

## Analiza emisija zagađujućih materija teretnog motornog vozila za različite EURO standarde i eksploatacione uslove

MARKO A. STOKIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

VLADIMIR D. ĐORIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

VLADIMIR M. MOMČILOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

BRANKA S. DIMITRIJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 629.35:621.43.068

504.5:621.43

DOI: 10.5937/tehnika2205581S

*Zagađenje životne sredine postaje sve važniji problem koji je potrebno rešiti, a drumska transportna sredstva imaju značajno učešće u tom zagađenju. U tom smislu, u ovom radu dat je kratak pregled modela koji se koriste za određivanje emisije zagađujućih materija u vazduh, a zatim je analiziran uticaj na zagađenje životne sredine konkretnog teretnog motornog vozila najveće dozvoljene mase do 7,5 t. Prilikom određivanja emisija zagađujućih materija uzeti su u obzir različiti EURO standardi, prosečne brzine vozila, iskorišćenja korisne nosivosti i uzdužni nagibi puta. U radu je detaljno razmatrana emisija ugljen monoksida (CO), azotnih oksida (NO<sub>x</sub>) i suspendovanih čestica (PM).*

**Ključne reči:** drumski transport, emisija zagađivača, brzina vozila, iskorišćenje nosivosti, uzdužni nagib

### 1. UVOD

Poslednjih decenija zagađenje životne sredine postaje jedan od ključnih i rastućih problema sa kojim se suočavaju gusto naseljene urbane sredine. Jedan od najznačajnijih zagađivača je svakako drumski transport koji predstavlja dominantan vid transporta sa udelom od preko 75% ukupne emisije transporta u EU [1]. Prilikom pristupa rešavanju pomenutog problema, prvi korak svakako jeste analiza postojećeg stanja zagađenja životne sredine koje prouzrokuje drumski transport.

Analiza postojećeg stanja može se izvršiti kroz dva pristupa: odozgo na dole (engl. Top-down) ili odozdo na gore (engl. Bottom-up). Prvi navedeni pristup podrazumeva sagledavanje ukupnih (konačnih) rezultata, kao što su ukupna emisija štetnih gasova ili ukupna utrošena količina energenata u definisanom vremenskom periodu na posmatranoj geografskoj lokaciji, a zatim „spuštanje” rezultatnih emisija i potrošnje energenata na pojedinačna (reprezentativna) vozila ko-

ja saobraćaju u tom području. Sa druge strane, pristup odozdo na gore podrazumeva detaljniju analizu i ispitivanje određenih sektora počevši od analize samih zagađivača (npr. drumskih motornih vozila) i ispitivanja potencijalnih pravaca delovanja na svakog zagađivača pojedinačno u cilju smanjenja ukupnog štetnog dejstva. Uopšteno gledano, kroz pristup odozgo na dole se posmatra ukupna količina štetnih gasova (npr. sa efektom staklene bašte) emitovana u transportnom sektoru, kako bi se odabrale strategije delovanja na državnom nivou, dok pristup odozdo na gore u istom sektoru posmatra različite vidove transporta, vrste (kategorije) vozila, njihove marke i tipove, starost, svrhe putovanja, vrste pogona itd. u cilju određivanja njihove pojedinačne emisije štetnih zagađujućih materija i gasova sa efektom staklene bašte. Na ovaj način se ulazi u srž problema i moguće je sagledati potencijalne pravce delovanja u cilju smanjenja zagađenja, odnosno povećanja energetske efikasnosti konkretnog voznog parka. [2]

U ovom radu na bazi izabranih metoda, koje su zasnovane na pristupu odozdo na gore, izvršen je izbor najbolje baze podataka koja je zatim korišćena za analizu emisija zagađujućih materija i gasova sa efektom staklene bašte. Nakon toga dat je prikaz emisije odabranih zagađivača (CO, NO<sub>x</sub> i suspendovanih čestica) za različite EURO standarde emisije teretnih

Adresa autora: Marko Stokić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

e-mail: m.stokic@sf.bg.ac.rs

Rad primljen: 06.09.2022.

Rad prihvaćen: 06.10.2022.

motornih vozila najveće dozvoljene mase (NDM) do 7,5 t, za prosečne brzine od 25, 50 i 80 km/h, sa različitim uzdužnim nagibima puta (-4%, 0% i +4%) i različitim iskorišćenjima korisne nosivosti (0%, 50% i 100%). Cilj rada je ispitivanje uticaja promene eksploatacionih uslova kao što su prosečna brzina, iskorišćenje korisne nosivosti i uzdužni nagib puta (ravan put, uzbrdica i nizbrdica) na posmatranoj deonici puta na emisije odabranih zagađujućih materija. Pored pomenutog, grafičkom interpretacijom moguće je steći uvid u kvantitativne vrednosti emisije posmatranih zagađivača, kao i u značaj uvođenja naprednijih EURO standarda emisije.

