJA S DISPERZANTNIM POLIMETAKRILATNIM ADITIVIMA

Sažetak

Istraženo je viskozimetrijsko i reološko ponašanje otopina polimernog aditiva mazivih ulja s disperznim svojstvima. Aditivi su pripremljeni radikalskom kopolimerizacijom stirena, dodecil-metakrilata, oktadecil-metakrilata i dimetil-aminoetil-metakrilata (DMAEMA, udjela 2 i 4 mol. %) u mineralnom baznom ulju. Sve otopine kopolimera u baznom ulju pokazale su visoke vrijednosti kinematičke viskoznosti i indeksa viskoznosti (> 150). Ugradnjom DMAEMA u makromolekulu znatno se mijenjaju molekulska međudjelovanja između polimernog aditiva i ulja, što rezultira bitno većim hidrodinamičkim klupkom polimernih molekula u usporedbi s konvencionalnim aditivima metakrilatne osnove. Porastom volumena klupka povećava se viskoznost, a smanjuje smična stabilnost otopina, dok su stiništa usporediva. Razrijeđenim otopinama homopolimernih sastavnica istraživanih aditiva, poli(alkil-metakrilatima) (metil-, PMMA; dodecil-, PDDMA; oktadecil-, PODMA) i polistirenu (PS), kao i drugim najčešće upotrebljavanim aditivima, kopolimerima etilena i propilena (EPC) te stirena i hidrogeniranog butadiena (SHB), određene su relativne, specifične i reducirane viskoznosti, pri čemu je dobiven sljedeći poredak: $EPC \geq SHB > PDMAEMA \geq PS \gg PDDMA > PMMA \geq PODMA$. Koncentracijska ovisnost viskoznosti opisana je Hugginsovom jednadžbom te su određeni granični viskozni brojevi i Hugginsove konstante. Dobivene ovisnosti između sastava polimera i reoloških svojstava njihovih otopina u ulju, kao i poznavanje molekulskih međudjelovanja između polimera i otapala (baznog ulja), omogućavaju formuliranje mazivih ulja poboljšanih primjenskih svojstava.

Uvod

Reološka svojstva kapljevina kao što su maziva ulja mogu se znatno promijeniti dodatkom malih količina određenih polimera.¹⁻³ Polimerne molekule u otopini zauzimaju konformaciju statističkog klupka.⁴ Na hidrodinamički volumen klupka utječu, osim osnovne strukture polimernih molekula (duljina lanca, granatost), još i

međudjelovanja polimernih molekula s molekulama otapala, te s istovrsnim ili drugovrsnim polimernim molekulama u otopini. Vrsta i jakost međudjelovanja ovise o temperaturi, koncentraciji polimera i, ponovno, strukturi polimernih molekula.^{5,6} Izborom prikladne vrste polimernoga dodatka, njegovih molekulskih dimenzija i strukture u načelu se mogu kontrolirati reološka svojstva poput viskoznosti otopine i temperaturne ovisnosti viskoznosti. Među brojnim se takvim primjenama ističe uporaba amorfnih poli(etilen-ko-propilena), poli(alkil-metakrilata), ili hidrogeniranih bločnih i zvjezdastih poli(stiren-ko-butadiena) i poli(stiren-ko-izoprena) kao dodataka mineralnim mazivim uljima, gdje služe kao poboljšavala indeksa viskoznosti.^{1-3,7}

