

Primljen / Received: 7.9.2015.

Ispravljen / Corrected: 11.1.2016.

Prihvaćen / Accepted: 22.1.2016.

Dostupno online / Available online: 10.2.2016.

Ispitivanje preglednosti na izvangradskim jednotračnim kružnim raskrižjima

Autori:



Doc.dr.sc. **Saša Ahac**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
sahac@grad.hr



Tamara Džambas, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
tdzambas@grad.hr



Prof.dr.sc. **Vesna Dragčević**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
vesnad@grad.hr

Prethodno priopćenje

Saša Ahac, Tamara Džambas, Vesna Dragčević

Ispitivanje preglednosti na izvangradskim jednotračnim kružnim raskrižjima

U radu se obrađuje problematika preglednosti na izvangradskim kružnim raskrižjima. Dan je pregled postupaka određivanja potrebne preglednosti, prikazanih u propisima, normama i smjernicama koji vrijede u Austriji, Francuskoj, Hrvatskoj, SAD-u, Srbiji i Švicarskoj. Detaljno su prikazani utjecajni parametri i postupci određivanja polja preglednosti definirani u razmatranim dokumentima. Istaknuta je raznolikost u pristupima ispitivanju preglednosti te je dan komentar rezultata ispitivanja provedenih na teorijskom primjeru izvangradskog kružnog raskrižja.

Ključne riječi:

kružna raskrižja, preglednost, propisi, smjernice, norme, polje preglednosti

Preliminary report

Saša Ahac, Tamara Džambas, Vesna Dragčević

Sight distance evaluation on suburban single-lane roundabouts

The issue of sight distance evaluation on suburban single-lane roundabouts is analysed. An overview of regulations, standards and guidelines applied in Austria, France, Croatia, USA, Serbia, and Switzerland, which describe procedures for determining the necessary sight distance, is given. Influential parameters for defining clear vision areas for intersections, defined in the aforementioned documents, are presented in detail. An emphasis is placed on the diversity of sight distance evaluation approaches, and test results obtained on a theoretical example of a suburban roundabout are commented on.

Key words:

roundabouts, sight distance, regulations, guidelines, standards, clear vision areas

Vorherige Mitteilung

Saša Ahac, Tamara Džambas, Vesna Dragčević

Untersuchung der Übersichtlichkeit bei außerstädtischem einspurigem Kreisverkehr

In dieser Arbeit wird das Problem der Übersichtlichkeit bei außerstädtischem einspurigem Kreisverkehr betrachtet. Es wird eine Übersicht der Verfahren zur Ermittlung benötigter Übersichtlichkeit gegeben, die gemäß Regelwerken, Normen und Richtlinien in Österreich, Frankreich, Kroatien, den USA, Serbien und der Schweiz dargestellt sind. Die in den untersuchten Dokumenten gegebenen Einflussparameter und Verfahren zur Ermittlung des Überblickfeldes werden detailliert beschrieben. Die Vielfalt der einzelnen Ansatzpunkte zur Bestimmung der Übersichtlichkeit wird hervorgehoben und Resultate von Untersuchungen an einem theoretischen Beispiel außerstädtischer einspuriger Kreisverkehrsführung werden erläutert.

Schlüsselwörter:

Kreisverkehr, Übersichtlichkeit, Regelwerke, Richtlinien, Normen, Überblickfeld

1. Uvod

Osiguranje preglednosti na izvangradskim kružnim raskrižjima prijeke je potrebno kako bi se omogućilo vozaču vozila bez prednosti prolaska da na siguran način izvede prometnu radnju uključivanja u promet po kružnom kolniku i da pravodobno može uočiti vozila ispred. Ta se preglednost osigurava pravilnim oblikovanjem geometrijskih elemenata kružnog raskrižja.

U radu je dan detaljan prikaz parametara ispitivanja preglednosti, opisanih u hrvatskim smjernicama, kao i u smjernicama, pravilnicima i normama za oblikovanje kružnih raskrižja primjenjivanim u Austriji, Francuskoj, SAD-u, Srbiji i Švicarskoj.

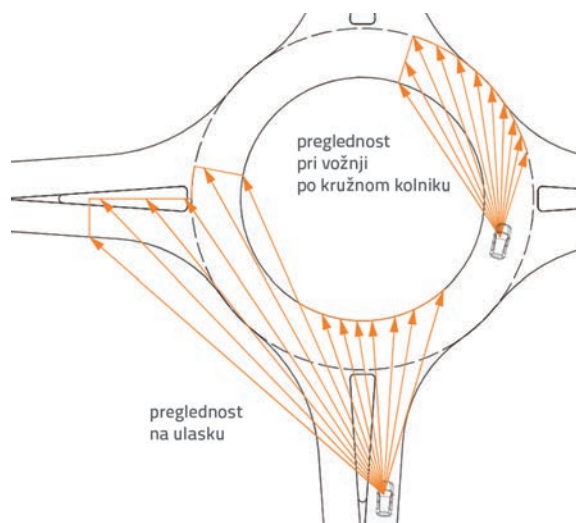
U Hrvatskoj je u posljednjem desetljeću izgradnja suvremenih kružnih raskrižja doživjela značajan porast, no još uvijek ne postoje nacionalni propisi za njihovo projektiranje. Dokumenti usmjereni na problematiku projektiranja i opremanje raskrižja u Hrvatskoj su "Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika - rotora" [1], iz 2002. godine i "Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama" [2], iz 2014. godine, izrađeni za naručitelja Hrvatske ceste d.o.o. Smjernice iz 2014. godine obvezujuće su za primjenu u postupcima planiranja i projektiranja jednotračnih kružnih raskrižja na državnim cestama.

U navedenim stranim državama koje imaju dugu tradiciju u izgradnji cesta, razvijenu cestovnu mrežu i značajan broj izvedenih kružnih raskrižja, takve dokumente izrađuju posebni, stalni ili povremeni znanstveno-stručni timovi, koji ih prema potrebi prilagođavaju s obzirom na nove znanstvene i stručne spoznaje. Dokumenti se izdaju u obliku smjernica (Austrija [3], Francuska [4] i SAD [5]), odnosno pravilnika (Srbija [6]) i normi (Švicarska [7, 8]) čija primjena ima značaj preporuke ili obveze. Budući da hrvatski propisi za projektiranje kružnih raskrižja ne postoje, njihovo oblikovanje provodi se prema prije navedenim Smjernicama, ali i njemačkim i austrijskim smjernicama te švicarskim normama [9]. S obzirom na tako heterogeni pristup projektiranju, pozitivni učinci kružnih raskrižja mogu biti poništeni [9-12]. Da bi se osigurale nedvosmislene preporuke za odabir elemenata oblikovanja kružnih raskrižja i provjere njihovih performansi, nacionalni propisi za projektiranje trebaju se temeljiti na detaljnoj analizi svih parametara koji utječu na oblikovanje takvih raskrižja. U ovom trenutku još uvijek se provode detaljne studije projektnih elemenata koje bi mogle poslužiti kao temelj u izradi nacionalne regulative, pri čemu se analizira i njihov utjecaj na učinkovitost, razine uslužnosti i razinu prometne sigurnosti [13 - 15].

