

Tonča Čaleta Prolić, Miroslav Felja, Renata Petek Grahovac, Anđelko Lepušić

ISSN 0350-350X  
GOMABN 54, 3, 242-256  
Stručni rad

# UTJECAJ MODIFIKATORA VISKOZNOSTI NA FORMULIRANJE UNIVERZALNOG ZUPČANIČKOG TRAKTORSKOG ULJA (UTTO) SAE GRADACIJE VISKOZNOSTI 10W-30

## Sažetak

Univerzalno ulje za transmisije traktora (UTTO) služi za podmazivanje zupčaničkih prijenosnika, mokrih kočnica i hidrauličkih sustava u poljoprivrednoj i građevinskoj mehanizaciji. Trend u razvoju UTTO maziva je razvoj formulacije višegradacijskih ulja s visokim indeksom viskoznosti, koji omogućava poboljšana radna svojstva pri različitim temperaturama primjene. Niže SAE gradacije viskoznosti 10W-30 omogućavaju bolju pumpabilnost pri niskim temperaturama i bolju izdržljivost pri visokim temperaturama te bolju zaštitu od trošenja što utječe na učinkovitiju uštedu goriva i smanjenje troškova. U radu su ispitani različiti tipovi modifikatora viskoznosti u formulacijama UTTO maziva. Konačna formulacija UTTO maziva ispitana je provedbom primjenskog ispitivanja u traktoru radi određivanja optimalnog vremena korištenja maziva s mogućnošću njegovog produljenja.

**Ključne riječi:** UTTO maziva; višegradacijska maziva; modifikatori viskoznosti; primjensko ispitivanje

## 1. Uvod

Univerzalno zupčaničko traktorsko ulje (UTTO) koristi se za podmazivanje zupčaničkih prijenosnika, mokrih kočnica i hidrauličkih sustava u poljoprivrednoj i građevinskoj mehanizaciji. Višenamjenska radna svojstva UTTO maziva omogućuju zadovoljavanje složenih zahtjeva kao što su visoka opterećenja kod prijenosa snage i upravljanja, prodora vode i onečišćenja te rada pri niskim i povišenim temperaturama i u uvjetima kočenja. Trend za stalnim produljenjem intervala izmjene ulja, poboljšanja trajnosti maziva kao i veće uštede goriva vodi do sve strožih zahtjeva koji se postavljaju pred mazivo. Moderni poljoprivredni i građevinski strojevi imaju sve manje spremnike za maziva. Trend kod formuliranja UTTO maziva je primjena nižih gradacija viskoznosti 10W-X ili 5W-30 slično kao i kod motornih ulja. Pri formuliranju takvih tipova maziva značajan utjecaj ima pravilan izbor baznih ulja. Tendencija je da se više koriste hidrokrekirana bazna ulja (grupa III), kao i napredna

aditivna tehnologija. Velika pažnja mora se usmjeriti prema pravilnom odabiru modifikatora viskoznosti (MV) zbog mogućih oštećenja na mjestu primjene zbog smanjenja sposobnosti dobavljanja ulja do uljne pumpe pri niskim temperaturama, tj. pri „hladnom startu“ motora.

## 2. Pregled specifikacija i zahtjeva UTTO maziva

Razina kvalitete UTTO ulja, kao i njihova radna svojstva, definirana su specifikacijama konstruktora i proizvođača poljoprivrednih i građevinskih strojeva. Originalni proizvođači poljoprivrednih i građevinskih strojeva definiraju postupke za ishođenje dopuštenja za primjenu (“approvala”).

### 2.1 Specifikacije

Specifične konstrukcijske izvedbe poljoprivrednih i građevinskih strojeva uvjetovane su različitostima u specifikacijama pojedinih izvornih proizvođača strojeva i opreme. Poznate specifikacije koje UTTO mazivo mora zadovoljiti jesu:

- API GL-4
- Caterpillar TO-2
- ALLISON C-4
- JOHN DEERE J20C
- CASE NEW HOLLAND CNHMAT3525
- Ford ESN-M2C134-D
- Ford ESN-M2C86-C
- MASSEY FERGUSON CMS M1141/ M1143/ M1145
- ZF TE-ML 03E/05F/06K/17E

### 2.2 Zahtjevi za kvalitetom UTTO maziva

Sve navedene specifikacije definiraju zahtjeve za radnim svojstvima UTTO maziva. Formulacije UTTO maziva zbog svoga širokog spektra primjene trebaju zadovoljiti različite zahtjeve i razinu kvalitete u primjeni. Također trebaju osigurati dobro podmazivanje prijenosnika, diferencijala i zupčanika zadnjeg mosta, sustava prijenosa snage za sustave upravljanja i kočenja. Mora djelovati i kao hidrauličko ulje te osigurati odgovarajuće hlađenje i kontrolu trena za sustav mokrih kočnica i spojki za priključne uređaje. 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 uljnog punjenja.

Osim navedenih primjenskih svojstava UTTO maziva imaju sljedeća radna svojstva:

- dobra reološka svojstva,
- odgovarajuća svojstva zaštite od trenja,
- visoku oksidacijsku stabilnost i toplinsku postojanost,
- zaštitu od korozije,
- zaštitu od trošenja i otpornost na visoka opterećenja,
- kompatibilnost s raznim materijalima,
- dobra svojstva protiv pjenjenja,
- dobra disperzantno-detergentska svojstva.