Alkil-metakrilatni kopolimeri (PAMA) posebnog sastava i građe poznata su i široko upotrebljavana poboljšavala reoloških svojstava mineralnih mazivih ulja,^{1-3,7} posebice indeksa viskoznosti i stiništa motornih i transmisijskih ulja gdje se dodaju u razmjerno velikim koncentracijama. U novije vrijeme, razvoj PAMA aditiva usmjerava se prema kopolimerima koji bi uz poboljšanu smičnu i oksidacijsku stabilnost, također posjedovali i disperzantno-detergentna svojstva.⁸ Željeni učinak može se postići ugradnjom komonomera s funkcionalnim skupinama koje sadrže kisik ili dušik u makromolekule tijekom procesa polimerizacije.⁹⁻¹² Sve oštrij propisi vezani uz emisije štetnih plinova pridonijeli su tom razvitku. Uvođenjem sustava recirkulacije ispušnih plinova (EGR, engl. *exhaust gas recirculation*) u dizelove motore, vrlo učinkovito se smanjuje emisija NO_x plinova u atmosferu, ali istodobno se povećava stvaranje taloga u motornim uljima.¹³ Uloga funkcionalne skupine polimernog aditiva jest da dispergira čestice taloga u ulju i/ili sprječava taloženje produkata izgaranja stvaranjem tankog površinskog sloja na vitalnim dijelovima motora. Time se omogućava učinkovitiji rad motora, odnosno smanjuje se trenje, energetske potrebe sustava i potrošnja goriva.

U ovom radu istraženi su viskoznost i reološka svojstva disperzantnih aditiva mazivih ulja polimetakrilatne osnove. Polimerni aditivi sintetizirani su kopolimerizacijom stirena, dugolančanih alkil-metakrilata i funkcionalnog komonomera koji doprinosi disperzantnim svojstvima,^{1,2,8} dimetilaminoetil-metakrilata, u mineralnom baznom ulju. Reakcije su provedene slobodno-radikaliskim mehanizmom uz peroksidni inicijator, u izoternim uvjetima. Detaljno je istražena i viskoznost razrijeđenih otopina homopolimernih sastavnica aditiva u modelnom otapalu, toluenu, kako bi se odredila molekulska međudjelovanja polimer / otapalo, a time i potpuniji opis reološkog ponašanja.

Eksperimentalni dio

Polimerni aditivi na temelju kopolimera stirena (St), n-dodecil-metakrilata (DDMA), n-oktadecil-metakrilata (ODMA) i dimetilaminoetil-metakrilata (DMAEMA) dobiveni su procesom polimerizacije smjese monomera u otopini mineralnog baznog ulja SN-150, uz peroksidni inicijator i pri izoternim uvjetima.¹⁴ Udjel polimera u baznom ulju jednak je udjelu monomera budući da su postignute potpune konverzije i iznosi 50 mas. %. Homopolimeri poli(dimetilaminoetil-metakrilat) (PDMAEMA), polistiren (PS), poli(metil-metakrilat) (PMMA), poli(dodecil-metakrilat) (PDDMA) i poli(oktadecil-

metakrilat) (PODMA) pripremljeni su radikalskom polimerizacijom odgovarajućih monomera u otopini ksilena pri 90 °C, uz terc-butil peroksi-2-etilheksanoat (Akzo Chemicals) kao inicijator. Otapala, toluen i ksilen visoke čistoće (p.a.), te bazna ulja SN-150 i SN-200 rabljena su bez daljnjeg pročišćavanja. Polidisperznost i prosjeci molnih masa polimera određeni su kromatografijom isključenja po veličini (SEC / GPC), na instrumentu GPC-20 Polymer Laboratories s refraktometrijskim detektorom. Kao otapalo i eluent upotrijebljen je tetrahidrofuran. Molarne su mase izračunate kao polistirenski ekvivalenti. Rezultati su dani u tablici 1. Sastav kopolimera određen je ¹H NMR spektroskopijom, upotrebom instrumenta Bruker Avance NMR 300. Mjerenja su provedena pri sobnoj temperaturi u otapalu deuteriranom kloroformu (CDCl₃) uz tetrametilsilan kao standard. Viskozimetrijska i reološka svojstva otopina polimera u ulju određena su normiranim metodama: kinematička viskoznost prema HRN EN ISO 3104, indeks viskoznosti prema HRN ISO 2909, smična stabilnost prema DIN 51382 i stinište prema HRN ISO 3016. Viskozimetrijska mjerenja razrijeđenih otopina polimera provedena su pri 30±0,02 °C, kapilarnim viskozimetrom Cannon-Fenske 50 K uronjenim u termostatiranu kupelj. Relativne viskoznosti određene su dijeljenjem vremena protjecanja polimernih otopina kroz viskozimetar s vremenom protjecanja čistog otapala ($\eta_{rel} = \eta/\eta_0 = t/t_0$). Eksperimenti su provedeni u području viskoznosti od 1,05 < η_{rel} < 1,5 pri (tipično) pet različitih koncentracija. Ponovljivost rezultata provjerena je ponavljanjem mjerenja s novopripremljenim otopinama.

