

ANALIZA UTICAJA TEHNOLOGIJA NAPLATE PUTARINE NA EMISIJU ŠTETNIH GASOVA

dr Draženko Glavić, dipl.inž.saobr.

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, drazen@sf.bg.ac.rs

Marina Milenković, mast.inž.saobr.

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu,
marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Miloš Petković, student osnovnih studija

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu,
milospetkovicds@gmail.com

Stručni rad

Rezime: Razvojem novih tehnologija stvoren je uslov za primenu različitih sistema ubiranja posebne naknade za upotrebu mreže autoputeva, odnosno putarine. Sistem elektronske naplate putarine (ENP) smatra se efikasnim sredstvom za poboljšanje uslova u saobraćajnom toku i smanjenje vremenskih gubitaka usled bezkontaktno naplate. Međutim, kao rezultat mnogobrojnih istraživanja, procenjeno je da je primenom sistema elektronske naplate putarine moguće ostvariti značajne koristi i u pogledu kvaliteta životne sredine, pre svega kvaliteta vazduha. Mnogo je teže odrediti uticaj ENP na životnu sredinu, odnosno na okolinu, nego na poboljšanje saobraćajnih performansi (zagušenja, redovi, vremenski gubici, kapacitet, bezbednost). Ipak, naučna procena uticaja ENP na uslove životne sredine je od suštinskog značaja za naknadno vrednovanje projekata ENP, a takođe pruža i važne instrukcije u pogledu budućih razvojnih strategija sistema. U ovom radu prikazan je pregled modela i rezultata istraživanja uticaja ENP na kvalitet vazduha, sa posebnim osvrtom na uporednu evaluaciju tradicionalnog ručnog sistema naplate putarine (sa obavezanim zaustavljanjem), elektronskog sistema koji zahteva redukciju brzine prilikom transakcije (bez zaustavljanja) i sistema višetravnog slobodnog protoka vozila.

Ključne reči: elektronska naplata putarine, životna sredina, kvalitet vazduha, emisija izduvnih gasova

ANALYSIS OF THE TOLL COLLECTION TECHNOLOGIES IMPACT ON THE AIR POLLUTION

Dr Draženko Glavić, Ph.D. T.E.

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade,
Vojvode Stepe 305, drazen@sf.bg.ac.rs

Marina Milenković, M.Sc. T.E.

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade,
Vojvode Stepe 305, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Miloš Petković, B.Sc candidate

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of
Belgrade, Vojvode Stepe 305, milospetkovicds@gmail.com

Professional paper

Abstract: Development of new technologies create conditions for applying various collecting systems of fee or charge i.e. toll for road usage. Electronic Toll Collection (ETC) system is considered an efficient tool for improving conditions in traffic flow and decreasing delays due to contactless payment. However, as the result of many researches, it is estimated that ETC system can achieve greater benefits considering environment quality – primarily air quality. It is much harder to determine the influence of ETC system on the environment, than on improving traffic performance (density, queues, delays, capacity, safety). Yet, the scientific estimation of the ETC influence on environment conditions is of essential importance for ETC projects evaluation, and it also offers important information considering future system developing strategies. This paper presents, overview of the models and influence of ETC researches on air quality, with special emphasis on comparison analysis of traditional manual toll system with stopping, electronic system that demands speed reduction without stopping and multiline free flow system.

Keywords: Electronic Toll Collection, environment, air quality, emission

1. UVOD

Svaka konstrukcija, građevina ili sistem infrastrukture koji je u procesu eksploatacije zahteva neophodno održavanje, rehabilitaciju ili rekonstrukciju tokom vremena, što pritom iziskuje određenu količinu novčanih sredstava. Shodno tome, autoputevi i pojedini putni objekti (mostovi, tuneli, itd.) nisu izuzetak. Počevši od samog procesa planiranja, projektovanja, izgradnje i puštanja putnog objekta u eksploataciju, pa sve do kraja životnog veka određenog putnog objekta, neophodno je ulaganje. Potrebna novčana sredstva se mogu prikupiti na direktan ili indirektan način. Metod indirektnog prikupljanja se zasniva na nadoknadi troškova raspodelom sredstava iz nacionalnog budžeta ili kroz razne poreze, naknade i takse, koje korisnici plaćaju prilikom kupovine i registracije vozila, odnosno prilikom kupovine pogonskog goriva i slično. Sa druge strane, kada je reč o direktnom metodu prikupljanja sredstava, govorimo o naplati putarine, odnosno direktnom ubiranju naknade od korisnika za upotrebu mreže autoputeva.