### 3. Formuliranje UTTO maziva

Pri formuliranju UTTO maziva osnovna komponenta je bazno ulje. Bazno ulje može biti mineralne ili sintetičke osnove. Noviji trendovi su da se osim konvencionalnih baznih ulja mineralne osnove (grupa I) u formulaciji koriste hidrokrekirana bazna ulja (grupa III), čime se lakše formuliraju SAE gradacije viskoznosti 10W-XX ili 5W-XX. Zatim, tu je tehnologija funkcionalnog paketa aditiva koja zadovoljava sve zahtjeve za radnim svojstvima UTTO maziva. Također, dodatno se može koristiti aditiv za snižavanje tećišta (PPD), a za niže viskozne gradacije potrebno je dodati modifikatore viskoznosti (MV). MV zajedno s ostalim aditivima i baznim uljima djeluju tako da se postižu zadovoljavajuća radna svojstva UTTO maziva i na taj način se produžava vijek korištenja maziva. U ovom radu naglasak će se dati na pravilan izbor modifikatora viskoznosti za UTTO maziva.

#### 3.1 Modifikatori viskoznosti

Modifikatori viskoznosti su polimerni spojevi topljivi u ulju, koji se dodaju umjesto teže uljne komponente i osiguravaju ugušćenje, kao i dobru smičnu stabilnost u uvjetima mehaničkih opterećenja. Dodatno, MV povećavaju indeks viskoznosti, čime mazivo postaje manje podložno promjeni viskoznosti s promjenom temperature. Pri visokim temperaturama, hidrodinamičko klupko kojeg stvaraju polimerne molekule se povećava te je veći učinak ugušćenja. Pri nižim temperaturama isto hidrodinamičko klupko se smanjuje te je učinak ugušćenja manji. Mazivo bez MV postaje jako viskozno pri niskim temperaturama, a viskoznost ulja pri visokim temperaturama pada. Potpunim ili djelomičnim smanjenjem korištenja baznih ulja visoke viskoznosti (težih uljnih komponenti) u formulaciji smanjujemo mogućnost pojave kristala i voskova kod primjene pri niskim temperaturama. Takva višegradacijska ulja zadovoljavaju niskotemperaturne zahtjeve kao niskoviskozna ulja u uvjetima niskih temperatura ili pri „hladnom startu“ motora. Zbog manjeg unutarnjeg trenja manje se opterećuje motor i manja je potrošnja goriva. Pri visokim temperaturama mazivo ima odgovarajuću viskoznost i stvara deblji uljni film, te osigurava bolju mazivost i trajnost ulja te zaštitu od trošenja. Osigurava i zaštitu pri podmazivanju u različitim uvjetima primjene. Zbog sve veće osviještenosti o zaštiti čovjeka i okoliša, nove konstrukcije poljoprivrednih i građevinskih strojeva zahtijevaju od maziva kontrolu stvaranja taloga, osiguravaju čistoću mjesta primjene, smanjenje porasta viskoznosti zbog pojave oksidacije i održavanje trajnosti brtvi i frikcijskih materijala [7].

Zbog svega navedenoga MV igraju značajnu ulogu u formuliranju višegradacijskih UTTO maziva niže viskoznosti.

##### 3.1.1 Izbor modifikatora viskoznosti

Izbor pravilnog MV za postizanje optimalnih svojstava za određeno mjesto primjene ovisi o sljedećim svojstvima MV [1,2]:

- Učinak ugušćenja, izražava se indeksom smične stabilnosti (SSI). Što je SSI niži, to je veći efekt ugušćenja:  
$$SSI = (KV_{\text{početna}} - KV_{\text{poslije}}) / (KV_{\text{početna}} - KV_{\text{baznog ulja}}).$$
  
MV više molekulske mase postižu viši efekt ugušćenja.

- Smična stabilnost, odnosno otpornost na gubitak viskoznosti. Izražava se postotkom gubitka viskoznosti =  $(KV_{\text{početna}} - KV_{\text{poslije}}) / KV_{\text{početna}} \times 100$ . MV niže molekulske mase pokazuju bolju smičnu stabilnost. Mazivo mora ostati unutar gradacije viskoznosti i osigurati odgovarajuću mazivost. Razlikujemo privremeni pad viskoznosti, jer se ispitno ulje ponaša kao nenjutnovska tekućina. Najveća dinamička viskoznost pri određenim niskim temperaturama mjeri se metodom Cold Cracking Simulator – CCS (ASTM D 5293). Stalni pad viskoznosti nastaje zbog degradacije molekula polimera i mjeri se metodama na Bosh-brizgaljki (ASTM D 6278) i KRL smičnim testom (DIN 51350-6) sa četiri kugle. Vrijeme trajanja ispitivanja je povećano s 20 h na 100 h. Razgranate molekule MV su osjetljivije na smicanje i pokazuju lošiju smičnu stabilnost. Zbog toga se preporuča MV niže molekulske mase.
- Povećanje indeksa viskoznosti, manja promjena viskoznosti s promjenom temperature tj. potrebno je održati elastohidrodinamički (EHD) sloj maziva u cijelom području radnih temperatura.
- Disperzantna svojstva poboljšavaju se kopolimerizacijom s polarnim monomerima tako da polimeri sadrže i hetero atome (amino spojevi).

