

# Utjecaj vrste sustava za obradu ispušnih plinova traktorskih dizel motora na fizikalno-kemijska i mehanička svojstva motornog ulja

---

**Marinović, Danijel**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:070826>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Danijel Marinović,  
Diplomski studij Mehanizacija

**UTJECAJ VRSTE SUSTAVA ZA OBRADU ISPUŠNIH PLINOVA  
TRAKTORSKIH DIZEL MOTORA NA FIZIKALNO-KEMIJSKA I  
MEHANIČKA SVOJSTVA MOTORNOG ULJA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2017.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Danijel Marinović,  
Diplomski studij Mehanizacija

**UTJECAJ VRSTE SUSTAVA ZA OBRADU ISPUŠNIH PLINOVA  
TRAKTORSKIH DIZEL MOTORA NA FIZIKALNO-KEMIJSKA I  
MEHANIČKA SVOJSTVA MOTORNOG ULJA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Pavo Baličević, član

**Osijek, 2017.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. PREGLED LITERATURE</b>	<b>5</b>
<b>2.1. OPĆENITO O DIZELSKIM MOTORIMA I NJIHOVIM EMISIJAMA</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 EGR uređaj</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2. SCR i AdBlue</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2.1. Kemijske reakcije</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2.2. SCR uređaj na vozilu</b>	<b>15</b>
<b>2.2. OPĆENITO O MOTORNIM ULJIMA</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERIJAL I METODE</b>	<b>22</b>
<b>3.1. OPĆENITO O „ANAGALIS“ D.O.O.</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1. Struktura zaposlenih</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2. Struktura proizvodnje</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3. Struktura poljoprivredne mehanizacije</b>	<b>25</b>
<b>3.2. POLJOPRIVREDNI TRAKTORI</b>	<b>27</b>
<b>3.3. MOTORNA ULJA</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1. INA Super Max 15W-40</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. INA Super 2000 10W-40</b>	<b>31</b>
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b>	<b>33</b>
<b>4.1. IZGLED I BOJA</b>	<b>33</b>
<b>4.2. SADRŽAJ VODE I MEHANIČKIH NEČISTOĆA</b>	<b>33</b>
<b>4.3. KINEMATIČKA VISKOZNOST</b>	<b>34</b>
<b>4.4. INDEKS VISKOZNOSTI</b>	<b>34</b>
<b>4.5. TAN (TOTAL ACID NUMBER) I TBN (TOTAL BASE NUMBER)</b>	<b>35</b>
<b>4.6. METALI NASTALI USLIJED TROŠENJA DIJELOVA MOTORA</b>	<b>35</b>
<b>4.7. NETOPIVO U N-PENTANU</b>	<b>35</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b>	<b>38</b>
<b>6. POPIS LITERATURE</b>	<b>39</b>
<b>7. SAŽETAK</b>	<b>41</b>
<b>8. SUMMARY</b>	<b>42</b>
<b>9. POPIS GRAFIKONA, TABLICA I SLIKA TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA</b>	<b>43</b>

## BASIC DOCUMENTATION CARD

### 1. UVOD

Pravilna su eksploatacija i servisno-tehničko održavanje mehanizacije bitni čimbenici povećanja produktivnosti rada, ekonomičnosti proizvodnje, smanjenja opterećenja čovjeka – poljoprivrednika, pravovremenog izvođenja radova, intenzivnijeg korištenja resursa, povećanja ostvarenih prinosa i dr. Mehanizacija nije sama sebi cilj, ona predstavlja značajan čimbenik racionalne proizvodnje. O pravilnom održavanju i racionalnoj eksploataciji tehničkih sustava u velikoj mjeri ovise i rezultati same proizvodnje (Plaščak, 2012.).

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja u cilju ekonomičnosti i konkurentnosti proizvodnje na tržištu podrazumijeva primjenu suvremenih agrotehničkih mjera i visoko sofisticiranih poljoprivrednih strojeva. Kako poljoprivredna mehanizacija značajno sudjeluje u ukupnim troškovima proizvodnje te bi uvođenje strojeva visokog učinka značajno utjecalo na smanjenje troškova održavanja i udjela obrtnih sredstava što na kraju znači smanjenje ukupnih proizvodnih troškova (Stroppel, 1998.). Budući da sredstva mehanizacije zauzimaju izuzetno značajno mjesto u modernoj intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Uporaba sredstava mehanizacije predstavlja osnovu za ispunjavanje visokih kriterija koji su nametnuti suvremenoj poljoprivredi. Banaj i Šmrčković (2003.) ističu kako važnost mehanizacije u ukupnim poljoprivrednim radovima posebno se ističe preko troškova mehanizacije u ukupnim troškovima proizvodnje koji pri agrotehnici određenih kultura mogu doseći i 50 %. Isti autori navode kako, uz troškove zemljišta, najvažniji troškovi koji utječu na dobit, u ratarskoj proizvodnji, jesu fiksni i radni troškovi poljoprivredne tehnike. Direktni troškovi mehanizacije pri nabavci nove visokoproduktivne mehanizacije često prelaze i  $300 \text{ €ha}^{-1}$  godišnje, pri čemu navedeni iznos zavisi o trenutnoj ponudi strojeva i kapitala na tržištu. Fiksni ili troškovi posjedovanja u ukupnim troškovima poljoprivredne tehnike iznose približno 56%. Radni ili varijabilni troškovi rastu izravno sa povećanjem iskorištenosti stroja (odrađenog broja radnih sati), a u ukupnim troškovima mehanizacije iznosi oko 44% (na troškove goriva i maziva odlazi 34 %, a na troškove nastale uslijed popravka oko 10 %) i u odnosu na fiksne moguće ih je smanjiti.

Osnovna energetska jedinica svakog poljoprivrednog gospodarstva jest traktor. Prema podacima Državnog zavoda za statistiku koji su prikupljeni Popisom poljoprivrede

iz 2003. Godine, Republika Hrvatska raspolaže sa ukupno 189887 dvoosovinskih traktora, od čega se skoro 98 % nalazi u vlasništvu poljoprivrednih kućanstava (oko 5,7 ha korištenog poljoprivrednog zemljišta po jednom traktoru), dok je zabilježen ukupni broj traktora sa snagom većom od 100 kW iznosio 1623 traktora od kojih se tek nešto više od 59 % nalazi u vlasništvu poljoprivrednih kućanstava.

Svaki radni stroj u svojoj eksploataciji zahtjeva stanovito održavanje. Mjere tehničkog održavanja traktora dosta su složene. Danas se konstruiraju i proizvode traktori sa znatno manjim brojem operacija tehničkog održavanja, ali su pogreške i propusti prilikom održavanja nedopustivi uslijed iznimno veće složenosti sustava. Razlog provođenja mjera tehničkog održavanja je čim kraće vrijeme spremnosti i gotovosti, a time i visoka pouzdanost svih elemenata i traktora kao cjeline. Ako se mjere održavanja ne provode ili se nepravilno provode, nakon određenog će vremena sustav doći u stanje kvara. Ispravno održavan traktor postiže veće radne učinke uz duži vijek trajanja koji je određen konstrukcijskim karakteristikama, vrstom materijala i ljudskim utjecajem.

U ruralnim je sredinama poljoprivredna proizvodnja jedan od najznačajnijih čimbenika onečišćenja okoline. Pritom se prvenstveno misli na emisiju štetnih plinova, koji znatno utječu na zdravstveno stanje ljudi koji ih udišu. Štetni plinovi koje ispuštaju motori izgaranjem, a koji su ograničeni zakonskim propisima su: CO (ugljkov monoksid), HC (ugljikovodoci), NO<sub>x</sub> (dušikovi oksidi) i čestice (najvećim dijelom čađa i koks). Problem redukcije dušikovih oksida kod benzinskih motora je riješen upotrebom trokomponentnoga katalizatora, čija je primjena započela krajem 1970-tih godina. Za njegov rad potreban je bezolovni benzin i strogo stehiometrijska smjesa goriva i zraka, odnosno faktor pretička  $\lambda=1\pm 3\%$  (URL1). Isti izvor navodi kako dizelski motori rade s velikim viškom zraka pa stoga primjena trokomponentnog katalizatora nije moguća. Poseban katalizator za smanjivanje dušikovih oksida kod ovih je motora najavljivan još od ranih 1990-ih. Međutim, zbog problema vezanih uz tada još nedovoljnu trajnost koja je npr. 1998. godine iznosila svega oko 70 radnih sati, proizvođači su tek 2003. godine prikazali prve sustave za redukciju dušikovih oksida namijenjene motornim vozilima, spremne za serijsku proizvodnju. Do tada je jedina mogućnost bila primjena mjera u samome cilindru, dakle unutar motora, kojima se smanjivala tzv. sirova emisija NO<sub>x</sub>. Te su se mjere isprva svodile samo na promjenu ubrizgavanja u točkama u kojima se tada mjerila štetna emisija, a kad se mjerenje NO<sub>x</sub> proteglo gotovo cijelim radnim područjem motora primjena uređaja EGR (engl. Exhaust Gas Recirculation), za djelomični povrat ispušnih plinova u usis u iznosu do 60%, indirektno je

postala obveznom.  $\text{NO}_x$  nastaje uslijed visokih temperatura izgaranja u cilindru, a EGR djeluje tako što smanjuje tu najveću temperaturu. Ovaj efekt je bolji ako se ispušni plinovi prije miješanja sa svježim zrakom prethodno ohlade u posebnom hladnjaku pomoću vanjskoga zraka. Negativna posljedica ovakvog rješenja je povećanje potrošnje goriva za približno 5 do 7 %. Dolaskom naprednijih uređaja sa selektivnom katalitičkom redukcijom SCR (engl. Selective Catalytic Reduction), koji mogu zadovoljiti čak i stroge uvjete o dozvoljenim štetnim emisijama Euro V, što stupaju na snagu 2008. godine, razvoj dizelskih motora može se usmjeriti prema optimiranju procesa izgaranja u cilindru, sa ciljem smanjenja potrošnje goriva i povećanja snage. Načelno gledajući, za smanjivanje štetnih emisija motora postoje dvije mogućnosti:

a) smanjivanje sirove emisije motora (poboljšanjem procesa izgaranja i stalnim poboljšavanjem kvalitete goriva),

b) pročišćavanje ispušnih plinova nakon što izađu iz cilindra (uređajima za pročišćavanje te opet odgovarajućom kvalitetom goriva).

Međutim, prema Bünemann (2005.) promjene u kontroli izgaranja u smislu ograničavanja  $\text{NO}_x$  i PM imaju značajan utjecaj na mazivo. Poboljšanje u efikasnosti izgaranja dovodi do porasta radnih temperatura i skupa sa smanjenjem potrošnje ulja do povećanih termičkih i oksidacijskih naprezanja u ulju. Mnogo značajniji je porast čađe uzrokovan promjenama vremena izgaranja. To zahtijeva poboljšana disperzantna svojstva ulja u cilju protočnosti i čistoće motora. Povećanje sadržaja čađe povećava osjetljivost na trošenje, jer je čađa tvrda i pospješuje abrazivno trošenje.

Današnji moderni dizelski motori u poljoprivrednim traktorima opremljeni su odgovarajućim sustavom za naknadnu obradu ispušnih plinova kako bi se zadovoljili zahtjevi ograničenih vrijednosti emisije. Najčešći takav sustav jest kombinacija obnavljanja dizelova filtra čestica koje se ostvaruje naknadnim ubrizgavanjem goriva. Zbog postupka naknadnog ubrizgavanja, gorivo i derivati njegova izgaranja mogu prodrijeti u spremnik ulja motora kroz stijenku cilindra i klipne prstenove. Ovisno o njihovoj vrsti, mješavini i kvaliteti sastavnica korištenog biodizela i proizvoda njihove razgradnje, to razrjeđivanje može ozbiljno utjecati na funkcionalnost i performanse vrhunskih motornih ulja (Petraru i Novotny-Farkas, 2012.).

Provedeno istraživanje imalo je za cilj utvrditi utjecaj vrste sustava za obradu ispušnih plinova traktorskih dizel motora na fizikalno-kemijska i mehanička svojstva korištenog motornog ulja.