Putarina, kao izvor finansiranja, doprinosi razvoju putne infrastrukture i finansiranju novih investicija u putnu mrežu. Putarina ili naplata korišćenja infrastrukturnog objekta predstavlja cenu za korišćenje puteva, mostova, tunela i drugih infrastrukturnih objekata u svrhu povratka eksploatacije i održavanja infrastrukturnog objekta.

Postoji više načina naplate putarina počevši od tradicionalnog pristupa manuelne naplate, preko vinjeta, smart kartica, RFID, BAR kod i drugih elektronskih sistema, pa sve do savremenih GNSS/CN sistema i plaćanja putarine uz pomoć pametnih telefona.

Manuelna naplata putarine se oslanja na gotovinsko plaćanje za korišćenje autoputa koji ručno sprovodi osoblje naplate putarine. Za ovu vrstu naplate karakteristično je zadržavanje u redu, jer proces plaćanja traje određeni period. Vozač mora da zaustavi svoje vozilo i plati službeniku određeni iznos koji zavisi od karakteristika i klasifikacije vozila, kao i pređene udaljenosti koje je vozilo prešlo. Kada vozač završi plaćanje, podiže se rampa i prolaz je slobodan. Na ovim naplatnim rampama plaćanje je moguće izvršiti na više načina: gotovinski, čekovima ili kreditnim karticama. (Glavić, 2016) Izgled manualnog sistema naplate putarine prikazan je na **slici 1**.



Slika 1. Manelni sistem naplate putarine
Izvor: images.newindianexpress.com

Drugu vrstu naplate putarine čine sistemi elektronske naplate koje karakteriše plaćanje pri kojem korisnik nema dodira sa naplatnim kućicama niti blagajnicima. Drugim rečima, govorimo o elektronskim sistemima bezkontaktne naplate putarine. Naplata je automatska, vozilo se ne zaustavlja na naplatnoj rampi, već je potrebno samo da uspori vožnju, kako bi se uspostavio kontakt, prepoznao OBU i propustilo vozilo. Račun se ispostavlja jednom mesečno ili u okviru perioda koji korisnik može izabrati. Tehnologije koje pripadaju ovoj vrsti naplate ne predstavljaju uslove slobodnog toka, jer vozila moraju da redukuju brzinu kretanja na 10 km/h do 60 km/h zavisno od konfiguracije sistema. Na **slici 2** je prikazan sistem elektronske naplate putarine koji zahteva redukciju brzine prilikom transakcije.

Najsavremeniji način plaćanja putarine baziran je na sistemu višetračnog slobodnog protoka vozila, odnosno na otvorenom sistemu naplate. Ovaj sistem je dizajniran tako da vozila održavaju svoju brzinu i mogu da menjaju trake kretanja (uključujući i zaustavne trake), kada prolaze ispod naplatnog portala. Putarina se naplaćuje bezkontaktno i ne zahteva od vozača da preduzme bilo kakvu akciju osim vožnje.



Slika 2. Sistem elektronske naplate putarine koji zahteva redukciju brzine
Izvor: www.kapsch.net

Ovakav sistem iz tog razloga utiče na povećani nivo usluge u saobraćajnom toku i vozači praktično ne primećuju proces naplate putarine koji se obavlja automataski. U zavisnosti od načina plaćanja, korisnici mogu da biraju između plaćanja unapred i naknadnog plaćanja. Izbegavanje naplate putarine se kontroliše kroz primenu automatskog prepoznavanja registarskih tablica. Sistem naplate putarine baziran na višetračnom slobodnom protoku prikazan je na **slici 3**.



Slika 3. Sistem elektronske naplate putarine baziran na višetračnom slobodnom protoku vozila
Izvor: www.vonbraunlabs.com

Sa aspekta zaštite životne sredine značajan negativan uticaj saobraćaja ogleda se u zagađivanju vazduha. Svaki utrošeni litar fosilnog goriva sagorevanjem proizvede približno 100 g ugljenmonoksida, 20 g isparljivih organskih jedinjenja, 30 g azotnih oksida, 2,5 kg ugljen-dioksida i mnogih drugih štetnih i otrovnih materija kao što su jedinjenja sumpora i čvrste čestice. Sva ova jedinjenja u određenoj meri dovode do aerozagađenja, bilo direktnim uticajem na zdravlje ili globalno, npr. izazivanjem efekta staklene bašte (Papić i ostali, 2010). Shodno prethodno navedenom i činjenicom nepovoljnog režima rada motora u oblasti naplatnih stanica, nameće se potreba za analizom uticaja različitih sistema naplatne putarine na životnu sredinu, a naročito na aerozagađenje.