### 3.1.2 Tipovi modifikatora viskoznosti [3]

- Poliiobutilen (PIB), prvi je poznati modifikator viskoznosti. Posjeduje dobru oksidacijsku stabilnost i toplinsku postojanost. Također ima dobar učinak ugušćenja, ali lošija niskotemperaturna svojstva. Preporuča se primjena PIB niže molekulske mase.
- Maleinski anhidrid / stiren kopolimer (MSC) nastaje reakcijom stirena i maleinskog anhidrida. Posjeduje veliki učinak ugušćenja, dobra niskotemperaturna svojstva, ali lošija u odnosu na PMA tip. Dodatkom polarnih molekula (amina) poboljšavaju se disperzantna svojstva.
- Olefinski kopolimer (OCP) nastaje polimerizacijom iz etilena i propilena. Ima dobar efekt ugušćenja i toplinsku postojanost pa se dodaje u manjim količinama. Posjeduje lošija niskotemperaturna svojstva. Zbog niske cijene koristi se u formulacijama motornih ulja.
- Stiren / izopren kopolimer (SIP), ima odličnu toplinsku i oksidacijsku stabilnost, kao i disperznost. Zbog lošijeg učinka ugušćenja potrebna je veća količina dodavanja.
- Polialkilmetakrilat (PMA) nastaje se koristi kao modifikator viskoznosti i poboljšivač niskotemperaturnih svojstava (zbog bočnih alkilnih lanaca). Ima izrazito dobru topljivost u različitim tipovima baznih ulja. Povećanjem duljine lanca povećava se učinak ugušćenja, kao i smanjenje pojave kristala. Posjeduje dobru toplinsku postojanost i oksidacijsku stabilnost. Zbog svojih dobrih radnih svojstava ima široku primjenu u različitim mazivima (hidraulika, transmisije). Posjeduje smanjeni učinak ugušćenja pa je potreban viši postotak dodavanja. Dodatkom aminskih spojeva i kopolimerizacijom povećava se svojstvo disperznosti (DPMA).

- Stiren / butadien kopolimer (SBR) posjeduje odličnu toplinsku postojanost i oksidacijsku stabilnost, kao i niskotemperaturna svojstva. Koristi se u modernim formulacijama motornih ulja i pridonosi uštedi goriva. Nedostatak je visoka cijena.
- Hidrogenirani radikalni poliiizopreni (STAR) nastaju kontroliranom radikalnom polimerizacijom. Pokazuju dobru smičnu stabilnost u nižim količinama dodavanja, ali nešto lošija niskotemperaturna svojstva. Također povećavaju indeks viskoznosti, pa se mogu koristiti u baznim uljima visoke viskoznosti [7].

#### 4. Eksperimentalni dio

U radu su ispitani različiti tipovi MV u formulaciji UTTO ulja gradacije viskoznosti 10W-30. Korišten je isti tip funkcionalnog aditiva za sve ispitne formulacije, kao i bazno ulje grupe I. U tablici 1. vidimo osnovna svojstva ispitanih modifikatora viskoznosti.

Tablica 1: Fizikalno - kemijska svojstva modifikatora viskoznosti [7,8]

MODIFIKATORI VISKOZNOSTI (VM)	TIP	KV pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s (ISO 3104)	SSI		
			30 ciklusa (DIN 51 382)	250 ciklusa (DIN 51382)	KRL 20 h (DIN 51350-6)
A	PMA	1520		21	62
B	MSC-D	600	55		80
C	OCP	970	20		15
D	PMA-D	500	1	0	25
E	PO/PIB	790		0	8
F	PMA	1100	4	10	47
G	PMA-D	750			42

Ključni zahtjevi za kvalitetom pri izradi formulacija temelje se na zahtjevima specifikacija za UTTO ulja i to: ZF TE-ML 03E/05F, John Deere J20C, Massey Ferguson M 1143, Case New Holland CNH MAT3525 i Allison C-4 (tablica 2).

Pripremljeno je sedam ispitnih formulacija sa sedam tipova modifikatora viskoznosti oznake FA do FG što je prikazano u tablici 3. Svih sedam formulacija bile su unutar granica gradacije viskoznosti SAE 10W-30 (slike 1-3).

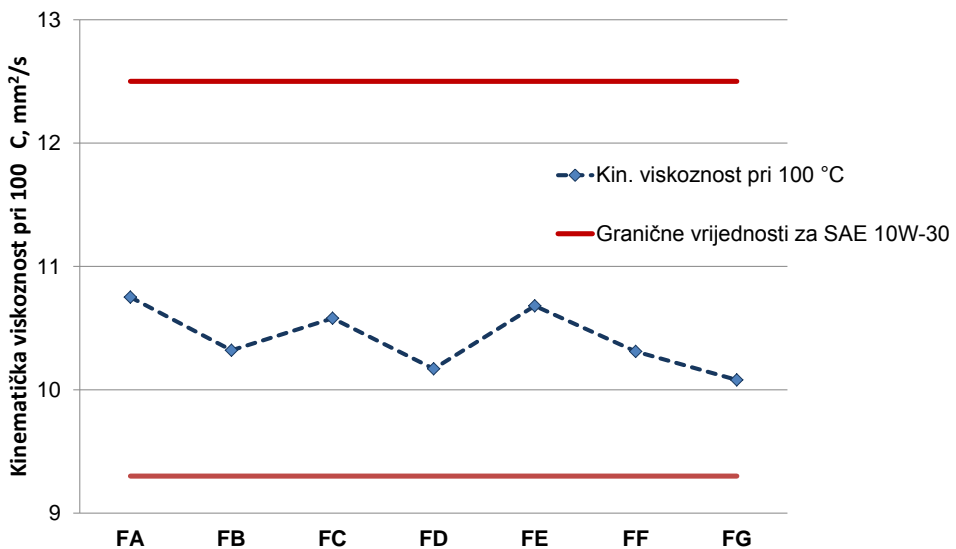
Formulacija E imala je prenizak indeks viskoznosti i dinamičku viskoznost pri -25°C (CCS), dok je formulacija C imala previsoko tecište (slika 4).

Kod preostalih 5 formulacija određivala se smična stabilnost (KRL) nakon 100 h i dvije formulacije su bile ispod graničnih vrijednosti ZF lista (slika 5).

