Utjecaj modela i starosti traktora na sastav ispušnih plinova

Drvenkar, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:422464

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

UTJECAJ MODELA I STAROSTI TRAKTORA NA SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA

DIPLOMSKI RAD

Matej Drvenkar

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika-Mehanizacija

UTJECAJ MODELA I STAROSTI TRAKTORA NA SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA

DIPLOMSKI RAD

Matej Drvenkar

Mentor:

Doc. dr. sc. Krešimir Čopec

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Matej Drvenkar**, JMBAG 0178100507, rođen/a 13. 03. 1996.g u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ MODELA I STAROSTI TRAKTORA NA SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____
Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Matej Drvenkar**, JMBAG 0178100507, naslova

UTJECAJ MODELA I STAROSTI TRAKTORA NA SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	Doc. dr. sc. Krešimir Čopec	mentor	_____
2.	Prof. dr. sc. Dubravko Filipović	član	_____
3.	Prof. dr. sc. Stjepan Pliestić	član	_____

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Cilj rada 2

2. Pregled literature 3

2.1. Ispušni plinovi dizel motora 4

2.1.1. Ugljikov monoksid (CO) 5
2.1.2. Ugljikovodici (HC) 5
2.1.3. Dušikovi oksidi (NO_X) 5

3. Sustavi za doradu ispušnih plinova 7

3.1. Oksidacijski katalizator na dizelskim motorima (Diesel Oksidation Catalizator – DOC) ..... **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**

3.2. Filtar krutih čestica (Diesel Particulate Filter - DPF) ..... **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**

3.3. Ventil za recilkulaciju ispušnih plinova (Exhaust gas recilculation - EGR) **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**

3.4. Selektivna katalitička redukcija (Selective Catalytic Reduction - SCR) **Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.**

4. Materijali i metode istraživanja 11

4.1. Traktori korišteni u istraživanju 11

4.1.1. Traktor Zetor 7711 11
4.1.2. Traktor Zetor 6340 12
4.1.3. Traktor Zetor Proxima 8441 14
4.1.4. Traktor Zetor Proxima 2008 8441 16

4.2. Uređaj za mjerenje sastava ispušnih plinova 18

4.3. Plug korišten u istraživanju 21

4.4. Metode rada 22

5. Rezultati istraživanja 244

6. Rasprava 311

7. Zaključak 322

8. Literatura 33

8.1. Web izvori 34
9. Životopis 35

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Matej Drvenkar**, naslova

UTJECAJ MODELA I STAROSTI TRAKTORA NA SASTAV ISPUŠNIH PLINOVA

Ispušni plinovi poljoprivrednog traktora imaju štetan utjecaj na okoliš. Stoga su kroz godine razvoja traktora razvijeni sustavi za doradu ispušnih plinova pa tako danas moderni poljoprivredni traktor emitira 95% manje ugljikovog dioksida nego prije 35 godina. Cilj ovog diplomskog rada je utvrditi smanjenje štetnih ispušnih plinova kroz četiri generacije traktora. Istraživanje je provedeno na četiri modela traktora proizvođača Zetor mjerenjem sastava ispušnih plinova analizatorom ispušnih plinova MAHA MET 6.3. Mjerenje je provedeno kod približno istog režima rada motora traktora. Mjerenjem je utvrđeno da najnoviji model traktora emitira 60% manje ugljikovog monoksida, 32% manje ugljikovog dioksida i čak 68% manje ugljikovodika što je dobar pokazatelj da starost motora utječe na količinu štetnih plinova u sastavu ispušnih plinova.

Ključne riječi: traktor, dizel motor, ispušni plinovi

Summary

Of the master's thesis – student **Matej Drvenkar,** entitled

INFLUENCE OF TRACTOR MODELS AND AGE ON EXHAUST GAS COMPOSITION

The exhaust gases of an agricultural tractor have a detrimental effect on the environment. Therefore, over the years of tractor development, exhaust finishing systems have been developed, so that today modern agricultural tractors emit 95% less carbon dioxide than 35 years ago. The aim of this thesis is to determine the reduction of harmful exhaust gases through four generations of tractors. The research was proven on four models of Zetor tractors by measuring the composition of exhaust gases with the MAHA MET 6.3 exhaust gas analyzer. The measurement has been proven in the same operating modes of the tractor engine. Measurements have shown that the newest model of the tractor emits 60% less carbon monoxide, 32% less carbom dioxide and even 68% less hydrocarbons whitch is a good indicator that age oft he engine affects in the amount of harmful gasses in the composition of the exhoust gasses.

Keywords: tractor, diesel engine, exhaust gases

1. Uvod

Danas na Zemlji živi preko 7,7 milijardi stanovnika, njih 28% živi u urbanim područjima što dovodi do sve većeg razvoja poljoprivredne proizvodnje, usporedno s time i poljoprivredne mehanizacije. Razvoj traktora opremljenog dizel motorom olakšao je obavljanje poljoprivrednih poslova poljoprivrednicima. Samim time broj traktora brzo je rastao i traktor je postao vrlo koristan stroj u svim granama poljoprivrede. Bilski (2013) navodi kako se 2013. godine u svijetu koristi 29 milijuna traktora.

Sam početak razvoja sustava za reduciranje štetnih ispušnih plinova veže se uz voćarske traktore. Naime, kako se voćarski traktori kreču u blizini plodova primijećeno je da ispušni plinovi traktora šetno utječu na kvalitetu tih plodova. Tako je došlo do potrebe za smanjenjem emisije štetnih plinova i razvoja katalizatora. Ugradnjom katalizatora u ispušni sustav voćarskih traktora emisija štetnih plinova je reducirana. Pojavom svijesti o zaštiti okoliša i štetnom utjecaju ispušnih plinova na atmosferu došlo je do potrebe za smanjenjem količine ispušnih plinova kod svih vrsta traktora. Kako bi ti radni strojevi ostavili što manje zagađenje 1997. godine donesena je prva Euro norma za strojeve koji se ne kreću javnim prometnicama koja je bitno promijenila daljnji razvoj motora sa unutarnjim izgaranjem. U zadnjih 35 godina emisija štetnih ispušnih plinova dizelskih motora kod poljoprivrednog traktora značajno je smanjena (Fiebig i sur., 2014). Danas 25 novih traktora emitira manje ugljikovog dioksida nego jedan traktor proizveden 1984. godine. To je rezultat razvoja dizelskih motora, ali i sustava za doradu ispušnih plinova.

Mnoga istraživanja su dokazala niz negativnih učinaka na ljudsko zdravlje i okoliš uzrokovanih ispušnim plinovima iz motora sa unutarnjim izgaranjem, naročito kod dizelskih motora koji su najzastupljeniji u poljoprivrednoj proizvodnji.

U ovom radu analizirat će se ispušni plinovi traktorskih dizel motora na četiri generacije traktora snage 50 – 60 kW. Usporedbom rezultata utvrdit će se da li je količina štetnih ispušnih plinova smanjena kod novije generacije traktora i u kojoj mjeri.

1.1. Cilj rada

Zbog zadovoljavanja sve strožih ekoloških normi za smanjenje štetnih ispušnih plinova i čestica, proizvođači motora sa unutarnjim izgaranjem osmislili su niz sustava za smanjenje istih.

Cilj ovog rada je utvrditi smanjenje emisije štetnih ispušnih plinova i čestica motora poljoprivrednih traktora kroz četiri generacije češkog proizvođača traktora "ZETOR".

2. Pregled literature

Donošenjem novih Euro normi za čistoću ispušnih plinova automobilska industrija je primorana koristiti nove sustave za smanjenje razine polutanata u ispušnim plinovima. U svijetu početak korištenja sustava za smanjenje razine polutanata iz ispušnih plinova počeo je 1975. godine u Kaliforniji, kako bi se udovoljilo standardima dopuštenih koncentracija polutanata u ispušnim plinovima, koje je propisala Agencija za zaštitu okoliša.

Prvom Europskom ekološkom norma za izvancestovne pokretne strojeve obuhvaćena je većina vozila, te je određena za različite vrste vozila i motora. Euro 1 normu (standard) za motorna vozila donijelo je Vijeće Europske unije 26. lipnja 1992. godine, a za oznaku za maksimalno dopuštene količine štetnih tvari prije njega se obično u literaturi primjenjuje Euro 0. Razine Euro 0 u dijagramima su dobivene naknadnim ispitivanjem ovih vozila i preračunavanjem na današnje standarde.

