

Tonča Čaleta Prolić, Renata Petek Grahovac

ISSN 0350-350X

GOMABN 47, 4, 299-318

Stručni rad/Professional Paper

UDK 621.892 : 621.833 : 665.765 : 532.135 : 665.765.03

UTJECAJ BAZNIH KOMPONENTI NA REOLOŠKE KARAKTERISTIKE MAZIVA ZA AUTOMATSKE MJENJAČE

Sažetak

Razvoj novih konstrukcija automatskih prijenosnika, novi zahtjevi za kvalitetom, kao i produljeni interval zamjene utječu na stalan razvoj novih formulacija maziva za automatske mjenjače. Za postizanje tih zahtjeva veliki utjecaj čine njihova reološka svojstva. Kinematička viskoznost na visokim i niskim temperaturama jedna je od važnijih karakteristika mazivih ulja, koja se za cijelo vrijeme korištenja mora zadržati unutar određenih vrijednosti. Potrebno je održati elastohidrodinamički sloj maziva u cijelom području radnih temperatura, a kod uporabe na niskim temperaturama omogućiti lagano mijenjanje prijenosa mjenjača.

U radu je prezentirano kako se pravilnim odabirom baznih komponenti u formulacijama ATF ulja razine kvalitete GM DEXRON III (u nastavku DX III) postižu radna svojstva u skladu sa specifikacijama za tu razinu kvalitete.

1. Uvod

Maziva ulja za automatske mjenjače koriste se kao sredstvo za podmazivanje u širokom spektru primjene. To su u prvom redu automatski prijenosnici u osobnim i teško opterećenim komercijalnim vozilima/autobusima, servoupravljači cestovnih i necestovnih vozila, sinkronizirani ručni mjenjači, kao hidrauličko ulje za industrijsku i pokretnu opremu, te za brodsku hidrauliku.

Razvoj novih konstrukcija automatskih mjenjača, kao i zahtjevi tržišta za smanjenom potrošnjom goriva i smanjenom emisijom štetnih plinova stavljaju pred proizvođače maziva za automatske mjenjače izazov za novim formulacijama maziva koji imaju poboljšana svojstva, kao i produljeni vijek zamjene ATF maziva.

2. Pregled specifikacija i zahtjeva za kvalitetom

Razina kvalitete ulja za automatske mjenjače kao i njihova radna svojstva definirana su specifikacijama konstruktora i proizvođača automatskih mjenjača ili vozila u koja se ugrađuju. Te specifikacije definiraju postupke za ishođenje dopuštenja za primjenu – approvala.

2.1 Specifikacije

Specifične konstrukcijske izvedbe automatskih prijenosnika uvjetovale su različitosti u specifikacijama pojedinih proizvođača. Tako se razlikuju specifikacije američkih i europskih OEM-a. Američki proizvođači automatskih mjenjača daju naglasak kvaliteti maziva za automatske mjenjače osobnih vozila, a europski kvaliteti maziva za automatske mjenjače komercijalnih vozila.

Specifikacije američkih konstruktora i proizvođača:

- DEXRON®
- MERCON®
- ALLISON C-4
- CATPILLAR TO-4

Specifikacije europskih konstruktora i proizvođača:

- MERCEDES BENZ (DAIMLER AG) MB Blatt 236
- MAN 339
- ZF
- VOITH G 607
- RENK

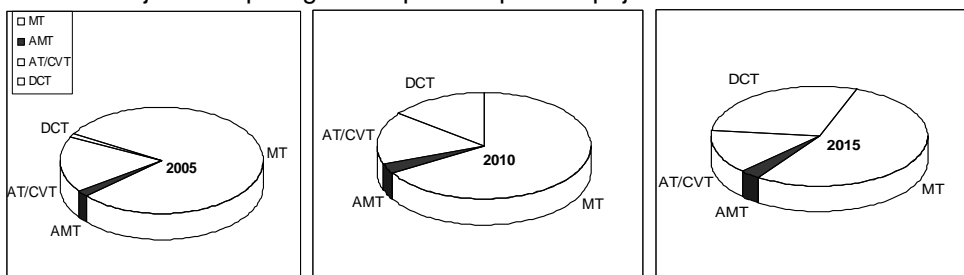
Najveći utjecaj na razvoj kvalitete ATF maziva imaju poznati proizvođači vozila u SAD-u GENERAL MOTORS (GM), te FORD svojim poznatim specifikacijama DEXRON® i MERCON®.

