

Radoje Vujadinović, Danilo Nikolić, Želimir Dobovišek

ISSN 0350-350X

GOMABN 46, 2, 129-148

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK 504.3.054 : 546.262 : 621.43.019.9 : 519.2.001.57 : 311.12 /.17 : 629.11 : 681.3.065 : 351.777(4) : (497.12)

## ALTERNATIVNI PRISTUP MODELIRANJU EMISIJE CO<sub>2</sub> OSOBNIH VOZILA

### Sažetak

*Trajni porast broja vozila koja kao pogonsko gorivo troše fosilna goriva, značajno doprinose stalnom porastu emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u atmosferu.*

*Vrlo je bitno kvantificirati emitiranu količinu ovog plina u atmosferu. U tu svrhu je koncipirano više modela i metodologija. U ovom radu je prikazan inovativni model REPAS, koji uzima u obzir specifičnosti koje nisu uzeli u obzir ostali modeli, a koje su karakteristične za zemlje u tranziciji [1]. Na osnovi ovog modela je izrađen softver REPAS 1.1 koji služi za izračunavanje ukupno emitirane količine CO<sub>2</sub> i specifične emisije CO<sub>2</sub>, a sadrži podatke za tvornički deklarirane utroške goriva za 1620 tipova vozila različitih proizvođača.*

*U radu je prikazana primjena ovog modela na vozni park Crne Gore. Rezultati primjene ovog modela su uspoređeni s rezultatima dobivenim primjenom modela COPERT III i REMODIO, pri čemu su dobivena značajna odstupanja.*

### Uvod

Ugljični dioksid CO<sub>2</sub> smatra se osnovnim plinom koji izaziva efekt staklenika. Ovaj efekt omogućava život na planetu Zemlji, jer bi u suprotnom temperatura na njoj bila niža za oko 30 °C u odnosu na sadašnju. Razvojem industrijske proizvodnje u svijetu, a naročito oblasti automobilske industrije, emisija plinova se značajno povećala što je prekomjerno povećalo navedeni efekt. Ovo kao posljedicu ima nastanak niza poremećaja u prirodi sa štetnim posljedicama za ljude i materijalna dobra. Kako motorna vozila u značajnoj mjeri doprinose ovoj pojavi (preko 20 %), ideja je ovog rada da se izvrši kvantitativna analiza emisije CO<sub>2</sub> na određenom području primjenom inovativnog modela REPAS napravljenog u ovu svrhu.

Najzastupljeniji model i softverski paket je COPERT III kojeg su za uporabu prihvatile sve članice Europske unije (EU), a preporučuje se i zemljama kandidatima

[2]. Ovim softverom se, između ostalog, određuje prosječna godišnja emisija plinova staklenika od motornih vozila u određenoj državi. Međutim, svako geografsko područje ima niz specifičnosti u kojima se odvija promet motornih vozila i veliki broj utjecajnih faktora na emisiju CO<sub>2</sub>, koji su u navedenom softverskom paketu samo djelimično i uopćeno uzeti u obzir. To je bilo povod autoru da koncipira model REPAS koji uzima u obzir specifičnosti karakteristične za zemlje u tranziciji sa zastarjelim voznim parkom. Na osnovi višegodišnjih eksperimentalnih istraživanja ispušne emisije motornih vozila u eksploataciji (5249 ispitanih vozila) došlo se do zaključka, da se tvornički deklarirane vrijednosti parametara ispušne emisije, nakon više godina provedenih u lošim eksploatacijskim uvjetima, u značajnoj mjeri degradiraju. Degradacija ide u smjeru porasta koncentracije štetnih produkata izgaranja CO (oko 70 %) i HC (oko 55%), dok se koncentracija CO<sub>2</sub> smanjuje (za oko 20 %). Dakle ugljik iz goriva se pretvara u značajnom omjeru u CO i HC namjesto potpune transformacije u CO<sub>2</sub>. Ovo smanjenje koncentracije CO<sub>2</sub> se u mjerenjima pokazalo značajnim, pa je autor rezultate ovih istraživanja ugradio u model, što u modelima koncipiranim u ovu svrhu do sada nije bio slučaj.

## Model

Model REPAS predviđa redukciju emitirane količine CO<sub>2</sub> zbog nepotpunog izgaranja, neefikasnosti sustava za naknadni tretman ispušnih plinova i niza drugih parametara koji dovode do redukcije.

Ukupno emitirana godišnja količina CO<sub>2</sub> ( $E_{CO_2}$ ) od osobnih vozila prema modelu REPAS definirana je sljedećim izrazom [1]:

$$E_{CO_2} = \sum_{i=1}^n \left[ N_i \cdot l_i \cdot \left( \sum_{j=1}^m g_{ECE_j} \cdot r_j \right) \cdot K_{gECE_i} \cdot K_{z_i} \cdot K_{ns_i} \right] [ \text{tona} / \text{godini} ] \quad (1)$$

gdje je:

- $i$  broj kategorija vozila ( $i=1, \dots, 32$ ).
- $N_i$  broj registriranih vozila u promatranoj kategoriji "i" [vozila/godina],
- $l_i$  prosječni godišnji prijeđeni put vozila kategorije "i" [km/vozila, godina],
- $j$  broj tipova u kategoriji "i" ( $j=1, \dots, m$ ).
- $g_{ECE_j}$  specifični deklarirani utrošak tipa "j" kategorije "i" [l goriva/100 km],
- $r_j$  udio tipa "j" u kategoriji "i",
- $g_i$  prosječni specifični utrošak goriva vozila kategorije "i",
- $K_{gECE_i}$  stupanj pogoršanja deklariranog utroška goriva vozila kategorije "i".
- $K_{z_i}$  emisijski faktor vozila kategorije "i" [kgCO<sub>2</sub>/l goriva],
- $K_{ns_i}$  koeficijent nepotpunog izgaranja vozila kategorije "i".

Svi parametri koji figuriraju u izrazu (1), imaju od autora preporuke za definiranje i usvajanje. Tako se broj kategorija ( $i$ ) u kojima se raspodjeljuje ukupan broj registriranih vozila se određuje prema vrsti pogonskog goriva (benzin, dizel), kao i

prema zakonskim regulativama koje se odnose na ispušnu emisiju, a sve za odgovarajuće kategorije radnog obujma motora.

Broj registriranih vozila po pojedinim kategorijama ( $N_i$ ) se jedino pouzdano može odrediti iz baze podataka Ministarstva unutarnjih poslova.

Prosječni godišnji prijeđeni put vozila određene kategorije ( $l_i$ ) određuje se tako što se iz servisnih knjiga ili servisnih softvera, na osnovi servisnog intervala i broja prijeđenih kilometara u međuvremenu, izračunava vrijednost prijeđenog puta na godišnjoj razini.

Vrlo bitna značajka modela REPAS jeste način na koji se definira prosječna specifična uporaba goriva vozila određene kategorije. Modelom je predviđeno detaljno analiziranje strukture motornog fonda države za koju se realizira proračun. U svrhu detaljnog izračuna ove bitne značajke koncipiran je softver REPAS 1.1 koji u sebi ima tvornički deklarirane utroške goriva za 1620 tipova vozila karakterističnih za područje Crne Gore. Unosom broja vozila pojedinih zastupljenih tipova u softver koji množi njihovu deklarirani utrošak goriva ( $g_{ECEj}$ ) s njihovim udjelom u promatranoj kategoriji ( $r_j$ ) dobiva se ukupni prosječni utrošak goriva vozila promatrane kategorije.

Koeficijent povećanja tvornički deklarirane vrijednosti utroška goriva ( $K_{gECE}$ ) određuje se na osnovi anketiranja vozača i uopće istraživanjem realnog specifičnog utroška na određenom prostoru uz uvažavanje što više relevantnih parametara koji dovode do povećanja tvornički deklarirane specifične uporabe goriva [4].