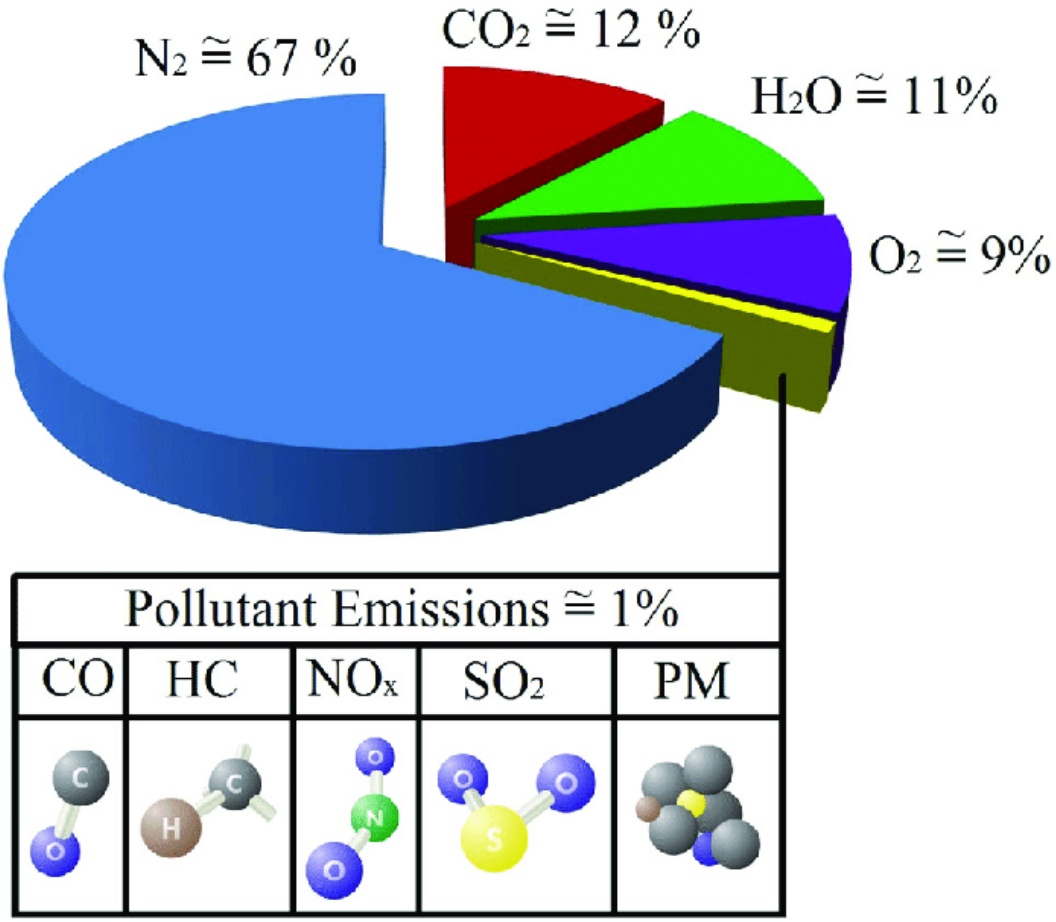
Takva vrsta direktive Europske unije koja se odnosi na njene članice po prvi je puta ograničila emisiju štetnih tvari u ispušnim plinovima motornih vozila. Stupanje Euro 1 norme na snagu dolazi u lipnju 1993. godine te povlači za sobom vrlo drastično usklađivanje zakona država članica u vezi mjera koje se trebaju provesti protiv onečišćenja zraka ispušnim plinovima motornih vozila.

Euro 1 norma tada je izjednačila dizelske i benzinske motore te su zahtjevi u vezi ispušnih plinova za te dvije vrste motora gotovo identični. Zahtijevala je prebacivanje na bezolovni benzin i univerzalnu ugradnju katalizatora za benzinski motore kako bi se reducirala emisija ugljičnog monoksida CO.

Normama Euro 2 i 3 dolazi do promjena vezanih uz granične vrijednosti udjela štetnih ispušnih plinova dok se Euro 4 norma za izvancestovne pokretne strojeve (2004/26/EZ) koncentrira na smanjenje krutih čestica (PM) i dušikovih spojeva (NOx). Objavljena je 24. travnja 2004. godine u Službenom listu Europske Unije. U usporedbi sa Euro I normom, Euro IV donosi 90% manju emisiju dušičnih oksida i krutih čestica.

2.1. Ispušni plinovi dizel motora

U idealnim termodinamičkim uvjetima kod potpunog izgaranja dizelskog goriva oslobađali bi se samo ugljikov dioksid i voda (Prasad i Bella, 2010). Međutim, postoji mnogo razloga (omjer zraka i goriva, vrijeme paljenja, turbulencije u cilindru) zbog kojih ne dolazi do potpunog izgaranja i nastaju mnogi štetni plinovi (Bosch, 2005.). Najznačajniji štetni plinovi su ugljikov monoksid CO, ugljikovodici HC i dušikovi oksidi NO_x (Resitoglu i sur., 2015).



Slika 2.1. Sastav ispušnih plinova dizel motora

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/The-compositions-of-diesel-exhaust-gas_fig1_293794340

2.1.1. Ugljikov monoksid (CO)

Ugljikov monoksid (CO) nastaje zbog nepotpunog izgaranja u cilindru odnosno kada se oksidacijski proces ne dovrši. Koncentracija uvelike ovisi o mješavini zraka i goriva. Najviše ugljikovog monoksida nastaje pri izgaranju bogatih mješavina goriva i zraka. Bogata mješavina je potrebna kod paljenja motora te kod naglog ubrzanja motora (Resitoglu i sur., 2015).

Ugljikov monoksid je plin bez mirisa i okusa. U ljudsko tijelo dolazi udisanjem i ulazi u krvožilni sustav, spaja se na hemoglobin i smanjuje njegov kapacitet usvajanja kisika. Nuspojave trovanja ugljikovim monoksidom su vrtoglavica, dezorijentiranost i slabi refleksi (Raub, 1999).

2.1.2. Ugljikovodici (HC)

Emisije ugljikovodika (HC) sastavljene su od neizgorenog goriva koje je rezultat preniske temperature koja se javlja uz stjenke cilindra (Resitoglu i sur., 2015). Dakle, temperatura mješavine goriva i zraka je puno niža uz stjenke cilindra nego u sredini (Demers i Walters, 1999).

Ugljikovodici sadrže tisuće spojeva kao što su alkani, alkeni i aromatski ugljikovodici. Neizgoreni ugljikovodici počinje reagirati u ispušnom sustavu u prisutstvu kisika kod temperature više od 600°C tako da je emisija ugljikovodika manja na izlazu iz ispušnog sustava nego na izlazu iz cilindra (Faiz i sur., 1996).

Ugljikovodici imaju štetan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Otrovni su i iritiraju respiratorni sustav ljudi te uzrokuju karcinom (Diaz-Sanchez, 1997).

2.1.3. Dušikovi oksidi (NO_X)

U normalnim uvjetima dušik u zraku (N_2) ne reagira sa kisikom (O_2). Nakon ubrizgavanja goriva u cilindar te izgaranja oslobađa se visoka temperatura, preko 1600°C i kod te temperature dušik reagira sa kisikom te nastaju dušikovi oksidi (NO_X). Razlikuje se dušikov oksid (NO) i dušikov dioksid (NO_2), (Resitoglu i sur., 2015). Dušikov oksid je plin bez mirisa i okusa, a dušikov dioksid je plin crvenkasto-smeđe boje i oštrog mirisa (Chong i sur., 2010).

Dušikovi oksidi predstavljaju veliku opasnost za okoliš i zdravlje ljudi. Emisije dušikovih oksida uvelike doprinose stvaranju smoga koji je velik problem u gradovima diljem svijeta (Grewe i sur., 2012). Također, dušikovi oksidi smatraju se otrovnim za ljude te uzrokuju plućne bolesti i iritiraju respiratorni sustav (Kagawa, 2002).