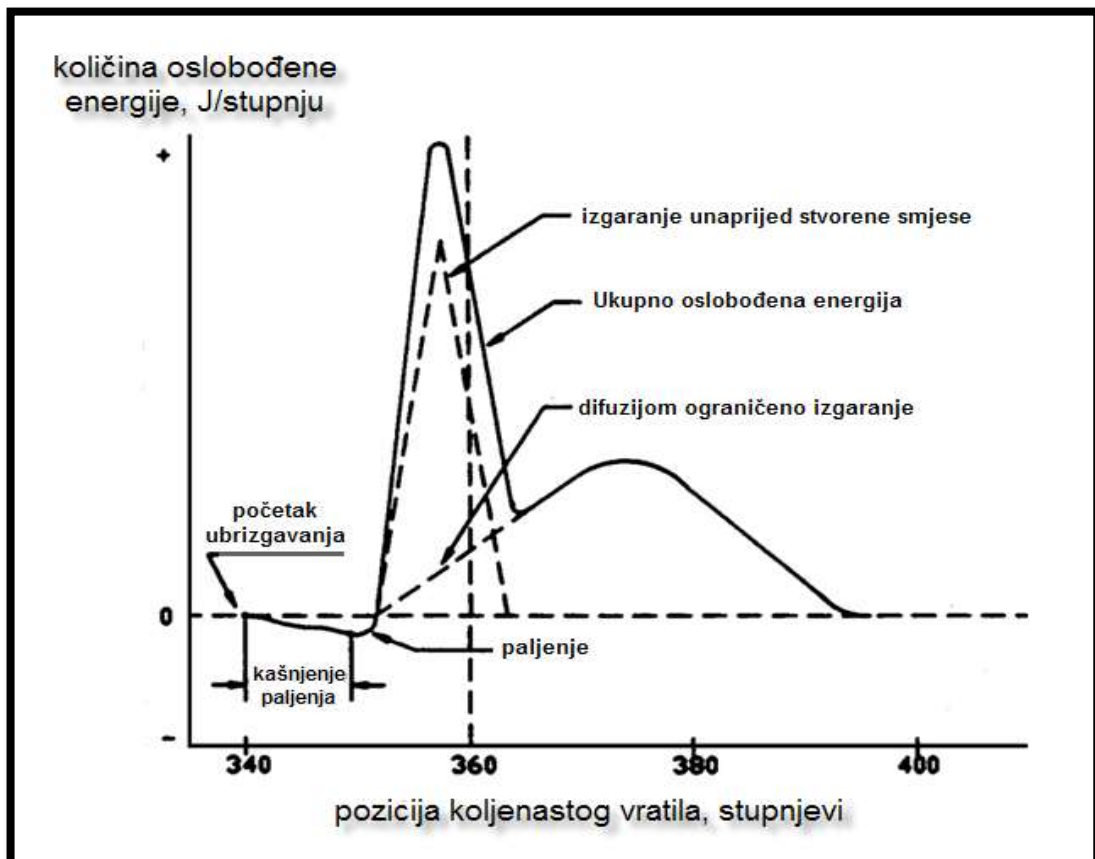


## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. OPĆENITO O DIZELSKIM MOTORIMA I NJIHOVIM EMISIJAMA

Dizelski motori imaju najučinkovitiju pretvorbu energije među svim poznatim vrstama motora s unutrašnjim izgaranjem. Heywood (1988.) navodi kako ova visoka učinkovitost pretvorbe energije potječe od bitnih značajki radnog ciklusa dizelskog motora: početak izgaranja goriva kontrolira se trenutkom ubrizgavanja goriva, vrlo ekonomična potrošnja goriva i opterećenje se savladava izmjenom količine ubrizganog goriva po ciklusu.

Prema Renius (1999.) heterogeni oblik izgaranja u dizelskim motorima ima za rezultat oslobađanje energije kao što je prikazano slikom 1.



Slika 1. Količina energije oslobođena izgaranjem u dizelskim motorima (Renius, 1999.)

Gorivo se ubrizgava pred kraj takta kompresije, počinje isparavati i miješati se sa zrakom i to za vrijeme kašnjenja zapaljenja. To je vrijeme kašnjenja zapaljenja vrlo kratko (kraće od nekoliko ms pri normalnim brojevima okretaja motora) i takvo je vrijeme

miješanja goriva i zraka nepotpuno. Toplinska energija koja se koristi za isparavanje čestica dizelskog goriva za vrijeme trajanja kašnjenja zapaljenja u biti je trenutni gubitak energije. Kada se izgaranje dogodi, kompletna smjesa gorivo-zrak koja je stvorena tijekom vremena kašnjenja zapaljenja izgara trenutno, što rezultira naglim skokom stvorene energije (na slici prikazano šiljkom tzv. izgaranja unaprijed stvorene smjese). Preostalo gorivo isparava te ono i zrak tada međusobno difundiraju u područjima gdje se odvija izgaranje unaprijed stvorene smjese i tada se izgaranje nastavlja u vidu tzv. difuzijom ograničenog izgaranja. Zbroj energije oslobođene izgaranjem unaprijed stvorene smjese i energije oslobođene difuzijom ograničenog izgaranja daju ukupnu energiju oslobođenu izgaranjem dizelskog goriva, a ona je ta koja pokreće klip tijekom radnog takta. Izgaranje unaprijed stvorene smjese od iznimnog je značaja u doprinosu pretvorbe energije goriva i, izuzev stvaranja dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>), smatra se čistim izgaranjem. Međutim, naglo oslobađanje energije tijekom izgaranja unaprijed stvorene smjese ima za posljedicu pojavu lupanja motora („engine knock“) i štetan utjecaj na motor. Sporije, difuzijom ograničeno izgaranje je mirnije i manje štetno za motor, ali također ima i manji doprinos pri pretvorbi energije goriva te proizvodi ispušne plinove i ugljični monoksid (CO). Relativni udio difuzijom ograničenog izgaranja u ukupnom izgaranju povećava se povećavanjem stupnja kompresije motora, pomicanjem trenutka ubrizgavanja bliže GMT, korištenjem goriva većeg cetanskog broja ili povećavanjem opterećenja motora. Dakle, izgaranje u dizelskim motorima uvjetovano je dizajnom motora, podešavanjem i režimom rada.

Ispušni plinovi dizelskih motora kao glavne komponente sadrže vodu i ugljični dioksid i to u količini od oko 80 do 90 %, dok ostatak od 10 % čine neizgorene čestice ugljika, dušikovi oksidi, sumporni oksidi, ugljični monoksid, ugljikovodici itd. Pravilno i dobro održavan motor ima za rezultat pravilno, pravovremeno i kvalitetno izgaranje dizelskog goriva pravodobno ubrizganog u dovoljnu količinu zagrijanog zraka. Takav motor za posljedicu ima manju količinu emisije neizgorenih čestica ugljika i ugljikovodika (HC). Ispušni plin pravilno održavnog motora biti će skoro bijel ili manje taman. U suprotnom, loše održavan motor ima pomaknuto vrijeme otvaranja i zatvaranja ventila kao i vrijeme ubrizgavanja, što rezultira nepravilnim i nepotpunim izgaranjem. Uslijed toga, on emitira veće količine neizgorenih čestica ugljika i ugljikovodika u ispušnim plinovima.

Slijedeći izvor (URL2) navodi kako se ispušni plin nastao izgaranjem goriva u dizelskim motorima, koji je mješavina plinova, para, tekućina, aerosoli i krutih čestica, naziva emisija dizelskimotora. Sadržava produkte izgaranja koji uključuju: ugljik (čada),

dušik, vodu, ugljični monoksid, aldehide, dušični dioksid, sumporni dioksid i policikličke aromatske ugljikovodike. Količina čestica ugljika ili čađe kreće se od 60 % do 80 % ovisno o vrsti korištenog goriva, vrsti motornog ulja te samom tipu motora. Većina tvari zagađivača koji nastaju izgaranjem goriva apsorbiraju se u čađu. Dizelski motori proizvode manje ugljičnog monoksida, ali znatno više čađi od benzinskih motora.

Na emisije ispušnih plinova i karakteristike dizelskih motora s izravnim ubrizgavanjem prvenstveno utječe proces izgaranja te koncentracija kisika u smjesi zraka i goriva (Heywood, 1998.).

Izgaranjem goriva u motorima sa unutrašnjim izgaranjem nastaju ispušni plinovi koji u sebi sadrže preko stotinu različitih spojeva štetnih za okoliš i ljudsko zdravlje. Homologacijskim propisima (u Europi ECE – pravilnici 1 i EEC – smjernice 2) određene su dopuštene granice emisija štetnih tvari i propisane metode ispitivanja sljedećih štetnih sastojaka: ugljikovog monoksida (CO), ugljikovodika (HC) i dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>). Kod motora s kompresijskim paljenjem (dizelski motori) dodatno je još ograničena i količina čestica PM (engl. Particulate Matter; najveći dio njih čini čađa), neprozirnost ispušnih plinova i nemetanski ugljikovodici (NMHC). Općenito, smanjivanje emisija štetnih tvari provodi se kontinuiranim poboljšanjima procesa izgaranja u cilindru motora, pročišćavanjem ispušnih plinova nakon što izađu iz motora, poboljšavanjem kvaliteta goriva (prvenstveno smanjivanjem sadržaja sumpora), smanjivanjem otpora vožnje i optimiranjem upravljanja radom motora i vozila u cjelini.

Kod kategorije vozila M1 u koju spadaju osobni automobili dopuštene granice emisija štetnih tvari definirane su prijeđenim putem vozila, gkm<sup>-1</sup>, dok su kod kategorije teških takozvanih „heavy duty - HD“ dizelskih motora iste definirane snagom koju proizvodi agregatirani motor, gkW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, i stoga su te vrste emisija neusporedive.

U tablici 1. dan je skupni prikaz emisijskih standarda i datuma njihove implementacije.

Tablica 1. EU emisijski standardi (dopuštene granice) za HD dizelske motore, gkW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> (čađa u m<sup>-1</sup>) (URL3)

Razina	Datum	Tip ispitivanja	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	čadja
Euro I	1992, < 85 kW	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612	
	1992, > 85 kW		4,5	1,1	8,0	0,36	
Euro II	listopad 1996		4,0	1,1	7,0	0,25	
	listopad 1998		4,0	1,1	7,0	0,15	
Euro III	<i>listopad 1999, samo EEV*</i>	ESC i ELR	1,0	0,25	2,0	0,02	0,15
	listopad 2000	ESC i ELR	2,1	0,66	5,0	0,10 0,13**	0,8
Euro IV	listopad 2005		1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Euro V	listopad 2008		1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
Euro VI	siječanj 2013		1,5	0,13	0,4	0,01	
<p>* za motore manje od 0,75 dm<sup>3</sup> radnog obujma po cilindru i nazivnog broja okretaja iznad 3000 o/min.</p> <p>**EEV - "Enhanced environmentally friendly vehicle" – ekološki poboljšana vozila.</p>							

Iz tablice 1. se vidi kako je cilj Euro 6 zahtjeva koji tek treba stupiti na snagu 2013. godine dodatno smanjenje emisija ugljikovodika, NO<sub>x</sub> i količine čestica (PM) kod HD dizelskih motora.

