

Boris Kržan, Jože Vižintin

ISSN 0350-350X

GOMABN 41, 4, 199-225

Izvorni znanstveni rad/Original scientific paper

UDK 621.892.31.099.7-822 : 665.327.7 : 665.334.94 : 576.343 : 665.761.2.035

NOVO BIORAZGRADLJIVO UNIVERZALNO ZUPČANIČKO ULJE ZA TRAKTORE NA OSNOVI BILJNOG ULJA

Sažetak

Univerzalno traktorsko transmisijsko ulje (UTTU) je višenamjensko traktorsko ulje namijenjeno podmazivanju transmisije, zadnjeg mosta, diferencijala, mokrih kočnica te hidrauličkog sustava uz uporabu zajedničkog uljnog spremnika. U radu je opisan razvoj i ispitivanje biorazgradljivog UTTU ulja biljnog porijekla. Svojstva ulja na osnovi uljne repice i visoko oleinskog suncokretovog ulja uspoređena su ispitivanjem na standardnim ispitnim postupcima sa svojstvima komercijalno dostupnih mineralnih UTTU ulja. Tribološka svojstva ispitivana su na visoko frekvencijskom urađaju SRV, aparatu sa četiri kuglice i na zupčaničkom ispitnom stolu FZG. Za zaključna ispitivanja korišteni su laboratorijski hidraulički sustav i probni stol sa čelnim zupčanicima.

1. UVOD

Povećana skrb za ekološka pitanja i stroži ekološki propisi navode industriju maziva na povećanje ekološke prihvatljivosti svojih proizvoda. U posljednja tri desetljeća ta je industrija nastojala formulirati biorazgradljiva maziva s tehničkim karakteristikama boljima od onih izrađenih na osnovi mineralnih ulja. Biljna su ulja kandidat za zamjenu mineralnih zahvaljujući svojoj prirodnoj biorazgradljivosti i odličnoj mazivosti. Nadalje, biljna ulja predstavljaju obnovljivi izvor, te je njihova cijena razumna u usporedbi s drugim alternativnim biorazgradljivim tekućinama.

Poljoprivredna oprema je idealna za korištenje maziva na vegetabilnoj osnovi, jer se koristi u neposrednoj blizini okoliša gdje mazivo lako može doći u doticaj s tlom, vodom i usjevima. Postoji prigoda stvaranja trajnog

ciklusa u kojem se poljoprivredna oprema podmazuje uljem iz biljke koja raste na polju što ga se obrađuje tom istom opremom [1].

Univerzalno traktorsko transmisijsko ulje ili univerzalno zupčaničko ulje za traktore (UTTU) jest višenamjensko ulje koje se uvelike koristi za poljoprivredne i radne strojeve poput traktora, strojeva za žetvu, itd. Kod tih strojeva višefunkcionalno ulje udovoljava složenim zahtjevima poput hladnog paljenja, prljavog okruženja, ulaska vode, velikih opterećenja, itd.

Glavne su funkcije UTTU slijedeće [2]:

- podmazivanje prijenosnika, diferencijala, i zupčanika zadnjeg mosta,
- prijenos snage za upravljanje i kočenje,
- primjena hidrauličkog pogona,
- osiguravanje odgovarajućeg hlađenja i trenja za mokre kočnice i spojke za priključne uređaje.

Za sve je ove zahtjeve otpornost radnih svojstava maziva ključna kako bi se rad odvijao učinkovito i bez nepredviđenih zastoja.

2. PRIPRAVA UZORKA

2.1 Uzorci ulja

Dva različita UTTU na vegetabilnoj osnovi formulirana su u svrhu ispitivanja. Prva je formulacija napravljena na osnovi repičina ulja, dok je osnova za drugu bilo suncokretovo ulje s visokim sadržajem oleinske kiseline. Za obje je formulacije upotrijebljen isti sustav aditivacije. Svojstva ovih dvaju u potpunosti formuliranih UTTU na vegetabilnoj osnovi uspoređena su s komercijalno dostupnim sintetičkim esterskim UTTU i konvencionalnim UTTU na osnovi mineralnog ulja, tablica 1.

Tablica 1: Ispitna ulja

Bazno ulje	Vrsta ulja	Viskoznost [mm ² /s]		IV	Šifra ulja
		V ₄₀	V ₁₀₀		
Repičino ulje	biorazgradljivo UTTU	48,8	10,4	209	R
Visoko oleinsko suncokretovo ulje	biorazgradljivo UTTU	51,4	10,6	203	S
Sintetički ester	biorazgradljivo UTTU	51,3	10,9	211	E
Mineralno ulje	mineralno UTTU	55,1	9,2	150	M

Većina maziva za traktore ima kinematičku viskoznost pri 100 °C između 9 i 11 mm²/s. Pokazalo se kako ta viskoznost osigurava dostatnu gustoću za osiguravanje dobre zaštite prijenosnika, kao i one protiv škripanja, dok

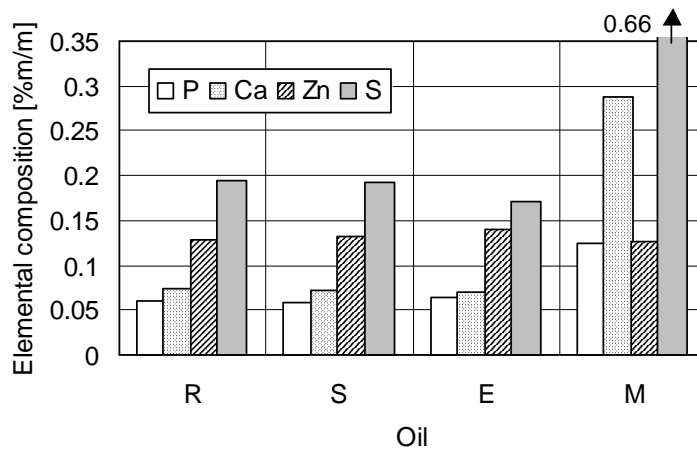
istovremeno zadržava odgovarajuću viskoznost za hidraulički sustav. Kao što vidimo u tablici 1, karakteristike viskoznosti svih triju UTTU na osnovi estera pokazuju kako su ona gušća kod 100 °C te imaju znatno viši indeks viskoznosti u usporedbi sa UTTU mineralne osnove označenim slovom M.

3. ISPITIVANJA PREDODABIRA I ODGOVARAJUĆI REZULTATI

3.2 Analiza aditiva po elementima

ED-XRF spektrometrija energetskom disperzijom upotrijebljena je kako bi se dobio sastav aditiva ispitnih ulja po elementima, slika 1.

Slika 1: Elementarna analiza ispitnih ulja



Iz slike 1 vidljivo je kako je sastav aditiva po elementima vrlo sličan kod formuliranih biljnih UTTU R i S, i referentnog UTTU na osnovi sintetičnog estera E. Referentno mineralno UTTU M sadrži znatno višu razinu fosfora, kalcija i sumpora negoli ulja na osnovi estera. Cink i fosfor dijelom su paketa aditiva AW/EP protiv trošenja i za ekstremne pritiske, dok je kalcij tipični element detergentnih aditiva.

Ulja na osnovi estera obično imaju nižu aditivaciju od mineralnih ulja jer posjeduju dobra maziva svojstva zahvaljujući svojoj polarnoj naravi. To osigurava dobru privlačivost kvašenja metala, te ih čini dobrim otapalima

mulja i prljavštine koji bi se inače taložili na metalnim površinama. Zahvaljujući ovim svojstvima moguće je također i smanjiti količinu modifikatora trenja, sredstava protiv trošenja, te disperzanata potrebnih za formulaciju prirodnih ulja, ili pak onih na osnovi sintetičkih estera.

