

ISTRAŽIVANJE LABORATORIJSKIH I EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA MOTORN OG ULJA

Dušan Ješić, email: dusanjesic@hotmail.com

International Technology Management Academy, Trg Dositeja Obradovića 7, 21000 Novi
Sad, Serbia

Sandra Sovilj-Nikić, email: sandrasn@eunet.rs

Iritel a.d. Beograd, Batajnički put 23, 11080 Belgrade, Serbia,

Bogdan Sovilj, email: bsovilj@uns.ac.rs

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6,
21000 Novi Sad, Serbia,

Pavel Kovač, email: pkovac@uns.ac.rs

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6,
21000 Novi Sad, Serbia, bsovilj@uns.ac.rs

Vladimir Blanuša, email: blanusa@vtsns.edu.rs

High Technical School of Professional Studies, Školska 1, 21000 Novi Sad, Serbia,

Sažetak: Pouzdanost, raspoloživost i prilagodljivost savremene saobraćajne tehnike, troškovi održavanja, troškovi energije i troškovi poljoprivredne proizvodnje zavise od trenja, habanja i podmazivanja brojnih tribo-mehaničkih sistema poljoprivredne mehanizacije. Eksploatacione karakteristike odražavaju različite aspekte ponašanja motornog ulja i predstavljaju osnovu za određivanje nivoa kvaliteta. Istraživanje karakteristika korišćenog motornog ulja predstavlja utvrđivanje mogućnosti ulja da uspešno obavlja funkcije tribo-mehaničkog sistema. U radu je dat deo rezultata višegodišnjeg istraživanja stepena degradacije i određivanja optimalnog perioda zamene motornih ulja više proizvođača, a koja su korišćena u motorima sredstava poljoprivredne tehnike u realnim uslovima poljoprivredne proizvodnje.

Ključne reči: tribo-mehanički sistem, podmazivanje, motorno ulje, karakteristike ulja

RESEARCH OF LABORATORY AND EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF MOTOR OIL

Abstract: The reliability, availability and adaptability of modern transport engineering, maintenance costs, energy costs and agricultural production costs depend on friction, wear and lubrication of numerous tribo-mechanical systems of transport and agricultural machinery. Exploitation characteristics reflect different aspects of motor oil behavior and represent the basis for determining the level of quality. The research of the characteristics of the oil used is the determination of the ability of the oil to successfully perform the functions of the tribo-mechanical system. The paper presents a part of the results of the long-term research of the degree of degradation and the determination of the optimal period of replacement of motor oils of several manufacturers, which were used in engines of agricultural engineering in real conditions of agricultural production.

Keywords: tribo-mechanical system, lubrication, motor oil, characteristics of oil

1. Uvod

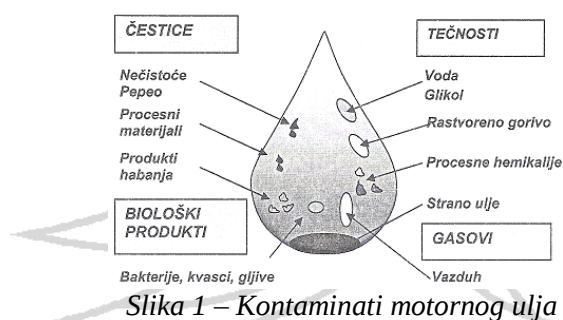
Podmazivanje je osnovna aktivnost preventivnog održavanja tehničkih sistema i definiše se kao primena određenog sredstva sa ciljem da se smanji sila trenja, a samim tim i habanje, kao i oštećenje kliznih i kotrljajućih površina. Ulje za podmazivanje je važan element brojnih tehničkih sistema koji izvršava različite značajne funkcije u toku dužeg vremenskog perioda. Analiza ulja se poslednjih godina koristi i kao nezamenljiva, osnovna aktivnost u okviru

koncepta proaktivnog održavanja, pri čemu je stanje samog ulja osnovni faktor koji definiše pouzdanost i eksploatacioni vek celokupnog sistema. Motorno ulje ima zadatak da podmazuje elemente motora koji su u neposrednom kontaktu, da poboljša zaptivanje, hlađenje, da štiti osetljive delove motora od korozije, kao i da vrši ispiranje-čišćenje motora. Sa stanovništva korisnika motornih ulja idealno bi bilo da se ista količina motornog ulja koristi tokom celog eksploatacionog veka motora, bez ikakve zamene ili dolivanja. Jednom rečju, da motorno ulje ne degradira i da se ne troši. Međutim, u eksploataciji motora, motorno ulje se degradira i troši, u zavisnosti od tehničkog stanja motora, vrste i kvaliteta goriva, načina i stepena opterećenja motora, sredine u kojoj motor radi, kao i od vrste i kvaliteta motornog ulja. Za proizvođača, kao i za potrošača motornog ulja od velike je važnosti kako se motorno ulje ponaša u toku njegove eksploatacije. Da bi se došlo do prave informacije neophodno je vršiti eksploatacioni i laboratorijsko ispitivanje korišćenog motornog ulja. Sredstva poljoprivredne tehnike rade u vrlo teškim uslovima. Da bi se poljoprivredni poslovi obavili u optimalnim agrotehničkim rokovima, a tehnika zadovoljila predviđene tehnološke zahteve, pogonski motori moraju biti tehnički ispravni, pouzdani i ekonomični. Na tehničku ispravnost, pouzdanost i ekonomičan rad motora utiče, u velikoj meri i kvalitet motornog ulja (Sovilj, Popov, Ješić, Kolev, Sovilj-Nikić, 2011, str.305).

