

ANALIZA UVOĐENJA PUTARINE NA EMISIJE ŠTETNIH GASOVA: POREĐENJE AUTOPUTA „MILOŠ VELIKI“ I „IBARSKJE MAGISTRALE“

Marija Mladenović¹

¹ Saobraćajni fakultet u Beogradu, mladenovicmarija.ing@gmail.com

Rezime: Predmet istraživanja je analiza raspodele saobraćaja između autoputa „Miloš Veliki“ i alternativnog putnog pravca „Ibarska magistrala“ nakon uvođenja putarine. Cilj rada je da se ispita da li uvođenje putarine menja rutu vozača, povećava broj vozila na Ibarskoj magistrali i utiče na količinu štetnih gasova usled češćeg kočenja i stajanja. Posmatra se period pre i nakon puštanja autoputa u saobraćaj (2018-2025. godine).

Istraživanje se zasniva na zvaničnoj statistici saobraćajnog opterećenja broja vozila po vrsti vozila i kategoriji puta (autoput ili alternativni putni pravac) i pređenim kilometrima po deonicama puta u Republici Srbiji. Takođe, korišćena je metodologija dodele emisionog faktora po COPERT metodologiji, koja omogućava procenu emisija štetnih gasova po vrsti vozila (putnički automobili, laka, srednja i teška vozila i autobusi) i kategoriji puta. Istraživanje je sprovedeno upotrebom deskriptivne statistike i korelacione analize u statističkom programu SPSS-u. Rezultati su pokazali da nakon uvođenja putarine dolazi do preraspodele saobraćajnih tokova između autoputa i alternativnog putnog pravca, pri čemu je izraženije saobraćajno opterećenje zabeleženo na autoputu „Miloš Veliki“. Istovremeno, utvrđeno je da autoput A2 ostvaruje više procenjene količine štetnih gasova u odnosu na alternativni putni pravac IB 22. Takođe, potvrđena je statistički značajna povezanost između prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i procenjene količine emisija na posmatranim putnim pravcima.

Ključne reči: autoput, magistralni put, Ibarska magistrala, Miloš Veliki, emisioni faktor, emisije gasova, PGDS.

ANALYSIS OF THE INTRODUCTION OF TOLLS ON HARMFUL GAS EMISSIONS: A COMPARISON OF THE “MILOŠ VELIKI” MOTORWAY AND THE “IBAR HIGHWAY”

Abstract: The subject of this research is the analysis of traffic distribution between the “Miloš Veliki” motorway and the alternative road route “Ibarska magistrala” following the introduction of toll collection. The aim of the study is to examine whether the introduction of toll collection changes drivers’ route choice, increases the number of vehicles on the Ibarska magistrala, and affects the estimated amount of harmful emissions due to more frequent braking and vehicle stops. The period before and after the opening of the motorway is observed (2018-2025).

The research is based on official statistical data on traffic volume, including the number of vehicles by vehicle category and road type (motorway or alternative road route), as well as road section lengths in the Republic of Serbia. In addition, the COPERT methodology for assigning emission factors was applied, enabling the estimation of harmful emissions according to vehicle category (passenger cars, light, medium and heavy-duty vehicles, and buses) and road type. The research was conducted using descriptive statistics and correlation analysis in the SPSS statistical software package. The results showed that following the introduction of toll collection, traffic flows were redistributed between the motorway and the alternative road route, with higher traffic volume recorded on the “Miloš Veliki” motorway. At the same time, it was found that the A2 motorway generated higher estimated amounts of harmful emissions compared to the alternative road route IB22. In addition, a statistically significant relationship was confirmed between Annual Average Daily Traffic (AADT) and the estimated amount of emissions on the observed road routes.

Keywords: motorway, main road, Ibar Highway, Miloš Veliki, emission factor, gas emissions, AADT.

1. UVOD

Saobraćaj omogućava kretanje ljudi, robe i usluga, što ga čini osnovom ljudske dobrobiti i neophodnom infrastrukturom za savremeni život. Ipak, sa aspekta održivog razvoja, saobraćajni sektor se suočava sa mnogobrojnim izazovima (Mo & Wang, 2019). Drumski saobraćaj jedan je od najvećih izvora zagađenja vazduha. Procene Svetske zdravstvene organizacije su da doprinosi do 50% štetnih emisija u zemljama OECD-a i oko 30% u evropskim gradovima (Vosough i sar., 2020). Zagađenje vozila štetnije je po zdravlje nego zagađenje iz drugih izvora jer se ljudi često nalaze u blizini ili unutar vozila i izloženi su direktnom zagađenju (McCubbin & Delucchi, 2003). Drumski saobraćaj ima značajan doprinos klimatskim promenama. U Evropskoj uniji odgovoran je za 20,4% ukupnih emisija gasova sa efektom staklene bašte. Shodno tome, EU je u julu 2021. godine usvojila Akcioni plan za nultu stopu zagađenja sa ciljem da do 2030. godine zagađenja vazduha bude manje za 55% u odnosu na 2005. godinu (EEA, 2024a). U tom kontekstu, Evropska komisija je u oktobru 2022. godine predložila i reviziju direktiva o kvalitetu vazduha (EEA, 2024b). Cilj tih izmena je da se standardi kvaliteta vazduha dodatno usklade sa smernicama Svetske zdravstvene

