

KALIBRACIJA VISSIM-A ZA NEZAŠTIĆENO LEVO SKRETANJE NA SIGNALISANIM RASKRSLICAMA U BEOGRADU

Anica Kocić, mast. inž. saobr.

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, nana.anica.kocic@gmail.com

dr Nikola Čelar, dipl. inž. saobr.

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

Stamenka Stanković, mast. inž. saobr.

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

DOI: 10.31075/PIS.64.04.07

Stručni rad

Rezime: Simulacije se često koriste kao alternativan način sprovođenja eksperimenata i analiza. Simulacija predstavlja imitiranje ili funkcionisanja različitih tipova objekata ili procesa iz realnog sveta. Iz tog razloga su mikrosimulacioni modeli pronašli široku primenu u saobraćajnom inženjerstvu, posebno u oblasti upravljanja saobraćajem. Međutim, da bi ovi simulacioni modeli bili korisni za inženjere, moraju biti kalibrisani i provereni pre upotrebe. Kalibrisanjem brojnih ulaznih parametara na lokalne uslove postižu se pouzdaniji rezultati. Ovaj rad predstavlja kalibrisanje mikrosimulacionog modela VISSIM na lokalne uslove u Beogradu, konkretno za raskrsnice sa nezaštićenim levim skretanjem iz ekskluzivne trake. Ulazni parametri koji su kalibrisani su prihvatljiv interval sleđenja i rastojanje između vozila u redu za standardne gradske uslove. Za potrebe kalibracije ovih parametara, sprovedena su istraživanja na terenu radi prikupljanja neophodnih podataka. Nakon kalibracije, model je validiran poređenjem rezultata simulacije sa rezultatima istraživanja na terenu.

Ključne reči: nezaštićeno levo skretanje, raskrsnica, VISSIM, kalibracija.

VISSIM CALIBRATION FOR PERMITTED LEFT TURN ON SIGNALIZED INTERSECTIONS IN BELGRADE

Anica Kocić, M.Sc. T.E.

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, nana.anica.kocic@gmail.com

Nikola Čelar, Ph.D. T.E.

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

Stamenka Stanković, M.Sc. T.E.

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

Professional paper

Abstract: Simulations are often used as an alternate way of performing experiments and analysis. Simulations imitate or simulate the operations of various types of real world facilities or

processes. For that reason, microsimulation models have been widely used in traffic engineering, especially in traffic management. While these simulation models can be advantageous to engineers, the models must be calibrated and validated before they can be used. More accurate results are provided by model parameters calibration to local conditions. This paper presents microsimulation model VISSIM calibration to Belgrade local conditions, for intersections with permitted left turn. Model parameters which were calibrated are minimum gap time and standstill distance for standard urban traffic network. Necessary data for parameters calibration are collected by field researches. Model validation is done after model calibration by comparing simulation results and field research results.

Keywords: permitted left turn, intersection, VISSIM, calibration.

1. UVOD

Mikrosimulacioni modeli imaju široku primenu u saobraćajnom inženjerstvu, jer omogućavaju da se primenom računara imitira ili simulira funkcionisanje različitih tipova objekata ili procesa iz realnog sveta. Pored toga, simulacije su bezbednije, jeftinije i brže nego istraživanja na terenu, te se često koriste kao alternativan način sprovođenja eksperimenata i analiza. Sprovođenje istraživanja primenom simulacionih modela može biti prouzrokovano neadekvatnim uzorkom ili uslovima na terenu koji se žele istražiti.

Da bi simulacioni modeli bili korisni za inženjere, moraju biti kalibrisani i provereni pre upotrebe. Kalibrisanjem brojnih ulaznih parametara na lokalne uslove postižu se pouzdaniji rezultati. Predmet kalibracije mogu biti parametri koji se odnose na upravljanje saobraćajem, ponašanje vozača ili karakteristike saobraćajnog toka. Međutim, zbog otežanih istraživanja na terenu ili nedostupnih procedura o kalibraciji, istraživanja se često sprovode i sa preporučenim (default) ulaznim parametrima.

Pored kalibracije, značajan korak predstavlja i validacija modela. Validacija podrazumeva proveru tačnosti rezultata koje model daje, najčešće poređenjem tih rezultata sa rezultatima terenskih istraživanja.