U Europi se najveća količina ATF ulja proizvodi prema specifikacijama konstruktora i proizvođača automatskih prijenosnika i vozila. Najčešća uporaba ATF maziva u Europi je u automatskim mjenjačima komercijalnih vozila, dok se u SAD-u ta maziva najčešće koriste u osobnim automobilima. Prema tipovima mjenjača imamo sljedeću podjelu:

- MT (Manual Transmission) – ručni mjenjači
- AMT (Automatic Manual Transmission) – poluautomatski mjenjači
- AT (Automatic Transmission) – konvencionalni automatski mjenjači
- CVT (Continuously Variable Transmission) – mjenjači s kontinuirano promjenjivim prijenosom
- DCT (Dual Clutch Transmission) – mjenjači s dvostrukom spojkom

Prema predviđanjima poznatih konstruktora i proizvođača prijenosnika na slici 1 je vidljivo kako se u Europi do 2015. godine predviđa porast uporabe DCT mjenjača, dok će uporaba AT/CVT mjenjača s kontinuirano promjenjivim prijenosom zadržati isti trend. Još uvijek je u Europi najviše u primjeni konvencionalni ručni mjenjač, čija će se uporaba smanjiti za oko 20 % do 2015. godine.

Slika 1: Podjela europskog tržišta prema tipovima prijenosnika



2.2 Zahtjevi za kvalitetom ATF maziva

Sve navedene specifikacije definiraju zahtjeve za radne karakteristike maziva za automatske mjenjače. Formulacije ulja za automatske mjenjače zbog svoga širokog spektra primjene moraju zadovoljiti različite zahtjeve i kvalitetu u primjeni. Moraju postići dobro podmazivanje planetarnih zupčanika od kojih je izgrađen automatski mjenjač, dobar prijenos topline. Mora djelovati i kao hidrauličko mazivo prilikom uključivanja stupnjeva prijenosa i dobru zaštitu od trošenja. Takvo mazivo mora biti kompatibilno sa svim komponentama sustava, te osigurati pouzdan rad pri visokim i niskim temperaturama i na taj način omogućiti produljeni vijek izmjene.

Osim tih primjenskih karakteristika ATF ulja imaju sljedeće radne karakteristike:

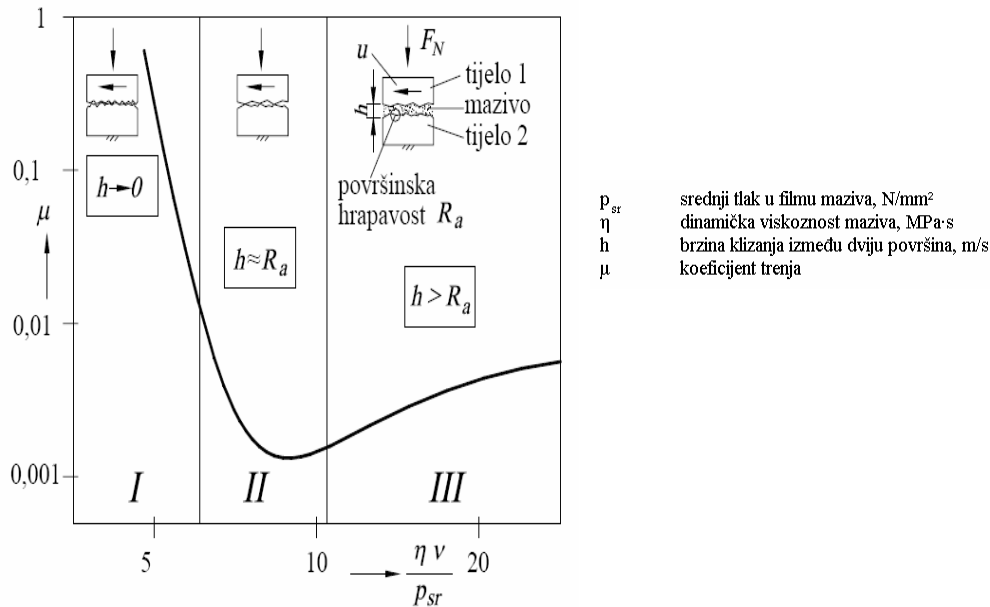
- dobra reološka svojstva
- odgovarajuće karakteristike trenja
- visoku oksidacijsku i termičku stabilnost
- zaštitu od korozije
- zaštitu od trošenja i otpornost na povišene tlakove
- kompatibilnost sa raznim materijalima
- dobra svojstva protiv pjenjenja
- dobra disperzno-detergentska svojstva