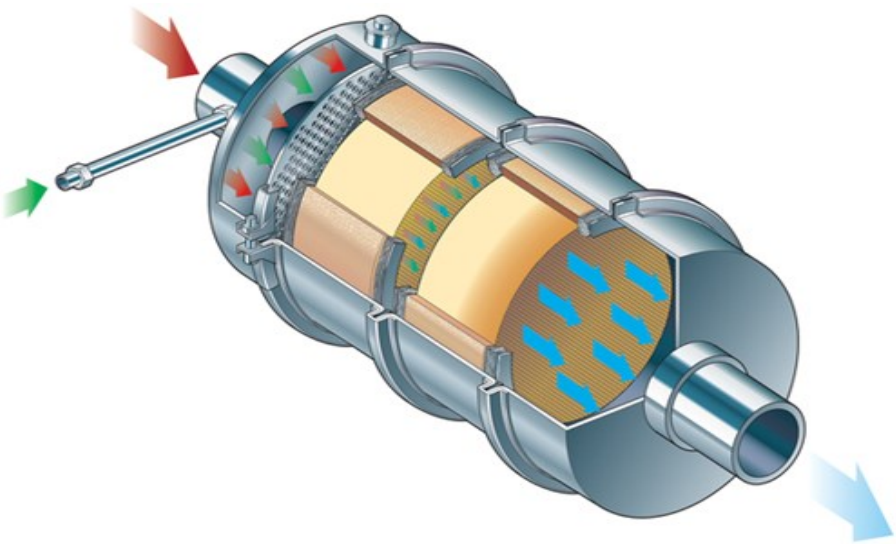
3. Sustavi za doradu ispušnih plinova

Začetak sustava za doradu ispušnih plinova veže se uz upotrebu katalizatora. To je najstariji te i najlošiji sustav. Danas postoje četiri sustava za doradu ispušnih plinova koji se koriste pojedinačno ili kombinirano.

3.1. Oksidacijski katalizator na dizelskim motorima (Diesel Oksidation Catalizator – DOC)

Moderni katalizatori (*Diesel Oksidation Catalizator - DOC)* (slika 3.1.) sastoje se od monolitne podloge čije su saće obložene metalom pakiranim u spremnik od nehrđajućeg čelika. Struktura saća s mnogo malih paralelnih kanala ima visoko katalitičko područje kontakta s ispušnim plinovima.

Ispušni plinovi dizelskog motora sadrže dovoljne količine kisika, potrebne za reakcije. Koncentracija O_2 u ispušnim plinovima dizelskog motora varira od 3% do 17%, ovisno o opterećenju motora. Aktivnost katalizatora raste s temperaturom. Potrebna je temperatura ispuha od najmanje 200°C da bi se katalizator „osvijetlio“. Pri povišenim temperaturama, pretvorbe ovise o veličini i dizajnu katalizatora i mogu biti veće od 90%.



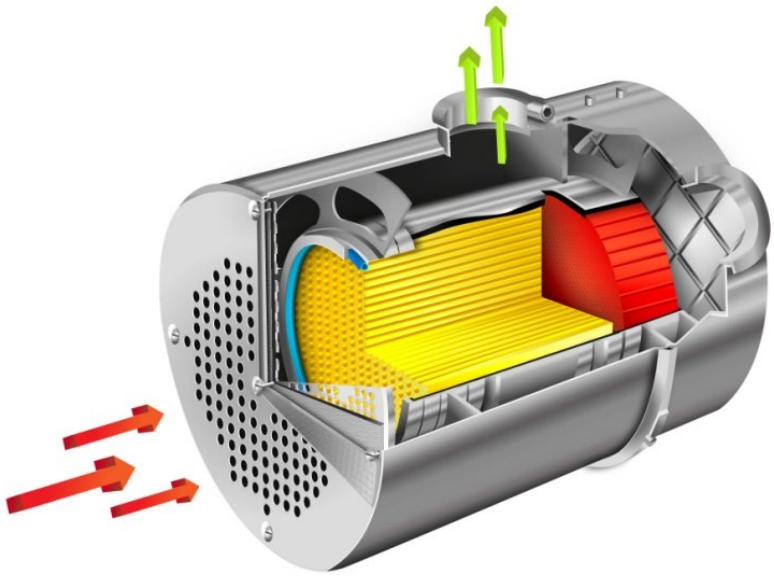
Slika 3.1. Diesel oksidacijski katalizator (Diesel Oksidation Catalizator – DOC)

Izvor: https://servistrsat.fullbusiness.com/o-nama/katalizator.htm

3.2. Filtar krutih čestica (Diesel Particulate Filter - DPF)

Filtar krutih čestica (*Diesel Particulate Filter - DPF)* je kao što mu i samo ime kaže, filtar koji je namijenjen dizelskim motorima, a postao je standardna komponenta kako bi motori poljoprivrednih traktora ispunili zadane Euro standarde ispušnih plinova.

Filtar krutih čestica spada u sustav za smanjenje štetnih plinova i u sustav izbacivanja štetnih plinova iz motora te mu je funkcija da zarobljava čestice čađe koje bi se inače ispustile iz poljoprivrednih strojeva. Svaki filtar, kako bi dobro radio i vršio optimalno filtriranje, potrebno je redovito čistiti kako ne bi došlo do zagušenja motora. U slučaju DPF filtra, proces čišćenja naziva se regeneracija, a izvodi se tako da se pod visokim temperaturama tretira sakupljena čađa te se na taj način pretvori u malu količinu pepela koja se odbaci iz sustava.



Slika 3.2. Filtar krutih čestica (Diesel Particulate Filter - DPF)

Izvor: https://www.autopress.hr/sto-je-dpf-fap-filtar-i-kako-se-pravilno-odrzava/

3.3. Ventil za recilkulaciju ispušnih plinova (Exhaust gas recilculation - EGR)

Ova vrsta ventila koristi se kod motora SUI koje koristimo u poljoprivrednim strojevima. Ventil za recilkulaciju ispušnih plinova *(Exhaust gas recilculation - EGR)* radi tako da 5-15% ispušnih plinova iz motora preusmjerava natrag u motor kroz usisnu granu na ponovno izgaranje u cilindrima.

Time se smanjuje emisija dušikovih oksida, a recilkulacijom se postiže to da temperatura prilikom izgaranja ne prelazi 1800°C koji su optimalni za izgaranje. Ako temperatura naraste više, stvaraju se dušikovi oksidi. Dakle, mogli bismo reći da EGR ventil igra važnu ekološku ulogu.

Da bi ventil za recilkulaciju ispušnih plinova dobro radio, motor mora biti dobro ugrijan. Kada pravilno radi, emisija štetnih plinova smanjuje se za čak 30%. Većina modernih motora danas ima ovu vrstu ventila kako bi ispunila ekološke standarde koji su svake godine sve zahtjevniji.

Slika 3.3. Ventil za recilkulaciju ispušnih plinova (Exhaust gas recilculation - EGR)

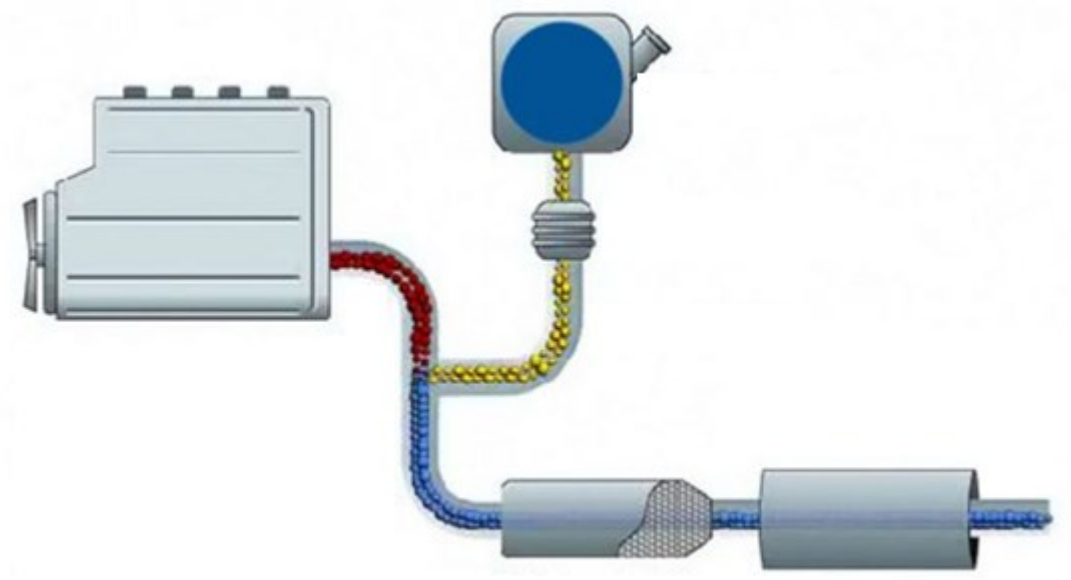
Izvor: https://www.aliexpress.com/item/32735702409.html

3.4. Selektivna katalitička redukcija (Selective Catalytic Reduction - SCR)

Selektivna katalitička redukcija *(Selective Catalytic Reduction - SCR)* je jedna od najnaprednijih tehnologija za smanjenje emisije štetnih plinova koju su proizveli vodeći europski proizvođači komercijalnih vozila. Samo ova tehnologija omogućava istovremeno smanjenje emisije ispušnih plinova i optimizaciju rada motora te potrošnju goriva.

