

PROBLEM EMISIJE ŠTETNIH MATERIJA KOD DIZEL MOTORA I POSTUPCI ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA

Slobodan Tošić, e-mail: slobodant@gmail.com

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet, Doboj

Slavko Đurić, e-mail: slavko.djuric@sf.ues.rs.ba

Zdravko Božićković, e-mail: zdravko.bozickovic@gmail.com

Asib Alihodžić, e-mail: asib.dr@gmail.com

Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku, Fakultet politehničkih nauka, BiH

Stručni članak

Sažetak: Evropska unija cilja na nula emisija do 2050. Ključni sektor za postizanje ovog cilja drumski saobraćaj, gdje emisije ne pokazuju znakove smanjenja, ali nastavljaju rasti. Dizel motori su važni pogonski sistemi za putna i terenska vozila. Većinu teških kamiona i autobusa pokreće dizel motor zbog dugotrajne pouzdanosti, velike efikasnosti goriva i velikog obrtnog momenta. Dizel motori su jednostavni za popravak, jeftini su u radu i izuzetno su izdržljivi. Dok dizel motori imaju brojne prednosti najveći nedostatak im je što u atmosferu emituju značajne količine čvrstih zagađujućih čestica (PM) i azotnog oksida (NOx). Dizelski motori također emitiraju otrovne zagađivače vazduha. Zdravstveni stručnjaci zaključili su da zagađujuće materije koje ispuštaju dizel motori negativno utiču na ljudsko zdravlje i doprinose kiseloj kiši, prizemnom ozonu i smanjenoj vidljivosti. Zbog toga, ekološki standardi vezani za dizel motore su postali stroži, a problem je što nisu svi proizvođači uspjeli da se s njima usklade.

Ključne riječi: dizel, sagorijevanje, izduvni gasovi, emisija

PROBLEM OF HARMFUL EMISSIONS IN DIESEL ENGINES AND PROCEDURES FOR POLLUTION REDUCTION

Summary: The European Union targets zero emissions by 2050. A key sector for achieving this goal is road transport, where emissions show no signs of decreasing but continue to grow. Diesel engines are important propulsion systems for road and off-road vehicles. Most heavy trucks and buses are powered by a diesel engine due to long-term reliability, high fuel efficiency and high torque. Diesel engines are easy to repair, cheap to operate and extremely durable. While diesel engines have numerous advantages, their biggest disadvantage is that they emit significant amounts of particulate pollutants (PM) and nitrous oxide (NOx) into the atmosphere. Diesel engines also emit toxic air pollutants. Health experts have concluded that pollutants emitted by diesel engines negatively affect human health and contribute to acid rain, ground-level ozone and reduced visibility. As a result, environmental standards related to diesel engines have become stricter, and the problem is that not all manufacturers have been able to comply with them.

Keywords: diesel, combustion, exhaust gases, emissions

UVOD

Kompanije koje se bave kontrolom emisija odgovorile su na izazov smanjenja zagađenja vazduha dizel motorima. Njihovim naporima razvijene su isplative tehnologije za smanjenje štetnih emisija. U rudarstvu, industriji rukovanja materijalom i autoprevozima, u gradskim voznim parkovima prevoznih vozila autobusa, lukama, građevinarstvu i teretnom saobraćaju, tehnologije za kontrolu emisije izduvnih gasova dizel motora pokazale su svoju sposobnost da značajno

smanjuju neželjene emisije po razumnim troškovima bez ugrožavanja performansi vozila. Interes za kontrolu emisija dizela 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 izduvnih 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 - Diesel Particle Filter), zatvorena ventilacija kartera (CCV). S druge strane tehnologije dizajnirane za kontrolu azotnog oksida (NOx) uključuju recirkulaciju izduvnih 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 u milionima aplikacija za naknadnu ugradnju i desecima miliona novih vozila širom svijeta. Iako su izvorno razvijeni za smanjenje gasovitih emisija poput HC i CO, katalizatori oksidacije pokazali su masovno smanjenje ukupnih čestica za 20 -50 posto.

1. PROBLEM ŠTETNIH MATERIJALA IZ IZDUVNIH 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 (CO₂) i vodenu paru (H₂O). Zapravo, izduvni gasovi za dizel uglavnom se sastoje od CO₂, H₂O i neiskorištenog dijela zraka za punjenje motora. Zapreminske koncentracije tih gasova u izduvnim gasovima dizelskog goriva obično su u sljedećim rasponima: CO₂ - 2 ... 12%, H₂O - 2 ... 12%, O₂ - 3 ... 17%, te N₂ - u ravnoteži⁶⁸.

