

Uticaj tehničkih mera za smirivanje saobraćaja na prihvatanje intervala sleđenja na nesignalisanim raskrsnicama²⁶

Vladimir Ilić, Mašinski fakultet, Podgorica, vladimiri@ucg.ac.me

Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, vuk@uns.ac.rs

Boško Matović, Mašinski fakultet, Podgorica, boskom@ucg.ac.me

Filip Perović, Mašinski fakultet, Podgorica, perovic.fp@gmail.com

Milan Andrijašević, Opština Bar, Bar, milan.1.andrijasevic@gmail.com

Rezime: Tehničke mere za smirivanje saobraćaja, poput izdignutih pešačkih prelaza, izdignutih platformi i veštačkih izbočina, tradicionalno se primenjuju sa ciljem smanjenja brzine kretanja vozila i unapređenja bezbednosti saobraćaja u zonama povećanog prisustva ranjivih učesnika u saobraćaju, kao što su zone škola i pešački prelazi. Iako je njihov bezbednosni efekat detaljno istraživan od strane mnogih autora, uticaj ovih mera na uslove odvijanja saobraćaja na nesignalisanim raskrsnicama i ponašanje vozača pri prihvatanju intervala još uvek nije dovoljno istražen. S obzirom na to da se postupci prilagođavanja modela za izračunavanje kapaciteta raskrsnica, uključujući i preporuke iz Highway Capacity Manual (HCM), često zasnivaju na lokalnim karakteristikama saobraćajnog sistema, kao što su ponašanje vozača, geometrija raskrsnice i saobraćajni uslovi, opravdano je očekivati da mere za smirivanje saobraćaja mogu uticati i na vrednosti parametara prihvatanja intervala sleđenja. Polazi se od pretpostavke da smanjenje brzine vozila u konfliktom toku usled prelaska preko mere za smirivanje saobraćaja može povećati subjektivni osećaj bezbednosti vozača koji izvode neki od manevara nižeg prioriteta, što može uticati na proces prihvatanja ponuđenog intervala sleđenja. Istraživanje je zasnovano na uporednoj analizi dve geometrijski slične nesignalisane raskrsnice, od kojih je na jednoj postavljen izdignuti pešački prelaz kao mera za smirivanje saobraćaja, dok na drugoj takva mera ne postoji. Rezultati istraživanja mogu doprineti boljem razumevanju uticaja tehničkih mera za smirivanje saobraćaja na ponašanje vozača pri prihvatanju intervala sleđenja i operativne karakteristike nesignalisanih raskrsnica.

Ključne reči nesignalisane (TWSC) raskrsnice, tehničke mere za smirivanje saobraćaja, intervali sleđenja, kapacitet raskrsnica

1 UVOD

Nesignalisane raskrsnice predstavljaju karakteristične tačke putne mreže na kojima vozači iz tokova nižeg prioriteta moraju proceniti da li je raspoloživi vremenski interval u konfliktom toku dovoljan za bezbedno izvođenje željenog manevra. Odluka o prihvatanju ili odbijanju raspoloživog intervala predstavlja osnovu teorije prihvatanja intervala, koja se široko primenjuje u analizi operativnih karakteristika nesignalisanih raskrsnica. Na ponašanje vozača pri donošenju ove odluke mogu uticati karakteristike

²⁶ CC-BY licenca

konfliktnog vozila, geometrija raskrsnice, intenzitet saobraćaja, karakteristike vozila koje izvodi manevar, kao i individualne karakteristike vozača [1]. Zbog toga vrednosti prihvaćenih intervala mogu značajno varirati između različitih vozača i saobraćajnih situacija.

Jedan od faktora koji može imati značajan uticaj na proces prihvatanja intervala jeste brzina vozila u konfliktnom toku. Rezultati prethodnih istraživanja nisu u potpunosti usaglašeni u pogledu smera ovog uticaja. Yan et al. [2] utvrdili su da su vozači pri većim brzinama vozila u glavnom toku prihvatili kraće intervale, dok Maurya et al. [3] navode da pri većim brzinama konfliktnog vozila vozači zahtevaju veće vremenske razmake za izvođenje manevra. Weinert [4], sa druge strane, nije potvrdila statistički značajan uticaj brzine vozila u glavnom toku na vrednosti parametara prihvatanja intervala. Ovakvi nalazi ukazuju na potrebu dodatnog ispitivanja veze između brzine konfliktnog vozila i ponašanja vozača u realnim saobraćajnim uslovima.