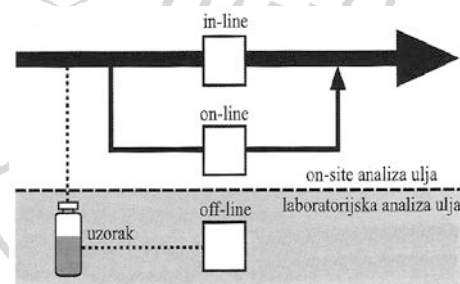
2. Analiza korišćenog ulja

Motorno ulje tokom eksploatacije izloženo je različitim uticajima pod čijim dejstvom dolazi do promena njegovih karakteristika. Na slici 1 (Babić, 2004, poglavlje 4) ilustrovano je prisustvo različitih kontaminata u motornom ulju.

Program analize ulja za podmazivanje za konkretan tehnički sistem podrazumeva definisanje procedure za sprovođenje analize koja se sastoji iz sledećih koraka: definisanje načina za sprovođenje analize ulja, metode i mesta za uzorkovanje ulja, definisanje dijagnostičkih parametara i izbor testova za analizu ulja, definisanje graničnih vrednosti dijagnostičkih parametara i interpretacija dobijenih rezultata.



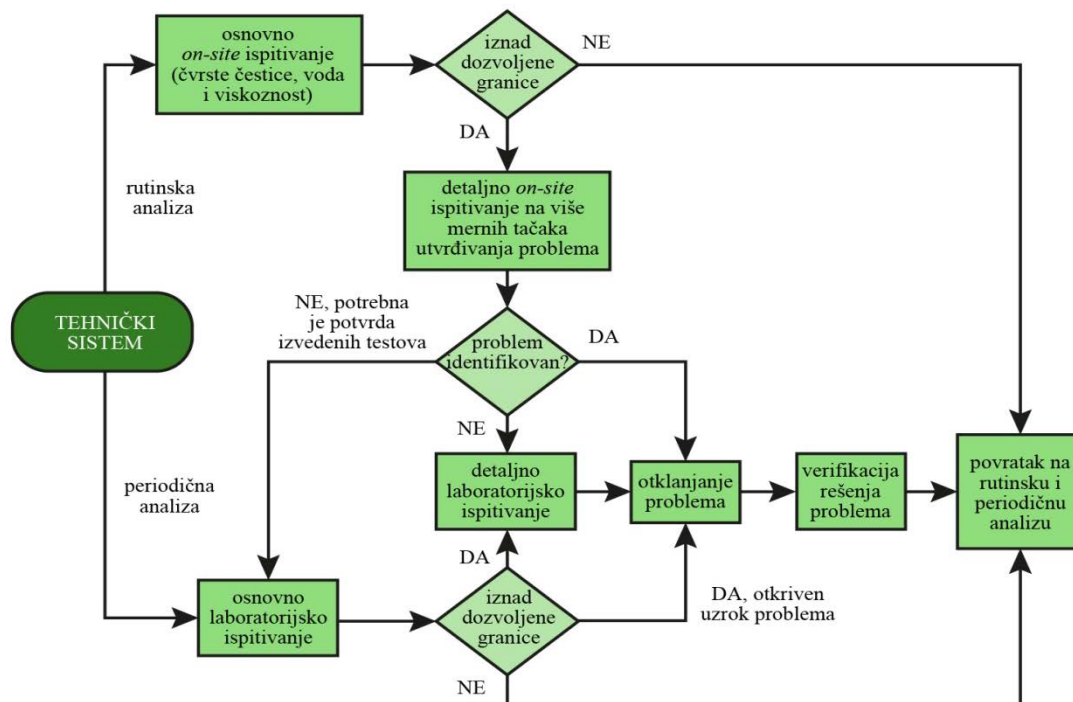
Slika 1 – Kontaminanti motornog ulja



Slika 2 - Načini sprovođenja analize ulja

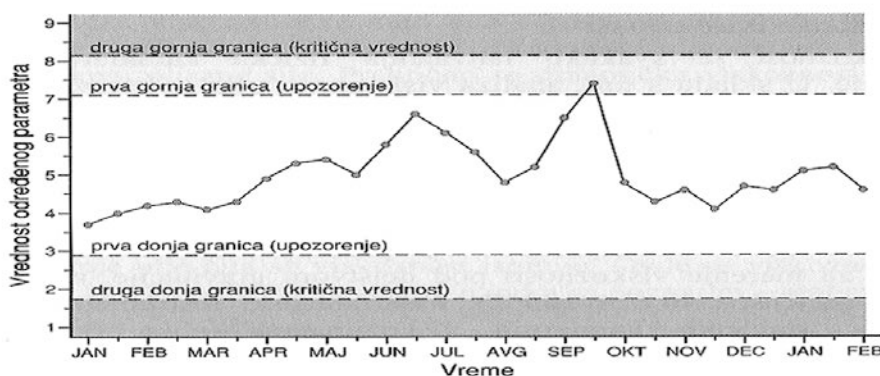
Analiza ulja može biti sprovedena na licu mesta *on-site* ili u laboratoriji (slika 2 (Todorović, Jeremić, Mačičić, 2009, poglavlje 6)).

Primena prenosnih instrumenata za *on-site* analizu ulja predstavlja veliku pomoć u implementaciji koncepta proaktivnog održavanja. Postupak integracije *on-site* i laboratorijskih ispitivanja ulja dat je blok dijagramom na slici 3 (Todorović, Jeremić, Mačičić, 2009, poglavlje 6)



Slika 3 - Integracija laboratorijskih i on site ispitivanja