Sistemi elektronske naplate putarine (ENP) smatraju se efikasnim sredstvom za poboljšanje uslova u saobraćajnom toku i smanjenje vremenskih gubitaka usled bezkontaktne naplate.

Međutim, kao rezultat mnogobrojnih istraživanja, procenjeno je da je primenom sistema elektronske naplate putarine moguće ostvariti značajne koristi i u pogledu kvaliteta životne sredine, pre svega kvaliteta vazduha. Mnogo je teže odrediti uticaj ENP na životnu sredinu, odnosno na okolinu, nego na poboljšanje saobraćajnih performansi (zagušenja, redovi, vremenski gubici, kapacitet, bezbednost). Ipak, naučna procena uticaja ENP na uslove životne sredine je od suštinskog značaja za naknadno vrednovanje projekata ENP, a takođe pruža i važne instrukcije u pogledu budućih razvojnih strategija sistema.

2. PREGLED LITERATURE

Širom sveta, postoji više od 70 hiljada naplatnih rampi na kojima se dnevno opsluži preko 100 miliona vozila. Veliki broj sistema naplate, uključujući sistem u našoj zemlji, još uvek je baziran na tradicionalnom principu ručne naplate. Osnovni problem ovakvog sistema plaćanja ogleda se u stvaranju zagušenja i formiranju redova na naplatnim stanicama, što direktno utiče na povećanje potrošnje goriva i povećanje emisije izduvних gasova. Iz tog razlog se teži unapređenju sistema naplate i primeni inteligentnih transportnih sistema, kao što je elektronska naplata putarine. Ovakve tehnologije omogućavaju bezkontaktnu naplatu i obezbeđuju konstantan protok vozila, što ujedno utiče na smanjenje prethodno navedenih negativnih efekata. Upravo je ta redukcija izduvних gasova primenom ENP u odnosu na tradicionalnu metodu naplate podstakla istraživače da pokušaju da procene uticaj različitih sistema naplate putarina na okolinu.

Veliki broj studija su upravo bile bazirane na proceni redukcije aerozagađenja primenom ENP na naplatnim rampama. Margarida i ostali su 2005. godine razvili metodologiju za kvantifikovanje uticaja naplatnih rampi u pogledu emisije izduvних gasova. Pristup je bio zasnovan na eksperimentalnom merenju i pokušaju da se objasni veza između promenljivih koje su praćene (zaustavljanje, dužina reda i emisije). Jedan od rezultata je bio da je primenom ENP moguće redukovati emisiju CO₂ za 70% u odnosu na konvencionalni način plaćanja kada postoji red od 20 vozila, dok je za red od jednog vozila redukcija 11%. Sve veći broj studija je usmereno i na analizi tehnologija baziranih na višetračnom slobodnom protoku, odnosno otvorenom sistemu naplate i njihovim uticajima na zagađenje životne sredine.

Bartin i ostali (2006) su sproveli mikrosimulacijski proces vrednovanja promena nivoa štetnih materija u vazduhu kao rezultat implementacije ETC (Electronic Toll Collection) sistema naplate putarine

na mreži autoputeva u New Jersey-u. Za analizu su koristili mikrosimulacijski softver PARAMICS i osnovni cilj im je bio da utvrde kratkoročne i dugoročne uticaje ETC sistema. Praćeno je stanje ugljen-monoksida (CO), ugljovodonika (HC), azotovih oksida (NOx) i čestica (PM10), odnosno za svaki vremenski interval utvđena je emisija svakog od navedenih elemenata u zavisnosti od tipa vozila i brzine kretanja. Njihov rad je bio fokusiran na uticaj emisije izduvних gasova primenom ETC sistema u jutarnjem vršnom periodu (7⁰⁰-9⁰⁰).

U početku su analizirani kratkoročni uticaji na okolinu sa i bez ETC, simulirajući saobraćajne zahteve iz 1999. godine. Rezultati te analize pokazuju redukciju CO, HC i NOx za 36,3%, 47,2% i 28,2%, redom. Međutim, nivo emisije PM10 je povećan za 6,7%. Kada je reč o dugoročnoj analizi, ona je sprovedena u dva scenarija. Prvi scenario je analiza emisije od 1999. do 2005. bez ETC sistema, a drugi analiza u istom vremenskom periodu sa implementiranim ETC sistemom. Rezultati, pomalo neočekivano, pokazuju porast emisije zagađenja vazduha od 32,3% tokom jutarnjeg vršnog perioda. Na svim naplatnim stanicama zabeleženo je smanjenje nivoa CO i HC od 12% i 20%, ali je sa druge strane nivo emisije NOx i PM10 povećan za 20%, odnosno 96%, redom. Generalno, rezultati ovih analiza ukazuju da je primenom ETC sistema naplate putarine moguće ostvariti smanjenje nivoa zagađenosti u kratkoročnom periodu, međutim, analiza dugoročnih uticaja ukazuje da primena ovog sistema nije dovoljna da se kompenzuje porast saobraćajnih zahteva.