Od samih početaka, dizel motori su proizvodili manje ugljen-dioksida u odnosu na benzinske motore. Međutim, oni emituju više čađi, kao i druge polutante. Najopasnije su mikročestice, koje izazivaju zdravstvene probleme a neke od njih su na listi kancerogenih supstanci Svjetske zdravstvene organizacije. Mješavina goriva i vazduha u dizel motorima često vodi do nepotpunog sagorijevanja, a čestice koje proizvode ovi agregati variraju u odnosu na primjenu. Oni mogu generisati male nanočestice, a upravo one su opasne po ljudsko zdravlje, jer mogu da uđu u pluća i prouzrokuju respiratorne bolesti. Iz tog razloga, dizel motori predstavljaju veću opasnost po ekologiju i zdravlje ljudi.

Nepotpuno sagorijevanje u dizel motorima takođe prouzrokuje i neke druge čestice i čađ. U zavisnosti od kvaliteta goriva, odnos čestica može da varira. Moderni motori s kompresionim paljenjem zahtijevaju dizel niskog nivoa sumpora da bi funkcionisali kako treba. Koncentracije ovise o opterećenju motora, pri čemu se sadržaj CO₂ i H₂O povećava, a O₂ smanjuje s povećanjem opterećenja motora. Nijedna od ovih glavnih emisija dizela (osim CO₂ zbog efekta staklene bašte) nema štetne učinke na zdravlje ili okoliš.

⁶⁸ 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

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 (NO_x) ili čestice (PM)⁶⁹. Ukupna koncentracija zagađujućih tvari u dizelskim izduvnim gasovima obično iznosi tek neku desetinu od 1 posto. Mnogo niži, „gotovo nulti“ nivoi zagađujućih materija emituju se iz modernih dizelskih motora opremljenih uređajima za naknadnu obradu emisija kao što su NO_x katalizatori za redukciju i filtri za čestice.

2. 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 izduvnih gasova. Evropa je razvila Euro standarde koji se kontinuirano spuštaju od 1993. godine s Euro I na Euro VI⁷⁰. Propisi u euro standardima postaju sve stroži u sljedećim godinama. U poređenju sa Euro I standardom, Euro VI standard za emisije CO, HC, NO_x i PM smanjen je za 66, 76, 95 i 98%⁷¹.

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. Međutim, ovim mjerama se nije uspjelo postići smanjenje emisija određenim standardima. Željeni nivoi 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 izduvnih gasova mogu se eliminisati nakon što napusti motor, neposredno prije nego što se emituje u vazduh⁷².

Među sistemima za kontrolu emisija dizelskih motora, najviše je istraživanja i studija provedeno na smanjenju emisija NO_x jer sadržaj NO_x u izduvu dizelskog motora ima najveći postotak među emisijama onečišćujućih materija. Od dosadašnjih istraživanja, recirkulacija izduvnih gasova (EGR), nemasno hvatanje NO_x (LNT) i SCR najefikasnije su tehnologije za značajno uklanjanje emisija NO_x.

⁶⁹ 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

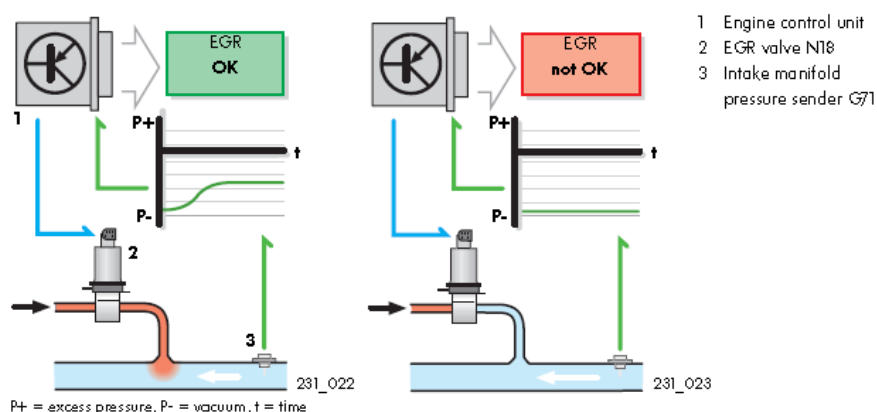
⁷⁰ Europske ekološke norme motornih vozila su norme emisije izduvnih plinova koje moraju zadovoljavati motorna vozila koja se prodaju, odnosno koja se uvoze u EU. Datum primjene norme Euro VI za teška vozila bio je 1. rujna 2014

⁷¹ Delphi, Worldwide emissions standards—heavy duty and off-highway vehicles. Delphi, Michigan, 2012.

