

ANALIZA RADA STANICA ZA NAPLATU PUTARINE PRIMENOM TEORIJE MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

dr Draženko Glavić, dip. 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

Stefan Radosavljević, dipl. inž. saobr.

China Shandong International Economic & Tehnical, stefanrad94@gmail.com

DOI: 10.31075/PIS.64.03.02

Stručni rad

Rezime: Optimizacija rada sistema za naplatu putarine je konstantan proces u kome se želi postići maksimalni nivo usluge korisnika, a sa druge strane upravljača autoputeva želi optimalno korišćenje resursa i smanjenje operativnih troškova. U nekim slučajevima, u optimizaciji rada primenjuju se i adaptivni sistemi optimizacije. Da bi se adaptivni sistemi optimizacije mogli primeniti potrebno je osim softverskog rešenja napraviti i algoritam i model proračuna parametara rada. Imajući to u vidu, u radu je primenom sistema masovnog opsluživanja (SMO) dat primer optimizacije rada sistema naplate putarine na konkretnoj naplatnoj stanici za sadašnje stanje i za prognozirano stanje u 2030.g. Prvi deo rada odnosi se na opis problema, teorijski pregled literature i prikaz modela SMO. Kroz drugi deo rada istražen je realan primer rada naplatne stanice, i to kroz modelovanje učešća različitih načina plaćanja (automatski i manuelni). Na kraju su dati rezultati i diskusija.

Ključne reči: SMO, MNP, ENP, protok klijenata, vreme usluge, kanal usluge.

ANALYSIS OF THE TOLL STATIONS EFFECTIVENESS USING QUEUING THEORY

Draženko Glavić, PhD. T.E.

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

Marina Milenković, M.Sc. T.E.

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

Stefan Radosavljević, M.Sc. T.E.

China Shandong International Economic & Tehnical, stefanrad94@gmail.com

Professional paper

Summary: Optimizing the operation of the toll plaza is a constant process aiming the maximum level of service for road users. On the other hand, the highway operator wants to use the optimal number of resources thus decreasing Opex. In some cases, adaptive optimization is used in toll plaza operations optimization. In order to be able to apply adaptive optimization of toll systems, it is necessary to develop an algorithm and mathematical model, in addition to the software solution.

Keeping that in mind, this paper presents an example of optimizing the operation of the toll plaza for the present and for the forecasted traffic demands in 2030, by using the queueing theory (QT). The first part of the paper dealing with the description of the problem, theoretical review of the literature and the QT model. Through the second part of the paper, a real example of the toll plaza was analyzed, through the modeling of the participation of different payment methods (automatic and manual). Finally, the results and discussions are given at the end of a paper.

Keywords: QT, MTC, ETC, client flow, service time, service channel.

1. UVOD

Jedan od najvažnijih elemenata svakog putovanja jesu vremenski gubici koji se javljaju svakodnevno u manjem ili većem obimu. Uzroci vremenskih gubitaka su brojni, svetlosni saobraćajni signali, zagušenja u saobraćaju, koja su opet prouzrokovana drugim faktorima, zone usporenog saobraćaja, kao i stanice za naplatu putarine na autoputevima.

Na brojne faktore u saobraćaju koji dovode do velikih vremenskih gubitaka i povećanja troškova je teško uticati, ali po pitanju naplate putarine postoji veliki potencijal za poboljšanje efikasnosti rada stanica za naplatu. Svi vozači koji povremeno ili često koriste autoput na dužim relacijama znaju koliko čekanje u redu može povećati troškove i vreme putovanja, a i biti frustrirajuće.

Poslednjih nekoliko desetina godina došlo se do poboljšanja efikasnosti rada sistema za naplatu putarine, plaćanjem elektronskim putem na različite načine, sa ili bez zadržavanja na naplatnoj rampi, umesto klasičnog manuelnog sistema naplate putarine. Brojne su prednosti ovakvog načina naplate za korisnike autoputeva, od smanjenja vremenskih gubitaka, smanjenja potrošnje goriva, smanjenja zagađenja životne sredine i dr.