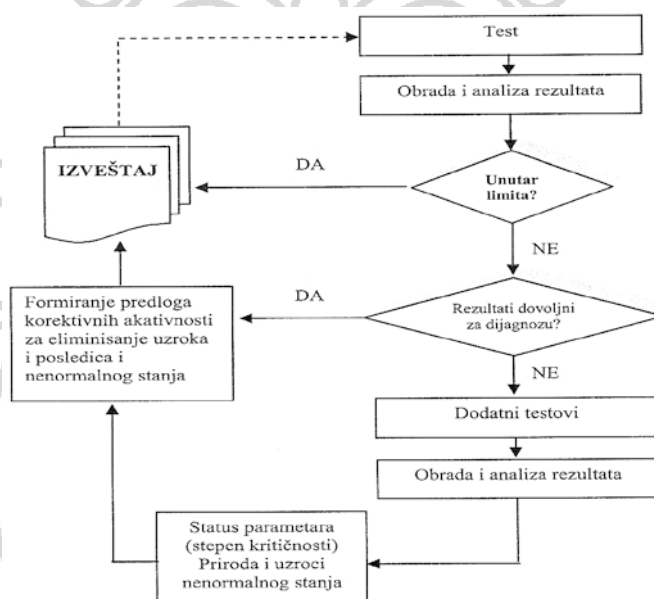
Definisanje graničnih vrednosti izabranih dijagnostičkih parametara je veoma važno. Granice koje se definišu odnose se, pre svega, na koncentraciju čvrstih čestica, prisustvo vode i viskoznost ulja, a zatim i na sve ostale parametre koji ukazuju na procese degradacije i starenja ulja, odnosno tribološke procese u tehničkom sistemu. Opšte prihvaćeno je da se za svaki parametar definišu dve granične vrednosti: 1. nivo upozorenja i 2. kritični nivo. Za koncentraciju čvrstih čestica ili sadržaj vode definiše se samo gornja granica, dok se za viskoznost definišu i gornja i donja granica (slika 4 (Todorović, Jeremić, Mačižić, 2009, poglavlje 6)), a takođe i nedozvoljen porast i pad vrednosti viskoznosti.



Slika 4 - Granične vrednosti dijagnostičkih parametara

Oblast praćenja stanja i analize ulja za podmazivanje karakteriše intenzivan razvoj novih, savremenih instrumenata i metoda za analizu fizičko-hemijskih osobina i prisustva određenih kontaminata. Sve metode ispitivanja su definisane odgovarajućim standardima, kako bi se obezbedilo unificiranje i omogućila uporedivost rezultata. Nova kategorija *on-site* uređaja namenjena je kompleksnom monitoringu degradacije ulja. Ovi uređaji koriste dielektričnu spektroskopiju i infracrvenu spektroskopiju za istovremeno dijagnostikovanje različitih