Tablica 1: Brojčani, maseni i z-prosjek molarnih masa (M_n , M_w , i M_z), te indeks polidisperznosti istraživanih polimera ($D = M_w / M_n$); PMMA – poli(metil-metakrilat), PDDMA – poli(dodecil-metakrilat), PODMA – poli(oktadecil-metakrilat), EPC – poli(etilen-ko-propilen), SHB – poli(stiren-ko-hidrogenirani butadien), PS – polistiren

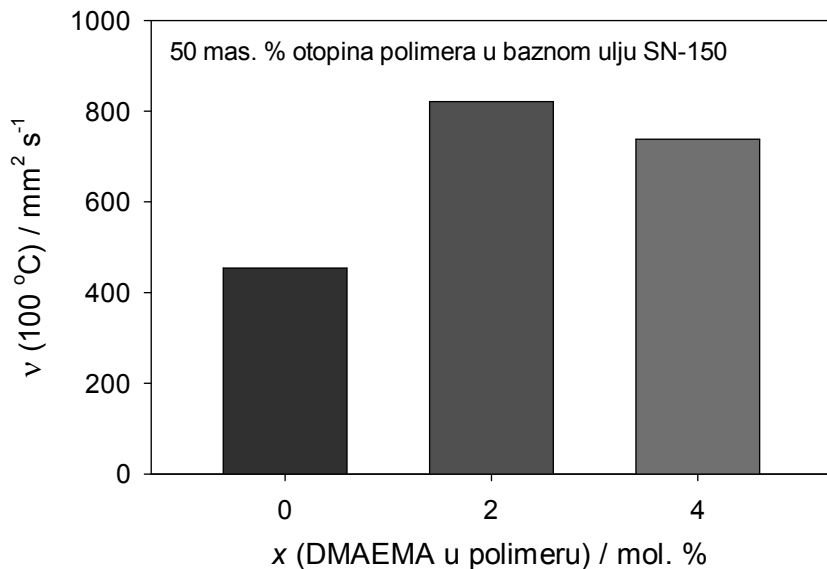
Polimer	$M_n / \text{kg mol}^{-1}$	$M_w / \text{kg mol}^{-1}$	$M_z / \text{kg mol}^{-1}$	D
PMMA	46,9	77,1	120,7	1,64
PDDMA	34,2	73,0	135,1	2,13
PODMA	33,4	71,3	130,4	2,13
EPC	65,1	112,2	178,6	1,72
SHB	76,4	122,2	216,0	1,60
PS	108,5	213,4	379,6	1,97

Rezultati i rasprava

Koncentrirane i polukoncentrirane otopine

Najvažnije svojstvo mazivih ulja je viskoznost. Na slici 1 prikazana je viskoznost polimerizacijskih šarži, odnosno koncentriranih otopina polimera u baznom ulju SN-150 pri 100 °C. Koncentracija polimera u ulju iznosila je 50 mas. %. Ispitani polimeri sadrže 0, 2 i 4 mol. % disperzne sastavnice DMAEMA i označeni su s PSAMA,