Poznato je da su visoke emisije dušičnih oksida posljedica nepotpunog izgaranja goriva u motoru. Selektivna katalitička redukcija pomoću reducenta u obliku 32%-tne otopine uree u destiliranoj vodi (AdBlue), obrađuje ispušne plinove u katalizatoru. Točno određena količina otopine uree ubrizgava se kroz mlaznice u tok ispušnih plinova gdje dolazi do hidrolize, a potom u katalizatoru do transformacije dušikovih oksida na molekularni dušik (N_2) i vodu (H_2O).

Reakcija hidrolize: $(NH_2)2CO + H_2O \rightarrow 2\ NH_3 + CO_2$
SCR reakcija: $4\ NH_3 + 4\ NO + O_2 \rightarrow 4\ N_2 + 6\ H_2O$
$8\ NH_3 + 6\ NO_2 \rightarrow 7\ N_2 + 12\ H_2O$



Slika 3.4. Selektivna katalitička redukcija

Izvor: http://cleanairblue.com/scr-technology/

4. Materijali i metode istraživanja

Pri istraživanju, korištena su četiri traktora marke Zetor, i to modeli Zetor 7711 proizveden 1992. godine, Zetor 6340 proizveden 1996. godine, Zetor Proxima 8441 proizveden 2004. godine i Zetor Proxima 2008 8441 proizveden 2007. godine. Za određivanje sastava ispušnih plinova korišten je uređaj MAHA MET 6.3.

Kako bi postigli optimalno opterećenje motora traktora u uvjetima svakodnevne eksploatacije, na svaki traktor je tijekom mjerenja bio priključen plug ravnjak sa dva plužna tijela, radnog zahvata 12 inča po jednom radnom tijelu.

4.1. Traktori korišteni u istraživanju

4.1.1. Traktor Zetor 7711

Traktor Zetor 7711 proizveden je 1992. godine. U vrijeme istraživanja imao je približno 7000 radnih sati što znači da je približno odrađivao 260 radnih sati godišnje. Tehničke karakteristike traktora Zetor 7711 (slika 4.1.) su prikazane u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Tehničke karakteristike traktora ZETOR 7711

Razdoblje proizvodnje	1985 - 1992	Jedinica mjere
MOTOR		
Proizvođač / tip	ZETOR 7701	-
Broj cilindara	4	-
Radni obujam	3922	cm^3
Nazivna snaga motora / broj okretaja motora	52/2200	kW/mim^{-1}
Zakretni moment / broj okretaja motora	246.8/1600	Nm/mim^{-1}
Norme ispušnih plinova	-	-
MASE I MJERE		
Masa traktora	3130	kg
Duljina	3770	mm
Širina	1840	mm
Visina	2600	mm
SUSTAV ZA KRETANJE TRAKTORA		
Broj pogonskih osovina	1	-
Prednji pneumatici	7.50 - 16	-
Stražnji pneumatici	16.9 - 28	-

Slika 4.1. Traktor Zetor 7711

4.1.2. Traktor Zetor 6340

Traktor Zetor 6340 proizveden je 1996. godine. U vrijeme istraživanja imao je približno 4000 radnih sati što znači da je približno odrađivao 167 radnih sati godišnje. Tehničke karakteristike traktora Zetor 6340 (slika 4.2.) su prikazane u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Tehničke karakteristike traktora ZETOR 6340

Razdoblje proizvodnje	1992 - 1997	Jedinica mjere
MOTOR		
Proizvođač / tip	ZETOR 7701	-
Broj cilindara	4	-
Radni obujam	3922	cm^3
Nazivna snaga motora / broj okretaja motora	52/2200	kW/mim^{-1}
Zakretni moment / broj okretaja motora	246.6/1599	Nm/mim^{-1}
Norme ispušnih plinova	-	-
MASE I MJERE		
Masa traktora	3365	kg
Duljina	3775	mm
Širina	1980	mm
Visina	2675	mm
SUSTAV ZA KRETANJE TRAKTORA		
Broj pogonskih osovina	2	-
Prednji pneumatici	11.2 R 24	-
Stražnji pneumatici	14.9 R 28	-

Slika 4.2. Traktor Zetor 6340

4.1.3. Traktor Zetor Proxima 8441

Traktor Zetor Proxima 8441 proizveden je 2004. godine. U vrijeme istraživanja imao je približno 11000 radnih sati što znači da je približno odrađivao 690 radnih sati godišnje. Ovaj traktor (slika 4.3.) se razlikuje od ostalih modela traktora u pogledu održavanja. Naime ovaj ispitivani traktor loše je održavan, odnosno što je važnije napomenuti, motor traktora je loše i neredovito održavan te pretpostavljamo da će to imati utjecaja na rezultat mjerenja sastava ispušnih plinova. Tehničke karakteristike traktora Zetor Proxima 8441 su prikazane u tablici 4.3.

Tablica 4.3. Tehničke karakteristike traktora ZETOR Proxima 8441

Razdoblje proizvodnje	2003 - 2007	Jedinica mjere
MOTOR		
Proizvođač / tip	ZETOR 1204	-
Broj cilindara	4	-
Radni obujam	4156	cm^3
Nazivna snaga motora / broj okretaja motora	60/2200	kW/mim^{-1}
Zakretni moment / broj okretaja motora	338.1/1449	Nm/mim^{-1}
Norme ispušnih plinova	Stupanj II	-
MASE I MJERE		
Masa traktora	3710	kg
Duljina	3910	mm
Širina	1990	mm
Visina	2730	mm
SUSTAV ZA KRETANJE TRAKTORA		
Broj pogonskih osovina	2	-
Prednji pneumatici	320/85 R 24 (12.4 R 24)	-
Stražnji pneumatici	340/85 R 32 (13.6 R 32)	-

Slika 4.3. Traktor Zetor Proxima 8441

4.1.4. Traktor Zetor Proxima 2008 8441

Traktor Zetor Proxima 2008 8441 proizveden je 2007. godine. U vrijeme istraživanja imao je približno 6500 radnih sati što znači da je približno odrađivao 500 radnih sati godišnje. Ovaj model traktora (slika 4.4.) ima ugrađen EGR ventil kojeg sam opisao ranije u radu te zbog toga očekujem da emitira najmanje štetnih plinova. Tehničke karakteristike traktora Zetor Proxima 2008 8441 su prikazane u tablici 4.4.

Tablica 4.4. Tehničke karakteristike traktora ZETOR Proxima 2008 8441

Razdoblje proizvodnje	2007 - 2009	Jedinica mjere
MOTOR		
Proizvođač / tip	ZETOR 1205	-
Broj cilindara	4	-
Radni obujam	4156	cm^3
Nazivna snaga motora / broj okretaja motora	60/2200	kW/mim^{-1}
Zakretni moment / broj okretaja motora	361.0/1480	Nm/mim^{-1}
Norme ispušnih plinova	Stupanj IIIA	-
MASE I MJERE		
Masa traktora	3750	kg
Duljina	4070	mm
Širina	1890	mm
Visina	2738	mm
SUSTAV ZA KRETANJE TRAKTORA		
Broj pogonskih osovina	2	-
Prednji pneumatici	320/85 R 24 (12.4 R 24)	-
Stražnji pneumatici	340/85 R 32 (13.6 R 32)	-

Slika 4.4. Traktor Zetor Proxima 2008 8441

4.2. Uređaj za mjerenje sastava ispušnih plinova

Sastav i udio pojedinih plinova u ispušnim plinovima ispitivanih traktora mjeren je uređajem MAHA MET 6.3 (slike 4.5. i 4.7.) Uređaj se sastoji od mjerne jedinice, sonde, indikatora temperature te indikatora broja okretaja motora, te monitora za prikaz tih parametara (slika 4.6.).

Prilikom mjerenja sastava ispušnih plinova sonda se stavlja u ispušnu cijev traktora te pokreće mjerenje. MAHA MET 6.3 se spaja na prijenosno računalo u koje se spremaju izmjereni podatci.

Mjerne karakteristike analizatora ispušnih plinova su navedene u tablici 4.5. Kod svih mjerenja dobivene vrijednosti predstavljaju prosjek od 3 mjerenja provedenih u jednom prohodu.

Slika 4.5. Uređaj za mjerenje sastava ispušnih plinova MAHA MET 6.3

Tablica 4.5. Mjerne karakteristike uređaja MAHA MET 6.3

Ispušni plinovi	CO	CO_2	HC	O_2	NO_x	PM
Mjerno područje	0 – 15,0 vol.%	0 – 20,0 vol.%	0 – 2000 ppm (heksan) 0 – 4000 ppm (propan)	0 – 25,0 vol.%	0 – 5000 ppm	1 – 1100 mg m^{-3}
Točnost mjerenja	0,03 vol.%	0,5 vol.%	10 ppm	0,1 vol.%	32 – 120 ppm	N/A
Preciznost mjerenja	0,001 vol.%	0,01 vol.%	0,1 ppm	0,01 vol.%	1 ppm	1 mg m^{-3}
Metoda mjerenja	Infracrvena	Infracrvena	Infracrvena	Elektrokemijska	Elektrokemijska	Ekstinkcijska

Slika 4.6. Monitor uređaja za prikaz temperature i broja okretaja motora MAHA MET 6.3. u traktoru.

