

Danka Šikuljak, Omer Kovač, Novak Damjanović

ISSN 0350-350X
GOMABN 55, 1, 12-22
Stručni rad

UTJECAJ BAZNIH ULJA I POBOLJŠIVAČA VIZKOZNOSTI NA NISKOTEMPERATURNNA SVOJSTVA ULJA ZA ZUPČANIČKE PRIJENOSNIKE

Sažetak

Uloga zupčaničkih prijenosnika motornih vozila (mjenjača i diferencijala) je prijenos snage motora na osovine i kotače vozila. Tijekom rada zupčanici u ovim sklopovima su izloženi ekstremno visokim pritiscima i opterećenjima. Kako bi se osigurao pravilan rad i adekvatno podmazivanje svih elemenata zupčaničkih prijenosnika, ulja koja se koriste u ovim sklopovima moraju imati dobra viskozno-temperaturna svojstva kako bi se osigurala dovoljna debljina uljnog filma na povišenim temperaturama, pružila zaštita zupčanika od trošenja i oštećenja u uvjetima ekstremnih tlakova i opterećenja, kao i osigurala izvrsna niskotemperaturna svojstva, što će značiti lak prijenos prilikom hladnog starta. Od suvremenih ulja za zupčaničke prijenosnike se pored spomenutih svojstava zahtijevaju i druga, ništa manje bitna svojstva, kao što su visoka toplinska i oksidacijska postojanost, produženi interval zamjene, niska sklonost pjenjenju, kompatibilnost, zaštita od korozije svih komponenti zupčaničkog sustavma, smična stabilnost i slično.

Zadovoljenje navedenih zahtjeva postiže se upotrebom visoko kvalitetnih baznih ulja (grupe II, III, IV i V) i odabranog paketa aditiva. Za razliku od konvencionalnih, ova bazna ulja imaju znatno bolja niskotemperaturna svojstva, te se samim tim primjenom takvih ulja ostvaruje poboljšana učinkovitost.

U radu su predstavljeni rezultati ispitivanja utjecaja baznih ulja i dva polimera na svojstva ulja za zupčaničke prijenosnike, fokusirajući se prije svega na njihova niskotemperaturna svojstva. U formulacijama ulja za zupčaničke prijenosnike korištena su bazna ulja grupa III, IV i V. Za ocjenu niskotemperaturnih svojstava korišteni su podaci dobiveni ispitivanjem dinamičke viskoznosti na niskim temperaturama mjerene pri malim (Brookfield viskozimetar - metoda ASTM D 2983) i visokim brzinama smicanja (Cold Cranking Simulator - metoda ASTM D 5293).

Ključne riječi: ulja za zupčaničke prijenosnike; podmazivanje; niskotemperaturna svojstva; bazna ulja; aditivi

1. Uvod

Osiguranje pravilnog i dobrog podmazivanja zupčanika u zupčaničkim sklopovima predstavlja jedan od osnovnih faktora koji jamče normalnu eksploataciju i pouzdanost pri radu. Od ulja za zupčaničke prijenosnike se zahtijeva da posjeduje dobra viskozno-temperaturna svojstva, osigura zaštitu zupčanika od oštećenja u uvjetima ekstremnih tlakova i opterećenja, pruži zaštitu od korozije, posjeduje dobru termooksidacijsku postojanost, kao i dobra niskotemperaturna svojstva koja moraju osigurati nesmetano podmazivanje i u uvjetima ekstremno niskih temperatura. Navedene zahtjeve mogu zadovoljiti samo maziva proizvedena na bazi kvalitetnih baznih ulja i paketa aditiva koji osigurava multifunkcionalna svojstva. Kao bazna ulja koriste se mineralna bazna ulja, hidrokrekirana bazna ulja ili sintetički ugljikovodici. Aditivi koji se koriste za proizvodnju ovih ulja su: aditivi za zaštitu od korozije, aditivi za zaštitu od visokih tlakova i trošenja, aditivi za poboljšanje točke tečenja, inhibitori oksidacije, modifikatori trenja. Niskotemperaturna svojstva ulja za zupčaničke prijenosnike su definirana SAE J 306 standardom koji propisuje maksimalnu temperaturu na kojoj viskoznost mjerena na Brookfield viskozimetru ne prelazi 150000 mPas [1-6]. Cilj rada je procjena utjecaja tipa baznog ulja i poboljšivača viskoznosti na niskotemperaturna svojstva ulja za zupčaničke prijenosnike. U eksperimentalnom dijelu rada su ispitivana niskotemperaturna svojstva uzoraka ulja pripremljenih iz različitih baznih ulja, poboljšivača viskoznosti i s istim paketom aditiva. U radu je mjerena dinamička viskoznost pri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ na Brookfield viskozimetru, kao i na Cold Crankig Simulatoru (CCS).