¹ Autor zadužen za korespondenciju: mladenovicmarija.ing@gmail.com

organizacije, kao i to da se do 2050. godine postigne klimatska neutralnost. Kako bi se to postiglo, neophodno je smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte u svim sektorima privrede. Međutim, za razliku od drugih sektora koji su u proteklim decenijama uspeali da smanje emisije, iz saobraćaja emisije gasova sa efektom staklene bašte, kao i pojedinih zagađujućih materija poput amonijaka (NH₃) i azotnog oksida (N₂O), i dalje rastu. U 2022. godini emisije gasova sa efektom staklene bašte iz sektora saobraćaja činile su približno četvrtinu ukupnih emisija Evropske unije (EEA, 2024a). Predlozi u cilju smanjenja zagađenja uključuju strožije standarde emisija za nova vozila (Vosough i sar., 2020). Štetne emisije regulišu se kroz evropske standarde emisija (poput Euro standarda za drumska vozila), kao i kroz zahteve u vezi sa kvalitetom goriva. Shodno tome, nedavno je usvojen Euro 7 standard koji predviđa strože zahteve u pogledu izduvnih emisija kod teških vozila. Uprkos unapređenjima i tekućim procesima dekarbonizacije u sektoru saobraćaja, zagađenje vazduha će i dalje predstavljati ozbiljan izazov u budućnosti. Emisije koje ne potiču iz izduvnih gasova, uključujući i one kod električnih vozila, kao i emisije pojedinih regulisanih ili još uvek neregulisanih jedinjenja iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji koriste goriva sa nultim ili smanjenim ugljeničnim otiskom, i dalje će imati značajan uticaj (EEA, 2024b).

Ovaj rad ispituje saobraćajno opterećenje i procenjene količine štetnih emisija na autoputu "Miloš Veliki" i alternativnom putnom pravcu "Ibarska magistrala". Predmet analize je da li je uvođenje režima naplate putarine doprinelo promeni raspodele saobraćajnih tokova, smanjenju procenjene količine štetnih gasova i optimizaciji saobraćaja na posmatranim putnim pravcima.

2. PREGLED LITERATURE

Naplata putarina dugo se promoviše kao instrument za smanjenje broja vozila na putevima, ali ona takođe može imati značajnu ulogu u smanjenju emisija vozila. Prema istraživanju Vosough i sar. (2020) naplata putarine povećava prosečne brzine kretanja, smanjuje prosečno vreme putovanja i smanjuje emisije. Naplate putarine su vrlo efikasne u smanjenju gužvi bez značajnog povećanja troškova za putnike. Promovisanje putarine kao sredstva za smanjenje emisija, pored kontrole gužvi, moglo bi poboljšati javnu prihvatljivost naplate.

Istraživanje Bandeira i sar. (2013) ukazalo je da izbor rute vozača može uticati na stopu emisija, pri čemu brže saobraćajnice, kao što je to autoput, mogu dovesti do nižih emisija CO₂ u odnosu na sporije alternativne putne pravce. Ipak, to može značiti veće emisije drugih zagađivača, poput ugljen-monoksida (CO), uglavnom zbog ponašanja vozača (Bandeira i sar., 2013).

Istraživanja Fernandes i sar. (2019) pokazala su da štetne emisije na autoputu mogu predstavljati oko 80% ukupnih zagađenja kada se uzmu u obzir buka, gužve i nesreće. Istraživanje Sampaio i sar. (2021) u kome se vršilo poređenje emisija i troškova za korisnike (putarine) pokazalo je da je jedna od najboljih strategija za smanjenje troškova povezanih sa emisijama osigurati da opcija sa nižim troškovima korisnika bude istovremeno i opcija sa nižim troškovima emisija (Sampaio i sar., 2021). U ovom kontekstu, naplata putarine se smatra efikasnim načinom za smanjenje emisija, jer može uticati na ponašanje vozača (Wen & Eglese, 2016) i ublažiti ekonomske nejednakosti (Anas, 2020).

Prema Bandeira i sar. (2017) dobro planiranje i izbor rute vozača (princip *eco-routing*) može smanjiti ekološki uticaj za oko 9% uz relativno mali uticaj na vreme putovanja. Procena ekoloških uticaja drumskog saobraćaja može se koristiti za usmeravanje izbora rute vozača i kao dopuna sistemima naplate putarine (Agarwal i Koo, 2016).

U Republici Srbiji se konstantno povećava mreža autoputeva i dužina autoputeva iznosi 977 km. Predmet analize ovog rada je autoput Miloš Veliki čija je dužina izgrađenog dela autoputa 118 km. Uvođenje putarine uticalo je na raspodelu saobraćajnih tokova između autoputa ("Miloš Veliki") i alternativnog putnog pravca ("Ibarska magistrala") (Glavić, 2023).