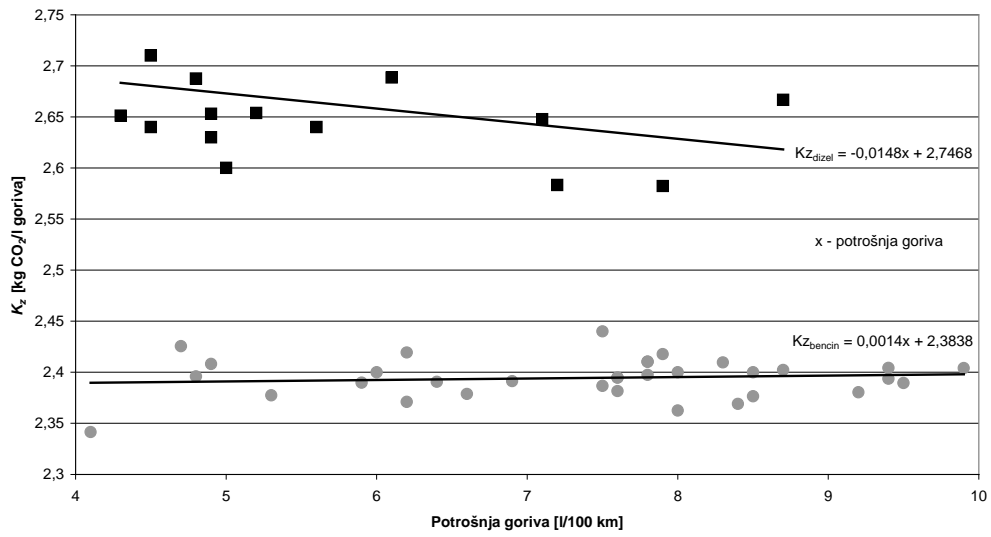
Faktor emisije CO<sub>2</sub>, odnosno faktor formiranja CO<sub>2</sub> u motoru osobnog vozila (testiranim npr. po kombiniranom ciklusu) ( $K_z$ ) je prema definiciji, odnos specifične emisije CO<sub>2</sub> –  $e_{CO_2}$  [g CO<sub>2</sub>/km] i specifičnog utroška goriva  $G$  [l/100 km] [3]:

$$K_z = \frac{e_{CO_2}}{G} \cdot 10^{-1} \left[ \frac{kgCO_2}{l_{gor}} \right] \quad (2)$$

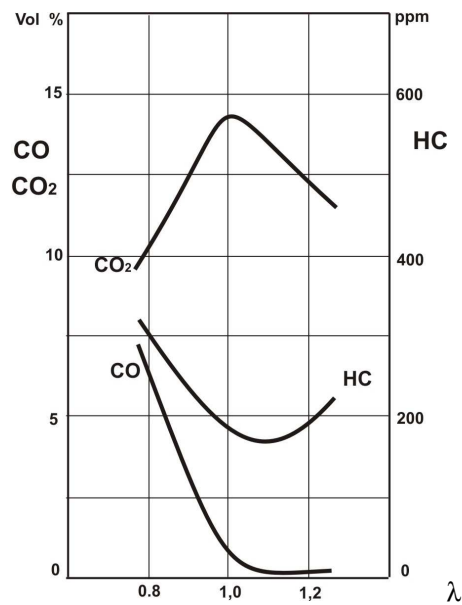
U novije doba proizvođači osobnih vozila objavljuju u okviru tehničkih značajki vozila (motora) i vrijednosti za specifičnu emisiju CO<sub>2</sub>. Na slici 1 su prikazani trendovi prosječnih vrijednosti  $K_z$  i korelacijske jednadžbe ovisnosti o utrošku goriva, posebice za dizelov i benzinski motor.

Koeficijent nepotpunog izgaranja  $K_{ns}$  se određuje eksperimentalno i kvantificira odstupanje realne vrijednosti koncentracije CO<sub>2</sub> u ispušnoj emisiji od teoretske vrijednosti (tvornički deklarirane koncentracije CO<sub>2</sub>). Ovo odstupanje se obično manifestira kao smanjenje koncentracije CO<sub>2</sub> u ispušnim plinovima, koje nastaje kao posljedica nepotpunog izgaranja, neispravnosti sustava za naknadni tretman ispušnih plinova i sl., a porasta koncentracije ugljičnog monoksida i neizgorjelih ugljikovodika (slika 2). Ovim se narušava stehiometrijska vrijednost koeficijenta viška zraka ( $\lambda=1$ ) i motor obično radi u zoni bogate smjese ( $\lambda<1$ ).

Slika 1: Faktor emisije CO<sub>2</sub> za osobna vozila određen korištenjem deklariranih vrijednosti vozila [3]



Slika 2: Ovisnost komponenti ispušne emisije o koeficijentu viška zraka



Koeficijent  $K_{ns}$  se određuje sljedećim izrazom [1]:

$$K_{ns} = 1 + \sum_{j=1}^m \left( \frac{CO_2 - CO_{2F}}{CO_{2F}} \right)_j \quad (3)$$

gdje je:

$CO_2$  izmjerena koncentracija ugljičnog dioksida u ispušnim plinovima motornih vozila iz promatrane kategorije,

$CO_{2F}$  tvornički deklarirana vrijednost koncentracije ugljičnog dioksida u ispušnim plinovima za pojedine modele motornih vozila.

Dakle, radom motora u oblasti bogate smjese u ispušnim plinovima se dobivaju visoke koncentracije produkata nepotpunog izgaranja CO i HC, i niske koncentracije CO<sub>2</sub>. Ova činjenica direktno utječe na konačan rezultat ukupno emitirane količine CO<sub>2</sub> u promatranoj oblasti, pa je neophodno pri proračunu uzeti je u obzir kroz korektivni koeficijent  $K_{ns}$ . Vrijednost ovog koeficijenta se kreće u intervalu od 0,65 do oko 1, pri čemu manje vrijednosti odgovaraju kategorijama vozila veće starosti. Imajući ovo u vidu primjena ovog koeficijenta posebno dolazi do izražaja u područjima sa starijim voznim parkom, lošijom kakvoćom goriva i održavanja izazvanim nižim životnim standardom stanovništva i sl.

Za razliku od modela COPERT III koji ima mogućnost samo da egzaktno odredi izlazne parametre, koncepcija modela REPAS pruža mogućnost predikcije parametara emisije ugljičnog dioksida za buduće vremensko razdoblje na osnovi predikcije trenda promjene vrijednosti pojedinih parametara koji su obuhvaćeni samim modelom.

## Primjena modela REPAS na osobna vozila u Crnoj Gori

Primjena modela REPAS na vozni park Crne Gore predstavljala je idealnu priliku za testiranje modela, jer se prilikom njegovog koncipiranja nastojalo obuhvatiti što više lokalnih eksploatacijskih uvjeta karakterističnih za ovo područje. Vozni park i cestovni promet u Crnoj Gori ima sljedeće značajke: visoka prosječna starost vozila, značajna zastupljenost vozila sa konvencionalnim sustavima za napajanje motora gorivom, neredovito i nestručno servisiranje, zastarjela zakonska regulativa u oblasti kontrole ispušne emisije, neispitana kakvoća goriva i maziva, neredovita zamjena ulja, agresivna tehnika vožnje, nerazvijena prometna infrastruktura, za vožnju nepovoljna konfiguracija terena, neadekvatno riješena svjetlosna signalizacija, kao i niz drugih činjenica koje negativno utječu na utrošak goriva i parametre ispušne emisije.

Svi navedeni parametri dovode do poremećaja teorijskih vrijednosti utroška i teorijskih vrijednosti koncentracije CO<sub>2</sub>, a samim tim i ukupno emitirane količine.