Perez – Martinez i ostali (2010) su u svom radu pokušali da procene potrošnju energije i emisiju ugljen-dioksida (CO₂) u zavisnosti od tri različita sistema naplate putarine, za četiri kategorije vozila: putnički automobil, lako teretno vozilo, autobus i teško teretno vozilo. Studija je sprovedena na autoputu AP-41 u Španiji, na deonici između Toledoa i Madrida. Jedan od sistema naplate putarine je bio tradicionalan način plaćanja (Manual), drugi primenom sistema ETC, dok je treći bio baziran na slobodnom toku, odnosno otvorenom sistemu plaćanja putarine - ORT (Open Road Tolling).

Manual sistem je u sklopu analize potrošnje energije koncipiran iz tri koraka, odnosno faza: faza usporavanja, faza opsluživanja gde vozilo stoji i faza ubrzavanja. Ukoliko na naplatnim rampama postoji formirana kolona vozila javlja se i faza čekanja u redu. Kod ETC sistema u formuli figurišu samo dve faze, odnosno faza usporavanja i ubrzavanja, dok u slučaju ORT ne postoje faze, jer vozilo ne menja svoju brzinu kretanja prilikom prolaska kroz naplatni portal.

Utvrđeno je da su potrošnja energije i emisija ugljen dioksida u bliskoj vezi sa masom vozila, efikasnošću motora, izloženošću vetru i stepenom ubrzanja. Ovi parametri direktno ili indirektno utiču na spoljne sile koje određuju potrošnju energije. Sama primena različitih sistema naplate utiče na jačinu pomenutih sila i na taj način, sistem naplate putarine može imati veliki uticaj na energetska efikasnost celekupnog saobraćajnog sistema.

Model koji su autori koristili u analizi potrošnje efikasnosti ($U_{i,j}$) je sledeći:

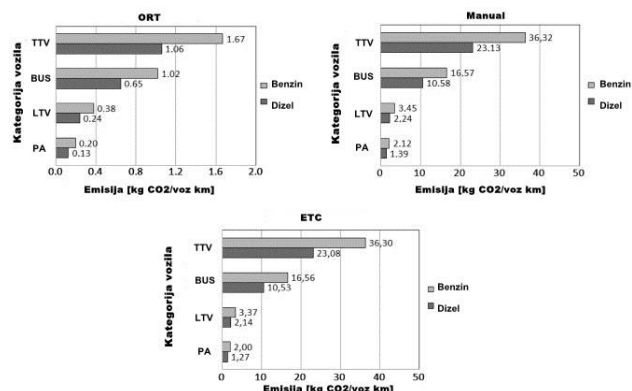
$$U_{i,j} = L^{-1} \left[C_i \times M_{fr} \times a \times d_i + C_r \times P \times \cos\theta \times d_g + (1/2) \times \rho \times C_d \times A_j \times V_r^2 \times d_a + \left(\frac{m^2 V^4}{R^2 C_{av}} \right) \times d_c \right] \times \eta_{motor} \times e_v$$

gde su:

- C_i – korekcionni faktor u zavisnosti od mase vozila
- M_{fr} – korekcionni faktor u zavisnosti od mase vozila prilikom skretanja
- a – ubrzanje
- d – usporenje
- C_r – otpor kotrljanja
- P – težina vozila
- θ – poprečni nagib
- ρ – gustina vazduha
- C_d – otpor klizanja
- A_j – čeona površina vozila
- V – brzina vozila
- η_{motor} – efikasnost motora
- e_v – faktor izloženosti vetru
- L – dužina deonice
- R – poluprečnik od centra gravitacije
- C_{av} – korekcionni faktor krutosti prilikom skretanja
- m – masa vozila

Nakon utvrđivanja uoštene energije, odnosno energetske efikasnost, takođe je utvrđen intenzitet ugljenika u zavisnosti od količine potrošenog goriva za svaku od kategorije vozila.

Rezultati koji su dobijeni ovom analizom prikazani su na slici 4.



Slika 4. Rezultati analize emisije CO₂
Izvor: Perez – Martinez, 2010

Hernandez i ostali su dve godine kasnije (2012), takođe, sprovedili studiju uticaja naplatnih sistema na emisiju CO₂ koja se bazirala na istoj metodologiji kao i studija prethodno navedenih autora, ali uz delimično modifikovan obrazac za proračun potrošnje energije.