3.2 Oksidacijska stabilnost

Biljna su ulja po svojoj kemijskoj naravi dugolančani triesteri glicerola masnih kiselina. Alkoholna je komponenta (glicerol) jednaka u svim biljnim uljima. Komponente masne kiseline ovise o pojedinoj biljci, te su varijabilne. Masne se kiseline razlikuju u duljini lanca i broju dvostrukih veza. Glavne su masne kiseline s dvostrukim vezama linolenska, linolna i oleinska. Stupanj apsorpcije kisika je redom 800:100:1, što znači da manje dvostrukih veza u ugljičnom lancu rezultira boljom oksidacijskom stabilnošću [3]. Općenito se oksidacijska stabilnost ulja na osnovi biljnih ulja smanjuje s povećanom razinom nezasićenosti.

Tablica 2 prikazuje sastav masnih kiselina baznih ulja za formulaciju repičinog ulja R i visoko oleinsku formulaciju suncokretovog ulja S.

Tablica 2: Sastav masnih kiselina ispitnih biljnih baznih ulja

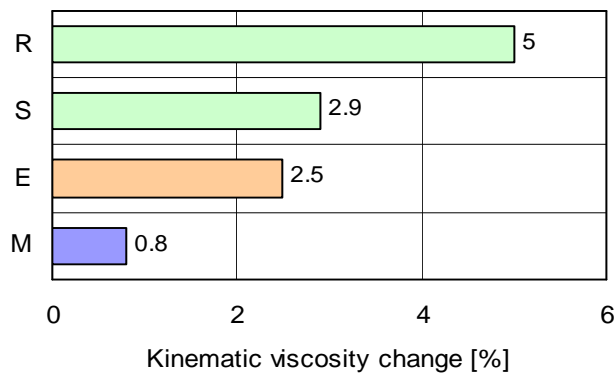
Bazno ulje	Sadržaj masnih kiselina [%]					
	Palmitinska C 16:0	Stearinska C 18:0	Oleinska C 18:1	Linolna C 18:2	Linolenska C 18:3	Ostale
Repičino ulje	6,1	2,5	49,1	32,2	6,9	3,2
Visoko oleinsko suncokret. ulje	4,7	3,7	72,2	17,0	/	2,0

C X:Y - lanac masne kiseline duljine X sa sadržajem Y dvostrukih veza; npr. C 18:3 je ravnolančana masna kiselina s osamnaest ugljikovih atoma i tri dvostruke veze

Oksidacijske karakteristike ispitnih ulja pokazao je Baader test u skladu s DIN 51 554, II. dio. Ispitna su ulja ostavljena tri dana na temperaturi od 95°C, s uvođenjem zraka i povremenim uranjanjem bakrene žice. Na kraju ispitivanja povećanje viskoznosti ne smije premašiti 20 %.

Ulja na osnovi estera R, S, i E imala su jače povišenje viskoznosti negoli UTTU na mineralnoj osnovi označen s M, ali su sva ispitivanja bila unutar gornje granice od 10 % povećanja viskoznosti, slika 2.

Slika 2: Oksidacijska svojstva



Viši sadržaj oleinske masne kiseline visoko oleinske suncokretove formulacije S rezultirao je boljom oksidacijskom stabilnošću s obzirom na formulaciju repičinog ulja R, tablica 2.

3.3 Ispitivanja trenja i trošenja

Ispitivanja trenja i trošenja izvršena na SRV visoko frekvencijskom ispitnom uređaju, te na uređaju za trošenje sa četiri kugle, bila su ispod uvjeta graničnog podmazivanja [4,5,6].

Tablica 3: Ispitni parametri i rezultati ispitivanja predodabranih uzoraka

Ulje	SRV		Četiri kugle	
	Hertzovo opterećenje 1400 N/mm ² - frekvencija: 50Hz Amplituda: 1 mm - Brzina: 0,1m/s - Temperatura: 50°C Trajanje: 120 min		Optećenje: 392 N – Brzina: 0,8 m/s Temperatura - 65 °C Trajanje - 60 min	
	Koeficijent trenja maks	srednja	Srednji promjer istrošenja [mm]	Srednji promjer istrošenja [mm]
R	0,202	0,191	0,34	0,42
S	0,193	0,180	0,34	0,38
E	0,200	0,182	0,45	0,42
M	0,233	0,219	0,26	0,36

Tablica 3 prikazuje rezultate ispitivanja SRV i sa četiri kugle. Mineralno UTTU M pokazuje najvišu vrijednost koeficijenta trenja, ali i najmanje trošenja u oba slučaja. Gotovo jednake vrijednosti koeficijenta trenja postignute su za UTTU na osnovi estera R, S, i E. UTTU formulacija R pokazuje jednaki srednji promjer istrošenja kao i formulacija S na ispitivanju SRV, ali veće trošenje izmjereno na stroju sa četiri kugle.

3.4 Ispitivanje na probnim stolovima sa zupčanicima

UTTU mora osigurati zadovoljavajuća svojstva protiv trošenja i podnošenja ekstremnih pritisaka za zaštitu mjenjača, diferencijala i zupčanika zadnjeg mosta u prijenosnom sustavu traktora.

Kapacitet podnošenja opterećenja bez zaribavanja, otpornost na piting, te ponašanje trošenja kod malih brzina, prikazani su korištenjem FZG uređaja za ispitivanja. Ta se ispitivanja temelje na oštećenju standardnog para zupčanika, podmazivanog ispitnim uljem pod naročitim uvjetima ispitivanja. Detaljan opis i geometrijske odlike ispitnih zupčanika moguće je pronaći u literaturi [7,8,9].

Karakteristike vezane uz zaribavanje određuju se standardnim FZG ispitivanjem A/8,3/90, u skladu s DIN 51 354. Ispitni zupčanci tipa A koriste se pri brzini od 8,3 m/s i pri temperaturi ulaznog ulja od 90 °C. Opterećenje se postupno povećava (3 – 534 Nm), s vremenskim protjecom od 15 min dok ne dođe do zaribavanja.

Karakteristike vezane uz piting ocjenjuju se uz pomoć standardnog piting ispitivanja C/8,3/90 ispitnih zupčanika tipa C pri brzini od 8,3 m/s i temperaturi ulaznog ulja od 90 °C. Rad u trajanju od 2 sata pod stupnjem opterećenja 6 (135 Nm) nastavlja se ispitnim radom pod stupnjem opterećenja 9 (302 Nm), sve dok se ne dosegne kriterij za kvar. Bilježi se broj ciklusa opterećenja koji uzrokuju oštećenje bokova zuba.

Nestandardno ispitivanje trošenja pri malim brzinama podijeljeno je u dva dijela [10]. Praktično dizajnirani ispitni zupčanci tipa C rade na maloj brzini od 0,35 i 0,2 m/s, uzrokujući tanki mazivi sloj, pri 120 °C, i FZG stupnju opterećenja 10 (373 Nm). Gubitak težine ispitnih zupčanika određuje se nakon 20 sati, te ukupnog vremena rada od 50 sati. Gubitak težine zupčanika vezan je uz trošenje i ukazuje na djelovanje maziva glede zaštite od trošenja.

Rezultati FZG ispitivanja ispitnih maziva prikazani su u tablici 4. U FZG ispitivanju formulacija visoko oleinskog suncokretovog UTTU S ocijenjena je

višim kapacitetom podnošenja opterećenja kod brazdanja i pokazuje najveću otpornost na piting u odnosu na druga ispitna ulja, tablica 4.

Tablica 4: Rezultati FZG ispitivanja

Ulje	Zaribavanje [FZG stupanj opterećenja]	Piting [ciklusi pogonskog zupčanika]	Trošenje pri malim brzinama [gubitak težine u mg]
R	10	13,96 10 ⁶	11 / 14'
S	11	26 '5 10 ⁶	19 / 21'
E	10	15,66 10 ⁶	
M	10	7,70 10 ⁶	13 / 13'

* Stupanj I. / Stupanj II.