Zanimljivo je da s jedne strane nastaje povećanje emitirane količine CO<sub>2</sub> zbog povećanja utroška u odnosu na tvornički deklarirane vrijednosti, a u drugom segmentu imamo smanjenje količine CO<sub>2</sub> zbog nepotpunog izgaranja, neispravnosti rada sustava za naknadni tretman ispušnih plinova, itd.

Tablica 1: Prikaz proračuna emisije CO<sub>2</sub> osobnih vozila u Crnoj Gori po modelu REPAS

Vrsta goriva	Zakonska regulativa	God. proizvodnje	N <sub>i</sub>	l <sub>n</sub> [km/god]	g <sub>r</sub> [l/100km]	K <sub>g<sub>EC</sub></sub>	K <sub>z</sub> [kgCO <sub>2</sub> /lgor]	K <sub>ns</sub>	ECO <sub>2</sub> *10 <sup>-3</sup> [t]	E(CO <sub>2</sub> ) <sub>bk</sub> *10 <sup>-3</sup> [t]	eCO <sub>2</sub> [g/km]	e(CO <sub>2</sub> ) <sub>bk</sub> [g/km]
Benzin <1,4l	prije ECE	Do 1972	229	5000	8.9	1.3	2.39	0.65	0.21	0.32	180	277
	ECE 15/00-01	1972-1977	1321	6000	8.77	1.28	2.39	0.66	1.41	2.13	177	269
	ECE 15/02	1978-1980	1707	7000	8.46	1.25	2.39	0.67	2.03	3.02	170	253
	ECE 15/03	1981-1985	7435	8600	8.35	1.22	2.39	0.69	10.76	15.59	168	244
	ECE 15/04	1986-1991	26426	9054	7.41	1.2	2.39	0.7	35.62	50.89	149	213
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	2964	10629	6.97	1.17	2.39	0.75	4.61	6.14	146	195
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	2158	12353	6.67	1.13	2.39	0.83	3.99	4.80	150	180
Euro III - 98/69/EC	2001	1328	13686	6.63	1.1	2.39	1	3.17	3.17	174	174	
Benzin 1,4-2,0l	prije ECE	Do 1972	44	6000	11.15	1.3	2.40	0.7	0.06	0.09	243	348
	ECE 15/00-01	1972-1977	185	7000	10.40	1.28	2.40	0.73	0.30	0.41	233	319
	ECE 15/02	1978-1980	489	8000	9.97	1.25	2.40	0.75	0.88	1.17	224	299
	ECE 15/03	1981-1985	2189	9386	9.48	1.22	2.39	0.76	4.33	5.69	211	277
	ECE 15/04	1986-1991	8283	11144	8.07	1.2	2.39	0.78	16.68	21.39	181	232
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	2170	13415	8.04	1.17	2.39	0.83	5.44	6.55	187	225
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	2216	17481	7.87	1.13	2.39	0.88	7.25	8.24	187	213
Euro III - 98/69/EC	2001	704	21209	7.54	1.1	2.39	1	2.96	2.96	198	198	
Benzin >2,0l	prije ECE	Do 1972	3	7000	16.25	1.3	2.41	0.75	0.01	0.01	381	508
	ECE 15/00-01	1972-1977	27	8000	15.25	1.28	2.40	0.77	0.08	0.10	361	469
	ECE 15/02	1978-1980	32	9000	14.22	1.25	2.40	0.79	0.10	0.12	337	427
	ECE 15/03	1981-1985	124	10000	12.67	1.22	2.40	0.8	0.37	0.46	297	371
	ECE 15/04	1986-1991	420	11000	10.21	1.2	2.40	0.82	1.11	1.36	241	294
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	536	13543	10.65	1.17	2.40	0.85	1.84	2.17	254	299
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	534	19514	11.15	1.13	2.40	0.96	3.02	3.15	290	302
Euro III - 98/69/EC	2001	152	23250	10.50	1.1	2.40	1	0.98	0.98	277	277	
Dizel <2,0l	Konvencionalno	Do 1991	17855	14781	6.16	1.25	2.66	0.75	40.58	54.11	154	205
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1995	1977	18478	5.68	1.17	2.66	0.8	5.17	6.47	142	177
	Euro II - 94/12/EC	1996-2000	3085	21810	5.49	1.13	2.66	0.85	9.45	11.12	140	165
	Euro III - 98/69/EC	2001	1751	26200	5.47	1.1	2.66	1	7.35	7.35	160	160
Dizel >2,0l	Konvencionalno	Do 1991	2058	14500	8.96	1.25	2.66	0.8	7.11	8.88	238	298
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1995	705	17243	7.99	1.17	2.66	0.85	2.57	3.02	211	249
	Euro II - 94/12/EC	1996-2000	1248	22105	7.96	1.13	2.66	0.9	5.94	6.60	215	239
	Euro III - 98/69/EC	2001	253	28729	7.68	1.1	2.66	1	1.63	1.63	225	225
									186990 [t/god]	240100 [t/god]	167 [g/km]	214 [g/km]

gdje je:

ECO<sub>2</sub> - emitirana količina CO<sub>2</sub> izračunata prema modelu REPAS,E(CO<sub>2</sub>)<sub>bk</sub> - emitirana količina CO<sub>2</sub> bez korekcije koeficijentom K<sub>ns</sub> (teorijski emitirana količina CO<sub>2</sub> kada bi se zanemario efekat smanjenja CO<sub>2</sub>).

Ovo je dokazano velikim brojem pojedinačnih rezultata mjerenja ispušne emisije osobnih vozila u eksploataciji na prostoru Crne Gore [6], [7], [8], [9].

Kako je model definiran detaljno u prethodnom poglavlju, navest ćemo samo glavne segmente i konačne rezultate primjene ovog modela na osobna vozila registrirana u Crnoj Gori.

Za navedeni model je napravljena softverska aplikacija REPAS 1.1 koja u konačnom obliku u 32 kategorije vozila sadrži 1620 tipova vozila s tvornički deklariranim utrošcima goriva.

Nakon unosa podataka o broju vozila po pojedinim kategorijama softver izračunava prosječni utrošak goriva za te kategorije. Potom se definiranim kategorijama pridružuju odgovarajuće dužine prosječnog godišnjeg prijeđenog puta.

Broj registriranih vozila u Crnoj Gori na dan 31.12.2003. je dobiven od Ministarstva unutarnjih djela Vlade Crne Gore [5]. Prosječni godišnji prijeđeni put vozila je definiran na osnovi podataka iz servisnih softvera u ovlaštenim servisima proizvođača Volkswagen, Audi, Renault, Peugeot, Seat, Škoda i KIA. Ovi softveri osim podataka o servisnim intervencijama imaju i broj prijeđenih kilometara na taj dan, što u dva servisa pruža mogućnost izračuna godišnjeg prijeđenog puta vozila.

Koeficijent povećanja tvornički deklarirane vrijednosti utroška goriva ( $K_{GECE}$ ) određen je na osnovi višegodišnjih istraživanja realnog specifičnog utroška i anketiranja vozača [4], dok je korektivni koeficijent emitirane količine CO<sub>2</sub> zbog niza prethodno opisanih faktora ( $K_{ns}$ ) dobiven na osnovi rezultata pojedinačnih mjerenja ispušne emisije 5249 osobnih vozila koja su u prometu u Crnoj Gori [6], [7], [8], [9], što čini oko 5 % svih registriranih osobnih vozila u Crnoj Gori.

Prema ulaznim podacima softver REPAS 1.1 izračunava emitiranu količinu CO<sub>2</sub> od osobnih vozila registriranih u Crnoj Gori 2003. godine.