Postoji mnogo različitih istraživanja kod nas i u inostranstvu, koja su vezana za uticaj automatskog načina naplate putarine, a jedan od njih je i primenom teorije masovnog opsluživanja. Ako se uzme da jedna rampa za naplatu putarine odgovara kanalu usluge, da su vozila koja čekaju da plate putarinu klijenti, a da je protok ustvari intezitet nailaska klijenata, uzet prema određenoj raspodeli verovatnoća, može se vrlo lako istražiti i dobiti rezultati u zavisnosti od veličine protoka vozila, procenta vozača koji manuelno i automatski vrše plaćanje putarine, potrebnog vremena usluge za jedno vozilo u zavisnosti od načina plaćanja, kolike su vrednosti za jedan način, a kolike vrednosti parametara rada za drugi način naplate putarine.

U ovom radu za primer biće uzeta stanica za naplatu putarine u Dobanovcima, Beograd, na autoputu E-70, gde će se kroz realne podatke o saobraćaju pokušati da se pokaže koliki su zapravo efekti prelaska vozača sa manuelnog na automatski način naplate putarine.

2. PREGLED LITERATURE

Asahi [1] utvrdio je da se uvođenjem elektronskih sistema za naplatu putarine (ETC) podstiču mogućnosti za upravljače mostova, tunela i puteva time što se povećava efikasnost i smanjuju vremenski gubici korisnika. Međutim, ovakvi sistemi se ne mogu primeniti preko noći. Institucije koje upravljaju pomenutim objektima se prvo trebaju upoznati sa tehnologijom rada sistema, dok korisnici sa druge strane, zbog nepoverenja u sistem ne žele odmah da izdvoje novac za kupovinu uređaja za vozila preko kojih se plaća putarina. Na primer, japansko ministarstvo saobraćaja smanjila je cene TAG-a za 20%, pošto je kupovina uređaja od strane vozača išla veoma sporo.

Gillen [2] je iskoristio podatke o saobraćaju sa mosta Carquinez u Severnoj Kaliforniji kako bi se utvrdio tempo uvođenja ETC. Ovaj most izabran je iz razloga što ima dovoljno kapaciteta za prilagođavanje trenutnim saobraćajnim zahtevima. Početne tehnološke poteškoće i loš marketing doprineli su niskom udelu ETC na mostu Carquinez [3].

Fambro i Roupail predložili su model za novi Priručnik kapaciteta autoputeva (TRB, 2000) [4], koji se koristi za proračun vremenskih gubitaka. Model se koristi posebno za trake sa manuelnom naplatom i sa elektronskom naplatom putarine. Vremenski gubici se proračunavaju samo za vršne sate, dok su za vanvršni period vremenski gubici zanemarljivi.

Vremenski gubici su vreme koje korisnik čeka u redu da manuelnim putem plati putarinu. Za trake sa ETC, pretpostavlja se da je vreme čekanja u redu 0_s , a kapacitet je određen minimalnim protokom, $2,4_s$ (1500voz/h), u slučaju Carquinez mosta.

Da bi se korisnik opslužio na naplatnoj rampi sa manuelnom naplatom, on mora da ima i gubitke zbog usporavanja, odnosno ubrzavanja vozila. Pređena kilometraža tokom ovog procesa predstavlja u stvari dužinu rampe i dovodi do naplatnog mesta.

Vozači ubrzavaju, odnosno usporavaju do konstantne brzine, pa je stoga prosečna brzina kretanja vozila jednaka polovini normalne brzine kretanja vozila. Vremenski gubici usled ubrzanja se proračunavaju deljenjem dužine rampe koja vodi do naplatnog mesta sa ovom prosečnom brzinom vožnje. Isti proračun se primenjuje i na proces usporavanja.

Korisnici koji putarinu plaćaju elektronskim putem, nemaju vremenske gubitke usled zaustavljanja i ubrzanja (ukoliko se vozila kreću punim brzinama na ETC trakama i ako su trake pravilno odvojene), odnosno imaju smanjene gubitke ako prolaze kroz ETC sa barijerama u odnosu na manualnu putarinu sa zaustavljanjem [5].