Autoput "Miloš Veliki" deo je evropskih puteva E763 (Beograd-Čačak) i E761 (Čačak-Boljare). Na delu od Beograda, autoput "Miloš Veliki" paralelno se pruža sa "Ibarskom magistralom". Autoput A2 ima ukupno šest deonica, dok put IB 22 ima 19 deonica na putu od Beograda do Preljina. Na autoputu određeni broj vozila, posebno teški kamioni, izbegavaju plaćanje putarina i na taj način povećavaju troškove održavanja putne mreže i količinu emitovanih polutanata (Glavić, 2023).

3. METODOLOŠKI OKVIR ISTRAŽIVANJA - ANALIZA (KOLIČINE) ŠTETNIH GASOVA U USLOVIMA UVOĐENJA PUTARINE: POREĐENJE AUTOPUTA „MILOŠ VELIKI“ I ALTERNATIVNOG PUTA „IBARSKA MAGISTRALA“

Predmet istraživanja je analiza distribucije saobraćaja između autoputa „Miloš Veliki“ i alternativnog putnog pravca „Ibarska magistrala“ nakon uvođenja putarine. Cilj rada je da se ispita da li uvođenje putarine menja rutu vozača, povećava broj vozila na Ibarskoj magistrali i utiče na količinu štetnih gasova usled češćeg kočenja i stajanja. Posmatrani vremenski period je 2018-2025. godine, odnosno period pre i nakon puštanja autoputa u saobraćaj.

Istraživanje se zasniva na zvaničnoj statistici saobraćajnog opterećenja, odnosno broju vozila prema vrstama vozila i kategoriji puta (autoput A2 „Miloš Veliki“ ili alternativni putni pravac IB 22 „Ibarska magistrala“), kao i podacima o dužini deonice na posmatranim putnim pravcima. U prvom delu istraživanja primenjena je metoda ponderisanja vrednosti prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS). U drugom delu istraživanja primenjena je COPERT metodologija za dodelu emisionog faktora prema vrsti vozila i kategoriji puta na osnovu čega je procenjena količina štetnih emisija za putničke automobile, laka, srednja i teška vozila, autobuse i auto-vozove na posmatranim putnim pravcima.

Predložene hipoteze:

Hipoteza 1: „Nakon uvođenja putarine na autoputu „Miloš Veliki“, menja se raspodela saobraćaja između autoputa i alternativnog putnog pravca „Ibarska magistrala“

Hipoteza 2: „Alternativni putni pravac ima veću procenjenju količinu štetnih gasova u odnosu na autoput sa režimom naplate putarine“

Hipoteza 3: „Postoji statistički značajna povezanost između broja vozila i procenjene količine štetnih gasova na posmatranim putnim pravcima“

3.1. Statistika i rezultati istraživanja broja vozila po kategorijama puta u Republici Srbiji

Analiza saobraćajnog opterećenja na kategorijama puta A2 (autoput „Miloš Veliki“) i IB 22 (magistralni put „Ibarska magistrala“), sprovedena je primenom metode ponderisanja vrednosti prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS). Cilj je da se ispita da li je u periodu 2018-2025. godine došlo do preraspodele saobraćajnih tokova sa magistralnog puta na autoput, odnosno da li je došlo do optimizacije saobraćajnih ruta. Analiza je sprovedena za ukupan PGDS koji čine sledeće kategorije vozila: putnički automobili, autobusi, laka, srednja i teška teretna vozila i auto-vozovi. Analiza saobraćajnih tokova vršena je primenom metode ponderisanja iz razloga što ona najtačnije daje odnos PGDS-a na starom i novom putu uzimajući u obzir veličinu PGDS-a i dužinu deonice sa tim PGDS-om. Metoda ponderisanja zasniva se na sledećoj formuli (Glavić, 2023):