Rad je koncipiran tako da je u drugom poglavlju dat kratak pregled vodećih modela za određivanje emisija štetnih gasova. Zatim je u trećem poglavlju dat prikaz analize emisije posmatranih zagađujućih materija za teretno motorno vozilo NDM do 7,5 t pri različitim prosečnim brzinama, uzdužnim nagibima puta i iskorišćenjima korisne nosivosti vozila. Na samom kraju, u četvrtom poglavlju data su zaključna razmatranja i predloženi pravci budućih istraživanja.

## 2. MODELI ZA ODREĐIVANJE EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJAMA U VAZDUHU

U ovom poglavlju dat je pregled makroskopskih modela za procenu emisije zasnovanih na pristupu odozdo na gore na osnovu kojih se uspešno određuje emisija zagađujućih materija prouzrokovanih različitim kategorijama drumskih transportnih sredstava. Tokom određivanja emisija zagađujućih materija u svim makroskopskim modelima omogućeno je razvrstavanje emisije zagađujućih materija i teških metala po različitim uzrocima tokom korišćenja (od sagorevanja goriva pre dostizanja radne temperature motora na tzv „hladnom startu“ i na radnoj temperaturi motora SUS, od trošenja kočnih obloga, pneumatika i dr.) i stajanja vozila (isparavanje iz rezervoara).

PHEM (engl. Passenger car and Heavy-duty Emission Model) predstavlja simulacioni alat za određivanje emisija štetnih materija poreklom od drumskih transportnih sredstava. Pomenute emisije su određene za različite brzine, strategije promene stepena prenosa, iskorišćenja korisne nosivosti vozila, uzdužne nagibe puta, karakteristike vozila itd. Podaci su dobijeni na osnovu velikog broja izvršenih merenja kako u laboratorijskim, tako i u realnim uslovima eksploatacije za koje je korišćen prenosivi sistem za merenje emisija – PEMS (engl. Portable Emission Measurement System) [3, 4].

HBEFA (engl. Handbook Emission Factors for Road Transport) je alat koji je proizvela švajcarska kompanija INFRAS na početku korišćen za potrebe merenja švajcarske federalne laboratorije EMPA, a

zatim unapređen u saradnji sa Institutom za motore SUS i termodinamiku Tehničkog univerziteta u Gracu (Austrija). Zasnovan je na podacima iz PHEM modela pomoću koga je moguće odrediti emisije za različite kategorije transportnih sredstava: putnički automobili, laka dostavna vozila, teška teretna vozila, autobusi, motocikli i mopedi. HBEFA zatim razvrstava vozila po pogonskom gorivu, zapremini motora, EURO standardu emisije, dominantnim saobraćajnim uslovima, uzdužnom nagibu puta, iskorišćenju korisne nosivosti vozila itd [4, 7].

COPERT (nekad 4. serije, a danas 5) je softverski alat za određivanje emisije zagađujućih materija i gasova sa efektom staklene bašte prouzrokovane drumskim motornim vozilima koji je proizvela Emisia - spin off kompanija Laboratorije za primenjenu termodinamiku Univerziteta Aristotel iz Soluna (Grčka). Korišćeni emisioni faktori dobijeni su binomnom regresionom analizom velikog broja podataka praktičnih merenja na različitim vozilima. Prilikom određivanja emisije, COPERT uzima u obzir: broj vozila po vrsti i podvrsti, zapremini motora, vrsti i kvalitetu pogonskog goriva, tehnologiji kontrole emisije tj. EURO standardu, prosečnu dužinu putovanja, godišnji pređeni put, prosečnu brzinu vozila na deonicama gradske, vangradske saobraćajnice i autoputa, raspodelu korišćenja ovih deonica, ali i prosečnu spoljnu temperaturu i vlažnost vazduha po mesecima u datom periodu na izabranom prostoru analize. Određivanje emisije se vrši kako na regionalnom, tako i na nacionalnom nivou [4, 6].

VERSIT+ se sastoji od niza modela koji se koriste za predviđanje emisionih i energetskih faktora koji su reprezentativni za vozne parkove u različitim zemljama. Ovi faktori se razlikuju u zavisnosti od tipa vozila i saobraćajne situacije i uzimaju u obzir realne uslove eksploatacije. VERSIT+ model se može koristiti za definisanje različitih nacionalnih strategija u pogledu smanjenja emisije štetnih gasova, ali i za lokalno poboljšanje kvaliteta vazduha kroz projektovanje emisija u drumskom transportu za različite kategorije drumskih transportnih sredstava.

Ovaj model je zasnovan na bazi podataka koja je dobijena na osnovu 12.000 merenja različitih profila brzine, oponašajući realne uslove eksploatacije. Na osnovu naprednih statističkih tehnika modeliranja VERSIT+ pronalazi najbolju zavisnost emisionog faktora za posmatranu situaciju, odnosno profil brzine [4, 5].