disperzni PSAMA-1 i disperzni PSAMA-2. Detaljan sastav polimera dan je u tablici 2. U sva tri polimera, udjel stirena držan je stalnim i iznosi 15 mas. %, kao i maseni odnos dugolančanih alkil-metakrilata, DDMA : ODMA = 1 : 1. Prijašnjim istraživanjima utvrđeno je da ovakav sastav daje izvrsna svojstva viskoznosti i smične stabilnosti, uz zadržavanje dobrih niskotemperaturnih svojstava.^{15,16} Sa slike 1 vidljiv je veliki utjecaj sastava polimera na viskoznost otopina. Već i za vrlo male udjele DMAEMA od 2 mol. % (1,4 mas. %) i 4 mol. % (2,8 mas. %) viskoznosti otopina porasle su na gotovo dvostruke vrijednosti u odnosu na aditiv koji ne sadrži DMAEMA. U tablici 2 dana su i osnovna strukturna svojstva polimera: maseni i brojčani prosjek molnih masa, te indeks polidisperznosti. Maseni prosjeci molnih masa polimera, koji su najbliži viskozimetrijskim prosjecima molnih masa, razmjerno su ujednačenih vrijednosti. Slijedi, da nagli rast viskoznosti aditiva s disperznim svojstvima koji sadrže DMAEMA, nije posljedica razlika u molekulkim masama polimera, već promjene molekulkih međudjelovanja otapalo / polimer.^{5,17} Bazno ulje očito je pri ispitanim uvjetima termodinamički bolje otapalo za disperzni PSAMA u usporedbi s PSAMA, a time je i volumen hidrodinamičkog klupka polimernih molekula u otopini veći, čega je posljedica porast viskoznosti. Ova razmatranja bit će detaljnije opisana i kvantificirana istraživanjima viskozimetrijskog ponašanja razrijeđenih otopina homopolimernih sastavnica istraživanih aditiva.



Slika 1: Ovisnost kinematičke viskoznosti polimernog aditiva o molnom udjelu disperzne sastavnice DMAEMA u kopolimeru stirena, dodecil-metakrilata i oktadecil-metakrilata.

Tablica 2: Sastav i strukturna svojstva polimera, te viskoznost i reološka svojstva polimernih aditiva (koncentrirana, polukoncentrirana i razrijeđena otopina polimera u baznom ulju): molni udjel monomera u polimeru, x , brojčani prosjek molnih masa, M_n , maseni prosjek molnih masa, M_w , indeks polidisperznosti, D , kinematička viskoznost, ν , promjena (pad) viskoznosti, $\Delta\nu$, indeks viskoznosti, IV , i stinište, ϑ .

Aditiv		PSAMA	disperzni PSAMA-1	disperzni PSAMA-2	
x / mol. % (polimer)	DMAEM	0,0	2,0	4,0	
	Stiren	33,0	32,7	32,4	
	DDMA	38,2	37,3	36,4	
	ODMA	28,8	28,0	27,2	
M_n / kg mol ⁻¹		68,4	57,0	44,8	
M_w / kg mol ⁻¹		119,2	108,2	105,8	
$D = M_w / M_n$		1,74	1,90	2,36	
ν (100 °C) / mm ² s ⁻¹ (udjel polimera 50 mas. %)		453,99	820,98	738,27	
Test smične stabilnosti (udjel polimera 5 mas. %)	ν (40 °C) / mm ² s ⁻¹	prije	84,64	100,46	94,49
		poslije	79,48	86,97	84,72
		$\Delta\nu$ / %	11,60	22,37	17,98
	ν (100 °C) / mm ² s ⁻¹	prije	12,65	15,11	14,22
		poslije	11,87	13,06	12,70
		$\Delta\nu$ / %	11,96	22,80	18,79
	IV prije		147	158	155
	IV poslije		143	150	148
	Stinište, ϑ / °C (udjel polimera 0,5 mas. %)		-18	-18	-18

Polukoncentrirane, 5 mas. % otopine polimera pripravljene su razrijeđenjem 50 mas. % otopina mineralnim baznim uljem SN-200. U tablici 2 dane su vrijednosti kinematičkih viskoznosti na 40 i 100 °C, indeks viskoznosti, i promjene viskoznosti uzrokovane provedbom testa smične stabilnosti, izmjerene za polukoncentrirane otopine. Viskoznosti aditiva s polimerima koji sadrže 2 i 4 mol. % DMAEMA na 40 i