Brzina kretanja vozila predstavlja jedan od ključnih faktora bezbednosti saobraćaja, jer je povezana kako sa verovatnoćom nastanka saobraćajne nezgode, tako i sa težinom njenih posledica [5]. Iz tog razloga, mere za smirivanje saobraćaja, poput veštačkih izbočina i izdignutih platformi, primenjuju se prvenstveno sa ciljem smanjenja brzine vozila i unapređenja bezbednosti saobraćaja. Antić et al. [6] pokazali su da se sa povećanjem visine veštačkih izbočina povećava intenzitet smanjenja brzine vozila, dok su Yeo et al. [7] utvrdili da se njihov uticaj na brzinu može prostirati i na određeno rastojanje pre i nakon same mere. Iako su bezbednosni efekti ovih mera relativno dobro istraženi, njihov mogući uticaj na proces prihvatanja intervala na nesignalisanim raskrsnicama znatno je manje zastupljen u postojećoj literaturi.

Polazeći od navedenog, predmet ovog istraživanja je uporedna analiza prihvaćenih intervala na dve geometrijski slične nesignalisane raskrsnice, pri čemu je na jednoj postavljen izdignuti pešački prelaz kao mera za smirivanje saobraćaja, dok na drugoj takva mera ne postoji. Posebna pažnja usmerena je na analizu brzine konfliktnog vozila i njene povezanosti sa veličinom prihvaćenog intervala. Cilj istraživanja je da se ispita da li prisustvo mere za smirivanje saobraćaja može biti povezano sa promenama u brzini konfliktnog toka i ponašanju vozača pri prihvatanju intervala.

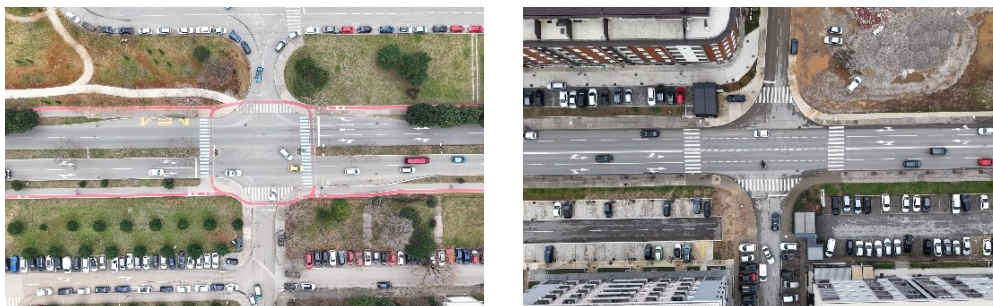
2 ISTRAŽIVANJE

2.1 Metodologija i cilj istraživanja

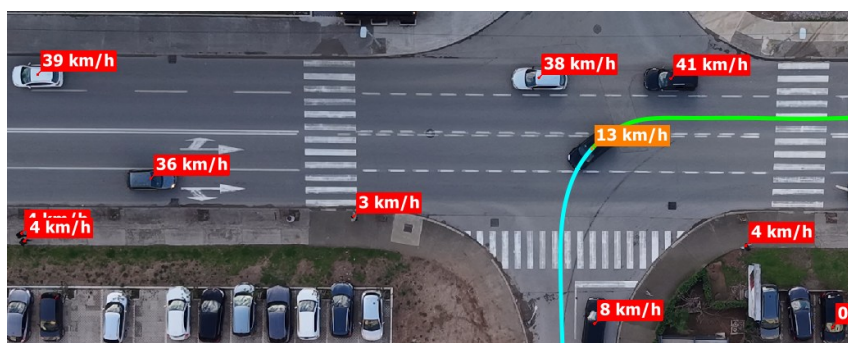
Istraživanje je sprovedeno na dve TWSC raskrsnice (eng. Two-Way Stop-Controlled) na teritoriji Podgorice, koje imaju slične geometrijske karakteristike i uporedive uslove odvijanja saobraćaja. Na jednoj od posmatranih raskrsnica postavljen je izdignuti pešački prelaz visine 4 cm (Raskrsnica A), dok na drugoj ne postoji nikakva mera ove vrste (Raskrsnica B) (Slika 1). Konkretno, posmatran je manevar levog skretanja sa glavnog prilaza, odnosno ponašanje vozača prilikom prihvatanja intervala u konfliktnom toku sa i bez prisustva izdignutog pešačkog prelaza (Slika 2).

