

# Uticaj veličine grada na gubitke na startu na signalisanim raskrscima

TIJANA A. NIKOLIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

NIKOLA Đ. ČELAR, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

STAMENKA R. STANKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 656.151.05

DOI: 10.5937/tehnika2402199N

*Poslednjih godina stepen motorizacije i transportni rad su u ekspanziji, dok razvoj infrastrukture, putne i ulične mreže, ne prati njihov rast. Takav pristup dovodi do sve češćeg debalansa saobraćajnog zahteva i kapaciteta, odnosno do stanja saobraćajnog sistema u kome postojeća mreža nije u stanju da odgovori na sve zahteve koji se ispostavljaju od strane korisnika. U radu je analiziran uticaj veličine grada na gubitke na startu na signalisanim raskrscima. Istraživanja su sprovedena za saobraćajne trake pravo na dve signalisane raskrsnice, u Smederevskoj Palanci i Beogradu. Rezultati istraživanja ukazuju da su vrednosti gubitaka veće za 2,78 sekundi u Smederevskoj Palanci.*

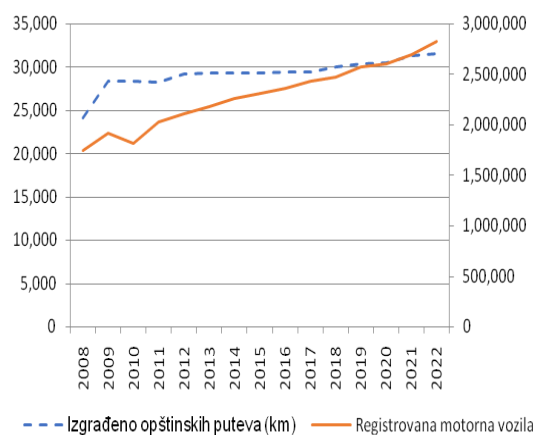
**Ključne reči:** gubici na startu, veličina grada, signalisana raskrsnica

## 1. UVOD

Upravljanje urbanom saobraćajnom mrežom dominantno se oslanja na primenu svetlosnih signala. Svetlosnim signalima vrši se vremenska preraspodela raspoloživog kapaciteta raskrsnice po prilazima, odnosno saobraćajnim tokovima. Suština funkcionisanja svetlosnih signala zasniva se na grupisanju saobraćajnih zahteva na prilazu raskrsnici i njihovom efikasnom opsluživanju u periodu vremena kada posmatrani saobraćajni tok dobija pravo prolaska raskrscima [1].

Poslednjih godina stepen motorizacije i transportni rad su u ekspanziji, dok razvoj infrastrukture, putne i ulične mreže, ne prati njihov rast (grafikon 1). Takav pristup dovodi do sve češćeg debalansa saobraćajnog zahteva i kapaciteta, odnosno do stanja saobraćajnog sistema u kome postojeća mreža nije u mogućnosti da odgovori na sve zahteve koji se ispostavljaju od strane korisnika. Pojave zagušenja u periodima vršnih časova, a danas sve češće u velikom udelu ukupnog perioda funkcionisanja sistema, dovode do povećanog vremena putovanja, vremena čekanja u redu, broja zaustavljanja, veće potrošnje goriva i izduvnih gasova, ali i

stresa vozača. Time se stvara potreba za efikasnijim korišćenjem raspoloživog kapaciteta u aglomeracijama, a posebno u područjima raskrsnica na kojima se upravlja svetlosnim signalima.



Grafikon 1 - Trendovi u saobraćaju [2]

U istraživanju se polazi od hipoteze da u velikim gradovima vozači neretko zbog distanci koje svakodnevno prelaze, periodičnih zagušenja, vremena koje provode u vožnji i stresa, koriste efikasnije vreme koje imaju na raspolaganju na semaforisanim raskrscima. Prosečan broj zaustavljanja po vozilu na signalisanim raskrscima može biti i veći od jednog, pa se s tim u vezi javlja kooperativnost među vozačima, stvarajući mogućnost većeg opsluživanja i racionalnijeg korišćenja raspoloživog vremena. Govoreći o manjim gra-

Adresa autora: Tijana Nikolić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305  
e-mail: tijananikolic0206@gmail.com

Rad primljen: 29.11.2023.

Rad prihvaćen: 06.02.2024.

dovima, situacija je potpuno drugačija. Male distance koje se prelaze svakoga dana, saobraćajni zahtev koji može biti opslužen bez stvaranja velikih gubitaka, posledično utiču na drugačije percipiranje i reagovanje vozača. Takav pristup dovodi do ne tako efikasnog korišćenja zelenog vremena tokom ciklusa, čime se stvara situacija opsluživanja manjeg broja vozila u odnosu na broj koji zaista može biti opslužen tokom trajanja ciklusa.

