

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2017.10>

Primjena računalnih simulacija pri geometrijskom oblikovanju cestovnih raskrižja

Šime Bezina

Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet
kontakt: sbezina@grad.hr

Sažetak

Sve učestalija primjena informatičke tehnologije u gotovo svim sferama suvremenog društva, pa tako i u području projektiranja cesta i raskrižja, dovela je do razvoja simulacijskih modela za provjeru prozivnosti mjerodavnih vozila, kojima se nastoji što vjernije prikazati stvarno kretanje vozila po voznim površinama. Za razliku od klasičnih metoda provjere prozivnosti mjerodavnih vozila (grafičke metode, numeričke metode, fizikalni modeli), provjera uvjeta prozivnosti primjenom računalnih simulacija je jednostavna, precizna i brza te omogućuje modeliranje različitih tipova mjerodavnih vozila proizvoljnih dimenzija. U ovom radu opisana je primjena računalne simulacije vožnje mjerodavnih vozila u postupku ispitivanja prozivnosti tijekom oblikovanja cestovnih raskrižja.

***Ključne riječi:** računalna simulacija, cestovna raskrižja, mjerodavno vozilo, ispitivanje prozivnosti*

Use of computer simulations in geometrical modelling of road intersections

Abstract

An increasing use of information technology in almost all spheres of modern society and science, and thus also in the sphere of road and intersection design, has led to the development of simulation models for swept path analysis of design vehicles, which aim at showing real vehicle movement on driving surfaces as accurately as possible. Unlike traditional methods used for swept path analysis of design vehicles (graphical methods, numerical methods, physical models), the use of computer simulations in swept path analysis is simple, fast and accurate, and it enables modelling various types of design vehicles of arbitrary dimensions. The application of computer simulation of the design vehicle movement during swept path analysis conducted in the scope of road intersection design is described in this paper.

***Keywords:** computer simulation, road intersections, design vehicle, swept path analysis*

1 Uvod

Svako projektirano cestovno raskrižje (trokrako, četverokrako, kružno i turbokružno), uz uvjete sigurnosti i propusne moći, mora ispuniti i uvjete provoznosti mjerodavnog vozila. Ti uvjeti se postižu osiguranjem odgovarajuće provodne širine, definirane trajektorijama kretanja najistaknutijih točaka mjerodavnih vozila te obostrano uvećane za zaštitnu širinu [1-7].

Provjera provoznosti se temelji na ispitivanju geometrije kretanja mjerodavnih vozila, tj. na definiranju trajektorija njihovog kretanja po voznoj površini. Jedina u potpunosti točna metoda za određivanje tih trajektorija je ispitivanje probnim vožnjama vozila na poligonu. Ta ispitivanja su iznimno zahtjevna, iziskuju opsežnu pripremu i značajna financijska sredstva, zbog čega se ne mogu primijeniti za veliki broj ispitivanja. Zbog toga se ova metoda u pravilu primjenjuje isključivo za verifikaciju rezultata ispitivanja preostalih metoda: grafičkih (šablone), analitičkih i simulacija kretanja primjenom fizikalnih modela [8].

Danas se provoznost mjerodavnog vozila ispituje isključivo simulacijom kretanja mjerodavnih vozila pomoću specijaliziranih računalnih programa. Računalna provjera provoznosti se u pravilu sastoji od definiranja linije vođenja i odabira mjerodavnog vozila. Dva najpoznatija/najrasprostranjenija računalna programa za simulaciju kretanja vozila su eng. *Vehicle Tracking* [9] i eng. *AutoTURN* [10].

Slijedi opis postupka oblikovanja cestovnih raskrižja u razini, prikazan u smjernicama i normama [1-7], te postupka ispitivanja provoznosti cestovnih raskrižja simulacijama vožnje mjerodavnih vozila primjenom navedenih računalnih programa.

2 Karakteristike računalnih programa za ispitivanje provoznosti

Osnovna prednost računalnih simulacija kretanja vozila je u tome što se na relativno jednostavan i brz način mogu definirati različiti tipovi vozila proizvoljnih dimenzija, zadavati različite linije vođenja i varirati skretni kutovi, a iscrtavanje trajektorija kretanja vozila brzo je i precizno.