Pored navedenih modela postoje i modeli za procenu politika, odnosno mera koje se uvode u transportnom sektoru sa ciljem smanjenja emisije štetnih gasova – REMOVE [8], kao i modeli za proračun emisije štetnih gasova koji funkcionišu na osnovu

mapiranja saobraćaja u Nemačkoj u pogledu pređenog puta, potrošnje energije i sa tim povezanim emisijama štetnih gasova za period od 1960. do 2018. godine i projekcijom trendova do 2050. godine – TREMOD [9].

Bitno je naglasiti da prethodna dva modela pored drumskih transportnih sredstava obuhvataju i ostale vidove transporta. Modeli kao što su MOVES, EM-FAC, IVE koriste se u Sjedinjenim Američkim Državama za određivanje i prognozu emisije štetnih gasova od strane drumskih transportnih sredstava [2].

Pregledom literature utvrđeno je da je najrelevantnija i najkompletnija baza podataka iz priloga Vodiča o načinu formiranja inventara emisija zagađujućih materija u vazduh (engl. Air pollutant emission inventory guidebook) [10], Evropske agencije za životnu sredinu (engl. European Environment Agency – EEA), čiji se proračuni za teretna vozila i autobuse zasnivaju na objedinjenim emisionim faktorima prethodno navedenih modela, koja će biti korišćena u ovom radu za analizu emisija izabranog vozila u referentnim uslovima eksploatacije.

### 3. ANALIZA EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJAMA U VAZDUHU

Težnja za smanjenjem količina emisija zagađujućih materija u vazduh uslovljena je njihovom štetnošću. Konkretno, ugljen monoksid (CO), koji nastaje kao produkt nepotpunog sagorevanja, može da dovede do kardiovaskularnih oboljenja i oboljenja nervnog sistema, glavobolje, vrtoglavice i umora.

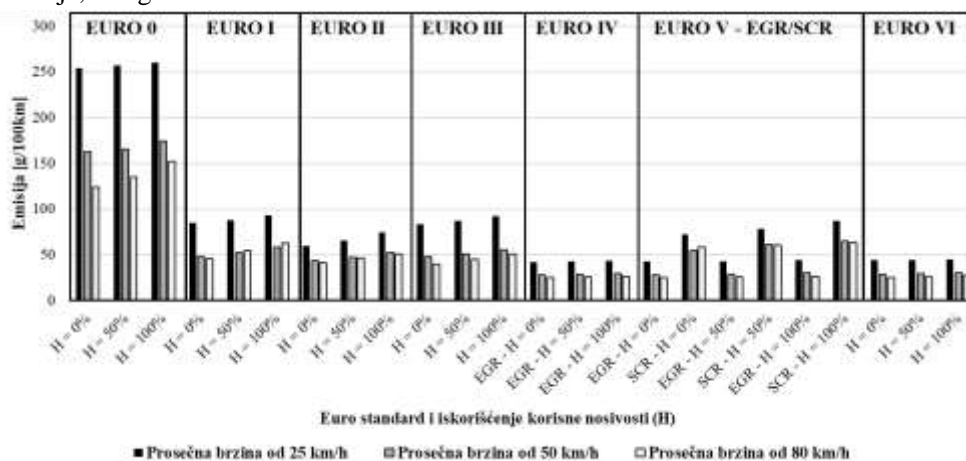
Azotni oksidi ( $\text{NO}_x$ ), koji nastaju prilikom sagorevanja goriva, a sastoje se dominantno od azot-monoksida (NO), azot-dioksida ( $\text{NO}_2$ ) i nešto malo azot-suboksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), učestvuju u formiranju ozonske rupe, podstiču oboljenja jetre, slezine i krvi, kao i povećanje osetljivosti na respiratorne infekcije. Suspendovane čestice (PM), tzv. čestice čađi, koje su izuzetno kancerogene, mogu uticati na centralni nervni sistem i reproduktivni sistem, kao i na nastajanje ili pogoršanje kardiovaskularnih i plućnih oboljenja [11].

U nastavku je analizirana emisija zagađujućih materija (CO,  $\text{NO}_x$  i PM čestica) za različite emisione standarde odabranog referentnog teretnog motornog vozila NDM do 7,5 t, za prosečne brzine od 25, 50 i 80 km/h, sa različitim uzdužnim nagibima puta (-4%, 0% i +4%) i iskorišćenjima korisne nosivosti (0%, 50% i 100%) na osnovu odabrane baze podataka o emisionim faktorima.

#### Analiza emisije ugljen monoksida (CO)

Sa slike 1 se može videti da se prelaskom sa tehnologija koje su prethodile EURO standardima za kontrolu i ograničavanje emisije (tzv. EURO 0) na EURO I standard značajno smanjila emisija ugljen monoksida.