Detaljan prikaz utjecajnih parametara ispitivanja preglednosti i određivanja polja preglednosti na kružnim raskrižjima, uvid u raznolikost pristupa pri procjeni duljina preglednosti u razmatranim dokumentima te prikaz rezultata ispitivanja preglednosti na teorijskom primjeru izvangradskog kružnog raskrižja opisan u radu doprinos je poboljšanju stanja u tom području.

2. Metodologija ispitivanja preglednosti

Vozač na ulasku u kružno raskrižje mora obratiti pažnju na lijevi kvadrant raskrižja, kako bi sigurno izveo manevar uključivanja u promet [1-7, 16, 17]. Istovremeno, vozaču u raskrižju mora biti osigurana dovoljna vidljivost kružnog kolnika ispred vozila, kako je prikazano na slici 1. [1, 2, 5, 6, 16, 17]. Na raskrižjima s pješačkim prijelazima potrebno je provesti i ispitivanje preglednosti udesno (tj. prema prvom sljedećem izlazu) [2, 3, 5]. Zbog činjenice da na izvangradskim kružnim raskrižjima obično nema pješačkih prijelaza, razmatranje postupka ispitivanja preglednosti udesno u ovom radu nije razmatrano.

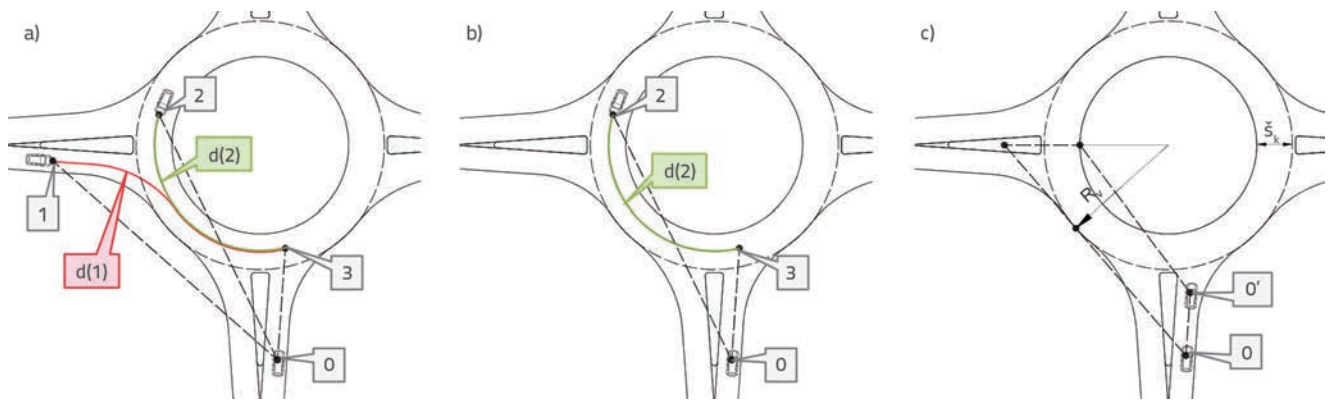


Slika 1. Preglednost na izvangradskim kružnim raskrižjima

Poželjno je da se na izvangradskim kružnim raskrižjima vozaču koji se uključuje u raskrižje zakloni pogled prema nasuprotnom izlazu iz raskrižja izdizanjem središnjeg otoka [2, 3, 7, 16, 17]. Prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine [2], to se postiže oblikovanjem kupolastog uzdignuća na središtu kružnog otoka. Na taj se način poboljšava i uočljivost središnjeg otoka. Pritom je širina obodnog pojasa na središnjem otoku kružnog raskrižja promjenjiva (ovisi o uvjetima preglednosti), a minimalno iznosi 2,0 m [2]. Izostanak ovakvog ograničenja preglednosti može rezultirati velikim ulaznim brzinama, izlijetanjem pojedinih vozila na središnji otok ili zanemarivanjem prava prednosti prolaska vozila u kružnom raskrižju. Istovremeno središnji otok mora biti oblikovan na način da ne narušava preglednost za vozača vozila koje se kreće kružnim kolnikom.

Zbog svega navedenog se, za razliku od klasičnih četverokrakih raskrižja, kod kojih se ispitivanje preglednosti zasniva isključivo na definiranju trokuta preglednosti (područja unutar kojeg se ne smiju nalaziti prepreke koje mogu spriječiti vozača da uoči konfliktna vozila) [18], ispitivanje preglednosti na izvangradskim kružnim raskrižjima sastoji od:

- ispitivanja preglednosti na ulasku u kružno raskrižje i
- ispitivanja preglednosti pri vožnji po kružnom kolniku.



Slika 2. Preglednost na ulasku u kružno raskrižje

2.1. Određivanje preglednosti na ulasku u kružno raskrižje

Prema razmatranim smjernicama, pravilniku i normama, zahtijevana preglednost na ulasku u raskrižje ostvaruje se osiguranjem trokuta preglednosti na svim njegovim ulazima, odnosno polja unutar kojih se ne smiju nalaziti prepreke preglednosti. Ovisno o načinu definiranja tih polja, razmatrane dokumente moguće je grupirati na sljedeći način (slika 2.):

- Grupa 1 (slika 2.a), kojoj pripadaju austrijske i američke smjernice te srpski pravilnik: polja preglednosti se definiraju temeljem proračunanih ili zadanih duljina puta vozila s prednošću prolaska koje se uključuje u raskrižje sa susjednog lijevog privoza (vozilo 1, duljina $d(1)$) i vozila koje se nalazi na putanji oko središnjeg otoka (vozilo 2, duljina $d(2)$), te položaja oka vozača (točka 0) i mjesta konflikta promatranih prometnih tokova (točka 3);
- Grupa 2 (slika 2.b), u koju se ubrajaju hrvatske smjernice i švicarske norme: preglednost se definira temeljem zadane duljine puta vozila s prednošću prolaska koje se nalazi na putanji oko središnjeg otoka (vozilo 2, duljina $d(2)$), položaja oka vozača (točka 0) i mjesta konflikta promatranih prometnih tokova (točka 3);
- Grupa 3 (slika 2.c), u koju se ubrajaju francuske smjernice: preglednost se definira temeljem položaja oka vozača za dvije lokacije na privozu (točka 0 i točka 0'), vanjskog polumjera kružnog raskrižja (R_v) i širine kružnog kolnika (\check{s}_k).

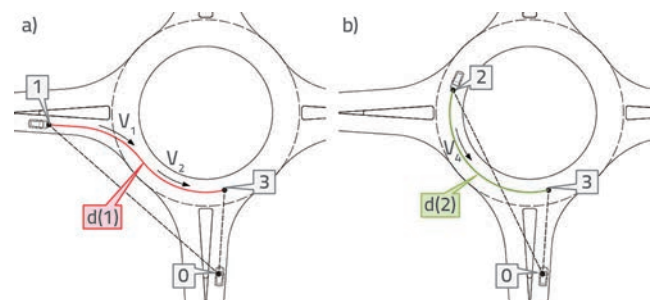
2.1.1. Grupa 1

Prema austrijskim smjernicama [3], duljine puta vozila s prednošću prolaska (vozila 1 i vozila 2, prikazana na slici 3.) nepromjenjive su i neovisne o elementima oblikovanja kružnog raskrižja i brzini kretanja tih vozila:

$$d(1) = d(2) = \text{const.} = 35 \text{ [m]} \quad (1)$$

Putanje vozila s prednošću prolaska smještene su u polovici odgovarajućeg voznog traka. Oko je vozača (točka 0) u

tlocrtnom smislu smješteno na putanji vozila položenoj u sredini voznog traka i odmaknuto za 3 metra od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje, tj. od ruba kružnog kolnika.