Kompletan algoritam izračuna s ulaznim podacima koje zahtijeva ovaj softver, odgovarajućim koeficijentima i dobivenim rezultatima emisije CO<sub>2</sub> dat je u tablici 1.

Korekcijom emitirane količine CO<sub>2</sub> zbog smanjenja koncentracije CO<sub>2</sub> u ispušnoj emisiji utvrđene eksperimentalnim putem, dobila se za oko 22 % manja količina emitiranog CO<sub>2</sub> u odnosu na nekorigitiranu količinu ( $E(CO_2)_{bk}$ ). Detaljnija analiza je data u nastavku u toku međusobne usporedbe rezultata primjene sva tri modela.

### **Usporedna analiza rezultata primjene modela REMODIO-COPERT III-REPAS za izračunavanje emisije CO<sub>2</sub> osobnih vozila u Crnoj Gori**

Nakon detaljnijeg prikaza proračuna prema propisanoj proceduri modela REPAS, bit će dati samo rezultati primjene modela REMODIO, COPERT III radi usporedne analize. Rezultati dobiveni primjenom sva tri modela, radi bolje usporedbe su dati u tablici 2.

U dijelu utroška goriva dobiveno je dobro slaganje rezultata modela REMODIO i REPAS. Podaci o utrošku goriva su za oko 6 % manji od podataka koji su dobiveni od tvrtke Jugopetrol iz Kotora [10], koji je u 2003. godini opskrbljivao gotovo 100 %

tržišta. Odstupanje od 6 % je prilično realno i može se opravdati povećanim utroškom u vrijeme turističke sezone zbog inozemnih turista.

Bitno veće odstupanje je dobiveno primjenom softvera COPERT III od preko 25 %. Ovo se opravdava činjenicom da softver COPERT III na osnovi unesenog broja vozila proizvedenih u jednoj od kategorija podrazumijeva da su sva vozila iz te starosne kategorije ispunjavala tada važeće emisijske standarde za to razdoblje, dakle, temelji se na godištu proizvodnje ne ulazeći u strukturu proizvođača registriranih vozila. Detaljnijom analizom motornog parka u Crnoj Gori evidentiran je veliki broj vozila istočnih proizvođača (Lada, Zastava i sl.), što je njihovim udjelom i tvornički deklariranim utroškom goriva primjenom modela REPAS rezultiralo dobivanjem približno realnog utroška koji se slaže sa statističkim podacima. Modelom COPERT III je dobivena i znatno manja izračunata količina utroška benzina s dodatkom olova koje je u zemljama Europske unije već povučeno iz uporabe. U Crnoj Gori je veliki broj takvih vozila, što se potvrdilo primjenom modela REMODIO i REPAS koji predviđaju detaljnu analizu strukture voznog parka.

Tablica 2: Prikaz rezultata primjene modela REMODIO, COPERT III i REPAS na izračunavanje emitirane količine CO<sub>2</sub> od osobnih vozila registriranih u Crnoj Gori

	Utrošak benzina [t]	Utrošak dizela [t]	Ukupan utrošak goriva [t]	ECO <sub>2</sub> [t]	eCO <sub>2</sub> [g/km]
REMODIO	44429	30351	74780	238850	213,3
COPERT III	37577	27302	64879	205283	183,3
REPAS	44171	30924	75095	186990	167

Rezultat proračuna ukupno emitirane količine CO<sub>2</sub> dobiven primjenom modela REPAS ima najniže vrijednosti. Rezultat dobiven modelom COPERT III je oko 10 % veći, a modelom REMODIO čak 28 %, što čini svakako veliko odstupanje. Ispitivanje ispušnih plinova EKO TEST koje se obavlja u Hrvatskoj pokazalo je da je u 2003. godini neispravnih vozila s katalizatorom bilo 30 %, a bez katalizatora oko 63 % [11], što kada se uzme da je približno jednaka prosječna starost voznog parka kao u Crnoj Gori, ide u prilog opravdanosti primjene modela REPAS. Dakle, kako on uvažava najviše specifičnosti promatranog područja može se smatrati da je ova vrijednost najbliža realnoj. To ovaj model preporučuje za uporabu u svim zemljama u tranziciji, sa sličnim voznim parkom i eksploatacijskim uvjetima. Posebno je značajno rasvjetljavanje fenomena emitiranja manje količine CO<sub>2</sub> od vozila u ovakvim područjima. S aspekta utjecaja na efekt staklenika, smanjenje ukupne emisije CO<sub>2</sub> se može smatrati pozitivnom pojavom, ali je svakako za zdravlje ljudi i prirodu znatno štetnije povećanje emisije produkata nepotpunog izgaranja (CO, HC, čestica čađe,...). Imajući ovo u vidu, kao optimalni pravac smanjenja ukupne i specifične emisije CO<sub>2</sub> smatra se smanjenje specifičnog utroška goriva.



## Zaključci

1. Cestovni promet je sektor, koji zbog svog udjela u emisiji plinova staklenika od preko 20 %, zahtijeva posebnu pozornost u okviru programa smanjenja emisije plinova staklenika.
2. U sustavu praćenja emisije i koncentracije ugljičnog dioksida u atmosferu iznimno značajan segment predstavlja primjena adekvatnog modela kojim se vrši kvantifikacija emisije ovog plina.
3. Eksperimentalnim putem na velikom uzorku je dokazana i modelom REPAS prikazana anomalija smanjenja koncentracije ugljičnog dioksida u ispušnim plinovima motornih vozila u eksploataciji, kao posljedica lošeg procesa izgaranja, neispravnosti u sustavu za naknadni tretman ispušnih plinova i niza drugih faktora. Ovo kao posljedicu ima i značajno smanjenje ukupno emitirane količine ugljičnog dioksida, koje na primjeru Crne Gore iznosi 22 % u odnosu na slučaj bez ove korekcije. Modelom COPERT je dobivena za oko 10% veća emisija ugljičnog dioksida, dok se modelom REMODIO dobila za oko 28 % veća vrijednost.
4. Konceptija modela REPAS pruža mogućnost predikcije parametara emisije ugljičnog dioksida za buduće vremensko razdoblje na osnovi predikcije trenda promjene vrijednosti pojedinih parametara koji su obuhvaćeni samim modelom. Posebno je važna mogućnost predikcije specifičnog utroška goriva kao parametra koji je od posebnog značaja zbog sve aktualnije teme energetske efikasnosti i prisutnosti fosilnih goriva na planetu u ograničenim količinama.

### Literatura:

1. VUJADINOVIĆ R.: *Modeliranje emisije ugljen-dioksida putničkih vozila u saobraćaju*-Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
2. KOURIDIS C., Ntziachristos L., Samaras Z: Technical report No 50: COPERT III-Computer programme to calculate emissions from road transport; User manual (Version 2.1) November 2000
3. DOBOVIŠEK Ž., SAMEC N., KOKALJ F.: REMODIO model za određivanje prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> motornih cestnih vozila (1. faza putnička vozila), Automobil i ekologija, Ulcinj, 2003.
4. *Istraživanje realne potrošnje goriva kod vozila u Crnoj Gori (Rezultati ankete o povećanju potrošnje goriva u odnosu na fabrički deklarirane vrijednosti i upoređenje ECE potrošnje i potrošnje goriva pri testu vozila)*, Interni izvještaj Centra za motore i mobilne mašine, Mašinski fakultet-Podgorica, 2003.
5. Baza podataka MUP-a CG o registrovanim vozilima u Crnoj Gori 2003. godine.
6. NIKOLIĆ B., VUJADINOVIĆ R., NIKOLIĆ D., PAJKOVIĆ V., SIMOVIĆ S.: *Analiza emisije izduvnih gasova od vozila koja se nalaze u upotrebi na prostoru Crne Gore*, Izvor i Prenos Snage, Bečići, 2001.
7. NIKOLIĆ B., VUJADINOVIĆ R., PAJKOVIĆ V., SIMOVIĆ S., KUJOVIĆ D., NIKOLIĆ D.: *Exhaust Emission From Vehicles In Montenegro*, Fisita 2002, Helsinki 2002.