Slika 4.7. Uređaj za mjerenje sastava ispušnih plinova MAHA MET 6.3 u traktoru.

4.3. Plug korišten u istraživanju

Plug koji je korišten kod ispitivanja sastava ispušnih plinova traktora kako bi opteretili motore ispitivanih traktora bio je plug ravnjak sa dva plužna tijela zahvata 12 inča po plužnom tijelu. Dubinu oranja podesili smo dubinskim kotačem na 35 cm, što je dovoljno da se ispitivani traktori dovoljno opterete za potrebe ispitivanja.

Slika 4.8. Nošeni plug „BNT“ Leopard 25-2

Plug korišten kod ispitivanja je „BNT“ Bosanska Dubica, a model je Leopard (slika 4.8.). Klirens pluga je 60 cm, masa pluga je 225 kg. Ukupna visina pluga je 120 cm, duljina 164 cm, a širina 82 cm.

Slika 4.9. Traktor Zetor 6340 tijekom mjerenja

4.4. Metode rada

Mjerenje sastava ispušnih plinova obavili smo redom po starosti traktora, od najstarijeg do najnovijeg. Na sve traktore smo priključivali plug ravnjak sa dva plužna tijela zahvata 12 inča po plužnom tijelu. Zatim smo na traktor priključili uređaj za mjerenje sastava ispušnih plinova. Sa traktorima smo odlazili u polje gdje smo mjerili sastav ispušnih plinova traktora u radu sa navedenim plugom (slika 4.9.). Sa svakim traktorom smo odradili tri ponavljanja kako bi rezultati bili što točniji. Kod svih ispitivanih traktora korišteno je isto dizelsko gorivo, Eurodizel sa obližnje pumpe Petrol. Granične vrijednosti sastavnica i značajki kvalitete dizelskog goriva koje se stavlja na tržište Republike Hrvatske prikazane su u tablici 4.6.

Mjerenja su odrađena na parceli u blizini grada Vrbovca, u selu Gaj. Parcela je redovito obrađivana te smo prilikom mjerenja zaoravali ostatke nakon žetve pšenice. Oranje smo provodili na dubini od 35 cm, kako bismo što više opteretili traktor, te brzinom od 6 km/h. Mjerenja kod svih traktora smo odradili u približno istom režimu rada i to pri 1800 o/min motora.

Za napajanje uređaja za mjerenje sastava ispušnih plinova koristili smo bateriju traktora. Kako bi izmjerili sastav ispušnih plinova, sondu spojenu sa uređajem za mjerenje ispušnih

plinova smo stavili u ispušnu cijev traktora. Uređaj Maha MET 6.3 smo povezali sa prijenosnim računalom sa kojim smo upravljali mjerenjem i na kojeg smo spremali podatke dobivene mjerenjima.

Tablica 4.6. Granične vrijednosti sastavnica i značajki kvalitete dizelskog goriva koje se stavlja na tržište Republike Hrvatske (Izvor: Narodne novine 57/2017)

Sastavnica i značajka kvalitete	Jedinica	Granične vrijednosti	Metoda ispitivanja
Cetanski broj		> 51,0	HRN EN ISO 5156 HRN EN 15195 HRN EN 16144 ASTM D 613 HRN EN ISO 3675
Gustoća pri 15˚C	kg m^{-3}	< 845,0	HRN EN ISO 12185 ASTM D 1298 ASTM D 4052
Destilacija: - 95 % (v/v) predestilirano do:	˚C	< 360,0	HRN EN ISO 3405 ASTM D 86
Policiklički aromatski ugljikovodici	% m m^{-1}	< 8,0	HRN EN 12916 HRN EN ISO 20846
Količina sumpora	mg kg^{-1}	< 10,0	HRN EN ISO 20884 HRN EN ISO 14596 HRN EN ISO 13032 ASTM D 5453
Količina metil ester masnih kiselina FAME	% v v^{-1}	< 7,0	HRN EN 14078
Točka filtrabilnosti za razdoblje: 16.4 - 30.9. 1.10. - 15.11. 1.3. - 15.4. 16.11 - 29.2	˚C	 < 0 < -10 < -10 < -15	HRN EN 116

5. Rezultati istraživanja

Rezultati mjerenja sastava ispušnih plinova pokazali su kako na ispuštanje štetnih plinova ne utječe samo starost traktora, odnosno sustav za reduciranje ispušnih plinova koji je ugrađen nego i održavanje traktora.

Stoga je traktor koji je od testiranih traktora loše održavan imao i najviše štetnih plinova u sastavu ispušnih plinova bez obzira što je po starosti tek na trećem mjestu.

Kod ostala tri traktora koji su redovito i dobro održavani rezultati mjerenja pokazuju kako najstariji traktor emitira najviše štetnih plinova, a najmlađi traktor emitira najmanje štetnih plinova.

Tablica 5.1.Rezultati ispitivanja traktora Zetor 7711

Mjerenje	1	2	3	prosjek
CO [% Vol.]	0,05	0,05	0,05	0,05
CO2 [% Vol.]	5,59	6,10	6,23	5,97
CO korigirano [% Vol.]	0,05	0,05	0,05	0,05
HC [ppm]	38,00	40,00	41,00	39,67
O2 [% Vol.]	12,83	12,49	12,35	12,56
Lambda	2,58	2,41	2,37	2,46
NO [ppm]	506,00	547,00	595,00	549,33
NO2 [ppm]	101,00	92,00	72,00	88,33
NOX [ppm]	607,00	639,00	667,00	637,67
Max. K-vrijednost [m^{-1}]	1,89	1,30	1,39	1,53
Max. PM [mg/m^3]	207,62	143,31	152,59	167,84
Temp. ulja [°C]	-	-	-	-
Okretaji motora [min^{-1}]	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablica 5.2.Rezultati ispitivanja traktora Zetor 6340

Mjerenje	1	2	3	prosjek
CO [% Vol.]	0,03	0,03	0,03	0,03
CO2 [% Vol.]	5,14	6,00	7,27	6,14
CO korigirano [% Vol.]	0,03	0,03	0,03	0,03
HC [ppm]	31,00	32,00	32,00	31,67
O2 [% Vol.]	13,59	12,71	11,35	12,55
Lambda	2,83	2,47	2,08	2,46
NO [ppm]	1247,00	1428,00	1782,00	1485,67
NO2 [ppm]	172,00	175,00	178,00	175,00
NOX [ppm]	551,00	521,00	515,00	529,00
Max. K-vrijednost [m^{-1}]	0,16	0,15	0,17	0,16
Max. PM [mg/m^3]	37,45	16,13	19,11	24,23
Temp. ulja [°C]	76,00	76,00	77,00	76,33
Okretaji motora [min^{-1}]	1770,00	1750,00	1740,00	1753,33

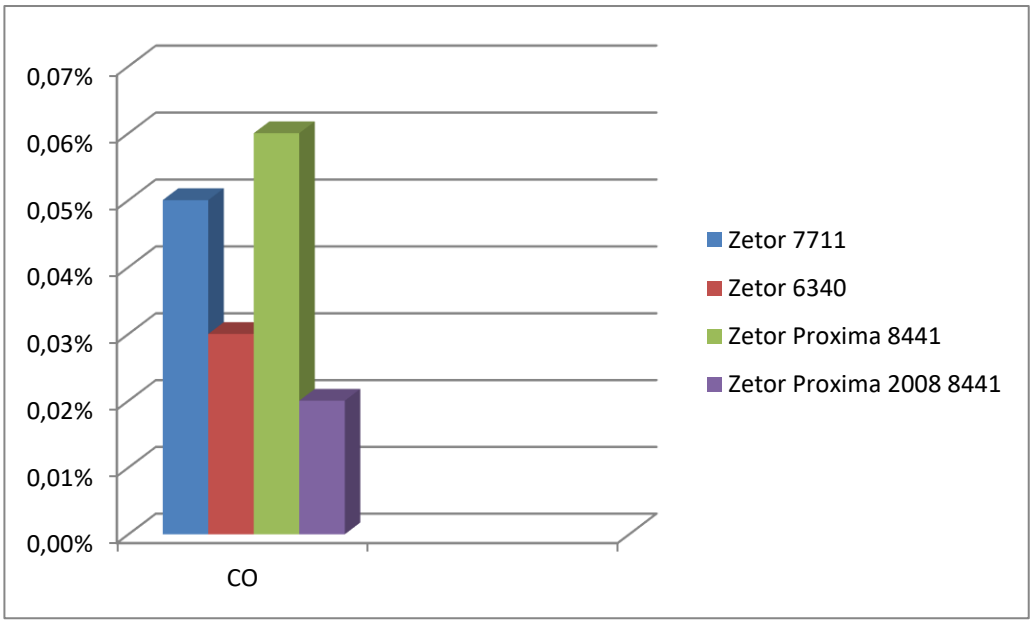
Tablica 5.3. Rezultati ispitivanja traktora Zetor Proxima 8441