Tablica 2: Ključni zahtjevi UTTO specifikacija

SVOJSTVO	METODA	ZAHTJEVI UTTO SPECIFIKACIJA
Kinematička viskoznost pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	9,3 - 12,5
Indeks viskoznosti, VI	ISO 2909	Najmanje / min. 140
Tecište / °C	ISO 3104	Najviše / max. -36
Dinamička viskoznost pri -25, mPa s (CCS)	ASTM D 5293	Najviše / max. 7000
Smična stabilnost - KV pri 100 °C poslije 100 h testa (KRL), mm <sup>2</sup> /s	DIN 51350-6	Najmanje / min. 6,5

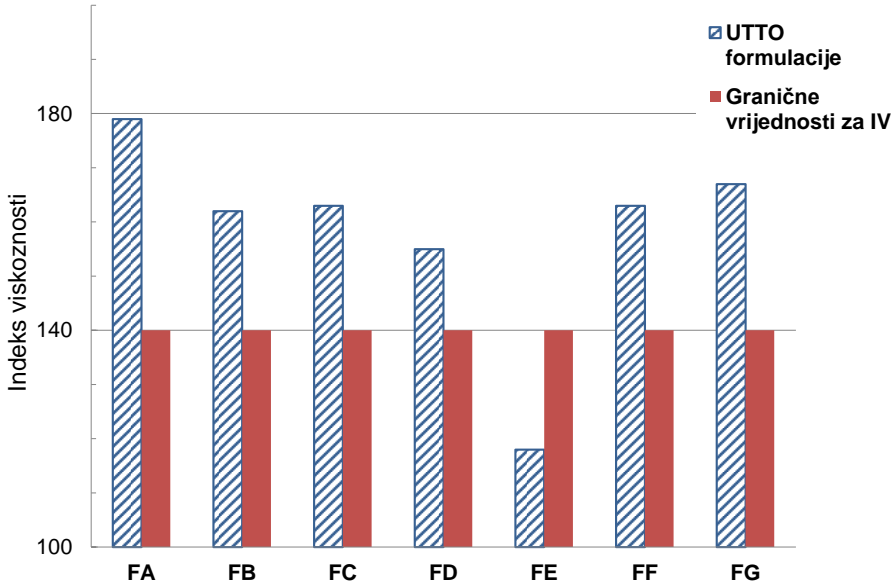
Slika 1: Kinematička viskoznost pri 100 °C ispitnih formulacija F(A-G)



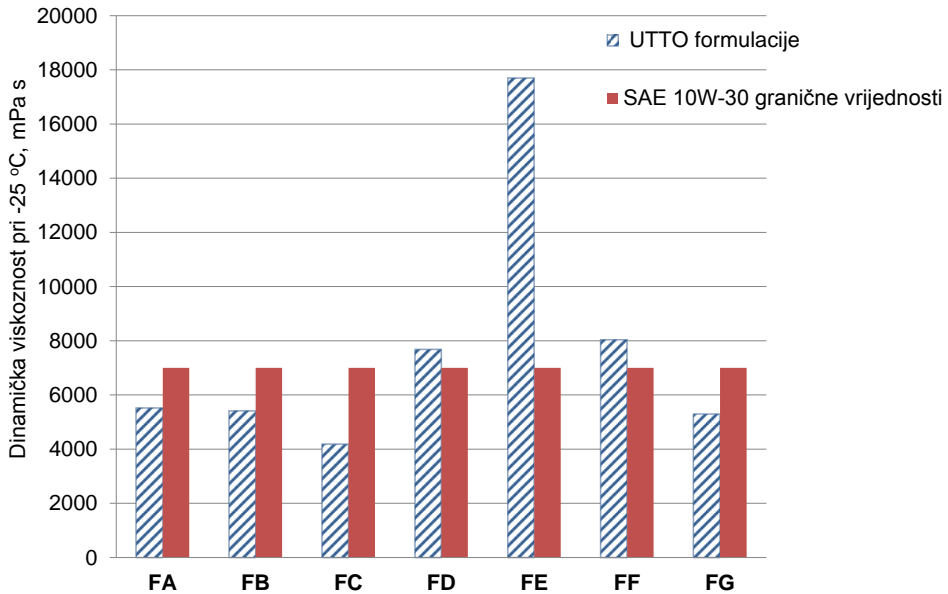
Tablica 3: Ispitane formulacije maziva

MODIFIKATORI VISKOZNOSTI, %	ISPITNE FORMULACIJE						
	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG
MA	5.80						
MB		5.00					
MC			10.00				
MD				8.70			
ME					8.00		
MF						5.00	
MG							10.00
Paket aditiva	+	+	+	+	+	+	+
Depresant tećišta	+	+	+	+	+	+	+
Bazno ulje grupa I	+	+	+	+	+	+	+
FIZIKALNO - KEMIJSKA SVOJSTVA							
Kinematička viskoznost pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	10,75	10,32	10,58	10,17	10,68	10,31	10,08
Kinematička viskoznost pri 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	57,91	59,81	61,36	60,86	80,47	59,59	56,05
Indeks viskoznosti	179	162	163	155	118	163	167
Tecište, °C	-45	-39	-33	-51	-39	-45	-51
Dinamička viskoznost pri -25 °C, mPa s (CCS)	5530	5420	4180	7240	17700	8040	5290
Dinamička viskoznost pri -18 °C, mPa s (Brookfield)	2100	2964	3199	2999	3799	3199	1900
HSHT viskoznost	3,56	3,24	3,33	3,37	3,52	3,45	3,64
Smična stabilnost, KV pri 100 °C, poslije 100 h testa (KRL), mm <sup>2</sup> /s	5,90	6,70		7,20		5,85	6,75