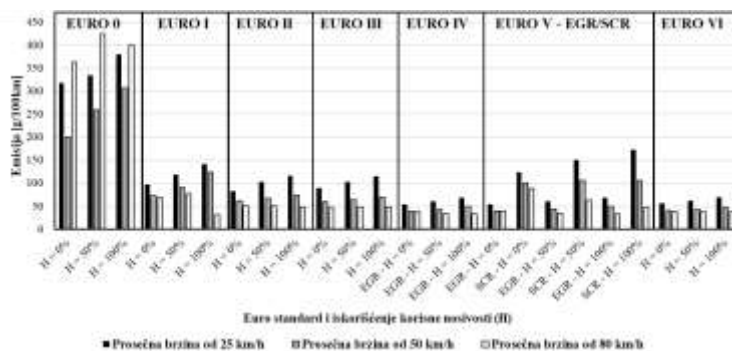
Takođe, prilikom kretanja vozila na ravnoj podlozi, uzdužnog nagiba puta 0%, može se videti da je najveća emisija ovog gasa prilikom kretanja nižim prosečnim brzinama (25 km/h), zbog korišćenja nižih stepena prenosa sa većom potrošnjom goriva.



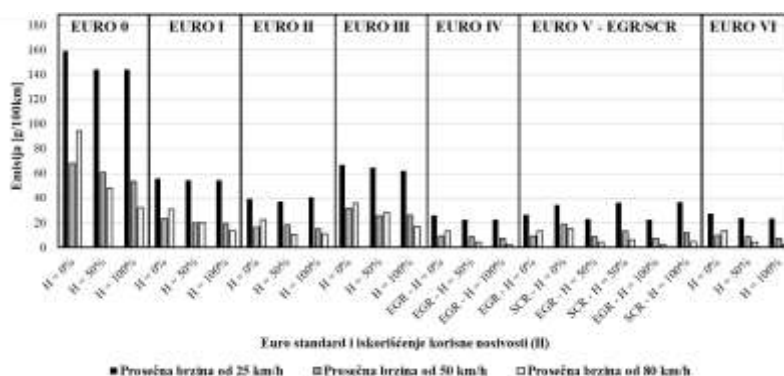
Slika 1 - Emisija CO u funkciji brzine na ravnoj podlozi (uzdužni nagib 0%) za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti

Pored toga, veća emisija pri pomenutoj brzini se može pripisati i češćim zaustavljanjima i pokretanjima vozila iz stanja mirovanja (u tzv. režimu kreni-stani) koji doprinosi većem utrošku energije. Iako se uvođenjem novih EURO standarda smanjuje emisija CO, postoji jedno odstupanje koje nije prošlo neprimećeno,

a to je emisija CO kod teretnog motornog vozila (TMV) koje zadovoljava zahteve EURO V standarda opremljenog SCR tehnologijom za naknadnu obradu izduvnih gasova. U tom smislu, TMV EURO V standarda sa SCR ima veću emisiju posmatranog gasa nego isto vozilo koje je EURO IV standarda.



Slika 2 - Emisija CO u funkciji brzine na usponu (pozitivnom podužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti



Slika 3 - Emisija CO u funkciji brzine na nizbrdici (negativnom uzdužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti

Na slikama 2 i 3 data je zavisnost emisije ugljen monoksida od uzdužnog nagiba puta. Konkretno, na slici 2 prikazana je emisija CO za različite brzine i iskorišćenje korisne nosivosti na pozitivnom uzdužnom nagibu (usponu) puta od 4%, dok je na slici 3 dat slučaj sa negativnim uzdužnim nagibom (nizbrdici) takođe od 4%. U slučaju pozitivnog nagiba puta (slika 2) može se primetiti da se za sve EURO standarde, emisija CO smanjuje sa povećanjem prosečne brzine.

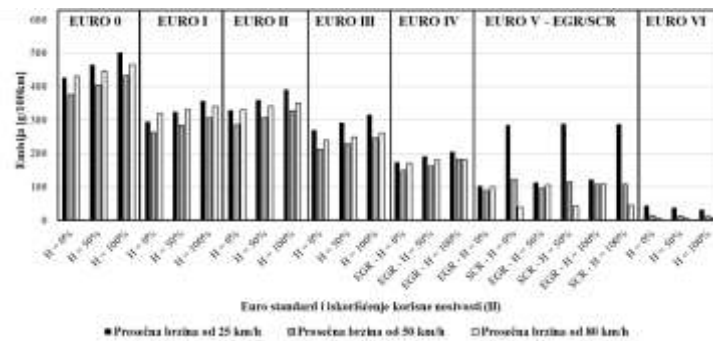
Kao i u prethodnom slučaju, glavni razlog ovome jeste izgled profila brzine koji je karakterističan za deonice autoputa gde nema čestih zaustavljanja vozila, te je samim tim moguće ostvariti prosečnu brzinu od čak 80 km/h. Zanimljivo je i napomenuti da razmatrana vozila pri ovim prosečnim brzinama emituju sličnu količinu CO bez obzira na stepen iskorišćenja korisne nosivosti, sem u slučaju TMV EURO V standarda opremljenog SCR tehnologijom. U tom slučaju, TMV ima značajno manju emisiju CO sa povećanjem korisne nosivosti vozila.