Mjerenje	1	2	3	prosjek
CO [% Vol.]	0,09	0,05	0,04	0,06
CO2 [% Vol.]	7,21	6,47	6,66	6,78
CO korigirano [% Vol.]	0,09	0,05	0,04	0,06
HC [ppm]	26,00	26,00	26,00	26,00
O2 [% Vol.]	10,48	11,19	11,22	10,96
Lambda	2,00	2,20	2,17	2,12
NO [ppm]	498,00	476,00	477,00	483,67
NO2 [ppm]	53,00	45,00	38,00	45,33
NOX [ppm]	419,00	603,00	960,00	660,67
Max. K-vrijednost [m-1]	2,28	1,07	1,04	1,46
Max. PM [mg/m^3]	251,16	92,48	98,01	147,22
Temp. ulja [°C]	81,00	81,00	81,00	81,00
Okretaji motora [min^{-1}]	1570,00	1570,00	1570,00	1570,00

Tablica 5.4. Rezultati ispitivanja traktora Zetor Proxima 2008 8441

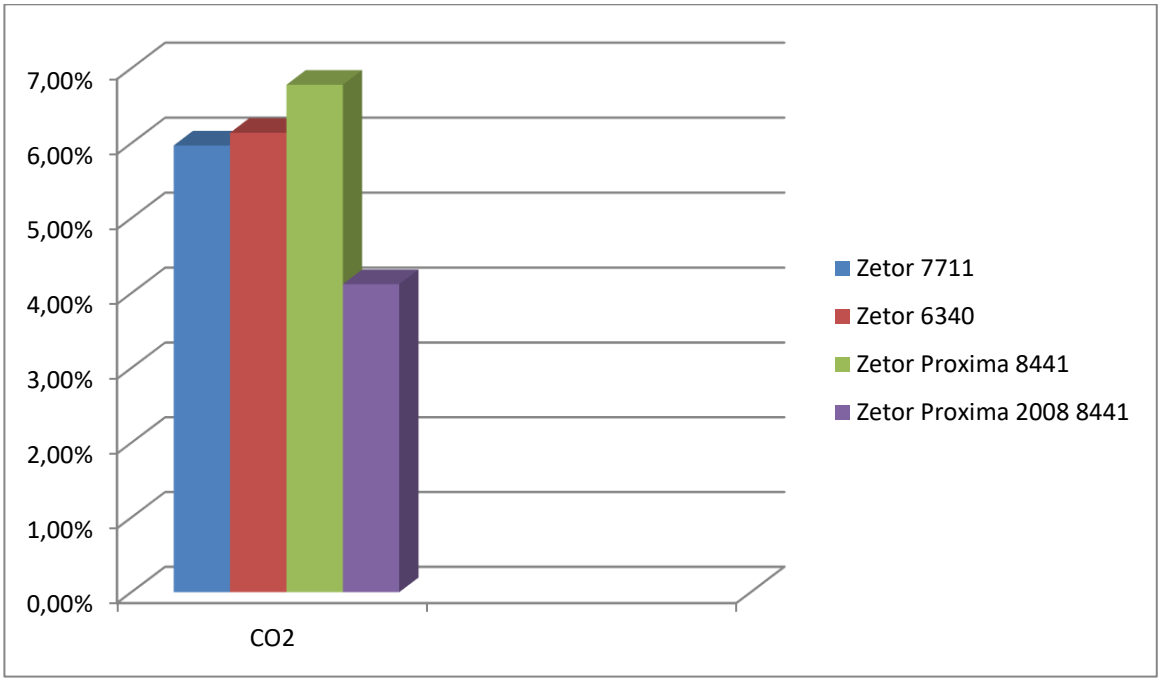
Mjerenje	1	2	3	prosjek
CO [% Vol.]	0,02	0,02	0,02	0,02
CO2 [% Vol.]	3,89	4,18	4,29	4,12
CO korigirano [% Vol.]	0,02	0,02	0,02	0,02
HC [ppm]	12,00	13,00	13,00	12,67
O2 [% Vol.]	15,27	14,68	14,45	14,80
Lambda	3,73	3,45	3,35	3,51
NO [ppm]	321,00	376,00	403,00	366,67
NO2 [ppm]	74,00	73,00	72,00	73,00
NOX [ppm]	395,00	449,00	475,00	439,67
Max. K-vrijednost [m^{-1}]	0,11	0,11	0,11	0,11
Max. PM [mg/m^3]	14,03	12,04	11,38	12,48
Temp. ulja [°C]	83,00	83,00	82,00	82,67
Okretaji motora [min^{-1}]	1910,00	1910,00	1920,00	1913,33

Tablice 5.1. do 5.4. prikazuju udjele svih plinova u sastavu ispušnih plinova koje mjeri uređaj Maha Met 6.3 kod ispitivanih traktora. Žutom bojom označena su tri najvažnija štetna plina. U tablicama su upisana sva tri mjerenja koja smo odradili te izračunat prosjek vrijednosti kojeg ćemo uzeti za usporedbu.



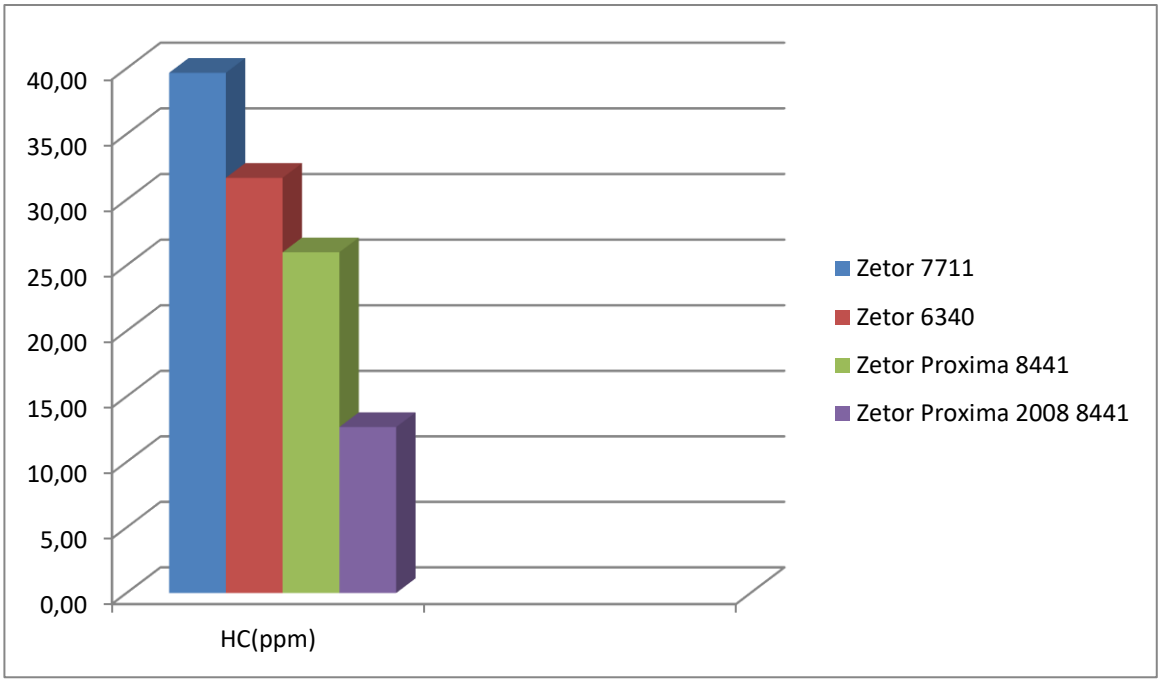
Grafikon 5.1. Usporedba udjela ugljikovog monoksida

Grafikon 5.1. prikazuje nam usporedbu udjela ugljikovog monoksida u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Iz grafa možemo vidjeti kako je udio ugljikovog monoksida najveći (0,06%) kod loše održavanog traktora, dok je kod najmlađeg traktora udio najmanji to sa 0,02%. Izuzmemo li loše održavani traktor dobit ćemo pad udjela ugljikovog monoksida za 40 % na najnovijem traktoru u odnosu na najstariji.