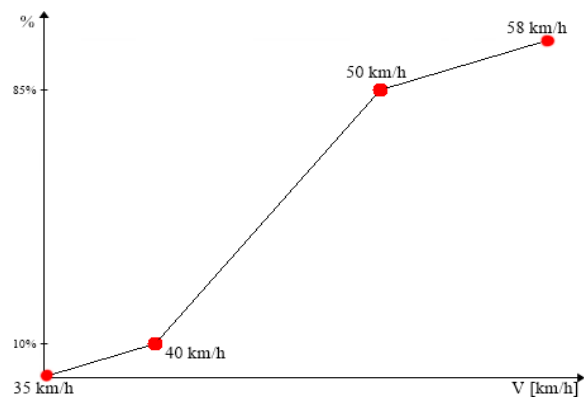
Ovaj rad predstavlja kalibrisanje mikrosimulacionog modela PTV (Planung Transport Verkehr AG) VISSIM 5.30 na lokalne uslove u Beogradu, konkretno za raskrsnice sa nezaštićenim levim skretanjem iz ekskluzivne trake. Kalibrisanje je izvršeno za potrebe istraživanja zasićenog saobraćajnog toka nezaštićenog levog skretanja na teritoriji Beograda.

Ulazni parametri koji su kalibrisani, jer se istuču kao najznačajniji, su rastojanje između vozila u redu (standstill distance) i prihvatljiv interval sleđenja (minimum gap time) za standardne gradske uslove [1, 2]. Za potrebe kalibracije ovih parametara sprovedena su istraživanja na terenu radi prikupljanja neophodnih podataka. Pored toga, sprovedena su istraživanja i za potrebe validacije modela, koja je takođe opisana u ovom radu.

2. KALIBRACIJA

VISSIM je veoma koristan alat u vrednovanju alternativnih saobraćajnih rešenja i u utvrđivanju efekata planerskih mera. Pored motorizovanog saobraćaja mogu se modelirati i pešački tokovi. Kao u svim programima za simuliranje saobraćaja, i VISSIM je baziran na matematičkim modelima koji opisuju ponudu saobraćajnog sistema, kao i modelima kojima se opisuje potražnja, tj. kretanje ljudi i vozila u saobraćajnom sistemu. Kalibracijom ulaznih parametara modela postiže se tačnost u simuliranju realnih uslova u saobraćajnom toku.

Pre postupka kalibracije neophodno je prilagoditi predmetnu saobraćajnu mrežu lokalnim uslovima. Pod tim se podrazumeva da je širina saobraćajne trake podešena na 3 m, sa uobičajenih 3,5 m u modelu, s obzirom da je to širina saobraćajne trake na gradskim saobraćajnicama. Dalje je definisana raspodela brzina kretanja od 35 do 58 km/h, sa 10% vozila koja se kreću brzinama ispod 40 km/h i 15% vozila koja se kreću brzinama iznad 50 km/h (Grafik 1).



Grafik 1: Raspodela brzina definisana u VISSIM-u

Na objektu modela (konektoru) koji predstavlja predmetno levo skretanje definisana je zona redukovane brzine od 25 do 30 km/h sa maksimalnim usporenjem 2 m/s².

Određivanjem tipa saobraćajnice definiše se različito ponašanje vozača na gradskoj i vangradskoj mreži (modeli Wiedemann 74 i Wiedemann 99), te je za predmetnu saobraćajnu mrežu definisano da je tip saobraćajnice gradska ulična mreža sa motorizovanim saobraćajem (model Wiedemann

74). Obrascima (1, 2) je opisan način utvrđivanja rastojanja između dva uzastopna vozila u sleđenju prema Wiedemann-ovom modelu:

