

## Problem emisije štetnih materija kod dizel motora i postupci za smanjenje zagađenja

Slobodan Tošić<sup>a</sup>, Radenka Bjelošević<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet, Doboј

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.67.03.05  
Stručni rad  
Primljen: 02/06/2021  
Prihvaćen: 18/09/2021  
Koresponding autor:  
slobodant1967@gmail.com

#### Ključne riječi:

dizel  
sagorijevanje  
izduvni gasovi  
emisija

### REZIME

Europska unija ima za cilja da do 2050. godine postigne nivo od nula emisije izduvni gasova. Ključni sektor za postizanje ovog cilja je drumski saobraćaj, gdje emisije ne pokazuju znakove smanjenja, ali nastavljaju rasti. Dizelski motori su važni pogonski sistemi za putna i terenska vozila. Većinu teških vozila i autobusa pokreće dizelski motor zbog dugotrajne pouzdanosti, velike učinkovitosti goriva i velikog obrtnog momenta. Dizelski motori su jednostavni za popravak, jeftini su u radu i izuzetno su izdržljivi. Dok dizelski motori imaju brojne prednosti najveći nedostatak im je što u atmosferu emituju značajne količine čvrstih zagađujućih čestica (PM) i azotnog oksida (NOx). Dizelski motori, takođe, emitiraju otrovne zagađivače vazduha. Zdravstveni stručnjaci zaključili su da zagađujuće materije koje ispuštaju dizel motori negativno utiču na ljudsko zdravlje, između ostalih negativnih posljedica, i doprinose kiseloj kiši, prizemnom ozonu i smanjenoj vidljivosti.

## 1. Uvod

Kompanije koje se bave kontrolom emisija odgovorile su na izazov smanjenja zagađenja vazduha dizelskim motorima. Njihovim naporima razvijene su isplative tehnologije za smanjenje štetnih emisija [1]. U rudarstvu, industriji rukovanja materijalom i autoprevozima, u gradskim vozim parkovima autobusa, lukama, građevinarstvu i teretnom saobraćaju, tehnologije za kontrolu emisije dizel motora pokazale su svoju sposobnost da značajno smanjuju neželjene emisije po razumnim troškovima bez ugrožavanja performansi vozila. Interes za kontrolu emisija dizela agregata znatno je porastao posljednjih godina, jer su mnoge agencije iznijele nove propise i sredstva za čišćenje i unapređenje postojećih i novih vozila. Danas postoje održive tehnologije za kontrolu emisija kako bi se smanjile emisije izduvni gasova dizel motora, kao i u upotrebi motora korištenjem kompleta za naknadnu ugradnju. Tehnologije dizajnirane za kontrolu zagađujućih čestica (PM) uključuju katalizatori oksidacije dizela (DOC), dizel filteri za čestice (DPF), zatvorena ventilacija kartera (CCV). S druge strane tehnologije dizajnirane za kontrolu azotnog oksida (NOx) uključuju recirkulaciju izduvni gasova (EGR), selektivnu katalitičku redukciju (SCR), te Lean NOx katalizatore (LNC).

Potomci ranih dvosmjernih katalizatora za benzinske motore koji su korišteni za oksidaciju ugljovodonika i CO su katalizatori oksidacije. Katalizatori oksidacije dizela ugrađeni su na motore već više od 20 godina i milionima aplikacija za naknadnu ugradnju i desecima miliona novih vozila širom svijeta. Iako su izvorno razvijeni za smanjenje gasoviti emisija poput HC i CO, katalizatori oksidacije pokazali su masovno smanjenje ukupnih čestica za 20 - 50 % [9].

Veliki broj stručnih radova usmjeren je prema istraživanju eksploatacije motornih vozila u urbanim gradskim sredinama [5].

Pored navedenog, naplatne rampe su mjesta na putnoj mreži na kojima se javljaju povećane emisije izduvni gasova usljed promjena režima vožnje vozila u odgovarajućim oblastima udara. Stoga, pružaju veliki potencijal u pogledu sposobnosti da se značajno smanji emisija zagađujućih materija korišćenjem naprednih tehnologija [7].

