

Tonća Čaleta Prolić et al.

ISSN 0350-350X

GOMABN 47, 4, 481-500

Stručni rad / Professional paper

UDK 621.892.28.099.21 : 620.169.1 : 625.46 : 621.833.1/22.061.004.58 .004.53 .004.18

PRIMJENSKO ISPITIVANJE SINTETIČKOG ULJA ZA ZUPČANIČKE PRIJENOSNIKE U NISKOPODNIM TRAMVAJIMA U SVRHU PRODULJENJA INTERVALA ZAMJENE

Sažetak

Razvoj novih konstrukcija zupčaničkih prijenosnika, novi zahtjevi za kvalitetom, kao i razvoj ekološke svijesti utjecali su na formuliranje sintetičkih ulja za zupčaničke prijenosnike, koja imaju produljeni vijek zamjene.

Praćenje radnih svojstava maziva u primjeni i analiza dobivenih rezultata omogućava pravodobnu izmjenu maziva. Na taj način se smanjuju troškovi održavanja i nabave maziva, a sami proizvođači maziva dobivaju informacije o ponašanju proizvoda u primjeni kao podloge za daljnje unapređenje proizvoda.

U radu su prezentirani rezultati primjenskog ispitivanja sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike u niskopodnom tramvaju tip TMK 2200 koje je provedeno s ciljem određivanja optimalnog vremena korištenja maziva.

1. Uvod

Maziva ulja za zupčaničke prijenosnike koriste se kao sredstvo za podmazivanje u širokom spektru primjene, u teško opterećenim prijenosnicima, kao što su mjenjači i diferencijali teško opterećenih komercijalnih vozila i reduktorima tramvaja.

Razvoj novih konstrukcija zupčaničkih prijenosnika, novi zahtjevi za kvalitetom, kao i razvoj ekološke svijesti utjecali su na razvoj sintetičkih ulja za zupčaničke prijenosnike koji imaju produljeni vijek zamjene. S tim u svezi dolazi do smanjenja troškova održavanja i nabave maziva. Sami proizvođači maziva dobivaju korisne informacije o ponašanju maziva u primjeni kao osnovu za poboljšanje formulacija i određivanje optimalnog vremena korištenja maziva na mjestu primjene.

2. Mjesto primjene – sustav za ispitivanje maziva

Kao mjesto primjene sintetičkog maziva za zupčaničke prijenosnike odabrani su zupčanički prijenosnici niskopodnog tramvaja tip TMK 2200. Svaki tramvaj ima po 6 glavnih i 6 pomoćnih bočnih reduktora (Henschel). Radi usporedivosti rezultata

primjensko ispitivanje se provodilo na dva niskopodna tramvaja. Vozna postolja su proizvedena s asinkronim pogonskim motorima bez osovine između kotača, čime je ostvarena stopostotna niskopodnost (slika 1).

Karakteristike niskopodnog tramvaja tip TMK 2200 su prikazane u tablici 1, a pogonski mehanizam na slici 2.