2.2.1 Reološka svojstva

Pod reološkim svojstvima maziva podrazumijeva se viskoznost kod visokih i niskih temperatura, koja se tijekom primjene moraju zadržati unutar propisanih zahtjeva. Potrebno je održati elastohidrodinamički sloj maziva u cijelom području radnih temperatura. Razlikujemo tri vrste podmazivanja: granično, mješovito i podmazivanje potpunim slojem maziva (slika 2).

Kod graničnog podmazivanja mazivo nema dovoljnu debljinu da spriječi kontakt čvrstih tijela, kod mješovitog podmazivanja sloj maziva je djelomično razoren, pa postoji djelomičan kontakt čvrstih površina. Kod podmazivanja potpunim slojem površine čvrstih tijela koja se podmazuju potpuno su razdvojene kontinuiranim slojem maziva. Takvo podmazivanje može biti hidrodinamičko i elastohidrodinamičko podmazivanje.

Slika 2: Uvjeti i vrste podmazivanja



- granično podmazivanje (I)
- mješovito podmazivanje (II)
- hidrodinamičko podmazivanje (III)

Za nesmetan rad automatskih mjenjača bitna su dobra niskotemperaturna svojstva. Viskoznost kod niskih temperatura izražena je dinamičkom viskoznošću kod $-40\text{ }^{\circ}C$, mjenom Brookfield viskozimetrom. Granične vrijednosti za dinamičke viskozности ovise o tipu ATF maziva. Zbog mehaničkih naprezanja, kojima su izložena ATF maziva tijekom primjene, dolazi do razlaganja molekula veće molekulske mase na manje i time do pada kinematičke viskozности. Od ATF maziva se traži da imaju visoki indeks viskozности, tj. malu promjenu viskozности s temperaturom, kao i da su smično stabilni tijekom primjene. U daljnjem tekstu bit će objašnjeno kako pravilnim odabirom baznih ulja i aditiva u mazivima za automatske mjenjače možemo postići postojana reološka svojstva tijekom primjene.

2.2.2 Svojstva trenja

Jedna od najvažnijih radnih karakteristika koja utječe na pouzdan rad mjenjača jest koeficijent trenja. Od ATF maziva traži se zadržavanje traženih vrijednosti koeficijenta trenja tijekom primjene jer maziva s visokim koeficijentima trenja mogu izazvati trošenje kao i neučinkovito prenošenje snage u mjenjaču i slabije odvođenje temperature.

2.2.3. Termička i oksidacijska stabilnost

Produljeni vijek izmjene uljnog punjenja stavlja pred ATF maziva zahtjev za dobrom oksidacijskom i termičkom stabilnošću. To se postiže pravilnim odabirom baznih ulja u formulacijama ATF maziva. Odabiru se bazna ulja API grupe II, III i IV, koja imaju bolja termička i oksidacijska svojstva.

2.2.4 Svojstva protiv trošenja

Maziva za automatske mjenjače moraju imati zadovoljavajuća svojstva protiv trošenja. Na taj se način omogućava trajnost materijala mjenjača, a s tim u svezi i dulji vijek samog maziva.