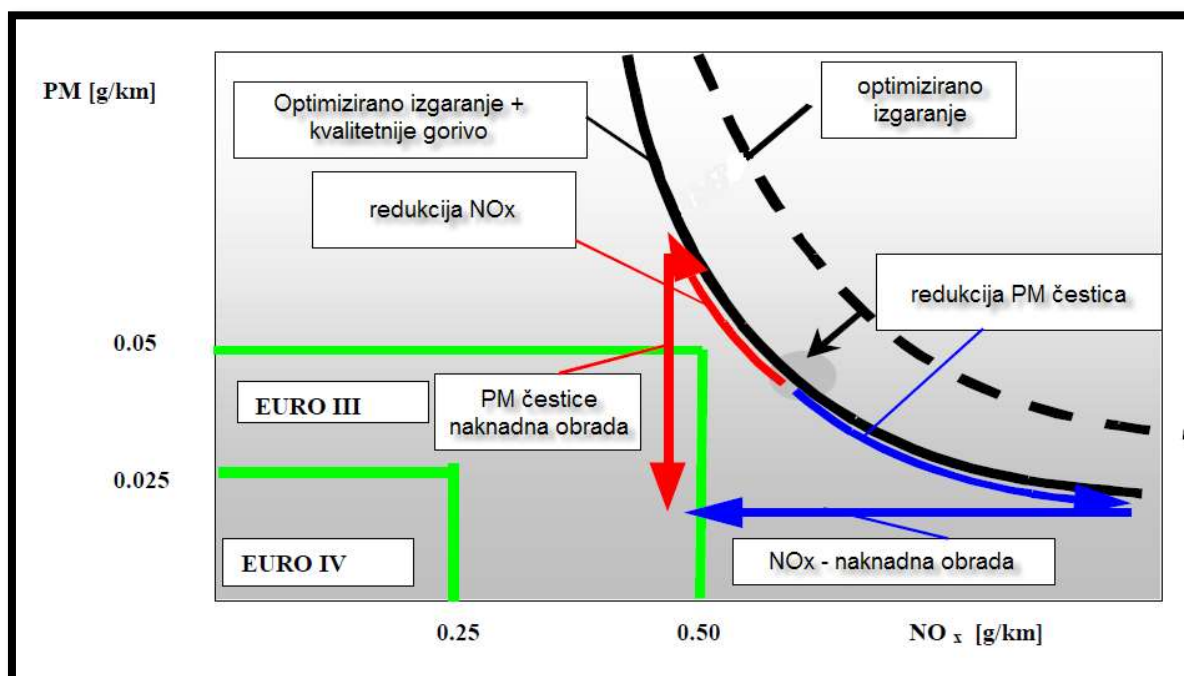
Premda su toksični, NO<sub>x</sub> su važni sastojci u fotokemijskim reakcijama smoga (Bowman, 1975.). Zdravstveni problemi povezani s udisanjem PM su karcinom, mutacije, kardiopulmonalne bolesti i oštećenje pluća (Miller i dr., 1979.). Uslijed su toga američka Agencija za zaštitu okoliša u Sjevernoj Americi i Europska komisija u EU uspostavile stroge standarde za dozvoljene emisije NO<sub>x</sub> i PM iz svih dizelskih motornih vozila (EPA, 1997. i [www.concawe.be](http://www.concawe.be)). Izmjene reguliranih normi emisije NO<sub>x</sub> i PM iz teško opterećenih dizelovih (HDD) motora u SAD-u i EU su prikazani u tablici 2. Dopušteni je raspon emisija NO<sub>x</sub> i PM, predloženih od strane tijela za zaštitu okoliša u EU, palo za više od 5 puta u zadnjih 15 godina, a još je jednom isti red veličine pada potrebno ostvariti u narednih 5 godina. Veliki je izazov za proizvođača motora istovremeno zadovoljiti propisane razine emisija za oba zagađivača.

Tablica 2. Propisani standardi za emisije teških dizelskih motora (URL3)

USA <sup>a</sup>			EU <sup>b</sup>		
Godina	NO <sub>x</sub>	PM	Godina <sup>c</sup>	NO <sub>x</sub>	PM
1998.	10,7	0,60	1992.	8,0	0,61
1991.	5,0	0,25	1992.	8,0	0,36
1994.	5,0	0,10	1996.	7,0	0,25
1998.	4,0	0,10	1998.	7,0	0,15
2004.	2,0	0,10	2000.	5,0	0,10
2007.	1,18	0,01	2005.	3,5	0,02
2010.	0,2	0,01	2008.	2,0	0,02

<sup>a</sup>-u g/bhp-hr; <sup>b</sup>-u g/kWh-hr; <sup>c</sup>-1992/96 odnose se na Euro I, a ostale godine na Euro II-V

Pravilni balans među emisijama PM i NO<sub>x</sub> tema je mnogih nedavnih studija dizelske istraživačke zajednice (Schubiger i dr., 2001.). Ovaj balans uglavnom se ostvaruje unutar cilindra, a u natjecanju između formiranja NO<sub>x</sub> i oksidacijskih procesa, gdje i PM i NO<sub>x</sub> rastu rastom temperature, slika 2.



Slika 2. Odnos između PM i NO<sub>x</sub> emisije teških dizelskih motora (Schubiger i dr., 2001.)

Potreba očuvanja okoliša i zdravlja ljudi dovodi do sve strožih zahtjeva u pogledu dopuštenih granica emisija štetnih tvari iz motora. Uz kontinuirano poboljšavanje procesa izgaranja u cilindru motora, poboljšanja postojećih ili razvoj novih sustava za pročišćavanje ispušnih plinova te optimiranje upravljanja radom motora i vozila u cjelini, kvalitet goriva je unatrag nekoliko godina postala jednim od bitnih čimbenika potrebnih za zadovoljavanje ovih strogih zahtjeva. Gorivo je time postalo bitnim parametrom u konstrukciji motora, a naročito sustava za pročišćavanje ispušnih plinova (Šagi i dr., 2009.).

Industrija dizelskih motora do 2004. godine bila je u stanju zadovoljiti sve strože emisijske standarde. Navedeno je bilo omogućeno naglaskom na optimiranje samog procesa izgaranja te razvojem naprednih podsustava koji su za cilj imali snižavanje emisije štetnih tvari. Izuzetno brzo miješanje goriva i zraka s ciljem ograničavanja stvaranja čađe ostvareno je izradom klipova posebne konstrukcije u čijoj se glavi nalazio kompresijski prostor u obliku zdjele, a kako bi se izbjeglo stvaranje  $\text{NO}_x$ , niže maksimalne temperature zraka postizale su se kašnjenjem trenutka ubrizgavanja. I drugi napredni podsustavi omogućili su daljnja poboljšanja. Common-rail, visokotlačni sustav za ubrizgavanje goriva, omogućio je iznimno bolju kontrolu ubrizgavanja pomoću sofisticirane tehnologije iz područja senzorike, omogućujući i uključujući višestruka ubrizgavanja. Nadalje, značajne količine ispušnih plinova uklonjene su uvođenjem povrata dijela ohlađenih ispušnih plinova na ponovno izgaranje pomoću *EGR* (Exhaust Gas Recirculation) ventila, a u kombinaciji sa turbopunjačem s promjenjivom geometrijom koji pokreće *EGR* pri niskim opterećenjima, čime je ujedno i ograničena maksimalna temperatura cilindra, a time i stvorena razina  $\text{NO}_x$ .

Tehnologije koje se danas primjenjuju za smanjivanje sadržaja  $\text{NO}_x$  u ispušnim plinova dizelskih motora su:

- a) uređaj *EGR* za djelomični povrat ispušnih plinova u usis,
- b) apsorpcijski katalizator za  $\text{NO}_x$ ,
- c) uređaj sa selektivnom katalitičkom redukcijom *SCR*, koji funkcionira uz pomoć sredstva za redukciju urea (*AdBlue*).

Redukcija plinova pomoću apsorpcijskog katalizatora funkcionira na principu pohranjivanja  $\text{NO}_x$ , te redukcije pomoću periodično bogate smjese koja ih pretvara u dušik ( $\text{N}_2$ ) i vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Za ispravan rad ovaj katalizator treba, nakon što se u potpunosti napuni dušikovim oksidima, ne izgorjeloga goriva u ispušnim plinovima kako bi se mogla obaviti

njegova regeneracija. To se postiže pomoću bogate gorive smjese, što je riješeno dodatnim ubrizgavanjem goriva u taktu ekspanzije. Ovi su katalizatori također vrlo osjetljivi na sumpor.

### 2.1.1. EGR uređaj

EGR ventil relativno je novi dio na automobilima te se može pronaći na vozilima novije proizvodnje. Naziv dolazi od engleskih riječi Exhaust Gas Recirculation, u slobodnom prijevodu recirkulacija ispušnih plinova.

Prema URL4. ova vrsta ventila koristi se u automobilima na benzin i na dizel. On radi tako da dio ispušnih plinova iz motora preusmjerava natrag na cilindre u motoru. Smanjuje emisiju dušikovih oksida, a ovim se postiže da temperatura prilikom sagorijevanja ne prelazi 1800°C koji su optimalni za sagorijevanje, a ako temperatura naraste više, stvaraju se dušikovi oksidi. Da bi ovaj uređaj ispravno radio, motor mora biti dobro ugrijan te isti ne radi dobro kada je motor hladan, zbog čega onda u tom stanju dolazi do čestog nepravilnog rada sve dok se sustav ne ugrije. Kada pravilno radi, emisija štetnih plinova smanjuje se za čak 30%. Većina motora danas treba imati ovu vrstu ventila kako bi zadovoljila ekološke standarde koji su iz godine u godinu sve zahtjevniji.

Prvi EGR ventili bili su grubi i počeli su se proizvoditi još šezdesetih godina dvadesetog stoljeća. Evoluciju u proizvodnji ovog ventila predstavio je Chrysler 1973. godine koji je uspio nekim dodacima stvoriti optimalnu radnu temperaturu.

U ovoj vrsti ventila dio ispušnih plinova vraća se u cijev čime se smanjuje temperatura izgaranja, a sve rezultira smanjenom količinom štetnih plinova u ispuhu, a kasnije i u atmosferi. Često se zna dogoditi da se ovaj dio previše začađi, a simptomi začađenja su pad snage motora, podrhtavanje u radu na jestu te se ispušni plinovi osjete čak i u kabini gdje je rukovatelj. Količina ispušnih plinova razlikuje se kod benzinskih i dizelskih motora, kod benzinskih može iznositi 20, a kod dizelskih i 60%.

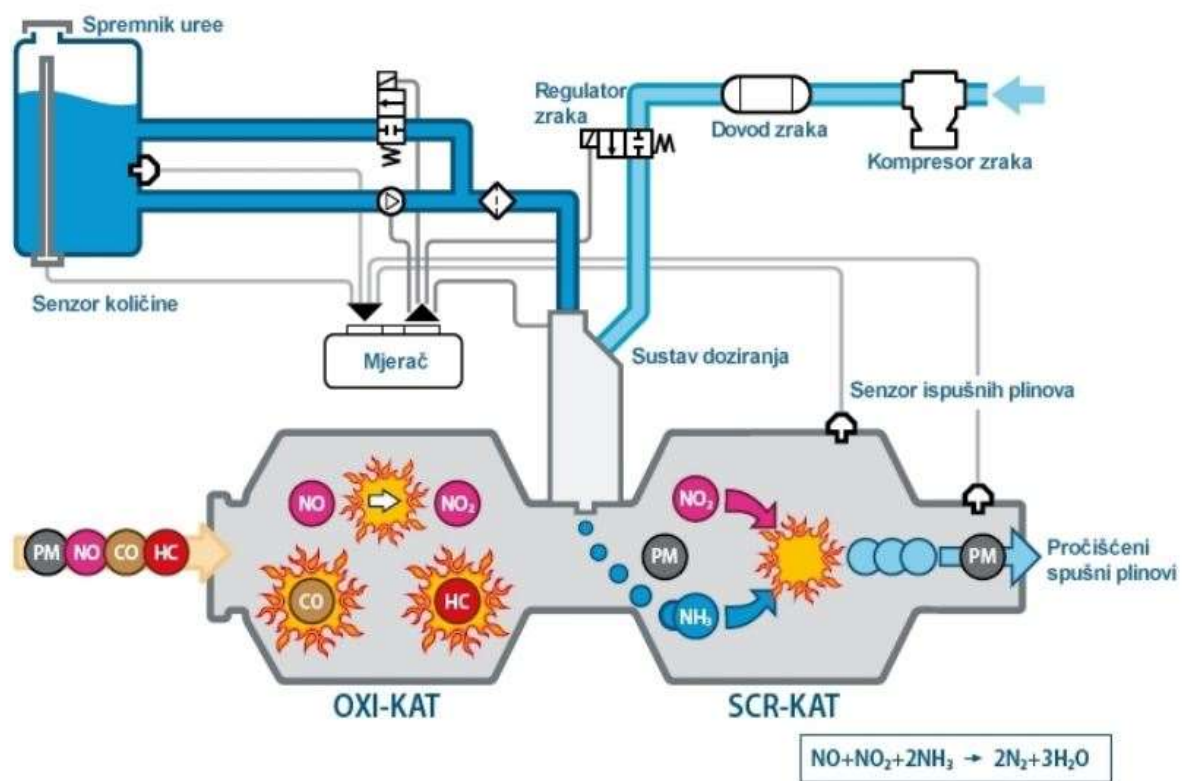
Isti izvor navodi kako najveći problemi s EGR ventilom nastaju kod dizelskih motora. Kod dizela dolazi do začađenja, odnosno nakupine čađe, koja je zapravo nakupina elementarnog ugljika koja je normalan produkt izgaranja, u manjoj ili većoj mjeri. Ono što kod dizelskih motora uzrokuje začađenje su veoma česte vožnje na kratkim relacijama, pohabane vodilice ventila, ako je razina ulja u motoru previsoka, ako je turbopunjač neispravan, ako se ulja i filtri ne mijenjaju redovito, ako je neispravan odušak uljnog korita, istrošeni klipovi i klipni prstenovi te ako se koristi polusintetičko ili mineralno ulje umjesto sintetičkog. Zna se dogoditi da je povratni tlak u ovoj vrsti ventila previsok, a to utječe na



njegovo otvaranje, pri čemu se membrana može sasvim uništiti, što u konačnici dovodi do potpunog uništenja čitavog ventila.