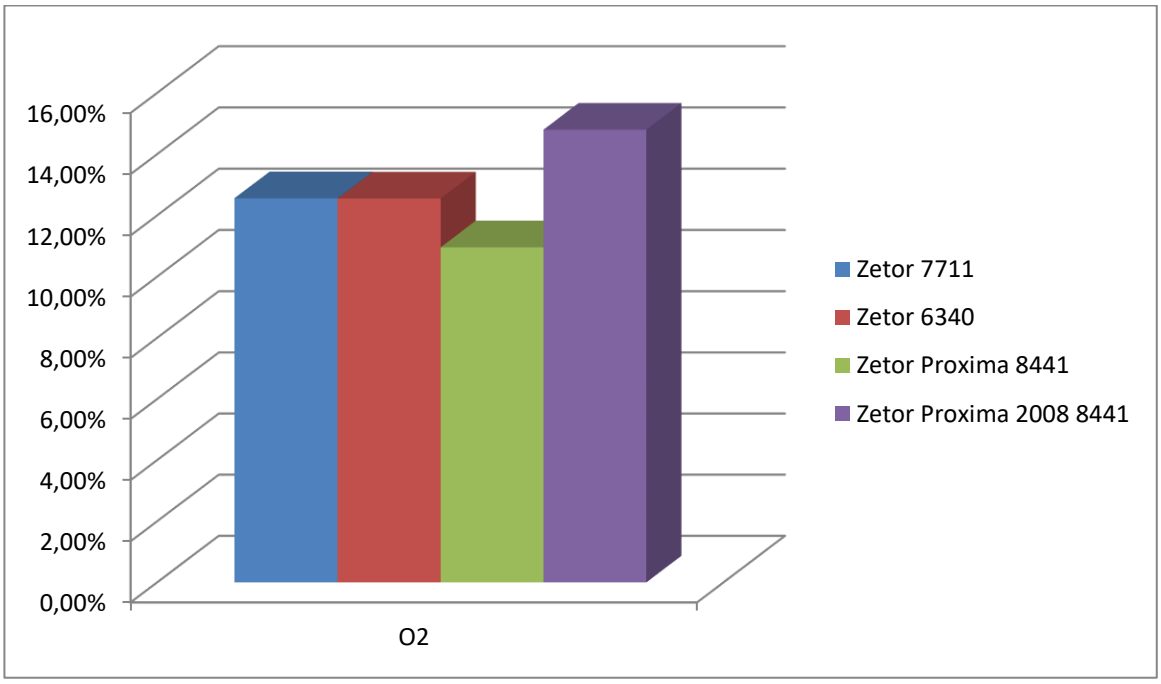
Grafikon 5.2. Usporedba udjela ugljikovog dioksida

Grafikon 5.2. prikazuje nam udio ugljikovog dioksida u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Udio je približno isti kod 2 najstarija traktora (oko 6%). Najviši udio ugljikovog dioksida ima loše održavan traktor i to 6,78% dok najmanji udio ima najnoviji traktor (4,12%).



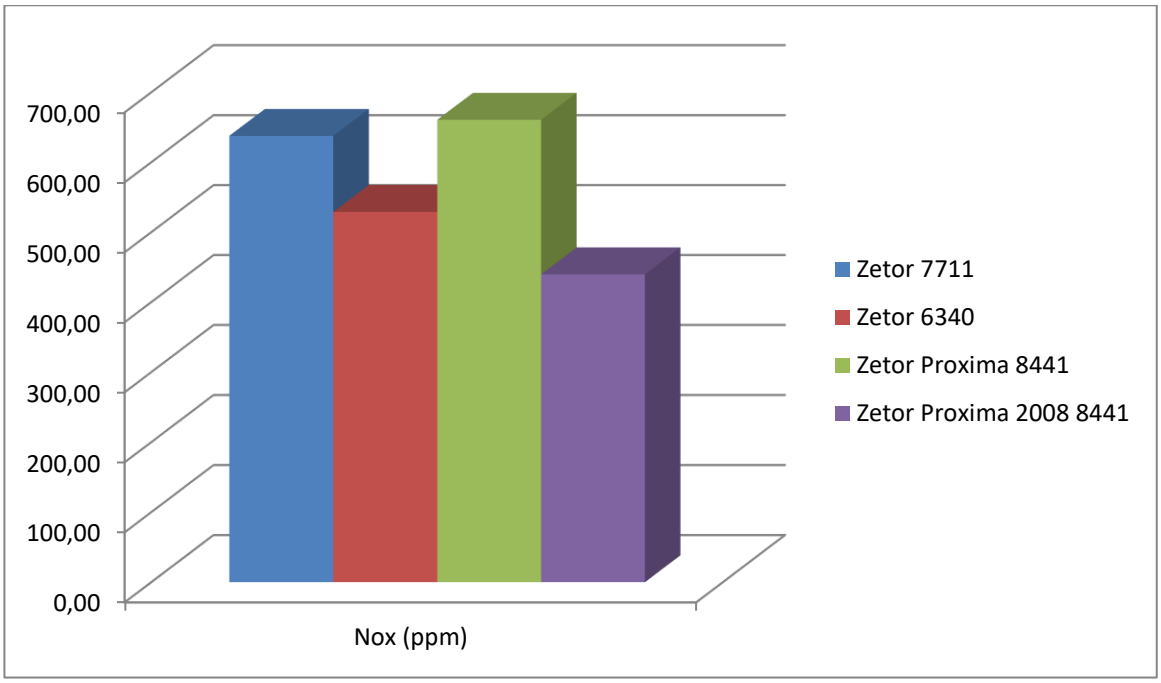
Grafikon 5.3. Usporedba udjela ugljikovodika

Grafikon 5.3. prikazuje nam udio ugljikovodika u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Udio uglikovodika smanjuje se približno jednoliko od najstarijeg prema najnovijem traktoru i to sa 39,67 ppm do 12,67 ppm što je smanjenje od približno 32%.



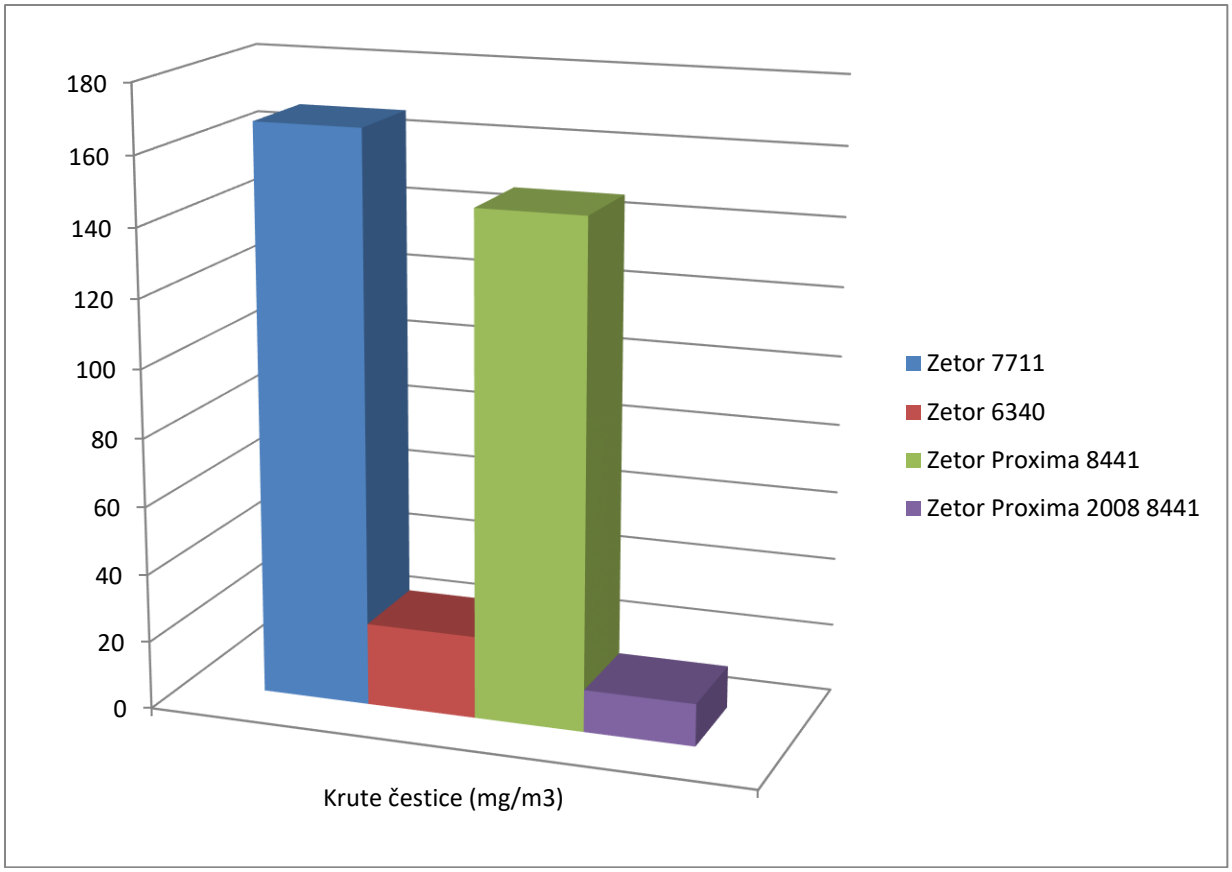
Grafikon 5.4. Usporedba udjela kisika

Grafikon 5.4. prikazuje udio kisika u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Udio kisika podjednak je kod 2 najstarija traktora (12,5%). Najmanje kisika ima u sastavu loše održavanog traktora (10,96%), a najviše kod najnovijeg traktora u iznosu od 14,8%.