promena u hemiji baznog ulja, kao i aditiva i sadržaja produkata habanja. Najnoviji uređaji prate čitav spektar parametara. Dizajnirani kao ručni uređaji koriste se neposredno u eksploataciji za merenja koja traju do nekoliko minuta, imaju računarsku podršku za čuvanje i obradu podataka i mogu se elektronski povezati sa specijalizovanim laboratorijama. Osnovni pristup praćenja stanja ulja sastoji se u trenutnoj identifikaciji stanja ulja koje je uzorkovano u odnosu na unapred sačuvani referentni nivo. Posebna pogodnost ovih uređaja proističe iz mogućnosti defenisanja limita. Testiranje ulja koje je unutar zadatih granica automatski se detektuje sa prelaznom ocenom, a u suprotnom neprelaznom. Primarna svrha programa monitoringa ulja za podmazivanje je da se obezbedi pouzdano i dugotrajno korišćenje tehničkih sistema. Opšti algoritam postupaka interpretacije prikupljenih podataka za analizu ulja dat je na slici 5 (Babić, 2004, poglavlje 9). Ovaj algoritam se može prihvatiti kao opšti i važi za većinu testova namenjenih dijagnostikovanju različitih aspekata stanja ulja i tehničkog sistema.



Slika 5 - Opšti algoritam postupka interpretacije prikupljenih podataka

Za dijagnostiku stanja ulja i sistema u celini neophodno je imati u vidu sve konkretne aspekte ovih generalnih nedozvoljenih stanja, kao što su: kontaminacija čvrstim česticama, sadržaj produkata habanja, karakteristike produkata habanja, sadržaj vlage, sadržaj glikola, sadržaj rastvorenog goriva, rezerva oksidacione stabilnosti, promena viskoznosti i dr. Uputstvo za testiranje ulja u eksploataciji prema ASTM D6224 između ostalog sadrži i test o izgledu motornog ulja. Izgled uključuje karakteristike ulja kao što su boja, prozirnost, miris i talog. Ovaj test se izvodi vizuelno.

Eksploatacione metode su korisne za brzo dijagnostikovanje abnormalne degradacije motornog ulja, ali nisu i precizne. Jedino uz laboratorijske metode ispitivanja mogu se potvrditi ili opovrgnuti pretpostavke dobijene pomoću eksploatacionih metoda (Obradović, Kekić, 2009).

Boja motornog ulja je karakteristika koja zavisi od strukture ulja, viskoznosti i aditiva. Promena boje ulja ukazuje na starenje i degeneraciju ulja. Boja ulja određuje se vizuelnom metodom. Ne postoji standardna metoda za određivanje boje. Korišćeno ulje je, kod normalne degradacije, crne boje, zbog detergentnih svojstava motornog ulja da "peru" prostor za

sagorevanje u cilindru i glavi motora. Samo kod prisustva vode u većoj količini, ulje poprima sivkastu boju, nalik na boju bele kafe. Viskoznost je jedna od osnovnih fizičkih veličina motornog ulja i predstavlja meru unutrašnjeg otpora tečenju čestica fluida. Viskoznost može da bude dinamička i kinematska. Kinematska viskoznost je određena odnosom dinamičke viskoznosti i gustine. U eksploatacionim uslovima češće se koristi kinematska viskoznost koja se izražava u mm^2/s . Viskoznost je značajna karakteristika motornog ulja jer utiče na sposobnost razdvajanja kontaktnih površina. Kinematska viskoznost motornog ulja nije konstantna vrednost, već zavisi od temperature, pritiska i dr. Kinematska viskoznost opada sa porastom temperature, a raste sa porastom pritiska. Smicajna otpornost motornog ulja pada ako pada kinematska viskoznost. Kinematska viskoznost se praktično utvrđuje merenjem vremena potrebnog da fluid definisane zapremine prođe kroz kapilar kalibrisanog viskozimetra zadato rastojanje pod dejstvom gravitacije pri temperaturi 40°C i 100°C .

U toku eksploatacije motornog ulja dešava se da dođe do povećanja kinematske viskoznosti ulja, a najčešći razlozi su:

- prisustvo povećane količine čađi u motornom ulju,
- oksidacija i polimerizacija pojedinih ugljovodoničnih struktura prisutnih u ulju.

Takođe, u toku eksploatacije motornog ulja, može da se pojavi pad vrednosti viskoznosti, a mogući razlozi su:

- razređenje motornog ulja gorivom zbog nepodešenosti sistema za ubrizgavanje ili zbog povećanih zazora u području klipnih prstenova,
- destrukcija upotrebljenog poboljšavača viskoznosti usled delovanja mehaničkih sila

Kritičnim vrednostima viskoznosti se smatraju sve vrednosti viskoznosti koje pređu prag tolerancije koji se kreće od -10% do $+20\%$ u odnosu na početnu viskoznost.

Indeks viskoznosti je bezdimenziona veličina koja pokazuje kako se viskoznost motornog ulja menja sa promenom temperature. Veći indeks viskoznosti motornog ulja pokazuje manju tendenciju za promenom viskoznosti sa promenom temperature. U procesu proizvodnje motornog ulja dodaju se aditivi za povećanje indeksa viskoznosti.

