

# Računalni programi za provjeru provoznosti na cestovnim raskrižjima

---

Bezina, Šime; Cestar, Ivana; Stančerić, Ivica

Source / Izvornik: **Common Foundations 2018 - uniSTem: 6th Congress of Young Researchers in the Field of Civil Engineering and Related Sciences, 2018, 32 - 37**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.31534/CO/ZT.2018.04>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:043535>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



## Računalni programi za provjeru provoznosti na cestovnim raskrižjima

Šime Bezina<sup>1</sup>, Ivana Cestar<sup>2</sup>, Ivica Stančerić<sup>1</sup>

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Republika Hrvatska, [sbezina@grad.hr](mailto:sbezina@grad.hr)

(2) VIACON d.o.o., Zagreb, Republika Hrvatska, [ivana826@gmail.com](mailto:ivana826@gmail.com)

### Sažetak

Provjera provoznosti jedan je od najvažnijih koraka pri projektiranju cestovnih raskrižja. Svako raskrižje uz uvjete sigurnosti i propusne moći mora zadovoljiti i uvjete provoznosti za odabrano mjerodavno vozilo. Klasične metode provjere provoznosti šablonama gotovo da se više i ne primjenjuju. Zamijenili su ih specijalizirani računalni programi koji vjerno simuliraju kretanje vozila kroz raskrižje i omogućuju provjeru provoznosti na jednostavan, precizan i brz način. Spomenute karakteristike računalnih programa omogućavaju razvoj postojećih i istraživanje novih geometrijskih oblika cestovnih raskrižja. U ovome je radu provjerom provoznosti na četverokrakim i kružnim raskrižjima, oblikovanim prema domaćoj normi i smjernicama, detaljno opisan i ocijenjen način rada dva računalna programa, *Vehicle Tracking* i *AutoTURN*.

*Ključne riječi: cestovna raskrižja, provjera provoznosti, mjerodavna vozila, računalni programi, trajektorije kretanja vozila*

## Software for swept path analysis on road intersections

### Abstract

Swept path analysis is one of the most important steps in the design of road intersections. Every intersection, except safety and capacity conditions, must also meet the conditions of an undisturbed passage of the selected design vehicle. The classic methods of swept path analysis with templates are almost no longer applied. They have been replaced by the specialised software that simulates the movement of the vehicle realistically through an intersection and make swept path analysis quick, accurate and easy. These software features enable the development of existing and exploration of new geometric forms of road intersections. For this reason, in this paper, two software, *Vehicle Tracking* and *AutoTURN*, have been analysed and evaluated in detail. They were evaluated through the procedure of swept path analysis on four-leg classic and roundabout intersections, designed according to domestic standards and guidelines.

*Keywords: road intersections, swept path analysis, design vehicles, software, vehicle trajectories*

## 1. Uvod

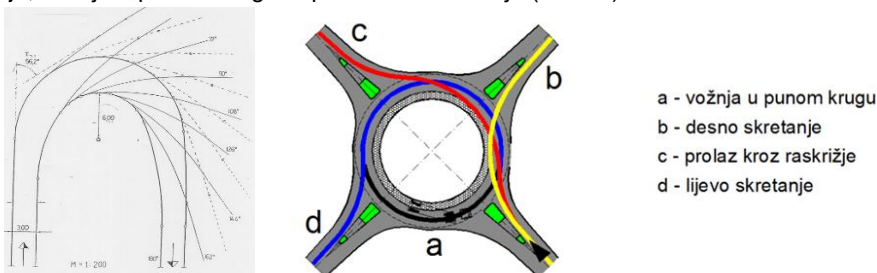
Svako kvalitetno projektirano cestovno raskrižje, pored sigurnosti i propusne moći, mora zadovoljiti i uvjete provoznosti. Potreba za ispitivanjem provoznosti proizlazi iz uobičajenog načina geometrijskog oblikovanja raskrižja, opisanog u hrvatskoj normi [1] i smjernicama [2-5], koje se uglavnom sastoji od sljedećih koraka: oblikovanje pojedinih elemenata raskrižja (rubovi kolnika, otoci, dodatni trakovi za lijevo i desno skretanje) i njihovo sastavljanje u građevinski projekt, provjera provoznosti projektiranog čvorišta za mjerodavno vozilo (šablonama ili računalnim programima), ispravljanje projektnih elemenata čvorišta, provjera provodne brzine (samo kružna raskrižja) i provjera preglednosti. Na raskrižjima se pri skretanju vozila kreću po putanji koja se sastoji od kružnih lukova malih polumjera te "prebrišu" veću površinu kolnika nego pri vožnji u pravcu. Zbog toga je potrebno osigurati dostatnu širinu kolnika. Iscrtavanje trajektorija kretanja vozila ima veoma važnu ulogu u postupku oblikovanja raskrižja kako bi se ostvarilo sigurno i nesmetano odvijanje prometa. Uz to je neophodno izabrati mjerodavno vozilo za koje će se osigurati provoznost s obzirom na rang ceste i/ili strukturu prometnog toka.