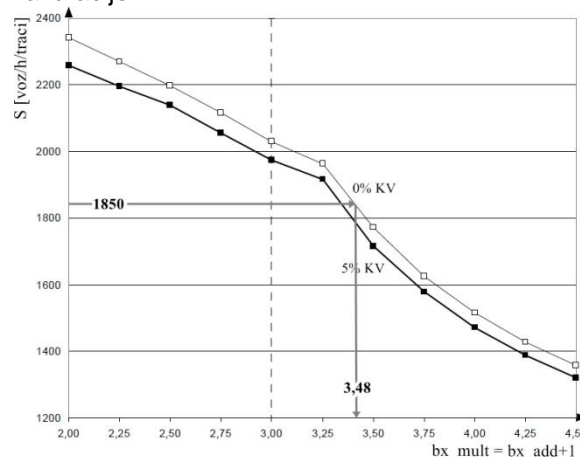
$$d = ax + bx \text{ [m]} \tag{1}$$

$$bx = (bx_add + bx_mult * z) * \sqrt{v} \text{ [m]} \tag{2}$$

gde su:

- ax - prosečno željeno rastojanje između zaustavljenih vozila [m], varijacija ± 1 m,
- bx - željeno bezbedno rastojanje [m],
- bx_add - dodatni deo željenog bezbednog rastojanja [m], predložena vrednost 2 m,
- bx_mult - multiplikativni deo željenog bezbednog rastojanja [m], predložena vrednost 3 m,
- v - brzina vozila [m/s],
- z - konstanta [-], ima vrednost u rangu [0, 1] koja je normalno raspoređena oko 0,5 sa standardnim odstupanjem 0,15.

Prema ovom modelu u VISSIM-u je definisan bazni dijagram zavisnosti zasićenog saobraćajnog toka (ZST) trake za pravo od multiplikativnog dela željenog bezbednog rastojanja, za raspodelu brzina od 48 do 58 km/h i jednostrani link (jedna saobraćajna traka po smeru) (Grafik 2). S obzirom da je zavisnost zasićenog toka prikazana u odnosu na multiplikativni deo željenog bezbednog rastojanja, ova veličina predstavlja predmet kalibracije.

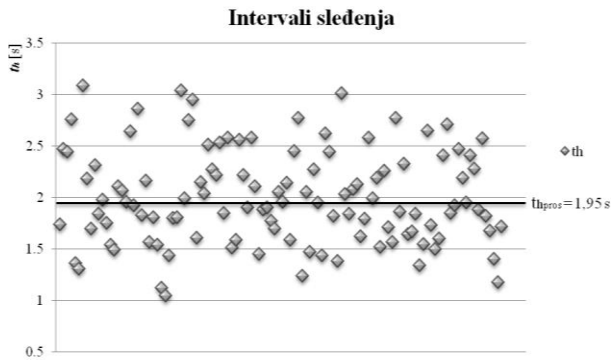


Grafik 2: Zavisnost ZST od multiplikativnog dela bezbednog rastojanja prema modelu Wiedemann 74

Izvor: Prilagođeno na osnovu [3].

Može se uočiti da je za, modelom predloženu vrednost, bx_mult = 3 m veličina ZST oko 2000 voz/h/traci (za 0 i 5% komercijalnih vozila u toku). Međutim, istraživanjem na 2 raskrsnice u Beogradu sa nezaštićenim levim skretanjem, utvrđeno je da vrednost zasićenog toka trake za pravo iznosi 1850 PA/h. Pri utvrđivanju vrednosti zasićenog toka primenjena je metoda bazirana na snimanju intervala sleđenja vozila pomoću mobilnog telefona opremljenog aplikacijom za snimanje intervala sleđenja.

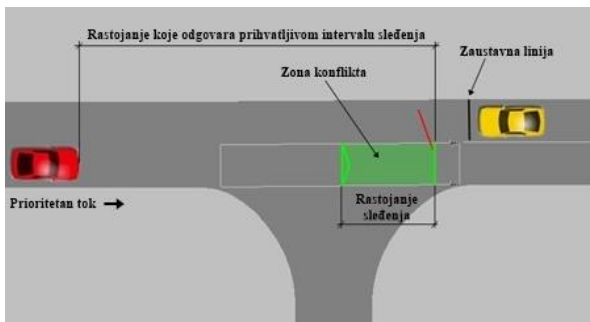
Uzorak je činilo 114 snimljenih vrednosti intervala sleđenja putničkih automobila (u skladu sa definicijom zasićenog toka). Na osnovu definisanog uzorka, utvrđena je prosečna vrednost intervala sleđenja putničkih automobila, 1,95 s, koja je korišćena u proračunu vrednosti ZST (Grafik 3).