Slika 3. Duljina puta vozila: a) koje se uključuje u raskrižje sa susjednog lijevog privoza; b) na kružnom kolniku

Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1 do 2,5 m i za visinu prepreke od 1 do 2 m. Dodatno se lijevi krak trokuta preglednosti ograničava na udaljenost od najviše 5 m od iscrtane linije na ulasku u raskrižje na susjednog lijevog privozu.

Prema američkim smjernicama [5], duljine puta vozila s prednošću prolaska (vozila 1 i vozila 2) ovise o procijenjenoj brzini vozila (slika 3.), koja je definirana za najbrži put vozila kroz raskrižje. Proračun tih duljina provodi se primjenom sljedećih izraza:

$$d(1) = 0,278 \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) \cdot (t_c) \quad (2)$$

$$d(2) = 0,278 \cdot (V_4) \cdot (t_c) \quad (3)$$

gdje je: $d(1)$ [m] - duljina puta vozila 1, $d(2)$ [m] - duljina puta vozila 2, V_1 [km/h] - procijenjena brzina ulaska vozila 1 pri uključivanju u raskrižje sa susjednog lijevog privoza, V_2 [km/h] - procijenjena brzina vozila 1 na putanji oko središnjeg otoka, V_4 [km/h] - procijenjena brzina vozila 2 na putanji oko središnjeg otoka, t_c [s] - kritični vremenski razmak između vozila koja se kreću istom putanjom (5 s).

Putanja vozila s prednošću prolaska smještena je u polovici odgovarajućeg voznog traka. Oko je vozača (točka 0) u tlocrtnom

smislu smješteno na putanji vozila položenoj u sredini voznog traka i odmaknuto za 15 m od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje, tj. od ruba kružnog kolnika. Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,08 do 2,33 m i za visinu prepreke od 1,08 m.

Kao i kod američkih smjernica, i prema srpskom pravilniku [6] duljina puta vozila s prednošću prolaska ovisi o procijenjenoj brzini vozila (slika 3.), definiranoj za najbrži put vozila kroz raskrižje, ali u definiranju duljina puta vozila 1 u obzir se uzima samo procijenjena brzina ulaska vozila pri uključivanju u raskrižje sa susjednog lijevog privoza (V_1). Nadalje, prema srpskom pravilniku, složenost prometnih radnji u području kružnog raskrižja zahtijeva osiguranje takozvane unutrašnje preglednosti, pri čemu njezinu donju granicu predstavlja duljina zaustavne preglednosti (P_z). Koriste se sljedeći izrazi za proračun duljina puta vozila s prednošću prolaska:

$$d(1) = P_z(V_1) = \frac{t_r \cdot V_1}{3,6} + \frac{V_1^2}{254(f_t + w_k \pm i_n)} + \Delta L \quad (4)$$

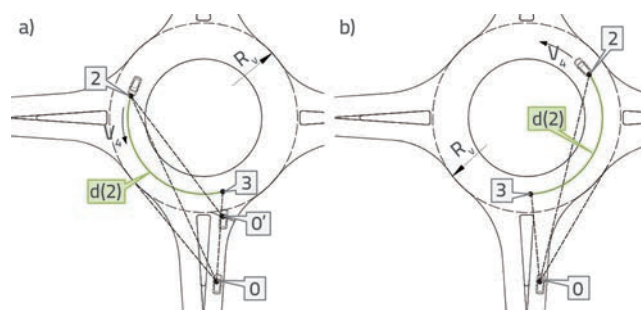
$$d(2) = P_z(V_4) = \frac{t_r \cdot V_4}{3,6} + \frac{V_4^2}{254(f_t + w_k \pm i_n)} + \Delta L \quad (5)$$

gdje je: P_z [m] - duljina zaustavne preglednosti, V_1 [km/h] - procijenjena brzina ulaska vozila 1 pri uključivanju u raskrižje sa susjednog lijevog privoza, V_4 [km/h] - procijenjena brzina vozila 2 na putanji oko središnjeg otoka, t_r [s] - vrijeme reakcije (1,5 s), w_k [-] - specifični otpor kotrljanja (0,012 - 0,020 za nove kolnike), i_n [-] - otpor kretanja od uzdužnog nagiba ceste, ΔL [m] - zaštitni razmak prilikom zaustavljanja ispred prepreke (5 - 10 m), f_t [-] - koeficijent trenja kolnika, koji ovisi o procijenjenoj brzini vozila. Putanja vozila s prednošću prolaska odmaknuta je za 1,5 m, odnosno 2,0 m od ruba kolnika. Oko vozača (točka 0) smješteno je na putanji vozila odmaknutoj za 1,5 m od ruba kolnika i odmaknuto za 15 m od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje, tj. od ruba kružnog kolnika. Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i za visinu prepreke od 1,1 do 2,0 m.

2.1.2. Grupa 2

Prema hrvatskim smjernicama iz 2002. [1] (tablica 1.) i 2014. godine [2] (tablica 2.), vozačima svih vozila koja se približavaju kružnom raskrižju mora biti omogućen pregled nad cjelokupnom širinom kružnog kolnika, što se postiže osiguranjem takozvane preglednosti ulijevo (slika 4.a) i čelne preglednosti (slika 4.b).

Prema hrvatskim smjernicama iz 2002. godine [1], preglednost ulijevo ovisi o duljini $d(2)$ koja je jednaka zaustavnom putu vozila 2 koje se kreće kružnim raskrižjem brzinom V_4 . Pritom pregledna udaljenost ovisi o veličini kružnog raskrižja: za srednja jednostručna kružna raskrižja ($R_v = 20 - 30$ m) duljina $d(2)$ iznosi 40 m, a za srednja dvotračna kružna raskrižja ($R_v = 30 - 45$ m) 50 m.



Slika 4. Hrvatske smjernice [1, 2]: a) preglednost ulijevo; b) čelna preglednost

Pri ispitivanju duljine preglednosti ulijevo, putanja vozila s prednošću prolaska smještena je u polovici kružnog voznog traka. Oko je vozača (točka 0) u točnom smislu smješteno u sredinu neproširenog voznog traka (u slučaju dvaju ulaznih trakova smješteno je na lijevom voznom traku) i odmaknuto za 15 m od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje. Preglednost ulijevo se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i za visinu prepreke od 1,1 do 2,0 m.

Čelna preglednost na ulazu prema hrvatskim smjernicama iz 2002. godine ovisi o duljini $d(2)$ koja je u funkciji računске brzine vozila 2 koje se kreće kružnim raskrižjem (brzina V_4): za računsku brzinu od 40 km/h preporučena duljina $d(2)$ iznosi 50 m, a minimalna 40 m. Putanja vozila s prednošću prolaska smještena je u polovici kružnog voznog traka. Oko je vozača (točka 0) u točnom smislu smješteno u sredinu desnog voznog traka na udaljenosti 15 m pred razdjelnom crtom. Čelna preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i za visinu prepreke od 0,1 do 2,0 m.