2. Eksperimentalni dio

Za ispitivanje su pripremljeni uzorci ulja viskozitetne gradacije SAE 75W-90, s paketom aditiva koji zadovoljava razinu kvalitete GL4/5, u kombinaciji s različitim baznim uljima i dva poboljšivača viskoznosti.

2.1. Materijali

2.1.1. Bazna ulja

U ispitivanim formulacijama su korištena bazna ulja API grupa III, IV i V. Osnovne fizikalno-kemijske karakteristike baznih ulja su dane u tablici 1.

2.1.2. Paket aditiva

U formulacijama ulja za zupčaničke prijenosnike korišten je multifunkcionalni paket aditiva namijenjen za formulacije TDL (Total Drive Line) maziva, za podmazivanje mjenjača, hipoidnih zupčanika, osovina i diferencijala viskozitetnih gradacija SAE 75W-80, SAE 75W-90 i SAE 80W-90. U dozi od 10 % korišteni aditiv ispunjava sljedeće specifikacije: API GL-4/GL-5; API MT-1; MIL-PRF-2105E; ARVIN MERITOR 0-76-N; DAF; IVECO; MAN 341 Type Z-2; MAN 341 Type E-3; MAN 342 Type M-3; MB-235.8; ZF TE-ML 02B/05B/07A/12B/16F/17B/19C/21B; SCANIA STO 1:0. Zahvaljujući svojoj formulaciji na bazi olefin-sulfida, estera fosforne kiseline, aril tiofosfata [7] aditiv u formulaciji ulja osigurava izvanredna antitrošeća i EP svojstva. U tablici 2 su navedene osnovne fizikalno-kemijske karakteristike korištenog aditiva.

Tablica 1: Osnovna fizikalno-kemijska svojstva baznih ulja korištenih u formulacijama ulja za zupčaničke prijenosnike

Karakteristike	Metoda	Jedinica	HC-SDW	HC-CDW	PAO 4	PAO 6/1	PAO 150	PAO 65	PAO 6/2	AN
Viskoznost pri 40 °C	BAS ISO 3104	mm ² /s	21,03	19,99	17,66	30,85	1650,4	585,68	29,93	31,20
Viskoznost pri 100 °C	BAS ISO 3104	mm ² /s	4,39	4,28	3,95	5,76	158,13	64,03	5,84	5,09
Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909	-	119	122	121	131	211	182	142	85
Gustoća pri 15 °C	ASTM D 5002	kg/m ³	847,7	835,5	818,3	826,2	846,5	843,3	826,7	908,9
Točka paljenja	ISO 2592	°C	230	227	228	240	290	276	252	226
Točka tečenja	BAS ISO 3016	°C	-12	-21	<-60	<-60	-33	-33	-56	-36
API GRUPA			III	III	IV	IV	IV	IV	IV	V
TIP BAZNOG ULJA			Hidro-krekirano bazno ulje	Hidro-krekirano bazno ulje	PAO	PAO	mPAO	mPAO	PAO	Alkilirani naftaleni
TIP DEPARAFINACIJE			solventna	katalitička	-	-	-	-	-	-