Analiza je izvršena na autoputu u Španiji, u dužini od 3024 km. Osnovni cilj njihovog rada se ogledao u uporednoj analizi potrošnje energije, odnosno emisije ugljen-dioksida (CO₂) primenom različitih sistema naplate putarine (Manual, ETC i ORT).

S obzirom da sistem ORT ne prouzrokuje nikakve promene u kretanju vozila, autori su analizu emisije za ovaj sistem izvršili na osnovu već postojeće metodologije bazirane na modelu COPERT IV. Sa druge strane analiza ukupne potrošnje energije (U_k) u slučaju ostalih sistema naplate sprovedena je primenom sledećeg obrazaca:

$$U_k = \left[C_i \times M_{fr} \times a \times d_i + C_r \times P \times \cos\theta \times d_r + (1/2) \times \rho \times C_d \times A_j \times V_r^2 \times d_a \right] \times (1/\eta_{motor}) \times e_v$$

Kao i u prethodnoj studiji, i u ovoj je nakon utvrđivanja utrošene energije, odnosno energetske efikasnosti, utvrđen intenzitet ugljenika u zavisnosti od količine potrošenog goriva za svako vozilo. Ekspandiranjem rezultata na celokupnu potražnju, tj. ukupan broj vozila određene su emisije ugljen-dioksida svakog od sistema.

Ovakva analiza je sprovedena za radne dane i dane vikenda, na dve naplatne stanice:

- San Rafael – PGDS od 16043 voz/dan, 21% komercijalnih vozila u toku radnih dana i PGDS od 18728 voz/dan, 13% komercijalnih vozila za dane vikenda;
- Sanchidrian – PGDS od 8095 voz/dan, 13% komercijalnih vozila u toku radnih dana i PGDS od 10209 voz/dan, 5% komercijalnih vozila za dane vikenda.

Rezultati do kojih su autori došli su prikazani u tabeli 1.

Rezultati prikazuju da je primenom savremenijih sistema naplate putarine moguće ostvariti uštede u pogledu smanjenja emisije ugljen-dioksida na godišnjem nivou i preko 70% primenom ORT sistema i preko 20% primenom ETC sistema.

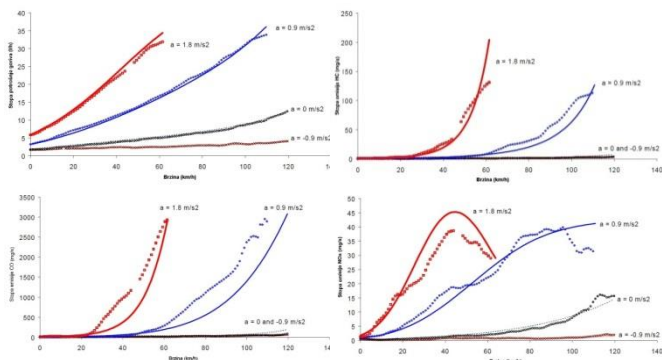
Tabela 1. Rezultati emisije CO₂

Lokacija	Sistem naplate	Radni dani		Dani vikenda	
		Emisija CO ₂ (tCO ₂ /dan)	Godišnje uštede CO ₂ (%)	Emisija CO ₂ (tCO ₂ /dan)	Godišnje uštede CO ₂ (%)
San Rafael	Postojeći	11,52		11,43	
	Manual	12,19	-5,76%	11,84	-3,56%
	ETC	9,01	21,87%	8,70	23,92%
Sanchidrian	Postojeći	5,43		6,10	
	Manual	5,69	-4,71%	6,31	-3,31%
	ETC	4,19	22,81%	4,63	24,19%
	ORT	1,63	70,01%	1,85	69,68%

Izvor: Hernandez i ostali, 2012

3. METODOLOGIJA

Shodno navedenim problemima i dokazanim uticajima različitih sistema naplate putarina na životnu sredinu, u ovom radu je takođe sprovedena slična analiza. Naime, analizirana je potrošnja goriva, kao i emisija izduvnih gasova, odnosno ugljen-dioksida (CO₂), ugljovodonika (HC), ugljen-monoksida (CO) i azotnih oksida (NO_x). Osnovni pristup analizi je zasnovan na promenama brzine kretanja vozila prilikom transakcije u slučajevima različitih sistema naplate. Pored toga, u analizu je uključen i uticaj ubrzanja i usporenja prilikom promena brzine. Kao osnov za analizu potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova u zavisnosti od promena brzine korišćeni su podaci koje su u svom radu primenili Rakha i ostali (2000). Prikaz odnosa brzina (ubrzanja/usporenja) i potrošnje goriva, odnosno emisija izduvnih gasova, prikazan je na slici 5.