## 2. Штетне materije iz izduvних gasova dizel motora

Dizel motor, poput ostalih motora s unutrašnjim sagorijevanjem, pretvara hemijsku energiju koja se nalazi u gorivu u mehaničku snagu. Dizel gorivo je smjesa ugljovodonika koja bi tokom idealnog procesa izgaranja proizvodila samo ugljen dioksid ( $\text{CO}_2$ ) i vodenu paru ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Zapravo, izduvni gasovi za dizel uglavnom se sastoje od  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i neiskorištenog dijela zraka za punjenje motora. Volumetrijske koncentracije tih gasova u izduvnim gasovima dizelskog goriva obično su u sljedećim rasponima:  $\text{CO}_2$  - 2 ... 12%,  $\text{H}_2\text{O}$  - 2 ... 12%,  $\text{O}_2$  - 3 ... 17%, te  $\text{N}_2$  – u ravnoteži [6].

Koncentracije zavise o opterećenju motora, pri čemu se sadržaj  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  povećava, a  $\text{O}_2$  smanjuje s povećanjem opterećenja motora. Nijedna od ovih glavnih emisija dizela (osim  $\text{CO}_2$  zbog efekta staklene bašte) nema štetne učinke na zdravlje ili okoliš.

Dizel emisije uključuju i zagađujuće materije koje mogu imati štetne učinke na zdravlje i/ili životnu sredinu. Većina tih zagađivača potiče iz različitih neidealnih procesa tokom izgaranja, poput nepotpunog izgaranja goriva, reakcija između komponenata smjese pod visokom temperaturom i pritiskom, izgaranja ulja za podmazivanje motora i aditiva za ulje, kao i izgaranja ne-ugljovodoničnih komponenata dizel goriva, kao što su sumporni spojevi i aditivi za gorivo. Uobičajene zagađujuće tvari uključuju neizgarane ugljovodonike (HC), ugljen-monoksid (CO), azotne okside ( $\text{NO}_x$ ) ili čestice (PM) [9]. Ukupna koncentracija zagađujućih tvari u dizelskim izduvnim gasovima obično iznosi tek neku desetinu od 1 %. Mnogo niže, „gotovo nulte“ razine zagađujućih materija emituju se iz modernih dizelskih motora opremljenih uređajima za naknadnu obradu emisija, kao što su  $\text{NO}_x$  katalizatori za redukciju i filtri za čestice.

## 3. Sistemi kontrole emisije za vozila s dizel motorom

U današnjem svijetu zaštita životne sredine napredovala je i postala tema od velike važnosti. Mnoge agencije i organizacije pokušavaju spriječiti štetu na životnu sredinu i ljudsko zdravlje uzrokovanu gasovima staklene bašte i emisijama zagađujućih materija. Zbog štetnih učinaka emisija dizela na zdravlje i okolinu, vlade su iznijele zahtjeve za dopuštene norme izduvних gasova. Europa je razvila euro standarde koji se kontinuirano spuštaju od 1993. godine s „Euro I“ na „Euro VI“. Europske ekološke norme motornih vozila su norme emisije izduvних plinova koje moraju zadovoljavati motorna vozila koja se prodaju, odnosno koja se uvoze u Europsku uniju. Datum primjene norme Euro VI za teška vozila bio je 1. septembra 2014. godine. Propisi u euro standardima postaju sve stroži u sljedećim godinama. U poređenju sa „Euro I“ standardom, „Euro VI“ standard za emisije CO, HC,  $\text{NO}_x$  i PM smanjen je za 66, 76, 95 i 98% [4].

Vrijednosti emisija koje su iz dana u dan bile sve strože obavezivale su proizvođače vozila da rade na smanjenju emisije zagađivača iz vozila. U studijama koje su se provodile decenijama, usmjerene su na modifikacije motora, elektronski kontrolisane sisteme ubrizgavanja goriva i poboljšanja svojstava goriva [3]. Međutim, ovim mjerama se nije uspjelo postići smanjenje emisija određeno standardima. Željene razine emisije mogu se postići samo pomoću sistema za naknadnu obradu emisija. Vozila su opremljena sistemima za kontrolu emisija kako bi udovoljili stvarnim standardima i zahtjevima za emisije. Pomoću sistema za kontrolu emisija zagađivači iz izduvних gasova mogu se eliminisati nakon što napusti motor, neposredno prije nego što se emituje u vazduh [8].