## 2. STVARNO I EFEKTIVNO ZELENO VREME

Zeleno vreme, odnosno dužina zelenog vremena, rezultat je postupka optimizacije rada svetlosnih signala. U procesu upravljanja, zeleno vreme se može posmatrati sa dva aspekta, i to kao [1]:

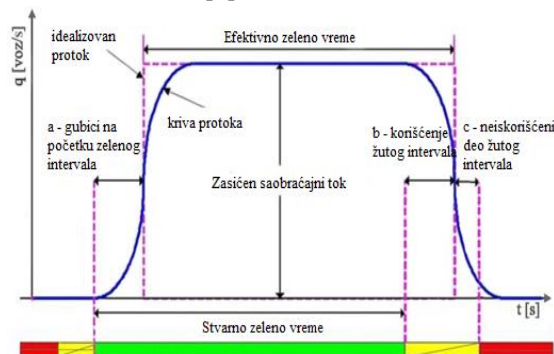
- stvarno zeleno vreme ( $Z_{st}$ );
- efektivno zeleno vreme ( $Z_{ef}$ ).

Stvarno zeleno vreme se definiše kao vremenski interval tokom koga se određenoj signalnoj grupi prikazuje zeleni signalni pojam. U tom smislu, ono predstavlja tehnički pojam, koji je u signalnom programu jednoznačno definisan sekundom u kojoj počinje, odnosno u kojoj se završava. Sa druge strane, efektivno zeleno vreme predstavlja upravljački parametar i definiše se kao period vremena tokom koga može da se realizuje kontinualan proces napuštanja prilaza raskrsnice, odnosno proces pražnjenja reda maksimalnim intenzitetom (intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka) [1]

Početak procesa pražnjenja reda (prolazak prvog vozila preko linije zaustavljanja) vremenski je pomećen u odnosu na trenutak pojave zelenog signalnog pojma. Pražnjenje reda dostiže maksimalan intenzitet tek nakon prolaska prvih četiri-pet vozila u redu. Nemogućnost trenutnog dostizanja maksimalnog intenziteta pražnjenja reda na početku stvarnog zelenog vremena, kao i njegovog svodenja na nultu vrednost u trenutku završetka zelenog, posledica je reakcije vozača na promenu signalnog pojma i inercije u procesu kretanja vozila. Rezultat ovakvog načina realizacije procesa pražnjenja reda je vremenski pomak efektivnog u odnosu na stvarno zeleno vreme [1].

Teorijska interpretacija procesa pražnjenja reda je prikazana na slici 1. Vrednost protoka konstantno raste od početka zelenog signalnog pojma (tačka 1) i dostiže svoju maksimalnu vrednost u tački 2. Gubici koji nastaju u vremenskom intervalu između tačaka 1 i 2 teorijski su jednaki polovini dužine posmatranog intervala (tačka 3) i nazivaju se „gubici na startu“ (a). Sa druge strane, konstantan pad protoka od završetka zelenog (tačka 4) do kraja žutog (tačka 5) predstavlja dodatno vreme, koje je teorijski jednako polovini posmatranog intervala (tačka 6). Period vremena od tačke 4 do 6 naziva se „iskorišćeni deo žutog“ (b).

Efektivno zeleno vreme, kao vremenski period u kome se realizuje maksimalna vrednost protoka, ostvaruje se između tačaka 3 i 6 [1].



Slika 1 - Teorijski dijagram pražnjenja reda [1]

Odnos efektivnog i stvarnog zelenog vremena može se opisati relacijom [1]:

$$Z_{ef} = Z_{st} - a + b \quad (1)$$

$Z_{ef}$  - efektivno zeleno vreme (s)

$Z_{st}$  - stvarno zeleno vreme (s)

$a$  - gubici na startu (s)

$b$  - iskorišćeni deo žutog signalnog pojma (s)

### 2.1. Gubici na startu

Jedan od parametara koji može ukazati na efekat ponašanja različitih kategorija vozača, u različitim zemljama jesu „gubici na startu“. Gubici na startu se definišu kao dodatno vreme, izraženo u sekundama, koje potroši prvih nekoliko vozila u redu na signalisanoj raskrsnici, zbog potrebe da se reaguje na promenu signalnog pojma i da se ubrza [3].

Gubitak na startu je razlika u vremenu dok nije dostignuta maksimalna vrednost protoka, između broja vozila koja je trebalo da se opsluže u idealnoj i vozila koja su se opslužila u realnoj situaciji. To praktično znači da je intenzitet pražnjenja reda bio manji, a ne da se niko nije kretao raskrsnicom.

Gubici na startu zavise od velikog broja parametara, a neki od njih su [3]:

- kategorije vozila i nagib;
- pešaci na raskrsnici;
- vreme percepcije/reakcije koje varira od vozača do vozača;
- psihološki faktori;
- veličina grada i lokacija u gradu;
- dužina trajanja zelenog;
- dužina trajanja ciklusa;
- dužina reda itd.

## 3. PREGLED LITERATURE

Studije koje sprovode brojni istraživači se u većini slučajeva zasnivaju na analizama vrednosti zasićenog

saobraćajnog toka, pre nego na pojedinačnom posmatranju gubitaka na startu.

Preporučena vrednost gubitaka na startu, prema priručniku Highway Capacity Manual (HCM, 2010), iznosi 2 sekunde [4].