### 2.1.2. SCR i AdBlue

Za razliku od apsorpcijskoga katalizatora, kod sustava SCR (slika 3.) redukcija se vrši pomoću uree, poznate pod trgovačkim imenom AdBlue, iako bi za korisnika vozila bilo najpogodnije da se kao redukcijsko sredstvo koristi gorivo, te da ne mora imati dodatni spremnik za AdBlue i pripadajuću instalaciju.



Slika 3. Shematski prikaz načina djelovanja SCR katalizatora uz pomoć uree (URL5)

Dopuštene štetne emisije prema normi Euro V su toliko niske da ih motori postižu samo uz pomoć ove nove tehnologije. Ispitivanja su pokazala da se s gorivom kao redukcijskim sredstvom može reducirati najviše 30 % dušikovih oksida, a to za buduće emisijske zahtjeve nije dovoljno. Kod SCR-sustava pretvorba je mnogo učinkovitija te smanjenje NO<sub>x</sub> dostiže 90%. Začetak ovog novog sustava ide do velikih sporihodnih stacionarnih motora u energetske postrojenjima, gdje se seže amonijak kao sredstvo za redukciju počeo primjenjivati još u osamdesetim godinama prošloga stoljeća. Svoju prvu

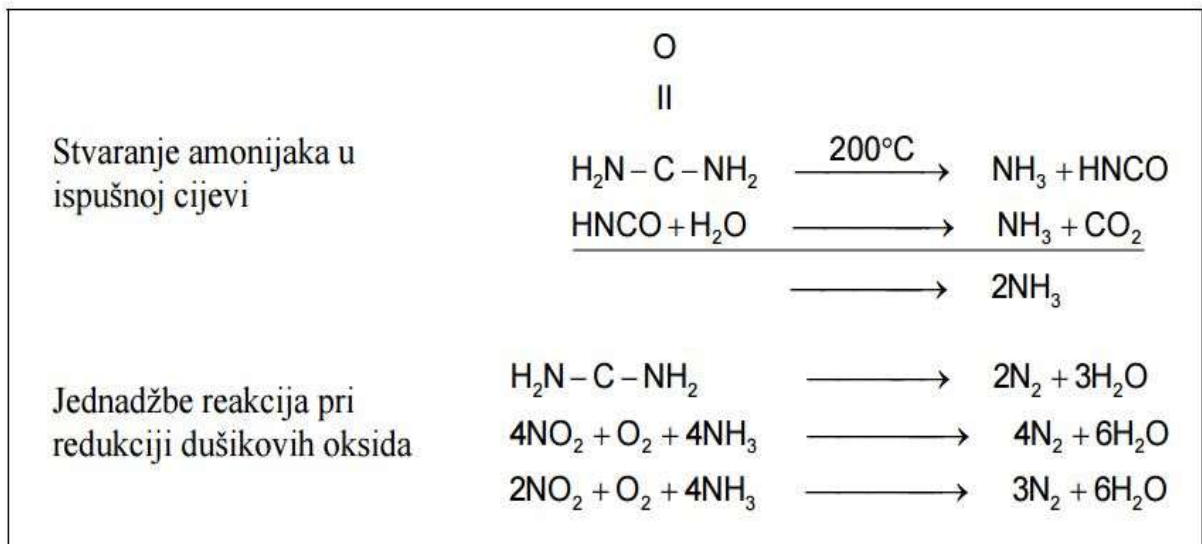
primjenu kod cestovnih vozila, SCR-uređaji su našli kod autobusa i teških teretnih vozila, a sada ih već ima i u osobnim vozilima. Oni se mogu na vozilo ugraditi zasebno ili u kombinaciji sa filtrom čestica. Primjenom ove tehnologije EGR-ventil više nije potreban pa se može povećati faktor pretička zraka za izgaranje  $\lambda$  i motor se može optimizirati za minimalnu potrošnju goriva. Za razliku od amonijaka, urea (AdBlue) nije otrovna, pa to olakšava njezin transport i distribuciju. Svojstva su joj navedena u normi DIN 70070 (tablica 3.).

Tablica 3. Svojstva i sastav uree prema normi DIN 70070:2005 (URL6)

	Mjerna jedinica	Donja granica	Gornja granica
Koncentracija uree	postotak mase	31.8	33.2
Gustoća pri 20 °C	kg/cm <sup>3</sup>	1087	1093
Indeks refrakcije pri 20		1,3814	1,3843
Lužnatost	postotak mase		0,2
Biuret	postotak mase		0,3
Aldehidi	mg / kg		5
Netopljivost	mg / kg		20
Fosfati	mg / kg		0,5
Kalcij	mg / kg		0,5
Željezo	mg / kg		0,5
Bakar	mg / kg		0,2
Cink	mg / kg		0,2
Krom	mg / kg		0,2
Nikal	mg / kg		0,2
Aluminij	mg / kg		0,5
Magnezij	mg / kg		0,5
Natrij	mg / kg		0,5
Kalij	mg / kg		0,5

### 2.1.2.1. Kemijske reakcije

Kada se doda u ispuh, urea se u prisustvu visokih temperatura raspada na amonijak i spoj HNCO, a taj spoj dalje reagira s vodom i stvara ponovno amonijak i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Hidroliza uree opisana je jednadžbom:  $\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3$  Svrha amonijaka je pretvaranje NO<sub>x</sub> u dušik i vodu. Kemijske reakcije koje se pri tome odvijaju prikazane su na slici 4.

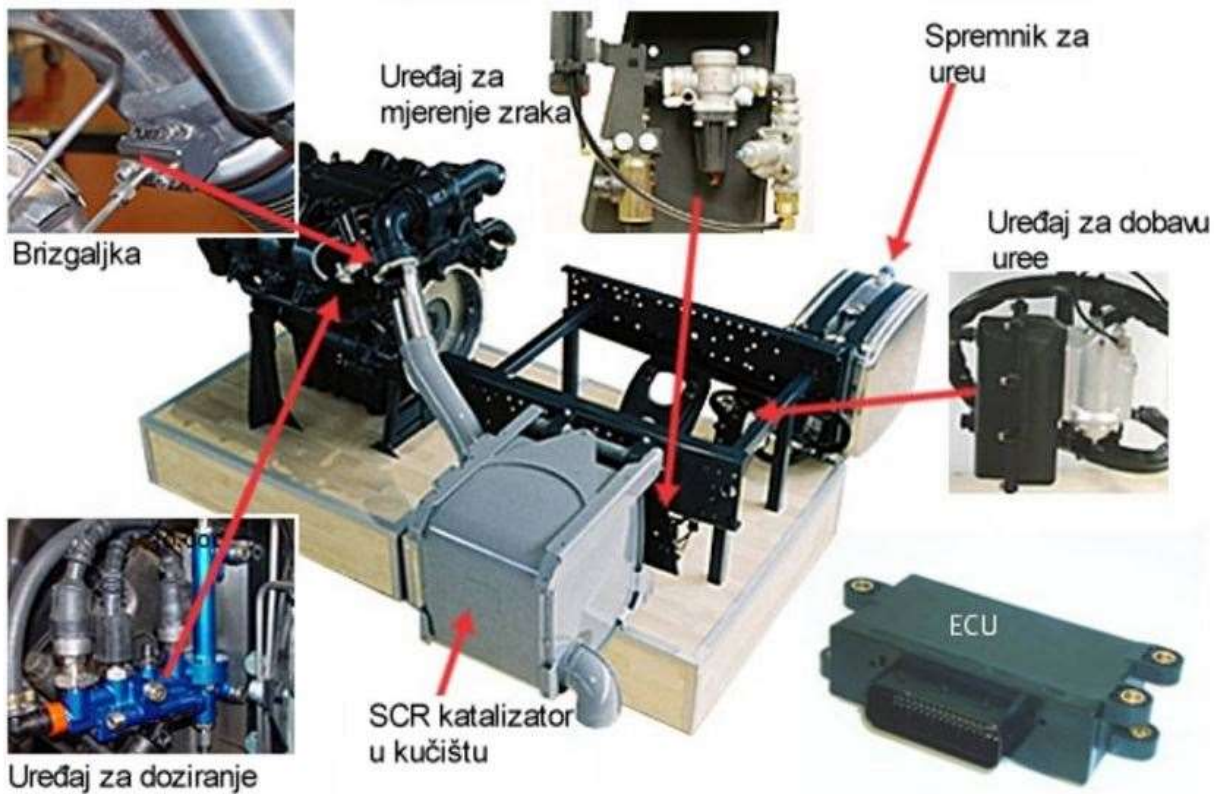


Slika 4. Kemijske reakcije uree kod redukcije dušikovih oksida (Frank i sur., 2005.)

SCR-sustavi koji se ugrađuju na vozila moraju zadovoljiti različite zahtjeve. Jedan od problema je neiskorišteni amonijak koji izlazi van zajedno s ispušnim plinovima, pa njegovu emisiju treba smanjiti na najmanju moguću mjeru. Nadalje, oprema za ubacivanje uree u sustav ne smije bitno povećati masu vozila, mora biti kompaktna i jednostavna za uporabu.

#### 2.1.2.2. SCR uređaj na vozilu

Godine 1991. tvrtke DaimlerChrysler, MAN, IVECO i Siemens započele su zajedničku suradnju na projektu razvoja SCR tehnologije koja bi se ugrađivala na teretna vozila i autobuse. Provedena ispitivanja pokazala su zadovoljavajuću izdržljivost i trajnost sustava. Proizvođači kamiona u Europi su odlučili da će koristiti ureu kao sredstvo za redukciju  $\text{NO}_x$  plinova zbog njene dostupnosti, nije opasna za okoliš, a postoje dobra iskustva s njenom primjenom u stacionarnim SCR-sustavima. Njemačka tvrtka PUREM Abgassysteme GmbH & Co. KG jedna je od vodećih u Europi što se tiče tehnologija SCR i Adblue i jedna od prvih koja je krenula u tom smjeru. Oprema koja se ugrađuje na kamione prikazana je na slici 5.



Slika 5. Oprema za ureu AdBlue koja se ugrađuje na teretna vozila (URL7)

Raspored uređaja može varirati, a najviše ovisi o konstrukciji vozila. Uređaji moraju biti postavljeni tako da prostor bude najbolje iskorišten. U budućnosti će konstruktori morati i tome voditi računa jer je AdBlue postao standardnom tehnologijom. Zahtjevi koje oprema mora zadovoljiti su vrlo strogi, pa sustav mora izdržati ispitivanje tijekom jednog milijuna prijeđenih kilometara, zatim test na teškim terenima i test izdržljivosti na vibracije. Oprema mora ispravno raditi u temperaturnom rasponu od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , u slučaju da je vezana na šasiju vozila, odnosno do  $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ako je ugrađena na motor. Točnost i preciznost sustava za doziranje moraju biti velike pri statičkim i dinamičkim uvjetima rada (URL7).

## 2.2. OPĆENITO O MOTORNIM ULJIMA

Prema Zimmer i sur. (2004.) opseg proizvodnje i potrošnje maziva značajno je uvjetovan i trendovima razvoja motora i strojeva budući da su maziva njihov bitan konstrukcijski element. Već niz godina maziva hrvatskih proizvođača slijede svjetske standarde kvalitete. U četiri istočno slavonske županije: Osječko-baranjskoj, Vukovarsko-srijemskoj, Brodsko-posavskoj i Požeškoj, traktori i kombajni troše približno 3000 t godišnje motornih ulja. Na istom području hranu za ljude i domaće životinje proizvode veliki broj poljoprivrednih proizvođača koji za podmazivanje brojne poljodjelske mehanizacije koriste maziva domaćih i stranih proizvođača. Uz mazivo korisnici dobiju i podatke o razni kvalitete, odnosno tehničku informaciju u kojoj je naveden i interval zamjene ulja. Tako npr. najveći domaći proizvođač goriva i maziva u Hrvatskoj za svoje motorno ulje kvalitete SHPD navodi da je interval zamjene ulja do 40.000 prijeđenih kilometara ili jednom godišnje, odnosno prema preporuci proizvođača vozila. Naš drugi proizvođač ulja preporuča zamjenu svoga ulja između 30.000-40.000 km. Preporuka proizvođača motora, a temeljem njihovih iskustava, testiranja i faktora sigurnosti (Mack T-10, Cummins M-11, Caterpillar 1Q) jest da interval zamjene motornog ulja bude 250 sati. Naime, u tom vremenu korištenja ulje ne bi smjelo ni pod najtežim režimom rada motora izgubiti osnovna svojstva zaštite motora.