Slika 2: Indeks viskoznosti ispitnih formulacija F(A-G)

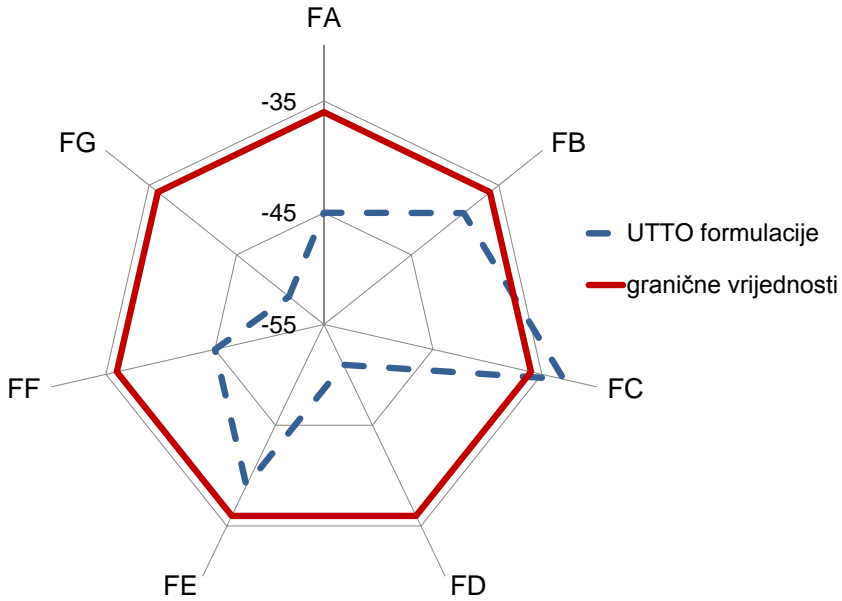


Slika 3: Dinamička viskoznost ispitnih formulacija F(A-G) pri -25°C (CCS)

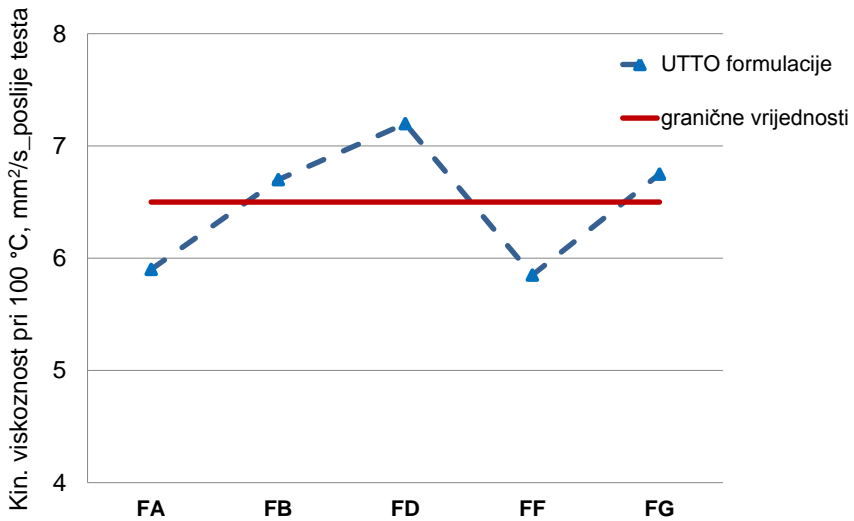




Slika 4: Tecište

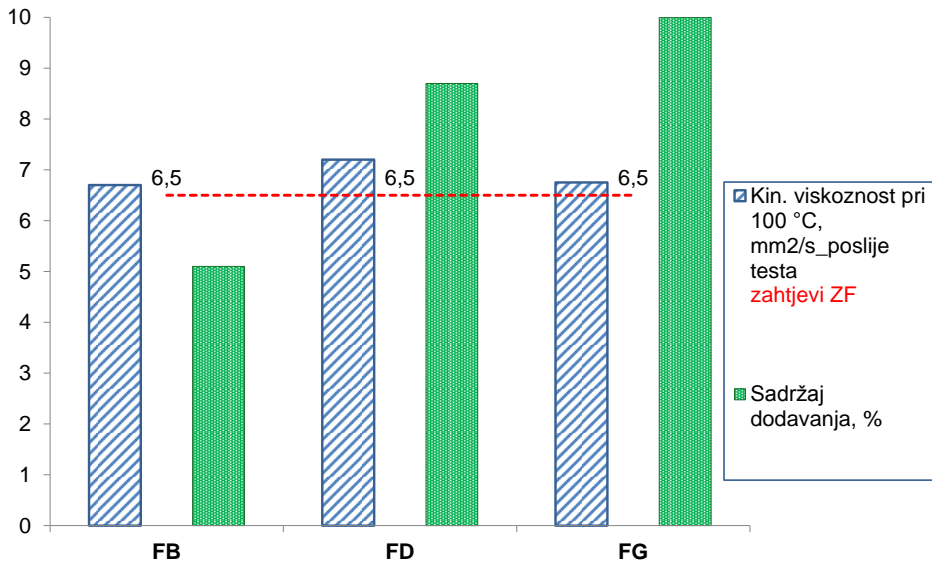


Slika 5: Smična stabilnost (KRL)



Od preostale tri formulacije, koje su zadovoljile sve granične uvjete specifikacija UTTO maziva, odabrana je formulacija FB jer je količina dodavanja bila najniža.