Kao i u prethodnom slučaju može se primetiti blagi trend smanjenja emisije CO posmatrano od EURO I do EURO VI standarda, sem kada se radi o TMV sa ugrađenom SCR tehnologijom. Takođe, primećuje se gotovo logaritamska zavisnost brzine i emisije posmatranog gasa, dok je linearna zavisnost emisije i povećanja iskorišćenja korisne nosivosti.

Sa druge strane, kada je reč o negativnom uzdužnom nagibu puta, primećuje se da emisija ugljen monoksida drastično opada sa povećanjem brzine. Konkretno, najveća emisija je za brzinu od 25 km/h, dok sa povećanjem brzine emisija drastično opada. I u ovom slučaju uticaj na povećanu emisiju CO pri manjim brzinama ima profil brzine koji je karakterističan za gusto naseljene urbane sredine gde se vozila kreću u nižim stepenima prenosa, česta su stajanja i pokretanja vozila iz stanja mirovanja i motor radi u neefikasnijoj zoni na mapi efikasnosti motora. Zanimljivo je primetiti da emisija izduvnih gasova ima blagi porast prilikom povećanja brzine sa 50 km/h na 80 km/h u slučaju kada je vozilo prazno (iskorišćenje korisne nosivosti 0%).

#### Analiza emisije azotnih oksida (NO<sub>x</sub>)

Za razliku od ugljen monoksida, emisija azotnih oksida mnogo manje opada sa unapređenjem EURO standarda. Tek kod vozila EURO VI standarda se može primetiti značajniji pad emisije azotnih oksida. Značajno odstupanje se može primetiti kod EURO V standarda kod vozila u koje je ugrađena SCR tehnologija, a kreću se malim brzinama. Emisija ovih gasova kod pomenutih vozila i pri pomenutim prosečnim brzinama je veoma slična emisiji vozila EURO III standarda. Sva navedene karakteristike, kao i ostale karakteristike mogu se videti na slici 4.



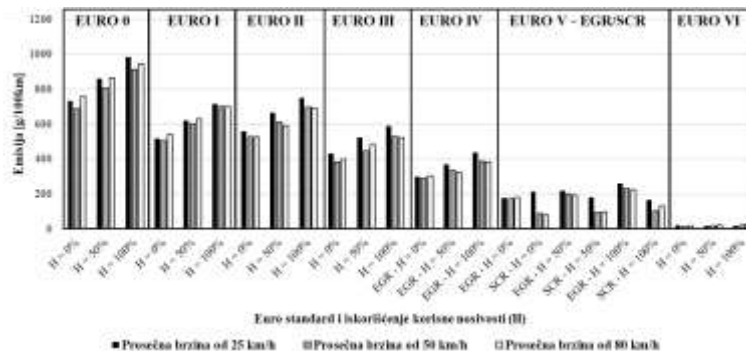
Slika 4 - Emisija NOx u funkciji brzine na ravnoj podlozi (uzdužni nagib 0%) za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti

U nastavku je dat prikaz emisije azotnih oksida za uzdužni nagib puta od +4% (slika 5) i -4% (slika 6). U slučaju uspona (pozitivnog nagiba) puta može se primetiti da ne postoje značajne razlike u emisiji azotnih oksida u odnosu na promenu brzine.

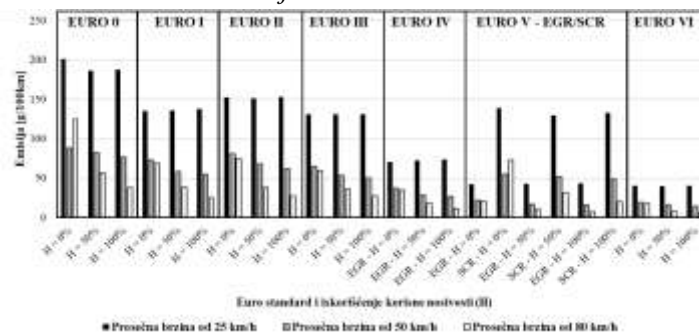
Jedina vidna razlika jeste za TMV koje zadovoljava uslove EURO V standarda sa SCR tehnologijom i iskorišćenjem korisne nosivosti od 0%, odnosno 50%. Takođe, kao i u prethodnom slučaju vidi se konstantno smanjenje emisije azotnih oksida u vazduh prilikom uvođenja novih EURO standarda.