Prema Podobnik i Bambić (2004.) specifikacije motornih ulja definiraju se sa ciljem osiguravanja neophodne kvalitete motornog ulja za podmazivanje modernih konstrukcija motora. Proizvođačima motora i vozila, aditiva i motornih ulja one su temelj za razvoj novih ulja više razine kvalitete odnosno specijalne namjene.

Specifikacije su temeljene na odgovarajućim motornim testovima, razvijenim na reprezentativnim motorima, referentnim gorivima i uljima, kao i laboratorijskim ispitivanjima. Strogo propisani postupci provođenja ispitivanja osiguravaju preciznost testova te pouzdanost i vjerodostojnost ispitnih rezultata.

Najvažniji faktori razvoja novih specifikacija motornih ulja za osobna vozila su:

- ograničenja emisije ispušnih plinova,
- smanjenje potrošnje goriva i
- produženje intervala zamjene ulja.

Motorna ulja najčešće se odabiru prema dvama glavnim kriterijima:

- prema području primjene ili primjenskoj kvaliteti, koju definiraju API i ACEA specifikacije, te klasifikacijama viskoznosti koje se temelje,
- prema SAE standardu, a koje se odabiru prema temperaturi okoline i ovisno o stupnju istrošenosti motora.

U međunarodnoj praksi postoje opća pravila za izbor ulja. Polazeći od zahtjeva motora vozila i temperature zraka okoline, motorna ulja se odabiru prema dvama osnovna kriterija:

- viskozitet prema klasifikaciji SAE, a
- eksploatacijska klasa prema API i prema ACEA.

**SAE.** Glavnu karakteristiku motornih ulja čini viskozno-temperaturna ovisnost i to pri zimskim uvjetima prilikom pokretanja motora, pa sve do najviših temperatura ulja pri ljetnim temperaturama. Najširi opis viskozno-temperaturne ovisnosti koji zahtijevaju današnji motori s unutrašnjim izgaranjem predstavlja međunarodni standard SAE.

Motorno ulje je prema SAE standardu podijeljeno na šest „zimskih“ klasa viskoznosti (0W, 5W, 10W, 15W, 20W i 25W), te pet „ljetnih“ klasa viskoznosti (20, 30, 40, 50 i 60). Prva brojana oznaka određena je s tri parametra: maksimalnom dinamičkom viskoznošću (mPas) na niskim temperaturama, maksimalnom graničnom temperaturom pumpabilnosti i minimalnom kinematskom viskoznošću u ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) na  $100^\circ\text{C}$ . Druga brojana oznaka definirana je opsegom kinematske viskoznosti u ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) na  $100^\circ\text{C}$  te dinamičkom viskoznošću na  $150^\circ\text{C}$  pri visokim brzinama smicanja.

**API.** Prvi standard, ovisno o području primjene, proizašao je iz Američkog instituta za naftu (API) sredinom 1940-ih godina. Motorna su ulja tada podijeljena u dvije kategorije: „S“ i „C“. Motorna ulja koja se upotrebljavaju u benzinskim četverotaktnim motorima pripadaju kategoriji „S“, dok se motorna ulja koja se upotrebljavaju u dizel motorima osobnih, teretnih te poljoprivrednih strojeva pripisuju oznaci „C“. Od toga su vremena performanse motora konstantno unapređivane, pa se tako i sam standard poboljšavao. Tako je danas usvojeno pravilo da se kategorijama „S“ i „C“ pridodaju dopunske oznake (slova alfabeta) koja objedinjuju novu klasu API standarda. Motorna ulja koja pripadaju klasi „S“ kreću se od

dopunske oznake slova „A“ do zaključno danas slova „L“, koje označava motorna ulja najnovije generacije benzinskih motora i sadrži najvišu razinu kvalitete. Primjer označavanja: SL.

Motorna ulja iz kategorije „C“ isto se tako kreću od dopunskog slova „A“ do zaključno danas „G“, koja označavaju motorna ulja najnovije generacije dizel motora i najbolje su kvalitete. Brojčana oznaka koja slijedi nakon dopunske oznake upućuje na četverotaktne, odnosno dvotaktne dizel motore. Primjer označavanja: CG-4.

Kod multigradnih motornih ulja koja se upotrebljavaju tijekom cijele godine i koja se mogu koristiti u benzinskim i dizel motorima uvedeno je dvostruko označavanje. Primjer označavanja: SL/CF, CF-4/SH.

Za dvotaktne motore klasifikacija API-a definira se slovnom oznakom „T“. Usavršavanje radnog procesa, kao i uvođenje novih materijala, tehnologija i konstrukcijskih rješenja, čini skoro usporedivim opterećenje dvaju vrsta motora – benzinskih i dizel motora. To nam govori da ulja za ove motore mogu biti jedna te ista. Tako su stvorena i stvaraju se ulja s univerzalnim kvalitetama koja skoro jednako zadovoljavaju zahtjeve i benzinskih i dizel motora. Ovakva se praksa toliko proširila da su danas sva proizvedena ulja univerzalnog karaktera.

**ACEA.** Eksploatacijska se svojstva klasificiraju i prema europskom standardu ACEA. Europski odbor konstruktora motora i vozila (CCMC) izdao je europske specifikacije za motorna ulja osobnih i komercijalnih vozila. U veljači 1991. godine udruženje CCMC osnovalo je i novo udruženje ACEA (Udruga europskih konstruktora vozila) koje je preuzelo CCMC specifikacije i dalje ih razvijalo. Zahtjevi određeni ovim specifikacijama se razlikuju u odnosu na API specifikacije tako da se može reći da se tada počinju razilaziti američke i europske specifikacije. Iako postoji određena međusobna isprepletenost klasifikacija i specifikacija, preporuka je da se radi pravilnog odabira odgovarajućeg motornog ulja kontaktira proizvođača ulja u cilju primjene optimalnog motornog ulja, uvijek uzimajući u obzir zahtjeve proizvođača motora. Neovisno o već navedenim standardima, kod motornih ulja značajne su i posebne dozvole dobivene direktno od proizvođača motora za uporabu s njihovim motorima, što ne mora biti povezano s API ili ACEA klasifikacijom, ali je uvjet za uporabu kod tog proizvođača. U sustav kontrole ACEA je uvela i udruženje industrije maziva ATIEL i industriju aditiva ATC. Novi sustav kvalitete objavljen je 1995. godine i obuhvaća tri grupe:

- Benzinski motori A1, A2, A3,
- Lako opterećeni dizel motori B1, B2, B3, B4, B5 i
- Teško opterećeni dizel motori komercijalnih vozila E1, E2, E3, E4, E5.

Unutar svake kategorije eksploatacijska svojstva su podijeljena na posebne grupe označene brojkama nakon slova. Koliko je veća brojčana oznaka, toliko su teži uvjeti rada motora, a sukladno tome su veći i zahtjevi u svezi kvalitete ulja.

Za razliku od klasifikacije API, svaki član ACEA kao dopunu općim zahtjevima klasifikacije ulja može zatražiti svoje specifične zahtjeve uvođenjem dodatnih ispitivanja motora vlastite proizvodnje ili specijalnih ispitivanja na kompatibilnost s gumiranim i ostalim dijelovima, ili pak testova za određivanje roka zamjene ulja i sl. Takvi dodatni zahtjevi dostavljaju se u specifikacijama tvrtke za motorna ulja. Najrasprostranjenija specifikacija za motorna ulja je ona kompanije DaimlerChrysler (DC).

Sukladnost ulja određene razine zahtjeva prema specifikacijama API, ACEA, Mercedes Benz (MB) ili Volkswagen (VW) omogućavanje objektivne ocjene kvalitete motornih ulja koju nude različiti proizvođači.

Posljednjih godina ograničenja emisije ispušnih plinova imaju najveći utjecaj na promjene konstrukcije motora osobnih vozila, time i na promjene specifikacija motornih ulja. Navedena ograničenja bitno su utjecala na promjene konstrukcija motora osobnih vozila te su posljednjih godina proizvođači motora uveli sljedeće promjene:

- lakše komponente,
- motori s 3 - 4 ventila po cilindru,
- direktno ubrizgavanje goriva,
- optimiziranje procesa izgaranja,
- smanjenje trenja u motoru,
- smanjenje potrošnje goriva,
- smanjenje potrošnje ulja,
- sustavi za obradu ispušnih plinova,
- turbopunjači promjenjive geometrije...

Prema Podobnik i Bambić (2004.) interval zamjene motornog ulja posljednjih godina sve se više produžuje tako da trenutačno najpoznatiji proizvođači vozila dopuštaju sljedeće intervale (ovisno o kvaliteti ulja i goriva te eksploataciji vozila):



- BMW 20 – 30 000 km,
- Fiat 25 000 km,
- Ford 15 - 20000 km,
- Mercedes-Benz 15 - 50 000 km,
- Opel 30 - 50 000 km,
- Porsche 30 000 km,
- Peugeot Citroen 15 - 30 000 km,
- Renault 30 000 km,
- Volkswagen 15 - 50 000 km...

Ugradnja posebnih sustava za obradu ispušnih plinova donijela je nove zahtjeve u pogledu formulacije motornog ulja, a to je kompatibilnost ulja s tim sustavima. Produženje intervala zamjene motornog ulja zahtijeva od motornog ulja povećanu oksidacijsku i termičku stabilnost ulja, dok smanjenje potrošnje goriva zahtijeva ulja niže viskoznosti i uporabu posebnih aditiva (modifikatora trenja).

### 3. MATERIJAL I METODE

Istraživanje obuhvaćeno ovim diplomskim radom primjenjivo je ispitivanje dvije vrste motornog ulja (INA Super Max 15w-40 i INA Super 2000 10W-40). Navedena su motorna ulja korištena za podmazivanje motora dva različita traktora (JOHN DEERE 4830 i CASEIH MAGNUM 260). Navedena dva traktora izabrana jer su opremljena različitim sustavom za obradu ispušnih plinova te shodno tome zadovoljavaju i različite norme po pitanju kvalitete ispuha (Tier 3a i Tier 4a). Motorno ulje INA Super Max 15W-40 ispitivano je tijekom 300 radnih sati u oba traktora, dok je motorno ulje INA Super 2000 10W-40 zbog mogućnosti produljenog intervala izmjene ispitivano tijekom 500 radnih sati u oba traktora. Uzorci ulja (slika 6) izuzimani su iz korita motora prema propisanom protokolu crpkom za izuzimanje rabljenog motornog ulja (slika 7). Izuzeti uzorci slani su u ovlaštenu i akreditiranu laboratorij INA MAZIVA d.o.o. gdje su određena fizikalno-kemijska i mehanička svojstva pojedinog uzorka. Navedeno istraživanje provedeno je u „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač.



Slika 6. Izuzeti uzorci ulja, vlastita fotografija



Slika 7. Crpka za izuzimanje uzoraka ulja, vlastita fotografija

### 3.1. OPĆENITO O „ANAGALIS“ D.O.O.

Odvajanjem od središnjeg industrijskog poljoprivrednog kombinata (IPK) u Osijeku 1991. godine našički dio „IPK“, mijenja naziv u „HANA“ d.d. Našice u kojem se sastavu nalazi i radna jedinica „HANA“ d.d. Podgorač. Godine 1995. „HANA“ d.d. Podgorač se dijeli na dvije radne jedinice „HANA“ d.o.o. Podgorač i „HANA“ d.o.o. Stipanovci. „HANA“ d.o.o. Stipanovci 1999. godine mijenja naziv u „ANAGALIS“ d.o.o. Stipanovci, te 2010. godine zbog promjene adrese sjedišta uprave iz Stipanovaca u Podgorač danas nosi naziv „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač za trgovinu i poljoprivrednu proizvodnju i nalazi se na adresi J.J. Strossmayera 2, Podgorač. Tvrtka „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač u vlasništvu je „PAPUKA“ d.d. Našice od 2006. godine. Tvrtka „PAPUK“ d.d. Našice bavi se otkupom, doradom te skladištenjem poljoprivrednih proizvoda. U svom proizvodnom programu ima još i mlinsko pekarsku industriju, te trgovačku djelatnost kroz poljoprivredne ljekarne i pekare.