Slika 6: Odabrane formulacije UTTO maziva



## 5. Primjensko ispitivanje

Odabrana formulacija FB ispitana je u primjeni u traktoru SAME-DEUTZ 90, Primjensko ispitivanje je trajalo 17 mjeseci i traktor je prešao 1260 radnih sati.

### 5.1 Cilj primjenskog ispitivanja

- utvrditi optimalni interval izmjene UTTO maziva, s ciljem produljenja iznad 1000 radnih sati,
- pratiti kvalitetu maziva tijekom primjenskoga ispitivanja u skladu s postavljenim kriterijima prihvatljivosti,
- utvrditi ponašanje komercijalnog višegradacijskog UTTO maziva u teškim uvjetima primjene (opterećenja zbog nosivog tereta i brdovitog terena),
- smanjenje troškova nabave maziva, skladištenja i troškova održavanja vozila, a s tim u vezi i smanjenje troškova zbrinjavanja rabljenog maziva i ambalaže.

### 5.2 Dinamika uzimanja uzoraka

Uzroci su uzimani nakon 20, 300, 450, 650, 900 i 1260 radnih sati.

Primjensko ispitivanje trajalo je 17 mjeseci, zbog neujednačenog korištenja traktora zbog vremenskih uvjeta.

### 5.3 Kriteriji prihvatljivosti

Kao kriterij prihvatljivosti za višegradacijsko UTTO mazivo SAE gradacije viskoznosti 10W-30 korištene su granične vrijednosti koje određuju proizvođači opreme, a također i prijašnja iskustva stručnjaka iz domaće naftne kompanije u primjenskim ispitivanjima maziva (tablica 4). Konačni kriteriji prihvatljivosti (definirane donje i gornje granične vrijednosti) bit će postavljeni na kraju primjenskog ispitivanja.

Tablica 4: Kriteriji prihvatljivosti za ispitna maziva

SOJSTVA	METODE ISPITIVANJA	KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI
Kinematička viskoznost pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	najmanje / min. 6,5 mm <sup>2</sup> /s
Korozivnost (Corrosion), Cu / 3 h pri 120 °C	ISO 2160	najviše / max. 2
Kiselinski broj, mg KOH/g	ISO 6618	± 50 % od početne vrijednosti
Sadržaj Fe, mg/kg	Vlastita metoda EDX	najviše / max. 200
Sadržaj Pb, mg/kg	Vlastita metoda EDX	najviše / max. 200

### 5.4 Provedba primjenskoga ispitivanja i rezultati

Tijekom primjenskoga ispitivanja provedena su kompletna fizikalno-kemijska i mehaničko-dinamička ispitivanja svih ispitnih uzoraka UTTO maziva (tablica 5). Rezultati ispitivanja su sabrani u tablice i obrađeni grafički.

**Kinematička viskoznost** – kao jedna od najvažnijih osobina maziva, predstavlja mjeru unutrašnjeg trenja, koja djeluje kao otpor na promjenu položaja molekula maziva pod utjecajem smičnog naprezanja. Ovisna je o temperaturi i tlaku. Odnos viskoznosti i gustoće naziva se kinematička viskoznost. Donja granična vrijednost za kinematičke viskoznosti je 6,5 mm<sup>2</sup>/s. Tijekom primjenskog ispitivanja kinematička viskoznost nije se značajnije mijenjala. Nakon početnog pada, ustalila se unutar kriterija prihvatljivosti (slika 7).

**Kiselinski broj** – kao pokazatelj aditiviranosti ulja nije se značajnije mijenjao tijekom primjenskoga ispitivanja. Njegova promjena je bila manja od 50 % početne vrijednosti. U početku dolazi do njegovog laganog pada zbog trošenja paketa aditiva, a nakon toga do porasta zbog oksidacije maziva (slika 8).

**Sadržaj metala** – tijekom primjenskog ispitivanja praćen je porast sadržaja željeza i olova u ispitnom ulju zbog trošenja. Uočeni sadržaj navedenih metala bio je ispod 200 mg/kg, što nam pokazuje da mazivo osigurava dobra svojstva zaštite od trošenja (slika 9). Također je energijsko – disperzivnom rendgenskom fluorescentnom spektrometrijom (EDX) određivan i sadržaj teških metala (Cr, Ni, Cd) te je također uočen njihov niski sadržaj.