3. OPIS POSTOJEĆEG STANJA

Evropski put E70 se prostire u smeru istok-zapad i spaja Atlantsku obalu Evrope (Španija) i jugozapadnu obalu Crnog mora (Tursku, odnosno, od skora, i Gruziju). E70 je jedan od evropskih međunarodnih puteva koji prolazi kroz Srbiju. Nekadašnji auto-put *Bratstvo i jedinstvo* je delimično (Ljubljana-Zagreb-Beograd) činio trasu puta E70, te je to i danas jedina deonica na kojoj je put E70 kroz Srbiju auto-put. Na ovoj deonici, put E70 se istovremeno preklapa i sa trasom Koridora 10.

Što se tiče naplatne rampe u Dobanovcima, odnosno kako se u zvaničnoj literature navodi, u Šimanovcima, ona se sastoji od ukupno 13 naplatnih rampi, od kojih su 9 namenjene za opsluživanje vozila iz smera Šida ka Beogradu, a 4 su namenjene iz smera od Beograda ka Šidu. Na Slici 1 prikazan je satelitski snimak predmetne naplatne rampe.



Slika 1. Satelitski snimak naplatne stanice Dobanovci (Šimanovci) na autoputu E-70

Od 9 naplatnih rampi koje opslužuju vozila koja se kreću od Šida ka Beogradu, 7 se ukupno koristi za manuelan vid naplate, dok su kod dve trake rampe obezbeđene uređajima sa elektronsku, odnosno automatsku naplatu putarine. Za smer iz Beograda ka Šidu, koriste se 4 naplatne rampe, i to 3 za manuelan način naplate i 1 za automatski. Na Slikama 2 i 3 su prikazane fotografije prilaznih traka iz oba smera.



Slika 2. Prilaz ka naplatnim rampama u smeru ka Šidu



Slika 3. Prilaz ka naplatnim rampama u smeru ka Beogradu

Značajna razlika u broju traka između smerova opravdana je potrebnim vremenom za opslugu pri ulasku u sistem naplate putarine, odnosno vremenom za plaćanjem prilikom izlaska iz sistema. Imajući u vidu da se u smeru ka Šidu vrši samo uzimanje kartice koje zahteva malo vremena za razliku od plaćanja na naplatnoj rampi, jasno je da je tako i za smer ka Beogradu, gde se vrši plaćanje putarine i gde je potrebno obezbediti više kapaciteta.

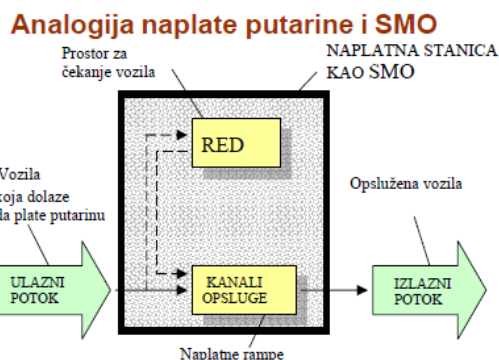
4. METODOLOGIJA

Kao što je navedeno na početku rada, koriste se razni načini i modeli za analizu rada svih elemenata sabračajnih sistema, pa tako i analizu rada elementa za naplatu naknade za korišćenje državnog puta odnosno autoputa, u određenom vremenskom periodu ili na osnovu pređene kilometraže na određenom putu. U nastavku rada biće data primena teorije masovnog opsluživanja na rad naplatnih rampi, odnosno proračun i tumačenje pokazatelja rada samog sistema.

Teorija redova, nagomilavanja, redova čekanja (Queueing theory, a često queuing theory, odnosno waiting lines, congestion), ili kako se označava u ruskim izvorima (Теория массового обслуживания, Ivčenko i dr. 1982) [6], ili u nekim od domaćih izvora (Teorija masovnog opsluživanja, Vukadinović 1988) [7] predstavlja deo operacionih istraživanja koji se bavi istraživanjem veze zahteva za opslugom i karakteristika procesa opsluživanja, odnosno mogućnosti zadovoljenja tih zahteva.