Kao i svaki drugi računalni programi koji se primjenjuju u inženjerskoj praksi, i programi za simulaciju vožnje imaju ograničenja. Prilikom simulacije vožnje zanemareni su sljedeći čimbenici: dinamički utjecaji, mogući udari vjetera, utjecaj ubrzanja i usporenja, uzdužni i poprečni nagib prometne površine, koeficijent trenja, stanje pneumatika vozila i dr. [9]. Nadalje, proizvođači računalnih programa najčešće nemaju priložen dokaz o točnosti simulacija vožnje s obzirom na stvarno ponašanje vozila. Također napominju da ne snose odgovornost za pogreške i moguću štetu nastalu uslijed korištenja njihovih proizvoda [9].

Zbog toga da bi se utvrdila pouzdanost ovakvih programa, provedena su istraživanja u kojima su uspoređene širine provoznosti dobivene pomoću računalnih programa

za ispitivanje provoznosti s onima dobivenima vožnjom stvarnog vozila na poligonu. Rezultati istraživanja [11] su pokazali da su odstupanja od stvarno izmjerenih vrijednosti u granicama točnosti izvedbe cestovnih kolnika. Nadalje, uspoređeni su rezultati različitih računalnih programa za ispitivanje provoznosti (eng. *Vehicle Tracking* i *AutoTURN*) te je zaključeno da iscrtavaju približno jednake širine provoznosti (razlika je $\pm 4,0$ cm) [12]. Prema tome, zaključeno je da su računalni programi pouzdani te su pogodni za primjenu u istraživačkom radu tijekom iscrtavanja trajektorija kretanja vozila.

3 Oblikovanje cestovnih raskrižja i provjera provoznosti

Vozne površine kod cestovnih raskrižja razlikuju se posebnošću oblikovanja. U zonama cestovnih raskrižja putanje vozila prilikom lijevog i desnog skretanja karakterizira velika zakrivljenost te mala brzina kretanja vozila. Zbog toga je pri oblikovanju tih voznih površina potrebno ispitati geometriju kretanja vozila u krivinama malih polumjera iscrtavanjem trajektorija kretanja mjerodavnih vozila, a vozno-dinamički uvjeti oblikovanja mogu se zanemariti [13].

Na temelju pregleda važećih smjernica, pravilnika i normi [1-7] ustanovljeno je da se postupak geometrijskog oblikovanja cestovnog raskrižja zapravo izvodi u sljedeća tri koraka:

1. oblikovanje pojedinih projektnih elemenata raskrižja (rubovi kolnika, otoci, dodatni trakovi za lijevo i desno skretanje) i njihovo uklapanje u građevinsko-prometni projekt raskrižja,
2. provjera provoznosti projektiranog cestovnoga raskrižja za odabrano mjerodavno vozilo (šablonama ili računalnim programima),
3. ispravljanje projektnih elemenata cestovnoga raskrižja u slučaju da nisu ispunjeni uvjeti iz prethodnog koraka.

U nastavku je opisan postupak provjere provoznosti projektiranog cestovnoga raskrižja za odabrano mjerodavno vozilo primjenom specijaliziranih računalnih programa.

3.1 Odabir mjerodavnog vozila

Kako bi se ostvarilo sigurno i nesmetano odvijanje prometa na cestovnim raskrižjima nužno je ispravno odabrati mjerodavno vozilo za ispitivanje provoznosti. Izbor mjerodavnog vozila ovisi o strukturi prometnog toka, lokaciji promatranog raskrižja te o zastupljenosti vozila u regiji u kojoj se raskrižje nalazi.

Širina provoznosti ovisi o dimenzijama mjerodavnog vozila (ukupnoj duljini i širini, duljini prednjeg i stražnjeg prepusta te međuosovinskim razmacima). Dimenzije mjerodavnog vozila trebaju biti usklađene s Direktivom EU komisije [14]. Prema [14], sva vozila kao i skupovi vozila moraju imati takve uređaje da, pri vožnji u krugu, promjer

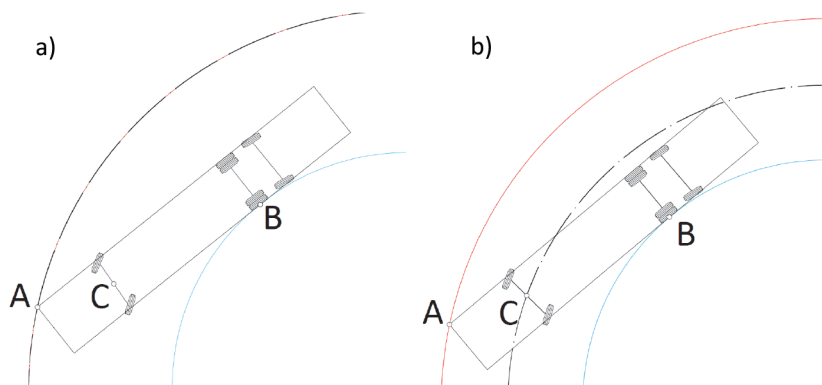
vanjske opisane kružnice bude najviše 25,0 m, a promjer unutarnje kružnice najmanje 10,6 m.