Kocić i dr, (2020) su istraživali uticaj trepćućeg zelenog signalnog pojma (TZ) na iskorišćenje žutog. Utvrđeno je da primenom TZ dolazi do značajnog povećanja broja vozila koja se zaustavljaju na žuti signalni pojam, u odnosu kada TZ nije primenjeno. Takođe, u slučaju primene TZ u 3% slučajeva došlo je do zaustavljanja čak i na zeleni signalni pojam. Na ovaj način, u radu je pokazano da dolazi do smanjenja efektivnog zelenog vremena za 1 sekundu, a time, proporcionalno dužini zelenog i samog kapaciteta [5].

Stanković i dr, (2016) su sprovedeli istraživanje na 40 glavnih raskrsnica u Beogradu, čime je utvrđeno da su gubici na startu realizovani u definisanom opsegu od 1,70 do 2 sekunde, kao i da udeo zelenog vremena u ciklusu ima veliki uticaj na njihove vrednosti. Pored navedenog, vrednosti gubitaka na startu u odnosu na udeo zasićenih ciklusa u ukupnom broju ciklusa ( $X_c$ ) su relativno konstantne. Iskorišćenje žutog značajno zavisi od oba parametra. Za veće vrednosti  $X_c$ , iskorišćeni deo žutog je 2,25 sekundi. Slične vrednosti su dobijene i za kraća vremena trajanja zelenog signalnog pojma [6].

Agent & Crabtree, (1983) su analizirali faktore koji utiču na gubitke na startu, uključujući sledeće: veličinu grada, lokaciju u gradu, dužinu ciklusa i dužinu zelenog signalnog pojma, nagib, tip vozila i manevar skretanja, radijus skretanja i protok vozila. Otkrili su jaku korelaciju između vrednosti gubitaka na startu i dužine trajanja ciklusa. U studiji je dokazano da je duže vreme trajanja zelenog signalnog pojma dovelo do smanjenja gubitaka na startu sa čak 50% razlike između kraćeg i dužeg vremena trajanja, od 1,72 do 1,05 sekundi. Utvrđeno je i da su gubici na startu za duže cikluse za 40% manji nego za kraća vremena trajanja ciklusa, od 1,42 do 0,85 sekundi. Ovakvi rezultati su uslovljeni činjenicom da vozači efikasnije koriste vreme ukoliko su svesni da će nakon zaustavljanja morati duže da čekaju do ponovne pojave zelenog signalnog pojma. Njihova preporučena vrednost za gubitke je 1,40 sekundi sa faktorima korelacije [7].

Çalışkanelli i dr, (2017) su utvrdili da je prosečna vrednost gubitaka na startu 2,32 sekunde. Analizom je utvrđeno da se vrednosti razlikuju u širokom opsegu, od minimalnih 0,01 do maksimalnih 6,96 sekundi, što daje relativno visoku vrednost standardne devijacije [3].

Yang & Chung, (2012) su utvrdili da je trend vremena odziva vozača najviše izražen između prvog i

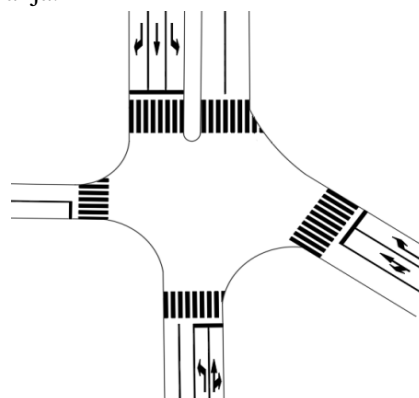
drugog vozila, kao i da nije konstantna veličina. Između prvog i drugog vozila je duži put, jer drugi vozač treba da pređe dovoljno rastojanje pre nego što može da izvrši manevar ubrzavanja, dok je vreme odziva vozača u opadajućem trendu. Stoga, rad predlaže metod pod nazivom „Uvećani zaustavni put“ (ESD) čime bi se mogao smanjiti uticaj drugog vozila na gubitke na startu. Povećanjem udaljenosti između prva dva vozila, doprinelo bi se efikasnosti procesa praznjenja reda na semaforisanim raskrsnicama, ali se ova hipoteza mora dodatno istražiti [8].

Tabela 1. Pregled literature

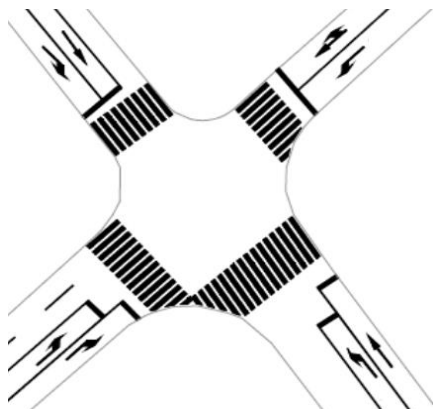
Autori	Godina publikovanja	Vrednost gubitaka na startu (s)	Uticajni faktori
HCM	2010.	2	/
Stanković i dr.	2016.	1,70-2	Udeo zelenog vremena u ciklusu
Agent & Crabtree	1983.	1,40	Dužina trajanja ciklusa
Çalışkanelli i dr.	2017.	2,32	/
Yang & Chung	2012.	/	Trend vremena odziva vozača