Pored navedenog očigledan je linearni trend porasta emisije sa povećanjem iskorišćenja korisne nosivosti vozila. U slučaju negativnog uzdužnog nagiba puta, u konkretnom slučaju -4%, primećuje se da su

značajno veće emisije azotnih oksida pri kretanju vozila malim prosečnim brzinama određenim deonicama (25 km/h). Na ovaj način se može zaključiti da teretna vozila sa SCR tehnologijom nisu najpogodnija za uslove gradske distribucije robe, gde preovlađuju niže prosečne brzine i nepovoljniji profili brzine uslovljeni čestim zaustavljanjima vozila. Smanjenje postoji i prilikom povećanja brzine sa 50 km/h na 80 km/h, ali ono nije toliko značajno kao što je to slučaj prilikom povećanja prosečne brzine sa 25 km/h na 50 km/h. Značajno je naglasiti da se i u ovom slučaju SCR tehnologija kod TMV EURO V standarda nije pokazala kao dobra u slučaju emisije azotnih oksida pri nižim prosečnim brzinama. Konkretno, emisija azotnih oksida se u ovom slučaju može upoređivati sa emisijom azotnih oksida kod TMV EURO I standarda.



Slika 5 - Emisija NOx u funkciji brzine na usponu (pozitivnom uzdužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti



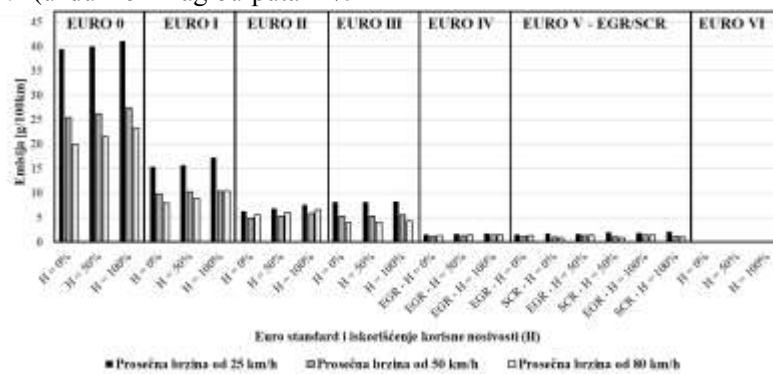
Slika 6 - Emisija NOx u funkciji brzine na nizbrdici (negativnom uzdužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti

### Analiza emisije suspendovanih (PM) čestica

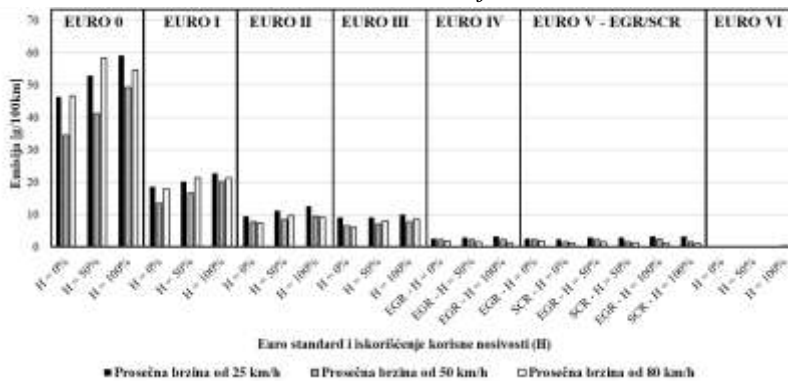
Na slikama 7, 8 i 9 se uočava veoma slična zavisnost u smanjenju emisije suspendovanih (PM) čestica sa prelaskom na novije EURO standarde. Konkretno u slučajevima na ravnoj podlozi (uzdužni nagib puta 0% - slika 7) i na nizbrdici (uzdužnom nagibu puta -4% -

slika 9) ista je zavisnost smanjenja emisije PM čestica bez obzira od prosečne brzine ili iskorišćenja korisne nosivosti.

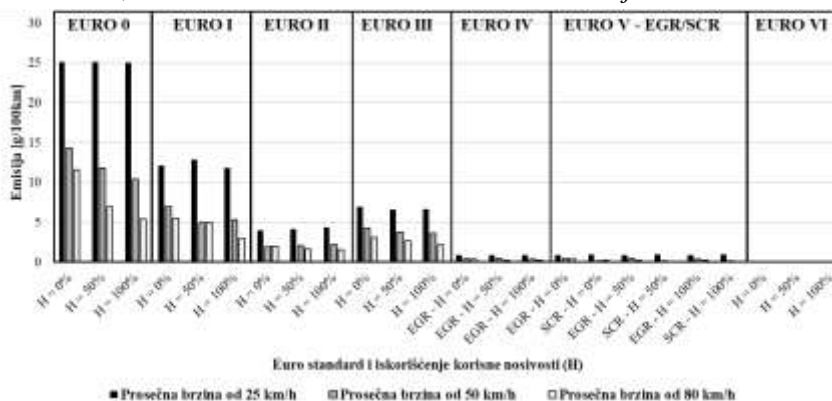
Jedina razlika jeste u tome što je ukupna emisija ovog zagađivača u određenoj meri manja na nizbrdici u odnosu na ravnici.