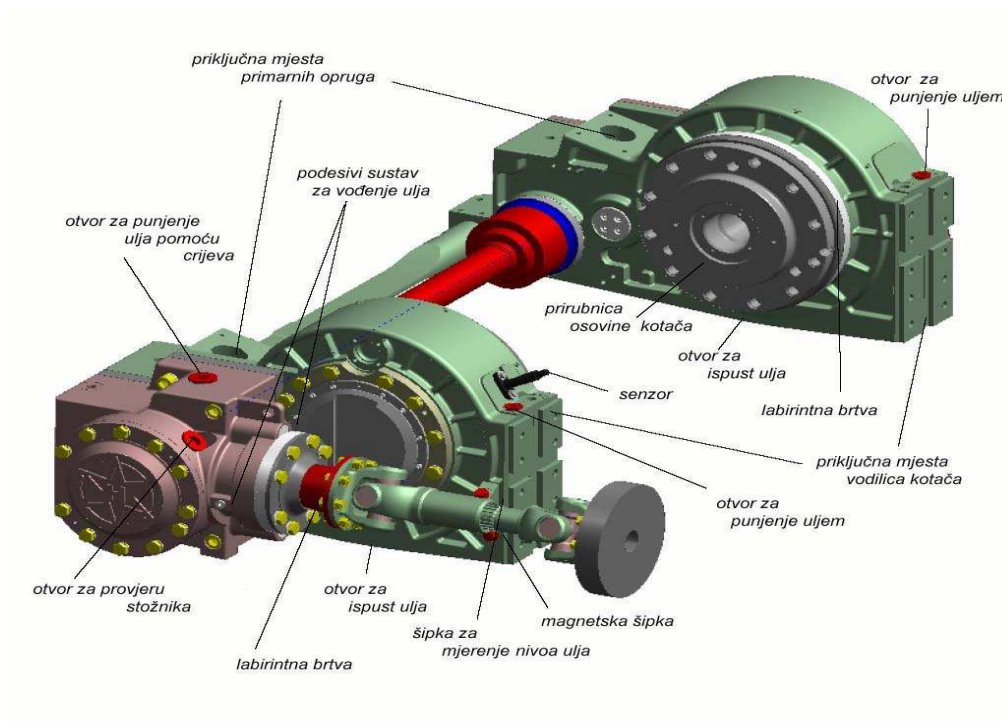


Slika 1: Niskopodni tramvaj

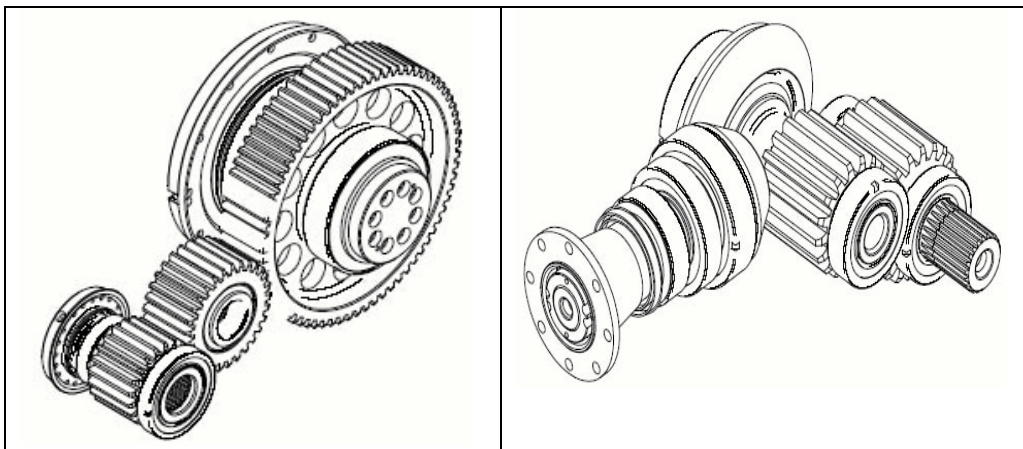
Trostupanjski zupčanički prijenosnik A (glavni reduktor) tvori par stožastih zupčanika s helikoidnim zubima i dva para ravno ozubljenih čelnika (slika 3a). Prijenosni omjer (od osi zglobnog vratila do osi kotača) je 7,46. Zglobno vratilo je vezano na manji stožnik. S vratila se između drugog i trećeg čelničskog para prenosi jedan dio zakretnog momenta trećim čelničkim parom (s međuzupčanikom) na osovinu kotača, a drugi dio momenta poprečnim vratilom na zupčanički prijenosnik B (pomoćni reduktor). Prijenosnik B povezuje poprečno vratilo s osovinom kotača B. Jednostupanjski prijenosnik B tvori zupčanički par (s međuzupčanikom) uz prijenosni omjer 3,27 (slika 3b). [7]

Tablica 1: Karakteristike niskopodnog tramvaja tip TMK 2200 [4], [6]

Proizvođač:	CROTRAM (konzorcij KONČAR I GREDELJ)
Snaga motora:	65 kWh
Broj okretaja e.m.:	4200 o/min
Broj reduktora:	12 (6 glavnih + 6 pomoćnih reduktora)
Masa vozila:	40 t ± 5%



Slika 2: Pogonski mehanizam niskopodnog tramvaja [6]



Slika 3 a: Zupčanički prijenosnik A (glavni reduktor)

Slika 3 b: Zupčanički prijenosnik B (pomoćni reduktor)

3. Mazivo

3.1 Opći podaci i svojstva maziva

Nove konstrukcije vozila sa snažnim motorima moraju zadovoljiti sve strožije ekološke zahtjeve. Moraju imati što manju masu praznog vozila uz povećani vozni kapacitet. Ti faktori utječu na povećanje naprezanja u zupčaničkim prijenosnicima. Zbog svega navedenoga koriste se sintetička zupčanička maziva sa visokom sposobnošću podnošenja opterećenja, s dobrom oksidacijskom i termičkom stabilnošću, zaštitom od korozije i trošenja, te dobrim niskotemperaturnim svojstvima.