100 °C veće su od aditiva bez DMAEMA, usprkos nešto nižim molnim masama. Otopina polimera sa 4 mol. % DMAEMA pokazuje nešto manje vrijednosti viskoznosti zbog manjih molnih masa i šire raspodjele molnih masa iskazane većim indeksom polidisperznosti. Smična stabilnost aditiva opisana je relativnim padom viskoznosti uzrokovanim kidanjem polimernih molekula zbog djelovanja smičnih naprezanja u provedenom testu smične stabilnosti. Zbog velikog hidrodinamičkog volumena polimernih molekula, aditivi s DMAEMA pokazali su lošiju stabilnost, koja se poboljšava sa smanjenjem molekulske mase polimera. Nadalje, aditivi s disperznim svojstvima pokazuju i visoke vrijednosti indeksa viskoznosti, $IV \sim 150$. Vrijednosti stiništa, izmjerene za 0,5 mas. % otopine polimera u baznom ulju dobivene dodatnim razrijeđenjem, jednake su za sve aditive i iznose -18 °C. Za niske vrijednosti stiništa ključne su veličine sadržaj, odnosno udjel dugolančanih alkilnih metakrilata u polimeru, kao i njihov međusobni omjer.¹⁶ Budući da polimerni aditiv s disperznim svojstvima i nadalje sadrži veliki udjel dodecil-metakrilata i oktadecil-metakrilata, veći od 60 mol. % (> 80 mas. %), zadržana su i dobra niskotemperaturna svojstva koja odlikuju poboljšavala reoloških svojstava mazivih ulja na temelju alkil-metakrilatnih kopolimera.

Razrijeđene otopine

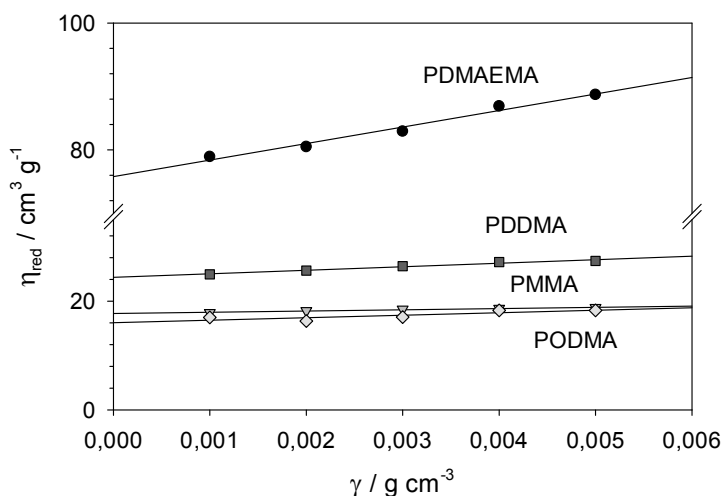
S ciljem detaljnijeg opisa i uvida u viskozimetrijsko ponašanje ispitivanih sustava, istražena je viskoznost razrijeđenih otopina homopolimernih sastavnica polimernih aditiva mazivih ulja: poli(dimetilaminoetil-metakrilata) (PDMAEMA), sastavnice koja doprinosi detergentno-disperznim svojstvima aditiva, zatim poli(metil-metakrilata) (PMMA), poli(dodecil-metakrilata) (PDDMA) i poli(oktadecil-metakrilata) (PODMA). Za usporedbu, istražena je i viskoznost razrijeđenih otopina poliolefinskog aditiva poli(etilen-ko-propilena) (EPC) amorfne strukture, kopolimera stiren-hidrogenirani butadien (SHB) i polistirena (PS). Kao modelno otapalo, svojstava približnih mineralnom baznom ulju, upotrijebljen je toluen. U tablici 3 dane su vrijednosti relativnih, η_{rel} , i specifičnih viskoznosti, η_{sp} , u ovisnosti o koncentraciji polimera u otopini. Na slici 2 prikazane su reducirane viskoznosti otopina PDMAEMA i drugih metakrilatnih polimera, PMMA, PDDMA i PODMA. Na slici 3 prikazane su reducirane viskoznosti otopina PDMAEMA i polimera koji nisu metakrilatne osnove, EPC, SHB i PS.