⁷² Prasad R, Bella VR, A review on diesel soot emission, its effect and control. Bull Chem React Eng Catal, 2010, 5(2):69–86

2.1 Recirkulacija izduvnih plinova (EGR)

U EGR sistemima, kako bi se smanjile emisije NO_x , izduvni se gas recirkuliše nazad u komoru za izgaranje i miješa se sa svježim vazduhom pri ulaznom hodu. Kao posljedica toga je pogoršana efikasnost izgaranja što dovodi do smanjenja temperature izgaranja, što znači smanjenje nastajanja NO_x . EGR ima široku primjenu u dizelskim vozilima. Međutim, ne može se pojedinačno postići visoka efikasnost pretvaranja i smanjenja 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 ⁷³. Slika 1. pokazuje testiranje ispravnosti ventila EGR mjerenjem potpritiska.



Sl. 1 Sistem recirkulacije izduvnih gasova EGR []

2.2 NO_x adsorber

LNT tehnologija, koja se naziva i NO_x -skladište-redukcija (NSR) ili NO_x adsorber katalizator (NAC), razvijena je kako bi se smanjila emisija NO_x , posebno u slabim uslovima. Tokom slabih uslova rada motora, LNT pohranjuje NO_x na laku za pranje katalizatora. Zatim se u uslovima kada je motor pun goriva oslobađa i reaguje NO_x uobičajenim trosmjernim reakcijama. LNT katalizator uglavnom se sastoji od tri ključne komponente. Te su komponente katalizator oksidacije (Pt), atmosfera za skladištenje NO_x (barijum (Ba) i/ili drugi oksidi) i katalizator redukcije (Rh)⁷⁴. U LNT tehnologiji, katalizatori na bazi platine su najčešće korišteni katalizatori zbog smanjenja NO_x pri niskim temperaturama i stabilnosti u vodi i sumporu.

2.3 Selektivno kataličko smanjenje (SCR)

Poput EGR tehnologije, LNT tehnologije nisu dovoljne da osiguraju željeno smanjenje emisije NO_x . Osim EGR i LNT tehnologija, postojeće standarde emisija moguće je udovoljiti i SCR tehnologijom. Dakle, SCR tehnologija je respektabilna nedavna tehnologija koja je zainteresovala

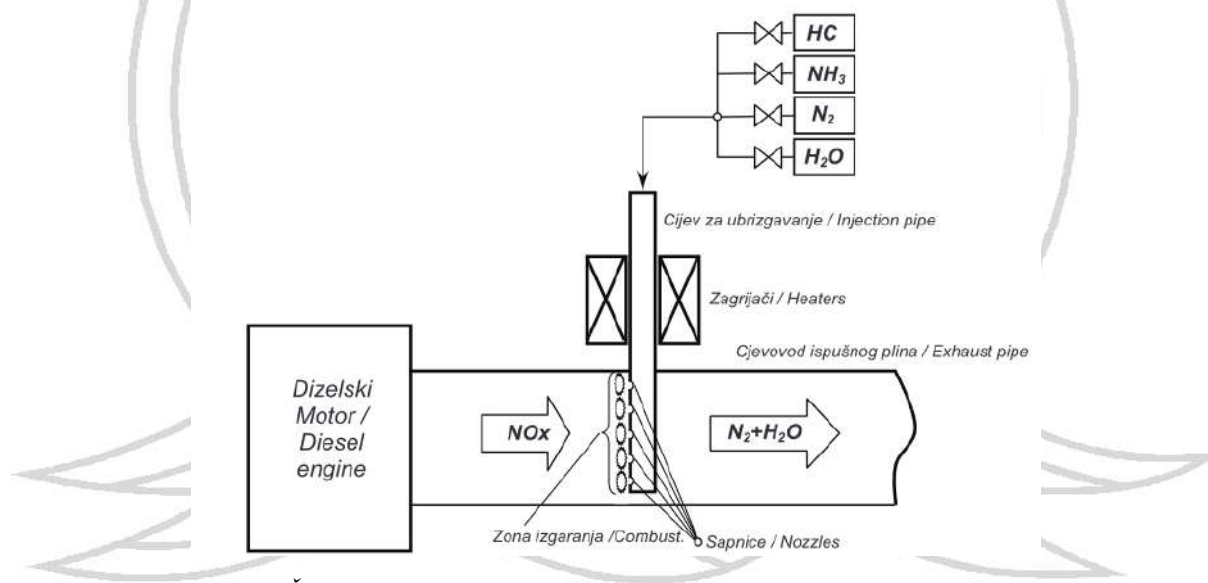
⁷³ Bauner D, Laestadius S, Iida N, Evolving technological systems for diesel engine emission control: balancing GHG and local emissions. Clean Technol Environ Policy, 2009, 11:339–365.