Tablica 2: Fizikalno-kemijska svojstva korištenog paketa aditiva

Karakteristike	Vrijednost	Kemijski sastav	Vrijednost
Viskoznost pri 100 °C, mm ² /s	8,8	Sumpor, mas. %	20,6
Točka tečenja, °C	-33	Bor, mas. %	0,52
Točka paljenja, °C	78	Magnezij, mas. %	0,95
Gustoća pri 15 °C, kg/m ³	1010	Dušik, mas. %	0,61
		Fosfor, mas. %	1,63

2.1.3. Poboljšivači viskoznosti

U formulacijama ispitivanih ulja su korištena dva poboljšivača polimetakrilatnog tipa, vodećih europskih proizvođača poboljšivača (tablica 3) [7].

Tablica 3: Osnovne karakteristike korištenih poboljšivača

	Poboljšivač A	Poboljšivač B
Namjena	Poboljšivač indeksa viskoznosti za multigradna zupčanička ulja	
Tip	Polimetakrilatni poboljšivači visoke smične stabilnosti otopljeni u solventno rafiniranim baznim uljima	
Viskoznost pri 100 °C, mm ² /s	450	133
Gustoća pri 15 °C, kg/m ³	0,93	0,98
Indeks smične stabilnosti, KRL, 20 h	ispod 20	ispod 20

2.1.4. Formulacije ispitivanih ulja za zupčaničke prijenosnike

Od navedenih komponenti pripremljeni su uzorci ulja za zupčaničke prijenosnike u gradaciji SAE 75W-90. Recepture su dane u tablicama 4, 5 i 6.

Tablica 4: Recepture ulja za zupčaničke prijenosnike formulirane s poboljšivačem A

SAE 75W-90					
RECEPTURA	I	II	III	IV	V
HC-SDW, mas. %	61	-	30,5	-	-
HC-CDW, mas. %	-	61	30,5	-	-
PAO 4, mas. %	-	-	-	60	-
PAO 6/1, mas. %	-	-	-	-	64
Poboljšivač A, mas. %	29	29	29	30	26
PAKET ADITIVA, mas. %	10	10	10	10	10

Tablica 5: Recepture ulja za zupčaničke prijenosnike formulirane s poboljšivačem B

SAE 75W-90				
RECEPTURA	I	II	III	IV
HC-CDW, mas. %	54	-	26,5	-
PAO 4, mas. %	-	52	26,5	-
PAO 6/1, mas. %	-	-	-	59
Poboljšivač B, mas. %	36	38	37	31
PAKET ADITIVA, mas. %	10	10	10	10

Tablica 6: Recepture ulja za zupčaničke prijenosnike formulirane bez poboljšivača

SAE 75W-90		
RECEPTURA	I	II
PAO 6/2, mas. %	40,4	26
PAO 150, mas. %	31,1	-
PAO 65, mas. %	-	45
AN, mas. %	18,5	19
PAKET ADITIVA, mas. %	10	10

2.2. Metode ispitivanja

Ocjena niskotemperaturnih svojstava ulja za zupčaničke prijenosnike je napravljena određivanjem dinamičke viskoznosti na Brookfield viskozimetru (slika 1), prema metodi ASTM D 2983, pri različitim temperaturama i pri malim brzinama smicanja.

Pored određivanja viskoznosti pomoću Brookfield viskozimetra obavljeno je i ispitivanje viskoznosti na CCS-u (Cold Cranking Simulator, slika 2) pri niskim temperaturama, pri velikim brzinama smicanja, prema metodi ASTM D 5293.



Slika 1. Brookfield viskozimetar



Slika 2. Cold Cranking Simulator

Pored navedenih, ispitane su i osnovne fizikalno-kemijske karakteristike, prema normiranim metodama navedenim u tablici 7 [8].