Među sistemima za kontrolu emisija dizelskih motora, najviše je istraživanja i studija provedeno na smanjenju emisija  $\text{NO}_x$ , jer sadržaj  $\text{NO}_x$  u izduvu dizelskog motora ima najveći postotak među emisijama onečišćujućih materija. Od dosadašnjih istraživanja, recirkulacija izduvних gasova (EGR), nemasno hvatanje  $\text{NO}_x$  (LNT) i SCR najefikasnije su tehnologije za značajno uklanjanje emisija  $\text{NO}_x$ .

### 3.1. Recirkulacija izduvних plinova (EGR)

U EGR sistemima, kako bi se smanjile emisije  $\text{NO}_x$ , izduvni se gas recirkuliše nazad u komoru za izgaranje i miješa se sa svježim vazduhom pri ulaznom hodu. Posljedično, učinkovitost izgaranja je pogoršana što dovodi do smanjenja temperature izgaranja što znači smanjenje nastajanja  $\text{NO}_x$ . EGR ima široku primjenu u dizelskim vozilima. Međutim, ne može postići pojedinačno visoku učinkovitost pretvaranja i smanjenja  $\text{NO}_x$  koja udovoljava trenutnim standardima emisije za posebno teška vozila. Takođe, zbog smanjenja temperature u cilindru, ova tehnologija generiše povećanje emisije HC i CO [1].

### 3.2. $\text{NO}_x$ adsorber

LNT tehnologija, koja se naziva i  $\text{NO}_x$ -skladište-redukcija (NSR) ili  $\text{NO}_x$  adsorber katalizator (NAC), razvijena je kako bi se smanjila emisija  $\text{NO}_x$ , posebno u slabim uslovima. Tokom slabih uslova rada motora, LNT pohranjuje  $\text{NO}_x$  na laku za pranje katalizatora. Zatim se u uslovima kada je motor pun goriva oslobađa i reaguje  $\text{NO}_x$  uobičajenim trosmjernim reakcijama. LNT katalizator uglavnom se sastoji od tri ključne komponente. Te su komponente katalizator oksidacije (Pt), atmosfera za skladištenje  $\text{NO}_x$  (barijum (Ba) i/ili drugi oksidi) i katalizator redukcije (Rh) [2]. U LNT tehnologiji, katalizatori na bazi platine su najčešće korišteni katalizatori zbog smanjenja  $\text{NO}_x$  pri niskim temperaturama i stabilnosti u vodi i sumporu.

### 3.3. Selektivno kataličko smanjenje (SCR)

Poput EGR tehnologije, LNT tehnologije nisu dovoljne da osiguraju željeno smanjenje emisije NO<sub>x</sub>. Osim EGR i LNT tehnologija, postojeće standarde emisija moguće je udovoljiti i SCR tehnologijom. Dakle, SCR tehnologija je respektabilna nedavna tehnologija koja je zainteresovala mnoge istraživače.

Selektivno katalitičko smanjenje (SCR) napredni je sistem tehnologije aktivne kontrole emisija koji ubrizgava sredstvo za redukciju tekućine kroz poseban katalizator u izduvni tok dizelskog motora. Izvor redukcije je obično urea automobilske kvalitete, inače poznata kao Diesel Exhaust Fluid (DEF). Dizel ispušna tekućina (DEF) je netoksična tekućina koja se sastoji od pročišćene vode i vodene uree automobilske kvalitete. DEF je dostupan s raznim načinima skladištenja i izdavanja. Opcije skladištenja sastoje se od spremnika različitih veličina, poput rasutih tereta, vreća i boca ili vrčeva. Američki naftni institut strogo testira DEF kako bi osigurao da zadovoljava standardima kvalitete u cijeloj industriji. DEF pokreće hemijsku reakciju koja pretvara azotne okside u azot, vodu i male količine ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>), prirodnih sastojaka vazduha koji udišemo, a koji se zatim izbacuje kroz izduvnu cijev vozila [3].

SCR tehnologija dizajnirana je da omogući da se reakcije redukcije azotnog oksida (NO<sub>x</sub>) odvijaju u oksidacionoj atmosferi. Nazvan je "selektivnim", jer smanjuje nivo NO<sub>x</sub> koristeći amonijak kao reduktant u katalizatorskom sistemu. Hemijska reakcija poznata je kao "redukcija", gdje je DEF redukciono sredstvo koje reaguje s NO<sub>x</sub> pretvarajući zagađujuće materije u azot, vodu i male količine CO<sub>2</sub>. DEF se može brzo razbiti dajući oksidirajući amonijak u izduvnoj struji. Samo SCR tehnologija može postići smanjenje NO<sub>x</sub> do 90 posto [10].