Mazivo navedenih svojstava se koristilo u ovom primjenskom ispitivanju. Radi se o domaćem proizvodu dobivenom iz sintetičkog baznog ulja i posebno odabranih aditiva, koji mu daju svojstva u skladu sa zahtjevima novih konstrukcija vozila.

3.2. Razina kvalitete - specifikacije

Sintetičko ulje za zupčaničke prijenosnike ima sljedeću razinu kvalitete i zadovoljava sljedeće specifikacije koje definiraju postupke za ishođenje dopuštenja za primjenu originalnih proizvođača opreme (OEM).

SAE 75W-90

API GL-4/GL-5

API MT-1

MIL-PRF-2105E

ZF TE-ML 02B, 05B, 12B, 16F, 17B, 19C, 21B (dopuštenja za primjenu)

MAN M 3343 Typ S (dopuštenje za primjenu)

MAN 341 Typ E3 (dopuštenje za primjenu)

Mack GO-J

Scania STO 1:0

4. Primjensko ispitivanje

4.1 Cilj primjenskoga ispitivanja:

- utvrditi optimalni interval izmjene sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike,
- pratiti kvalitetu maziva tijekom primjenskoga ispitivanja u skladu s postavljenim kriterijima prihvatljivosti,
- utvrditi ponašanje komercijalnog sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike domaće proizvodnje u prijenosnicima niskopodnog tramvaja u uvjetima učestalog pokretanja i kočenja radi stajališta i prometnih uvjeta,
- smanjenje troškova nabave maziva, skladištenja i troškova održavanja vozila, a s tim u vezi i smanjenje troškova zbrinjavanja rabljenog maziva i ambalaže.

4.2 Dinamika uzimanja uzoraka

Uzorci maziva su uzimani nakon 10000, 20000, 30000, 40000, 50000, 60000, 70000 i 80000 prijeđenih kilometara. Primjensko ispitivanje traje još i dalje u vrijeme izdavanja ovog rada. Radi usporedivosti rezultata primjensko ispitivanje provedeno

je u 2 niskopodna tramvaja tip TMK 2200. Uzorci su uzimani iz glavnih i pomoćnih bočnih reduktora u količini od 0,3 l. Rezultati su evidentirani u tablicama za svaki od 12 reduktora (6 glavnih i 6 pomoćnih). Tramvaj je prosječno tjedno prelazio 1000 km, uključujući plansko preventivno održavanje. Primjensko ispitivanje trajalo je do sada 15 mjeseci. Za svaki tramvaj uzeto je 108 uzoraka (9 uzoraka za svaki od 12 reduktora). Za primjensko ispitivanje utrošeno je preko 2200 radnih sati u laboratoriju.

4.3 Kriteriji prihvatljivosti za sintetičko zupčaničko ulje gradacije SAE 75W-90

Kao kriterij prihvatljivosti za maziva uzete su granice koje daju proizvođači opreme, a također i ranija iskustva stručnjaka iz domaće naftne kompanije u primjenskim ispitivanjima maziva (tablica 2). Konačni kriteriji prihvatljivosti bit će postavljeni na kraju primjenskog ispitivanja.

Tablica 2: Kriteriji prihvatljivosti maziva

SVOJSTVO	ISPITNE METODE	KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI
Kinematička viskoznost kod 100°C, mm ² /s	ISO 3104	± 15 % početne vrijednosti, najmanje 13,50 mm ² /s (viskozna gradacija SAE 90)
Korozivnost prema Cu, 3h/120 °C	ISO 2160	najviše 2
Kiselinski broj, mg KOH/g	ISO 6618	± 50 % početne vrijednosti
Količina željeza (Fe), mg/kg	VLASTITA METODA EDX	najviše 200
Količina olova (Pb), mg/kg	VLASTITA METODA EDX	najviše 200