Grafik 3: Vrednosti intervala sleđenja vozila u konfliktnom toku na dve raskrsnice

Na Grafiku 2 je prikazano da je na osnovu utvrđene vrednosti zasićenog toka određena vrednost $bx_mult = 3,48$ m, i shodno tome $bx_add = 2,48$ m. Ove vrednosti su u skladu sa navodima da je prihvatljiva vrednost bx_add od 1 do 3 m [4]. Nakon kalibracije ovih ulaznih parametara postignuta je i bazna vrednost zasićenog toka levog skretanja jednaka 1700 PA/h/traci, što je u skladu sa ranijim nalazima [5].

Dalje je definisano pravilo prioriteta, s obzirom da je konfliktni tok prioritetan u odnosu na predmetno levo skretanje. Logika formiranja pravila prioriteta za konkretno istraživanje, je prikazana na Slici 1.



Slika 1: Logika formiranja pravila prioriteta

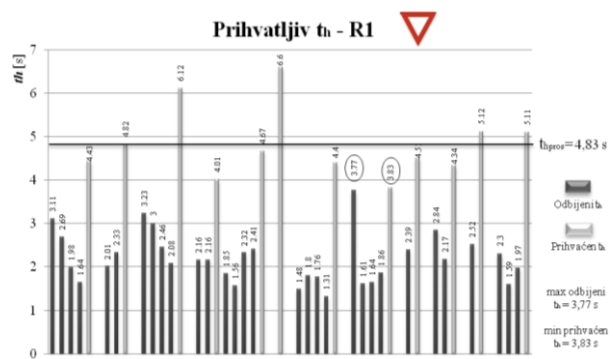
Definisanjem pravila prioriteta određuje se mesto gde se vozilo u levom skretanju, nakon prolaska zaustavne linije, mora zaustaviti da bi propustilo vozilo iz konfliktnog toka, ukoliko je to vozilo na određenoj udaljenosti od konfliktnog tačke. Pri definisanju pravila prioriteta, osnovni parametar je prihvatljiv interval sleđenja za vozila u levom skretanju. Prihvatljiv interval sleđenja, definisan u okviru pravila prioriteta, predstavlja graničnu vrednost.

Naime, ukoliko je trenutni interval sleđenja vozila u konfliktnom toku manji od kritičnog, vozilo koje skreće levo neće realizovati svoje skretanje. Trenutni interval sleđenja se utvrđuje na osnovu trenutnog rastojanja vozila prioritarnog toka od konfliktnog tačke i brzine tog vozila.

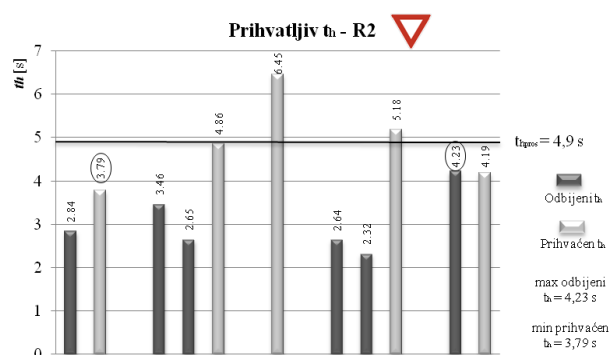
S obzirom da ovaj parametar direktno utiče na ponašanje vozila u levom skretanju kada je ono nezaštićeno, kritična vrednost intervala sleđenja je takođe predmet kalibracije.

U VISSIM-u je definisana kritična vrednost intervala sleđenja od 3 s, a istraživanjem ovog parametra, na tri raskrsnice u Beogradu, je utvrđeno da lokalnim uslovima odgovara vrednost od 5 s. Istraživanja su sprovedena na dve raskrsnice regulisane horizontalnom i vertikalnom signalizacijom i jednoj koja je regulisana svetlosnom signalizacijom.