Slika 7 - Emisija suspendovanih (PM) čestica u funkciji brzine na ravnoj podlozi (uzdužni nagib 0%) za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti



Slika 8 - Emisija suspendovanih (PM) čestica u funkciji brzine na usponu (pozitivnom uzdužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti



Slika 9 - Emisija suspendovanih (PM) čestica u funkciji brzine na nizbrdici (negativnom uzdužnom nagibu) od 4% za kamion NDM do 7,5 t za različite EURO standarde i iskorišćenja korisne nosivosti

Pored toga, vidna je razlika u smanjenju emisije suspendovanih (PM) čestica prilikom povećanja prosečne brzine sa 25 km/h na 80 km/h. Takođe, u svim slučajevima je vidno da je uvođenjem EURO VI standarda emisija ovog zagađivača gotovo u potpunosti eliminisana. Kod uspona (pozitivnog uzdužnog

nagiba) puta od 4% (slika 8), jedina odstupanja u odnosu na druga dva slučaja jesu što se, kod TMV koja zadovoljavaju emisione standarde EURO 0 i EURO I, emisija suspendovanih (PM) čestica smanjuje prilikom povećanja prosečne brzine sa 25 km/h na 50 km/h, nakon čega se ponovo povećava sa povećanjem

prosečne brzine. U slučaju emisionog standarda EURO 0 i različitih iskorišćenja korisne nosivosti, emisija PM čestica pri brzini od 80 km/h je ista u odnosu na vrednost emisije pri brzini 25 km/h za prazno vozilo (0%), veća za polovično iskorišćenje nosivosti (50%), a manja za puno vozilo (100%).

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih trendova i analize emisije zagađujućih materija (CO, NO<sub>x</sub> i suspendovanih čestica) za različite emisione standarde teretnog motornog vozila NDM do 7,5 t za brzine od 25, 50 i 80 km/h, sa različitim uzdužnim nagibima puta (-4%, 0% i +4%) i iskorišćenjima korisne nosivosti (prazno 0%, polovično 50% i puno vozilo 100%) izvedena su određena pravila ali i pojedinačna odstupanja. Može se primetiti da je emisija suspendovanih čestica kod vozila Euro VI standarda gotovo eliminisana, pored toga, jasno je vidljivo da veće brzine vozila doprinose smanjenju emisije štetnih gasova, kao i to da su emisije posmatranih gasova pri malim prosečnim brzinama (od 25 km/h) nekoliko puta veće od emisija pri 50 km/h ili 80 km/h, a kao glavni razlog tome jeste profil brzine koji je karakterističan za gusto naseljene urbane sredine, odnosno gradske uslove vožnje. Pri ovako nepovoljnim saobraćajnim uslovima vozilo se koristi u tzv. režimu kreni-stani, odnosno ima značajno više zaustavljanja i pokretanja vozila iz stanja mirovanja za šta je potrebna veća pogonska energija nego kada se postepeno ubrzava ili usporava bez potpunog zaustavljanja vozila. Pored navedenog motor se češće nalazi u neefikasnoj zoni, a ni u prilog ne idu česte promene stepena prenosa koje otežavaju vozačima da održe motor u efikasnoj zoni što bi dovelo do manje potrošnje goriva i emisije zagađujućih materija. Na osnovu ovoga se može zaključiti da su gusto naseljena gradska područja i do nekoliko puta ugroženija emisijom zagađujućih materija od ruralnih (vangradskih) sredina. Posledica je da se posebna pažnja posvećuje primeni strategija za smanjenje zagađenja baš u ovim oblastima, kao i razvoju strategija pravovremene promene stepena prenosa koji imaju veliki uticaj kako na potrošnju goriva tako i na emisije zagađivača u vazduhu. Pored toga, porast emisija je još izraženiji u brdovitim i planinskim konfiguracijama terena pri čemu se vidi značajan porast emisije prilikom kretanja vozila na uzbrdici tako da je potrebno raditi na unapređenju sistema na vozilu koji će efikasno odgovoriti na uticaj pozitivnog uzdužnog nagiba puta na povećanu emisiju vozila. Jedan od načina svakako jeste primena sistema koji će održavati efikasnost motora u najboljoj mogućoj zoni efikasnosti, kao i primena hibridnih vozila pri čemu će motor SUS kao primarni izvor energije imati podršku elektro motora u cilju njegovog rasterećenja i smanjenja razmatranih emisija. Pored