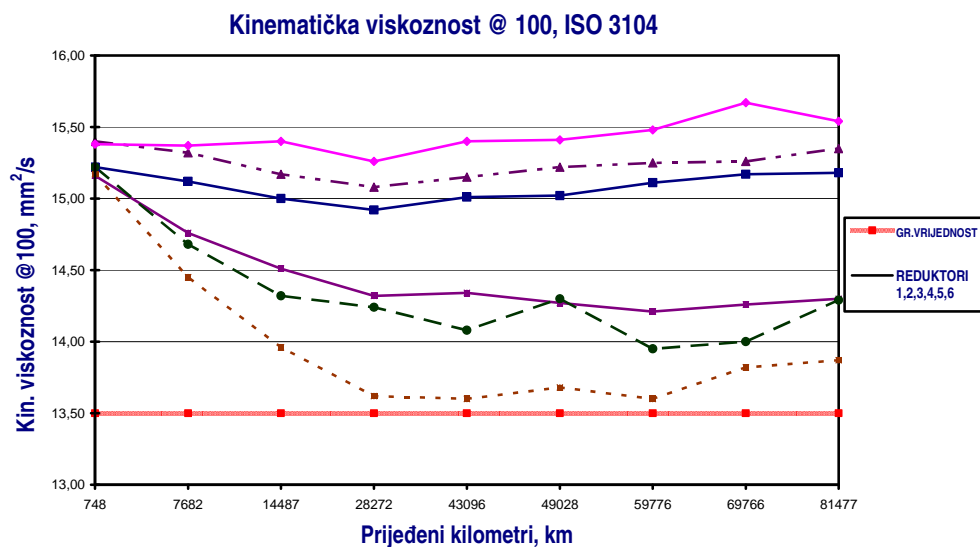
4.4 Provedba primjenskoga ispitivanja i rezultati

Tijekom primjenskoga ispitivanja za svaki glavni i pomoćni reduktor napravljena su kompletna fizikalno-kemijska i mehanička ispitivanja. Rezultati ispitivanja dati su u tablicama i obrađeni su grafički. Zbog velike količine podataka i obujma primjenskog ispitivanja u radu će biti prikazan samo dio rezultata za jedan tramvaj. Fizikalno-kemijska i mehanička svojstva svježeg maziva dana su u tablici 3 uz pripadajuće metode, a za pojedina svojstva postavljeni su i kriteriji prihvatljivosti (tablica 2).

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. Promjena kinematičke viskoznosti ne bi trebala prelaziti više od 15 % u usporedbi sa svježim mazivom. Za viskoznu gradaciju SAE 90, donja granica je 13,50 mm²/s. Tijekom primjenskog ispitivanja kinematička viskoznost nije se značajnije mijenjala. Nakon početnog pada ustalila se, te je bila unutar kriterija prihvatljivosti (slika 4).

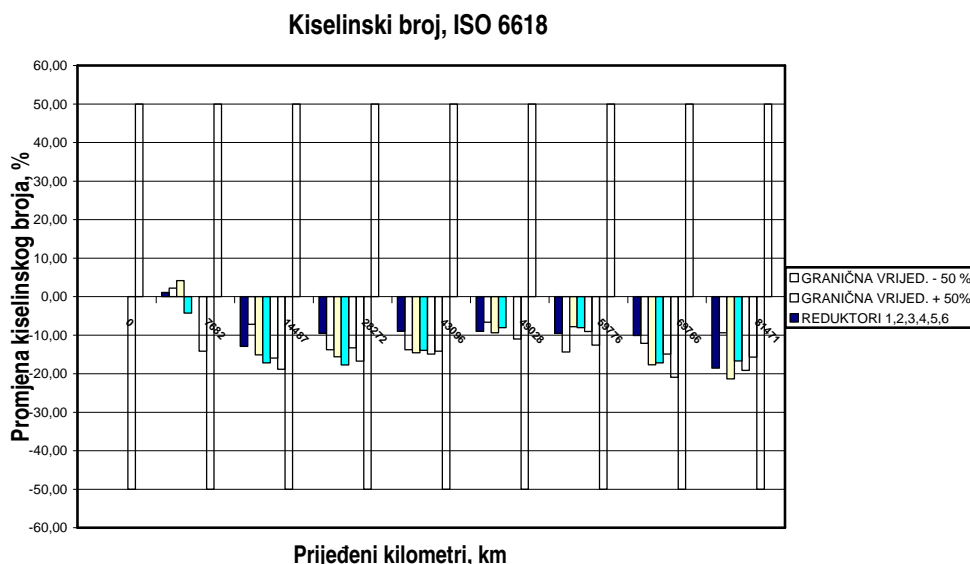
Tablica 3: Tipična svojstva svježeg sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike [5]