Tablica 7: Osnovne metode ispitivanja

Karakteristika	Metoda	Jedinica
Viskoznost pri 40 °C	*BAS **ISO 3104	mm ² /s
Viskoznost pri 100 °C	BAS ISO 3104	mm ² /s
Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909	-
Gustoća	***ASTM D 5002	kg/m ³
Točka tečenja	BAS ISO 3016	°C
Dinamička viskoznost mjerena na Brookfield viskozimetru	ASTM D 2983	mPa s
Dinamička viskoznost mjerena na CCS-u	ASTM D 5293	mPa s

* Bosanskohercegovački standard

** International Organization for Standardization

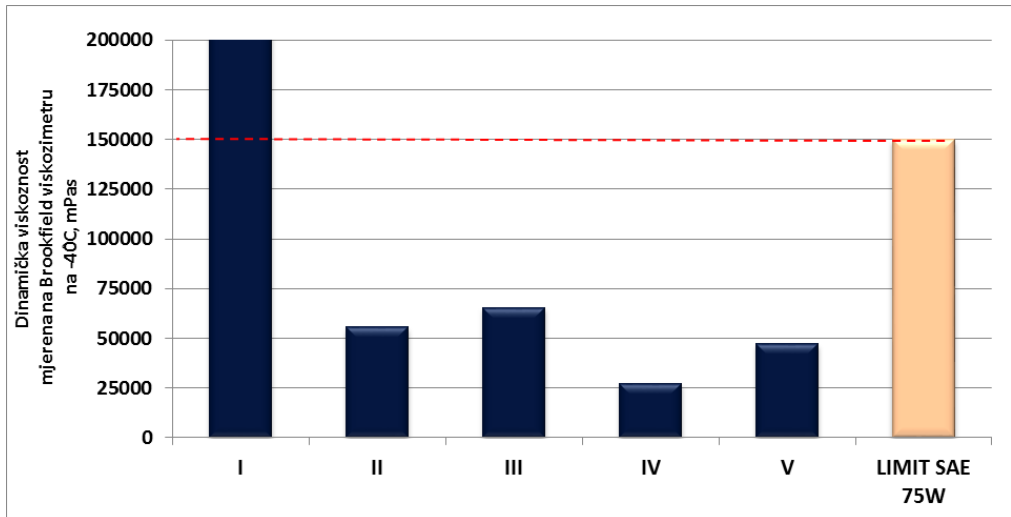
*** American Society for Testing Materials

3. Rezultati i rasprava

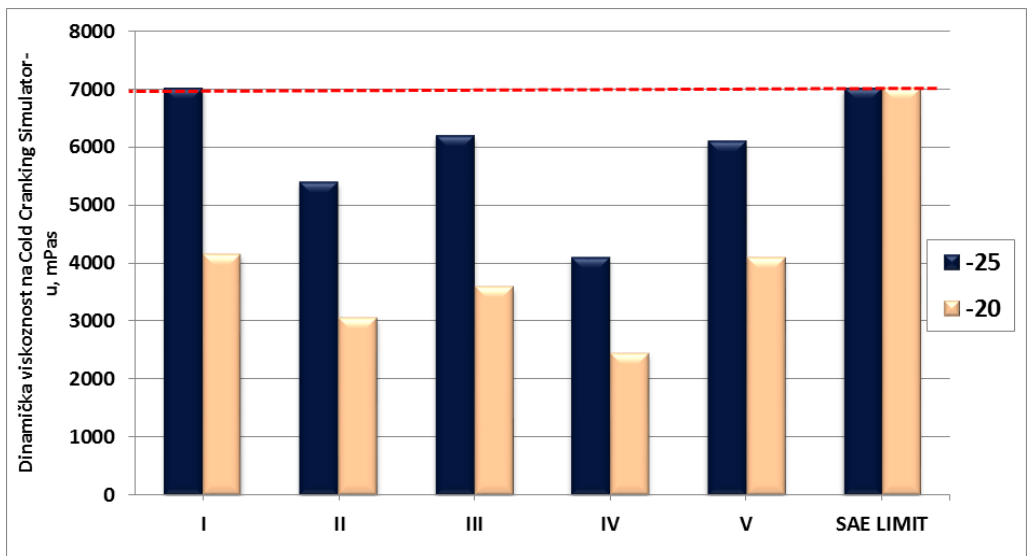
U tablici 8 i na slikama 3 i 4 su prikazani rezultati ispitivanja provedeni smično stabilnim polimetakrilatnim poboljšivačem viskoznosti (poboljšivač A) koji se primjenjuje u formulacijama zupčaničkih ulja (receptura dana u tablici 4). Ispitivanja su provedena fluidima API grupe III i IV.