## 2. Provjera provoznosti na cestovnim raskrižjima prema pravilima

U nastavku rada opisani su načini provjere provoznosti raskrižja i mjerodavna vozila prema hrvatskoj normi [1] i smjernicama [2].

### 2.1. Hrvatske norma i smjernice

U Republici Hrvatskoj postoji norma [1] iz 1990. godine za projektiranje trokrakih i četverokrakih kanaliziranih raskrižja te smjernice [2] za projektiranje kružnih raskrižja iz 2014. godine. U normi [1] su opisani načini provjere provoznosti raskrižja pomoću šablona te su definirana dva mjerodavna vozila, teretni automobil i teretni automobil s prikolicom. Šablone (Slika 1) su napravljene samo za spomenuta vozila u mjerilu 1:200 te za različite unutrašnje polumjere kružnih lukova ( $R_u = 6-10$  m) [1]. Provjera provoznosti na kružnim raskrižjima prema smjernicama [2] vrši se grafičkim prikazom trajektorija kretanja krajnjih točaka karoserije mjerodavnog vozila na tlocrtnom prikazu raskrižja za lijevo i desno skretanje, vožnju u punom krugu te prolaz kroz raskrižje (Slika 1).



**Slika 1.** Šablona za provjeru provoznosti [1] i smjerovi kretanja mjerodavnog vozila pri provjeri provoznosti kružnog raskrižja [2]

Minimalna zaštitna širina uz trajektorije iznosi 0.5 m na svim segmentima osim na vanjskoj strani kružnog kolnika gdje iznosi minimalno 1.0 m. Za provjeru provoznosti kružnih raskrižja koriste se teretni automobil s poluprikolicom i teretni automobil s prikolicom [2].

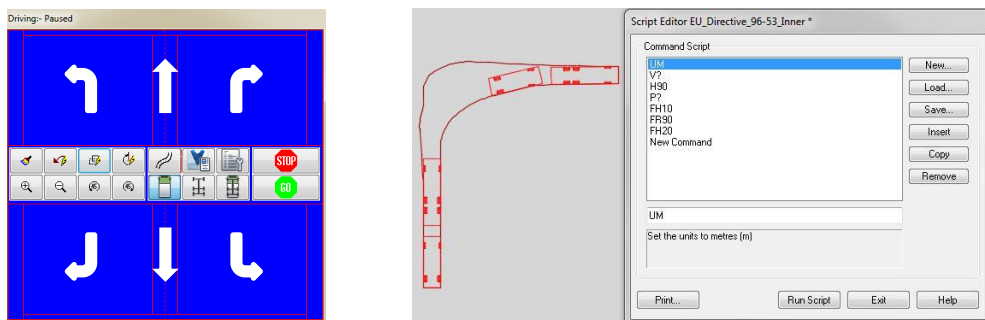
### 3. Računalni programi za provjeru provoznosti na raskrižjima

Na tržištu su dostupni brojni računalni programi pomoću kojih se može izvršiti provjera provoznosti raskrižja, a dva najzastupljenija programa su *Vehicle Tracking (Autodesk)* [6] i *AutoTURN (Transoft Solutions)* [7]. Navedeni se programi koriste kao dodatne aplikacije u CAD sučelju. Unatoč njihovoj širokoj primjeni i brojnim opcijama koje nude, u nastavku će se samo opisati na koje se sve načine pomoću njih može provjeriti provoznost raskrižja.