Voda se u motornom ulju može naći u rastvorenom, emulgovanom ili slobodnom stanju. Sadržaj vode se daje u procentualnom odnosu prema ukupnoj zapremini motornog ulja, u stotim % ili milionitim delovima-ppm. Deemulzaciona svojstva motornog ulja pokazuju njegovu sposobnost da brzo i potpuno odvoji vodu sa kojom dođe u kontakt. Deemulgatori su aditivi motornog ulja koji imaju zadatak da smanje sposobnost motornog ulja da rastvara vodu.

Prisustvo slobodne vode u motornom ulju može se jednostavno registrovati na osnovu vizuelnog izgleda ulja. Povećanjem sadržaja vode dolazi do замуćenja ulja koje poprima mlečan izgled, a njegova boja postaje tamnija. Voda u motornom ulju vrši direktno uticaj na razvoj procesa korozije, pospešuje proces oksidacije, smanjuje viskoznoš, stvara uslove za razvoj bakterija u motornom ulju. Voda u motornom ulju može biti znak unutrašnjeg curenja (oštećena zaptivka glave motora, napuknuća glave motora) ili spoljnog zgađenja (kondenzat stvoren usled povećane vlage u atmosferi) ili iznutra. Iako voda obično isparava iz motora na normalnim radnim temperaturama, ako motor radi na preniskim radnim temperaturama, čija je vrednost preniska za isparenje vode, deo vode ostaje u ulju. Tačka stinjavanja je najniža temperatura na kojoj motorno ulje prestaje da teče. Dodavanjem aditiva vrši se poboljšanje tačke stinjavanja, odnosno smanjenje temperature na kojoj motorno ulje prelazi u čvrsto

stanje. Neutralizacioni broj je pokazatelj kiselosti ili baznosti ulja. Polazna vrednost zavisi od sastava motornog ulja, količine i vrste dodatih aditiva. S tim što vrednost neutralizacionog broja raste u procesu hemijske degradacije ulja. Neutralizacioni broj iskazuje se u količini kalijum hidroksida (KOH) koji se mora dodati jednom gramu radnog fluida da bi se neutralizovalo prisustvo svih kiselina (mgKOH/g). Broj miligrama baznog reagensa potreban da neutrališe sve kisele konstituentu u gramu uzorka motornog ulja predstavlja totalni kiselinski broj (eng. *Total Acid Number-TAN*). Broj miligrama kiselog reagensa HCl potreban da neutrališe sve bazne konstituentu u gramu uzorka motornog ulja predstavlja totalni bazni broj (eng. *Total Base Number-TBN*).

Gubitak baznog potencijala je normalna pojava u toku korišćenja motornog ulja. Granične vrednosti su:

- upozoravajuća vrednost predstavlja pad vrednosti do 50% od početne vrednosti i
- kritična vrednost predstavlja pad vrednosti od 75% od početne vrednosti.

Osnovna tribološka funkcija motornog ulja jeste smanjenje trenja i zaštita površina od habanja. Motorno ulje sprečava direktni kontakt metalnih površina. Osnovne tribološke karakteristike motornog ulja su sposobnost podnošenja visokih pritisaka, temperaturna izdržljivost pri trenju i vek trajanja. Tribološke karakteristike eksperimentalno se definišu određenim parametrima utvrđenim ispitivanjem (Sovilj, Sovilj-Nikić, Ješić, 2011, str.107). Tako se frikciona svojstva ispitivanog motornog ulja iskazuju koeficijentom ili silom trenja, a antihabajuća svojstva odgovarajućom veličinom traga habanja na kontaktnim uzorcima.

Mehaničke nečistoće su najčešći izvor kontaminacije motornog ulja i osnovni su uzrok procesa habanja kontaktnih površina elemenata tribomehaničkih sistema u motoru. Ovu grupu kontaminanata sačinjavaju čvrste čestice različitog porekla, strukture, oblika i veličine. Vrste mehaničkih nečistoća su: metalne čelične čestice, čestice obojenih metala, silikati, vlakna, produkti starenja motornog ulja, čestice korozije i dr. U primarnom obliku mehaničke nečistoće prodiru u tehnički sistem iz okoline, izazivaju kontaminaciju ulja, pospešuju tribološke procese u sistemu i degradaciju samog ulja za podmazivanje što za posledicu ima sekundarnu kontaminaciju (produkti procesa habanja unutar sistema). Veoma je važno izvršiti jasno lociranje izvora kontaminacije ulja kako bi se definisale aktivnosti i preventivne mere za njihovo ograničavanje i eliminisanje.