Tablica 8: Fizikalno-kemijske karakteristike ispitanih uzoraka s poboljšivačem A

Karakteristike	Jedinica	Receptura I	Receptura II	Receptura III	Receptura IV	Receptura V					
Viskoznost pri 40 °C	mm ² /s	98,9	89,93	92,77	85,94	102,04					
Viskoznost pri 100 °C	mm ² /s	16,25	15,85	16,14	15,71	16,9					
Indeks viskoznosti	-	178	189	187	194	181					
Gustoća pri 15 °C	kg/m ³	880,5	877,4	881,3	867,7	869,3					
Dinamička viskoznost mjerena na Brookfield viskozimetru pri -40 °C	mPas	205456	55688	65586	27494	47190					
Dinamička viskoznost mjerena na CCS-u	mPas	7000	5400	6200	4100	6100					
-25 °C							4150	3050	3600	2450	4100
-20 °C											



Slika 3: Utjecaj tipa baznog ulja na dinamičku viskoznost, mjerenu na Brookfield viskozimetru, ulja formuliranog poboljšivačem A



Slika 4: Utjecaj tipa baznog ulja na dinamičku viskoznost mjerenu na Cold Cranking Simulatoru, ulja formuliranog poboljšivačem A

Rezultati ispitivanja pokazuju da formulacije u kojima je korišten poboljšivač A imaju vrijednosti dinamičke viskoznosti po Brookfieldu daleko ispod predviđenog limita od 150000 mPa·s. Preko ove vrijednosti je samo formulacija kod koje je korišteno hidrokrekirano bazno ulje proizvedeno postupkom solventne deparafinacije. Također, na osnovi dobivenih rezultata se može zaključiti da ulja na bazi polialfaolefina imaju mnogo bolja niskotemperaturna svojstva u odnosu na ulja formulirana baznim uljima grupe III.

Rezultati ispitivanja niskotemperaturnih svojstava na CCS-u pokazuju da sva ispitivana ulja ulaze u klasu SAE 10W-XX. Bolje rezultate ispitivanja pokazuju ulja s polialfaolefinima u odnosu na ulja formulirana na bazi ulja grupe III.

Rezultati ispitivanja poboljšivačem B

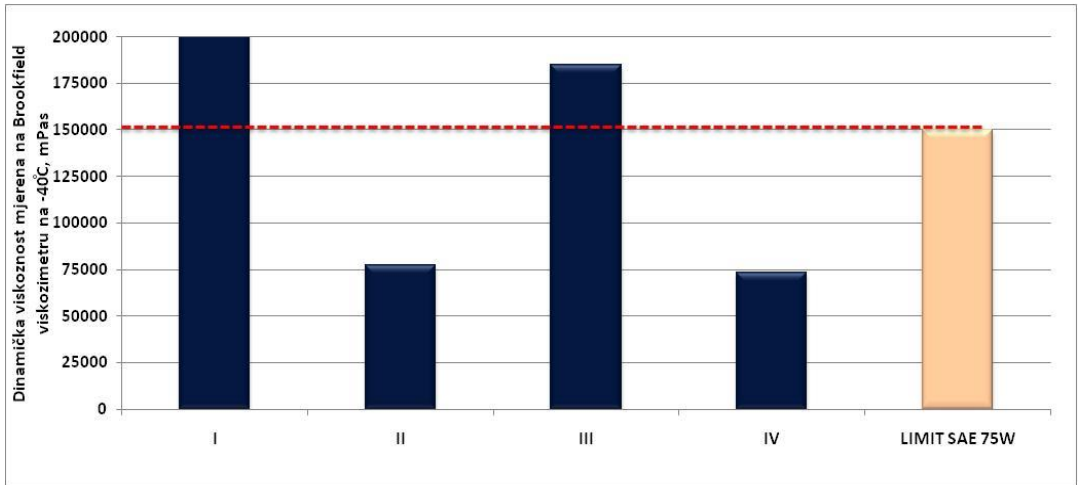
Kod druge serije ispitivanja korišten je polimetakrilatni poboljšivač drugog proizvođača (poboljšivač B). Recepture namiješanih zupčaničkih ulja su dane u tablici 5. Dobiveni rezultati ispitivanja su dani u tablici 9, kao i na slikama 5 i 6.