navedenog i s obzirom na primećenu linearnu vezu emisija i uzdužnog nagiba puta, utvrđeno je da se povećanje, odnosno smanjenje emisija usled pozitivnog (uspona), odnosno negativnog uzdužnog nagiba (nizbrdice) puta može za nepostojeće vrednosti u bazi podataka dobro aproksimirati linearnom interpolacijom postojećih. Isto važi i za zavisnost emisija i iskorišćenja korisne nosivosti. Na ovaj način moguće je napraviti sistem za „zeleno“ rutiranje vozila sa kriterijumima energetske i ekološke najefikasnije rute, kao i izbora odgovarajuće kategorije vozila za određeni transportni zadatak. Jedno od značajnih zapažanja jeste da vozila koja ispunjavaju zahteve Euro V standarda sa ugrađenom SCR tehnologijom za naknadnu obradu izduvnih gasova rezultuju povećanom emisijom CO i NO<sub>x</sub> u određenim situacijama, što svakako predstavlja jedan od važnih kriterijuma koje je potrebno razmotriti prilikom izbora adekvatnog vozila kako za određeni transportni zadatak, ali i prilikom nabavke vozila, odnosno obnavljanja voznog parka.

Kao pravac budućih istraživanja izdvaja se pomenuta mogućnost primene emisionih faktora u modelu za „zeleno“ rutiranje vozila. Na taj način moguće je izabrati energetske i ekološke najbolju rutu, kao i odgovarajuću kategoriju vozila za konkretni transportni zadatak. Na bazi uzdužnog nagiba puta i prosečne brzine po deonicama rute, moguće je postaviti i rešiti problem optimizacije dispečiranja vozila na transportne zadatke sa ciljem povećanja energetske efikasnosti voznog parka. Ovakav model bi mogao da bude korišćen i prilikom izbora adekvatnog vozila u procesu „zelene nabavke“ vozila za posmatrani vozni park i uobičajene transportne zahteve transportnih i logističkih kompanija.

#### 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata TR36010 i TR36006.

#### LITERATURA

- [1] Eurostat. Freight transport statistics - modal split. 2019.
- [2] Sun S, Bongardt D, Eichhorst U, Schmied M, Wüthrich P, Keller M. *Modelling Energy Consumption and GHG Emissions of Road Transport in China*, 2014.
- [3] Hausberger S, Matzer C, Lipp S, Weller K, Dippold M, Rexeis M. Consistent Emission Factors from PEMS and Chassis Dyno Tests for. *23rd Transp Air Pollut Conf - TAP2019* 2019:1–13.
- [4] ERMES - European Research on Mobile Emission Sources. Leading EU models 2020.

- [5] Matzer C, Weller K, Dippold M, Lipp S, Röck M, Rexeis M, et al. *Update of Emission Factors for HBEFA* Version 4.1. 2019.
- [6] Emisia. COPERT - The industry standard emissions calculator 2020. <https://www.emisia.com/utilities/copert/>.
- [7] Passier G. VERSIT+, TNO state-of-the art road traffic emission model 2009:3.
- [8] Breemers T, De Ceuster G, Chiffi C, Fiorello D, Ntziachristos L, Kouridis C, et al. *Final Report - Update and further development of transport model REMOVE*. Brussels, Belgium: 2010.
- [9] IFEU – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Update of the models TREMOD/TREMOD-MM for emission reporting 2020 (reporting period 1990-2018) 2020. [https://www.ifeu.de/en/project/uba\\_tremod\\_2019/](https://www.ifeu.de/en/project/uba_tremod_2019/).
- [10] Ntziachristos L, Samaras Z. 1.A.3.b.i-iv Road transport 2019. EMEP/EEA air Pollut. Emiss. Invent. Guideb. 2019, 2021, p. 144.
- [11] EEA. Air pollution fact sheet 2014 Netherlands 2014:28.

## SUMMARY

### ANALYSIS OF POLLUTANT EMISSIONS OF A LORRY FOR DIFFERENT EURO STANDARDS AND OPERATING CONDITIONS

*Environmental pollution is becoming an increasingly important problem that needs to be solved, and road vehicles contribution in that pollution is significant. In that sense, in this paper, a brief overview of models used to determine pollutant emissions is given, and then the environmental pollution of an actual lorry with a maximum permissible mass of up to 7.5 t is specifically considered. While determining pollutant emissions different EURO standards, average vehicle speeds, payload utilizations and longitudinal road slopes were taken into account. Emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx) and particulate matter (PM) were observed in detail in this paper.*

**Key Words:** road transport, pollutant emissions, vehicle speed, payload utilization, road slope