#### 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Predmetno istraživanje sprovedeno je u Smederevskoj Palanci i Beogradu. Istraživanjem su obuhvaćene dve četvorokrake raskrsnice, po jedna u svakom području. Posmatrana je po jedna saobraćajna traka, namenjena tokovima koji se kreću pravo. U Smederevskoj Palanci, tokovi koji se presecaju dolaze iz ulica Trga heroja, Kralja Petra I, Mike Golubovića i Vuka Karadžića (slika 2). Analizirani su tokovi iz Kralja Petra I ka ulici Trga heroja. U Beogradu, na predmetnoj raskrsnici, ukrštaju se tokovi iz Ugrinovačke, Vrtlarske, Bežanijske i Ivićeve ulice (slika 3). Tokovi iz Ugrinovačke ka Vrtlarskoj ulici su predmet posmatranja.



Slika 2 - Predmetna raskrsnica, Smederevska Palanka



Slika 3 - Predmetna raskrsnica, Beograd

Naučno terensko istraživanje u Smederevskoj Palanci je sprovedeno 23.03.2023. (četvrtak), u periodu od 14:30-16:30 h. Snimanje u Beogradu sprovedeno je 29.03.2023. (sreda), u periodu od 15:30-17:30 h. Nakon snimanja raskrsnice u Beogradu, obrada snimaka i beleženje rezultata je izvršeno naknadno.

Snimanje intervala sleđenja vrši se na nivou pojedinačnih ciklusa, od trenutka pojave zelenog signalnog pojma do trenutka prestanka procesa pražnjenja formiranog inicijalnog reda. Inicijalni red predstavlja red vozila koji je oformljen za vreme trajanja crvenog signalnog pojma, ali uključuje i ona vozila koja su se priključila redu tokom trajanja zelenog pojma, koja su se zaustavila ili kretala tako da je rastojanje između vozila koje se priključilo i vozila koje je poslednje u prethodno formiranom redu manje od prosečne dužine vozila. Sva ostala vozila koja ne ispunjavaju prethodno navedene uslove nisu reprezentativna za dobijanje rezultata, pa se kao takva isključuju iz uzorka. Tokom istraživanja evidentiraju su trenuci prolaska zadnje osovine svih vozila inicijalnog reda preko obeležene linije zaustavljanja.

Gubici na startu utvđuju se za svaki pojedinačan ciklus narednim izrazom [1]:

$$a_c = \sum_{i=1}^n t_{hi} - n * t_{hc} \quad (2)$$

$a_c$  - vrednost gubitaka na startu u ciklusu (s)

$t_{hi}$  - vrednost intervala sleđenja za i-to vozilo u inicijalnom redu (s/voz)

$n$  - broj vozila koja ne napuštaju red intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka

$t_{hc}$  - prosečna vrednost intervala sleđenja za vozila u ciklusu koja napuštaju red intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka (s/voz)

Gubici na startu se zatim utvđuju za celokupan period posmatranja, odnosno za sve posmatrane cikluse narednim izrazom [1]:

$$a = \frac{\sum_{j=1}^p a_j}{p} \quad (3)$$

$a$  - prosečna vrednost gubitaka na startu (s)

$a_j$  - vrednost gubitaka na startu j-tog ciklusa (s)

$p$  - ukupan broj snimljenih ciklusa

Na svakoj raskrsnici je posmatrano 60 ciklusa. Beleženi su prolasci isključivo putničkih automobila zbog dobijanja uniforminih i međusobno uporedivih rezultata.

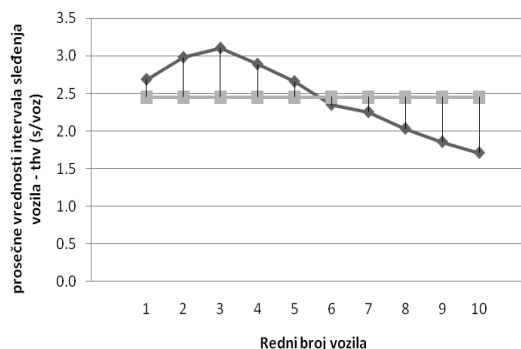
## 5. REZULTATI

U daljem radu su prikazani rezultati predmetnog istraživanja koji se odnose na gubitke na startu.

### 5.1. Smederevska Palanka

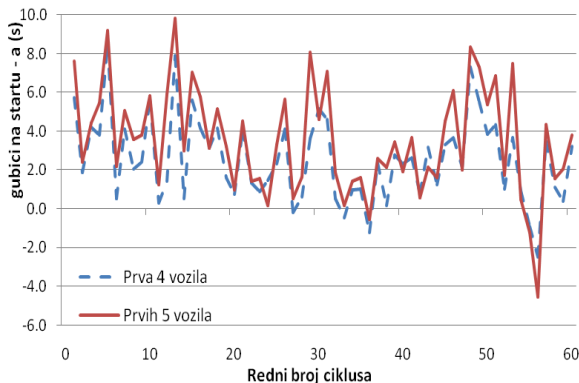
Rezultati istraživanja obuhvataju vrednosti intervala sleđenja između svakog para vozila na nivou pojedinačnih ciklusa, od trenutka pojave zelenog signalnog pojma, do trenutka prestanka procesa pražnjenja inicijalnog reda. Obuhvaćeno je 60 ciklusa, gde trajanje pojedinačnog iznosi 75 sekundi. Analiziranim tokovima u traci dodeljeno je 22 sekunde pripadajućeg stvarnog zelenog vremena u ukupnom ciklusu, uključujući i dužinu trepćućeg zelenog signalnog pojma trajanja od 4 sekunde. Zabeleženi minimalan broj vozila u inicijalnom redu je šest, dok je maksimalan deset. Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 514 vozila.