Prema danim i prikazanim vrijednostima slijedi da kod svih ispitanih sustava viskoznosti rastu s povećanjem koncentracije polimera. Među metakrilatima, najveće viskoznosti pokazuju otopine DMAEMA, znatno veće u odnosu na otopine kratkolančanih i dugolančanih poli(alkil-metakrilata). Ovakvo ponašanje u skladu je s rezultatima viskoznosti dobivenih za otopine polimera u baznom ulju. Otopine EPC i SHB imaju veće viskoznosti od otopine PDMAEMA, dok je viskoznost otopina PS nešto niža. Ukupni poredak viskoznosti za ispitane sustave je slijedeći:

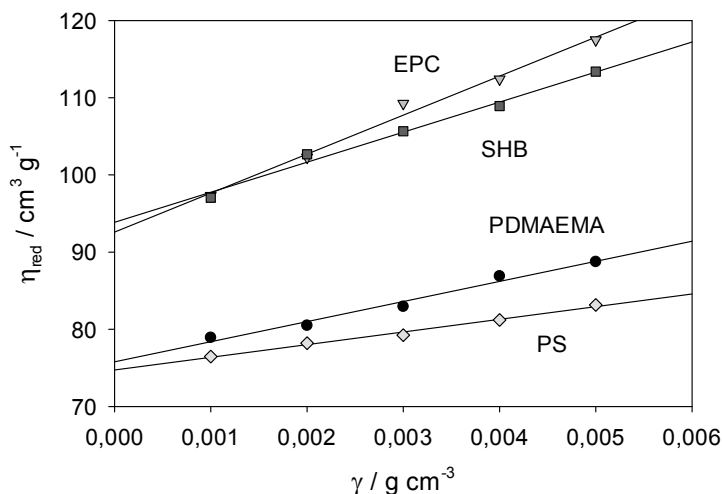
$$EPC \geq SHB > PDMAEMA \geq PS \gg PDDMA > PMMA \geq PODMA.$$

Tablica 3: Ovisnosti relativne, η_{rel} , specifične, η_{sp} , i reducirane viskoznosti, η_{red} , o koncentraciji polimera u otopini toluena pri 30 °C.

$\gamma / \text{g cm}^{-3}$	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005
PDMAEMA / poli(dimetilaminoetil-metakrilat)					
η_{rel}	1,079	1,161	1,249	1,348	1,444
η_{sp}	0,079	0,161	0,249	0,348	0,444
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	78,93	80,49	82,94	86,89	88,74
PMMA / poli(metil-metakrilat)					
η_{rel}	1,018	1,037	1,056	1,075	1,094
η_{sp}	0,018	0,037	0,056	0,075	0,094
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	17,87	18,25	18,50	18,65	18,80
PDDMA / poli(dodecil-metakrilat)					
η_{rel}	1,025	1,051	1,079	1,109	1,137
η_{sp}	0,025	0,051	0,079	0,109	0,137
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	24,93	25,63	26,44	27,19	27,40
PODMA / poli(oktadecil-metakrilat)					
η_{rel}	1,017	1,033	1,051	1,073	1,092
η_{sp}	0,017	0,033	0,051	0,073	0,092
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	17,00	16,34	17,05	18,30	18,30
EPC / poli(etilen-ko-propilen)					
η_{rel}	1,097	1,205	1,328	1,450	1,588
η_{sp}	0,097	0,205	0,328	0,450	0,588
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	97,31	102,30	109,25	112,42	117,50
SHB / poli(stiren-ko-hidrogenirani butadien)					
η_{rel}	1,097	1,205	1,317	1,436	1,567
η_{sp}	0,097	0,205	0,317	0,436	0,567
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	97,05	102,68	105,65	108,92	113,39
PS / polistiren					
η_{rel}	1,077	1,156	1,238	1,325	1,416
η_{sp}	0,077	0,156	0,238	0,325	0,416
$\eta_{red} / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	76,46	78,20	79,23	81,21	83,16



Slika 2: Ovisnost reducirane viskoznosti o masenoj koncentraciji razrijeđenih otopina polimera PDMAEMA, PMMA, PDDMA i PODMA u toluenu pri 30 °C.