#### 3.1. Vehicle Tracking

*Vehicle Tracking* [6] se koristi za simulaciju i analizu kretanja motornih vozila, lakih tračničkih vozila i zrakoplova te za oblikovanje parkirališnih površina i kružnih raskrižja. Simulacija kretanja vozila temelji se na idealnim uvjetima vožnje, a dinamički utjecaji, nagib i vlažnost kolnika se zanemaruju. Program omogućava kreiranje vlastitog vozila ili odabir između brojnih unaprijed definiranih mjerodavnih vozila različitih dimenzija i oblika iz različitih država. Program iscrtava trajektorije kretanja za sve kotače i krajnje točke karoserije vozila pomoću četiri različite naredbe: *AutoDrive (Arc/Bearing)*, *Manual Drive*, *Follow* i *Script*.

Naredbom *AutoDrive* trajektorije kretanja se automatski iscrtavaju za vozilom koje se po željenoj putanji navodi pomoću miša. Osnovni parametri kretanja vozila (najmanji polumjer kruga koji opisuje krajnja unutarnja ili vanjska točka vozila, kut zakretanja prednjih kotača) su unaprijed zadani, a dodatno se mogu definirati zaštitne bočne širine. Glavna razlika između naredbi *Arc* i *Bearing* je u tome što se kod *Bearing* naredbe dodatno može zadati fiksni skretni kut (od 30 do 180°) pod kojim će vozilo skretati lijevo ili desno. Naredba *Manual Drive* služi za ručno upravljanje vozilom pomoću grafičkog korisničkog sučelja koje omogućuje virtualnu vožnju u svim smjerovima (Slika 2). Naredba *Follow* služi za iscrtavanje trajektorija kretanja vozila kada vozilo s određenom točkom na karoseriji prati zadanu liniju vođenja. Naredba *Script* služi za iscrtavanje trajektorija kretanja vozila pomoću tekstualnih zapisa u okviru grafičkog korisničkog sučelja (Slika 2). Pomoću te naredbe se mogu generirati predlošci s najčešće korištenim manepravima vozila (Slika 2).

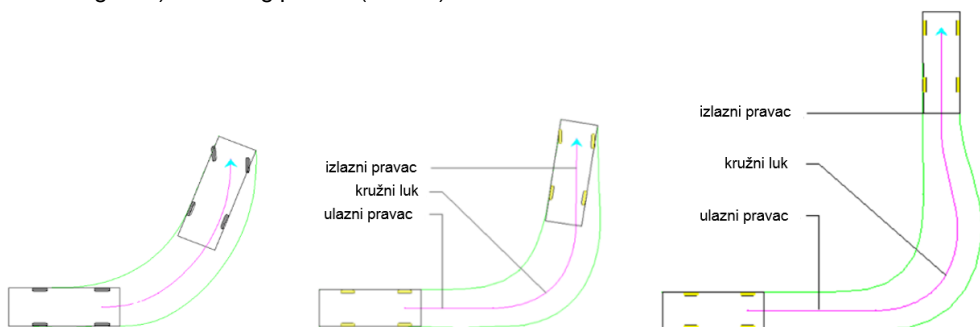


Slika 2. Manual Drive (lijevo) i Script (desno) grafička korisnička sučelja

### 3.2. AutoTURN

Računalni program *AutoTURN* [7] primjenjuje se za analizu provoznosti cesta, raskrižja, autobusnih kolodvora, prilaza za utovar/istovar i parkirališta. Kretanje vozila prikazuje se u obliku trajektorija i animacija. *AutoTURN* omogućuje odabir mjerodavnih vozila iz niza različitih država te definiranje vlastitog vozila. Iscrtavanje trajektorija kretanja najistaknutijih točaka vozila i površine koju te trajektorije omeđuju pomoću *AutoTURN*-a, moguće je provesti na nekoliko različitih načina aktiviranjem sljedećih naredbi: *Generate Arc Path*, *Generate/Oversteer Corner Path*, *Steer A Path* i *Place Adaptive Simulation*.

Pomoću naredbi *Generate Arc Path* i *Generate/Oversteer Corner Path* prvo se definira početni i krajnji položaj vozila te smjer kretanja (naprijed ili nazad), zatim se između dva različita položaja vozila automatski generiraju trajektorije kretanja predstavljajući najkraći put. Razlika između spomenutih naredbi je u tome kako će program generirati najkraći put, tj. od kojih će se geometrijskih elemenata sastojati. Naredbom *Generate Arc Path* iscrtavaju se trajektorije sastavljene od kružnih lukova, a naredbom *Generate/Oversteer Corner Path* iscrtavaju se trajektorije sastavljene od ulaznog pravca, kružnog luka (određenog polumjera i skretnog kuta) i izlaznog pravca (Slika 3).