## 4. Zaključak

Tokom godina proizvođači su poboljšali izgaranje u motorima i razvili dodatne tehnologije za naknadnu obradu izduvnih gasova kako bi udovoljili standardima emisija. To uključuje filtere za čestice za dizelske motore i selektivne katalitičke redukcije, koji koriste ureu za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>. Dizel gorivo sadrži više energije po litri od benzina. Dizelski motori takođe su učinkovitiji od benzinskih motora u pogledu potrošnje. Te dvije prednosti navele su mnoge europske zemlje da daju poticaje za podršku upotrebi dizelskih motora. Iako se zagađujuće materije u vazduhu mogu značajno smanjiti ako se koristi prikladna tehnologija za naknadnu obradu izduvnih gasova, emisije CO<sub>2</sub> direktno su proporcionalne potrošnji dizela ili benzina.

Iako su na dizelskim motorima implementirane mnoge primjene kako bi se spriječili štetni učinci ovih emisija zagađujućih materija i kako bi se udovoljilo strogim propisima o emisijama, samo sistemi za kontrolu emisija nakon obrade mogu eliminisati emisije zagađujućih materija iz dizelskih izduvnih gasova. Kontrolisati emisije zagađujućih materija po želji moguće je samo sistemima za naknadnu obradu. Sistemi za naknadnu obradu izduvnih gasova uključuju DOC, DPF i SCR. Ovi su sistemi najtraženije komponente, posebno za dizelske motore s velikim opterećenjem, a obično se kombinacija DOC, DPF i SCR koristi za istovremeno uklanjanje glavnih emisija zagađujućih materija iz izduva dizelskog motora.

### Diesel engine hazard particles emission and measures to eliminate them

**Slobodan Tošić, B.Sc.**

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet, Doboj

**Radenka Bjelošević, M.Sc.**

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet, Doboj

**Abstract:** The European Union aims to achieve a zero-emission level by 2050. Main field of acting towards this goal is road traffic. Diesel engines has important influence at personal and transport vehicles. Most of heavy trucks and buses are propelled with diesel engines because of their reliability, fuel efficiency and torque. These engines are simple to maintain, cheap to produce and extremely durable. Main problem with diesel engines are solid hazard particles emission and nitrosioxide. Health experts are concluded that these hazards effects human health, among other negative consequences, as well damaging ozone layer in atmosphere and create acid rains.

**Key words:** disel, burnout, gas, emission

## Literatura

- [1] Bauner D., Laestadius S., Iida N., Evolving technological systems for diesel engine emission control: balancing GHG and local emissions. *Clean Technol Environ Policy*, 2009, 11:339–365.
- [2] Burtscher H., Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Aerosol Sci*, 2005, 36:896–932.
- [3] Chi JN, DaCosta HFM, Modelling and control of a urea-SCR aftertreatment system. SAE technical paper, 2005, 2005-01-0969.
- [4] Delphi, Worldwide emissions standards—heavy duty and off-highway vehicles. Delphi, Michigan, 2012.
- [5] Đurić B., Mošić M., i Trifunović A., Istraživanje emisije štetnih materija autobusa sa pogonom na komprimovani prirodni gas., *Put i saobraćaj* 65, no. 1 (2019): 43-49.
- [6] Heeb, N.V., Zennegg, M., Haag, R., Seiler, R., Schmid, P., Wichser, A., Ulrich, A., Honegger, P., Zeyer, K., Emmenegger, L., Zimmerli, Y., Czerwinski, J., Kasper, M. and Mayer, A., Parameters affecting the dioxin formation in diesel particle filters”, *Proc. 15th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles*, Zurich, Jun, 26-29, 2011.
- [7] Milenković M., Stepanović N., Glavić D., Tubić V., Ivković I., & Trifunović A. (2020). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of environmental management*, 258, 110007.
- [8] Prasad R, Bella VR, A review on diesel soot emission, its effect and control. *Bull Chem React Eng Catal*, 2010, 5(2):69–86.
- [9] Reşitoğlu, İ.A., Altinişik, K. & Keskin, A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Techn Environ Policy*, 2015, 17, 15–27.
- [10] Way P, Viswanathan K, Preethi P, Gilb A, Zambon N, Blaisdell J, SCR performance optimization through advancements in aftertreatment packaging. SAE-Worldcongress, 2009, 01-0633.