Takođe, razvijen je i veliki broj softverskih paketa, dobrim delom i "shareware" odnosno "freeware"

softvera, kakav je "QTSPPlus1", koji se može besplatno naći na Internetu, a obuhvata veliki broj modela TMO, ili RAQS, koji je takođe besplatan. Predmet TMO je određivanje funkcionalnih veza između pokazatelja efektivnosti funkcionisanja sistema masovnog opsluživanja (SMO) - verovatnoće opsluživanja zahteva (klijenata), verovatnoće stajanja kanala opsluživanja, dužine reda, vremena čekanja klijenata i dr., i karakteristika zahteva za opsluživanjem, vremena opsluge zahteva, strategije opsluge itd. Kao cilj TMO često se navodi i nalaženje balansa između investiranja u resurse i nivoa opsluge korisnika.



Pojmovi korišćeni u TMO, u slučaju stanica za naplatu putarine imaju sledeće značenje:

- kanali opsluge (sredstva - resursi koji realizuju zahtev: ljudi (manuelna naplata), elektronski sistemi naplate putarine (automatska naplata);
- opsluga (aktivnost kojom se realizuje zahtev – plaćanje putarine i nastavak planiranog putovanja);
- klijent (vozilo, odnosno vozač vozila);
- ulazni protok (zakon nailaska klijenata – broj vozila u nekom vremenskom intervalu);
- izlazni protok (zakon po kome se vrši opsluga – broj vozila u nekom vremenskom intervalu);
- red (klijenti koji čekaju na opslugu, vozila koja čekaju da plate putarinu).

Posmatranje realnog sistema kao SMO, u skladu sa prikazanom analogijom i utvrđivanje funkcionalnih veza, odnosno vrednosti odgovarajućih pokazatelja primenom TMO, pruža mogućnost za davanje odgovora na neka pitanja:

- Koliki je očekivani broj klijenata koji čekaju u redu?
- Koliko je očekivano vreme koje klijent provodi u sistemu?
- Koliko je očekivano vreme koje klijent provodi u redu?
- Kolika je verovatnoća zauzetosti svih kanala opsluživanja?

Primena TMO podrazumeva, analizu realnog sistema, potom njegovu simplifikaciju, obično apstrahovanjem manje važnih detalja i korišćenjem odgovarajućih aproksimacija, a potom, ali i tokom ovog procesa, raspoznaje se odgovarajući model TMO koji na najbolji način opisuje taj pojednostavljeni sistem.

U većini slučajeva, aproksimacije se koriste u procesu transformacije često nepotpunih ili neodređenih podataka u matematički korektne veličine koje primenu modela čine mogućom.

Shodno tome, i rezultate primene TMO na realnim sistemima, pa tako i na sistemima naplate putarine, treba prihvatiti uslovno i tretirati kao približne ocene, odnosno indikatore ponašanja realnog sistema.

U literaturi se može naći veliki broj modela TMO, koji se koriste u zavisnosti od prirode i funkcionisanja sistema koji se analizira, odnosno modelira. Nisu svi sistemi isti sami po sebi, nailasci i opsluga klijenata telefonske centrale, autoservisa, naplate putarine, manipulacije robom transportu i utovaru/istovaru i dr., se razlikuju po svojoj strukturi i zakonima raspodele.

U slučaju naplate putarine, koji je predmet analize ovog rada, uzeto je da sistem funkcioniše po sistemu prvi došao prvi opslužen (FCFS), sa intezitetom nailaska u skladu sa Poasonovom raspodelom verovatnoća i vremenom opsluge sa eksponencijalnom raspodelom.

Kapacitet sistema, odnosno broj vozila koji može da čeka u redu je kao i kod većine modela teorije masovnog opsluživanja, beskonačan, odnosno svako vozilo koje dođe u red za plaćanje putarine biće opsluženo.