SVOJSTVO	ISPITNA METODA	ISPITNO MAZIVO
Kinematička viskoznost kod 40°C, mm ² /s	ISO 3104	105,36
Kinematička viskoznost kod 100°C, mm ² /s	ISO 3104	15,39
Indeks viskoznosti	ISO 2909	154
Dinamička viskoz. (Brookfield) kod -40°C, mPas	ASTM D 2983	65 000
Korozija Cu / 3h/ 120°C	ISO 2592	1a
Kiselinski broj, mgKOH/g	ISO 6618	1,46
Količina sumpora, %	HRN EN ISO 8754	2,07
Srednji dijametar istrošenja, mm	ASTM D 4172	0,50
Fe, mg/kg Pb Cr Ni Sn Cu Zn Ba	vlastita metoda (EDX)	< 3 < 3 < 3 4 < 3 < 3 19 < 11
Izgled i boja	vizualno	bistro, smeđe ulje



Slika 4: Kinematička viskoznost pri 100°C

Kiselinski broj – kao pokazatelj aditiviranosti ulja nije se značajnije mijenjao tijekom primjenskoga ispitivanja. Njegova promjena je bila manja od 20% početne vrijednosti. U početku dolazi do njegovog laganog pada zbog trošenja funkcionalnih aditiva, a nakon toga do porasta zbog oksidacije maziva (slika 5).



Slika 5: Promjena kiselinskog broja tijekom primjenskog ispitivanja

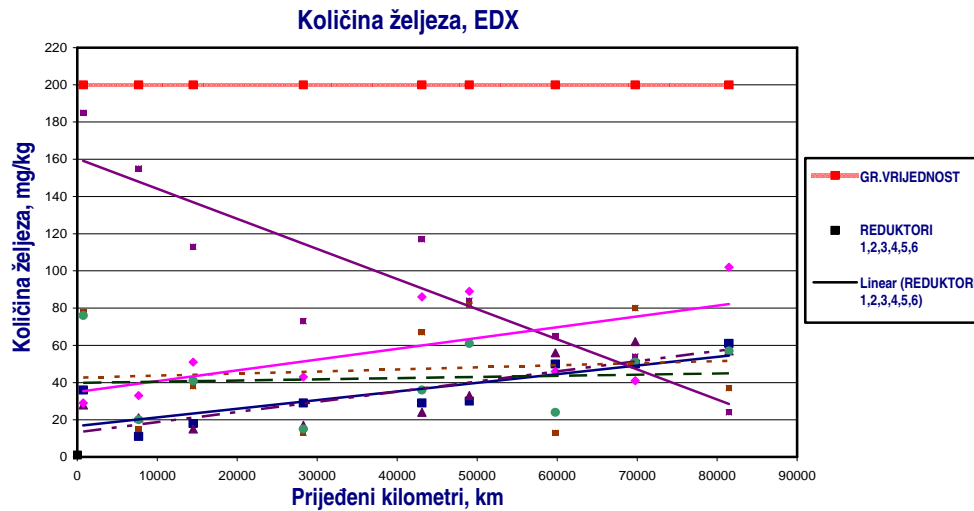
Količina metala – tijekom primjenskog ispitivanja praćena je količina željeza i olova zbog trošenja bokova zuba. Njihova količina je bila niska, ispod 200 mg/kg, što nam pokazuje da mazivo ima dobra svojstva zaštite od trošenja (slika 6). Količina željeza od 160 ppm u jednom uzorku posljedica je neispravnog sustava od prethodno korištenog ulja.

Također je energijsko – disperzivnom rendgenskom fluorescentnom spektrometrijom (EDX) provjeravan i sadržaj teških metala (Cr, Ni, Cd) te je njihov sadržaj bio nizak.