2.2.5 Korozijska stabilnost

Mineralna ulja su sklona da na površinama čvrstih tijela stvaraju hidrofobne filmove, tj. pokazuju prirodno antikorozijsko djelovanje. Samo mineralno ulje napada metalne površine tek kad u sebi sadrži veće količine protona koji se pojavljuju kao produkti starenja ulja ili se nalaze u aditivima. Prirodno zaštitno antikorozivno djelovanje baznih ulja nije dovoljno u formulacijama ATF maziva, pa se dodaju inhibitori korozije. Oni moraju biti kompatibilni s ostalim komponentama u formulacijama.

2.2.6 Ostala svojstva

Sva ostala svojstva ulja za automatske mjenjače su također bitna tako da proizvođači maziva i konstruktori prilikom ispitivanja simuliraju stvarne uvjete primjene i na taj način dolaze do zadovoljavajućih formulacija.

3. Formulacije maziva za automatske mjenjače

Općenito svako mazivo u svom sastavu ima približno 90 % baznih ulja, a ostatak čine aditivi, koji poboljšavaju svojstva baznih ulja. Aditivi djeluju kao: poboljšivači točke tečenja, poboljšivači smične stabilnosti, poboljšivači indeksa viskoznosti, aditivi protiv trošenja i podnošenja opterećenja pri visokim pritiscima (EP/AW), antioksidansi, inhibitori korozije, antipjenušavci i disperzanti.

Izbor baznih ulja u mazivima je od velike važnosti jer na taj način postizemo prije dodavanja aditiva dobra reološka svojstva i oksidacijsku stabilnost.

3.1 Bazna ulja

Prema fizikalno-kemijskim svojstvima bazna ulja su podijeljena u 6 grupa prema API (American Petrol Institute) klasifikaciji.

Bazna ulja se proizvode na sljedeće načine:

1. Klasična ili solventna tehnologija
2. Hidrokreking tehnologija
3. Hibridna tehnologija

Kod klasične tehnologije nepoželjne se komponente uklanjaju fizikalnim metodama, tj. ne mijenja se struktura spojeva, dok se kod hidrokrekinga i hibrid tehnologije

mijenja, npr. aromatski se ugljikovodici, kao nepoželjni spojevi prevode u cikloalkane (naftene).

Tablica 1: Klasifikacija baznih ulja prema fizikalno-kemijskim svojstvima

Grupa	Sastav	Zasićeni ugljikovodici, %m/m	Sumpor, % m/m	VI
I	Konvencionalna bazna ulja	< 90	> 0,03	80 -120
II	Nekonvencionalna bazna ulja	≥ 90	≤ 0,03	80 – 120
III	Nekonvencionalna bazna ulja s visokim VI	≥ 90	≤ 0,03	≥ 120
IV	Sintetička bazna ulja	Polialfaolefini (PAO)		
V	Ostala bazna ulja	Bazna ulja koja nisu uključena u I,II,III,IV ili VI grupu		
VI	Sintetička bazna ulja	Poliinternalolefini		

Bazna ulja, koja se dobivaju klasičnom tehnologijom zahtijevaju određeni tip nafte (npr. s parafinima i naftenima) kao preduvjet dobivanja kvalitetnog baznog ulja. Kod ostale dvije tehnologije vrsta nafte nije osnovni preduvjet jer dolazi do kemijskih promjena tako da se olefini i aromati pretvaraju u parafine i naftene.

3.2 Aditivi

U formulacijama ulja za automatske mjenjače koriste se aditivni paketi, koji sadrže funkcionalne aditive koji djeluju protiv trošenja i podnošenja opterećenja pri visokim pritiscima (EP/AW), kao antioksidansi, inhibitori korozije, antipjenušavci i kao detergentski. Također, kao sastavni dio paketa ili kao zasebni paket dodaju se i aditivi koji poboljšavaju reološka svojstva, koji su smično stabilni i imaju dobra disperzna svojstva. Takvi polimerni aditivi su najčešće na osnovi polialkilmetakrilata (PAMA) i stiren-ester kopolimera.