⁷⁴ Bartscher H, Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. Aerosol Sci, 2005, 36:896–932.

mnoge istraživače. Jedno od rješenja za goriva s većim postotkom sumpora je ugradnja prečistača (engl. scrubbera) prije SCR-a, ali se tada pojavljuje problem snižavanja temperature.

Ovaj problem moguće je riješiti ugradnjom električnih zagrijača ili sistema prikazanog na Sl. 2., uz dobivanje električne energije iskorištavanjem otpadne toplote (turbo generator, plinskoturbinski generator i sl.), što ne bi povećalo specifičnu potrošnju goriva [10]. Na slici je prikazan SCR u koji se ugljikovodici (HC) i amonijak (NH_3) dovode preko cjevovoda za ubrizgavanje. Cjevovod je perforiran u svrhu raspršivanja, a smjese se zagrijavaju pomoću zagrijača. Zagrijani ugljikovodici dolaze u kontakt s kisikom (O_2) u ispušnom plinu uzrokujući samozapaljenje, te formiraju zonu izgaranja blizu samih sapnica. Izgaranjem na visokoj temperaturi u zoni izgaranja stvaraju se OH radikali koji kemijski reagiraju s dušikom (N_2) iz dovedenog amonijaka (NH_3). Reakcijom se stvaraju plinovi tzv. amini radikala (NH_2) koji imaju redukcijska svojstva s obzirom na smanjenje NO_x -a. NO_x se u kontaktu s amino-radikalima smanjuje razlaganjem na N_2 i vodu u paru.

SCR je isprobana i najefikasnija metoda za značajno smanjenje NO_x -a bez većeg uticaja na specifičnu potrošnju goriva (SPG). Na stacionarnim postrojenjima je u upotrebi od 1980. U dizelskim motorima za komercijalna teretna i putnička vozila to je jedina ekonomski isplativa, a za okoliš prihvatljiva tehnologija koja smanjuje emisije NO_x na nivo vrlo blizu nule.



Sl. 2 Šematski prikaz jedne od izvedbi nove generacije SCR-a [10]

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)⁷⁵. DEF pokreće hemijsku reakciju koja pretvara azotne okside u azot, vodu i male

⁷⁵ 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 udovoljava standardima kvalitete u cijeloj industriji.

količine ugljen dioksida (CO₂), prirodnih sastojaka vazduha koji udišemo, a koji se zatim izbacuje kroz izduvnu cijev vozila⁷⁶.

SCR tehnologija dizajnirana je da omogućiti da se reakcije redukcije azotnog oksida (NO_x) odvijaju u oksidacionoj atmosferi. Nazvan je "selektivnim" jer smanjuje nivo NO_x koristeći amonijak kao reduktant u katalizatorskom sistemu. Hemijska reakcija poznata je kao "redukcija", gdje je DEF redukciono sredstvo koje reaguje s NO_x pretvarajući zagađujuće materije u azot, vodu i male količine CO₂. DEF se može brzo razbiti dajući oksidirajući amonijak u izduvnoj struji. Samo SCR tehnologija može postići smanjenje NO_x do 90 posto⁷⁷.

ZAKLJUČAK

Tokom godina proizvođači su poboljšali sagorijevanje u motorima i razvili dodatne tehnologije za naknadnu obradu izduvnih gasova kako bi zadovoljili standarde emisija. To uključuje filtere za čestice za dizel motore i selektivne katalitičke redukcije, koji koriste ureu za smanjenje emisije NO_x. Dizel gorivo sadrži više energije po litri od benzina. Dizelski motori također su efikasniji od benzinskih motora u pogledu potrošnje. Te dvije prednosti navele su mnoge evropske zemlje da daju podsticaje za podršku upotrebi dizelskih motora. Iako se zagađujuće materije u vazduhu mogu značajno smanjiti ako se koristi odgovarajuća tehnologija za naknadnu obradu izduvnih gasova, emisije CO₂ direktno su proporcionalne potrošnji dizela ili benzina.

Iako su na dizel 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 dizel motore s velikim opterećenjem, a obično se kombinacija DOC, DPF i SCR koristi za istovremeno uklanjanje glavnih emisija zagađujućih materija iz izduva dizel motora.

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.

⁷⁶ Chi JN, DaCosta HFM, Modelling and control of a urea-SCR aftertreatment system. SAE technical paper, 2005, 2005-01-0969.

⁷⁷ 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

- [5] 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.
- [6] Prasad R, Bella VR, A review on diesel soot emission, its effect and control. Bull Chem React Eng Catal, 2010, 5(2):69–86.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Takahasaki, et al., Method of denitration of exhaust gas and apparatus therefor, Pat. no. US 7,842,266 B2, 2010.