Prosečne vrednosti intervala sleđenja, posmatrano u odnosu na poziciju vozila u inicijalnom redu, za celokupan period istraživanja, odnosno za 60 ciklusa, prikazane su na grafikonu 2. Prvih pet pozicioniranih vozila u redu ostvaruje intervale sleđenja koji su veći od proseka svih vozila tokom perioda analize (2,45 s/voz). Treće vozilo u formiranom inicijalnom redu ostvaruje najveću prosečnu vrednost intervala sleđenja (3,10 s/voz), dok deseto, kao poslednje u redu, ostvaruje najmanju (1,71 s/voz) za posmatranih 60 ciklusa. Vozila u redu koja su merodavna za proračun gubitaka na startu su vozila koja troše dodatno vreme i onemogućavaju proces pražnjenja reda intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka zbog potrebe za reakcijom vozača na promenu signalnog pojma i njihove međusobne inercije.



Grafikon 2 - Prosečne vrednosti intervala sleđenja vozila

Period vremena u kome je zabeležen prolazak prva četiri, odnosno pet vozila na nivou svakog ciklusa je ključan za određivanje gubitaka na startu, zbog pretpostavljenih većih vrednosti intervala sleđenja. Česta dilema je koliko vozila treba ući u proračun, pa će se sa tim u vezi, u daljem radu, kroz analizu, odgovoriti na to pitanje koje je, pre svega, lokacijski uslovljeno. Predstavljena su dva slučaja, prvi, u kome je za proračun gubitaka kao reprezent posmatrano četiri, i drugi, u kome je posmatrano prvih pet vozila inicijalnog reda (grafikon 3).



Grafikon 3 - Gubici na startu za četiri i pet vozila

Posmatrajući gubitke na startu koje ostvaruju prva četiri vozila u redu (tabela 2), uočava se da standardno odstupanje gubitaka za 60 ciklusa iznosi 2,20, što ukazuje na to da vrednosti nisu raspoređene u uskom opsegu, već da variraju od minimalnih -2,49, do maksimalnih 8,47 sekundi. Posmatrajući gubitke prvih pet vozila inicijalnog reda (tabela 2), takođe se primećuju varijacije u vrednostima gubitaka na startu, od minimalnih -4,54, do maksimalnih 9,81 sekundi, što daje vrednost standardne devijacije od 2,76. Vrednosti sa predznakom znaka „-“ ne odgovaraju pojmu „gubici“, već predstavljaju specifičan slučaj praznjenja reda prvih četiri/pet vozila intenzitetom većim od vozila koja su odabrana kao merodavna za proračun zasićenog saobraćajnog toka. Prosečne vrednosti gubitaka u prvom slučaju iznose 2,55 sekunde, dok u drugom slučaju iznose 3,54 sekunde. Zanimljivo je da se uključivanjem samo jednog dodatnog vozila u proračun prethodno pomenutih gubitaka njihova prosečna vrednost povećava za skoro celu sekundu, pa će u tom slučaju, kao merodavni gubici biti usvojeni oni koji uključuju prvih pet vozila.

Tabela 2. Gubici na startu (a)

	a (s) 4 voz	a (s) 5 voz
MIN	-2.49	-4.54
MAX	8.47	9.81
Standardno odstupanje	2.20	2.76
Prosek	2.55	3.54

Različite vrednosti standardnog odstupanja u odnosu na prosečne vrednosti intervala sleđenja vozila u inicijalnom redu, za period istraživanja, prikazane su u tabeli 3. Uključivanjem svih vozila, vrednost standardnog odstupanja intervala sleđenja iznosi 0,49, dok se srazmernim isključivanjem jednog po jednog vozila sa početka reda ona smanjuje, odnosno vrednosti se približavaju aritmetičkoj sredini skupa. Još jedan od razloga za usvajanje gubitaka na startu koja uključuju prvih pet vozila u proračun jeste niža vrednost standardne devijacije prosečnih intervala dobijena njihovom eliminacijom (0,27), u poređenju sa devijacijom dobijenom eliminisanjem prva četiri vozila (0,35).