Tablica 1. Preglednost na ulasku u raskrižje prema hrvatskim smjernicama iz 2002. [1]

Preglednost	Utjecajni parametar	$d(2)$ [m]
Ulijevo	$d(2) = f(R_v)$	40
Čelna	$d(2) = f(V_4)$	40 - 50

Prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine [2], pri ispitivanju preglednosti ulijevo duljina $d(2)$ treba biti veća ili jednaka 40 m. Prepreka preglednosti je u točnom smislu smještena u polovici kružnog voznog traka, a oko vozača u sredinu crte zaustavljanja (točka 0'). Postupak konstrukcije crte zaustavljanja na ulasku u kružni kolnički trak nije opisan u smjernicama. Smjernice preporučuju i ispitivanje preglednosti ulijevo koju je potrebno ostvariti uz položaj oka vozača smještenog u sredinu neproširenog voznog traka na udaljenosti 15 m od crte zaustavljanja (točka 0)), ali samo na privozima s "visokim prilaznim brzinama". Pritom "visoke prilazne brzine" nisu jednoznačno definirane.

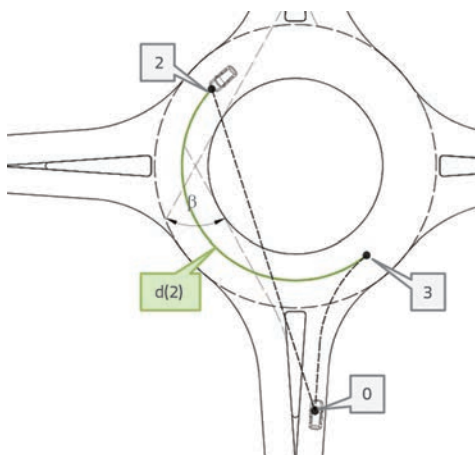
Preglednost ulijevo se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i visinu prepreke 1,1 do 2,0 m.

Čelna preglednost prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine definira se pomoću duljine puta vozila s prednošću prolaska $d(2)$ koja treba biti veća ili jednaka duljini zaustavne preglednosti P_z . Duljina zaustavne preglednosti ovisi o računskoj brzini vozila s prednošću prolaska (V_v), koja za srednja izvangradiska raskrižja ($R_v = 15 - 22,5$ m) iznosi 40 km/h. Preporučena zaustavna preglednost koju je potrebno primjenjivati pri provjeri preglednosti u kružnim raskrižjima iznosi 50 m. Minimalna zaustavna preglednost dana u smjernicama, za računsku brzinu od 40 km/h, iznosi 35 m (odgovara vrijednosti definiranoj Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stanovišta sigurnosti prometa, NN 110/01 [19]). Putanja vozila s prednošću prolaska smještena je u polovici kružnog voznog traka. Oko je vozača (točka 0) u tlocrtnom smislu smješteno u sredinu voznog traka na udaljenosti 15 m od crte zaustavljanja. Visina oka vozača kod ispitivanja čelne preglednosti iznosi od 1,1 do 2,0 m, a visina prepreke iznosi od 0,1 m do 2,0 m. Dodatno se navodi da visina predmeta koje vozači svih vozila što se približavaju crti zaustavljanja moraju vidjeti na punoj širini kružnog kolnika s udaljenosti jednake duljini preglednosti (koja nije manja od 40 metara), iznosi od 0,25 do 2,0 m [2].

Tablica 2. Preglednost na ulasku u raskrižje prema hrvatskim smjernicama iz 2014. [2]

Preglednost	Utjecajni parametar	$d(2)$ [m]
Uljevo	nije definiran	≥ 40
Čelna	$d(2) = f(V_v)$	35 - 50

Prema švicarskoj normi [7], duljina preglednosti na ulazu u kružno raskrižje jednaka je duljini puta vozila s pravom prvenstva koje kruži na kružnom kolniku $d(2)$. Putanja vozila s prednošću prolaska smještena je u polovici kružnog voznog traka, a duljina $d(2)$ određuje se prema normi [8], koja se odnosi na određivanje preglednosti na raskrižjima u razini. U određivanju duljine preglednosti mjerodavan je najmanji kut defleksije na kružnom raskrižju (β), prikazan na slici 5. i u tablici 3.



Slika 5. Kut defleksije i duljina preglednosti [7]

Tablica 3. Preglednost na ulasku u raskrižje u ovisnosti o kutu defleksije [7]

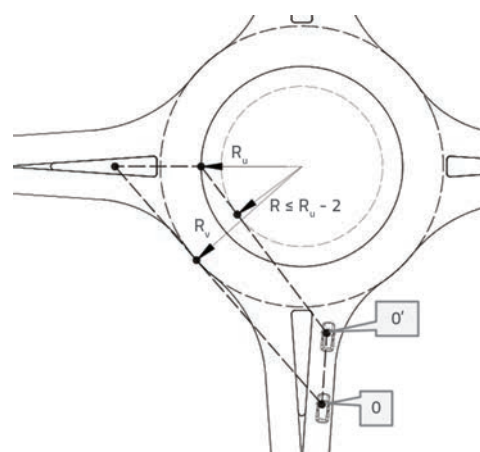
β [°]	$d(2)$ [m]
< 18	35 (50)
18 - 40,5	/
$> 40,5$	20 (35)

Za određenu vrijednost kuta defleksije dane su dvije duljine preglednosti: manja predstavlja duljinu zaustavnog puta, a veća duljinu preglednosti koja mora biti osigurana na raskrižjima u posebnim uvjetima (na primjer pri velikim uzdužnim nagibima). Odabire se ona vrijednost koja najbolje odgovara položaju raskrižja u prometnoj mreži, rang u prometnica te broju voznih trakova. Pritom je, prema normi [8], oko vozača (točka 0) smješteno na putanji vozila u osi voznog traka i odmaknuto za 5 metara od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje, tj. od ruba kružnog kolnika.

2.1.3. Grupa 3

Prema francuskim smjernicama [4], polje preglednosti na ulasku u raskrižje definirano je elementima prikazanim na slici 6:

- pravcem kroz točku 0 (prikazuje položaj oka vozača na udaljenosti od približno 14 do 15 m od iscrtane linije na ulasku u raskrižje te 2 m od rubnjaka) koji tangira vanjski polumjer kružnog raskrižja (R_v) te
- pravcem kroz točku 0' (prikazuje položaj oka vozača na udaljenosti 4 m od iscrtane linije na ulasku u raskrižje te 2 m od rubnjaka) koji tangira kružnicu koncentričnu s rubom kružnog središnjeg otoka, pri čemu je polumjer te kružnice najmanje za 2 metra manji od polumjera središnjeg otoka (R_u).