Ostala univerzalna zupčanička ispitna ulja za traktore R, E, i M pokazala su prolazno opterećenje kod 10. stupnja, te ujedno udovoljavaju zahtjevima za UTTU koja obično pokazuju stupanj opterećenja za zaribavanje između 9 – 11 [11].

Rezultati ispitivanja pitinga pokazuju veću otpornost na piting ulja na osnovi estera R, S i E u usporedbi s mineralnim UTTU M. Visoko oleinska suncokretova formulacija S pokazala je izvanredne odlike s obzirom na piting.

Rezultati ispitivanja trošenja pri niskim brzinama i visokim opterećenjima ne pokazuju bitnu razliku u stupnju trošenja među ispitnim uljima.

Na temelju rezultata mehaničkih ispitivanja, te rezultata oksidacijske stabilnosti, visoko oleinska formulacija na osnovi suncokreta S i mineralno ulje M odabrani su za daljnja ispitivanja u okviru podsustava koji su više usporedivi s praktičnom primjenom.

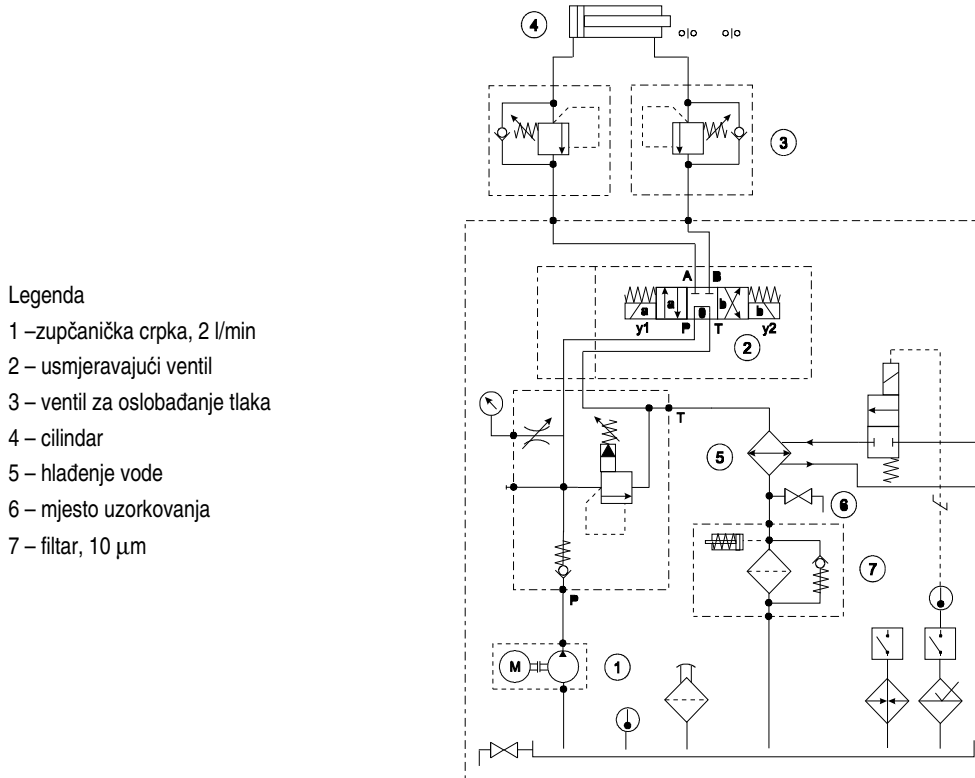
4. ISPITIVANJA PODSUSTAVA

4. 1 Laboratorijski hidraulički sustav

UTTU je od vitalne važnosti za rad hidrauličkog sustava traktora. On mora jamčiti prijenos snage i signala, kao i zaštitu površina sustava od trošenja i korozije. Ponašanje visoko oleinske suncokretove formulacije S i komercijalnog mineralnog UTTU M ocijenjeno je komparativno u laboratorijskom hidrauličkom sustavu vezanom uz primjenu, slika 3.

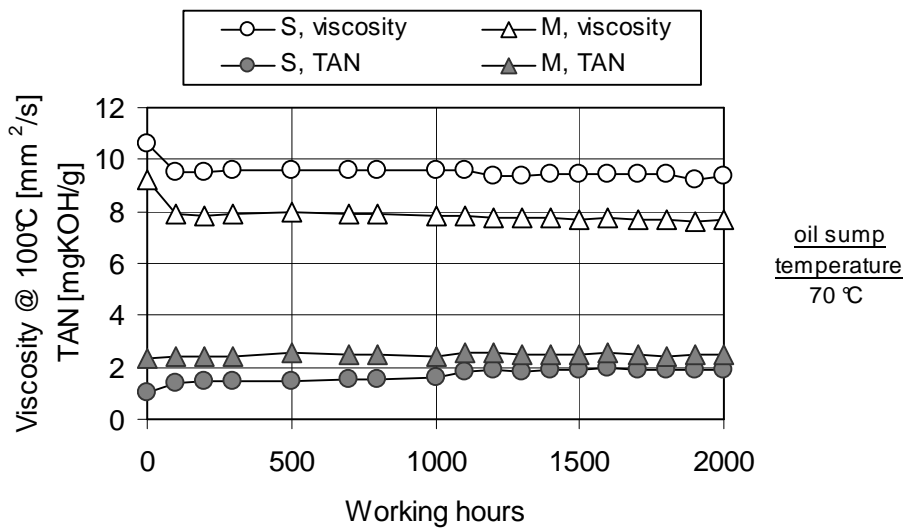
Ispitivanja su vršena simultano na dva jednaka laboratorijska hidraulička sustava pod jednakim uvjetima [12]. Ispitivanje je trajalo 2000 sati pri 15 MPa, i konstantnoj temperaturi ulja od 70 °C. Da bi se pratilo i ocijenilo stanje ulja, uzorci su ulja uzimani u ravnomjernim vremenskim razmacima.

Slika 3. Kružni dijagram laboratorijskog hidrauličkog sustava



Oksidacija ispitnih maziva ocijenjena je uz pomoć ukupnog kiselinog broja (TAN) i povećanja viskoznosti. Mjerenje oksidacije temelji se na povećanju početne vrijednosti TAN. Uglavnom, ako TAN premašuje 2,0 mg KOH/g od izvorne vrijednosti, ulje bi trebalo promijeniti. Još jedan snažan pokazatelj degradacije ulja jest praćenje povećanja njegove kinematičke viskoznosti. Obično je povećanje viskoznosti od 20 % upozorenje kako se ulje približava kraju svoje uporabne vrijednosti.

Slika 4: Rezultati ispitivanja na laboratorijskom hidrauličkom sustavu

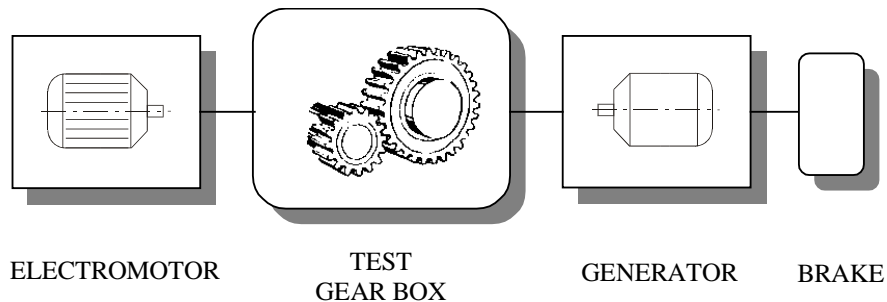


Slika 4 prikazuje kinematičku viskoznost i neutralizacijski broj za ispitna ulja označena s S i M. Nakon početnog smanjenja zbog smicanja, viskoznost je stabilna za oba ulja, te ne pokazuje znakove zgušćivanja koje bi bilo izazvano oksidacijom. Kiselinjski broj za mineralno UTTU M je u suštini stabilan, dok je TAN za visoko oleinsku suncokretovu formulaciju S neznatno povećan za vrijeme ispitivanja u trajanju od 2000 sati u stanju mirovanja.