Tablica 5: Rezultati primjenskog ispitivanja

UZORAK	149/13 6.3. 2013.	173/13 27.6. 2013.	234/13 19.8. 2013.	279/13 09.10. 2013.	42/14 22.1. 2014.	210/14 16.7. 2014.	310/14 13.11. 2014.
<b>SATI RADA, h</b>		20	300	450	650	900	1260
Kinematička viskoznost ( $\nu$ ) pri 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	59,81	52,67	50,02	49,68	48,57		49,56
$\nu$ pri 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	10,32	8,50	8,04	7,92	7,65	7,33	7,68
Promjena $\nu$ pri 100 °C, %			5,41	6,82	10,00	13,76	9,65
Indeks viskoznosti	162	137	131	128	123		121
Plamište, °C	216	210					
Tecište, °C	< -38	< -38	-36	-42	-39		-36
Dinamička viskoznost ( $\eta$ ) pri -18 °C, mPa s	2964						
$\eta$ pri -20 °C, mPa s	3539						
$\eta$ pri -35 °C, mPa s	28594						
$\eta$ pri -25 °C, mPa s (CCS)	6720						
Kiselinski broj (TAN), mg KOH/g	1,41	1,34	1,55	1,54	1,40	1,65	1,73
Promjena KB, %			-15,67	-14,93	-4,48	-23,13	-29,10
Bazni broj (TBN), mg KOH/g		9,5	9,2	9,5	9,00	9,3	8,7
Korozija pri 100 °C /3h/Cu	1b	1b+	1a	1a	1b		1a
Izgled i boja	BSS <sup>1</sup>		BTS <sup>2</sup>	BTS <sup>2</sup>	BTS <sup>2</sup>	BTS <sup>2</sup>	BTS <sup>2</sup>
Sadržaj vode i meh. nečistoća, %	0	0	VMT <sup>3</sup>	VMT <sup>3</sup>	VMT <sup>3</sup>	VMT <sup>3</sup>	0,3
Srednji prom. istrošenja, mm	0,43	0,43	0,52	0,44	0,63	0,64	0,60
Sadržaj kalcija, %	0,38	0,34	0,32	0,34	0,31	0,34	0,29
Sadržaj cinka, %	0,15	0,14	0,13	0,14	0,12	0,14	0,19
Sadržaj Fe, mg/kg	0	3	3	59	32	43	84
Sadržaj olova, mg/kg	0	0	0	<3	<3	4	8
Sadržaj bakra, %	0	0,0003	0,0117	0,0152	0,0178	0,0327	0,0313
Netopivo u n-pentanu, %		0,008	0,001	0,029	0,014	0,008	0,014
IR spektar	Tipičan	Tipičan	VMP <sup>4</sup>	VMP <sup>4</sup>	VMP <sup>4</sup>	VMP <sup>4</sup>	VMP <sup>4</sup>

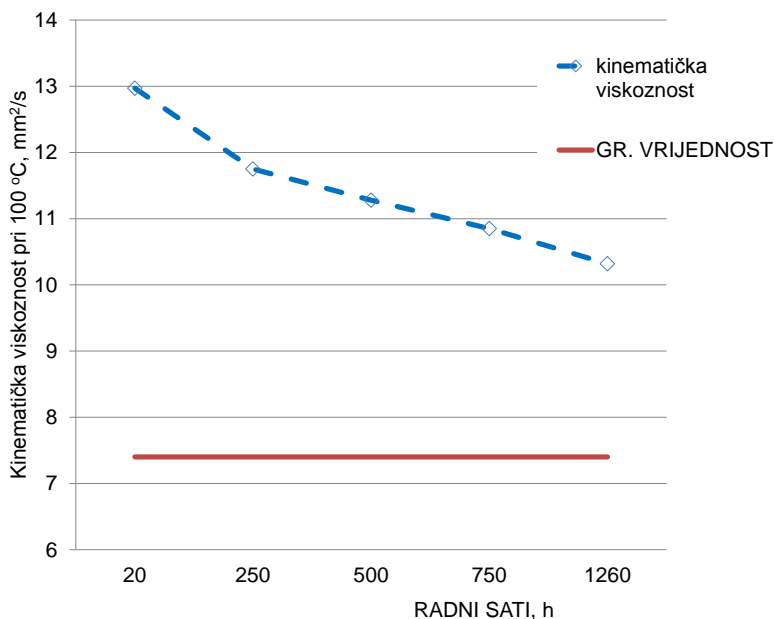
<sup>1</sup> BSS = bistro svijetlo smeđe, <sup>2</sup> BTS = bistro tamno smeđe, <sup>3</sup> VMT = vrlo mali trag,

<sup>4</sup> VMP = vrlo male promjene

**Sadržaj kalcija i cinka** – preko sadržaja tih elemenata pratio se sadržaj aditiva u mazivima tijekom primjene. I nakon 1260 radnih sati bila je prisutna odgovarajuća aditivacija i nije došlo do značajnijeg pada zbog uporabe.

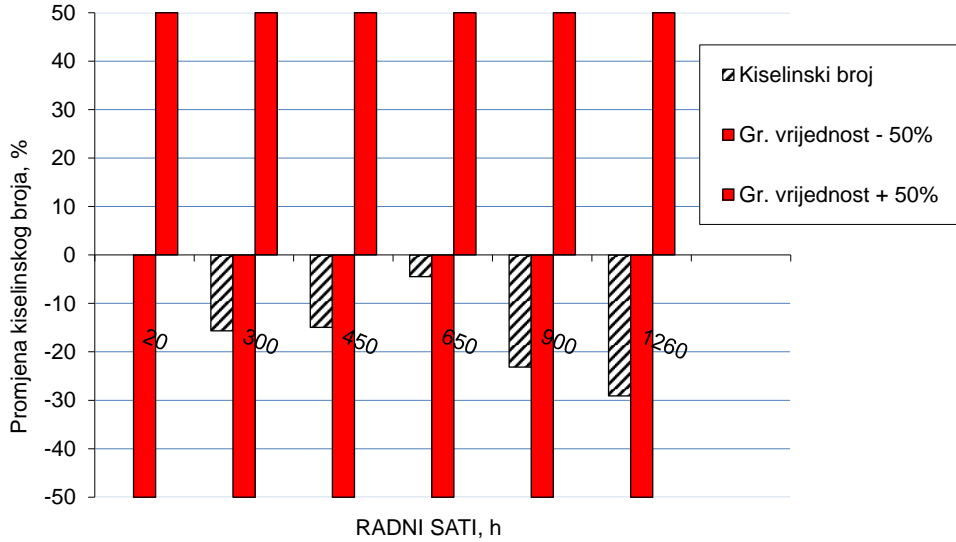
**Srednji dijametar istrošenja** – uzorci maziva bili su podvrgnuti i mehaničko-dinamičkim ispitivanjima svojstava nosivosti mazivog sloja. U ispitnom uređaju sa četiri kugle nalazi se, u obliku tetraedra, jedna rotirajuća i 3 nepokretne kugle istog materijala i dimenzija. Sustav kugli nalazi se u držaču, koji se može opteretiti, a napunjen je ispitivanim uljem. Kod ispitivanja srednjeg dijametara istrošenja opterećenje je standardizirano (1200 o/min, 392 N, 75 °C, 1 h). Nakon provedenog ispitivanja mjeri se promjer istrošenja kuglice. Što je čvršći mazivi sloj, do zavarivanja kuglica dolazi pri višem opterećenju i trošenje je manje. Tijekom primjenskog ispitivanja nije došlo do značajnijeg povećanja srednjeg dijametara istrošenja u odnosu na svježiji uzorak [4,5].