Slika 6. Konstrukcija polja preglednosti [4]

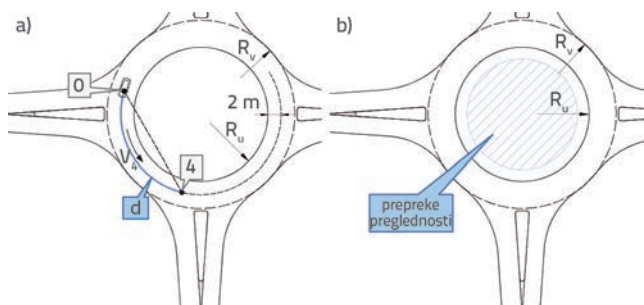
Prema smjernicama [4], najveća udaljenost oka vozača od iscrtane linije na ulasku u raskrižje iznosi 15 m jer prevelika preglednost uljevo može dovesti do toga da vozači koji se

približavaju raskrižju obračaju pažnju samo na praznine u prometnom toku s njihove lijeve strane, zanemarujući pritom ostala kretanja na kružnom kolniku, što smanjuje sigurnost raskrižja.

2.2. Određivanje duljine preglednosti pri vožnji po kružnom kolniku

Ovisno o načinu definiranja polja preglednosti, razmatrane smjernice, pravilnike i norme moguće je podijeliti u sljedeće grupe (slika 7.):

- Grupa 1 (slika 7.a), u koju se ubrajaju američke i hrvatske smjernice te srpski pravilnik: preglednost se definira temeljem proračunanih ili zadanih vrijednosti duljine puta vozila koje se kreće kružnim voznim trakom (vozilo 0, duljina d), položaja oka vozača (točka 0) i položaja prepreke (točka 4);
- Grupa 2 (slika 7.b), u koju se ubrajaju austrijske i francuske smjernice te švicarske norme: ispitivanje preglednosti pri vožnji po kružnom kolniku nije opisano, no dane su smjernice za oblikovanje središnjeg otoka, tj. postavljanje prepreka preglednosti unutar središnjeg otoka.



Slika 7. Preglednost pri vožnji po kružnom kolniku: a) Grupa 1; b) Grupa 2

2.2.1. Grupa 1

Prema američkim smjernicama [5], srpskom pravilniku [6] i hrvatskim smjernicama iz 2002. [1] i 2014. [2], preglednost pri vožnji po kružnom kolniku ovisi o zaustavnoj duljini puta vozila koje se kreće kružnim voznim trakom (d), položaju oka vozača (0) i prepreke (4). Pritom se duljina puta mjeri duž putanje vozila odmaknute 2 m od ruba središnjeg otoka, tj. u tlocrtnom smislu, oko vozača i prepreka odmaknuti su 2 m od ruba središnjeg otoka (slika 7.a).

Prema američkim smjernicama [5], duljina d jednaka je duljini zaustavnog puta vozila za brzinu u kružnom traku (V_4), koja se proračunava prema izrazu

$$d = 0,278 \cdot t \cdot V_4 + 0,039 \cdot \frac{V_4^2}{a} \quad (6)$$

pri čemu je t [s] - vrijeme reakcije (2,5 s), V_4 [km/h] - brzina vožnje na kružnom kolniku, a [m/s²] - usporenje vozila (3,5 m/s²). Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,08 do 2,33 m i za visinu prepreke od 0,6 m.

Prema srpskom pravilniku [6], vozila koja se kreću kružnim kolnikom moraju imati osiguranu preglednost ka vozilu ispred kao i mogućnost opažanja niske prepreke na kružnom kolniku. Pritom je duljina puta (d) jednaka duljini zaustavne preglednosti (P_z) za brzinu u kružnom traku (V_4), koja se određuje prema izrazu

$$d = P_z (V_4) = \frac{t_r \cdot V_4}{3,6} + \frac{V_4^2}{254(f_t + w_k \pm i_n)} + \Delta L \quad (7)$$

gdje je: P_z [m] - duljina zaustavne preglednosti, V_4 [km/h] - procijenjena brzina vozila 0 na putanji oko središnjeg otoka, t_r [s] - vrijeme reakcije (1,5 s), w_f [-] - specifični otpor kotrljanja (0,012 - 0,020 za nove kolnike), i_n [-] - otpor kretanja od uzdužnog nagiba ceste, ΔL [m] - zaštitni razmak prilikom zaustavljanja ispred prepreke (5 - 10 m), f_t [-] - koeficijent trenja kolnika, koji ovisi o procijenjenoj brzini vozila.

Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i za visinu prepreke od 0,2 do 2,0 m.

Prema hrvatskim smjernicama iz 2002. godine [1], duljina preglednosti ovisi o veličini vanjskog polumjera kružnog raskrižja ($d = 50$ m za $R_v = 30 - 45$ m; $d = 40$ m za $R_v = 20 - 30$ m), odnosno brzini u kružnom raskrižju (za brzinu od 40 km/h preporučena pregledna udaljenost d iznosi 50 m, a minimalna 40 m). Preglednost se ispituje za visinu oka vozača od 1,1 do 2,0 m i za visinu prepreke od 0,1 do 2,0 m.

Prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine [2], duljina d treba biti veća ili jednaka 40 m. Visina oka vozača kod ispitivanja preglednosti u kružnom kolniku iznosi od 1,1 do 2,0 m, a prepreka mora biti vidljiva na visini od 0,1 m do 2,0 m.

2.2.2. Grupa 2

U austrijskim [3] i francuskim smjernicama [4] i švicarskoj normi [7] nije opisan postupak ispitivanja preglednosti u kružnom raskrižju, već se napominje da se oblikovanjem središnjeg otoka treba osigurati prepoznatljivost kružnog raskrižja u prometnoj mreži stvaranjem prepreke preglednosti, pogotovo na izvangradskim prometnicama.

Prema austrijskim smjernicama [3], kod kružnih raskrižja vanjskog polumjera većeg od 17,5 m središnji otok treba oblikovati na način da vozač koji ulazi u raskrižje ima zaklonjen pogled prema nasuprotnom izlazu iz raskrižja. Pritom visoko raslinje ili slične prepreke preglednosti treba postaviti u središnji dio otoka, kako ne bi zadirale u polje preglednosti vozila na ulasku u kružno raskrižje.

Prema francuskim smjernicama [4], središnji otok ne smije sadržavati prepreke preglednosti (npr. visoko raslinje) na udaljenosti manjoj od 2 m od rubnjaka (2,5 m od iscrtane linije, ako ne postoji rubnjak).

Švicarska norma [7] napominje da prevelika preglednost u kružnom raskrižju (preko središnjeg otoka) može potaknuti vozače koji ulaze u kružno raskrižje na zanemarivanje prava prednosti prolaska vozila u kružnom raskrižju. Iz ovog razloga, ali i radi osiguranja uočljivosti kružnog raskrižja u prometnoj mreži,

potrebno je sadnjom vegetacije ili postavljanjem prometne opreme ograničiti preglednost preko središnjeg otoka. Pritom preglednost na ulasku u raskrižje i zaustavna preglednost ne smiju biti narušene.

3. Ispitivanje preglednosti i rezultati

Da bi se prikazala raznolikost u pristupima procjeni preglednosti i rezultirajućih polja preglednosti definiranih u razmatranim smjericama, normama i pravilnicima, provedena je analiza preglednosti na teorijskom primjeru četverokrakog jednotračnog kružnog raskrižja. Primijenjeni osnovni elementi oblikovanja bili su:

- vanjski polumjer kružnog raskrižja (R_v) od 20 m,
- širina kružnog kolnika (\check{s}_k) od 6 m i
- sjecište osi privoza smješteno u središtu središnjeg otoka, pri čemu se osi sijelu pod kutom od 90° .