3. Materijal i metod rada

Ispitivanje je obavljeno na više tipova sredstava mehanizacije, u kojima su ugrađeni dizel motori različitih proizvođača, a period ispitivanja obuhvatio je celu godinu, počevši od osnovne obrade pa do ubiranja i prevoza ubranog useva, odnosno, sva godišnja doba (od izuzetno niskih pa do visokih temperatura vazduha), različite zemljišne uslove, kao i različita opterećenja pogonskih motora. Kvalitet goriva, koje je korišćeno za pogon motora, prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1 Fizičko-hemijske karakteristike korišćenog goriva

Red.broj	Metoda	Karakteristike	Vrednost
1	ASTM D1298	Gustina na 15°C	0,882 kg / dm ³
2	ASTM D 445	Viskoznost na 20°C	3,875 mm ² / s
3	MI 67	Sadržaj vode	0,00 %
4	ASTM D 93	Tačka paljenja	71°C
5	XRY	Sadržaj sumpora	0,016 %

U tabeli 2 prikazana su sredstva poljoprivredne tehnike na kojima je vršeno eksploataciono ispitivanje motornog ulja. Na osnovu tabele 2 se može uočiti da su eksploatacionim ispitivanjem obuhvaćena sredstva u kojima su ugrađeni pogonski motori različitih svjetskih proizvođača (Deutz, John Deere, Cummins). Takođe se vodilo računa da eksploataciono ispitivanje motornog ulja traje od osnovne obrade pa sve do ubiranja i prevoza ubranog useva (period mart-novembar).

Tabela 2 Sredstva poljoprivredne tehnike na kojima je vršeno ispitivanje

Redni broj	Vrsta, marka i tip poljoprivredne mašine	Godina proizvodnje	Tip ugrađenog motora	Instalisana snaga motora (kW)	Korišćeno pogonsko gorivo
1.	Žitni kombajn JD 9680 WTS	2003.	JohnDeere RG 6081	247	Euro Dizel
2.	Kombajn za grašak PMC 979 AT	2003.	Deutz BF8M 1015	290	Euro Dizel
3.	Traktor John Deere 8320	2006.	John Deere RG 6081	182	Euro Dizel
4.	Traktor John Deere 6820	2004.	John Deere CD 6068	99	Euro Dizel
5.	Traktor Case Steyr 9220	2001.	Cummins 6TA 830	165	Euro Dizel

U tabeli 3 dat je prikaz karakteristika ispitivanog motornog ulja. Ovde se, takođe, vodilo računa da motorno ulje zadovoljava uslove koje je dao proizvođač motora u pogledu kvaliteta, viskoznosti kao i drugih zahteva.

Tabela 3 Karakteristike motornog ulja koje je bilo predmet ispitivanja

Vrsta motornog ulja	Mineralno multigradno motorno ulje
Viskozitet	15W/40
Kvalitetni nivo ulja	API CI-4/CH-4/CF/SLACEA E7-04
Gustina na 15°C	0,88 g / cm ³ (ISO 3675)
Viskoznost na 40°C	100 mm ² / s (ISO 2104)
Viskoznost na 100°C	14,0 mm ² / s (ISO 3104)
Indeks viskoznosti	135 (ISO 2909)
TBN	10,0 mgKOH/g (ASTM D-2896)
Tačka stinjanja	-27°C (ASTM D 97)

U tabeli 4 dat je prikaz fizičko-hemijskih karakteristika koje su bile predmet analize i specifikacije za njihovo određivanje.

Tabela 4 Fizičko-hemijske karakteristike i specifikacije za određivanje stanja ulja

Red. broj	Fizičko-hemijska karakteristika	Metoda	Jedinica
1	Viskoznost na 40°C	ASTM D 445	mm ² / s
2	Viskoznost na 100°C	ASTM D 445	mm ² / s
3	Indeks viskoznosti	ASTM D 2270	
4	TBN	ASTM D 2896	MgKOH/g
5	TAN	ASTM D 665	MgKOH/g
6	Sadržaj vode	ASDTM E 203	%
7	Tačka stinjanja	ASTM D 97	°C

8	Sadržaj primesa elemenata (P, S, Ca, Zn, Fe)	ASTM D 6481	mg/kg
---	---	-------------	-------

Primenjeni metod rada podrazumevao je da se 15 minuta nakon ulivanja motornog ulja uzimao tzv. „0“ uzorak, u količini od cca 500 ml. To se ponavljalo periodično, na 100 i 200 sati rada motora. U cilju utvrđivanja stepena degradacije motornog ulja, ono je dostavljano akreditovanoj laboratoriji, gde su se utvrđivale fizičko-hemijske osobine ulja savremenim laboratorijskim metodama. Osim laboratorijske analize, pomoću organoleptičkih metoda (na osnovu boje i mirisa) utvrđivalo se stanje motornog ulja. Takođe, izvedeno je određivanje stepena degradacije motornog ulja pomoću Lubri senzora. Lubri senzor je omogućio da se u eksploatacionim uslovima utvrdi da li se radi o normalnoj degradaciji ili degradaciji koja je visoko rizična (prisustvo u većoj koncentraciji goriva kao i prisustvo rashladne tečnosti).