Tabela 3. Standardno odstupanje

Redni broj vozila	thv (s/voz)	Standardno odstupanje ( $\sigma$ )
1	2.69	
2	2.98	
3	3.10	
4	2.89	
5	2.66	
6	2.35	
7	2.25	
8	2.03	
9	1.85	
10	1.71	

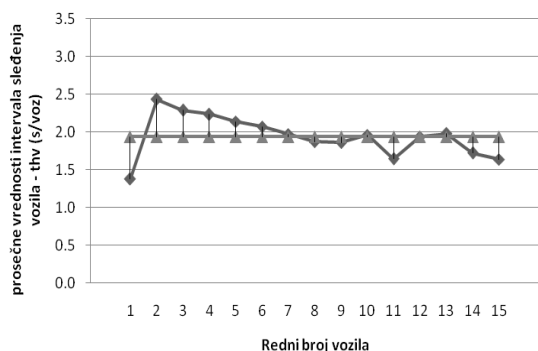
## 5.2. Beograd

Rezultati istraživanja obuhvataju vrednosti intervala sleđenja između svakog para vozila na nivou pojedinačnih ciklusa, od trenutka pojave zelenog signalnog pojma, do trenutka prestanka procesa praznjenja inicijalnog reda. Obuhvaćeno je 60 ciklusa, gde trajanje pojedinačnog iznosi 105 sekundi.

Tokovi u traci za kretanje pravo imaju 42 sekunde pripadajućeg stvarnog zelenog vremena u ukupnom ciklusu, uključujući i dužinu trepćućeg zelenog signalnog pojma trajanja od 3 sekunde. Zabeleženi minimalan broj vozila u inicijalnom redu je 7, dok je maksimalan 15. Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 573 vozila.

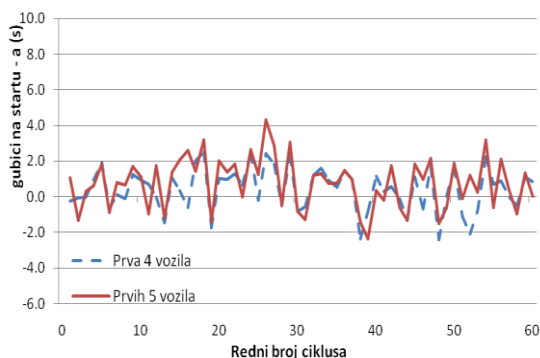
Prosečne vrednosti intervala sleđenja vozila, posmatrano u odnosu na njihovu poziciju u inicijalnom redu, za celokupan period istraživanja, prikazane su na grafikonu 4. Prvo vozilo u redu ima najmanju prosečnu vrednost intervala (1,38 s/voz).

Vozila od druge do sedme pozicije inicijalnog reda ostvaruju intervale sleđenja veće od prosečnog svih vozila tokom perioda analize (1,94 s/voz). Najveću vrednost ostvaruje drugo vozilo (2,43 s/voz).



Grafikon 4 - Prosečne vrednosti intervala sleđenja vozila

Predstavljena su dva slučaja za proračun gubitaka na startu, prvi, u kome je posmatrano četiri, i drugi, u kome je posmatrano prvih pet vozila formiranog inicijalnog reda (grafikon 5).



Grafikon 5 - Gubici na startu za četiri i pet vozila

Posmatrajući gubitke na startu koje ostvaruju prva četiri vozila u redu (tabela 4), uočava se da standardno odstupanje gubitaka za 60 ciklusa iznosi 1,21, što ukazuje na to da su vrednosti raspoređene u širokom opsegu i da variraju od minimalnih -2,40, do maksimalnih 2,51 sekundu. Posmatrajući gubitke prvih pet vozila inicijalnog reda (tabela 4), takođe se primećuju varijacije u vrednostima gubitaka na startu, od minimalnih -2,35, do maksimalnih 4,32 sekunde, što daje vrednost standardne devijacije od 1,43. Prosečne vrednosti gubitaka u prvom slučaju iznose 0,41 sekundu, dok u drugom slučaju iznose 0,76 sekundi. Uključivanjem petog vozila inicijalnog reda u proračun gubitci na startu se povećavaju za 0,35 sekundi, pa će u daljem radu, za merodavne gubitke vozila, biti usvojeni oni koji uključuju prvih pet vozila.

Tabela 4. Gubici na startu (a)

	a (s) 4 voz	a (s) 5 voz
MIN	-2.4	-2.35
MAX	2.51	4.32
Standardno odstupanje	1.21	1.43
Prosek	0.41	0.76

Različite vrednosti standardnog odstupanja u odnosu na prosečne vrednosti intervala sleđenja vozila u inicijalnom redu, za period istraživanja, prikazane su u tabeli 5. Uključivanjem svih vozila, vrednost standardnog odstupanja intervala sleđenja iznosi 0,28, dok se srazmernim isključivanjem jednog po jednog vozila sa početka reda ona smanjuje, odnosno vrednosti se približavaju aritmetičkoj sredini skupa. Kao što je ranije bilo reči da će u proračun gubitaka na startu biti uključeno prvih pet vozila, još jedan od razloga koji opravdava tu odluku jeste malo, ali svakako niža, vrednost standardne devijacije prosečnih intervala dobijena njihovom eliminacijom (0,15), u poređenju sa devijacijom dobijenom eliminisanjem prva četiri vozila (0,16). Ovako dobijena apsolutna mera disperzije osnovnog skupa (0,15), prvenstveno se odnosi na vozila koja su merodavna za proračun zasićenog saobraćajnog toka.