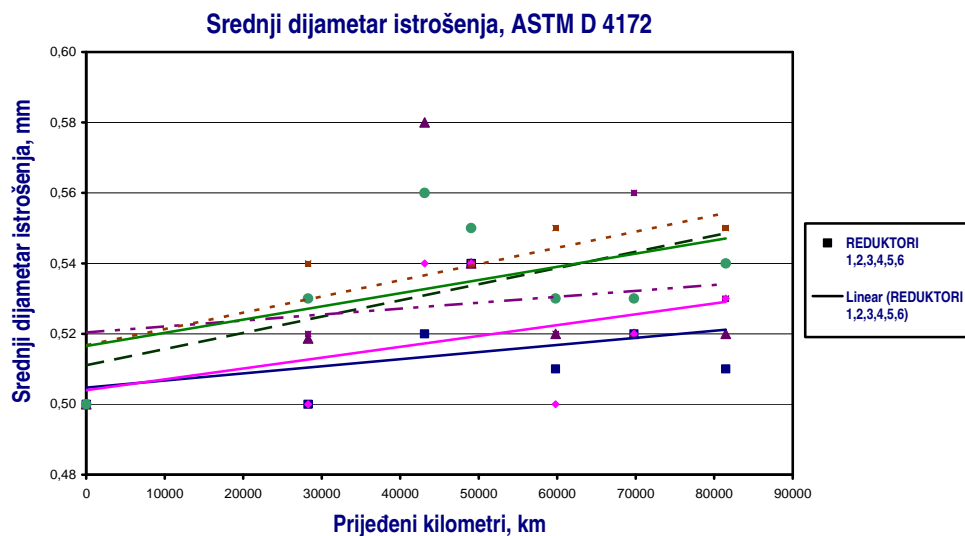
Sadržaj sumpora – preko sadržaja sumpora pratila se aditiviranost maziva tijekom primjene. I nakon 70000 prijeđenih kilometara bila je prisutna aditivacija i nije došlo do značajnijeg pada zbog uporabe.

Srednji dijametar istrošenja – uzorci maziva bili su podvrgnuti i mehaničkim ispitivanjima svojstava nosivosti mazivog sloja. U aparatu sa 4 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 ispitnim uljem. Kod ispitivanja srednjeg dijametara istrošenja opterećenje je standardizirano (1200 min^{-1} , 392 N, 75 °C, 1h). Nakon provedenog ispitivanja mjeri se promjer istrošenja kuglice. Što je čvršći mazivi sloj, pri višem opterećenju dolazi do zavarivanja kuglica

i trošenje je manje. Tijekom primjenskog ispitivanja nije došlo do značajnijeg povećanja srednjeg dijametra istrošenja u odnosu na svježji uzorak (slika 7).



Slika 6: Količina željeza tijekom primjenskog ispitivanja



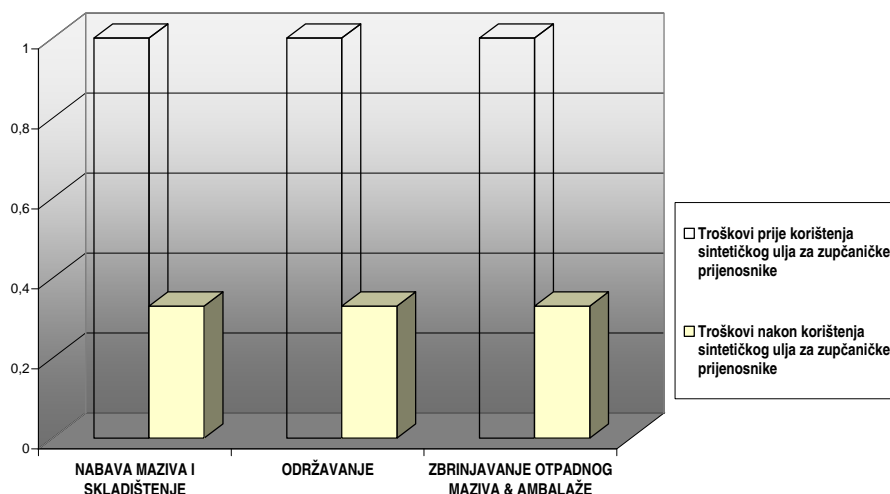
Slika 7: Srednji dijametar istrošenja tijekom primjenskog ispitivanja

Također se pratila prisutnost vode i mehaničkih nečistoća i one su bile u tragovima. Od uzorka na kraju primjenskog ispitivanja napravljena je količina netopljivog u n-pentanu. Niske vrijednosti ukazuju da mazivo sprječava nastajanje taloga i održava čistoću zupčaničkih prijenosnika.