U pravilu, na izvangradskim raskrižjima mjerodavna vozila su: troosovinski autobus, kamion s prikolicom i tegljač s poluprikolicom, a na gradskim raskrižjima dvoosovinski autobus i kamion za odvoz smeća [15]. Prethodna istraživanja [16] su pokazala da je tegljač s poluprikolicom nepovoljniji od tegljača s prikolicom, a najveću širinu pri prolasku kroz raskrižje prebriše troosovinski autobus duljine 15,0 m [17].

3.2 Određivanje trajektorija kretanja mjerodavnog vozila

Svi elementi raskrižja moraju osigurati nesmetan prolazak mjerodavnoga vozila kroz raskrižje. Jedan od najznačajnijih parametara oblikovanja cestovnih raskrižja su trajektorije kretanja mjerodavnog vozila [18, 19, 20]. Trajektorije kretanja vozila su linije koje opisuju najistaknutije vanjske i unutarnje točke vozila (slika 1., točke A i B). Površina omeđena trajektorijama kretanja vozila naziva se širinom provoznosti. Trajektorije kretanja vozila koje prolazi kroz raskrižje određuju se na način da se kao ulazni parametri definiraju linije vođenja i dimenzije mjerodavnog vozila, na osnovni čega računalni program iscrta preostale trajektorije kretanja vozila.

Kod klasičnih trokrakih i četverokrakih raskrižja putanja vozila se u pravilu poklapa s trajektorijom definiranom vanjskom najistaknutijom točkom vozila (slika 1. a), točka A) dok se kod kružnih i turbokružnih raskrižja putanja vozila definira pomoću točke smještene u središtu prednje osovine (slika 1. b), točka C). Putanja vozila zadaje se pomoću polilinije, koja se u geometrijskom smislu sastoji od pravaca i kružnih lukova.



Slika 1. Širina provoznosti a) standardna raskrižja, b) kružna raskrižja

U skladu s razmatranim smjernicama, pravilnicima i normama [1-7] širinu provoznosti treba obostrano uvećati za iznos zaštitne bočne širine. Pritom je vrijednost zaštitne bočne širine u rasponu od 0,25 m do 1,00 m, ovisno o razmatranom dokumentu.

4 Rasprava

Pristup projektiranju cestovnim raskrižjima (trokrako, četverokrako, kružno i turbo-kružno) iskazan u tri koraka (oblikovanje pojedinih elemenata čvorišta i njihovo sastavljanje u građevinsko-prometni projekt, provjera provoznosti projektiranog čvorišta, korekcija projektnih elemenata ako nije zadovoljen uvjet provoznosti) sadrži čitav niz nedostataka i ograničenja. Glavni nedostatak u navedenom postupku je u tome što se provoznost provjerava nakon oblikovanja osnovnih elemenata i potom slijedi ispravljanje pogrešno oblikovanih elemenata. Takav postupak je dugotrajan i vrlo često zanemaren u praksi. Dodatni problem predstavlja činjenica da razmatrani dokumenti [1-7] nemaju detaljno definiran način na koji se provjerava provoznost, iako je u svima izričito navedeno da je provjera provoznosti prilikom konstrukcije raskrižja obvezna.

Nadalje, provjera provoznosti prema analiziranim njemačkim smjernicama [21] i hrvatskoj normi [1] provodi se pomoću šablona. Glavni nedostatak ispitivanja provoznosti pomoću šablona očituje se u tome što za pojedini tip vozila postoji šablona za jednu vrijednost polumjera i na raspolaganju je samo mjerilo (1:250 prema njemačkim smjernicama, 1:200 prema hrvatskim normama). Osim toga, postavlja se pitanje pouzdanosti šablona, jer se nigdje ne navodi provjera točnosti šablona sa stvarnim ponašanjem vozila. Navedeni nedostaci pokazuju da treba primjenjivati nove suvremene načine provjere provoznosti pomoću specijaliziranih računalnih programa namijenjenih iscrtanju trajektorija kretanja vozila [18, 19, 20].