$$PGDS_{pond} = \frac{\sum PGDS_i * Li}{\sum Li}$$

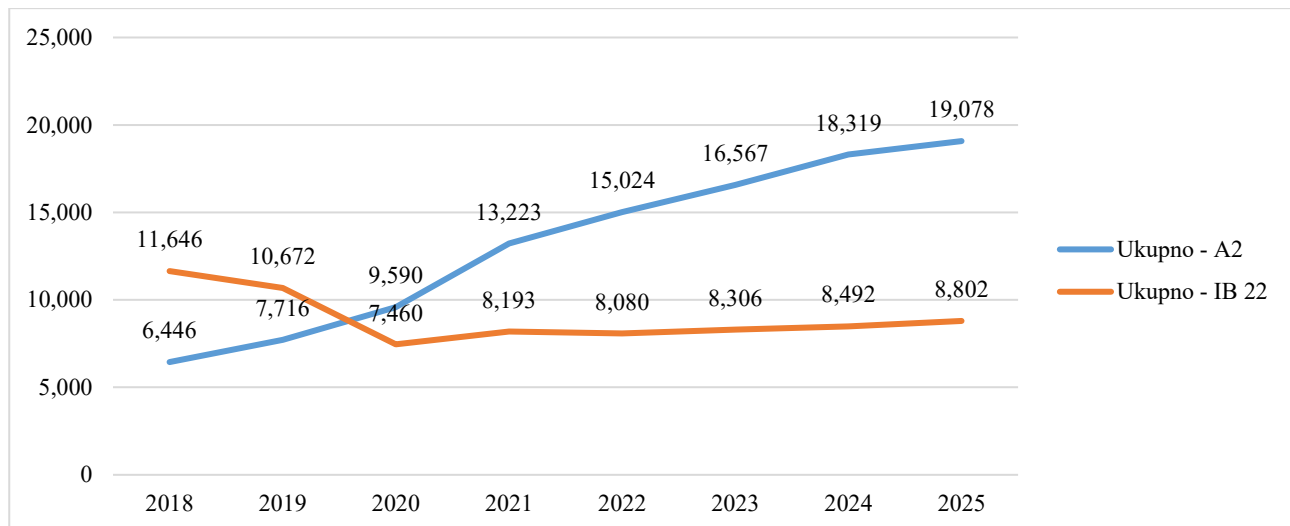
gde je:

$PGDS_{pond}$ - Ponderisana vrednost PGDS-a

$PGDS_i$ –PGDS na deonici

Li – Dužina deonice

Na grafikonu 1 prikazane su vrednosti ponderisanog PGDS-a duž celog puta od Beograda do Preljina za period 2018-2025. godine za puteve A2 i IB 22. Trend analiza pokazuje izraženije saobraćajno opterećenje na autoputu A2 u odnosu na alternativni pravac IB 22.



Grafikon 1. Uporedni prikaz ponderisanih vrednosti PGDS-a na putevima A2 i IB 22 od Beograda do Preljine
Izvor: (Autor na osnovu podataka Putevi Srbije, brojanje saobraćaja)

Tabela 1 prikazuje progresivan rast ponderisanih vrednosti PGDS-a na autoputu A2 u periodu 2018-2025. godine.

Tabela 1. Ponderisane vrednosti PGDS-a i lančani indeksi na putnim pravcima A2 i IB 22

Godine	Putni pravci			Lančani indeks	
	A2	IB 22	Ukupno	A2	IB 22
2018	6.446	11.646	18.093	-	-
2019	7.716	10.672	18.388	19,7%	-8,4%
2020	9.590	7.460	17.050	24,3%	-30,1%
2021	13.223	8.193	21.416	37,9%	9,8%
2022	15.024	8.080	23.104	13,6%	-1,4%
2023	16.567	8.306	24.873	10,3%	2,8%
2024	18.319	8.492	26.811	10,6%	2,2%
2025	19.078	8.802	27.880	4,1%	3,7%

Izvor: (Autor na osnovu podataka Putevi Srbije, brojanje saobraćaja)

Na autoputu A2 „Miloš Veliki“ ponderisana vrednost PGDS-a raste progresivno iz godine u godinu. U periodu 2018-2025. godine ponderisana vrednost PGDS-a povećana je sa 6.446 vozila na dan na 19.078 vozila na dan. Najizraženiji rast zabeležen je tokom 2021. godine i iznosi 37,9%. Na alternativnom putnom pravcu IB 22 „Ibarska magistrala“ prisutne su znatno manje oscilacije ponderisanih vrednosti PGDS-a. Nakon pada saobraćajnog opterećenja u 2020. godini od -30,1%, ponderisane vrednosti PGDS-a na IB 22 se stabilizuju na nivou između 8.000 i 8.800 vozila na dan.

Rezultati se dodatno potvrđuju obradom podataka u programu SPSS. Vrš se deskriptivna statistika saobraćajnog opterećenja na autoputu i alternativnom putnom pravcu. Predmet posmatranja su ponderisane vrednosti PGDS-a na putnim pravcima A2 i IB 22 za sve kategorije vozila (tabela 2).

Tabela 2. Uzorak

Varijable	Put	Posmatranja					
		Valid		Missing		Ukupno	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Ponderisani PGDS	A2	48	100,0%	0	0,0%	48	100,0%
	IB 22	48	100,0%	0	0,0%	48	100,0%

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Statistički uzorak su 96 posmatranja. To je broj vozila na dve kategorije puta - autoput (A2 „Miloš Veliki“) i alternativni putni pravac (IB 22 „Ibarska magistrala“) za period od 2018-2025. godine.

Deskriptivna statistika varijable ponderisane vrednosti PGDS-a prikazana je u tabeli 3.