4.2 Ispitivanje sustavom sa zupčaničkm prijenosnikom

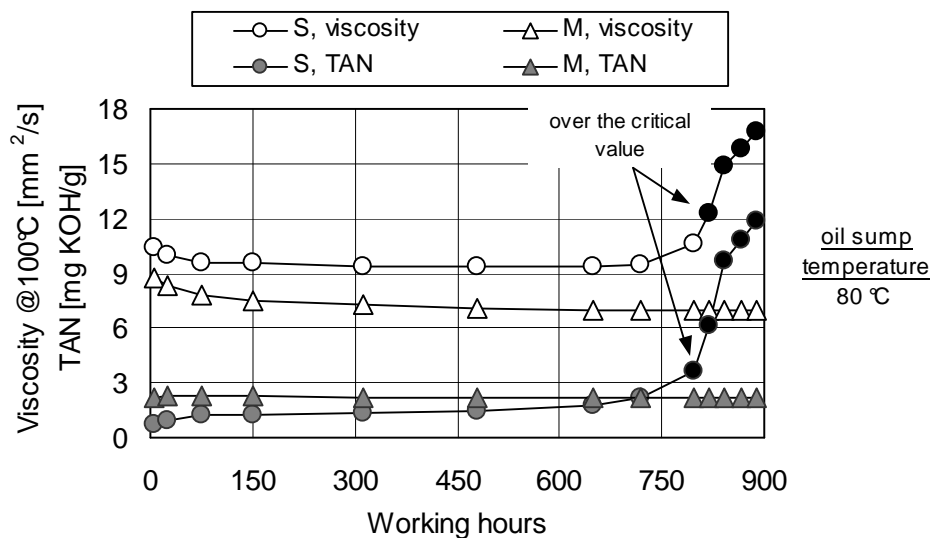
Zupčanici i ležaji predstavljaju dijelove strojeva koji trpe velika tribološka opterećenja. Mazivo koje se primjenjuje kod zupčanika koristi se za nadzor trošenja i trenja među dodirnim površinama, kao i za odvođenje topline s njih. Zaštita zupčanika postignuta visoko oleinskom formulacijom S i mineralnim UTTU M prikazana je laboratorijskim ispitivanjem sustavom sa zupčančkim prijenosnikom. Za vrijeme starenja u ispitnom zupčaničkom prijenosniku, ulja su neprekidno ispitivana s obzirom na promjenu viskoznosti i ukupnog kiselinskog broja TAN. Stanje elemenata mehaničkog sustava određeno je uz pomoć analize čestica trošenja. Laboratorijski sustav za ispitivanje sa zupčaničkim prijenosnikom shematski je prikazan na slici 5.

Slika 5: Shematski dijagram sustava sa zupčaničkim prijenosnikom



Pogonski motor izmjenične struje pokreće ispitnu zupčaničku jedinicu podmazanu ispitnim uljem. Za simulaciju opterećenja koristi se generator istosmjerne struje i električna kočnica, slika 5. Pogonski zupčanik DIN CK60 i gonjeni zupčanik DIN CK45, kaljeni na tvrdoću 60-62 HRC, nepodrezani, koriste se kao ispitni zupčanici. Navedeni su čelni zupčanici širine 30 mm, s normalnim modulom od 2,5 mm i pogonskim zupčanicom od 39 zubaca uzubljeni u prijenosnom omjeru 1:1.1.

Slika 6: Trend vrijednosti kinematičke viskoznosti i neutralizacijskog broja

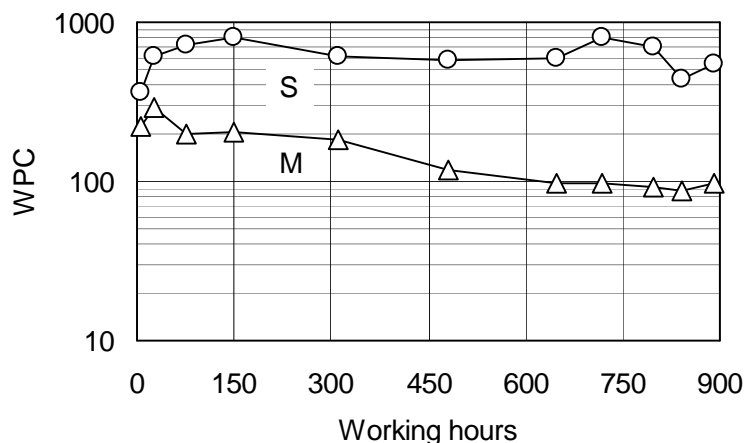


Ispitni je stroj radio trajno pod konstantnim opterećenjem od približno 60 Nm zakretnog momenta. Uvjeti su ispitivanja uređeni tako da se temperatura ulja održava u rasponu od 78 - 82 °C. Par je ispitnih zu pčaničkih prijenosnika pokretan sve dok nisu primijećeni znakovi propadanja ulja.

Maziva na vegetabilnoj osnovi sklona su oksidaciji, osobito ako temperatura ulja naraste iznad 80 °C. Ispitivanja ulja primijenjenog u poljoprivrednim strojevima otkrivaju kako temperature UTTU i hidrauličkog ulja rijetko rastu iznad 80 °C [13].

Gornja crta na grafikonu slike 6 predstavlja kinematičku viskoznost visoko oleinskog suncokretovog UTTU označenog sa S, izmjerenu pri 100 °C. Nakon početnog pada viskoznosti poradi smicanja, viskoznost je stabilna do 700 radnih sati, kada je primijećeno isprva blago, a potom snažno povećanje. Donja crta TAN pokazuje tri različita odjeljka, prvobitni je pad nastavljen stabilnom vrijednošću, sve do iznenadnog povećanja kod 750 radnih sati, što upućuje na pogoršavanje stanja ulja.

Slika 7: Trend vrijednosti za koncentraciju čestica trošenja



Ulje u mjenjačkoj kutiji može se pokazati vrlo korisnim medijem praćenja stanja. Čestice trošenja sadržane u mazivom ulju nose detaljne i važne informacije o stanju uljem prekrivenih dijelova unutar mjenjačke kutije. Ako možemo odijeliti ostatke od ulja, u stanju smo utvrditi abnormalno trošenje i bez rastavljanja opreme. Metoda koja se koristi za kvantitativnu procjenu

koncentracije čestica trenja u ispitnoj mjenjačkoj kutiji jest (DR) - ferografija izravnog očitavanja [14].

Slika 7 prikazuje koncentraciju čestica trošenja koja s vremenom prelazi u određeni trend. Vrijednost koncentracije čestica trošenja pokazuje prvobitno povećanje preko procesa uhodavanja, za vrijeme kojega količina čestica trošenja brzo raste, da bi se potom ustalila na nižoj vrijednosti kada počinje razdoblje normalnog trošenja. Vrijednosti koncentracije za oba ispitna ulja bile su razmjerno konstantne, budući da je trošenje prijenosnika doseglo stanje ravnoteže u kojem stupanj gubitka čestica odgovara stupnju njihova stvaranja. Nije primijećeno nikakvo pretjerano trošenje, što ukazuje kako je za vrijeme rada postignuto učinkovito podmazivanje zupčaničkog prijenosnika.