Navedene vrijednosti su prosječne dimenzije osnovnih elemenata oblikovanja za ovaj tip raskrižja dane u hrvatskim smjericama [2].

3.1. Ulazni parametri

U tablicama 4. i 5. prikazane su vrijednosti ulaznih parametara ispitivanja preglednosti na ulasku u kružno raskrižje i preglednosti u kružnom raskrižju.

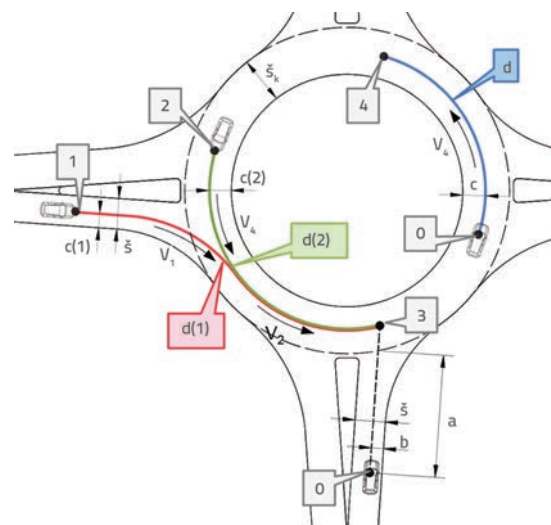
Slikoviti prikaz ulaznih parametara dan je na slici 8., a njihovo značenje je:

- a: odmak oka vozača od iscrtane linije na ulasku u kružno raskrižje;
- b: odmak oka vozača od desnog ruba kolnika širine \check{s} ;
- c: odmak putanje vozila 0 koje kruži po kružnom kolniku širine \check{s}_k od ruba središnjeg otoka;
- c(1): odmak vozila 1 koje ulazi u raskrižje sa susjednog lijevog privoza širine \check{s} od ruba kolnika;

- c(2): odmak vozila 2 koje kruži po kružnom kolniku širine \check{s}_k od ruba središnjeg otoka;
- h(0): visina oka vozača;
- h(1): visina prepreke;
- d(1): duljina puta vozila 1 koje ulazi u raskrižje sa susjednog lijevog privoza;
- d(2): duljina puta vozila 2 koje kruži po kružnom kolniku.
- d: duljina puta vozila 0 koje kruži po kružnom kolniku.

Za potrebe ovog ispitivanja usvojene su sljedeće brzine kretanja vozila s prednošću prolaska (slika 8.):

- pretpostavljena brzina vozila s prednošću prolaska koje ulazi u kružno raskrižje sa susjednog lijevog privoza iznosi 40 km/h (vozilo 1: brzina V_1) [2, 5, 6],
- pretpostavljena brzina vozila s prednošću prolaska koje kruži po kružnom kolniku zbog zakrivljenosti putanje vozila oko središnjeg otoka iznosi 25 km/h (vozilo 1: brzina V_2 ; vozilo 2 i vozilo 0: brzina V_4) [2, 5, 6, 20, 21].



Slika 8. Parametri ispitivanja preglednosti

Tablica 4. Parametri ispitivanja preglednosti na ulasku u raskrižje

Država		a [m]	b [m]	c(1) [m]	c(2) [m]	h(0) [m]	h(1) [m]	d(1) [m]	d(2) [m]
Austrija		3	$\check{s}/2$	$\check{s}/2$	$\check{s}_k/2$	1,0 - 2,5	1,0 - 2,0	≤ 35	35
SAD		15	$\check{s}/2$	$\check{s}/2$	$\check{s}_k/2$	1,08 - 2,33	1,08	$f(V_1, V_2)$	$f(V_4)$
Srbija		15	1,5	1,5	2,0	1,1 - 2,0	1,1 - 2,0	$f(V_1)$	$f(V_4)$
Hrvatska (2002.)	ulijevo	15	$\check{s}/2$	-	$\check{s}_k/2$	1,1 - 2,0	1,1 - 2,0	-	40
	čelna	15	$\check{s}/2$	-	$\check{s}_k/2$	1,1 - 2,0	0,1 - 2,0	-	40 - 50
Hrvatska (2014.)	ulijevo	15	$\check{s}/2$	-	$\check{s}_k/2$	1,1 - 2,0	1,1 - 2,0	-	≥ 40
	sredina crte zaustavljanja			-	$\check{s}_k/2$	1,1 - 2,0	1,1 - 2,0	-	≥ 40
čelna	15	$\check{s}/2$	-	$\check{s}_k/2$	1,1 - 2,0	0,1 - 2,0	-	35 - 50	
Švicarska		5	$\check{s}/2$	-	$\check{s}_k/2$	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	-	20 - 35
Francuska		15	2,0	-	-	1,0	1,0	-	-
		4	2,0	-	-	1,0	1,0	-	-

Tablica 5. Parametri ispitivanja preglednosti pri vožnji po kružnom kolniku

Država	c [m]	h(0) [m]	h(1) [m]	d [m]
Austrija	-	-	-	-
SAD	2	1,08 - 2,33	0,6	$f(V_d)$
Srbija	2	1,1 - 2,0	0,2 - 2,0	$f(V_d)$
Hrvatska (2002.)	2	1,1 - 2,0	0,1 - 2,0	40 - 50
Hrvatska (2014.)	2	1,1 - 2,0	0,1 - 2,0	≥ 40
Švicarska	-	-	-	-
Francuska	-	-	-	-

3.2. Rezultati ispitivanja

Primijenjene vrijednosti duljina puta vozila i rezultirajuća polja preglednosti prikazani su na slici 9. Na istoj slici prikazana je i linija pogleda prema nasuprotnom izlazu iz raskrižja, koja bi na izvangradskim kružnim raskrižjima trebala biti prekinuta postavljanjem prepreka preglednosti unutar središnjeg kružnog otoka (naznačena narančastom strelicom).

Ograničenje duljine lijevog kraka trokuta preglednosti na 5 m od ulaska u raskrižje, definirano austrijskim smjernicama [3], rezultiralo je duljinom preglednosti $d(1)$ od 33,9 m, dok je za duljinu $d(2)$ usvojena vrijednost od 35 m (slika 9.a). Polje preglednosti na ulasku u kružno raskrižje konstruirano prema uputama danim u francuskim smjernicama [4] prikazano je na slici 9.b. Prema hrvatskim smjernicama iz 2014., najmanje preporučene duljine preglednosti ulijevo i na kružnom kolniku ($d(2)$ i d) iznose 40 m, dok duljina koja se primjenjuje pri ispitivanju čelne preglednosti ($d(2)$) iznosi 50 m (slika 9.c) [2]. Uz pretpostavku brzina kretanja vozila s prednošću prolaska od $V_1 = 40$ km/h te $V_2 = V_4 = 25$ km/h ([20, 21]) i uzdužnog nagiba nivelete od 0 % u zoni raskrižja, duljine preglednosti definirane prema američkim smjernicama iznose $d(1) = 45,2$ m, $d(2) = 34,8$ m, $d = 24,6$ m (slika 9.d) [5], dok duljine preglednosti definirane prema srpskom pravilniku [6] iznose $d(1) = 40,6$ m i $d(2) = d = 25,3$ m (slika 9.e). Uslijed velikog kuta defleksije na razmatranom raskrižju ($\beta = 69^\circ$), u konstrukciji polja preglednosti prema švicarskim normama primijenjena je duljina preglednosti $d(2)$ od 20 m (slika 9.f) [7, 8].