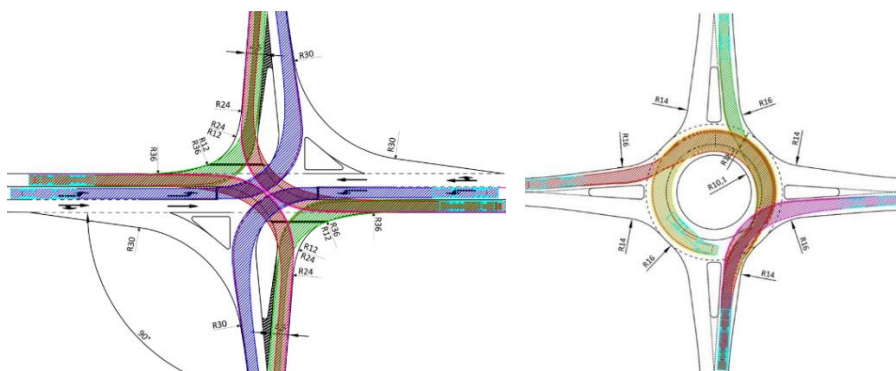
**Slika 3.** Primjer trajektorija kretanja vozila za *Generate Arc Path* (lijevo), *Generate Corner Path* (u sredini) i *Oversteer Corner Path* (desno)

Razlika između naredbi *Oversteer* i *Generate* je u tome što *Oversteer* dopušta preupravljanje prednjih kotača te se zbog toga primjenjuje kada je potrebno zaobići neku fiksnu prepreku s unutarnje strane kružnog luka. *Steer A Path* predstavlja ručno upravljanje vozilom pomicanjem miša u željenom smjeru kretanja vozila. Naredba *Adaptive Simulation* se koristi kada vozilo prati prethodno zadanu liniju vođenja. Osnovni parametri kretanja vozila (najmanji polumjer kruga koji opisuje krajnja unutarnja ili vanjska točka vozila, kut zakretanja prednjih kotača) su unaprijed zadani.

### 3.3. Analiza računalnih programa na primjerima cestovnih raskrižja

Analiza spomenutih računalnih programa provedena je na shemama četverokrakih i kružnih raskrižja oblikovanih prema normi [1] i smjernicama [2] u *AutoCAD* programu (slika 4) [8]. Na temelju analize naredbe za iscrtavanje trajektorija okarakterizirane su kao jednostavne (nisu potrebne pripremne radnje, trajektorije se između zadanih točaka iscrtavaju automatski, moguće je naknadno korigirati trajektorije) ili složene (potrebne prethodne

radnje kao npr. definiranje linije vođenja, poznavanje i pisanje tekstualnih naredbi, nije moguće naknadno korigirati trajektorije, vozilom se upravlja pomoću grafičkog sučelja) (Tablica 1). Pomoću naredbi *AutoDrive Arc/Bearing Generate Arc Path* i *Steer A Path* trajektorije se iscrtavaju na jednostavan način zato što prijelazi između istosmjernih i protusmjernih krivina ne uključuju međupravce za razliku od naredbi *Generate/Oversteer Corner Path*. Naredbe *Auto Drive* i *Generate Arc Path* omogućavaju naknadno pomicanje pojedinih točaka trajektorija što uvelike olakšava provjeru provoznosti raskrižja. Ako se točka trajektorije pomakne u poziciju koja ne odgovara voznim karakteristikama vozila, programi automatski javljaju grešku.



**Slika 4.** Provjera provoznosti raskrižja računalnim putem – trajektorije kretanja vozila

Naredbe *Follow* i *Adaptive Simulation* nemaju opciju naknadnog uređivanja trajektorija, već zahtijevaju promjenu geometrijskih elemenata linije vođenja pa taj problem posebno dolazi do izražaja na kružnim raskrižjima zbog „S“ vožnje. Naredba *Oversteer Corner Path* zbog preupravljanja prednjih kotača te ulaznih i izlaznih pravaca, nije prikladna za ispitivanje provoznosti na kružnim raskrižjima, a na četverokrakim predstavlja problem kod mimoilaženja vozila. Naredbe *Manual Drive* i *Script* zahtijevaju od korisnika dodatnu količinu znanja i iskustva. Upravljanje vozilom kod *Manual Drive*-a ovisi o spretnosti korisnika zbog čega trajektorije u pojedinim slučajevima mogu izgledati neprecizno. Promatrajući naredbe sa stajališta prilagodljivosti različitim tipovima raskrižja, može se zaključiti da su naredbe unutar *Vehicle Tracking*-a potpuno prilagođene upotrebi na svim tipovima raskrižja, za razliku od naredbi u okviru *AutoTURN*-a gdje se javljaju poteškoće prilikom provjere provoznosti na kružnim raskrižjima ako se koriste naredbe *Generate/Oversteer Corner Path*.