Tabela 3. Deskriptivna statistika varijable ponderisana vrednost PGDS-a

	Put		Statistic	St.Greška
Ponderisani PGDS	A2	Aritmetička sredina	2207,5482	641,05493
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	917,9120
			Upper Bound	3497,1843
		5% Trimmed Mean	1577,0410	
		Medijana	269,4575	
		Varijansa	19725668,280	
		Std. Devijacija	4441,35883	
		Minimum	43,42	
		Maksimum	16484,41	
		Rang	16440,99	
		Interkvartilni rang	1079,84	
		Skjunis	2,301	,343
		Kurtozis	4,045	,674
	IB 22	Aritmetička sredina	1492,7519	414,07225
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	659,7460
			Upper Bound	2325,7578
		5% Trimmed Mean	1143,4555	
		Medijana	171,2145	
		Varijansa	8229879,771	
		Std. Devijacija	2868,77670	
		Minimum	101,07	
		Maksimum	9842,56	
		Rang	9741,49	
		Interkvartilni rang	416,76	
		Skjunis	1,934	,343
		Kurtozis	2,067	,674

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Aritmetička sredina vrednosti ponderisanog PGDS-a na autoputu A2 iznosi 2.207 dok na alternativnom putnom pravcu IB 22 iznosi 1.492. Medijana vrednosti ponderisanog PGDS-a na autoputu iznosi 269 dok na IB 22 iznosi 171, što ukazuje na veće saobraćajno opterećenje autoputa Miloš Veliki. Standardna devijacija vrednosti ponderisanog PGDS-a na A2 iznosi 4.441, dok na IB 22 iznosi 2.869, a to ukazuje na veću promenljivost saobraćajnog opterećenja na autoputu A2.

Vrednosti Skjunisa i Kurtozisa za obe grupe podataka ukazuju da podaci odstupaju od normalne raspodele. Distribucija podataka je pozitivno asimetrična i izdužena.

Ovakvi rezultati ukazuju na znatno izraženiju dinamiku rasta ponderisanih vrednosti PGDS-a na autoputu „Miloš Veliki“ nego na „Ibarskoj magistrali“. Faktori kao što su veća protočnost saobraćaja, viši nivo bezbednosti, stabilniji režim vožnje bez čestih stajanja i kočenja, kao što se to događa na alternativnom putnom pravcu, doprinose većoj atraktivnosti autoputa i njegovoj većoj upotrebi od strane učesnika saobraćaja u dugoročnoj perspektivi.

3.2. Statistika i rezultati istraživanja procenjene količine štetnih gasova po kategorijama puta u Republici Srbiji

Procena količine štetnih gasova izvršena je na osnovu podataka o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju po kategorijama vozila i dužini deonice, pri čemu su emisijni faktori dodeljeni prema kategoriji puta i vrsti vozila u skladu sa COPERT metodologijom². Na osnovu tako definisanih emisijnih faktora izvršena je procena količine štetnih gasova na dnevnom nivou na posmatranim putnim pravcima. Formula za procenu emisija iz vreljih izduvni gasova je (Ntziachristos & Samaras, 2025, str. 50):

$$Emisije (g/dan) = emisijni faktor (g/km) * PGDS (vozilo/dan) * dužina puta (km)$$

U emisijni faktor su uključeni sledeći polutanti: metan (CH₄), ugljen-monoksid (CO), EC, N₂O, amonijak (NH₃), azotni oksidi (NO_x) i PM čestice. Njihovim sabiranjem i izračunavanjem prosečnih vrednosti formiran je

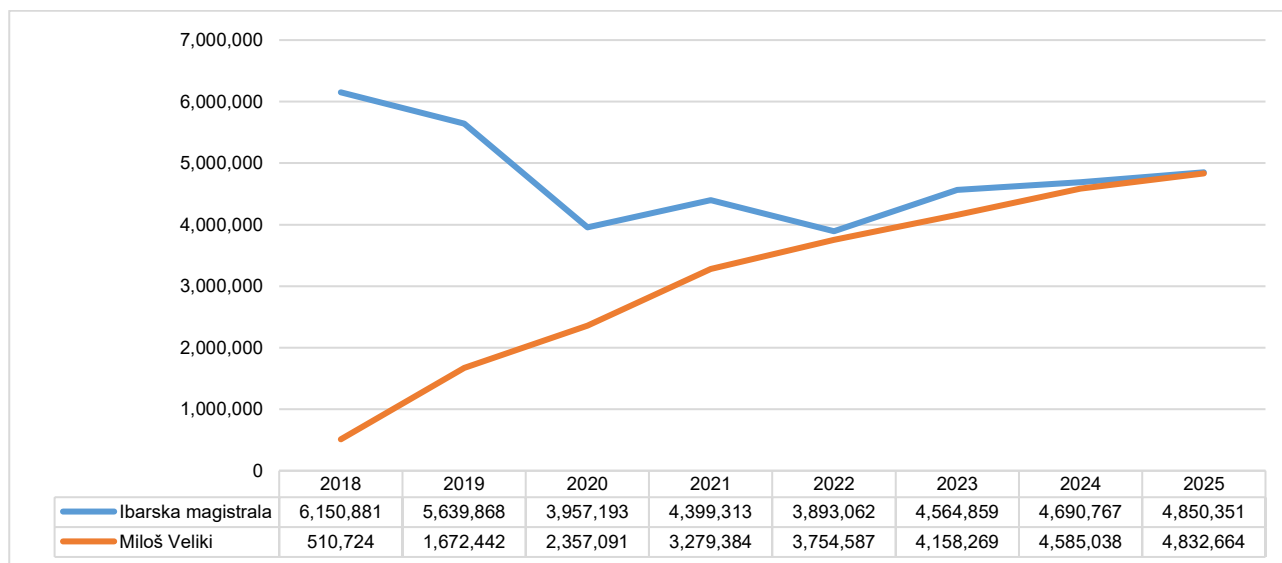
agregirani faktor, koji je korišćen u daljem obračunu procenjene količine štetnih gasova (tabela 4) na kategorijama puta prema vrsti vozila, uz podatke o dužini svake deonice puta i PGDS-a prema vrsti vozila.