4. Eksperimentalni dio

Cilj ovog rada bio je formulirati ulje za automatske mjenjače polusintetičke osnove, razine kvalitete prema GM DEXRON III i europskim OEM-a (ZF, MAN, MB).

4.1 Sastav maziva za automatske mjenjače

Kod namješavanja koristili smo bazna ulja grupe I, II, III i IV. Bazno ulje grupe I bilo je SN 150, domaće proizvodnje. Bazna ulja grupe II i III bila su hidrokrekirana bazna ulja, strane proizvodnje, a bazno ulje grupe IV bili su PAO 2 i PAO 4 strane proizvodnje. Njihova fizikalno - kemijska svojstva prikazana su u tablici 2.

Imali smo dvije kombinacije baznih ulja: polialfaolefini (PAO) i bazno ulje SN 150 (tablica 4) i kombinaciju hidrokrekiranih ulja (HK), API grupe II i III, s baznim uljem SN 150 (tablica 5).

Cilj ispitivanja bio je odrediti pravilan omjer različitih baznih ulja za postizanje razine kvalitete GM DEXRON III. Granične vrijednosti uzete su sa ZF liste TE-ML 14B za

servisna punjenja ATF maziva, polusintetičke osnove za komercijalna vozila, s rokom izmjene iznad 60000 prijeđenih kilometara (izdanje 2004-12).

Tablica 2: Fizikalno - kemijska svojstva baznih ulja, tipična svojstva

BAZNA ULJA	METODA	PAO 2	PAO 4	HK, API II	HK, API III	SN 150
Kinematička viskoznost - kod 40 ^o C, mm ² /s	ISO 3104	5,1	16,8	12	26	32,7
Kinematička viskoznost - kod 100 ^o C, mm ² /s	ISO 3104	1,7	3,9	3,0	5,1	5,4
Indeks viskoznosti	ISO 2909	219	124	111	126	99
Tecište, °C	ISO 3016	- 73	- 73	- 30	- 15	-9
Plamište (COC), °C	ISO 2592	180	219	198	240	218
Gustoća kod 15 ^o C, kg/m ³	ISO 2719	798	819	825	835	872

Kod razvoja ove formulacije ATF maziva, koristili smo 3 paketa aditiva (A, B, C). Na konačni odabir utjecala su postignuta fizikalno-kemijska svojstva, kao i cijena koštanja gotovog proizvoda. Ti aditivni paketi sadržavali su komponente koje djeluju kao: poboljšivači točke tečenja, poboljšivači smične stabilnosti, poboljšivači indeksa viskoznosti, aditivi protiv trošenja i podnošenja opterećenja pri visokim pritiscima (EP/AW), antioksidansi, inhibitori korozije, antipjenušavci, disperzanti.

4.2 Metode ispitivanja

Metode korištene pri izradi formulacija prikazane su u tablici 3. Pratila se kinematička viskoznost kod 100 °C, dinamička viskoznost kod -40 °C, mjerena na Brookfield viskozimetru, te smična stabilnost izražena preko kinematičke viskoznosti kod 100 °C, mjerene poslije testa. Smična stabilnost ispitivana je na stožastom ležaju, prema metodi DIN 51350-6-KRL/C u trajanju od 20h.

Tablica 3: Metode ispitivanja pri izradi formulacija ATF maziva

METODA	SVOJSTVO	Jedinice
ISO 3104	Kinematička viskoznost - kod 40°C	mm ² /s
ASTM D 2983	Dinamička viskoznost - kod - 40°C	mPas
DIN 51350-6-KRL/C 5000 N, 60 °C, 20h, 1500 min	Smična stabilnost - kin. viskoznost kod 100 °C	mm ² /s

4.3 Rezultati ispitivanja

U tablicama 4,5 i 6 prikazane su formulacije ATF DX III maziva s različitim tipovima baznih ulja i različitim paketima aditiva i njihova fizikalna svojstva.

Na slici 3 prikazan je odnos odabranih formulacija ATF maziva i njihove cijene koštanja.