5. RASPRAVA

Ulja na vegetabilnoj osnovi imaju odlična svojstva viskoznosti. Njihovi indeksi viskoznosti (IV) viši su od 200, dok je IV za mineralni UTTU jednak 150, tablica 1. Viši IV omogućuje stvaranje debljeg mazivog sloja i bolje odvajanje doticajnih površina pri radnim temperaturama [15]. UTTU imaju jednaku ISO gradaciju viskoznosti, ali ispitivanje otpornosti na piting pokazuje veliku razliku među rezultatima. Osim viskoznosti maziva, velik utjecaj na otpornost na piting ima bazno ulje maziva, dok tip aditiva i njegova koncentracija imaju tek manji utjecaj.

Rezultati ispitivanja pitinga također slijede ispitivanja SRV. Uvjeti FZG ispitivanja pitinga odgovaraju Hertzovom opterećenju u točki doticaja od 1650 MPa, dok je doticajni pritisak kod SRV ispitivanja bio 1400 MP. Veći broj ciklusa prije no što dođe do zakazivanja visoko oleinske suncokretove formulacije S u FZG ispitivanju piting je stoga funkcija nižeg smičnog trenja na točki doticaja, niže temperature, a time i nižeg tangencijalnog opterećenja površine, čime se učinkovito sprječava oštećenje izazvano zamorom materijala povezanim uz nastajanje pukotina na površini [16].

6. ZAKLJUČAK

Iz ovog je ispitivanja moguće izvući sljedeće zaključke:

- Ulja na bazi estera pokazuju niži koeficijent trenja nego više aditivirano ulje na bazi minerala.
- Rezultati FZG ispitivanja pokazuju kako su svojstva zaštite zupčanika kod ulja na vegetabilnoj osnovi bolje nego one UTTU na mineralnoj

osnovi. FZG ispitivanja otpornosti na piting pokazuju znatno bolje rezultate za ulja na vegetabilnoj osnovi, osobito kod visoko oleinske suncokretove formulacije označene sa S.

- Laboratorijska ispitivanja hidrauličkog sustava pokazuju kako visoko oleinska suncokretova UTTU formulacija može odgovarati UTTU mineralne osnove za primjene gdje su radne temperature razumne (70 °C u mirovanju).
- Ispitivanja zupčaničkih prijenosnika pokazuju bolju toplinsku oksidacijsku stabilnost za mineralno UTTU, u usporedbi s visoko oleinskim suncokretovom UTTU formulacijom pri ispitnoj radnoj temperaturi ulja od 80 °C.

NEW BIODEGRADABLE UNIVERSAL TRACTOR TRANSMISSION OIL BASED ON VEGETABLE OIL

Abstract

Universal tractor transmission oil (UTTO) is multipurpose tractor oil formulated for use in transmissions, final drives, wet brakes and hydraulic systems of tractors employing a common oil reservoir. In the present work the development of biodegradable vegetable based UTTO oil has been described. The properties of formulated rapeseed and high oleic sunflower based oils were investigated in the standard test procedures and compared with the commercially available mineral UTTO oil. Tribological performances of the fluids were demonstrated by using srj high frequency test device, four ball test rig and FZG spur gear test. For final tests a laboratory hydraulic system and a spur gear test rig were used.

1 INTRODUCTION

Increasing attention to the environmental issues and more restrictive environmental regulations drives the lubricant industry to increase the ecological friendliness of its products. For the last three decades, the industry has been trying to formulate biodegradable lubricants with technical characteristics superior to those based on mineral oils. Vegetable oils are a candidate for replacement of mineral oils due to their inherent biodegradability, and excellent lubricity. Additionally, vegetable oils are renewable resource, and their cost is reasonable compared with that of other alternative biodegradable fluids.

The agricultural equipment is ideally suited to use vegetable based lubricants, because it operates close to the environment where lubricant can easily come into contact with the soil, ground water and crops. The opportunity exists to create a continuous cycle in which the agricultural equipment is lubricated by the oil from a plant growing in the field being cultivated by that same equipment [1].

Universal Tractor Transmission Oil (UTTO) is multipurpose oil widely used in agricultural and working machines such as tractors, harvesters, etc. In these vehicles, the multifunctional oil meet complex requirements including cold starts, dirty environment, water ingress, massive loads, etc.

The main functions of UTTO are [2]:

- Lubrication of transmission, differentials, and final drive gears,
- Transmitting power for steering and braking,
- Implementing hydraulic drives,
- Providing proper cooling and frictional properties for wet brakes and power take-off clutches.

For all these demands, robust lubricant performance is key to efficient operation free of unexpected downtimes.

2 SAMPLE PREPARATION

2.1 Oil samples

Two different vegetable based UTTO oils were formulated for the investigation. The first formulation was based on the rapeseed oil, while the second base stock was high oleic sunflower oil. The same additive system was used for both formulations. The properties of these two fully formulated

vegetable based UTTO oils were compared to the commercially available synthetic ester UTTO and conventional mineral based UTTO, Table 1.

Table 1: Test oils

Base stock	Oil type	Viscosity [mm ² /s]		IV	Oil code
		V ₄₀	V ₁₀₀		
Rapeseed oil	biodegradable UTTO	48,8	10,4	209	R
High oleic sunflower oil	biodegradable UTTO	51,4	10,6	203	S
Synthetic ester	biodegradable UTTO	51,3	10,9	211	E
Mineral oil	mineral UTTO	55,1	9,2	150	M

Most tractor lubricants have a kinematic viscosity at 100 °C between 9 and 11 mm²/s. This viscosity is found to offer sufficient thickness to promote good transmission protection and antisquawk performance, yet still be of a suitable viscosity for the hydraulic system. As shown by Table 1, the viscosity characteristics of all three ester based UTTO reveal them to be thicker at 100 °C and have significantly higher viscosity index compared with the mineral based UTTO labeled M.

3 Preselection TESTS and results

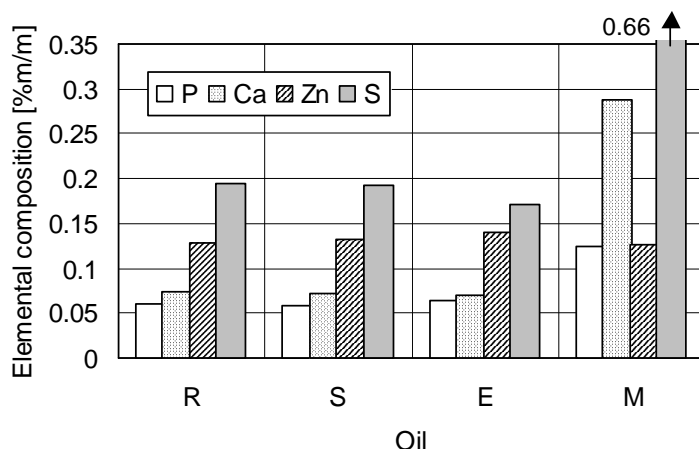
3.2 Elemental analysis of additives

The ED-XRF spectrometry has been used to obtain the elemental composition of additives for the test oils, Figure 1.

It can be seen from the Figure 1 that the elemental composition of additives is quite similar for the formulated vegetable based UTTO R and S, and reference synthetic ester UTTO E. The reference mineral UTTO oil M contains significantly higher level of phosphorous, calcium and sulphur than ester based oils. Zinc and phosphorous are parts of AW/EP additive package, while calcium is a typical element in a detergent additive.

Ester based oils are generally lower additivated than mineral oils because they possess good lubricating properties due to their polar nature. This provides good metal wetting attraction and also makes them good solvents for sludge and dirt, which would otherwise deposit on the metal surfaces. Because of these properties, it may be possible to reduce the amount of friction modifiers, antiwear agents, and dispersants required to formulate natural or synthetic ester based lubricants.