Dobiveni rezultati pokazuju da su niskotemperaturna svojstva ulja formuliranog poboljšivačem B mnogo lošija od ulja s poboljšivačem A. Osim toga, samo su ulja formulirana polialfaolefinima ispunila zahtjeve gradacije viskoznosti SAE 75W.

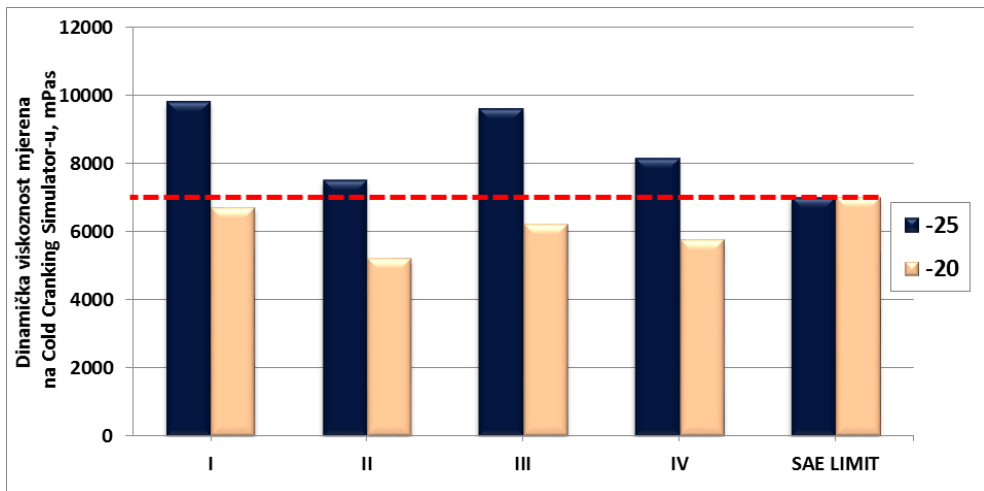
Kod ispitivanja na CCS-u ulja su zadovoljila zahtjeve gradacije SAE 15W-XX. Niže vrijednosti dinamičke viskoznosti su pokazala ulja formulirana polialfaolefinima.

Tablica 9: Fizikalno-kemijske karakteristike ispitanih uzoraka s poboljšivačem B

Karakteristike	Jedinica	Receptura I	Receptura II	Receptura III	Receptura IV
Viskoznost pri 40 °C	mm ² /s	102,55	101,2	101,32	106,85
Viskoznost pri 100 °C	mm ² /s	14,83	15,03	14,92	15,27
Indeks viskoznosti	-	150	156	153	5,74
Gustoća pri 15 °C	kg/m ³	874,8	866,8	871,1	866,0
Dinamička viskoznost mjerena na Brookfield viskozimetru pri -40 °C	mPa s	600000	77583	185160	73584
Dinamička viskoznost mjerena na CCS-u	mPa s	9800	7500	9600	8150
-25 °C		6700	5200	6200	5750
-20 °C					



Slika 5: Utjecaj tipa baznog ulja na dinamičku viskoznost mjerenu na Brookfield viskozimetru ulja formuliranog poboljšivačem B



Slika 6: Utjecaj tipa baznog ulja na dinamičku viskoznost, mjerenu na Cold Cranking Simulatoru, ulja formuliranog poboljšivačem B

Rezultati ispitivanja formulacija, bez poboljšivača viskoznosti

U trećoj seriji ispitivanja nije korišten poboljšivač viskoznosti, nego su izabrane uljne kombinacije koje su u sebe uključile visokomolekularne polialfaolefine i alkilirane naftalene. Receptura pripremljenih uzoraka je dana u tablici 6.