8. VUJADINOVIĆ R.: *Stanje izduvne emisije motornih vozila u eksploataciji*-Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2004.
9. VUJADINOVIĆ R., NIKOLIĆ D., NIKOLIĆ B.: *Exhaust emission from in use vehicles equipped with gasoline engines*, *Clean Air*, Lisbon, 2005.
10. Izveštaj A.D. Jugopetrol-Kotor o prodanim količinama goriva u Crnoj Gori za 2003.
11. POLJANČIĆ L., KALAUZ Z., Izvešće o kvaliteti ispušnih plinova motornih vozila u Republici Hrvatskoj temeljem EKO testa, Stručni bilten broj 101, Centra za vozila Hrvatske, Zagreb, rujan 2002.

UDK	ključne riječi	key words
504.3.054 : 546.262	zagađivači zraka, ugljikovi oksidi	pollutants of atmosphere, carbon oxides
621.43.019.9	emisija iz motornih vozila	automotive vehicle emission
519.2.001.57	simulacijski matematički model	mathematical simulation model
311.12 /.17 : 629.11	struktura i kretanje populacije vozila	vehicle population structure and trends
681.3.065	program za kompjuter	computer application programe
351.777(4)	EU program za čišće motorno gorivo 2007-2009	EU programe for clean motor fuel 2007-2009
(497.12)	Crna Gora	Montenegro

**Autori / Authors:**

doc. dr. Radoje Vujadinović, e-mail: [radojev@cg.yu](mailto:radojev@cg.yu)

doc. dr. Danilo Nikolić, e-mail: [dannikol@cg.yu](mailto:dannikol@cg.yu)

Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, Cetinjski put bb, 81000, Podgorica, Crna Gora

emeritus prof. dr. Želimir Dobovišek, e-mail: [zelimir.dobovisek@uni-mb.si](mailto:zelimir.dobovisek@uni-mb.si)

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, SI-2000 Maribor, Smetanova 17, Slovenija

**Primljeno:**

13.7.2006.

Radoje Vujadinović, Danilo Nikolić, Želimir Dobovišek

ISSN 0350-350X

GOMABN 46, 2, 129-148

Izvorni znanstveni rad / Original scientific paper

UDK 504.3.054 : 546.262 : 621.43.019.9 : 519.2.001.57 : 311.12 /.17 : 629.11 : 681.3.065 : 351.777(4) : (497.12)

## ALTERNATIVE APPROACH TO THE MODELLING OF CO<sub>2</sub> EMISSION FROM PASSENGER VEHICLES

### *Abstract*

*Constant increase in the number of vehicles using for drive fossil fuels considerably contributes to constant increase of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) atmospheric emission.*

*It is extremely important to quantify the volume of the gas in question emitted into the atmosphere. Several models and methodologies have been elaborated for this purpose. The paper presents the innovative model REPAS, taking into account certain specific features not included by other models, proper to transition countries [1]. Based on the model, software REPAS 1.1 has been elaborated, serving for the calculation of totally emitted CO<sub>2</sub> volume and specific CO<sub>2</sub> emission, involving data for fuel use according to manufacturer declaration for 1,620 vehicle types by various manufacturers.*

*The paper presents the model's application to the vehicle pool of the Republic of Montenegro. The results of applying the model have been compared to those obtained through the application of the models COPERT III and REMODIO, revealing considerable aberrations.*

### **Introduction**

Carbon dioxide CO<sub>2</sub> is considered the basic gas causing greenhouse effect. The effect enables life on planet Earth, since otherwise temperature on it would be around 30°C lower than the present. Through the development of industrial production in the world, particularly in the area of automobile industry, gas emission has been considerably increased, overcausing the said effect. This results in a number of natural disturbances, involving noxious results for both humans and material goods. Since motor vehicles considerably contribute to the said

phenomenon (by over 20%), the idea behind the present paper is to perform a quantitative analysis of CO<sub>2</sub> emission in a given area, by applying the innovative REPAS model, elaborated for this particular purpose.

The most widespread model and software package is COPERT III, adopted for use by all European Union (EU) members, while it is also recommended to the candidate countries [2]. Among other things, the software determines average annual emission of greenhouse gases from motor vehicles in a given country. However, each geographical area has a number of specific features regarding the traffic of motor vehicles, as well as a number of factors impacting CO<sub>2</sub> emission which have – in the said software package – been taken into account only partially and in general terms. That is why the author decided to elaborate the REPAS model, taking into account specific features proper to transition countries with an outdated vehicle pool. Based on several years of experimental research of motor vehicles in use (5,249 tested vehicles), it was concluded that the values indicated by manufacturers, when it comes to exhaust emission parameters, after several years of unfavorable exploitation conditions, become considerably degraded. The degradation moves towards increased concentration of noxious CO combustion products (around 70%) and HC (around 55%), while the concentration of CO<sub>2</sub> decreases (by around 20%). In other words, carbon from fuel turns considerably to CO and HC, instead of its complete transformation into CO<sub>2</sub>. This reduced concentration of CO<sub>2</sub> has been considerable during measurements, which is why the author has built the results of the research into the model, which has not been the case in other models so far.

## The Model

Model REPAS envisages reduction of the emitted CO<sub>2</sub> volume due to incomplete combustion, inefficiency of the system for the post-treatment of exhaust gases and a number of other parameters causing reduction.

Totally emitted annual volume of CO<sub>2</sub> ( $E_{CO_2}$ ) from passenger vehicles according to model REPAS has been set by the following equation [1]:

$$E_{CO_2} = \sum_{i=1}^n \left[ N_i \cdot l_i \cdot \left( \sum_{j=1}^m g_{ECE_j} \cdot r_j \right) \cdot K_{gECE_i} \cdot K_{z_i} \cdot K_{ns_i} \right] [tona / godini] \quad (1)$$

/tons/year/

where:

- $i$  number of vehicle categories ( $i=1, \dots, 32$ ).
- $N_i$  number of registered vehicles in the observed category "i" [vehicle/year],
- $l_i$  average annual mileage covered by the vehicle from category "i" [km/vehicle, year],
- $j$  number of types per category "i" ( $j=1, \dots, m$ ).
- $g_{ECE_j}$  specific indicated consumption of the type "j", category "i" [l of fuel/100 km],
- $r_j$  share of type "j" in category "i",

- $g_i$  average specific consumption of vehicle category "i",  
 $K_{g_{ECEi}}$  worsening degree of the manufacturer-indicated fuel consumption of vehicle category "i".  
 $K_{z_i}$  emission factor of vehicle category "i" [kgCO<sub>2</sub>/l fuel],  
 $K_{ns_i}$  incomplete combustion coefficient of vehicle category "i".

All parameters featuring in equation (1), have the author's recommendation for setting and adoption. Thus, the number of categories ( $i$ ) into which total number of registered vehicles is distributed is defined according to the kind of utilized fuel (gasoline, diesel), as well according to legal regulations referring to exhaust emission – for corresponding categories of the engine volume.

The number of registered vehicles per individual categories ( $N_i$ ) can only safely be determined from the database of the Ministry of Interior.

Average annual mileage covered of a vehicle from a category ( $l_i$ ) is established on the basis of servicing records or software, based on service interval and the mileage covered in the meantime, revealing mileage covered on the annual basis.