Od uzoraka se ispitivala korozivnost na bakru i ona je bila do najviše 1b.

Usporedno sa svježim uzorkom za svaki reduktor napravljen je IR spektar maziva. Bile su prisutne vrlo male ili nikakve promjene na spektru.

USPOREDBA TROŠKOVA



Slika 8: Prednosti korištenja sintetičkog ulja za zupčaničke prijenosnike

5. Zaključak

Ispitivanjem fizikalno – kemijskih i mehaničkih svojstva maziva tijekom primjenskog ispitivanja i na osnovi informacija krajnjeg korisnika može se zaključiti slijedeće:

- ispitivano sintetičko ulje za zupčaničke prijenosnike viskozne gradacije SAE 75W-90 u niskopodnim tramvajima zadržalo je osnovna svojstva tijekom primjenskog ispitivanja,
- tijekom primjenskog ispitivanja korisnik nije imao primjedbi na rad niskopodnog tramvaja vezano uz podmazivanje i zadovoljeni su tehnički zahtjevi primjene,
- optimalni interval zamjene maziva će se odrediti na kraju primjenskog ispitivanja, a mazivo je do sada korišteno 80000 kilometara,
- ovakvim tipovima primjenskih ispitivanja proizvođači maziva i krajnji korisnici dolaze do vrijednih informacija o ponašanju maziva u primjeni i određivanja optimalnog vremena korištenja i zamjene,

- troškovi nabave maziva, skladištenja, prijevoza, održavanja i troškovi zbrinjavanja su i do 70 % niži u odnosu na prije korišteno mazivo (slika 8),
- manje količine otpadnih maziva i ambalaže, kao i produljeni interval zamjene čine ovo mazivo ekološki prihvatljivijim,
- 140 niskopodnih tramvaja puštenih u rad tijekom 2009. opravdava uporabu ovog tipa maziva i potiče suradnju domaćih tvrtki.

Literatura

DECKER K. H., *Elementi strojeva*, Tehnička knjiga, Zagreb, 2006, (401-405, 445-447)

VERČON J., *Maziva i podmazivanje*, Jugoma, Zagreb, 1986, (187-200, 446-456)

Tehnička dokumentacija Lubrizola.

Tehnička dokumentacija ZET-a.

Tehnička dokumentacija Maziva-Zagreb d.o.o.

Uputa za održavanje prigonskog mehanizma – Končar, Električna vozila d.d.

UDK	Ključne riječi	Key words
621.892.28.099.21	sintetičko ulje za reduktorske prijenosnike	speed reduction gearbox synthetic oil
620.169.1	vijek trajanja općenito ispitivanje	endurance, durability test in general
625.46	tramvaj	street car
621.833.061	reduktorski prijenosnik	retarder gearbox
621.833.22	stožasti zupčanci s ravnim i helikoidnim zupcima	bevel gears with straight and helical teeth
621.833.1	čelnički par zupčanika	spur gears
.004.58	održavanje, proaktivno, praćenjem stanja maziva	maintenance, proactive, lubricant condition based
.004.53	održavanje, preventivno, po terminskom planu zamjena	maintenance, preventive, time scheduled
.004.18	gledište uštede pri uporabi, primjeni i radu	savings in use, application and operation

Autori

Tonča Čaleta Prolić, dipl.ing.¹⁾, e-mail: tonca.caleta-prolic@ina.hr; Zvonimir Kranjčec, dipl.ing.²⁾, mr. sc. Zvonko Pečenić, dipl.ing.²⁾; Aleksandar Maranić, dipl.ing.²⁾, Miroslav Felja, dipl.ing.¹⁾, Josip Topolovec, dipl.ing.¹⁾, Anđelko Lepušić, dipl.ing.¹⁾

¹⁾ MAZIVA-ZAGREB d.o.o.; ²⁾ Zagrebački holding d.o.o. / Podružnica ZET

Primljeno

5.11.2009.

Prihvaćeno

30.11.2009.