4. Rezultati i diskusija

U ovom radu dat je deo rezultata istraživanja eksploatacionih i laboratorijskih karakteristika korišćenih motornih ulja. Ovaj deo rezultata odnosi se na istraživanje karakteristika motornog ulja C koje je korišćeno kod pet poljoprivrednih mašina (tabela 5). U tabeli 5 je prikazano devet karakteristika korišćenog motornog ulja C, a u kolonama su navedeni vrsta, marka i tip odgovarajuće poljoprivredne mašine.

Tabela 5 Karakteristike korišćenog motornog ulja

Red. br.	Karakteristika	Metoda	Vrsta, marka i tip poljoprivredne mašine									
			Žitni kombajn JD 9680 WTS		Kombajn za grašak PMC 979 AT		Traktor John Deere 8320		Traktor John Deere 6820		Traktor Case Steyr 9220	
			Uzorkovanje-sati rada motora									
			100	200	100	200	100	200	100	200	100	200
			Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo	Cmo
1.	Izgled	Vizuelno										
2.	Kinematska viskoznost na 40°C	ASTM D 445	102,2	100,9	106,5	109,6	110,4	100,2	100,5	112,5	115,9	117,2
3.	Kinematska viskoznost na 100°C	ASTM D 445	13,68	13,82	14,51	14,54	14,69	13,61	13,29	14,78	14,88	14,95
4.	Indeks viskoznosti	ASTM D 2270	134	138	140	136	137	136	130	135	132	132
5.	Sadržaj vode	ASTM E 203	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0
6.	Tačka stajavanja	ASTM D 97	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-42
7.	Totalni bazni broj TBN	ASTM D 2896	9,68	9,31	9,90	9,64	9,93	9,96	10,20	9,74	9,47	9,20
8.	Totalni kiselinski broj TAN	ASTM D 664	3,56	4,51	2,98	3,58	2,86	2,94	3,03	3,00	3,27	4,33
9.	Sadržaj elemenata	P	0,129	0,123	0,095	0,088	0,088	0,116	0,092	0,090	0,089	0,0112
		S	0,533	0,531	0,481	0,466	0,471	0,523	0,49	0,492	0,493	0,586
		Ca	0,216	0,213	0,200	0,204	0,207	0,206	0,207	0,213	0,209	0,211
		Zn	0,15	0,147	0,147	0,149	0,152	0,153	0,145	0,147	0,152	0,145
		Fe	7	18	15	15	17	17	13	19	18	22

Prva karakteristika koja je ispitivana je izgled motornog ulja. Vizuelno je ocenjena boja motornog ulja i ona je kod svih pet poljoprivrednih mašina bila crna. Ovakva boja korišćenog motornog ulja ukazuje na normalnu degradaciju. Kinematska viskoznost na 40 °C kod svih pet poljoprivrednih mašina ne prelazi preporučeni alarm +20% od nominalne SAE gradacije. Najveću kinematsku viskoznost na 40 °C od 117,2 mm²/s posle 200 sati rada motora imalo je motorno ulje na traktoru Case Steyr 9220. Na istom traktoru motorno ulje posle 200 sati rada motora imalo je najveću kinematsku viskoznost na 100 °C koja je iznosila 14,95 mm²/s. Najmanju kinematsku viskoznost na 40 °C od 100,2 mm²/s posle 200 sati rada motora imalo je motorno ulje na traktoru John Deere 8320. Na istom traktoru motorno ulje posle 200 sati rada motora imalo je najmanju kinematsku viskoznost na 100 °C koja je iznosila 13,61 mm²/s.