5 Zaključak

Projektiranje cestovnih raskrižja iterativan je postupak koji započinje oblikovanjem osnovnih elemenata i njihovim sastavljanjem u građevinsko-prometni projekt. Nakon početnog oblikovanja slijedi izbor mjerodavnog vozila i ispitivanje uvjeta provoznosti. Ako raskrižje ne zadovoljava uvjete provoznosti, pristupa se modificiranju elemenata početnog oblikovanja sve dok uvjeti provoznosti ne budu ispunjeni.

Takav pristup projektiranju je dugotrajan i sadrži niz nedostataka među kojima se ističe taj što se provoznost provjerava nakon oblikovanja osnovnih elemenata. Sve navedeno upućuje na potrebu za promjenom principa na kojemu se zasniva oblikovanje raskrižja, odnosno polazište za oblikovanje osnovnih elemenata raskrižja treba biti geometrija kretanja vozila. Na taj način bi se uvelike pridonijelo smanjenju utrošenog vremena potrebnog za pravilno projektiranje raskrižja. Nadalje, radi osiguranja uvjeta provoznosti, provjeru treba provoditi pomoću pouzdanih alata kako bi rezultati bili što vjerniji realnoj situaciji.

Literatura

- [1] HRN U.C4.050, Projektiranje i građenje cesta, površinski čvorovi, Tehnički uvjeti, 1990.
- [2] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Hrvatske ceste, Zagreb, 2014.
- [3] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama, Hrvatske ceste, Zagreb, 2014.
- [4] Plangleiche Knoten - Kreuzungen, T-Kreuzungen, FSV, RVS 03.05.12, Wien, 2007.
- [5] Plangleiche Knoten – Kreisverkehre, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV), Wien, 2010.
- [6] Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, FGSV (Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen), Köln, 2006.
- [7] Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, RAS 06, 2006.
- [8] Dragčević, V.: Numerički model gibanja cestovnih vozila, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, 2015.
- [9] Vehicle tracking, <https://www.autodesk.com/products/vehicle-tracking/overview>, pristupljeno: 05.07.2017.
- [10] AutoTURN, <http://www.transoftsolutions.com/vehicle-swept-path/autoturn-select/>, pristupljeno: 05.07.2017.
- [11] Korlaet, Ž., Dragčević, V., Stančerić, I.: Designing Criteria of Acute Angle Four-Leg Intersection At-Grade, Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Geometric Design, ur. Harwood, D.W.; Garcia, A., Valencia, Universitat Politècnica de Valencia, 2010.
- [12] Cestar, I.: Provoznost cestovnih raskrižja, Diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [13] Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten, Bundesanstalt für Strassenwesen BAST, Schlussbericht, Bergisch Gladbach, 2008.
- [14] Direktiva 2002/7/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 18. veljače 2002. o izmjeni Direktive Vijeća 96/53/EZ o utvrđivanju najvećih dopuštenih dimenzija u unutarnjem i međunarodnom prometu te najveće dopuštene mase u međunarodnom prometu za određena cestovna vozila koja prometuju unutar Zajednice.
- [15] Maletin, M.: Planiranje i projektovnje saobraćajnica u gradovima, 2. izdanje, Orion art, 2005.
- [16] Bezina, Š., Stančerić, I., Ahac, S.: Design vehicles and roundabout safety - review of Croatian design guidelines, Transport infrastructure and systems, ur. Dell'acqua, G., Wegman, F., Rim, CRC Press - Taylor & Francis Group, pp. 237-244, 2017.

- [17] Bezina, Š., Stančerić, I., Ahac, S.: Swept path analysis on roundabouts for three-axle buses – review of the Croatian design guidelines, Road and Rail Infrastructure IV, Proceedings of the Conference CETRA 2016, ur. Stjepan Lakušić, Šibenik, Faculty of Civil Engineering University of Zagreb, 901-908, 2016.
- [18] Chan, S., Livingston, R.: Design vehicle's influence to the geometric design of turbo-roundabouts, Proceedings of 4th International Conference on Roundabouts, Transport reserch board, Seattle, 2014.
- [19] Stančerić, I., Korlaet, Ž., Dragčević, V.: Novi postupak oblikovanja četverokrakih kanaliziranih raskrižja, Građevinar, 69 (4), 2017), pp. 257-266, DOI: 10.14256/JCE.1927.2016
- [20] Džambas, T., Ahac, S., Dragčević, V.: Design of turbo roundabouts based on the rules of vehicle movement geometry, Journal of transportation engineering, 143 (2016) 7, pp. 1-10, DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000850
- [21] Schleppekuren, Bemessungsfahrzeuge und Schleppekuren zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen, FGSV, Köln, 2012.