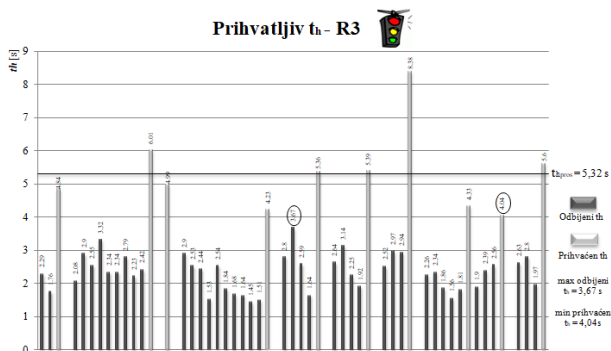
Na graficima 4, 5 i 6 su prikazani rezultati o odbijenim, prihvaćenim i prosečnim prihvaćenim intervalima sleđenja.



Grafik 4: Intervali sleđenja na R1 - regulisana horizontalnom i vertikalnom signalizacijom



Grafik 5: Intervali sleđenja na R2 - regulisana horizontalnom i vertikalnom signalizacijom



Grafik 6: Intervali sleđenja na R3 - regulisana svetlosnom signalizacijom

Rezultati pokazuju da su vrednosti prosečnih prihvaćenih intervala sleđenja sa posmatranih raskrsnica oko 5 s, sa odstupanjima do 3, 2 i 6% za R1, R2 i R3 respektivno.

Usvojena vrednost, na koju je kalibrisan prihvatljiv interval sleđenja u VISSIM-u, je prosečna za sve posmatrane raskrsnice, sa neznatnim odstupanjima. Literatura, takođe, predlaže vrednost 5 s [6], a neki od predloga bliskih usvojenoj vrednosti, su i 4,5 s [7] i 5,5 s [8].

2. VALIDACIJA

Validacija VISSIM-a je, nakon kalibracije, izvršena poređenjem rezultata simulacija sa rezultatima terenskih istraživanja.

Istraživanja za potrebe validacije modela su sprovedena na pet raskrsnica sa nezaštićenim levim skretanjem na teritoriji Beograda. Pri tome su beleženi zasićen saobraćajni tok levog skretanja (S_L), dužina trajanja zelenog signalnog pojma i trajanja ciklusa, kao i broj vozila u konfliktnom toku tokom sat vremena, za svaku od raskrsnica. Zasićen saobraćajni tok je izlazna veličina istraživanja primenom modela, te je ova veličina snimana radi poređenja i provere pouzdanosti modela. Ostale navedene veličine su beležene radi prilagođavanja modela i opisivanja posmatranih raskrsnica.

U Tabeli 1 su dati rezultati terenskih istraživanja (T) i rezultati simulacija pre i posle kalibracije (S_{preK} i S_{posleK}), kao i odnosi rezultata terenskih istraživanja i rezultata simulacije pre i posle kalibracije, za svaku od raskrsnica. Ovaj pristup je usvojen, jer se jasno može uočiti kolika su odstupanja rezultata simulacije od realnih vrednosti (idealna vrednost T/S je 1, odnosno rezultati oba istraživanja su jednaki).

Tabela 1: Rezultati terenskih istraživanja i iz modela

Raskrsnica	Zasićen saobraćajni tok levog skretanja [PA/h]			T/S_{preK} [-]	T/S_{posleK} [-]
	Terensko istraživanje	Rezultati simulacije pre kalibr.	Rezultati simulacije posle kalibr.		
	T	S_{preK}	S_{posleK}		
R1	419	936	595	0.45	0.70
R2	419	940	602	0.45	0.70
R3	1545	2053	1635	0.75	0.94
R4	417	876	573	0.48	0.73
R5	737	1146	840	0.64	0.88

Poređenjem vrednosti u kolonama T/S_{preK} i T/S_{posleK} , uočavamo da su odstupanja rezultata simulacije od realnih vrednosti znatno veća pre kalibracije, nego nakon (i preko 50%). Iako rezultati pokazuju da model i posle kalibracije daje veće vrednosti od realnih, može se zaključiti da je kalibracijom postignuta znatno veća preciznost modela.