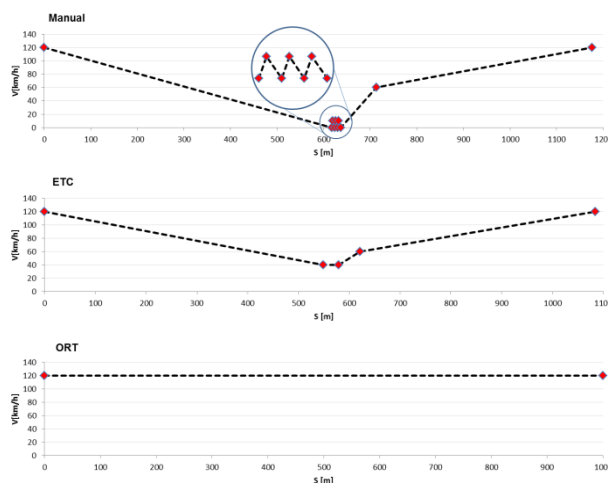


Slika 5. Prikaz odnosa brzina (ubrzanja/usporenja) i potrošnje goriva, odnosno emisija izduvnih gasova
Izvor: Rakha i ostali, 2000

Ograničenja u samoj analizi uticaja različitih sistema naplate putarina na životnu sredinu, ogledaju se u nedostatku referentnih i pouzdanih podataka o međusobnom odnosu brzina, odnosno ubrzanja / usporenja i potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova za kategorije teretnih vozila i autobuse. Iz tog razloga celokupna procena u ovom radu sprovedena je samo za kategoriju putničkih automobila.

Polazna osnova u određivanju vrednosti cikličnih promena brzina zasnovana je na empirijskim podacima. Kod svih sistema naplate pretpostavlja se početna brzina od 120 km/h.

Kada je reč o sistemu ručne naplate (Manual), zbog načina funkcionisanja samog sistema, vozila moraju u potpunosti da se zaustave, provedu određeno vreme čekajući u redu (u analizi je pretpostavljeno da u trenutku dolaska vozila na naplatnu stanicu, postoji formiran red od tri vozila), pa potom ubrzaju do početne brzine od 120 km/h. Kod sistema elektronske naplate (ETC), vozila se ne zaustavljaju, već samo redukuju svoju brzinu na 40 km/h prilikom prolaska naplatne stanice i potom ubrzavaju do početne brzine. Što se tiče sistema naplate baziranom na slobodnom protoku, odnosno otvorenog sistema naplate (ORT), tu ne postoji redukcija brzine, već se vozila kreću konstantnom brzinom od 120 km/h. Grafički prikaz cikličnih promena brzina prikazan je na slici 6.



Slika 6. Ciklične promene brzina u slučaju različitih sistema naplate putarine Izvor: Autori rada, 2017

U tabeli 2 su prikazane vrednosti brzina kretanja vozila, vremena i rastojanja koja su potrebna vozilima za svaku od faza usporenja, odnosno ubrzanja i kretanja konstantnom brzinom, kao i vrednosti samih ubrzanja / usporenja.

Tabela 2. Vrednosti brzina, vremena, rastojanja i ubrzanja za svaku od faza

Sistem naplate	Brzina (km/h)	t (s)	S (m)	a (m/s ²)
Manual	120 – 0	37,03	617,16	-0,9
	0 – 10	1,54	2,13	1,8
	10 – 0	3,09	4,30	-0,9
	0 – 60	9,26	77,17	1,8
	60 – 120	18,51	462,74	0,9
ETC	120 – 40	24,69	548,60	-0,9
	40	2,70	30,00	0
	40 – 60	3,09	42,92	1,8
	60 – 120	18,51	462,74	0,9
ORT	120	30,00	1000,00	0

Izvor: Autori rada, 2017

4. REZULTATI

Svi dobijeni rezultati, počevši od potrošnje goriva do emisije izduvnih gasova, u zavisnosti od različitih sistema naplate putarine, svedeni su na vrednost iskazanu u gramima po jednom kilometru (g/km) po jednom vozilu.

4.1. Potrošnja goriva (Fuel consumption – FC)

Rezultati sprovedene analize, kada je u pitanju potrošnja goriva u okviru naplatnih stanica, prikazuju da je primenom sistema slobodnog toka moguće ostvariti uštede u potrošnji kod pojedinačnog vozila i do 50% u odnosu na sistem tradicionalnog - manualnog plaćanja putarine. Drugim rečima, potrošnja goriva pojedinačnog vozila u sistemu ručne naplate iznosi 205,41 g/km, dok kod sistema slobodnog toka ta vrednost iznosi 104,17 g/km. U slučaju primene sistema elektronske naplate, moguće su uštede u odnosu na manualni sistem od 14%, odnosno primenom sistema elektronske naplate ostvaruje se potrošnja goriva jednog vozila od 177,29 g/km.