Figure 1: Elemental analysis of test oils



3.2 Oxidation stability

Vegetable oils are by their chemical nature long chain fatty acid triesters of glycerol. The alcohol component (glycerin) is the same in all vegetable oils. The fatty acid components are plant-specific and therefore variable. The fatty acids differ in chain length and number of double bonds. Main fatty acids with double bonds are linolenic, linoleic and oleic. The oxygen absorption rate is 800:100:1 respectively, therefore less double bonds in a carbon chain result in better oxidation stability [3]. Generally the oxidation stability of vegetable based oils decrease with the increased level of unsaturation.

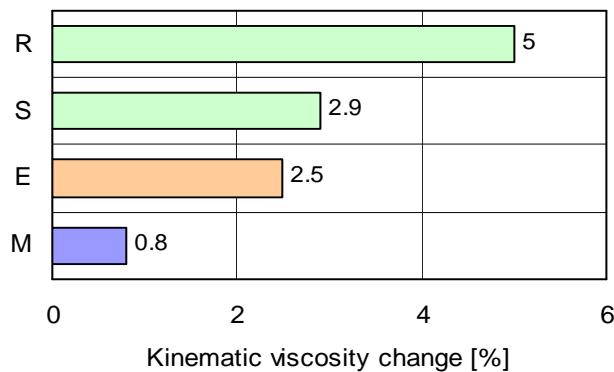
Table 2 shows the fatty acid composition of the base stocks for rapeseed formulation R and high oleic sunflower formulation S.

Table 2: Fatty acid composition of test vegetable base stocks

Base stock	Fatty acid content [%]					
	Palmitic C 16:0	Stearic C 18:0	Oleic C 18:1	Linoleic C 18:2	Linolenic C 18:3	Other
Rapeseed oil	6,1	2,5	49,1	32,2	6,9	3,2
High oleic sunflower oil	4,7	3,7	72,2	17,0	/	2,0

C X:Y - fatty acid chain of length X and containing Y double bonds; e.g. C 18:3 is an 18-carbon chain fatty acid with three double bonds

Figure 2: Oxidation performance



The oxidation performance of test oils is demonstrated by Baader test according to DIN 51 554, Part 2. Test oils are aged for three days at temperature of 95 °C while air is introduced and a copper wire is immersed periodically. At the end of the test the viscosity increase by oxidation must not exceed 20 %.

The ester based oils R, S, and E gave greater viscosity increase than the mineral based UTTO labeled M, but all test oils were within the upper pass limit of 10 % viscosity increase, Figure 2. The higher content of oleic fatty acid in the high oleic sunflower formulation S results in a better oxidation stability with respect to the rapeseed oil formulation R, Table 2.

3.3 Model tests

Friction and wear tests were conducted in the SRV high frequency test device, and in the Four Ball wear tester under boundary lubrication conditions [4,5,6].

Table 3 shows SRV and Four Ball test results. The mineral UTTO oil M shows the highest value of the friction coefficient, but the lowest wear on the both test rigs. Almost equivalent values of the friction coefficient were obtained for ester based UTTO oils R, S, and E. The UTTO formulation R shows the same wear scar diameter as the formulation S on the SRV test rig, but larger wear measured on the Four Ball tester.

Table 3: Test parameters and results of the preselection model tests

Oil	SRV		Four Ball	
	Hertz pressure: 1400 N/mm ² - Frequency: 50Hz Amplitude: 1 mm - Speed: 0,1m/s - Temperature: 50°C Duration: 120 min		Load: 392 N – Speed: 0,8 m/s Temperature - 65 °C Duration - 60 min	
	Friction coefficient max	Friction coefficient mean	Wear scar diameter [mm]	Wear scar diameter [mm]
R	0,202	0,191	0,34	0,42
S	0,193	0,180	0,34	0,38
E	0,200	0,182	0,45	0,42
M	0,233	0,219	0,26	0,6

3.4 Simplified component tests

UTTO oil has to provide satisfactory AW/EP performance to protect gearbox, differential, and final drive gears in the tractor transmission system. Scuffing load capacity, pitting resistance, and slow-speed wear performance of test oils were demonstrated by using the FZG back-to-back gear test rig. Tests are based on a failure of a standard gear set, lubricated with the test oil under specific test conditions. The detailed description and the geometrical characteristics of the test gears can be found in reference [7,8,9].

The scuffing performance is determined in a standard FZG test A/8,3/90 according to DIN 51 354. Test gears type A are used at pitch line velocity of 8,3 m/s and 90 °C oil inlet temperature. The load is increased in stages (3 – 534 Nm) with a running time of 15 min until scuffing occurs.

The pitting performance is evaluated in a standard pitting test C/8,3/90 running C type test gears at 8,3 m/s pitch line velocity and 90 °C oil inlet temperature. A run in of 2 h in load stage 6 (135 Nm) is followed by the test run in load stage 9 (302 Nm) until the failure criterion is reached. The number of load cycles causing damage of tooth flanks is recorded.

Non-standard, slow-speed wear test is divided into two stages [10]. Practically designed C type test gears are run at low speed of 0,35 and 0,2 m/s, causing thin lubricating film, at 120 °C, and FZG load stage 10 (373 Nm). The weight loss of test gears is determined after 20 hours and after a total running time of 50 hours. The weight loss of pinion and gear is associated with wear and indicates the lubricant antiwear performance.

The FZG results of test lubricants are shown in Table 4.

Table 4: FZG test results

Oil	Scuffing [FZG load stage pass]	Pitting [cycles of pinion]	Slow speed wear [weight reduction in mg]
R	10	13,96 10^6	11 / 14*
S	11	26,7 10^6	19 / 21*
E	10	15,66 10^6	
M	10	7,70 10^6	13 / 13*

* ... Stage I / Stage II

In the FZG test rig the high oleic sunflower UTTO formulation S is rated at higher scoring load capacity and shows the highest pitting resistance with respect to the other test oils, Table 4. Other UTTO test oils R, E, and M gave the 10th stage pass and also meet the requirements for UTTO oils which generally exhibit a scuffing load stage between 9 –11 [11].

The results of pitting investigations show superior pitting resistance of ester based oils R, S, and E compared to the mineral UTTO oil M. High oleic sunflower formulation S demonstrates excellent pitting performance.

The results of slow-speed, high-load wear investigations indicate no significant difference in wear rate among the test oils.

On the base of the mechanical test results and results of oxidation stability, the high oleic sunflower based formulation S and mineral oil M were selected for further investigations in subsystem tests which are more real application related.

4. SUBSYSTEM TESTS

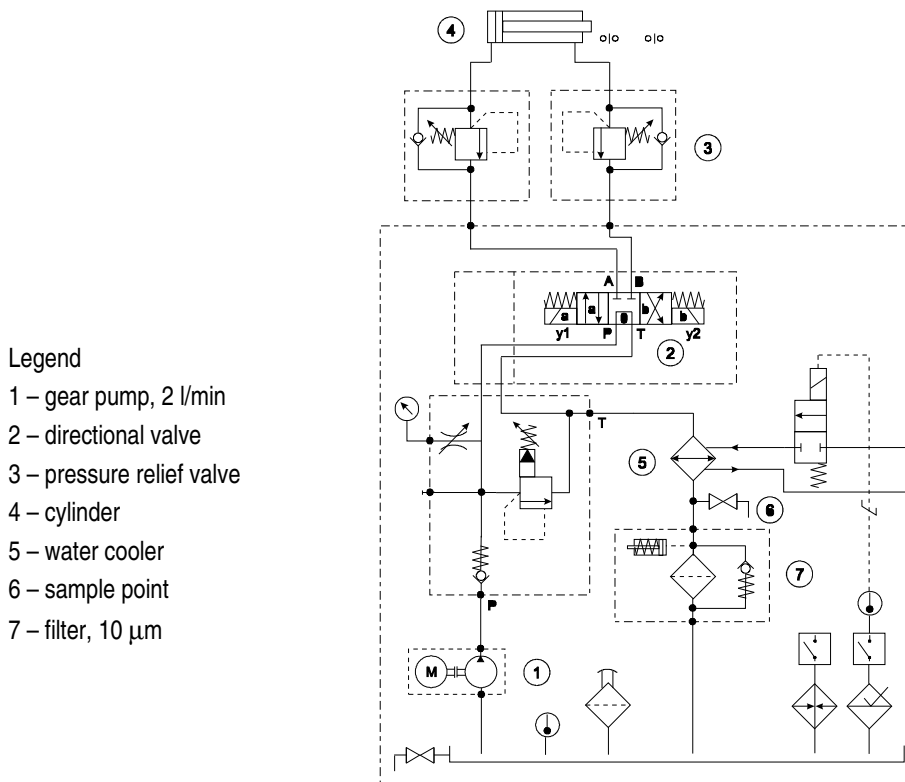
4. 1 Laboratory Hydraulic System

UTTO is of vital importance for the performance of tractor hydraulic system. It has to guarantee the power and signal transmission, and the protection of system surfaces against wear and corrosion. Behavior of the high oleic sunflower formulation S and commercial mineral UTTO M was comparatively evaluated in the application-related laboratory hydraulic system, Figure 3.