Tablica 4: Formulacije ATF DX III sa polialfaolefinima (PAO) i baznim uljem SN 150

FORMULACIJE	FA/1	FB/1	FC/1	FA/2	FB/2	FC/2	ZF lista TE-ML 14B
PAO 4 / SN 150, %	57 / 43	75 / 25	83 / 17	-	-	-	
PAO 2 / SN 150, %	-	-	-	21 / 79	23 / 77	27 / 73	
Paket aditiva A %	+	-	-	+	-	-	
Paket aditiva B ⁽¹⁾ %	-	+	-	-	+	-	
Paket aditiva C ⁽²⁾ %	-	-	+	-	-	+	
Kinematička viskoznost - kod 100 ^o C, mm ² /s	7.25	7.71	7,46	7,13	7,85	7,26	min. 7,0
Dinamička viskoznost, mPas - kod -40 °C, (Brookfield)	8 200	6 410	7 710	19 400	20 000	19 800	najviše 20 000
Smična stabilnost, KRL - v/100 °C poslije smič.,mm ² /s	5,80	5.54	6,56	5,34	5,35	6,45	min. 5.5

⁽¹⁾ Paket aditiva B → 1,6 % viši od A

⁽²⁾ Paket aditiva C → 6,8 % viši od A

Tablica 5: Formulacije ATF DX III s hidrokreiranim baznim uljima (HK) i baznim uljem SN 150

FORMULACIJE	FA/3	FB/3	FC/3	FA/4	FB/4	FC/4	ZF lista TE-ML 14B
HK, API II / SN 150	41 / 59	52 / 48	56 / 44	-	-	-	
HK, API II / HK, API III	-	-	-	28 / 72	37 / 63	49 / 51	
Paket aditiva A %	+	-	-	+	-	-	
Paket aditiva B ^{**} %	-	+	-	-	+	-	
Paket aditiva C ^{***} %	-	-	+	-	-	+	
Kinematička viskoznost - kod 100 ^o C, mm ² /s	7.37	7.74	7,27	7,31	7,91	7,25	min. 7,0
Dinamička viskoznost, mPas - kod -40 °C, (Brookfield)	18 200	15 800	18 800	12 200	11 000	11 600	najviše 20 000
Smična stabilnost, KRL - v/100 °C poslije smič.,mm ² /s	5,50	5.35	6,33	5,73	5,58	6,46	min. 5,5