Podaci potrebni za istraživanje prikupljeni su video-snimanjem saobraćaja iz vazduha pomoću bespilotne letelice DJI Air 3S, prikazane na Slici 3. Snimanje iz vazduha omogućilo je istovremeno praćenje kretanja vozila koje izvodi levi manevar i vozila u konfliktnom toku, kao i naknadno određivanje parametara potrebnih za analizu prihvatanja intervala.

Ovakav način prikupljanja podataka omogućava analizu odvijanja saobraćaja u realnim uslovima, pri čemu prisustvo istraživača na terenu ne utiče na ponašanje vozača. Prednost terenskog istraživanja dodatno se ogleda u tome što, za razliku od simulatora vožnje, omogućava posmatranje vozača u stvarnom saobraćajnom okruženju. Alexander et al. [8] ističu da simulator omogućava kontrolu eksperimentalnih faktora, ali ne može u potpunosti verno reprodukovati složenost realnog saobraćaja i procesa donošenja odluka vozača [8].



Slika 1. Posmatrane TWSC raskrsnice A i B



Slika 2. Prikaz posmatranog manevra

Video-zapisi obrađeni su u programskom paketu DataFromSky, čiji je rad zasnovan na primeni veštačke inteligencije i algoritama za automatsko prepoznavanje i praćenje učesnika u saobraćaju. Softver omogućava prepoznavanje različitih kategorija objekata, kao što su pešaci, biciklisti, putnička i teretna vozila, kao i praćenje njihovog kretanja kroz posmatranu saobraćajnu zonu. Za potrebe ovog istraživanja posmatrani su isključivo prihvaćeni intervali, pri čemu su za svako opažanje evidentirane vrednost prihvaćenog intervala, brzina konfliktnog vozila i vrsta intervala (lag ili gap). Prema Devarasetty et al. [9], gap predstavlja vremenski interval između prolaska jednog i nailaska narednog vozila u konfliktnom toku, dok lag predstavlja vreme između dolaska vozila koje izvodi manevar na raskrsnicu i nailaska prvog konfliktnog vozila.

Analizom je obuhvaćeno **27 prihvaćenih intervala na raskrsnici sa izdignutim pešačkim prelazom i 27 prihvaćenih intervala na raskrsnici bez primenjene mere za smirivanje saobraćaja**, odnosno ukupno 54 opažanja. Cilj istraživanja je da se uporednom analizom utvrdi da li prisustvo tehničke mere za smirivanje saobraćaja može biti povezano sa razlikama u brzini konfliktnog vozila i veličini prihvaćenih intervala pri izvođenju levog

skretanja sa glavnog prilaza, kao i da se ispita postojanje povezanosti između ova dva parametra.



Slika 3. Korišćena bespilotna letelica DJI Air 3S

Izvor: <https://www.dji.com/global/air-3s>

3 REZULTATI

Osnovna statistička obeležja prihvaćenih intervala prikazana su u Tabeli 1. Na Raskrsnici A srednja vrednost prihvaćenog intervala iznosila je 3,16 s, dok je na Raskrsnici B iznosila 3,98 s. Sličan odnos uočava se i kod medijane, koja iznosi 3,10 s na Raskrsnici A i 3,80 s na Raskrsnici B. Dobijeni rezultati ukazuju da su na Raskrsnici A vozači u proseku prihvatili kraće intervale nego na Raskrsnici B. Takođe, manja vrednost standardne devijacije na Raskrsnici A ukazuje na nešto manju varijabilnost prihvaćenih intervala.