Primena modela TMO bazirana je na nekoliko osnovnih ulaznih veličina kojima se opisuju karakter ulaznog protoka klijenata, proces opsluge i resursi sistema opsluživanja, tj. broj kanala opsluživanja i broj mesta u redu, odnosno kapacitet sistema. Dakle, kao ulazne veličine koriste se:

- S – broj kanala opsluživanja
- λ – intezitet ulaznog protoka (vozila/h)
- μ – intenzitet opsluge (izlazni tok) (vozila/h)

Primenom odgovarajućih relacija, u modelima TMO, utvrđuju se sledeće osnovne izlazne veličine:

$$\rho = \frac{\lambda}{S \cdot \mu} \leq 1 \text{ - iskorišćenje kanala opsluge (naplatne rampe)}$$

P_0 – verovatnoća da u sistemu nema klijenata (nema vozila ni u jednoj prilaznoj traci)

P_n – verovatnoća da se u sistemu nalazi n klijenata (vozila na naplatnim rampama)

L – srednji broj klijenata (vozila) u sistemu

L_q – srednji broj klijenata (vozila) u redu

L_s – srednji broj klijenata na opsluzi

W – srednje vreme boravka klijenta (vozila) u sistemu (s)

W_q – srednje vreme boravka klijenta (vozila) u redu (s)

W_s – srednje vreme boravka klijenta (vozila) na opsluzi (s)

n_z – srednji broj zauzetih kanala

P_{zk} – verovatnoća zauzetosti kanala

n_s – srednji broj slobodnih kanala

P_{sk} – verovatnoća da je kanal slobodan

P_{pz} – verovatnoća potpune zauzetosti

P_{ss} – verovatnoća stajanja sistema

Na bazi TMO i korišćenjem Litlove formule dobijeni su izrazi za utvrđivanje relevantnih veličina koje opisuju performanse SMO. U Tabeli 1 prikazani su obrasci, koji će se u ovom radu koristiti kao osnova za proračun pokazatelja rada sistema naplate putarine na naplatnoj stanici Dobanovci (Šimanovci) na autoputu E-70.

Tabela 1. Izvedene formule na osnovu kojih će se vršiti proračun rada osnovnih parametara sistema naplate putarine

VELIČINA KOJA SE UTVRĐUJE	TIP MODELA	
	M/M/1/GD/ ∞/∞	M/M/S/GD/ ∞/∞
P_0	$1 - \rho$	$\frac{1}{S!(1-\rho) + \sum_{n=0}^{S-1} \frac{(\rho S)^n}{n!}}$
L	$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L_q + \frac{\lambda}{\mu}$
L_q	$L - \rho$	$\frac{(\rho S)^S P_0 \rho}{S!(1-\rho)^2}$
W	$\frac{1}{\mu - \lambda}$	$W_q + \frac{1}{\mu}$
W_q	$\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	$\frac{L_q}{\lambda}$

Pored navedenih formula u Tabeli 1, koje se razlikuju u zavisnosti od broja kanala opsluživanja u sistemu, korišće se i sledeći pokazatelji koji se izračunavaju na način prikazan u Tabeli 2.

Tabela 2. Izvedene formule na osnovu kojih će se vršiti proračun rada ostalih parametara sistema naplate putarine

Parametar rada SMO	Formula
P_n	$\rho^n \cdot P_0$
n_z	$\sum_{k=0}^n k \cdot P_k$
P_{zk}	n_z / S
n_s	$S - n_z$
P_{sk}	$1 - P_{zk}$
P_{pz}	P_s
P_{ss}	P_0

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Smer ka Šidu

Smer ka Šidu funkcioniše sa 4 trake, odnosno rampe gde se vrši evidencija ulaska na autoput uzimanjem kartice ili elektronski. Tri trake namenjene su za manuelno uzimanje kartice pri ulasku na autoput, dok se na jednoj rampi registracija ulaska vozila vrši automatski. Analiza se vrši za najopterećeniji mesec - avgust. Maksimalni časovni protok vozila, odnosno intezitet nailaska u postojećem stanju u avgustu 2018.g. iznosi 2.123 voz/h, dok u budućem stanju prognozirana vrednost za avgust 2030.g. iznosi 3.027voz/h. Za intezitet opsluge evidentiranja ulaska uzeta je vrednost od 1.000 voz/h za manuelni, odnosno 2.000 voz/h za automatski način naplate. U sledećim tabelama su prikazani pokazatelji rada SMO u zavisnosti od veličine protoka vozila i procentualnog dela vozila koja se opslužuju manuelno, odnosno automatski.