Rezultirajuće ukupne površine polja preglednosti za preglednost na jednom ulazu i preglednost na kružnom kolniku prikazane su na slici 9. i u tablici 6. Od razmatranih dokumenata koji opisuju ispitivanje preglednosti u kružnom kolniku, najveću površinu polja preglednosti preporučuju hrvatske smjernice iz 2014. godine (432 m²) [2]. Najmanju površinu zauzima polje preglednosti definirano prema američkim smjernicama (194 m²) [5].

U usporedbi s preostalim analiziranim dokumentima, upute za konstrukciju polja preglednosti iz hrvatskih smjernica daju 35

- 86 % veće ukupne površine polja preglednosti. To je rezultat dodatne provjere preglednosti preporučene u hrvatskim smjernicama: procjene čelne preglednosti (slika 9.c). Površina polja čelne preglednosti na ulasku u kružno raskrižje definirano prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine [2] iznosi 635 m², dok površina polja preglednosti ulijevo iznosi 360 m².

Rezultati ispitivanja pokazali su da uz zadane ulazne parametre najmanje udaljenosti na kojima se mogu postaviti prepreke preglednosti od ruba središnjeg otoka značajno variraju od dokumenta do dokumenta (tablica 7.). Najveću udaljenost definira polje čelne preglednosti određeno prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine [2] (12 m), a najmanju polje preglednosti na ulasku definirano prema švicarskim normama [7, 8] (0 m). U usporedbi s preostalim analiziranim dokumentima, upute za smještanje prepreka preglednosti iz hrvatskih smjernica daju 63 - 100 % veće udaljenosti od ruba središnjeg otoka.

Tablica 6. Površina polja preglednosti na ulasku u kružno raskrižje

Država	Austrija	Francuska	Hrvatska	SAD	Srbija	Švicarska
Površina [m ²]	314	317	995	642	484	144

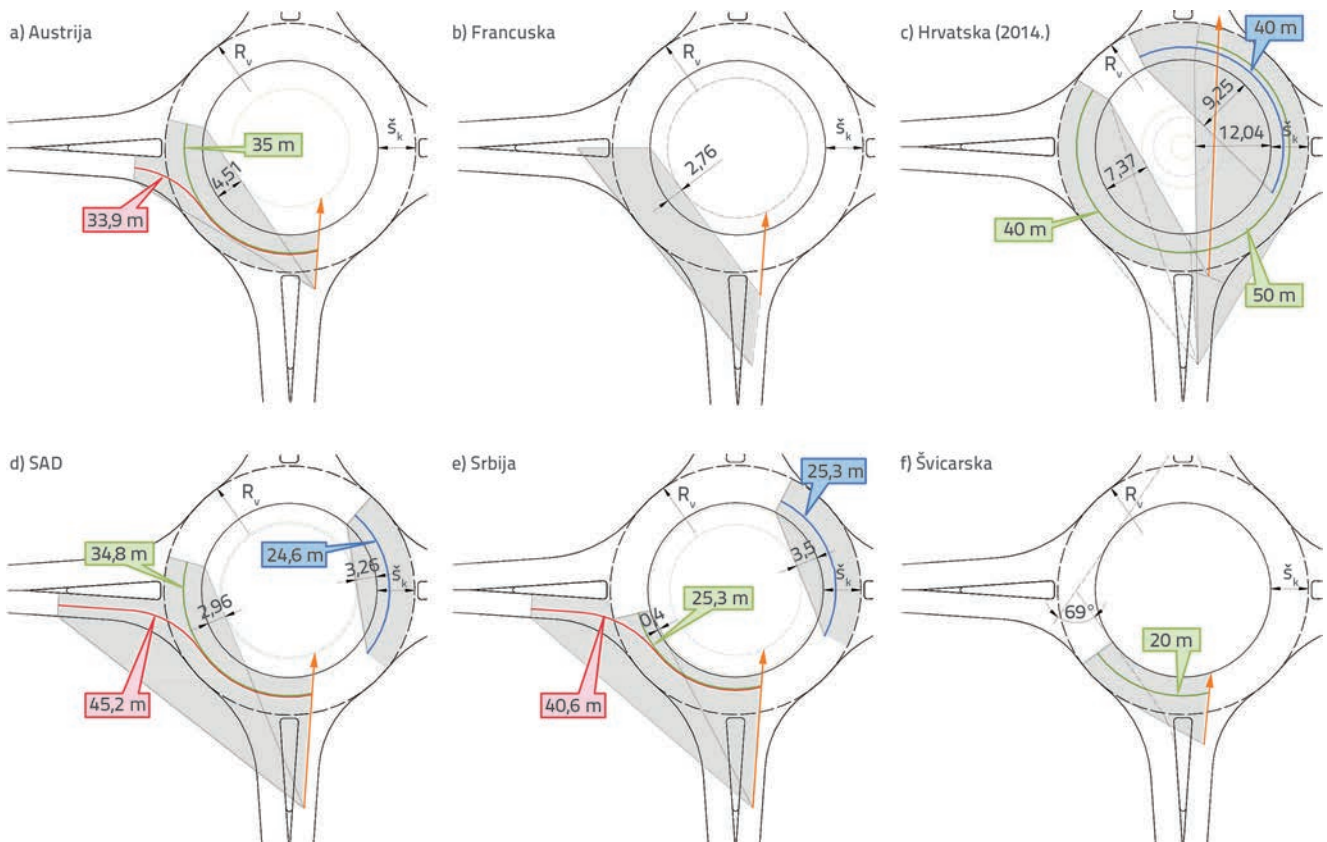
Tablica 7. Najmanja udaljenost prepreka preglednosti od ruba središnjeg otoka

Država	Austrija	Francuska	Hrvatska	SAD	Srbija	Švicarska
Najmanja udaljenost [m]	4,51	2,76	12,04	3,26	3,50	0,00

Navedena značajna odstupanja izravna su posljedica razlika u pristupima ispitivanju preglednosti opisanim u razmatranim dokumentima te razlike u duljinama puta vozila s prednošću prolaska (20 - 50 m).

Definiranjem polja preglednosti moguće je ispitati i ispunjenje uvjeta oblikovanja središnjeg otoka, tj. zaklanjanja linije pogleda prema nasuprotnom izlazu iz izvangradskog kružnog raskrižja. Kako je prikazano na slici 9., uvjet zaklanjanja linije je ostvaren za polja definirana prema austrijskim, američkim i francuskim smjernicama, srpskom pravilniku te švicarskim normama. Rezultirajuća polja preglednosti definirana prema austrijskim i francuskim smjernicama te švicarskim normama ispunjavaju uvjete oblikovanja središnjeg otoka opisane u poglavlju 2.2.2. Rezultirajuća polja preglednosti definirana prema američkim smjernicama i srpskom pravilniku ostavljaju dovoljno prostora unutar središnjeg otoka za postavljanje prepreka preglednosti (slike 9.d i 9.e).