Ukoliko posmatramo rezultate kalibrisanog modela, uočava se da su odstupanja manja za R3 i R5 (6 i 12%), dok su ta odstupanja značajnija za R1, R2 i R4 (čak do 30%). Važno je napomenuti da su R3 i R5 raskrsnice sa jednom trakom u konfliktnom toku, a R1, R2 i R4 sa dve. Naime, usvojena je jedna vrednost prihvatljivog intervala sleđenja (5 s) bez obzira na broj traka u konfliktnom toku, uz pretpostavku da je manja verovatnoća pojave tog intervala sleđenja u slučaju većeg broja traka. Ova odluka je doneta, jer nije bilo moguće pouzdano utvrditi vrednost prihvatljivog intervala sleđenja za raskrsnice sa dve trake u konfliktnom toku.

Ipak, na osnovu rezultata, dolazi se do zaključka da je za raskrsnice sa jednom trakom u konfliktnom toku kalibracijom postignuta zadovoljavajuća preciznost modela, dok je model nepouzdan u slučaju raskrsnice sa dve (ili više) traka u konfliktnom toku, uprkos kalibraciji.

3. ZAKLJUČAK

Kalibracija modela je veoma značajan korak ka preciznom opisivanju realnog sveta modelom. Međutim, postupak kalibracije je veoma složen i zahtevan, jer, iako je za kalibrisanje neophodno prikupiti određene podatke istraživanjima na terenu, to nekada nije moguće.

Ovaj rad predstavlja kalibraciju ulaznih parametara mikrosimulacionog modela VISSIM na osnovu istraživanja koja je bilo moguće sprovesti u realnim uslovima. Pokazano je da nije postignuta odgovarajuća pouzdanost modela u slučaju raskrsnice sa dve trake u konfliktnom toku, zbog neadekvatne kalibracije, premda nije bilo moguće potpuno istražiti neophodne parametare. Iz tog razloga se preporučuje dodatno istraživanje radi preciznije kalibracije, čak i za slučaj raskrsnice sa jednom trakom u konfliktnom toku, jer, iako je kalibracija doprinela većoj preciznosti modela, ipak postoje određena odstupanja. Preporuka je, pored parametara koji su bili predmet kalibracije, istražiti i usporenja i ubrzanja vozila. Pored toga, tokom izrade ovog rada, istakao se nedostatak VISSIM-a koji se odnosi na definisanje granične vrednosti prihvatljivog intervala sleđenja, jer je ovaj parametar krucijalan pri istraživanju nezaštićenih levih skretanja. Naime, definiše se samo jedna vrednost, bez mogućnosti definisanja raspodele vrednosti prihvatljivog intervala sleđenja u određenom rasponu vrednosti, a jasno je da se ne ponašaju svi vozači isto, prihvatajući istu vrednost intervala sleđenja. Ovaj nedostatak može uticati na nepouzdanost modela uprkos kalibraciji.

Literatura

- [1] Dong, J., Houchin, A., Shafieirad, N., Lu, C., Hawkins, N., Knickerbocker, S. (2015). VISSIM Calibration for Urban Freeways. Center for Transportation Research and Education, Institute for Transportation, Iowa State University, Iowa.
- [2] Koh, S. Y. D., Chin, H. C. (2007). Traffic Simulation Modeling: VISSIM. Undergraduate Research Opportunities Programme. Singapore.
- [3] PTV Planung Transport Verkehr AG. (2010). VISSIM 5.30 User Manual.
- [4] Park, B., Schneeberger, J. D. (2003). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: Case Study of VISSIM Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1856. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C. 185-192.
- [5] Kocić, A., Čelar, N., Kajalić, J., Stanković, S. (2018). Istraživanje vrednosti zasićenog saobraćajnog toka na udvojenim trakama za levo skretanje. Tehnika, 73 (2), 254-261.
- [6] Webster F. V., Cobbe B. M. (1966). Traffic signals. Her Majesty's Stationery Office. London.
- [7] Transport Research Board - TRB, National Research Council. (2010). Highway Capacity Manual (HCM 2010), Chapter 31: Signalized Intersections: Supplemental. Washington, D.C.
- [8] Luttinen R. T., Nevala R. (2002). Capacity and level of service of Finnish signalized intersections: Final report. Finnish Road Administration. Helsinki.