Tabela 1. Osnovna statistička obeležja prihvaćenih intervala

Raskrsnica	Srednja vrednost [s]	Medijana [s]	Minimum [s]	Maksimum [s]	Std. dev. [s]
A	3,16	3,10	1,60	5,90	0,77
B	3,98	3,80	2,30	5,80	1,02

Osnovna statistička obeležja brzine konfliktnog vozila prikazana su u Tabeli 2. Srednja vrednost brzine na Raskrsnici A iznosila je 28,19 km/h, dok je na Raskrsnici B iznosila 38,15 km/h. Sličan odnos uočava se i kod medijane, koja iznosi 30 km/h na Raskrsnici A i 35 km/h na Raskrsnici B. Dobijeni rezultati ukazuju na niže brzine konfliktnog vozila na raskrsnici sa izdignutim pešačkim prelazom. Standardne devijacije su gotovo jednake na obe lokacije, što ukazuje na sličan stepen varijabilnosti brzina u posmatranim uzorcima.

Tabela 2. Osnovna statistička obeležja brzine konfliktnog vozila

Raskrsnica	Srednja vrednost [km/h]	Medijana [km/h]	Minimum [km/h]	Maksimum [km/h]	Std. dev. [km/h]
A	28,19	30,00	9,00	47,00	10,51
B	38,15	35,00	21,00	63,00	10,06

Rezultati Mann–Whitney U testa pokazali su da, za definisani prag statističke značajnosti od 0,05, između dve posmatrane raskrsnice postoji statistički značajna razlika kako u vrednostima prihvaćenih intervala ($p = 0,004$), tako i u brzinama konfliktnog vozila ($p = 0,002$), pri čemu su na Raskrsnici A zabeležene niže vrednosti oba posmatrana parametra.

Spearmanovom korelacionom analizom nije utvrđena statistički značajna povezanost između brzine konfliktnog vozila i vrednosti prihvaćenog intervala ni na jednoj od posmatranih raskrsnica. Na Raskrsnici A utvrđena je veoma slaba negativna korelacija ($\rho = -0,160$), dok je na Raskrsnici B povezanost bila praktično zanemarljiva ($\rho = 0,013$). Posmatrano prema vrsti intervala, na obe raskrsnice evidentirano je po 16 lag i 11 gap intervala, pri čemu su srednje vrednosti prihvaćenih intervala na Raskrsnici A iznosile 3,28 s za lag i 2,97 s za gap intervale, dok su na Raskrsnici B iznosile 3,84 s i 4,18 s, respektivno. Na Raskrsnici A prosečna vrednost prihvaćenih lag intervala bila je nešto veća od prosečne vrednosti gap intervala, dok je na Raskrsnici B zabeležen suprotan odnos. Zbog ograničenog obima uzorka, ove razlike mogu se posmatrati samo deskriptivno.

4 ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje imalo je za cilj da se ispita mogući uticaj tehničke mere za smirivanje saobraćaja na prihvatanje intervala pri levom skretanju sa glavnog prilaza na TWSC raskrsnicama. Uporednom analizom dve geometrijski slične raskrsnice — Raskrsnice A, na kojoj je izdignuti pešački prelaz postavljen kao mera za smirivanje saobraćaja, i Raskrsnice B, na kojoj takva mera ne postoji, utvrđeno je da su na Raskrsnici A ostvarene niže brzine konfliktnog vozila i kraće vrednosti prihvaćenih intervala. Srednja vrednost brzine konfliktnog vozila na Raskrsnici A iznosila je 28,19 km/h, naspram 38,15 km/h na Raskrsnici B, dok su srednje vrednosti prihvaćenih intervala iznosile 3,16 s i 3,98 s, respektivno. Neparametarskim Mann–Whitney U testom potvrđeno je da su razlike između dve raskrsnice statistički značajne za oba analizirana parametra.