Slika 3: Ovisnost reducirane viskoznosti o masenoj koncentraciji razrijeđenih otopina polimera PDMAEMA, EPC, SHB i PS u toluenu pri 30 °C.

Viskoznost polimernih otopina u području niskih koncentracija polimera uobičajeno se opisuje Hugginsovom jednadžbom:

$$\frac{\eta_{sp}}{\gamma} = [\eta] + k_H [\eta]^2 \gamma = [\eta] + b \gamma$$

gdje η_{sp} označava specifičnu viskoznost, $[\eta]$ je granični viskozni broj, γ je masena koncentracija polimera, a k_H je Hugginsova konstanta, koja se iskustveno povezuje s termodinamičkom kvalitetom otapala. Eksperimentalno određene koncentracijske ovisnosti reducirane viskoznosti (slike 2 i 3) za sve istraživane sustave mogu se opisati Hugginsovima ekstrapolacijskim pravcima, uz koeficijent linearne regresije veći od 0,9. Odgovarajuće Hugginsove konstante i granični viskozni brojevi dani su u tablici 4. Za sustave (PS, SHB, PDMAEMA) / toluen dobivene su k_H -vrijednosti između 0,29 i 0,45 svojstvene za polimer u dobrom otapalu, dok je vrijednost za EPC nešto viša i odgovara vrijednostima za polimer u termodinamički lošem otapalu. Toluena je posebice loše otapalo za PMMA, gdje je $k_H \approx 0,7$. Kod otopina PDDMA i PODMA opažene su k_H -vrijednosti iznad 1, svojstvene poli(alkil-metakrilatnim) otopinama kao sustavima sklonima združivanju (asocijaciji) polimernih molekula.^{5,18} Ove nalaze potvrđuju i vrijednosti graničnih viskoznih brojeva, koji su mjera međudjelovanja polimer / otapalo i izravno su razmjerni veličini hidrodinamičkog klupka polimerne molekule u otopini. Granični viskozni brojevi, kao i nagib Hugginsovog pravca, b , koji je mjera međudjelovanja polimer / polimer najveći su za otopine EPC i SHB, zatim za PDMAEMA i PS, i najmanji za otopine alkil(metakrilatnih) polimera.

Tablica 4: Eksperimentom određeni granični viskozni brojevi, $[\eta]$, i Hugginsove konstante, k_H , za istraživane razrijeđene otopine polimera u toluenu pri 30 °C; PDMAEMA - poli(dimetilaminoetil-metakrilat), PMMA - poli(metil-metakrilat), PDDMA - poli(dodecil-metakrilat), PODMA - poli(oktadecil-metakrilat), EPC - poli(etilen-ko-propilen), SHB - poli(stiren-ko-hidrogenirani butadien), PS - polistiren.

Polimer	$b / \text{cm}^6 \text{g}^{-2}$	$[\eta] / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$	k_H	r^2
PDMAEMA	2601	75,8	0,45	0,98
PMMA	225	17,7	0,72	0,95
PDDMA	757	24,2	1,30	0,99
PODMA	714	15,0	3,17	0,90
EPC	5050	92,6	0,59	0,99
SHB	3891	93,9	0,44	0,99
PS	1641	74,7	0,29	0,99

Zaključak

Provedenim istraživanjima ustanovljeno je da već i mali udjel funkcionalnog komonomera DMAEMA u stiren / alkil-metakrilatnom kopolimeru ima znatan utjecaj na viskozimetrijsko ponašanje i reološka svojstva otopina u ulju. Ugradnjom DMAEMA u makromolekulu znatno se mijenjaju molekulska međudjelovanja između polimernog aditiva i ulja, što rezultira bitno većim hidrodinamičkim klupkom polimernih molekula u usporedbi s konvencionalnim aditivima metakrilatne osnove.