Uvjet zaklanjanja linije pogleda prema nasuprotnom izlazu iz raskrižja nije ispunjen kod polja preglednosti definiranih prema hrvatskim smjernicama iz 2014. godine. Prema hrvatskim smjernicama radi osiguranja zahtijevane čelne preglednosti središnji otok smije sadržavati prepreke preglednosti tek na



Slika 9. Polja preglednosti na jednotračnom izvangradskom kružnom raskrižju ($R_v = 20$ m, $\xi_k = 6$ m)

udaljenosti većoj od 12,04 m od rubnjaka (slika 9.c). Time se onemogućava ispravno oblikovanje središnjeg otoka, tj. prekid linije pogleda prema nasuprotnom izlazu postavljanjem prepreka preglednosti unutar središnjeg otoka. Povećanjem vanjskog polumjera jednotračnog kružnog raskrižja taj problem gubi na važnosti.

4. Zaključak

Pregled pravilnika, normi i smjernica za projektiranje kružnih raskrižja predočen u ovom radu pokazao je da većina razmatranih dokumenata pri ispitivanju preglednosti na ulasku u kružno raskrižje u obzir uzima isključivo preglednost na širini kružnog kolnika, tj. preglednost prema vozilu s prednošću prolaska koje kruži oko središnjeg otoka. Od razmatranih dokumenata samo austrijske i američke smjernice te srpski pravilnik ispituju i preglednost prema vozilu s prednošću prolaska koje se približava raskrižju sa susjednog lijevog privoza. Pritom se pristup ispitivanju preglednosti na kružnim raskrižjima, opisan u američkim smjernicama i srpskom pravilniku, temelji na proračunu duljina zaustavnog puta vozila s prednošću prolaska, što zahtijeva definiranje brzine vozila na putanji kroz kružno raskrižje. Takav pristup daje vrijednosti duljina zaustavnog

puta vozila koje su u skladu s očekivanim profilom brzine na raskrižju, a koji ovisi o primijenjenim geometrijskim elementima oblikovanja raskrižja.

Prema američkim smjernicama i srpskom pravilniku, ali i prema hrvatskim smjernicama, određivanje brzine vozila na putanji kroz raskrižje (takozvane prozivne brzine - najveće teoretske brzine prolaska kroz kružno raskrižje) neizostavan je dio provjere performansi projektiranog kružnog raskrižja. Za razliku od američkih smjernica i srpskog pravilnika, prema hrvatskim se smjernicama ta prozivna brzina ne koristi u ispitivanju preglednosti. To može dovesti do predimenzioniranih duljina preglednosti i površina polja preglednosti, pogotovo pri ispitivanju preglednosti u kružnom kolniku, a u konačnici i do neispunjenja uvjeta zaklanjanja linije pogleda prema nasuprotnom izlazu iz izvangradskog kružnog raskrižja. Zbog svega navedenog i činjenice da se polje čeone preglednosti (čije definiranje od razmatranih dokumenata predviđaju samo hrvatske smjernice) većim dijelom preklapa s poljem preglednosti koje je potrebno osigurati za vozače koji se kreću po kružnom kolniku, postavlja se pitanje opravdanosti provođenja tog ispitivanja na jednotračnim izvangradskim kružnim raskrižjima, odnosno primjena vrijednosti ulaznih parametara preporučenih novim hrvatskim smjernicama.

LITERATURA

- [1] Dadić, I., Tollazzi, T., Legac, I., Čičak, M., Marić, V., Kos, G., Brlek, P.: Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora, Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb, 2002.
- [2] Deluka-Tibljaš, A., Tollazzi, T., Barišić, I., Babić, S., Šurdonja, S., Renčelj, M., Pranjić, I.: Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb, 2014.
- [3] Plangleiche Knoten – Kreisverkehre, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV), (RVS 03.05.14), Wien, 2010.
- [4] Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales, Carrefours plans – guide technique, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Centre de la Sécurité et des Techniques Routières, Bagnex Cedex, France, 1998.
- [5] NHCRP, Report 672: Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition, Federal Highway Administration, Transportation Research Board: Washington, 2010.
- [6] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta, Službeni glasnik RS, 50/2011.
- [7] Knoten, Knoten mit Kreisverkehr, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Schweizer Norm (SN 640 263), Zürich, 2000.
- [8] Knoten; Sichtverhältnisse in Knoten in einer Ebene, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Schweizer Norm (SN 640 273), Zürich, 2010.
- [9] Stančerić, I., Dobrica, T., Ahac, S., Dragčević, V., Tenžera, D.: Offtracking control requirements for quality roundabout design, *Road and Rail Infrastructure III, Proceedings of the Conference CETRA 2014*, Split, pp. 263–268, 2014.
- [10] Barišić, I., Jurković, S., Tollazzi, T.: Enclosure to roundabouts use improvement in the Republic of Croatia, *The Fourth Croatian Road Congress*, Cavtat, pp. 1–8, 2007.
- [11] Legac, I., Pilko, H., Šubić, N.: Introduction of Roundabouts in Croatia – preliminary experiences, *16th IRF World Congress*, Lisboa, pp. 9, 2010.
- [12] Legac, I., Pilko, H., Banović, I.: Neka iskustva s uvođenjem kružnih raskrižja u Hrvatskoj/Požegi, Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi, 1, pp. 259–272, 2012.
- [13] Zirkel, B., Park, S., McFadden, J., McCarthy, L., Angelastro, M.: An Operational Analysis of Modern Roundabouts in the United States, *IMSA Journal* (September/October 2012), pp. 37–47, 2012.
- [14] Mussone, L.: The analysis of roundabouts through visibility, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87 (2013), pp. 250–268
- [15] Pilko, H., Brčić, D., Šubić, N.: Study of vehicle speed in the design of roundabouts, *GRAĐEVINAR*, 66 (2014) 5, pp. 407–416, 2014.
- [16] Pratelli, A., Souleyrette, R. R.: Visibility, Perception and Roundabout Safety, *Urban Transport XIV*, pp. 577–588, 2009., <http://dx.doi.org/10.2495/ut090511>
- [17] Pratelli, A., Souleyrette, R. R., Harding, C.: Roundabout perception: review of standards and guidelines for advanced warning, *Urban Transport XVI*, pp. 71–82, 2010.
- [18] Cvitanić, D., Vujašinović, A., Stazić, T.: Preglednost cestovnih raskrižja u razini, *GRAĐEVINAR*, 63 (2011) 9/10, pp. 859–868.
- [19] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stanovišta sigurnosti prometa, NN 110/01
- [20] Fernandes, P., Salamati, K., Roupail, N.M., Coelho, M.C.: Identification of emission hotspots in roundabouts corridors, *Transportation Research Part D*, 37 (2015), pp. 48–64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.026>
- [21] NHCRP, Report FHWA-RD-00-067: Roundabouts: An Informational Guide, Federal Highway Administration, Transportation Research Board, Washington, 2000.