Grafikon 5.5. Usporedba udjela dušikovih oksida

Grafikon 5.5. prikazuje udio dušikovih oksida u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Udio je manji za približno 15% na najnovijem ispitivanom traktoru u odnosu na najstariji no najviši udio dušikovih oksida ima loše održavan i najviše istrošen traktor, traktor sa najviše radnih sati (660,67 ppm).



Grafikon 5.6. Usporedba sadržaja krutih čestica

Grafikon 5.6. prikazuje udio krutih (PM) čestica u sastavu ispušnih plinova ispitivanih traktora. Udio PM čestica vrlo je visok kod najstarijeg traktora i loše održavanog traktora. Kod najnovijeg traktora udio PM čestica je najmanji i iznosi 12,58 mg/m^3.

Lambda omjer je omjer goriva i zraka koje ulazi u cilindar motora. Najveći omjer izmjeren je kod najnovijeg traktora i iznosi 3,51. Kod ostala 3 traktora lambda omjer je podjednak.

6. Rasprava

Rezultati dobiveni mjerenjima sastava ispušnih plinove potvrđuju hipotezu da starost traktora odnosno generacija motora utječe na sastav ispušnih plinova. Udio ugljikovog monoksida smanjen je kod najnovijeg traktora za 40% u odnosu na najstariji, udio ugljikovodika smanjen je za 32%, a udio dušikovih oksida za 15%. Uz to mjerenja su pokazala kako na sastav ispušnih plinova utječe i održavanje motora traktora jer se rezultati loše održavanog traktora ističu.

Gholami i sur. (2013) su objavili usporedbu analize štetnih ispušnih plinova kod traktora MF 285. Kod oranja izmjerili su udio ugljikovog monoksida od 0,12%, ugljikovog dioksida 3,1% te 139 ppm dušikovih oksida. Njihov ispitivani traktor proizvođača Massey Fergusom emitirao je znatno manje štetnih ispušnih plinova u odnosu na ispitivane traktore proizvođača Zetor u ovom radu.

Sustavi za doradu ispušnih plinova do danas u uvelike razvijeni. Zahvaljujući stručnjacima koji su ih razvili emisije štetnih plinova su značajno smanjene. Kombiniranjem sustava postiže se vrlo niska emisija štetnih ispušnih plinova.

Kako bi se nastavio ovaj trend smanjenja emisije štetnih plinova i sveo na minimum potreban je i angažman od strane poljoprivrednih proizvođača koji bi trebali redovito održavati motore traktora ili zamijeniti stare dotrajale traktore novijima koji emitiraju značajno manje štetnih ispušnih plinova. Tome pridonose i razni poticaji te bespovratna sredstva Europske Unije za kupovinu novih strojeva odnosno traktora.

7. Zaključak

Iz ovog rada možemo zaključiti kako na sastav ispušnih plinova ne utječe samo sustav za redukciju štetnih ispušnih plinova, odnosno generacija motora koji je ugrađen u traktor, već i drugi čimbenici kao što je nego samo održavanje traktora. Naime, kod istraživanja smo koristili jedan traktor koji je loše održavan i tri traktora koji su redovito i dobro održavani. Također valja napomenuti kako je loše održava traktor i najviše potrošen odnosno ima najviše radnih sati. Prema rezultatima dobivenih mjerenjima možemo vidjeti kako se udjeli štetnih ispušnih plinova uglavnom smanjuju do najstarijeg prema najnovijem traktoru i to CO za 40%, HC za32% i NOx za 15%, ali postoje dvije iznimke, udio CO (6,78%) i NOx (660 ppm) kod loše održavanog traktora koje nam govore kako na sastav ispušnih plinova ne utječe samo starost traktora već i održavanja motora traktor.

U usporedbi s rezultatima ispitivanja drugih autora kod traktora Massey Ferguson vidljivo je da su njihovi rezultati približno 15% bolji te možemo zaključiti kako i sam proizvođač traktora utječe na sastav ispušnih plinova, odnosno da nije isti sastav ispušnih plinova kod različitih proizvođača motora.

8. Literatura

1. Bilski, B. (2003). Exposure to audible and infrasonic noise by modern agricultural tractors operators. Applied Ergonomics, 44(2): 210-214.
2. Bosch (2005). Emissions-control tehnology for diesel engines. Robert Bosch GmbH, Gerlingen, Germany.
3. Chong, J.J., Tsolakis, A., Gill, S.S., Theinnoi, K., Golunski, S.E. (2010). Enhancing the NO2/NOx ratio in compression ignition engines by hydrogen and reformate combustion, for improved aftertreatment performance. International Journal of Hydrogen Energy, 35(16): 8723-8732.
4. Demers, D., Walters, G. (1999). Guide to exhaust emission control options. BAeSAME, Bristol, UK.
4. Diaz-Sanchez, D. (1997). The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease. Allergy, 52: 52-56.
5. Faiz, A., Weaver, C.S., Walsh, M.P. (1996). Air pollution from motor vehicle: Standards and tehnologies for controlling emissions. The World Bank, Washington D.C., USA.
6. Fiebig, M., Wiartalla, A., Holderbaum, B., Kiesow, S. (2014). Particulate emissions from diesel engines: Corelation between engine tehnology and emissions. Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 9(1): 1-18.
7. Grewe, V., Dahlmann, K., Matthes, S., Steinbrecht, W. (2012). Attributing ozone to NOx emissions: Implications for climate mitigation measures. Atmospheric Environment, 59: 102-107.
8. Gholami, R., Rabbani, H., Lorestani, A.N., Javadikia, P., Jaliliantabar, F. (2013). Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural tractor. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(7): 688-694.
9. Kagawa, J. (2002). Health effects of diesel exhaust emissions - a mixture of air pollutants of worldwide concern, Toxicology, 181-182: 349-353.
10. Prasad, R., Bella, V.R. (2010). A rewiev on diesel soot emission, its effects and control. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 5(2): 69-86.

11. Raub, J.A. (1999). Health effects of exposure to ambient carbon monoxide. Chemosphere-Global Change Science, 1(1-3): 331-351.
12. Resitoglu, I.A., Altinisik, K., Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Technologies and Environmental Policy, 17(1): 15-27.

Web izvori

1. https://www.researchgate.net/figure/The-compositions-of-diesel-exhaust-gas_fig1_293794340
2. https://servistrsat.fullbusiness.com/o-nama/katalizator.htm
3. https://www.autopress.hr/sto-je-dpf-fap-filtar-i-kako-se-pravilno-odrzava/
4. https://www.aliexpress.com/item/32735702409.html
5. http://cleanairblue.com/scr-technology/

9. Životopis

Matej Drvenkar rođen je 13. ožujka 1996. godine u Zagrebu. Nakon završene osnovne škole u Vrbovcu, upisuje opću gimnaziju također u Vrbovcu. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja aktivno se bavio sportom u lokalnom košarkaškom klubu „KK Petar Zrinski“. Nakon završene srednje škole upisuje smjer Poljoprivredna tehnika na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studija nastavlja se baviti sportom, ali se i aktivno počinje baviti poljoprivredom te otvara Obiteljsko poljoprivredno gospodarstvo. Tijekom studija također je radio preko student servisa u nekoliko poduzeća. Po završetku preddiplomskog studija Poljoprivredna tehnika upisuje diplomski studij PT-Mehanizacija također na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Pred završetak diplomskog studija zapošljava se u poduzeću Fortuna Agro d.o.o. u blizini Vrbovca koje se bavi prodajom traktora i poljoprivredne mehanizacije.