Tabela 3. Pokazatelji rada SMO za smer ka Šidu, mesec avgust, sa trenutnim i budućim opterećenjem i učešćem ENP i MNP

%	Postojeće stanje (2018)		Buduće stanje (2030)	
	Manuelno (70%)	Automatski (30%)	Manuelno (40%)	Automatski (60%)
S	3 kanala	1 kanala	3 kanal	1 kanal
λ	1486 voz/h	637 voz/h	1210 voz/h	1816 voz/h
μ	1000 voz/h	2000 voz/h	1000 voz/h	2000 voz/h
ρ	0,49	0,32	0,40	0,90
L	1,71	0,32	1,30	0,91
L_s	1,48	0,32	1,21	0,91
L_q	0,23	0,00	0,09	0
W	4,15	1,80 _s	3,88 _s	1,8 _s
W_s	3,60	1,80 _s	3,60 _s	1,8 _s
W_q	0,55	0,00 _s	0,28 _s	0 _s

Kao što se može videti iz Tabele 3, za intezitet opsluge manuelnog načina naplate uzeta je vrednost od 1.000 voz/h, iz razloga što se u ovom smeru na naplatnoj rampi vrši samo uzimanje kartice na osnovu koje se kasnije na izlasku sa autoputa vrši plaćanje. Kroz proračun dobijeni su rezultati pokazatelja kako manuelnog tako i automatskog načina opsluge.

Ako se pretpostavi da će procenat korišćenja automatske naplate putarine biti povećan u budućnosti, a samim tim smanjen procenat plaćanja putarine manuelnim putem, do vrednosti od 40%, onda se vrlo lako može doći do zaključka da vrednosti pokazatelja poput stepena zasićenja samog sistema, kao i vremena provedena u sistemu, koja se sastoje od vremena potrebnog za opslugu i vremena čekanja u redu (vremenskih gubitaka) nisu visoki. Kao što se vidi iz tabele, vreme čekanja u redu kod manuelnog načina naplate, kao glavni pokazatelj stanja, pokazuje da nema problema sa funkcionisanjem rada stanice u smeru ka Šidu, ni trenutno ni u budućnosti.

Što se tiče rampi za automatski način naplate, kao što je rečeno ranije, ne postoje utvrđeni vremenski gubici čekanja u redu, tako da ovde možemo kroz poređenje stepena iskorišćenja sistema reći da bi sa pretpostavljenim procentom učešća vozila sa ovim načinom naplate, došlo do povećanja ove vrednosti sa 0,32 na 0,90, što otvara temu za otvaranje u narednom periodu nove rampe za automatski način plaćanja ili prebacivanje postojeće manuelne u automatsku. Važno je napomenuti da je kod automatskog načina naplate uzeto da ne postoji vreme čekanja u redu, iz razloga što je posmatranjem na terenu utvrđeno da se vozila koja se automatski opslužuju ne zaustavljaju na naplatnoj rampi, već samo u zoni rampe smanje brzinu u zavisnosti od protoka i bez zaustavljanja nastavljaju svoje putovanje.

5.2. SMER KA BEOGRADU

Drugi smer koji se analizira, ka Beogradu, je znatno opterećeniji od prethodnog iz razloga navedenih ranije, pa je stoga i obezbeđen sa 7 rampi koje služe za manuelni način naplate putarine i 2 rampe za automatski način naplate. Maksimalni časovni protok vozila u avgustu u postojećem stanju u ovom smeru iznosi 2.816 voz/h, dok je za 2030. godinu izračunat protok 4.015 voz/h, sa godišnjim rastom saobraćaja od 3%.

U Tabeli 4 prikazane su vrednosti parametara SMO naplate putarine za smer ka Beogradu, mesec avgust, sa maksimalnim časovnim protocima u tom mesecu.