Tabela 4. Dodeljeni emisijski faktor prema kategoriji puta i vrsti vozila u skladu sa COPERT metodologijom

Put	Vrste vozila	Emisioni faktor
Miloš Veliki	PA	2,393818856
Miloš Veliki	BUS	6,078386339
Miloš Veliki	LT	0,003681788
Miloš Veliki	ST	0,025063254
Miloš Veliki	TT	0,025063254
Miloš Veliki	AB	0,025063254
Ibarska magistrala	PA	4,85981794
Ibarska magistrala	BUS	6,086446629
Ibarska magistrala	LT	0,007059955
Ibarska magistrala	ST	0,041431194
Ibarska magistrala	TT	0,041431194
Ibarska magistrala	AB	0,041431194

Izvor: Autor prema COPERT metodologiji

Na osnovu prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja po deonicama puta i vrstama vozila izvršena je procena količine štetnih emisija na dnevnom nivou na svakoj kategoriji puta, prema vrstama vozila. Procenjene emisije su se računale za svaku deonicu posebno i svaku vrstu vozila primenom emisionog faktora izraženog u g/km. Nakon pojedinačnog obračuna, emisije su sabirane po deonicama i vrstama vozila i dobijen je sumarni prikaz procenjene dnevne količine štetnih gasova na autoputu A2 i magistralnom putu IB 22.



Grafikon 2. Procenjene količine dnevnih emisija na putevima A2 i IB 22 od Beograda do Preljine

Izvor: (Autor na osnovu podataka Putevi Srbije, brojanje saobraćaja; COPERT metodologija za dodeljeni emisijski faktor)

Grafikon 2 ukazuje na progresivan rast štetnih emisija na putnom pravcu A2. Rast je uslovljen većim brojem svih vrsta vozila, a posebno putničkih automobila na putu A2. Primetan je pad procenjenih količina štetnih emisija na putu IB 22, što je direktna posledica pada prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja.

Tabela 5. Procena dnevnih količina štetnih emisija vozila na putnim pravcima A2 i IB 22 od Beograda do Preljine

Godine	Putni pravci		Lančani indeks	
	A2	IB 22	A2	IB 22

2018	510.724	6.150.881	-	-
2019	1.672.442	5.639.868	19,7%	227%
2020	2.357.091	3.957.193	24,3%	41%
2021	3.279.384	4.399.313	37,9%	39%
2022	3.754.587	3.893.062	13,6%	14%
2023	4.158.269	4.564.859	10,3%	11%
2024	4.585.038	4.690.767	10,6%	10%
2025	4.832.664	4.850.351	4,1%	5%

Izvor: (Autor na osnovu podataka Putevi Srbije, brojanje saobraćaja)

U posmatranom periodu procenjene dnevne količine štetnih emisija na putu A2 pokazuju rast, sa 510.724 g po danu u 2018. godini na 4,8 miliona grama po danu u 2025. godini. Procenjene dnevne količine emisija na putnom pravcu IB 22 bile su izrazito visoke 6,151 miliona grama po danu. U narednom periodu došlo je do stabilizacije emisija i postepenog približavanja vrednostima sličnim na autoputu A2. Ovako dobijeni rezultati pokazuju da preraspodela saobraćajnih tokova između posmatranih putnih pravaca utiče i na promenu procenjene količine štetnih gasova u okviru posmatranog koridora.

Drugi deo istraživanja ispituje procenjene količine štetnih gasova na autoputu Miloš Veliki i alternativnom putnom pravcu „Ibarska magistrala“ na osnovu deskriptivne statistike, provere normalnosti raspodele podataka i utvrđivanja statističke značajnosti razlika primenom neparametarskog Mann-Whitney U testa (tabela 6).

Tabela 6. Uzorak

Varijable	Put	Posmatranja					
		Valid		Missing		Ukupno	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Štetne emisije	IB 22	996	100,0%	0	0,0%	996	100,0%
	A2	276	100,0%	0	0,0%	276	100,0%

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Statistički uzorak ima 996 posmatranja za alternativni putni pravac IB 22 i 276 posmatranja za autoput A2. Varijable su procenjene količine štetnih gasova u gramima na dan na dve kategorije puta za period od 2018-2025. godine.