4.2. Emisija ugljen-dioksida (CO₂)

Emisija ugljen-dioksida se procenjuje na osnovu potrošnje goriva, uz pretpostavku da sadržaj ugljenika u gorivu u potpunosti oksidira u CO₂. Obrazac za procenu emisije ugljen-dioksida je preuzet iz modela za proračun emisije izduvnih gasova COPERT IV i glasi:

$$E_{CO_2} = 44,011 \times \frac{FC}{12,011 + 1,008 \times r_{H:C} + 16,000 \times r_{O:C}}$$

gde je:

E_{CO_2} – emisija ugljen-dioksida

FC – potrošnja goriva

$r_{H:C}$ – odnos vodonika i ugljenika ($r_{H:C} = 1,8 (2,0)$)

$r_{O:C}$ – odnos kiseonika i ugljenika ($r_{O:C} = 0,0$)

Analiza rezultata emisije CO₂ prikazuje da je i u ovom slučaju moguće ostvariti značajne uštede primenom savremenih sistema naplate putarine. Naime, primenom tradicionalnog sistema, u oblasti naplatne stanice, po jednom vozilu se ostvaruje emisija ugljen-dioksida od 0,82 g/km, kada je reč o elektronskoj naplati emisija iznosi 0,56 g/km, dok je kod sistema slobodnog protoka emisija CO₂ svedena na 0,33 g/km.

4.3. Emisija ugljovodonika (HC)

Rezultati emisije ugljovodonika prikazuju da je kod sistema naplate koji je baziran na slobodnom toku moguće ostvariti znatno veće uštede u odnosu na primenu ostala dva modela. Emisija HC pojedinačnog vozila u slučaju slobodnog toka iznosi 0,15 g/km, dok je vrednost emisije za elektronski sistem i sistem ručne naplate, 1,38 g/km i 1,59 g/km, redom.

4.4. Emisija ugljen-monoksida (CO)

Kao i u prethodnom slučaju, tako i u slučaju emisije ugljen-monoksida značajno veće uštede se mogu ostvariti primenom otvorenog sistema naplate u odnosu na manualni i elektronski sistem. Emisija CO za najpovoljniji sistem iznosi 5,40 g/km po vozilu, za sistem elektronske naplate 27,58 g/km, dok kod manualnog sistema emisija iznosi 29,13 g/km. Iz razloga što je emisija ugljen-monoksida u bliskoj vezi sa promenom brzine kretanja, odnosno procesom ubrzavanja vozila, ovakvi rezultati nisu iznenađujući.

4.5. Emisija azotnih oksida (NO_x)

Na kraju, i rezultati emisije azotnih oksida, takođe prikazuju da je najveća emisija izduvnih gasova koncentrisana kod sistema sa ručnom naplatom putarine (0,82 g/km), potom kod sistema sa elektronskom naplatom (0,76 g/km), dok je očekivano najmanja emisija azotnih oksida po pojedinačnom vozilu prilikom konstantne brzine kretanja u sistemu naplate baziranom na slobodnom protoku (0,45 g/km).

Svi rezultati dobijeni analizom potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati analize potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova po vozilu

Sistem naplate	Potrošnja goriva (g/km)	Emisija izduvnih gasova (g/km)			
		CO ₂	HC	CO	NO _x
Manual	205,41	0,82	1,59	29,13	0,82
ETC	177,29	0,56	1,38	27,58	0,76
ORT	104,17	0,33	0,15	5,40	0,45

Izvor: Autori rada, 2017

5. ZAKLJUČAK

Kao što je ranije pomenuto, savremeni sistemi naplate putarine veoma efikasno utiču na poboljšanje uslova u saobraćajnom toku, prvenstveno kroz smanjenje vremenskih gubitaka vozila na naplatnim stanicama, povećanje brzine kretanja vozila prilikom transakcije i samim tim poboljšanje nivoa usluge. Međutim, sprovedena analiza uticaja različitih sistema naplate putarine na životnu sredinu, odnosno na kvalitet vazduha i aerozagađenje, dovodi do zaključka da je primenom savremenih sistema naplate putarine, takođe moguće ostvariti i uštede u pogledu potrošnje goriva i emisije izduvnih gasova.