Tabela 4. Pokazatelji rada SMO za smer ka Beogradu, mesec avgust, sa trenutnim i budućim opterećenjem i učešćem ENP i MNP

%	Postojeće stanje (2018)		Buduće stanje (2030)	
	Manuelno (70%)	Automatski (30%)	Manuelno (40%)	Automatski (60%)
S	7 kanala	2 kanala	7 kanala	2 kanala
λ	1971 voz/h	845 voz/h	1606 voz/h	2409 voz/h
μ	300 voz/h	2000 voz/h	300 voz/h	2000 voz/h
ρ	0,94	0,21	0,76	0,60
L	19,14	0,42	6,70	1,20
L_s	6,57	0,42	1,35	1,20
L_q	12,57	0,00	5,35	0,00
W	34,95 _s	1,80 _s	15,02 _s	1,8 _s
W_s	12,00 _s	1,80 _s	12,00 _s	1,8 _s
W_q	22,95 _s	0,00 _s	3,02 _s	0 _s

U smeru ka Beogradu se vrši plaćanje putarine na rampama, što naravno traje znatno duže od samog uzimanja kartice na početku vožnje autoputem, pa je ovde za intezitet opsluge uzeta vrednost od 300 voz/h kod manuelnog načina naplate.

Kada se analizira rad manuelnog načina naplate putarine, u smeru ka Beogradu, primećuje se jasna razlika u odnosu na vreme posmatranja, i to kroz najvažnije parametre, stepen zasićenja i vreme čekanja u redu koja su zahvaljujući većem procentu korišćenja ENP manja u budućnosti iako je veći ukupni saobraćaj na rampi.

Što se tiče automatskog načina naplate putarine u smeru ka Beogradu, gotovo da ne postoji problem ni u jednom pretpostavljenom slučaju procenta korisnika ovog načina naplate, kao ni u zavisnosti od meseca posmatranja. Može se slobodno reći da dve naplatne rampe za intezitetima opsluge od po 2.000 voz/h mogu bez problema da opsluže izmereni nailazeći protok vozila, s tim što bi bilo potrebno uzeti u obzir da sa rastom saobraćajnog protoka postojeće dve rampe za automatsku naplatu neće biti dovoljne za optimalnu opslugu.

Ono što se na osnovu teorije masovnog opsluživanja može proračunati jeste optimizacija broja kanala potrebnih za rad kod manuelnog načina naplate, što dalje daje osnovu za kalkulacije broja radnika po smenama u toku dana ili potrebe za novim kanalima u budućnosti. Ovo se naročito odnosi za noćne smene kada je zbog znatno nižih protoka vozila nepotrebno pustati u rad maksimalan broj naplatnih rampi.

Kroz Tabelu 5, biće dat primer proračuna broja potrebnih kanala opsluge, odnosno broja naplatnih rampi dovoljnih za optimalan rad sistema za slučaj smera ka Beogradu sa pretpostavljenim trenutnim, odnosno budućim učešćem manuelne naplate kada se vrši plaćanje putarine, za mesec avgust koji ima maksimalne časovne protoke.

Kao kriterijum u odnosu na koji je rađen proračun uzeto je vreme čekanja u redu, koje ne bi trebalo da prelazi vrednost od oko 10 sekundi.

Ovakav način proračuna potrebnog broja kanala vrlo lako može da se prenese i na druge slučajeve i druge vrednosti i u odnosu na drugačije kriterijume, kao što se lako može i napraviti softverski program kojim bi se ovakav proračun i prognoza vršila svakodnevno, praveći tako optimalan rad stanice kroz uštede u radnoj snazi, a sa druge strane stvarajući minimalna čekanja i visok nivo usluge za korisnike autoputeva.

Vreme čekanja u redu, koje je ovom slučaju uzeto kao jedini kriterijum, i to određenu vrednost od maksimum 7 sekundi samo je jedan od načina na koji se može posmatrati kvalitet usluge stanice za naplatu putarine. Zbog toga je potrebno izvršiti ispitivanje korisnika sistema, koje vreme čekanja u redu je za njih podnošljivo i na osnovu tih rezultata istraživanja raditi proračun potrebne radne snage.

Tabela 5. Vrednosti broja kanala potrebnih za manualno opsluživanje vozila za najopterećeniji mesec avgust, za smer ka Beogradu, sa pretpostavljenim učešćima manuelne naplate putarine u 2018. i 2030.g.