Dinamička viskoznost kod oba ispitivana ulja je bila daleko ispod predviđenog limita od 150000 mPas. Ispitivanjem na CCS-u dobivene su vrijednosti viskoznosti koje zadovoljavaju zahtjeve gradacije SAE 15W-XX. Mehanička stabilnost ispitivanih ulja nije bila predmet ovog rada, ali u svakom slučaju bi ove formulacije pokazale dobra mehanička svojstva.

Tablica 10: Osnovne fizikalno-kemijske karakteristike ispitanih uzoraka formuliranih bez poboljšivača

Karakteristike	Metoda	Jedinica	Receptura I	Receptura II
Viskoznost pri 40 °C, mm ² /s	BAS ISO 3104	mm ² /s	95,06	101,73
Viskoznost pri 100 °C, mm ² /s	BAS ISO 3104	mm ² /s	14,84	15,27
Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909	-	163	158
Gustoća pri 15 °C, kg/m ³	ASTM D 2983	kg/m ³	859,8	863,6
Dinamička viskoznost mjerena na Brookfield viskozimetru pri -40 °C	ASTM D 5293	mPa s	40 991	67 386
Dinamička viskoznost mjerena na CCS-u, -20 °C	ASTM D 5002	mPa s	3900	4900

4. Zaključak

- Provedena ispitivanja su pokazala da vrsta baznog ulja ima značajan utjecaj na niskotemperaturna svojstva zupčaničkih ulja.
- Uz pravilan izbor poboljšivača viskoznosti, ulja grupe III dobivena postupkom hidroizomerizacije i polialfaolefini se mogu koristiti za proizvodnju ulja gradacije viskoznosti SAE 75W-XX.
- U odnosu na navedena ulja formulirana baznim uljima grupe III, ulja formulirana na bazi PAO pokazuju mnogo bolje rezultate.
- Bazna ulja grupe III dobivena postupkom solventne deparafinacije mogu se koristiti kod formulacija ove gradacije viskoznosti samo u ograničenim, točno utvrđenim odnosima.

Literatura

1. W. TUSZYNSKI, R. MICHALCZEWSKI; Modern automotive gear oils - classification, characteristics, market analysis and some aspects of lubrication, Institute for sustainable technologies, Poland (2011), p. 297-322
2. A study of automotive gear lubes; AMSOIL drivetrain division (2007)
3. T. MANG; Encyclopedia of lubricants and lubrication, Volume I, Springer (2014), p. 727-758
4. N. CANTER; Viscosity index improvers, STLE (2011), p. 10-22,
5. B. SCHOBBER, R.VICKERMAN, D.LEE; Controlled architecture viscosity modifiers for driveline fluids, The 14th annual Fuel and Lubes Asia Conference, (2008)
6. M. COVITCH, K. TRICKETT; How polymers behave as viscosity index improvers in lubricating oils, Advances in chemical engineering and science, 5 (2015), p. 134-151
7. Tehničke publikacije proizvođača aditiva i poboljšivača viskoznosti
8. ASTM i ISO metode ispitivanja : ASTM D 2983, ASTM D 5293, BAS ISO 3104, BAS ISO 2909, ASTM D 5002, BAS ISO 3016.

Autori

Danka Šikuljak¹, Omer Kovač¹, Novak Damjanović²

¹Rafinerija ulja Modriča, Vojvode Stepe 49, Modriča, BiH

e-adresa: danka@modricaoil.com

²Optima Grupa, Banja Luka, BiH

Primljeno

30.8.2015.

Prihvaćeno

27.11.2015.