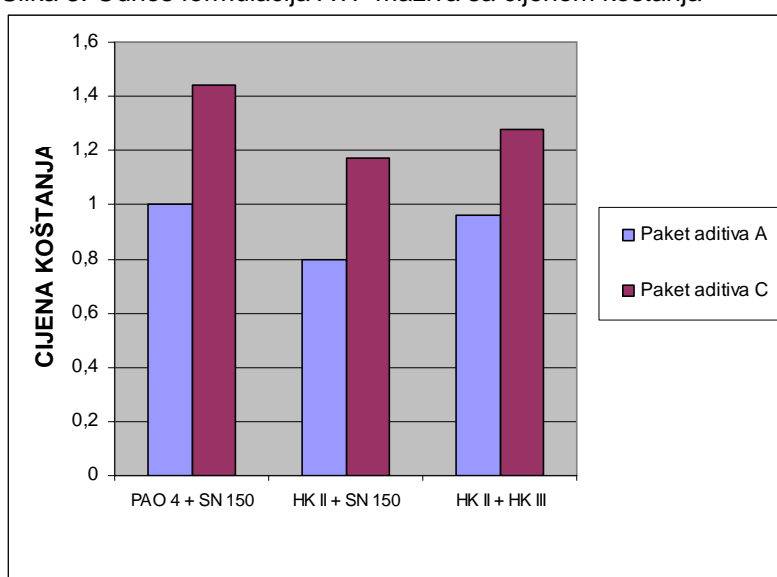
⁽¹⁾ Paket aditiva B → 1,6 % viši od A

⁽²⁾ Paket aditiva C → 6,8 % viši od A

Tablica 6: Tablični prikaz formulacija ATF maziva preko paketa aditiva

FORMULACIJE	Paket aditiva A				Paket aditiva C			
	PAO4 + SN150	PAO2 + SN150	HK II + SN150	HK II + HK III	PAO4 + SN150	PAO2 + SN150	HK II + SN150	HK II + HK III
Kin. viskoznost kod 100° C, mm ² /s	7,25	7,13	7,37	7,31	7,46	7,26	7,27	7,25
Din. viskoznost kod -40 °C, mPas	8 200	19 400	18 200	12 200	7 710	19 800	18 800	11 600
Smična stabilnost, v/100 °C, mm ² /s (poslije testa)	5,80	5,34	5,50	5,73	6,56	6,45	6,33	6,46
Cijena koštanja	1	-	0,80	0,96	1,44	-	1,17	1,28

Slika 3: Odnos formulacija ATF maziva sa cijenom koštanja



5. Zaključci

Radom na formulaciji ATF (GM Dexron III razine kvalitete) maziva, polusintetičke osnove, došli smo do sljedećih zaključaka:

- Paket aditiva A i C dali su zadovoljavajuća reološka svojstva ATF maziva razine kvalitete GM Dexron III.
- Paket aditiva C dao je najbolje rezultate u svim kombinacijama baznih ulja, ali ima višu cijenu koštanja (oko 40 %) u odnosu na paket A (slika 2).

- Kombinacija PAO 4 i bazno ulje SN 150 ima bolja reološka svojstva od kombinacije PAO 2 i SN 150. To je potvrdilo činjenicu da se u formulacijama maziva nastoji koristiti bazna ulja bliže viskozne gradacije.
- Kombinacija dva hidrokrekirana ulja dala je bolja reološka svojstva od kombinacije hidrokrekiranog ulja sa SN 150, cijena koštanja je za 15 % viša.
- Bolja reološka svojstva dobivena su kombinacijom PAO 4 i SN 150, nego kombinacijom hidrokrekiranih ulja II i III API grupe. Iako je cijena koštanja nešto viša (4 %), ta kombinacija je prihvatljivija.
- Prilikom izdavanja dopuštenja za primjenu za ATF maziva polusintetičke i sintetičke osnove uz odobrene aditive (ZF liste TE-ML 14B i C), ZF traži dodatna ispitivanja tarnih svojstava i ispitivanja kompatibilnosti s brtvilima. Kod tih tipova maziva udio hidrokrekiranih ulja i PAO je veći od 50 %.
- Pooštravanje zahtjeva za kinematičkom viskoznošću nakon testa smične stabilnosti (MERCON V i DEXRON VI) zahtijeva uporabu veće količine smično-stabilnih polimernih aditiva, te korištenje baznih ulja grupe II, II+, III i IV. Na taj način se postižu bolja reološka svojstva i otpornost na oksidaciju.
- Kvalitetnija bazna ulja i poboljšana aditivna tehnologija omogućava produljeni životni vijek maziva, što vodi prema uljnom punjenju za cijeli životni vijek, što baš ne ide u prilog proizvođačima maziva.

Zahvala

Autori zahvaljuju gđi Meri Picek na pomoći kod izrade ovog rada.

Literatura

1. VERČON J., *Maziva i podmazivanje*, Jugoma, Zagreb, 1986, (55-86)
2. CERIĆ E., *Nafta procesi i proizvodi*, INA Industrija nafte d.d., Zagreb, 2006.
3. JANOVIĆ Z., *Naftni i petrokemijski procesi i proizvodi*, GOMA, Zagreb, 2005.
4. Tehnička dokumentacija ZF-a
5. Tehnička dokumentacija Afton™CHEMICAL
6. Tehnička dokumentacija Maziva Zagreb d.o.o.

UDK	ključne riječi	key words
621.892 : 621.833	ulje za automatske prijenosnike	automatic transmission fluid
665.765	bazne komponente mazivog ulja	lubricating oil base components
532.135 : 665.765.03	reološka svojstva maziva	lubricant rheologic properties

Autori

Tonča Čaleta Prolić, tonca.caleta-prolic@ina.hr; Renata Petek Grahovac
Maziva Zagreb d.o.o., član INA grupe, Zagreb

Primljeno

22.10.2007.