U analizi je poseban akcenat stavljen na uporednoj evaluaciji tradicionalnog ručnog sistema naplate putarine (sa obavezним заустављањем), elektronskog sistema koji zahteva redukciju brzine prilikom transakcije (bez заустављања) i sistema вишетајног слободног протока возила. Prognoze su, zbog nedostatka pouzdanih podataka, sprovedene samo za kategoriju putničkih automobila.

Uočeno je da se najveće uštede u potrošnji goriva i emisiji izduvnih gasova u odnosu na tradicionalni – manuelni sistem naplate mogu ostvariti primenom sistema koji je baziran na вишетајног слободног протоку возила, ali ni uštede primenom elektronskog sistema naplate nisu zanemarljive. Rezultati ukazuju da je primenom otvorenog sistema naplate moguće ostvariti uštede u pogonskom gorivu u oblasti naplatnih stanica do 50% u odnosu na manuelni sistem. Kada je reč o primeni elektronskog sistema naplate moguće uštede iznose oko 14% u odnosu na manuelni sistem. Takođe je značajno veća emisija emisijama izduvnih gasova, tačnije ugljen-dioksida (CO₂), ugljovodonika (HC), ugljen-monoksida (CO) i azotnih oksida (NO_x) u slučaju manualnog sistema u odnosu na sistem elektronske naplate putarina i otvorenog sistema.

Na osnovu dobijenih rezultata jasno se uočavaju prednosti primene savremenih sistema za ubiranje naknade za korišćenja autoputa u pogledu zaštite životne sredine. Ekonomski moćne i razvijene zemlje su već prepoznale problem koji nastaje kao posledica sve veće ekspanzije drumskog saobraćaja i već u velikoj meri primenjuju sisteme savremenih detekcija i naplate putarine uz pomoć bezkontaktnih sistema. U našoj zemlji postoji sistem elektronske naplate putarina (ENP), ali taj sistem nije u potpunosti prihvaćen od strane korisnika. Neprihvatljivost sistema se u najvećoj meri ogleda u lošoj informisanosti o radu samog sistema i nemogućnosti jednostavne kupovine i dopune tag uređaja koji omogućava naplatu putarine bez заустављања.

Kao predlog poboljšanja uslova na mreži naših puteva, a imajući u vidu dobijene rezultate kako u ovom radu, tako i mnogim drugim radovima sa sličnom tematikom, nameće se potreba za aktivnijim razvojem elektronske naplate putarina. Pored toga neophodna je dodatna informisanost korisnika o prednostima primene ovog sistema, ali i mogućnost jednostavne kupovine i dopune tag uređaja.

Kako bi u budućim istraživanjama bilo moguće izvršiti detaljniju procenu uticaja naplatnih rampi na emisiju izduvnih gasova, odnosno na životnu sredinu, neophodno je analizirati uticaj ostalih kategorija vozila koje se mogu naći u saobraćajnom toku (LTV, TTV, BUS, AV). Dakle, povećanjem uzorka i prikupljanjem preciznijih podataka moguće je doći do pouzdanijih rezultata. Takođe, u daljem istraživanju bi trebalo sprovesti studiju slučaja, sa istraživanjima i merenjima specijalizovanom opremom na terenu, analize uticaja različitih naplatnih sistema na našim naplatnim rampama.

LITERATURA

- [1] Bartin, B., Mudigonda, S., Ozbay, K., 2006. Impact of Electronic Toll Collection on Air Pollution Levels using Microscopic Simulation Model of Large-Scale Transportation Network. Journal of the Transportation Research Board
- [2] Coelho, M., Farias, T., Roupail, N., 2005. Measuring and Modeling Emission Effects for Toll Facilities. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board
- [3] Glavić, D., 2016. Komercijalna eksploatacija autoputeva: tehnologije naplate putarine, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet
- [4] Hernandez, S., Monzon, A., Sobrino, N., 2012. Decarbonization of toll plazas: Impact assessment of toll collection system management, Transportation Research Board
- [5] Papić, V., i ostali. 2010. Određivanje količina emitovanih gasovitiх zagađujućih materija poreklom od drumskog saobraćaja primenom COPERT IV modela evropske agencije za životnu sredinu, Institut Saobraćajnog fakulteta, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [6] Perez-Martinez, P., Ming, G., Dell'Asin, G., Monzon, A., 2010. Evaluation of the influence of toll systems on energy consumption and CO₂ emissions: A case study of a Spanish highway
- [7] Rakha, H., Van Aerde, M., Ahn, M., Trani, A., 2000. Requirements traffic signal control impacts on energy and emission based on instantaneous speed and acceleration measurements, Transportation Research Board