#### 3.1.1. Struktura zaposlenih

„ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač na dan 01.01.2017. godine imao je zaposleno 28 djelatnika. Struktura zaposlenih po funkciji i školskoj spremi prikazana je u tablici 4.

Tablica 4. Struktura zaposlenih u tvrtki „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač

FUNKCIJA	ŠKOLSKA SPREMA	BROJ DJELATNIKA
Direktor	VSS	1
Tehnolog	VSS	1
Poslovođa ratarske proizvodnje	VŠS	2
Referent računovodstva	VŠS	1
Blagajnik	SSS	1
Trgovac	SSS	3
Skladištar	SSS	1
Mehanizator	VŠS	1
Mehaničar	SSS	1
Bravar	SSS	2
Traktorist	SSS	7
Traktorist	OŠ	6
Pomoćni radnik	OŠ	1

### 3.1.2. Struktura proizvodnje

Tvrtka „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač bavi se prodajom robe kroz poljoprivredne ljekarne u Podgoraču i Subotičkom Lugu potrebne za poljoprivrednu proizvodnju, otkupom i sušenjem poljoprivrednih kultura te ratarskom proizvodnjom. Ratarsku proizvodnju obavlja na 1.800 ha, od toga je 120 ha vlastite zemlje, a ostalo je u zakupu.

### 3.1.3. Struktura poljoprivredne mehanizacije

U tablici 5. navedena je struktura mehanizacije u tvrtki „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač na dan 01.01.2017. godine.

Tablica 5. Struktura poljoprivredne mehanizacije u „ANAGALIS“ d.o.o Podgorač

Vrsta stroja	Proizvođač i tip stroja	Snaga KW	God.
Traktor	CASE – IH MAGNUM 260	189	2011
	CASE – IH MXM 155	113	2005
	CASE – IH MAXXUM 140	104	2012
	CASE – IH MAXXUM 125	93	2012
	JOHN DEERE 7830	147	2008
	JOHN DEERE 7800	125	1996
	JOHN DEERE 3650	84	1990
	JOHN DEERE 6410	77	2002
	JOHN DEERE 6330	77	2008
	JOHN DEERE 5820	65	2005
	JOHN DEERE 6200	73	1994
	URSUS 1634	114	1997
Kombajn	CASE-IH AXIAL FLOW 7130	305	2013
	JOHN DEERE 1550 CWS	173	2004
	DEUTZ-FAHR GLOBUS 4660 H	176	2007
Preša	CASE RB 454, TIP 150R		2013
Malčer	ZANON TRINICIASARMENTI, TFZ 1600		2005.
Plug	VOGEL NOT okretač 5 brazde 30-52 cm		2011

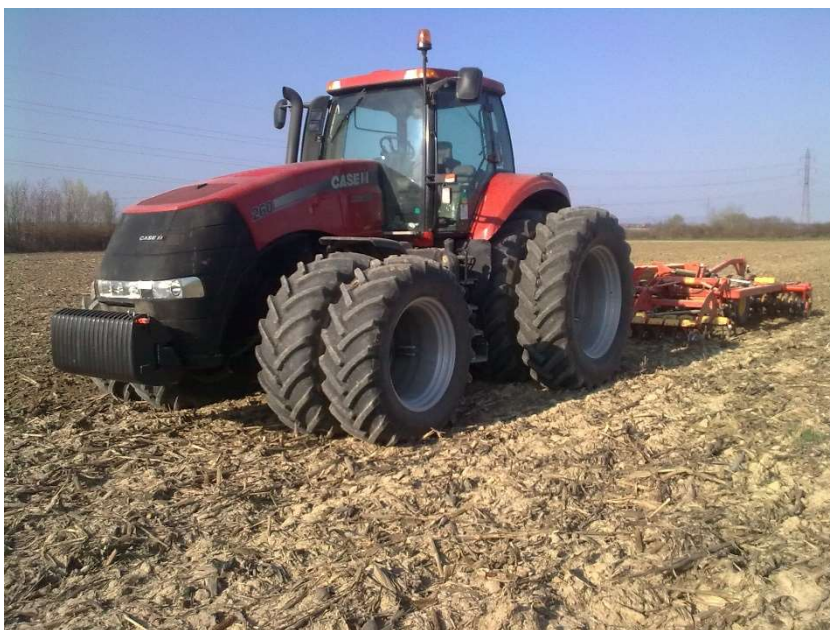
	VOGEL NOT okretač 4 brazde 30-52 cm		2011
	VOGEL NOT okretač 3+1 brazde 30-52 cm		2014
	VOGEL NOT Farmer ravnjak 3 brazde 36 cm		-
Podrivač	Pegoraro Mega Drag, 2,5 m		2006
Tanjurača	OLT Tara, 4 m		-
	OLT Drava, 6 m		-
Kratka tanjurača	LEMKEN Rubin 9 , 3 m		2014
Multitiler	VaderstadTopDown TD400, 4m		2011
Valjak Paker	HE-VA“, 5,4 m		2016
Sjetvospremač	CRVENA ZVIJEZDA Krimler, 6 m		2004
	PECKA Perasti, 5,4 m		2010
Teška drljača	METALAC, 6 m		2010
Siječica	Vaderstad Tempo F, 8 redi		2014
	MaxEmerge – 7200, 6 redi		-
	Tye 2010, 3 m		2000
	AMAZONE CIRRUS 4002, 4 m		2012
Kanalokopač	DONDI DMR 35		2004
	MAJEVICA 467		2009
Kultivator međuredni	OLT, FALCON KKH8, 8 redi		2013
	METALAC-GASPARDO, 8 redi		2012
	OLT, 6 redi		2012
Prskalica	HARDI-RANGER, 20 m, 2 kom		2008
Rasipač	SULKY DPX, 1000 kg		1997
	AMAZONE ZA-M 1501 1500 kg		2014
	AMAZONE ZA-M 1501 PROFIS 1500 kg		2014
Prikolica	ZMAJ 510, 10 t, 8 kom		1986
	TEHNOSTROJ DP-800, 8 t, 2 kom		2004
	TEHNOSTROJ DDK 2400, 17 t		2014
Viličar	JUNGHEINRICH	60	
Utovarivač	CATERPILLAR TH63Telehender		2001

### 3.2. POLJOPRIVREDNI TRAKTORI

Jednogodišnje istraživanje provedeno kao primjensko ispitivanje maziva obavljeno je na dva teška poljoprivredna traktora s pogonom na sva četiri kotača koji su u vlasništvu ranije opisanog poljoprivrednog poduzeća.



Slika 8. Traktor JOHN DEERE 7830, vlastita fotografija



Slika 9. Traktor CaseIH MAGNUM 260, vlastita fotografija

Ispitivanje je izvedeno na traktoru proizvođača poljoprivrednih traktora i strojeva JOHN DEERE, serije 7030, modela 7830 (slika 8) motoriziran sa tekućinom hlađenim dizelskim četverotaktnim šesterocilindričnim motorom s direktnim ubrizgavanjem (*common rail*) nazivne snage 147 kW (200 KS) pri nazivnom broju okretaja od 2100 min<sup>-1</sup> (mjereno prema normi ECE R24), zapremine 6800 cm<sup>3</sup>, promjera cilindra 106,5 mm i hoda klipa 127 mm, opremljen turbopunjačem i hladnjakom stlačenog zraka te ispušnim sustavom i obradom ispušnih plinova (EGR sustav) koji zadovoljava *TIER 3a* normu emisije, a spremnik pogonskog goriva ukupne je zapremine 392 litre (detaljnije tehničke karakteristike prikazane su tablicom 6) i traktoru proizvođača poljoprivrednih traktora i strojeva CASEIH, serije MAGNUM, modela 260 (slika 9) motoriziran sa tekućinom hlađenim dizelskim četverotaktnim šesterocilindričnim motorom s direktnim ubrizgavanjem (*common rail*) nazivne snage 189 kW (257 KS) pri nazivnom broju okretaja od 2000 min<sup>-1</sup> (mjereno prema normi ECE R120), zapremine 8700 cm<sup>3</sup>, opremljeni turbopunjačem i hladnjakom stlačenog zraka te ispušnim sustavom i obradom ispušnih plinova (SCR sustav) koji zadovoljava *TIER 4a* normu emisije, a spremnik pogonskog goriva ukupne je zapremine 636 litara (detaljnije tehničke karakteristike prikazane su tablicom 7).



Tablica 6. Tehničke karakteristike traktora JD 7830

<b>Snaga</b>	
Prema ECE-R24 pri nazivnim o/min	149 KW (200 KS)
Maksimalna snaga s inteligentnim Power Managementom 235 KS (173 KW)	173 KW (235 KS)
Na priključnom vratilu	123 KW (165 KS)
Nazivna brzina	2100 o/min
<b>Motor</b>	
Broj cilindara	6 u liniji
Tip	PowerTech Plus, CommonRail, 4 ventila po cilindru, udovoljava normi III A o ispušnim plinovima
Usisni sustav	Turbo punjač promjenjive geometrije (VGT) s hladnjakom stlačenog zraka (Intercoolerom) i hlađenom recirkulacijom ispušnih plinova (EGR)
Ventilator hladnjaka	viskozni, elektronski kontroliran pogon
Sustav ubrizgavanja goriva	Visoko tlačni CommonRail s potpuno elektronskim upravljanjem ubrizgavanja goriva
Podmazivanje	Puni tlak, filtriranje punog protoka
Zapremnina	6,8 l
Provrt cilindra	106,5 mm
Hod klipa	127 mm
Odnos kompresije	17,0:1
Brzina donjeg praznog hoda	875 o/min
Brzina gornjeg praznog hoda	2200 o/min
<b>Mjenjač</b>	
Tip	PowerQuad plus
Prebacivanje brzina	Elektro-hidrauličko mijenjanje brzina, lijevi reverser, vučna spojka
Broj stupnjeva prijenosa / Maks. Brzina	20 naprijed 20 nazad / 40 km/h
Spojka	Višestruki vlažni disk hidraulički pogonjen
<b>Hidraulični sustav</b>	
Pumpa tip	Aksijalno klipna
Najveći protok	120 l/min
<b>Ovjes u tri točke</b>	
Vrsta / kat.	Elektro-hidrauličko s elektronskim osjetnikom opterećenja / kat. 3
Kapacitet podizanja	6350 kg
<b>Ostalo</b>	
Zapremnina spremnika goriva	358 l
Ukupna težina	11000 kg
Dimenzija prednjih guma	600/70R-30
Dimenzija stražnjih guma	650/85R-38
Dimenzije, širina x visina x dužina	2,44 x 3,18 x 5,50 m

Tablica 7. Tehničke karakteristike traktora CaseIH MAGNUM 260

<b>Motor</b>	
Obujam (ccm3)/broj cilindara/Tip	8700/6/24 ventila/turbo/intercooler Tier 4 Common rail
Nominalna snaga motora ECE R120 (kw/ks)	189/257
Nominalna snaga motora ECE R120 s Power Management (kw/ks)	216/294
Nominalni broj okretaja motora o/min	2000
Maks.okretni moment (Nm) pri 1400 o/min	643
Maks.okretni moment ECE R120 pri 1600 o/min sa Power Management*	678
<b>Mjenjač</b>	
Tip	Puni Powershift sa Powershuttle
Broj brzina standard - 40 km/h	19 naprijed, 4 nazad
<b>HIDRAULIČNI SUSTAV</b>	
Pumpa tip	Aksijalno klipna
Maksimalan protok ulja hid.pumpe	161 l/min
<b>Ovijes u tri točke</b>	
Kontrola	EHC-el.hidr.kontrola sa plivajućim položajem
Maksimalna podizna sila	9130 kg
Kategorija	Kat III/IV N
<b>Ostalo</b>	
Obujam spremnika za gorivo-dizel/urea (litara)	651/89,4
Minimalna težina/ukupna dozvoljena težina (kg)	9136/17500
Ukupna dužina	6428 mm
Visina preko svega	3378 mm
Totalna širina	2550 mm
Međuosovinski razmak (mm)	3055 mm
Dimenzija prednjih guma	600/70R-30
Dimenzija stražnjih guma	710/70R-42

### **3.3. MOTORNA ULJA**

Primjenskim ispitivanjem obuhvaćene su dvije vrste ulja proizvođača INA MAZIVA d.o.o.