Porastom volumena klupka povećava se viskoznost i smanjuje smična stabilnost otopina. Vrijednosti indeksa viskoznosti otopina disperznog PSAMA nešto su veće u usporedbi s konvencionalnim PAMA aditivom, a vrijednosti stiništa su usporedive. Dobivene međuovisnosti između sastava polimera i reoloških svojstava njihovih otopina u ulju, kao i poznavanje molekulskih međudjelovanja između polimera i baznog ulja, omogućavaju formuliranje mazivih ulja naprednih primjenskih svojstava.

Literatura

1. Mortier, R. M., Orszulik S. T. (Eds.), *Chemistry and technology of lubricants*, 2nd Ed., Blackie, London (1997).
2. Braun, J., Omeis, J., *Additives*. In: *Lubricants and lubrication*, Mang, T. and Dresel, W. (Eds.), New York: Wiley-VCH (2007) p. 85.
3. Janović, Z., *Naftno petrokemijski procesi i proizvodi*, Hrvatsko društvo za goriva i maziva, Zagreb (2005).
4. Janović, Z., *Polimerizacije i polimeri*, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa, Zagreb (1997).
5. Bohdanecký, M., Kovář, J., *Viscosity of polymer solutions*, Elsevier, Amsterdam (1982).
6. Matusinović, Z., Rogošić, M., Mencer, H. J., *Eur. Polym. J.*, 41 (2005) 2934.
7. Stambaugh, R. L., *Viscosity index improvers and thickeners*. In: *Chemistry and technology of lubricants*, Mortier, R. M., Orszulik, S. T. (Eds.), Blackie, London (1997), p. 144.
8. Rudnick, L. R., *Lubricant additives*, CRC Press, Wilmington (2003), p. 329.
9. Akhmedov, A. I., *Chem. Tech. Fuels Oils*, 23 (1987) 147.
10. Jukić, A., Vidović, E., Janović, Z., *Chem. Tech. Fuels Oils*, 43 (2007) 386.
11. Fan, J. Y., Muller, M., Spikes, H., *Technische Akademie Esslingen International Tribology Colloquium Proceedings* 15 (2006) p. 295.
12. Šoljić, I., Jukić, A., Janović, Z., *Polym. Eng. Sci.*, 50 (2010) 577.
13. Aldajah, S., Ajayi, O. O., Fenske, G. R., Goldblatt, I. L., *Wear*, 263 (2007) 93.
14. Jukić, A., Rogošić, M., Janović, Z., *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46 (2007) 3321.
15. Jukić, A., disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb (2004).
16. Janović, Z. et al., *Goriva i maziva*, 45 (2006) 143.
17. Jukić, A., Tomašek, Lj., Janović, Z., *Lubr. Sci.*, 17 (2004) 431.
18. Jukić, A., Rogošić, M., Bolarić, I., Tomašek, Lj., Janović, Z., *J. Mol. Liq.*, 112 (2004) 161.

Ključne riječi	Keywords
Mineralna maziva ulja	Mineral lubricating oils
Viskoznost	Viscosity
Reološka svojstva	Rheological properties
Disperzantni polimetakrilatni aditivi	Dispersant polymethacrylate additives

Autori

prof. dr. sc. Ante Jukić (e-adresa: ajukic@fkit.hr), Kornelije Kraguljac, dipl. ing.,
 dr. sc. Ivana Šoljić Jerbić, doc. dr. sc. Elvira Vidović
 Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
 Ankica Barišić, dipl. ing. Maziva - Zagreb d.o.o., član INA grupe

Primljeno: 1.6.2010.

Prihvaćeno: 21.6.2010.