Slika 7: Kinematička viskoznosti pri 100 °C tijekom primjenskog ispitivanja

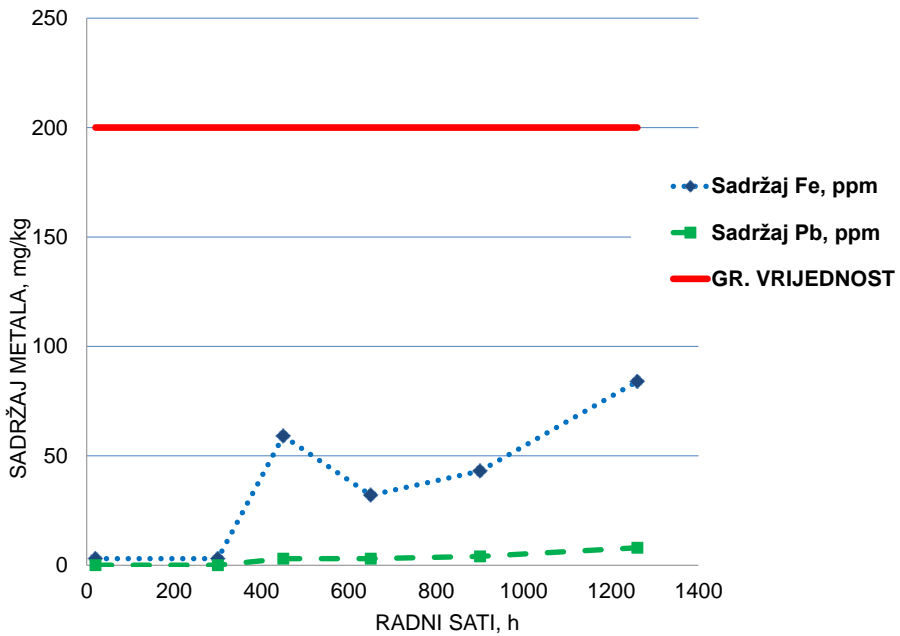


Također se određivao sadržaj vode i mehaničkih nečistoća te je utvrđeno da su bile prisutne u tragovima. Od uzorka uzetih na kraju primjenskog ispitivanja određivan je sadržaj netopivog u n-pentanu. Niske vrijednosti ukazuju da mazivo sprečava nastajanje taloga i održava čistoću zupčastih prijenosnika. Kod uzoraka se ispitivala i korozivnost na bakru i ona je bila do najviše 1b. Usporedno sa svježim uzorkom za svaki reduktor napravljen je IR spektar maziva. Uočene su vrlo male ili nikakve promjene na spektru.

Slika 8: Promjena kiselinskog broja tijekom primjenskog ispitivanja



Slika 9: Sadržaj željeza i olova tijekom primjenskog ispitivanja



## 6. Zaključak

Ispitivanjem različitih tipova modifikatora viskoznosti kao i odabranih formulacija u primjenskom ispitivanju i na osnovi informacija od krajnjeg korisnika može se zaključiti slijedeće:

- trendovi razvoja UTTO maziva idu u smjeru veće primjene višegradacijskih i nižih gradacija viskoznosti,
- kod formuliranja UTTO ulja posebnu pažnju treba posvetiti ključnim parametrima modifikatora viskoznosti,
- najbolji rezultati dobiju se primjenom modifikatora viskoznosti tipa MSC i PAMA disperznog tipa,
- pravilnim izborom modifikatora viskoznosti značajno se doprinosi poboljšanju radnih svojstava UTTO maziva,
- zadovoljavajući tijek primjenskog ispitivanja,
- interval zamjene produljen je za 25 %, to jest s 1000 na 1250 radnih sati.

## Literatura

1. I. ZAMBERLIN: *Aditivi za maziva, Maziva i podmazivanje*, Jugoma, Zagreb, 1986 (str. 220-226).
2. N. CANTER: *Viscosity Index Improvers*, 2011, (str. 10-22).
3. J. Cerny, I. Vaclavickova: *Shear stability of motor oil*, Goriva i maziva, 45, 2006, (str. 315-330).
4. V. IVUŠIĆ: *Tribologija*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2002.
5. *Glosary of terms and definitions in the field of friction, wear, lubrication and tribology*, OECD Publications, Paris, 1969.
6. D. OESTERLE: *Tribology and Lubrication Tehnology*, Lubrizol, 2006.
7. Tehnička dokumentacija, Lubrizol.
8. Tehnička dokumentacija, Evonik.
9. Tehnička dokumentacija, INA Maziva d.o.o.

## Autori

Tonča Čaleta Prolić, dipl. ing., Miroslav Felja, dipl. ing., Renata Petek Grahovac, Anđelko Lepušić  
INA MAZIVA d.o.o., Radnička cesta 175, 10000 Zagreb, Hrvatska  
Tonca.caleta-prolic@ina.hr

## Primljeno

7.5.2015.

## Prihvaćeno

16.7.2015.