**Tablica 1.** Složenost korištenja pojedine naredbe prema tipu raskrižja

Vehicle Tracking	AutoDrive Arc	AutoDrive Bearing	Script	Manual Drive	Follow
Četverokrako	jednostavno	jednostavno	složeno	složeno	složeno
Kružno	jednostavno	jednostavno	složeno	složeno	složeno
AutoTURN	Generate Arc Path	Generate Corner Path	Oversteer Corner Path	Steer A Path	Adaptive Simulation
Četverokrako	jednostavno	jednostavno	složeno	jednostavno	složeno
Kružno	jednostavno	složeno	-	jednostavno	složeno

Važno je napomenuti da proizvođači računalnih programa ne preuzimaju odgovornost za pogreške i štete koje mogu proizaći na temelju korištenja njihovih programa. Zbog toga je provedena analiza točnosti za *Vehicle Tracking*, a rezultati [9] su pokazali da su odstupanja veća od stvarno izmjerenih vrijednosti na poligonu za najviše 14 cm. Prema [10] prosječno odstupanje između vrijednosti određenih mjerenjem na terenu i vrijednosti određenih simulacijom kretanja vozila u računalnom programu, *Vehicle Tracking* iznosi -7 cm. Simulacija je u 95% slučajeva rezultirala većim širinama površina koje su vozila prebrisala od stvarnih, što je s aspekta projektiranja na strani sigurnosti. Rezultati T-testa [10] su pokazali da se sa 95% pouzdanošću može tvrditi da između promatranih varijabli nema razlike. Međusobnom usporedbom oba računalna programa (naredbe *Follow* i *Adaptive Simulation*), analizirane su širine putanja koje vozilo (tegljač s poluprikolicom) opisuje pri vožnji po krivinama različitih polumjera (od 12.5 do 25 m) i skretnih kutova (od 60 do 120). Ustanovljeno je da u *AutoTURN*-u vozilo opisuje nešto veću širinu, od 1 do 4 cm [8].

#### 4. Zaključak

Primjena računalnih programa za provjeru provoznosti je neophodna u svakodnevnoj istraživačkoj i projektantskoj praksi. U hrvatskim i stranim smjernicama [1-5] nije detaljno objašnjeno na koji se način računalni programi trebaju primjenjivati pri provjeri provoznosti. To u konačnici može rezultirati različitim projektnim rješenjima cestovnih raskrižja jer analizirani računalni programi nude brojne naredbe za crtanje trajektorija kretanja vozila. Stoga je za dobru provjeru provoznosti važno na već izgrađenim raskrižjima promotriti i analizirati stvarno kretanje vozila.

#### Literatura

- [1] HRN U.C4.050, Projektiranje i građenje cesta, površinski čvorovi, tehnički uvjeti, 1990.
- [2] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, srpanj 2014.
- [3] Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Ausgabe 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV Verlag), Köln 2012.
- [4] Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, K 10000, FGSV, Köln, 2006.
- [5] Plangleiche Knoten - Kreisverkehr, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, (RVS 03.05.14), Wien, 2001.
- [6] Autodesk Vehicle Tracking. Autodesk, San Rafael, CA, 2015.
- [7] AutoTURN, Transoft Solutions Inc. Richmond, BC, Canada, 2015.
- [8] Cestar, I.: Provoznost cestovnih raskrižja – diplomski rad, Zagreb: Građevinski fakultet, 2. srpnja 2015.
- [9] 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. Ed by Harwood, D.W.; Garcia Garcia, A. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2010.
- [10] Džambas, T.: Oblikovanje standardnih turbokružnih raskrižja na temelju zakonitosti kretanja mjerodavnog vozila– disertacija, Zagreb: Građevinski fakultet, 11. srpnja.2018.