An extremely important property of the model REPAS is the manner of defining average specific fuel use by a vehicle from a specific category. The model envisages a detailed analysis of the vehicle pool structure of the country for which the calculation is being made. For the purpose of a detailed calculation of this important property, software REPAS 1.1 has been elaborated, including manufacturer-indicated fuel consumption for 1,620 types of vehicles proper to the territory of Montenegro. By inputting the number of vehicles of individual represented types into the software multiplying their declared fuel consumption ( $g_{ECE_j}$ ) with their share in the observed category ( $r_j$ ), one comes up with the total average fuel consumption of the vehicles from the observed category.

Coefficient of increasing manufacturer-indicated value of fuel consumption ( $K_{g_{ECE}}$ ) is set on the basis of drivers poll by researching real specific consumption in a given area, taking into account as many relevant parameters leading to the increase of manufacturer-indicated specific fuel use as possible[4].

Emission factor of CO<sub>2</sub>, i.e. factor of forming CO<sub>2</sub> in the engine of passenger vehicles (tested e.g. after combined cycle) ( $K_z$ ) is, according to definition, the ratio between specific emission of CO<sub>2</sub> –  $e_{CO_2}$  [g CO<sub>2</sub>/km] and specific fuel consumption  $G$  [l/100 km] [3]:

$$K_z = \frac{e_{CO_2}}{G} \cdot 10^{-1} \left[ \frac{kgCO_2}{l_{gor}} \right] \quad (2)$$

Recently, car manufacturers have started to publish - within technical properties of vehicle (engine) - also values for specific emission of CO<sub>2</sub>. Figure 1 shows trends of average values  $K_z$  and correlation equations of dependence on fuel consumption, especially for diesel and gasoline engine.

Figure 1: Vehicles emission CO<sub>2</sub> factor calculated by using manufacturer test data

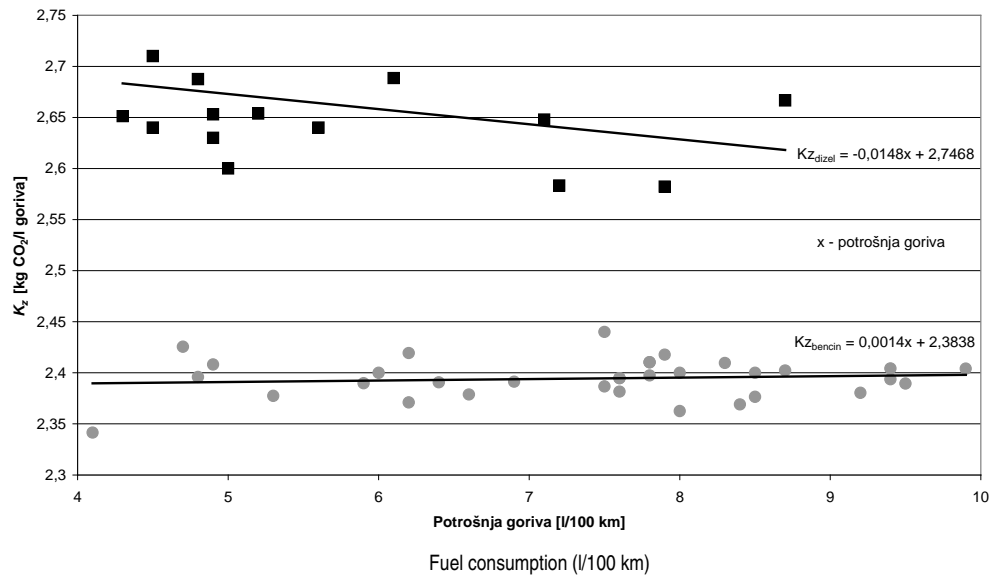
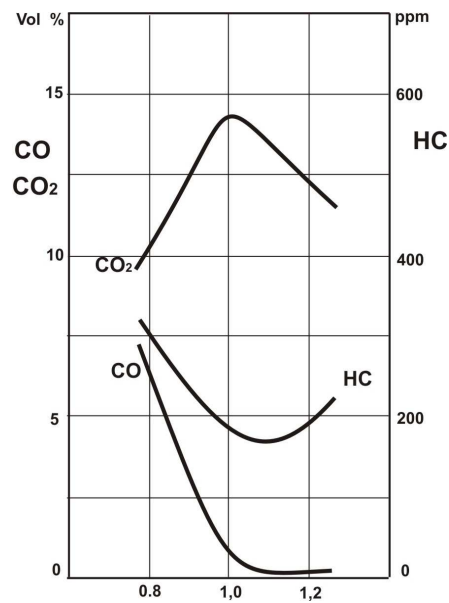


Figure 2: CO, CO<sub>2</sub> and HC exhaust gas concentration as a function of air/fuel ratio



Coefficient of incomplete combustion  $K_{ns}$  is determined experimentally and quantified is the aberration of real value of CO<sub>2</sub> concentration in exhaust emission from theoretical value (manufacturer test data for manufacturer test data concentration). This aberration is usually manifested as reduced CO<sub>2</sub> concentration in exhaust gases, resulting from incomplete combustion, deficiencies in the operation of the exhaust gases after-treatment system, and increased concentration of carbon monoxide and uncombusted hydrocarbons (Figure 2). This impairs the stoichiometric value of the excess air coefficient ( $\lambda=1$ ) and the engine usually operates in the rich mixture zone ( $\lambda<1$ ).

Coefficient  $K_{ns}$  is determined by the following equation [1]:

$$K_{ns} = 1 + \sum_{j=1}^m \left( \frac{CO_2 - CO_{2F}}{CO_{2F}} \right)_j \quad (3)$$

where:

CO<sub>2</sub> measured concentration of carbon dioxide in the exhaust gases of motor vehicles from the observed category,

CO<sub>2F</sub> manufacturer test data for the concentration of carbon dioxide in the exhaust gases of motor vehicles for individual models.

Thus, engine operating in the area of rich mixture creates high concentrations of incomplete combustion products CO and HC in exhaust gases, and low concentrations of CO<sub>2</sub>. This fact directly impacts the final outcome of the totally emitted volume of CO<sub>2</sub> in the observed area, which is why it is necessary to take it into account while calculating – by the correction coefficient  $K_{ns}$ . The value of the coefficient ranges within the interval from 0.65 to around 1, lower values corresponding to older vehicle categories. Taking this into account, the application of the coefficient is particularly stressed in the areas with older vehicle pool, lower fuel and maintenance quality, caused by lower living standard of the population, and the like.

Unlike the model COPERT III, capable of precisely determining only the output parameters, the concept of model REPAS offers the possibility of predicting carbon dioxide emission parameters for a future period, based on predicting the trend of changing the value of individual parameters, encompassed by the model.

## Application of the Model REPAS on Passenger Vehicles in Montenegro

Application of model REPAS on the vehicle pool of Montenegro constituted an ideal opportunity for testing the model, because – in its elaboration – an attempt was made to encompass as much local exploitation conditions proper to the area.

Properties of the vehicle pool and road traffic in Montenegro are as follows: high average age of the vehicles, considerable percentage of vehicles with conventional systems for engine fuel supply, irregular and unprofessional servicing, outdated legal regulations in the area of exhaust emission control, untested quality of fuels

and lubricants, irregular oil fill intervals, aggressive driving technique, undeveloped traffic infrastructure, unfavourable terrain configuration (for driving), inadequate signalization (traffic lights), as well as a number of other facts bearing a negative impact on fuel consumption and exhaust emission parameters.

All the above parameters lead to aberrations of theoretical values of consumption and theoretical values of CO<sub>2</sub> concentration, and hence also totally emitted volume.

It is interesting that – on the one hand – there is an increase of the emitted CO<sub>2</sub> volume due to increased consumption with regard to manufacturer test data values, whereas – on the other – there is a reduction of CO<sub>2</sub> volume due to incomplete combustion, malfunction in the operation of the exhaust gases after-treatment system, etc.