Tabela 5. Standardno odstupanje

Redni broj vozila	thv (s/voz)	Standardno odstupanje ( $\sigma$ )
1	1.38	
2	2.43	
3	2.29	
4	2.24	
5	2.14	
6	2.07	
7	1.97	
8	1.87	
9	1.86	
10	1.96	
11	1.65	
12	1.94	
13	1.98	
14	1.72	
15	1.64	

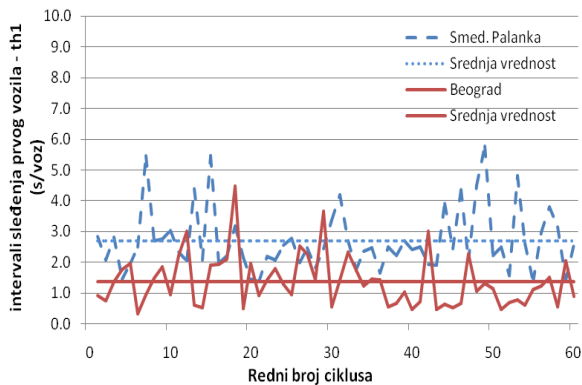
## 6. POREĐENJE REZULTATA I DISKUSIJA

U daljem tekstu je izvršeno poređenje rezultata gubitaka na startu za posmatrane trake namenjene tokovima pravo na raskrscicama u Smederevskoj Palanci i Beogradu. Sprovedeno je i poređenje rezultata predmetnog istraživanja sa literaturom.

Prosečna vrednost intervala sleđenja svih vozila, dobijena istraživanjem u Smederevskoj Palanci iznosi 2,45 sekundi po vozilu, dok je za Beograd dobijena vrednost od 1,94. Najveća odstupanja u vrednostima različitih područja zabeležena su kod vozila koja su merodavna za proračun gubitaka na startu, odnosno koja ne napuštaju red intenzitetom zasićenog

saobraćajnog toka. Prosečna vrednost intervala sleđenja vozila koja napuštaju red intenzitetom zasićenog saobraćajnog toka, dobijena istraživanjem u Smederevskoj Palanci iznosi 2,16 sekundi po vozilu, dok je za Beograd dobijena vrednost od 1,94.

Prosečne vrednosti intervala sleđenja prvog vozila inicijalnog reda na nivou ciklusa, kao i ukupne prosečne vrednosti, prikazane su na narednom grafikonu 6. Istraživanjem u Smederevskoj Palanci dobijeno je da prvo vozilo ostvaruje dosta veći prosečan interval sleđenja (2,69 s/voz) u poređenju sa rezultatima istraživanja u Beogradu (1,38 s/voz). Uočena razlika od čak 1,31 sekundu po vozilu posledica je toga što većina vozača na raskrsnici u Beogradu već na crveno-žutom signalnom pojmu prednjom osovinom vozila prolazi liniju zaustavljanja, odnosno njihova reakcija je odgovor na njega, a ne na zeleni pojam.

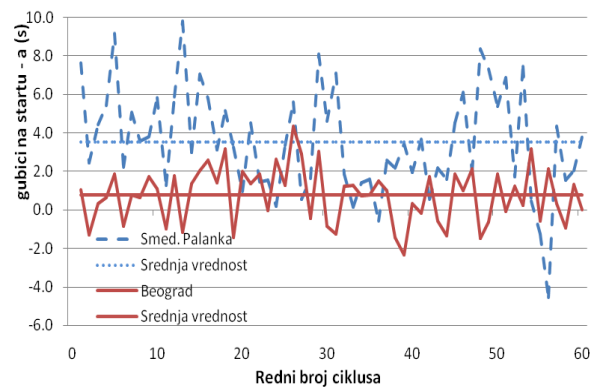


Grafikon 6 - Intervali sleđenja prvog vozila

Poredeći prosečne intervale sleđenja prvog i drugog vozila u redu, Yang & Chung, (2012) su u svojoj studiji utvrdili da je trend vremena odziva vozača najviše izražen između ova dva vozila, a što je potvrđeno predmetnim istraživanjem (0,29 u Smederevskoj Palanci i 1,05 s/voz razlike u Beogradu).

Govoreći o gubicima na startu (grafikon 7), na raskrsnici u Smederevskoj Palanci prosečna vrednost je veća za 2,78 sekundi. U manjim gradovima vozači su skloni pasivnijem načinu vožnje. Distance koje svakodnevno prelaze su male, a posledično je i vreme putovanja dosta manje nego u većim gradovima. Pored toga, zagušenja se javljaju isključivo u centralnoj zoni u vršnim periodima, dok je ostali deo mreže u suficitu sa kapacitetom u odnosu na ispostavljene saobraćajne zahteve. Ovakva realizacija saobraćajnog procesa dovodi do umanjivanja kapaciteta signalisanih raskrsnica, odnosno opsluživanja dosta manjeg broja vozila od onog koji je mogao biti opslužen u idealnim uslovima. U većim gradovima vozači svakodnevno provode veliki deo vremena u vožnji, pritom ostvarujući velike vremenske gubitke koji su posledica svakodnevnih zagušenja na većini mreže. To dovodi do toga da vozači maksimalno i u svakom trenutku koriste