#### **3.3.1. INA Super Max 15W-40**

Visokoučinkovito SHPD (Super High Performance Diesel) mineralno motorno ulje za podmazivanje visoko opterećenih dizelovih motora gospodarskih vozila s turbopunjačem u vrlo teškim uvjetima eksploatacije, koja kao pogonsko gorivo koriste Eurodizel, omogućujući znatno produžene intervale zamjene ulja. Prikladno je za podmazivanje motora bez filtera čestica (DPF) te većinu motora s EGR ili SCR sustavima obrade ispušnih plinova.

Navedeno ulje zadovoljava specifikacije:

ACEA E7-12 (2012), ACEA E7-08 issue 2 (2010), API CI-4/CH-4/CG-4/ CF-4/CF/SL, MTU Type 2, CAT ECF-2, CAT ECF-1-a, Global DHD-1, Deutz DQC III-10.

Posjeduje uporabne dozvole:

MB-Approval 228.3, MAN M 3275-1, Volvo VDS-3, Mack EO-N, Renault VI RLD-2, Cummins CES 20078/20077/20076.

#### **3.3.2. INA Super 2000 10W-40**

Vrhunsko sintetičko XHPD (Extra High Performance Diesel) motorno ulje za podmazivanje Euro 4 i Euro 5 dizelskih motora gospodarskih vozila, koji rade u najtežim uvjetima i uz najduže intervale zamjene ulja te koriste Eurodizel kao gorivo. Prikladno je za podmazivanje motora s EGR ili sustavima obrade ispušnih plinova te za motore bez filtera čestica (DPF).

Navedeno ulje zadovoljava specifikacije:

ACEA E7-08/E4-08, API CI-4/CF, MTU Type 3.

Posjeduje uporabne dozvole:

MB-Approval 228.5 i MAN M 3277, Volvo VDS 3, Mack EO-N i Renault VI RLD-2.

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

Za motore koji ispunjavaju Euro 4, Euro 5 i Euro 6 norme, a imaju ugrađene DPF filtere ne koriste se klasična motorna ulja jer se primjenom klasičnih motornih ulja smanjuje životni vijek sustava za naknadnu obradu ispušnih plinova (URL8). Životni vijek DPF-filtera se smanjuje za polovinu, jer se kanali sustava za pročišćavanje pune pepelom nastalim oksidacijom metala prisutnih u ulju. Iz tih razloga ulja koja ispunjavaju ove zahtjeve moraju se proizvoditi na bazi hidrokrekiranih baznih ulja koja imaju sadržaj sumpora ispod 300ppm i aditiva koji imaju smanjen sadržaj metala (Ca, Mg, Zn) te sumpora i fosfora. Motorna ulja s limitiranim kemijskim sastavom, koja se koriste za komercijalna vozila i poljoprivrednu mehanizaciju moraju imati sniženu vrijednost SAPS-a (sulfatni pepeo, fosfor i sumpor). Kod motornih ulja koja ispunjavaju standard API CJ-4 i ACEA E-9 vrijednost sulfatnog pepela je ispod 1% , sumpor ispod 0,4% i fosfor ispod 0,12%. Imajući u vidu sve ove zahtjeve rafinerije ulja trebale bi razvijati ulja koja u potpunosti ispunjava ove zahtjeve.

### **4.1. IZGLED I BOJA**

Određivanje boje naftnih derivata se uglavnom koristi u svrhu kontrole proizvodnje i važno je obilježje kvaliteta. U nekim slučajevima boja može poslužiti kao pokazatelj stupnja dotrajalosti ulja. Međutim, boja nije uvijek pouzdan vodič za kvalitetu i stanje ulja i ne smije se pojedinačno koristiti u specifikacijama proizvoda. Tamnija boja motornog ulja može upućivati na pojačano zagađenje čađom.

### **4.2. SADRŽAJ VODE I MEHANIČKIH NEČISTOĆA**

Poznavanje sadržaja vode u naftnim proizvodima važno je u preradi, kupovini i prodaji te transportu proizvoda. Navedeno svojstvo je korisno u predviđanju kvalitete i budućih značajki proizvoda. Mehaničke nečistoće kao sediment u ulju za podmazivanje mogu dovesti do kvara sustava u kritičnim područjima, te je određivanje količine sedimenta nužnost.

### **4.3. KINEMATIČKA VISKOZNOST**

Prilikom primjene motornih ulja često dolazi do promjene viskoznosti koja može biti izazvana različitim djelovanjem. U toku eksploatacije događaju se promjene povećanja vrijednosti viskoznosti, a isto tako i do pada viskoznosti.

Ukoliko dolazi do pada vrijednosti viskoznosti mogući razlozi su:

- razrjeđenje motornog ulja gorivom zbog nepodešenosti sustava za ubrzavanje ili zbog povećanih zazora u području klipnih prstenova i
- drugi razlog je destrukcija upotrijebljenog poboljšivača viskoznosti uslijed djelovanja mehaničkih sila.

Ukoliko dolazi do povećanja viskoznosti najčešći razlozi su:

- prisustvo povećane količine čađi u motornom ulju ili
- oksidacija i polimerizacija pojedinih ugljikovodičnih struktura prisutnih u ulju.

Sve vrijednosti viskoznosti nalaze se u granicama predviđenim za ovu viskozitetnu gradaciju. Kod oba traktora i ulja 15W-40 došlo je do blagog pada viskoznosti dok je kod ispitivanog 10W-40 ulja kod JD traktora došlo do blagog porasta, a kod CASE traktora do blagog pada viskoznosti. Međutim, vidljiva je razlika između ulja. Vrijednost viskoznosti ulja 10W-40 znatno je manje izmijenjena od viskoznosti ulja 15W-40 u odnosu na svježije ulje.

#### **4.4. INDEKS VISKOZNOSTI**

Indeks viskoznosti je karakteristika preko koje se utvrđuje promjena viskoznosti sa promjenom temperature. Analizom rezultata zaključeno je da nije došlo do značajnih promjena indeksa viskoznosti niti do značajnog pada njegove vrijednosti, što ukazuje na postojanost poboljšivača u ulju kod koga se prilikom eksploatacije nije dogodila značajna mehanička destrukcija.

#### **4.5. TAN (TOTAL ACID NUMBER) I TBN (TOTAL BASE NUMBER)**

Kod motornih ulja jedna od bitnih osobina je rezerva alkalnosti preko koje se osigurava zaštita motora od utjecaja različitih korozivnih produkata nastalih u procesu izgaranja goriva, kao i od produkata nastalih procesom oksidacije i nitracije. Vrijednosti TBN-a prikazane tablicama 8. i 9. pokazuju da se izmjerene vrijednosti nalaze daleko iznad dozvoljenih vrijednosti koja se kod većine velikih proizvođača motora uzima kao polovina početne vrijednosti TBN-a preporučenog motornog ulja. Tijekom eksploatacije dolazi do oksidacije ulja koja se ogleda u porastu TAN-a. Ukoliko se vrijednost TAN-a tijekom eksploatacije izjednači sa vrijednošću TBN-a, ulje se odmah mora zamijeniti. U vrijednostima analize se mogu uočiti blage promjene TAN-a što ukazuje na dobru oksidacijsku stabilnost ispitivanog ulja. Kod traktora sa ugrađenim EGR sustavom za obradu ispušnih plinova (JD) zamjetan je porast TAN-a dok je kod SCR sustava (CASE) TAN u padu.

#### **4.6. METALI NASTALI USLIJED TROŠENJA DIJELOVA MOTORA**

U sklopu ispitivanja metalnih čestica nastalih trošenjem obavljeno je određivanje količine prisutnog željeza (Fe), kroma (Cr), bakra (Cu) i olova (Pb). Sve analizom utvrđene vrijednosti metala su daleko ispod dozvoljenih granica što ukazuje na dobru antihabajuću zaštitu koju pružaju promatrana motorna ulja.

#### **4.7. NETOPIVO U N-PENTANU**

Eventualna bi značajna promjena u n-pentanu netopljivih sastojaka ukazivala na promjenu ulja koja bi mogla dovesti do problema podmazivanja. Izmjerene vrijednosti netopivih sastojaka mogu pomoći u procjeni karakteristike ponašanja rabljenih ulja ili utvrđivanja uzroka kvara tehničkog sustava. Analizom rezultata zaključeno je kako nije došlo do značajnih promjena u n-pentanu netopivih sastojaka niti do značajnog porasta njegove vrijednosti.

Tablica 8. Rezultati analize motornog ulja INA Super Max 15W-40

	<i>Uzorak</i>	<i>svježe ulje</i>	<i>JD 7830</i>	<i>CASE MAGNUM 260</i>
	<i>Količina uzorka, ml</i>		<i>1kg</i>	<i>500</i>
	<i>Datum</i>		<i>10.06.2016.</i>	<i>15.03.2016.</i>
	<i>Pređeni sati, h</i>		<i>280</i>	<i>280</i>
	<i>Nadoljev, litre</i>		-	-
<b>Fizikalno-kemijska i mehanička svojstva</b>				
1	Izgled i boja	bistro, smeđe	crno ulje	bistro, tamno smeđe
2	Sadržaj vode i mehaničkih nečistoća	ne sadrži	ne sadrži	<0,05% vode, meh. ne sadrži
3	Kin. viskoznost @ 40°C, mm <sup>2</sup> /s	108,67	91,50	95,35
4	Kin. viskoznost @ 100°C, mm <sup>2</sup> /s	14,75	12,71	13,05
5	Indeks viskoznosti	140	136	135
6	TAN, mgKOH/g	1,20	pretamno	0,97
7	TBN, mgKOH/g	10,10	9,50	10,50
8	Točka zavarivanja, N	3150	3150	3150
9	Srednji promjer istrošenja, mm	0,57	0,57	0,59
10	Kalcij, %	0,34	0,34	0,362
11	Cink, %	0,11	0,12	0,118
12	Sumpor, %	0,41	0,36	0,39
13	Željezo, mg/kg	< 3	69	< 3
14	Olovo, mg/kg	< 3	< 3	< 3
15	Bakar, mg/kg		0,1918	0
16	Cr,V,Ni, mg/kg	< 3	< 3	< 3
17	Netopivo u n-pentanu, %		0,041	0,022



Tablica 9. Rezultati analize motornog ulja INA Super 2000 10W-40

	<i>Uzorak</i>	<i>svježe ulje</i>	<i>JD 7830</i>	<i>CASE MAGNUM 260</i>	<i>JD 7830</i>	<i>CASE MAGNUM 260</i>
	<i>Količina uzorka, ml</i>		<i>1kg</i>	<i>1kg</i>	<i>1kg</i>	<i>1kg</i>
	<i>Datum</i>		<i>27.10.2016.</i>	<i>11.08.2016.</i>	<i>14.11.2016.</i>	<i>21.09.2016.</i>
	<i>Pređeni sati, h</i>		<i>300</i>	<i>300</i>	<i>500</i>	<i>500</i>
	<i>Nadoljev, l</i>		2+2 (151h/300h) = 15,4%	-	2,5(344h) = 25,0%	-
<b>Fizikalno-kemijska i mehanička svojstva</b>						
1	Izgled i boja	bistro, smeđe	bistro, smeđe	bistro, tamno smeđe	bistro, smeđe	bistro, tamno smeđe
2	Sadržaj vode i mehaničkih nečistoća	ne sadrži	ne sadrži	ne sadrži, trag meh. neč.	ne sadrži	ne sadrži
3	Kin. viskoznost @ 40°C, mm <sup>2</sup> /s	93,51	95,26	90,55	94,62	91,84
4	Kin. viskoznost @ 100°C, mm <sup>2</sup> /s	14,00	14,27	13,62	14,17	13,66
5	Indeks viskoznosti	153	154	151	154,00	151
6	TAN, mgKOH/g	1,22	1,73	1,15	1,87	0,76
7	TBN, mgKOH/g	12,70	10,80	11,30	10,49	11,22
8	Točka zavarivanja, N	3150	3150	3150	3150	3150
9	Srednji promjer istrošenja, mm	0,57	0,58	0,58	0,72	0,56
10	Kalcij, %	0,36	0,360	0,370	0,37	0,380
11	Cink, %	0,11	0,120	0,110	0,107	0,110
12	Sumpor, %	0,32	0,37	0,36	0,35	0,35
13	Željezo, mg/kg	< 3	13	12	22	24
14	Olovo, mg/kg	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
15	Bakar, %		17	< 3	15	21
16	Cr,V,Ni,Cd,Mn,Mg, mg/kg	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
17	Netopivo u n-pentanu, %		0,041	0,136	0,045	0,039

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog primjenskog ispitivanja dvije vrste motornog ulja korištena u eksploataciji dvaju poljoprivrednih traktora opremljenih sa dva različita sustava obrade ispušnih plinova (EGR sustav i SCR sustav) mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. rezultati eksploatacijskog ispitivanja pokazuju da se radi o kvalitetnim motornim uljima nove generacije koja osiguravaju izuzetno podmazivanje motora,
2. sva fizikalno-kemijska svojstva ulja kao i mehanička svojstva se nalaze u predviđenim granicama za ovaj kvalitetni nivo ulja
3. ulja nisu pretrpjela značajnu kemijsku degradaciju što ukazuje na izuzetnu kvalitetu paketa aditiva te korištenog baznog ulja,
4. ulja pokazuju izuzetno visoku razinu kvalitete i mogu se koristiti i za duže intervale zamjene 500 radnih sati,
5. motorno je ulje INA Super 2000 10W-40 polučilo za nijansu bolje rezultate na oba traktora,
6. SCR sustav za obradu ispušnih plinova pokazao se kao manje „agresivan“ prema ispitivanim uljima.
7. Za statistički opravdane vrijednosti nužno je ponoviti istraživanje, ali sa većim brojem ponavljanja (intervala zamjene ulja).