Sa druge strane, Spearmanovom korelacionom analizom nije utvrđena statistički značajna povezanost između brzine konfliktnog vozila i vrednosti prihvaćenog intervala unutar pojedinačnih raskrsnica. Dobijeni rezultati stoga ukazuju da se posmatrane raskrsnice razlikuju kako u pogledu brzina konfliktnog toka, tako i u pogledu veličine prihvaćenih intervala, ali na osnovu raspoloživih podataka nije moguće utvrditi direktnu zavisnost ova dva parametra.

Buduća istraživanja trebalo bi proširiti na veći broj raskrsnica i veći obim uzorka, uz uključivanje odbijenih intervala, čime bi se omogućila detaljnija analiza procesa prihvatanja intervala i pouzdanija procena uticaja mera za smirivanje saobraćaja na operativne karakteristike nesignalisanih raskrsnica. Posebnu pažnju u budućim istraživanjima trebalo bi usmeriti na ispitivanje uticaja ovih mera na kapacitet sporednih manevara na TWSC raskrsnicama, imajući u vidu da su parametri prihvatanja intervala jedan od bitnih elemenata proračuna njihovog kapaciteta.

LITERATURA

- [1] Bhatt, K., Gore, N., & Shah, J. (2022). Critical gap estimation and its implication on capacity and safety of high-speed un-signalised T-intersection under heterogeneous traffic conditions. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(4), D215–D228.
- [2] Yan, X., Radwan, E., & Guo, D. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 843–852.
- [3] Maurya, A. K., Amin, H. J., & Kumar, A. (2016). Estimation of critical gap for through movement at four leg uncontrolled intersection. *Transportation Research Procedia*, 17, 203–212.
- [4] Weinert, A. (2000). Estimation of critical gaps and follow-up times at rural unsignalized intersections in Germany. In *Transportation Research Circular E-C018: Fourth International*

- Symposium on Highway Capacity (pp. 409–421). Transportation Research Board.
- [5] Aarts, L., & van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215–224.
- [6] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., & Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience. *Safety Science*, 57, 303–312.
- [7] Yeo, J., Lee, J., Cho, J., Kim, D.-K., & Jang, K. (2020). Effects of speed humps on vehicle speed and pedestrian crashes in South Korea. *Journal of Safety Research*, 75, 78–86.
- [8] Alexander, J., Barham, P., & Black, I. (2002). Factors influencing the probability of an incident at a junction: Results from an interactive driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 779–792.
- [9] Devarasetty, P. C., Zhang, Y., & Fitzpatrick, K. (2012). Differentiating between left-turn gap and lag acceptance at unsignalized intersections as a function of the site characteristics. *Journal of Transportation Engineering*, 138(5), 580–588.

SUMMARY

Impact of Traffic Calming Measures on Gap Acceptance at Unsignalized Intersections

Abstract: Traffic calming measures, such as raised pedestrian crossings, raised platforms, and speed humps, are traditionally implemented with the aim of reducing vehicle speeds and improving road safety in areas with a high presence of vulnerable road users, such as school zones and pedestrian crossings. Although their safety effects have been extensively investigated by numerous authors, the influence of these measures on traffic operations at unsignalized intersections and on driver behaviour during gap acceptance has not yet been sufficiently explored. Considering that procedures for adapting intersection capacity models, including recommendations from the Highway Capacity Manual (HCM), are often based on local characteristics of the traffic system, such as driver behaviour, intersection geometry, and traffic conditions, it is reasonable to expect that traffic calming measures may also affect the values of gap-acceptance parameters. It is assumed that reducing the speed of vehicles in the conflicting traffic stream when passing over a traffic calming measure may increase the subjective feeling of safety of drivers performing lower-priority manoeuvres, which may influence the process of accepting an available gap. The research is based on a comparative analysis of two geometrically similar unsignalized intersections, one of which has a raised pedestrian crossing installed as a traffic calming measure, while the other has no such measure. The research results may contribute to a better understanding of the influence of traffic calming measures on driver behaviour during gap acceptance and on the operational characteristics of unsignalized intersections.

Key words: unsignalized (TWSC) intersections, traffic calming measures, gap acceptance, intersection capacity