Indeks viskoznosti motornog ulja C posle 200 sati rada motora najveći je kod žitnog kombajna JD 980 WTS i iznosi 138, a najmanji je kod traktora Case Steyr 9220 i iznosi 132. Sadržaj vode u korišćenom motornom ulju C evidentiran je posle 200 sati rada motora žitnog kombajna JD 9680 WTS i iznosio je 0,03%, tj. u ulju nema veće koncentracije slobodne ili rastvorene vode jer je utvrđeni procenat manji od 0,2 %. Tačka stinjavanja motornog ulja C je kod svih mašina bila niža od tačke stinjavanja novog motornog ulja C. Najniža je kod traktora Case Steyr 9220 i iznosi -42°C . Totalni bazni broj TBN korišćenog motornog ulja posle 200 sati rada motora na svim poljoprivrednim mašinama se smanjio, najmanji je $\text{TBN}=9,20\text{ mgHCl/g}$ korišćenog ulja u motoru traktora Case Steyr 9220. Totalni kiselinski broj TAN bio je posle 200 sati rada motora najmanji za korišćeno ulje C u motoru traktora John Deere 8320 i iznosio je $\text{TAN}=2,94\text{ mgKOH/g}$, a najveći $\text{TAN}=4,51\text{ mgKOH/g}$ u motoru žitnog kombajna JD 9680 WTS. Sadržaj elemenata P, S, Ca, Zn i Fe dat je u tabeli 5 pod rednim brojem 9. Na bazi standarda ASTM D6224 u literaturi (Babić, 2004, poglavlje 9) dato je detaljno uputstvo za utvrđivanje primarnih i sekundarnih izvora kontaminacije korišćenog motornog ulja. Fosfor u korišćenom ulju može poticati od pohabanih elemenata motora i od aditiva. Aditiv je primarni izvor kontaminacije, a sekundarni izvor kontaminacije jeste površinska obrada elemenata motora. Sadržaj fosfora je najmanji posle 200 sati rada motora u korišćenom ulju C u motoru kombajna za grašak PM C979AT i iznosio je 0,088 ppm, a najveći je 0,123 ppm u korišćenom ulju C u motoru žitnog kombajna JD 9680 WTS. Sadržaj sumpora je najmanji posle 200 sati rada motora u korišćenom motornom ulju C u motoru kombajna za grašak PM C979AT i iznosio je 0,466 ppm, a najveći sadržaj sumpora je 0,586 ppm u korišćenom motornom ulju u motoru traktora Case Steyr 9220. Kalcijum u korišćenom motornom ulju C potiče od aditiva i od kontaminata, pri čemu su aditivi primarni izvor Ca u ulju a voda sekundarni izvor. Najmanji sadržaj Ca u korišćenom motornom ulju C posle 200 sati rada motora je u ulju iz motora kombajna za grašak i iznosio je 0,204 ppm, a najveći sadržaj Ca je 0,213 ppm u ulju iz motora žitnog kombajna JD 9680 WTS i traktora John Deere 8320.

Cink u ulju potiče od aditiva i kontaminata. Primarni izvor Zn u ulju je od aditiva, a sekundarni izvor su zaptivke i obloga. Najmanji sadržaj Zn je u ulju iz motora traktora Case Steyr 9220 i bio je 0,145 ppm, a najveći je 0,153 ppm u ulju iz motora traktora John Deere 8320. Gvožđe u ulju potiče od pohabanih elemenata i kontaminata. Primarni izvor Fe u ulju predstavljaju cilindri, frikcioni diskovi, vođice ventila i dr. Sekundarni izvor Fe su aditivi. Najmanji sadržaj Fe u korišćenom motornom ulju C posle 200 sati rada motora je u ulju iz motora kombajna za grašak PM C979AT i iznosio je 15 ppm, a najveći je 22 ppm u korišćenom motornom ulju C iz motora traktora Case Steyr 9220.

5. Zaključak

Praćenje stepena degradacije motornog ulja u motorima poljoprivrednih mašina je neophodno, kako iz preventivnih razloga, tako i iz ekonomskih razloga. Kontrola kvaliteta, odnosno, stepena degradacije motornog ulja ukazuje na tehničko stanje motora, te omogućava da se teži kvarovi spreče, a to je direktno povezano sa troškovima održavanja i stepenom pouzdanosti poljoprivrednih mašina. Eksploataciona i laboratorijska metoda su kompatibilne, stoga bi u praksi trebalo koristiti obe metode. Bez obzira ne cene koštanje laboratorijske analize, preporučeno je da se ona koristi, jer umanjuje ukupne troškove održavanja sredstava poljoprivrednih mašina. Na osnovu praćenja kvaliteta motornog ulja, odnosno, stepena njegove degradacije, može se odrediti optimalni period njegove zamene što predstavlja cilj

daljeg istraživanja laboratorijskih i eksploatacionih karakteristika motornog ulja za koje su rezultati dosadašnjeg istraživanja prikazani u ovom radu.

Literatura

- [1] Babić, M, (2004), Monitoring ulja za podmazivanje, Kragujevac:Mašinski fakultet u Kragujevcu, Jugoslovensko društvo za tribologiju
- [2] Obradović, A, Kekić, A, (2009), "Eksploataciono ispitivanje motornog ulja FAM FENIX SUPERIOR 15W/40 u PIK Bečej a.d.", YUMTO, Novi Sad
- [3] Sovilj, B, Sovilj-Nikić, I, Ješić, D, (2011), "Measurement methodology of characteristics and election of materials of elements of tribomechanical systems", Metalurgija//Metallurgy, Vol. 50, No. 2, pp. 107-112
- [4] Sovilj at al., (2011), "Treatment in tribological processes of spur gear in modern agricultural engineering", Savremena poljoprivredna tehnika//Contemporary Agricultural Engineering, Vol. 37, No. 3, pp. 305-314
- [5] Todorović, P, Jeremić, B, Mačužić, I, (2009), Tehnička dijagnostika, Kragujevac: Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu

Zahvalnica

Istraživanje je finansirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata TR 35015 i III 43008, a takođe je i rezultat saradnje u okviru CEEPUS projekta CIII-RO-0058-07.