vreme koje imaju na raspolaganju za prolazak raskrsnicom, minimizirajući gubitke na startu. Dužina trajanja zelenog signalnog pojma i ciklusa može biti još jedan od razloga različito dobijenih vrednosti. Naime, u studiji (Agent i dr., 1983) je dokazano da je duže vreme trajanja zelenog signalnog pojma dovelo do smanjenja gubitaka na startu sa čak 50% razlike između kraćeg i dužeg vremena trajanja, od 1,72 do 1,05 sekundi. Utvrđeno je i da su gubici na startu za duže cikluse za 40% manji nego za kraća vremena trajanja ciklusa, od 1,42 do 0,85 sekundi. Ova zavisnost je potvrđena predmetnim istraživanjem, jer su rezultati pokazali da je u Beogradu duže pripadajuće zeleno i ciklus, a manji gubici na startu. Pored svega navedenog, prethodno je objašnjeno da većina vozača u Beogradu reaguje na crveno-žuti signalni pojam (grafikon 6) čime se umanjuje prosečna vrednost intervala sleđenja prvog vozila, a posledično i vrednost gubitaka na startu.



Grafikon 7 - Gubici na startu, Smederevska Palanka i Beograd

Dobijena vrednost gubitaka na startu istraživanjem u Smederevskoj Palanci (3,54 s) je dosta veća od literarnih. Prema priručniku (HCM, 2010) preporučena vrednost je 2 sekunde, dok su vrednosti dobijene studijama (Agent i dr, 1983) 1,40 i (Çalışkanelli i dr, 2017) 2,32 sekunde. Međutim, gubici na startu dobijeni u Beogradu (0,76 s) su dosta manji od literarnih. Çalışkanelli i dr., (2017) su u svojoj studiji utvrdili i da se vrednosti gubitaka na startu razlikuju u širokom opsegu, što daje relativno visoku vrednost standardne devijacije. U manjem gradu vrednost standardne devijacije iznosi 2,76 (tabela 2), dok je u većem dobijena vrednost od 1,43 (tabela 4). Ovakvo potvrđena zavisnost rezultat je različitih psiholoških faktora i vremena percepcije/reakcije vozača na signalisanim raskrsnicama.

## 7. ZAKLJUČAK

Predmetnim istraživanjem je pokazano da su gubici na startu veći u Smederevskoj Palanci za 2,78 sekundi, u poređenju sa gradom Beogradom, čime je dokazano da posmatrane vrednosti primarno zavise od

veliĉine grada, odnosno od ponašanja vozaĉa u razliĉitim podruĉjima, a što potvrđuje polaznu hipotezu rada. Međutim, sprovedenim pilot istraživanjem nisu obuhvaćene raskrsnice istih geometrija i parametara rada svetlosnih signala, pa se, s tim u vezi, ne može pouzdano tvrditi da li postoji korelacija između gubitaka i još nekih, dodatnih faktora. Iz navedenih razloga, predlaže se sprovođenje novih istraživanja na većem uzorku i raskrsnicama istih ili približno istih geometrija i parametara rada signala.

#### LITERATURA

- [1] Ćelar N, Stanković S, Kajalić J. *Osnove upravljanja svetlosnim signalima*. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2020.
- [2] Republiĉki zavod za statistiku, Republika Srbija. *Statistiĉki godišnjak Republike Srbije, Saobraćaj (2008-2022)*.
- [3] Ćalıřkanelli S. P, Atasever C, Tanyel S. (Start-up Lost Time and its Effect on Signalized Intersections in Turkey. *Traffic&Transportation*, Vol. 29, 2017, No. 3, 321-329, 2017.
- [4] *Highway Capacity Manual Transportation Research Board*, National Research Council, Washington, DC, USA, 2010.
- [5] Kocić A, Ćelar N, Kajalić J. & Stanković S. Flashing green effects on traffic efficiency. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 66(2), 27-31, 2020.
- [6] Stanković S, Ćelar N, Kajalić J. Estimation of start-up lost time and amber time utilization for signal timing. *International Conference on Traffic and Transport Engineering – Belgrade*, 2016.
- [7] Agent K, Crabtree J. *Analysis of Lost Time at Signalized Intersections*. University of Kentucky, College of Engineering, 1983.
- [8] Yang S, Chung E. Driver Response Time of Queuing Vehicles at Urban Signalized Intersections. *Social and Behavioral Sciences*, Vol. 43, 2012, 169-177, 2012

#### SUMMARY

##### EFFECT OF CITY SIZE ON START-UP LOST TIME AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

*In recent years, the degree of motorization and transport work have been expanding, while the development of infrastructure, road and street networks, has not followed their growth. Such an approach leads to an increasingly frequent imbalance of traffic demand and capacity, that is, to a state of the traffic system in which the existing network is not able to respond to all requests made by users. The paper analyzes the influence of the size of the city on start-up lost time at signalized intersections. Investigations were conducted for traffic lanes right at two signalized intersections, in Smederevska Palanka and Belgrade. The research results indicate that the loss values are higher by 2.78 seconds in Smederevska Palanka.*

**Key Words:** *start-up lost time, city size, signalized intersection*