The tests were run simultaneously on the two equal laboratory hydraulic systems under the same conditions [12]. The test was run for 2,000 hours at

15 MPa, and constant oil temperature of 70 °C. To monitor and trend the oil condition, oil samples were taken at regular time intervals.

Figure 3: Circuit diagram of the laboratory hydraulic system



Oxidation of test lubricants was evaluated by total acid number (TAN) and viscosity increase. Measurement of oxidation is based on the increase over the initial TAN value and generally, if the TAN exceeds 2,0 mg KOH/g over the original value the oil should be changed. Another strong indicator of oil degradation is monitoring the oil kinematic viscosity increase. Normally a 20% increase in viscosity is a warning that the oil is reaching the end of its useful life.

Figure 4: Results of tests on a laboratory hydraulic system

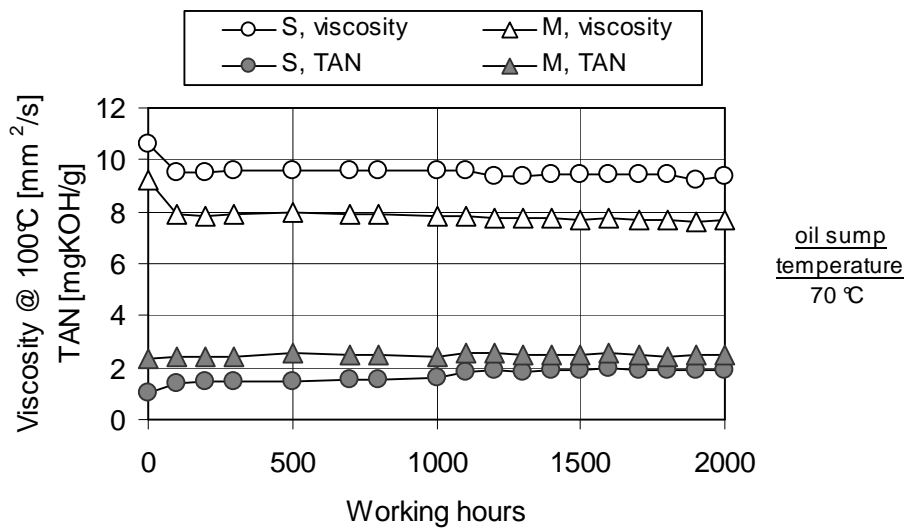
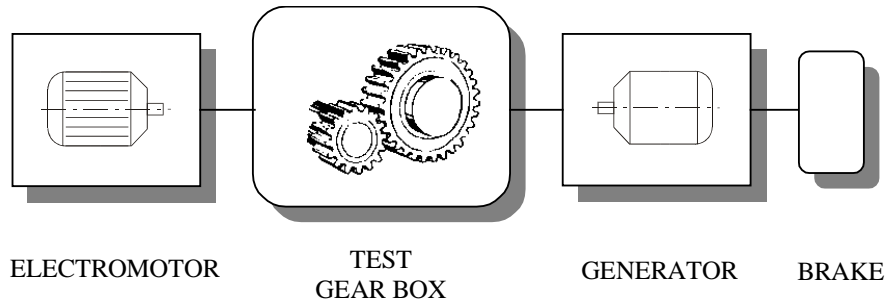


Figure 4 represents kinematic viscosity and neutralization number for test oils labeled S and M. After initial shear-down, the viscosity is stable for both oils, showing no evidence of oxidatively induced thickening. The acid number for mineral UTTO M is essentially stable, while TAN for high oleic sunflower formulation S was slightly increased during the 2000 hours steady-state test.

4.2 Spur gear test system

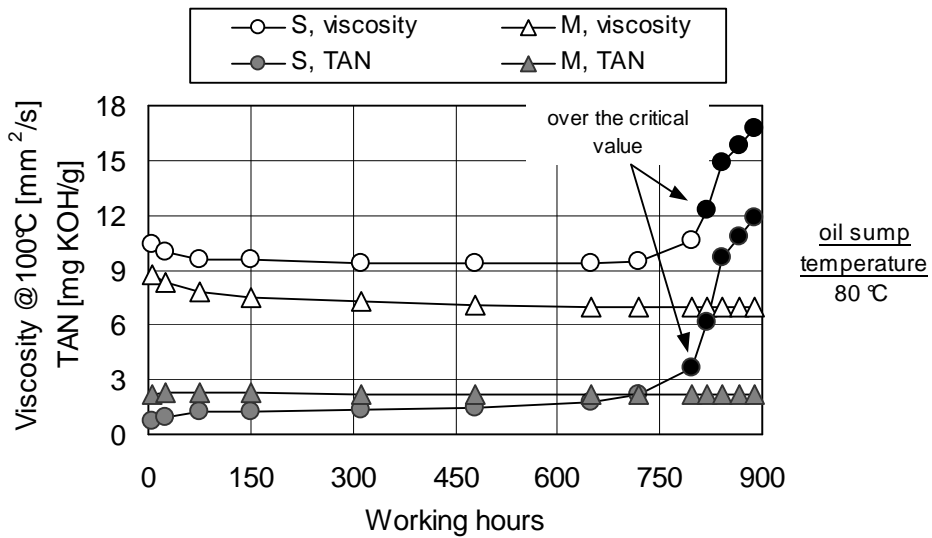
Gearings and the bearings are machine elements which suffer high tribological stresses. A lubricant in gear application is used to control friction and wear between mating surfaces, and to transfer heat away from the contact area. The gear protection performance of high oleic sunflower formulation S and mineral UTTO M were demonstrated in the laboratory spur gear test system. During the ageing in the test gearbox oil samples were continuously investigated for their change in viscosity and total acid number TAN. The condition of the mechanical system elements was determined with wear particles analysis. The laboratory spur gear test system is schematically shown on Figure 5.

Figure 5: Schematic diagram of the spur gear test system



The AC drive motor runs a test gear-unit which is lubricated with the test oil. For load simulation the DC generator and the electric brake are used, Figure 5. The DIN CK60 pinion and DIN CK45 gear, case hardened to 60 - 62 HRC and non-undercut, are used as test gears. These spur gears had a face width of 30 mm, a normal module of 2,5 mm, and 39 teeth drive pinion meshing in a 1:1.1 ratio.

Figure 6: Trend values for kinematic viscosity and neutralization number



The test rig was running continuously at a constant load of approximately 60 Nm torque. Test conditions are designed in such a way that oil temperature is maintained in the range of 78 - 82 °C. A pair of test spur gears was run until the signs of lubricant failure were observed.

Vegetable based lubricants tend to oxidation, especially if oil temperatures raise above 80 °C. The investigations of oil applied in the agricultural machines reveal that UTTO and hydraulic oil temperature above 80 °C are rarely exceeded [13].