Čas	2018		2030	
	70%MNP	40%MNP	70%MNP	40%MNP
1	3	2	3	2
2	2	2	3	2
3	2	2	3	2
4	2	2	3	2
5	3	2	3	2
6	3	2	4	3
7	4	3	6	4
8	6	4	8	5
9	6	4	9	5
10	7	4	9	6
11	7	4	9	6
12	7	4	9	6
13	7	4	9	6
14	7	4	9	6
15	7	4	10	6
16	7	4	10	6
17	8	5	10	7
18	8	5	10	6
19	6	4	8	5
20	5	4	7	5
21	5	3	7	4
22	5	3	6	4
23	4	3	6	4
24	4	3	5	3

Iz Tabele 5 možemo zaključiti da se u slučaju zadržavanja postojećeg procenta korisnika ENP na oko 30% već sada, u najopterećenijem mesecu, pojavljuju blagi nedostaci kapaciteta koji će sa pojavom sve većeg saobraćaja eskalirati na zantan nedostatak kapaciteta za desetak godina, te se može javiti potreba za povećanjem kapaciteta i dodatnim investicijama u iste.

U slučaju da je na ENP prešlo 60% korisnika postojeća stanica bez proširenja kapaciteta može da osluži sve korisnike i u maksimalnim opterećenjima.

6. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je da se ukaže na mogućnost modeliranja i sveobuhvatne analize koristi elektronske, odnosno automatske naplate putarine, kroz ceo lanac uticaja koji ovaj sistem može da proizvede. Modeliranje je vršeno na realnom primeru naplatne stanice kroz primenu teorije masovnog opsluživanja. Cilj analize je bio da se pokažu kolike su praktične koristi primene automatskog načina plaćanja putarine na autoputevima, kroz parametre kao što su odnos zahteva i kapaciteta, kao i vrednosti vremenskih gubitaka, pomoću kojih se mogu i finansijski izraziti izgubljena vremena u čekanju na opslugu.

U ovom konkretnom primeru pokušano je na što jednostavniji način da se prikaže uticaj promene načina plaćanja putarine za buduća saobraćajna opterećenja na potreban broj kanala i samim tim na potrebu investiranja ili u proširenje kapaciteta ili u povećanje broja korisnika ENP.

Tema koja je načeta u ovom radu, ima mnogo potencijala za istraživanje i praktičnu primenu, imajući u vidu vrednost vremena za svakog korisnika autoputa, gde se na različite načine i različitim metodama pokušavaju smanjiti vremenski gubici u saobraćaju.

Metode prikazane u ovom radu lako se mogu koristiti za optimizaciju rada postojećih stanica za naplatu putarine kao i za planiranje kapaciteta u budućnosti.

Cost-benefit analizom koja nije rađena u ovom radu došlo bi se do ekonomke kvantifikacije rada stanica. Posebno je interesantna analiza u Tabeli 5 koja pokazuje da je ulaganje u promociju ENP i povećanje % korisnika ovog sistema mnogo isplativije za upravljača puta od proširenja kapaciteta postojećih stanica za naplatu putarine u budućnosti. Treba napomenuti da se istom merom ostvaruju i pozitivni efekti po pitanju nivoa usluge korisnika.

LITERATURA

- [1] Asahi Shimbun. (2001). Ministry to slash electronic toll fees, August 1, 2001, appearing in English Language supplement of Asahi Shimbun to International Herald Tribune.
- [2] Gillen, D.L.J., Dahlgren, J., Chang, E. (1999). Assessing the Benefits and Costs of ITS Projects: vol. 2, An Application to Electronic Toll Collection. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-99-10.
- [3] Nolte, C. (1996). Automatic Tollbooth Technology Not Yet Ready for Prime Time, San Francisco Chronicle, September 23, 1996.
- [3] Transportation Research Board (TRB). (2000). Highway Capacity Manual, Special Report 209. Transportation Research Board, Washington, DC.
- [5] Glavić, D. (2016). Komercijalna eksploatacija autoputeva: tehnologije naplate putarine, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet
- [6] Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. (1982). Теория массового обслуживания. — Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа.
- [7] Vukadinović, S. (1988). Masovno opsluživanje, Naučna knjiga, Beograd.