This has been substantiated by a number of individual results of measuring exhaust emission of field passenger vehicles on the territory of Montenegro [6], [7], [8], [9].

Since the model has been defined in some detail in the previous chapter, we shall here list only the main segments and the final results of applying the said model on passenger vehicles licenced in Montenegro.

For the above model, a software application REPAS 1.1 has been elaborated, whose final form encompasses 32 vehicle categories with 1,620 vehicle types with manufacturer test data on fuel consumption.

After inputting data on the number of vehicles per individual categories, the software calculates average fuel consumption for the categories in question. The set categories are then added corresponding lengths of the average annual mileage covered.

The number of licenced vehicles in Montenegro on 31/12/2003 was supplied by the Ministry of Interior of the Government of Montenegro [5]. Average annual mileage covered by the vehicles was determined based on the data from service software in the licensed services of the following manufacturers: Volkswagen, Audi, Renault, Peugeot, Seat, Škoda and KIA. The software – apart from data on servicing interventions – also include the daily mileage covered, offering – in two services – the possibility of calculating the annual vehicle mileage covered.

Coefficient of increasing manufacturer test data on fuel consumption ( $K_{g_{ECE}}$ ) has been set based on several years of researching real specific consumption and polling drivers [4], while the correction coefficient of the emitted CO<sub>2</sub> volume was – due to a number of previously described factors ( $K_{ns}$ ) – obtained on the basis of results of individual measurements of exhaust emission of 5,249 passenger vehicles constituting transportation in Montenegro [6], [7], [8], [9], which makes around 5% of all licenced passenger vehicles in Montenegro.

According to the input data, software REPAS 1.1 calculates the emitted volume of CO<sub>2</sub> from passenger vehicles licenced in Montenegro in 2003.

The complete algorithm of calculation with input data required by the software, corresponding coefficients and obtained CO<sub>2</sub> emission results is provided in Table 1.



Table 1: Presentation of calculating CO<sub>2</sub> emission of passenger vehicles in Montenegro after the model REPAS

Fuel type	Legal regulations	Year of prod.	N <sub>i</sub>	l <sub>r</sub> [km/y]	g <sub>r</sub> [l/100km]	K <sub>gECE</sub>	K <sub>z</sub> [kgCO <sub>2</sub> /lgor]	K <sub>ns</sub>	ECO <sub>2</sub> *10 <sup>-3</sup> [t]	E(CO <sub>2</sub> ) <sub>bk</sub> *10 <sup>-3</sup> [t]	eCO <sub>2</sub> [g/km]	e(CO <sub>2</sub> ) <sub>bk</sub> [g/km]
Gasoline <1,4l	before ECE	until 1972	229	5000	8.9	1.3	2.39	0.65	0.21	0.32	180	277
	ECE 15/00-01	1972-1977	1321	6000	8.77	1.28	2.39	0.66	1.41	2.13	177	269
	ECE 15/02	1978-1980	1707	7000	8.46	1.25	2.39	0.67	2.03	3.02	170	253
	ECE 15/03	1981-1985	7435	8600	8.35	1.22	2.39	0.69	10.76	15.59	168	244
	ECE 15/04	1986-1991	26426	9054	7.41	1.2	2.39	0.7	35.62	50.89	149	213
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	2964	10629	6.97	1.17	2.39	0.75	4.61	6.14	146	195
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	2158	12353	6.67	1.13	2.39	0.83	3.99	4.80	150	180
Euro III - 98/69/EC	2001	1328	13686	6.63	1.1	2.39	1	3.17	3.17	174	174	
Gasoline 1,4-2,0l	before ECE	Do 1972	44	6000	11.15	1.3	2.40	0.7	0.06	0.09	243	348
	ECE 15/00-01	1972-1977	185	7000	10.40	1.28	2.40	0.73	0.30	0.41	233	319
	ECE 15/02	1978-1980	489	8000	9.97	1.25	2.40	0.75	0.88	1.17	224	299
	ECE 15/03	1981-1985	2189	9386	9.48	1.22	2.39	0.76	4.33	5.69	211	277
	ECE 15/04	1986-1991	8283	11144	8.07	1.2	2.39	0.78	16.68	21.39	181	232
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	2170	13415	8.04	1.17	2.39	0.83	5.44	6.55	187	225
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	2216	17481	7.87	1.13	2.39	0.88	7.25	8.24	187	213
Euro III - 98/69/EC	2001	704	21209	7.54	1.1	2.39	1	2.96	2.96	198	198	
Gasoline >2,0l	before ECE	until 1972	3	7000	16.25	1.3	2.41	0.75	0.01	0.01	381	508
	ECE 15/00-01	1972-1977	27	8000	15.25	1.28	2.40	0.77	0.08	0.10	361	469
	ECE 15/02	1978-1980	32	9000	14.22	1.25	2.40	0.79	0.10	0.12	337	427
	ECE 15/03	1981-1985	124	10000	12.67	1.22	2.40	0.8	0.37	0.46	297	371
	ECE 15/04	1986-1991	420	11000	10.21	1.2	2.40	0.82	1.11	1.36	241	294
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1996	536	13543	10.65	1.17	2.40	0.85	1.84	2.17	254	299
	Euro II - 94/12/EC	1997-2000	534	19514	11.15	1.13	2.40	0.96	3.02	3.15	290	302
Euro III - 98/69/EC	2001	152	23250	10.50	1.1	2.40	1	0.98	0.98	277	277	
Diesel <2,0l	Conventional	Do 1991	17855	14781	6.16	1.25	2.66	0.75	40.58	54.11	154	205
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1995	1977	18478	5.68	1.17	2.66	0.8	5.17	6.47	142	177
	Euro II - 94/12/EC	1996-2000	3085	21810	5.49	1.13	2.66	0.85	9.45	11.12	140	165
	Euro III - 98/69/EC	2001	1751	26200	5.47	1.1	2.66	1	7.35	7.35	160	160
Diesel >2,0l	Conventional	Do 1991	2058	14500	8.96	1.25	2.66	0.8	7.11	8.88	238	298
	Euro I - 91/441/EEC	1992-1995	705	17243	7.99	1.17	2.66	0.85	2.57	3.02	211	249
	Euro II - 94/12/EC	1996-2000	1248	22105	7.96	1.13	2.66	0.9	5.94	6.60	215	239
	Euro III - 98/69/EC	2001	253	28729	7.68	1.1	2.66	1	1.63	1.63	225	225
									186990 [t/y]	240100 [t/y]	167 [g/km]	214 [g/km]

where:

ECO<sub>2</sub> -emitted volume of CO<sub>2</sub> calculated after the model REPAS,

E(CO<sub>2</sub>)<sub>bk</sub> -emitted volume of CO<sub>2</sub> without correction using coefficient K<sub>ns</sub> (theoretically emitted volume of CO<sub>2</sub> if one neglects the CO<sub>2</sub> reduction effect).

By correcting the emitted volume of CO<sub>2</sub> due to its reduced concentration in exhaust emission established experimentally, obtained was around 22% lower volume of emitted CO<sub>2</sub> with regard to the uncorrected volume ( $E(\text{CO}_2)_{\text{bk}}$ ). A more detailed analysis is provided in further text, through a mutual comparison of results from all three models.

### Comparative analysis of results of applying models REMODIO-COPERT III-REPAS for calculating the emission of CO<sub>2</sub> from passenger vehicles in Montenegro

After a more detailed presentation of calculation according to the prescribed procedure of model REPAS, provided shall be only the results of applying by models REMODIO, COPERT III for comparative analysis. The results obtained through the application of all three models are – for better comparison – provided in Table 2.