The top line on the graph in Figure 6 represents kinematic viscosity of the high oleic sunflower UTTO labeled S, measured at 100 °C. After initial shear-down the viscosity is stable until 700 working hours when first slight and then strong increase was observed. The bottom TAN line shows three distinct sections, initial increase is followed by the stable value until the sudden rise at 750 operating hours which indicates the oil deterioration.

Oil in the gearbox could be a very useful condition monitoring media. Wear particles contained in the lubricating oil carry detailed and important information about the condition of the oil-wetted components in the gearbox. If we can separate the debris from the oil, we can identify and trend an abnormal wear condition without tearing down the equipment. The method used for the quantitative evaluation of the wear particle concentration in the test gearbox was Direct Reading (DR) ferrography [14].

Figure 7: Trend values for WPC

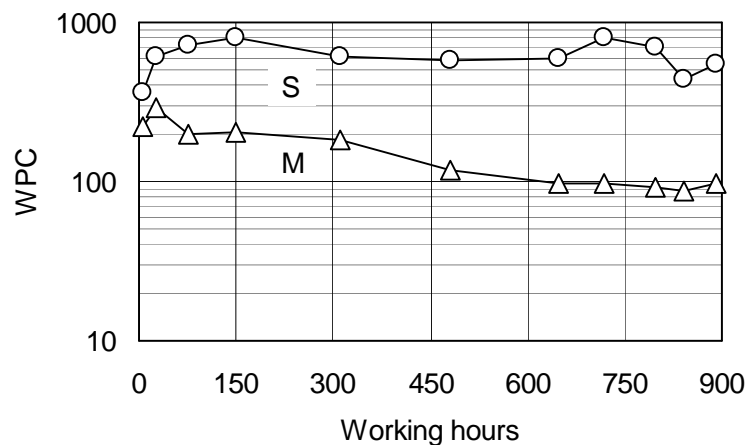


Figure 7 shows the wear particle concentration which is trended over time. The WPC value shows an initial rise through a running-in process, during which the quantity of wear particles quickly increases and then settles to a lower value when a normal wear period begins. The WPC values for both test oils were relatively constant, because the gearbox wear reached a state of equilibrium in which the particle loss rate equals the particle production rate. No excessive wear was observed, which indicates that the effective lubrication in the gearbox is maintained during the operation.

5. DISSCUSION

Vegetable based oils have excellent viscosity properties. Their viscosity indexes (VI) exceed 200, while VI for mineral UTTO equals 150, Table 1. The higher VI allows the formation of the thicker lubrication film and better separation of the contact surfaces at working temperatures [15]. The UTTO oils are of the same ISO grade viscosity, however pitting resistance test shows a great differentiation in the results. Beside the lubricant viscosity, great influence on the pitting resistance has lubricant base stock, while the additive type and concentration have only a minor influence. The pitting test results also follow the SRV investigations. The FZG pitting test conditions correspond to a Hertzian point contact pressure of 1650 MPa, while contact pressure at the SRV test was 1400 MPa. The higher number of cycles until failure for the high oleic sunflower oil formulation S in FZG pitting test is thus a function of the lower sliding friction at the point of contact, lower temperature, and consequently, lower tangential stresses on the surface, which can efficiently prevent fatigue failure associated with surface-initiated cracks [16].

6 SUMMARY

The following conclusions can be derived from this study:

- Ester based oils show lower friction coefficient than higher additivated mineral based oil.
- FZG gear test rig results show that gear protection properties of the vegetable based oils are better than of the mineral based UTTO. FZG pitting resistance investigations show significantly better results for the vegetable based oils, especially for the high oleic sunflower oil formulation labeled S.
- Laboratory hydraulic system test results show that the high oleic sunflower UTTO formulation could match mineral based UTTO for applications where operating temperatures are reasonable (70 °C in steady state).
- Investigations in a spur gear test rig show better thermal oxidative stability for mineral UTTO compared to the high oleic sunflower UTTO formulation at operating test oil temperature of 80 °C.

Literatura / References:

1. Gapinski, R.E., Joseph, I.E., Layzell, B.D. (1994) A Vegetable Oil Based Tractor Lubricant, *International Off-Highway & Power plant Congress & Exposition*, September 12-14, Milwaukee, Wisconsin
2. Gapinski, R.E., Kernizan, C.F., Joseph, I.E. (2000) Improved Gear Performance through New Tractor Hydraulic Fluid Technology, in *Tribology 2000-Plus, 12th International Colloquium* January 11-13, Bartz, W.J., ed., 3, pp 2269-2276.
3. Ravasio, N., Zaccheria, F., Gargano, M., Recchia, S., Fusi, A., Poli, N., Psaro, R. (2001) Environmental Friendly Lubricants Through Selective Hydrogenation of Rapeseed Oil over Supported Copper Catalysts, *Applied Catalysis A: General* Vol.233, pp. 1-6.
4. DIN 51 834 (1992) Mechanisch-dynamische Prüfung im Oszillation-Friktions-Prüfgerät.
5. ASTM D 6425 (1999) Standard Test Method for Measuring Friction and Wear Properties of Extreme Pressure (EP) Lubricating Oils Using SRV Test Machine.
6. DIN 51 350 (1977) Prüfung im Shell-Vierkugel-Apparat.
7. DIN 51 354 (1990) FZG Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine.
8. Lehrstuhl für Maschinenelemente Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG) TU München (1992) Description of the FZG-Pittingtest.
9. ASTM D 4998 (1989) Standard Test Method for Evaluating wear Characteristics of Tractor Hydraulic Fluids.
10. O'Connor, B.M., Winter, H. (1992) Use of Low Speed FZG Test Methods to Evaluate Tractor Hydraulic Fluids, *Engine Oils and Automotive Lubrication*, Expert Verlag
11. Hubmann, A. (1994) Chemie pflanzlicher Öle, in *Proc. Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie*, Bartz, W.J., ed., 11.9.
12. Sraj R., Vizintin J. (1996) Ecologically Acceptable Hydraulic Fluids Based on Rapeseed Oils, *Proceedings of the International Conference on Tribology*, Gozd Martuljek, Slovenia, November 13-14, pp 110-12.
13. Remmele, E., Widmann, B. (1998) Hydraulic Fluids Based on Rapeseed Oil in Agricultural Machinery – Suitability and Environmental Impact During Use, 11th International Colloquium January 13-15, Bartz, W.J., ed., Vol.1, Technische Akademie Esslingen, Germany
14. Basic Analytical Ferrography – Concepts of Ferrography (1999) Predict DLI.

15. Arnsek, A., Vizintin, J. (2000) Lubrication Properties of Rapeseed-based Oils, *Lubrication Science*, Vol. 16, No. 4, pp 281-296.
16. Arnsek, A., Vizintin, J. (2000) Pitting Resistance of rapeseed-Based Oils, *Tribology 2000-Plus, 12th International Colloquium*, Esslingen, Germany, January 11-13, Bartz, W.J., ed., 1, pp 143-148.

Ključne riječi / Key words:

621.892.31.099.7-822 Vegetabilno ulje za transmisije i hidrauliku traktora kao univerzalno traktorsko ulje	Vegetable transmission and hydraulic oil as universal tractor oil
665.327.7 Suncokretovo ulje	Sunflower oil
665.334.94 Repičino ulje	Rapeseed oil
576.343 Biorazgradljivost	Biodegradability
665.761.2.035 Primjenska svojstva baznih ulja	Base oil application properties

Autori / Authors:

Boris Kržan, prof. Jože Vižintin

University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Center for Tribology and Technical Diagnostics, Ljubljana, Slovenia

boris.krzan@ctd.uni-lj.si, joze.vizintin@ctd.uni-lj.si