## 6. POPIS LITERATURE

1. Banaj, Đ. i Šmrčković, P (2003.): Upravljanje poljoprivrednom tehnikom, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
2. Bowman, C. T. (1975.): Kinetics of pollutant formation and destruction in combustion, Progress in Energy Combustion Science, Vol. 1, p.33-45, Michigan.
3. Bünemann, F (2005.): Uzroci razvoja motornih ulja s niskim sadržajem pepela, fosfora i sumpora, 23. stručno-znanstveni skup MAZIVA 2005, Rovinj,
4. Frank, W., Hüthwohl, G., Maurer, B. (2005.): SCR Systems for heavy duty trucks: Progress forward meet Euro IV emission standards in 2005, [www.osti.gov/bridge/servlets/purl/829825-XvwbXT/native/829825.pdf](http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/829825-XvwbXT/native/829825.pdf) 8,
5. Heywood, J. B. (1998.): Internal Combustion Engines Fundamentals, Mc Graw Hill International Edition, Singapore.
6. Marijan Podobnik, Josip Bambić (2004): Specifikacije motornih ulja za osobna vozila, goriva i maziva, 43, 3 : 161-181,
7. Miller, F. J., Gardner, D. E., Graham, J. A., Lee Jr, R. E., Wilson, W. E., Bachmann, J. D. (1979.): Size considerations for establishing a standard for inhalable particles, Journal of the Air Pollution Control Association, 29:610-615, SAD.
8. Petraru, L. i Novotny-Farkas, F. (2012.): Utjecaj biodizelskih goriva na mazivost motornih ulja putničkih dizelovih autom, Goriva i maziva, 51, 2 : 148-165,
9. Plaščak, I. (2012.): Međuzavisnost kvalitete izgaranja goriva i stanja ulja u eksploataciji traktorskih motora, doktorski rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek,
10. Renius, K. T. (1999.): Tractors – Two-Axle Tractors. In Stout, B. A.: CIGR Engineering vol. III, CIGR – ASAE, St. Joseph.
11. Schubiger, R., Bertola, A., Boulouchos, K. (2001.): Influence of EGR on Combustion and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI-Diesel Engines Equipped with Common-Rail Injection System, SAE Paper 2001-01-3497, Warrendale.
12. Stroppel, A. (1998.): A review of agricultural engineering research in Germany, Actual tasks on agricultural engineering, Proceedings 26th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 3-6 February 1998: 21-26,
13. Šagi, G., Tomić, R., Ilinčić, P. (2009): Razvoj propisa o dopuštenim emisijama štetnih tvari iz motora s unutarnjim izgaranjem, Goriva i maziva, Vol. 48, No. 2, Zagreb.

14. Zimmer, R., Škrobonja, D., Olrom, V., Lazar P. (2004.): Testiranje svojstava motornog ulja shpd u motoru traktora pri osnovnoj obradi tla, Goriva i maziva, 43, 2 : 109-119,

URL1:

[https://www.fsb.unizg.hr/miv/nastava/strojarstvo/Normizacija\\_motornih\\_vozila/studentски\\_radovi/opatija\\_2007/Mahalec\\_SCR\\_Diesel.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/miv/nastava/strojarstvo/Normizacija_motornih_vozila/studentски_radovi/opatija_2007/Mahalec_SCR_Diesel.pdf), 01.02.2017.,

URL2: [www.hse.gov.uk](http://www.hse.gov.uk), 02.02.2017.

URL3: [www.dieseln.net](http://www.dieseln.net), 18.01.2017.

URL4: <https://www.silux.hr/motorsport-vijesti/14/sve-sto-morate-znati-o-egr-ventilu>, 12.01.2017.

URL5: <http://www.skwp.de/tce/frame/main/740.htm>, 22.01.2017.

URL6: [www.dureal.com/img/AdBlue\\_Specs\\_web-lay-out.pdf](http://www.dureal.com/img/AdBlue_Specs_web-lay-out.pdf), 23.01.2017.

URL7: <http://www.purem.de/scrsysteme.php>, 14.01.2017.

URL8: [http://modricaoil.com/wp-content/uploads/2013/09/Eksploataciono\\_ispitivanje\\_motornog\\_ulja\\_Maxima\\_E9\\_SAE15\\_W-40\\_u\\_PIK\\_Becej.pdf](http://modricaoil.com/wp-content/uploads/2013/09/Eksploataciono_ispitivanje_motornog_ulja_Maxima_E9_SAE15_W-40_u_PIK_Becej.pdf), 14.12.2016.

## 7. SAŽETAK

Analiza stanja motornog ulja u eksploataciji vrlo je značajna za ocjenu stanja ulja, a također i za ocjenu stanja vitalnih dijelova motora, odnosno cijelog motora. Uvođenje sve oštrijih zahtjeva u pogledu smanjenja emisije ispušnih plinova dovelo je kako do „evolucije“ sustava za obradu ispušnih plinova na motorima SUI tako i do zahtjeva o kvaliteti i kemijskom sastavu maziva. Zbog tih razloga je obavljeno ispitivanje dva motorna ulja za poljoprivredne strojeve u primjeni u poduzeću Anagalis d.o.o. Ispitivana su važna fizikalno-kemijska te mehanička svojstva. Ulja su korištena na dva različita sustava obrade ispušnih plinova. Rezultati ispitivanja su pokazali izvanrednu zaštitu motora pri podmazivanju ispitivanim motornim uljem i nešto bolje uvjete rada za traktor sa SCR sustavom.

**Ključne riječi:** EGR sustav, ispušni plinovi, motorno ulje, poljoprivredni traktor, SCR sustav

## **8. SUMMARY**

Analysis of the engine oil in exploitation is very significant for the evaluation of oil and also to review the status of the vital parts of the engine, or the entire engine. The introduction of ever more stringent requirements in terms of reducing emissions has led to the "evolution" of the system for processing exhaust gas to internal combustion engines as well as to the requirements on the quality and chemical composition of the lubricant. For these reasons, the testing done two motor oils for agricultural machinery in the application of the company Anagalis d.o.o. Investigation of important physico-chemical and mechanical properties. Oils are used in two different exhaust treatment systems. The results showed excellent engine protection for engine oil lubrication tested and something better working conditions for the tractor with SCR system.

**Key words:** EGR system, exhaust gasses, engine oil, agricultural tractor, SCR system

## 9. POPIS GRAFIKONA, TABLICA I SLIKA

Slika 1. Količina energije oslobođena izgaranjem u dizelskim motorima (Renius, 1999.)	5
Slika 2. Odnos između PM i NO <sub>x</sub> emisije teških dizelskih motora (Schubiger i dr, 2001.)	10
Slika 3. Shematski prikaz načina djelovanja SCR katalizatora uz pomoć uree (URL5)	13
Slika 4. Kemijske reakcije uree kod redukcije dušikovih oksida (Frank i sur., 2005.)	15
Slika 5. Oprema za ureu AdBlue koja se ugrađuje na teretna vozila (URL7)	16
Slika 6. Izuzeti uzorci ulja, vlastita fotografija	22
Slika 7. Crpka za izuzimanje uzoraka ulja, vlastita fotografija	23
Slika 8. Traktor JOHN DEERE 7830, vlastita fotografija	27
Slika 9. Traktor CaseIH MAGNUM 260, vlastita fotografija	27
Tablica 1. EU emisijski standardi (dopuštene granice) za HD dizelske motore, gkW <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> (čada u m <sup>-1</sup> ) (URL3)	8
Tablica 2. Propisani standardi za emisije teških dizelskih motora (URL3)	9
Tablica 3. Svojstva i sastav uree prema normi DIN 70070:2005 (URL6)	14
Tablica 4. Struktura zaposlenih u tvrtki „ANAGALIS“ d.o.o. Podgorač	24
Tablica 5. Struktura poljoprivredne mehanizacije u „ANAGALIS“ d.o.o Podgorač	25
Tablica 6. Tehničke karakteristike traktora JD 7830	29
Tablica 7. Tehničke karakteristike traktora CaseIH MAGNUM 260	30
Tablica 8. Rezultati analize motornog ulja INA Super Max 15W-40	36
Tablica 9. Rezultati analize motornog ulja INA Super 2000 10W-40	37

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**  
**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**  
**Diplomski rad**  
**Poljoprivredni fakultet u Osijeku**  
**Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija**

**Utjecaj vrste sustava za obradu ispušnih plinova traktorskih dizel motora na fizikalno-kemijska i mehanička svojstva motornog ulja**

Danijel Marinović

**Sažetak:** Analiza stanja motornog ulja u eksploataciji vrlo je značajna za ocjenu stanja ulja, a također i za ocjenu stanja vitalnih dijelova motora, odnosno cijelog motora. Uvođenje sve oštrijih zahtjeva u pogledu smanjenja emisije ispušnih plinova dovelo je kako do „evolucije“ sustava za obradu ispušnih plinova na motorima SUI tako i do zahtjeva o kvaliteti i kemijskom sastavu maziva. Zbog tih razloga je obavljeno ispitivanje dva motorna ulja za poljoprivredne strojeve u primjeni u poduzeću Anagalis d.o.o. Ispitivana su važna fizikalno-kemijska te mehanička svojstva. Ulja su korištena na dva različita sustava obrade ispušnih plinova. Rezultati ispitivanja su pokazali izvanrednu zaštitu motora pri podmazivanju ispitivanim motornim uljem i nešto bolje uvjete rada za traktor sa SCR sustavom.

**Rad je izrađen pri:** Poljoprivredni fakultet u Osijeku

**Mentor:** doc. dr. sc. Ivan Plaščak

**Broj stranica:** 43

**Broj grafikona i slika:** 9

**Broj tablica:** 9

**Broj literaturnih navoda:** 22

**Broj priloga:** -

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** EGR sustav, ispušni plinovi, motorno ulje, poljoprivredni traktor, SCR sustav

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Ivan Plaščak, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Pavo Baličević, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1



## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate thesis**

**Faculty of Agriculture**

**University Graduate Studies, course Mehanization**

### **The influence of the system for processing exhaust gas of tractor diesel engines on the physico-chemical and mechanical properties of engine oil**

Danijel Marinović

**Abstract:** Analysis of the engine oil in exploitation is very significant for the evaluation of oil and also to review the status of the vital parts of the engine, or the entire engine. The introduction of ever more stringent requirements in terms of reducing emissions has led to the "evolution" of the system for processing exhaust gas to internal combustion engines as well as to the requirements on the quality and chemical composition of the lubricant. For these reasons, the testing done two motor oils for agricultural machinery in the application of the company Anagalis d.o.o. Investigation of important physico-chemical and mechanical properties. Oils are used in two different exhaust treatment systems. The results showed excellent engine protection for engine oil lubrication tested and something better working conditions for the tractor with SCR system.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** Ivan Plaščak, PhD, Assistant Professor

**Number of pages:** 43

**Number of figures:** 9

**Number of tables:** 9

**Number of references:** 22

**Number of appendices:** -

**Original in:** Croatian

**Key words:** EGR system, exhaust gasses, engine oil, agricultural tractor, SCR system

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Mladen Jurišić, PhD, Full professor, president
2. Ivan Plaščak, PhD, Assistant professor, mentor
3. Pavo Baličević, PhD Associate professor, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1