Table 2: Presentation of results of applying models REMODIO, COPERT III and REPAS on calculation of emitted volume of CO<sub>2</sub> from passenger vehicles registered in Montenegro

	Gasoline consumption [t]	Diesel fuel consumption [t]	Total fuel consumption [t]	ECO <sub>2</sub> [t]	eCO <sub>2</sub> [g/km]
REMODIO	44429	30351	74780	238850	213,3
COPERT III	37577	27302	64879	205283	183,3
REPAS	44171	30924	75095	186990	167

As regards fuel consumption, good match was obtained between the results of models REMODIO and REPAS. Data on fuel consumption are around 6% lower than those obtained from “Jugopetrol” company from Kotor [10], which was in 2003 supplying nearly 100% of the market. Aberration of 6% is quite realistic and may be justified by increased consumption in the tourist season, due to foreign tourists. A considerably higher aberration was obtained through the application of software COPERT III: over 25%. This is justified by the fact that software COPERT III – based on entered number of vehicles produced in one of the categories – assumes that all vehicles from that age category were meeting the then valid emission standards for the period, i.e. is based on the year of production, without going into the structure of the registered vehicles’ manufacturer. A more detailed analysis of the vehicle pool in Montenegro has revealed a large number of vehicles by eastern manufacturers (“Lada”, “Zastava”, and the like). Their share and manufacturer test data on fuel consumption have – by applying model REPAS – resulted in obtaining an approximately realistic consumption matching statistical data. The model COPERT III has provided a much lower calculated volume of (leaded) fuel consumption – the said fuel being already phased out from the European Union. In Montenegro, there is a large number of such vehicles, which was confirmed by applying models REMODIO and REPAS, involving a more detailed analysis of the vehicle pool structure.

The result of calculating totally emitted volume of CO<sub>2</sub> obtained by applying the model REPAS has the lowest values. The result obtained through model COPERT III is around 10% higher, and that obtained by model REMODIO as much as 28%, which certainly is a considerable aberration. The testing of exhaust gases "EKO TEST" performed in Croatia has shown that in 2003 there were 30% of improperly operating catalyzed vehicles, and around 63% uncatalyzed ones [11]. If we take into account that Croatia has nearly the same average age of vehicle pool as Montenegro, this fact substantiates the application of model REPAS. Thus, as it takes into account the most the specific character of the observed area, one may consider this value to be the closest to the real one. This makes the model in question suitable for use in all transition countries, with a similar vehicle pool and exploitation conditions. Particularly significant is the clearing of the issue of emitting lower CO<sub>2</sub> volume than vehicles in such areas. From the aspect of causing greenhouse effect, reduction of total CO<sub>2</sub> emission may be considered a positive phenomenon, but much more hazardous for both human health and nature is the increase of the emission of incomplete combustion products (CO, HC, soot particles,...). Bearing all this in mind, the optimal direction of reducing both total and specific CO<sub>2</sub> emission is considered to be reduction of the specific fuel consumption.

## Conclusions

1. Road traffic is a sector which, due to its share in the emission of greenhouse gases of over 20%, requires special attention within the program of reducing the emission of greenhouse gases.
2. In the system of monitoring the atmospheric emission and concentration of carbon dioxide, extremely significant is the segment referring to the application of an adequate model quantifying the emission of the said gas.
3. Experimentally, on a large sample, proven and presented through model REPAS was the anomaly of reducing the concentration of carbon dioxide in the exhaust gases of motor vehicles in use, as a result of poor combustion process, deficiencies of the system for the post-treatment of exhaust gases, as well as a number of other factors. This results in a considerable reduction of the totally emitted carbon dioxide volume. In the case of Montenegro, it amounts to 22% with regard to the case not involving the said correction. Model COPERT has provided around 10% higher emission of carbon dioxide, while model REMODIO came up with around 28% higher value.
4. The concept of model REPAS offers the possibility of predicting parameters of carbon dioxide emission for a future period based on predicting the trend of changing values of individual parameters encompassed by the model itself. Of a special importance is the possibility of predicting specific fuel consumption as the parameter which is particularly significant due to a growingly topical subject of energy efficiency, and the presence of fossil fuels on the planet in limited volumes.

**References:**

1. VUJADINOVIĆ R.: *Modeliranje emisije ugljen-dioksida putničkih vozila u saobraćaju*-Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
2. KOURIDIS C., Ntziachristos L., Samaras Z: Technical report No 50: COPERT III-Computer programme to calculate emissions from road transport; User manual (Version 2.1) November 2000
3. DOBOVIŠEK Ž., SAMEC N., KOKALJ F.: REMODIO model za određivanje prosječne godišnje emisije CO<sub>2</sub> motornih cestnih vozila (1. faza putnička vozila), Automobil i ekologija, Ulcinj, 2003.
4. *Istraživanje realne potrošnje goriva kod vozila u Crnoj Gori (Rezultati ankete o povećanju potrošnje goriva u odnosu na fabrički deklarirane vrijednosti i upoređenje ECE potrošnje i potrošnje goriva pri testu vozila)*, Interni izvještaj Centra za motore i mobilne mašine, Mašinski fakultet-Podgorica, 2003.
5. Baza podataka MUP-a CG o registrovanim vozilima u Crnoj Gori 2003. godine.
6. NIKOLIĆ B., VUJADINOVIĆ R., NIKOLIĆ D., PAJKOVIĆ V., SIMOVIĆ S.: *Analiza emisije izduvnih gasova od vozila koja se nalaze u upotrebi na prostoru Crne Gore*, Izvor i Prenos Snage, Bečići, 2001.
7. NIKOLIĆ B., VUJADINOVIĆ R., PAJKOVIĆ V., SIMOVIĆ S., KUJOVIĆ D., NIKOLIĆ D.: *Exhaust Emission From Vehicles In Montenegro*, Fisita 2002, Helsinki 2002.
8. VUJADINOVIĆ R.: *Stanje izduvne emisije motornih vozila u eksploataciji*-Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2004.
9. VUJADINOVIĆ R., NIKOLIĆ D., NIKOLIĆ B.: *Exhaust emission from in use vehicles equipped with gasoline engines*, *Clean Air, Lisabon, 2005*.
10. Izvještaj A.D. Jugopetrol-Kotor o prodanim količinama goriva u Crnoj Gori za 2003.
11. POLJANČIĆ L., KALAUZ Z., Izvješće o kvaliteti ispušnih plinova motornih vozila u Republici Hrvatskoj temeljem EKO testa, Stručni bilten broj 101, Centra za vozila Hrvatske, Zagreb, rujan 2002.

UDK	ključne riječi	key words
504.3.054 : 546.262	zagađivači zraka, ugljikovi oksidi	pollutants of atmosphere, carbon oxides
621.43.019.9	emisija iz motornih vozila	automotive vehicle emission
519.2.001.57	simulacijski matematički model	mathematical simulation model
311.12 /.17 : 629.11	struktura i kretanje populacije vozila	vehicle population structure and trends
681.3.065	program za kompjuter	computer application programe
351.777(4)	EU program za čišće motorno gorivo 2007-2009	EU programe for clean motor fuel 2007-2009
(497.12 )	Crna Gora	Montenegro

**Authors:**

doc. dr. Radoje Vujadinović, e-mail: [radojev@cg.yu](mailto:radojev@cg.yu)

doc. dr. Danilo Nikolić, e-mail: [dannikol@cg.yu](mailto:dannikol@cg.yu)

Univerz. Crne Gore, Mašinski fak. Podgorica, Cetinjski put bb, 81000, Podgorica, Crna Gora

emeritus prof. dr. Želimir Dobovišek, e-mail: [zelimir.dobovisek@uni-mb.si](mailto:zelimir.dobovisek@uni-mb.si)

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, SI-2000 Maribor, Smetanova 17, Slovenija

**Received:**

13.7.2006.