Tabela 7. Deskriptivna statistika

	Put	Statistic		St.Greška
Štetne emisije	IB 22	Aritmetička sredina		38299,4925
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	30320,7564
			Upper Bound	46278,2285
		5% Trimmed Mean		13699,3176
		Medijana		65,3619
		Std. Devijacija		128317,849
		Minimum		,46
		Maximum		947555,15
		Rang		947554,69
		Interquartile Range		4016,85
		Skjunis		4,700
		Kurtozis		23,850
	A2	Aritmetička sredina		91123,9066
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	64564,4829
			Upper Bound	117683,3302
		5% Trimmed Mean		54262,4978
		Medijana		219,9884
		Std. Devijacija		224134,937
		Minimum		,28
		Maximum		1196270,26
		Rang		1196269,98
		Interquartile Range		11497,71
		Skjunis		2,671
		Kurtozis		6,684

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Deskriptivna statistika prikazuje procenjene količine štetnih gasova po kategorijama puta. Aritmetička sredina procenjenih emisija na putu IB 22 je 38.299 grama po danu, dok je aritmetička sredina procenjenih emisija na autoputu A2 91.124 grama po danu. Medijana procenjenih emisija na putu IB 22 je 65 grama po danu, dok na autoputu A2 iznosi 219 grama po danu, što ukazuje na veće procenjene emisije na autoputu „Miloš Veliki“ nego na alternativnom putnom pravcu „Ibarska magistrala“. Standardna devijacija procenjenih emisija na putu IB 22 iznosi 128.317 grama po danu, dok na autoputu A2 iznosi 224.134 grama po danu. Ovakav rezultat ukazuje na izraženiju varijabilnost podataka na obe kategorije puta. Distribucija podataka odstupa od normalne raspodele. Podaci su asimetrični, izduženi i nagnuti udesno, uz prisustvo ekstremnih vrednosti, zbog čega je u daljoj analizi opravdana primena neparametarskog statističkog testa za utvrđivanje statistički značajnih razlika (Mann-Whitney U test). Primenom tog testa ispitaće se da li postoji statistički značajna razlika u procenjenoj količini štetnih gasova između kategorija puta A2 i IB 22. Ispitaće se na kojoj kategoriji puta je veća procenjena količina štetnih emisija.

Tabela 8. Neparametarski test Mann-Whitney U

	Put	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Štetne emisije	IB 22	996	600,61	598208,00
	A2	276	766,01	211420,00
	Ukupno	1272		

	Štetne emisije
Mann-Whitney U	101702,000
Wilcoxon W	598208,000
Z	-6,619
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Rezultat Mann-Whitney U testa pokazuje da postoji statistički značajna razlika u procenjenim količinama štetnih emisija između autoputa i alternativnog putnog pravca ($Z = -6,619$; $p < 0,005$). Viši prosečni rang ima autoput „Miloš Veliki“ nego alternativni put „Ibarska magistrala“ što ukazuje na veće procenjene količine štetnih emisija na autoputu A2. Dobijeni rezultati odbacuju drugu hipotezu istraživanja H2: „Alternativni putni pravac ima veću procenjenu količinu štetnih gasova u odnosu na autoput sa režimom naplate putarine“

3.3. Korelaciona analiza broja vozila i procenjenih količina štetnih gasova na posmatranim kategorijama puta

Kako bi se ispitala statistička povezanost između prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i procenjene emisije štetnih gasova na putevima A2 i IB 22 upotrebljen je Spirmanov koeficijent korelacije (tabela 9).

Tabela 9. Korelacija

			Štetne emisije	PGDS
Spirmanov koeficijent korelacije	Štetne emisije	Koef.korelacije	1,000	,550
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		Posmatranja	1272	1272
	PGDS	Koef.korelacije	,550	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		Posmatranja	1272	1272

Izvor: (Autor u programu SPSS)

Spearmanov koeficijent korelacije ($r = 0,550$) ukazuje da je stepen statističke povezanosti između varijabli osrednji, a smer pozitivan. Veza je statistički značajna ($p < 0,05$). Rezultati ukazuju da sa povećanjem broja vozila raste i količina štetnih gasova na posmatranim putnim pravcima, odnosno prihvata se H3: „Postoji statistički značajna povezanost između broja vozila i procenjene količine štetnih gasova na posmatranim putnim pravcima.“

4. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja bio je da se ispita da li uvođenje režima naplate putarine utiče na raspodelu saobraćajnih tokova između kategorija puta A2 i IB 22, kao i to da li su te promene uticale na procenjene količine štetnih emisija za period 2018-2025. godine. Rezultati istraživanja pokazali su da nakon uvođenja režima naplate putarine dolazi do preraspodele saobraćajnih tokova između autoputa A2 i alternativnog putnog pravca IB 22, čime je potvrđena prva hipoteza istraživanja. Analiza vrednosti ponderisanog PGDS-a pokazala je da autoput „Miloš Veliki“ beleži stalni rast saobraćajnog opterećenja tokom celog posmatranog perioda, dok se na alternativnom putnom pravcu uočavaju manje oscilacije i stabilizacija saobraćaja u kasnijim godinama. Dobijeni rezultati ukazuju da se saobraćajni tokovi postepeno preusmeravaju ka autoputu, što potvrđuje promenu u izboru rute i rast korišćenja putnog pravca sa većom protočnošću i stabilnijim režimom vožnje. Druga hipoteza ispitivala je procenjene količine štetnih gasova na posmatranim putnim pravcima. Rezultati su pokazali da autoput A2 ostvaruje više procenjene količine štetnih gasova u odnosu na alternativni putni pravac IB 22, čime druga hipoteza istraživanja nije potvrđena. Dobijeni rezultati mogu se povezati sa rastom intenziteta saobraćaja i izraženijim korišćenjem autoputa tokom posmatranog perioda, što je uticalo i na više procenjene vrednosti emisije na autoputu „Miloš Veliki“ u odnosu na alternativni putni pravac. Treća hipoteza ispitivala je povezanost između PGDS-a i procenjene količine emisije štetnih gasova. Rezultati istraživanja potvrdili su da postoji statistički značajna povezanost između intenziteta saobraćaja i procenjene količine emisije na posmatranim putnim pravcima. Dobijeni rezultati potvrdili su da promene u obimu saobraćaja direktno utiču i na promene emisionog opterećenja oba putna pravca. Dobijeni rezultati mogu biti korisni u planiranju saobraćaja i definisanju mera usmerenih ka unapređenju protočnosti saobraćaja i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu. Ograničenje istraživanja odnosi se na činjenicu da procena količine štetnih gasova nije zasnovana na direktnim merenjima već na primeni COPERT metodologije i raspoloživim podacima o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju.

Literatura

- [1] Agarwal, S.; Koo, K. 2016. Impact of electronic road pricing (ERP) changes on transport modal choice. *Regional Science and Urban Economics*, 60: 1-11.
- [2] Anas, A. 2020. The cost of congestion and the benefits of congestion pricing: A general equilibrium analysis. *Transportation Research Part B: Methodological*, 136: 110-137.
- [3] Bandeira, J.; Almeida, T.; Khattak, A.; Roupail, N. 2013. Generating emissions information for route selection: Experimental monitoring and routes characterization. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 17(1): 1-15.
- [4] Bandeira, J.; Fernandes, P.; Fontes, T.; Pereira, S. 2017. Exploring multiple eco-routing guidance strategies in a commuting corridor. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(3): 190-202.
- [5] Fernandes, P.; Vilaca, M.; Macedo, E.; Sampaio, C.; Bahmankhah, B.; Bandeira, J.; Guarnaccia, C.; Rafael, S.; Fernandes, A.; Relvas, H.; Borrego, C.; Coelho, M. 2019. Integrating road traffic externalities through a sustainability indicator. *Science of The Total Environment*, 691: 483-498.
- [6] Glavić, D.; 2023. Uticaj izgradnje autoputa na veličinu i raspodelu saobraćajnih tokova: Primer slučaja autoputa A2 u Srbiji. Put i saobraćaj. *Journal of Road and Traffic Engineering*.
- [7] McCubbin, D.; Delucchi, M. 2003. The health effects of motor vehicle-related air pollution. In David A. Hensher and Kenneth J. Button, *Handbook of Transport and the Environment. Handbooks in Transport*, 4: 411-427.
- [8] Mo, F.; Wang, D. 2019. Environmental sustainability of road transport in OECD countries. *Energies*, 12(18): 3525.
- [9] Sampaio, C.; Coelho, M.; Macedo, E.; Bandeira, J. 2021. Emissions based tolls: Impacts on the total emissions of an intercity corridor. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101: 103093.
- [10] Vosough, S.; de Palma, A.; Lindsey, R. 2020. Pricing vehicle emissions and congestion using a dynamic traffic network simulator. *THEMA Working Paper 2020-09*: 1-45.
- [11] Wen, L.; Eglese, R. 2016. Minimizing CO₂e emissions by setting a road toll. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44: 1-13.
- [12] Ntziachristos, L. & Samaras, Z. (2025). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023-Update 2025 (COPERT 5.9 software version). International System of Industrial Classification (ISIC),

- dostupno na: <https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2025/10/1.A.3.b.i-iv-Road-transport-2025.pdf>, (20.01.2026.)
- [13] EEA, (2024a) Sustainability of Europe's mobility systems, doi: 10.2800/8560026, dostupno na. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems> (16.01.2026.)
- [14] EEA (2024B) Air pollution, dostupno na: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems/air-pollution?utm_source=chatgpt.com&activeTab=fa5ddc49-de8c-412e-8038-4194928658db (20.01.2026.)
- [15] Putevi Srbije, dostupno na: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php> (20.01.2026.)
- [16] COPERT, dostupno na: <https://copert.emisia.com/copert/methodology/> (20.01.2026.)