

VIA  
VITA

6 KONGRES  
CESTAMA 2015

Opatija 11.-13. studenoga 2015.



# 6 KONGRES CESTAMA 2015

OPATIJA, 11.-13. STUDENOGA 2015.

## ZBORNİK RADOVA

ORGANIZATORI VI HRVATSKOG KONGRESA O CESTAMA



Hrvatsko društvo za ceste – Via Vita



Hrvatske ceste d.o.o.

POKROVITELJ



*Republika Hrvatska*

MINISTARSTVO POMORSTVA,  
PROMETA I INFRASTRUKTURE

ZLATNI SPONZORI



GOSPODARSKO INTERESNO UDRUŽENJE  
TRGOVAČKIH DRUŠTAVA ZA ODRŽAVANJE CESTA

**HRVATSKI CESTAR**

10020 ZAGREB, Avenija V. Holjevca 20

UDRUGA ŽUPANIJSKIH UPRAVA  
ZA CESTE HRVATSKE

BRONČANI SPONZOR



Institut IGH d.d.

# ORGANIZACIJSKI ODBOR KONGRESA

Josip Škorić - predsjednik  
Željko Vivoda - zamjenik  
Zvonimir Nagy  
dr. sc. Darko Mlinarić  
Jurica Krleža  
Tomislav Dragovan  
prof. dr. sc. Mate Sršen  
prof. dr. sc. Tatjana Rukavina  
prof. dr. sc. Stanislav Pavlin  
dr. sc. Vladimir Skendrović  
David Gabelica  
Mile Fabijan  
Stjepan Bogović  
Joško Mikuluć  
Irena Kršinić  
dr. sc. Jelena Bleiziffer  
mr. sc. Josip Bošnjak  
Tomislav Mihotić

# IZVRŠNI ODBOR KONGRESA

doc. dr. sc. Miroslav Šimun - predsjednik  
Franjo Šokac - zamjenik  
mr. sc. Miroslav Keller  
mr. sc. Ozren Gverić  
Bojan Vivoda  
Nino Vela  
Jadranka Juriša  
dr. sc. Goran Puž  
dr. sc. Mladen Gledec  
Mario Crnjak  
prof. dr. sc. Sadko Mandžuka  
doc. dr. sc. Ivan Milotić  
izv. prof. dr. Sanja Dimter  
prof. dr. sc. Davor Brčić  
Pavo Kristek  
Željko Majstorović

# TEME KONGRESA

## Tema A

Uloga cesta i cestovnog prometa u ukupnom prometnom sustavu Hrvatske i Europe

## Tema B

Dugoročni razvitak i gospodarenje cestama na načelima održivog razvitka

## Tema C

Sigurnost sustava cesta, ITS i implementacija informatičke tehnologije

## Tema D

Geotehnika u cestogradnji

# OKRUGLI STOLOVI

## I

Cestovni promet u gradovima

## II

Primjena procesa cjeloživotnog obrazovanja u sektoru cesta

# KOORDINATORI TEMA

## Tema A

prof. dr. sc. Stanislav Pavlin, prof. dr. sc. Davor Brčić

## Tema B

dr. sc. Goran Puž, mr. sc. Miroslav Keller

## Tema C

Željko Majstorović, dr. sc. Mladen Gledec

## Tema D

Bojan Vivoda, dr. sc. Darko Mlinarić

# KOORDINATORI OKRUGLIH STOLOVA

## I

prof. dr. sc. Davor Brčić

## II

prof. dr. sc. Sadko Mandžuka

An aerial photograph of a vast agricultural landscape. The fields are divided into numerous rectangular plots, with visible furrows and tracks from machinery. The overall color palette is a range of greys and muted greens. In the lower portion of the image, a multi-lane road runs diagonally, with a few small vehicles and utility poles visible. The text 'TEMA A' is centered in the middle of the image in a white, sans-serif font.

# TEMA A

# TEMA A

Autocesta A7: Rupa - Rijeka - Žuta lokva, kao dio Jadransko - jonskog prometnog pravca

Klara Bačić Čapalija, dipl. ing. građ | doc. dr. sc. Ljudevit Krpan

Integracija Hrvatske u širi europski prometni sustav

prof. dr. sc. Stanislav Pavlin | dr. sc. Marko Šošćarić | dr. sc. Marko Ševrović

Razvoj intermodalnog prometnog sustava

Nikolina Brnjac | Stanislav Pavlin

Značaj i uloga Nacionalnog programa ITS-a u budućem razvoju cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj

prof. dr. Sadko Mandžuka

Uloga cesta i cestovnog prometa u prometnom sustavu Republike Hrvatske

Dubravka Hozjan | Luka Novačko | Hrvoje Pilko

Problemi cestovnog prometa u gradovima Republike Hrvatske

Crnjak Mario | Kristek Pavao

Planovi održive urbane mobilnosti - stanje u RH

dr. sc. Marko Slavulj | izv. prof. dr. sc. Davor Brčić | Dino Šojat

Kružna raskrižja u urbanim sredinama

Hrvoje Pilko | Ivica Barišić | Hrvoje Bošnjak

Jadransko-jonska autocesta - sastavni dio osnovne transportne mreže zemalja zapadnog Balkana

Stjepan Krasić, dipl. ing. građ.

Prometni model mosta Čiovo

Zvonimir Pejić

Prometni model tunela Ravča-Drvenik

Zvonimir Pejić

Prometni modeli u prostorno-prometnom planiranju

Zvonimir Pejić

Promišljanja o hrvatskom planiranju prometne infrastrukture

Darko Mlinarić

Podaci za potrebe izrade prometnog modela Republike Hrvatske

I. Majstorović | Ž. Stepan | A. Rigo | L. Kosmat

Rekonstrukcija prometnog koridora Slavonska-Zagrebačka-Ljubljanska avenija u gradu Zagrebu

Ž. Stepan | I. Majstorović | A. Rigo | L. Kosmat

Intermodalni putnički terminali

dr. sc. Stjepan Kelčec-Suhovec | prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

Projekt "Aerodrom Mali Lošinj"

Dubravka Brajković | Stipe Baučić | Ivan Škaro

Analize varijantnih rješenja Aerodroma Mali Lošinj

Dubravka Brajković | Filip Rožić | Ivan Škaro

O izradi nacionalnog prometnog modela za Republiku Hrvatsku

I. Majstorović | J. Landman | A. Olmeda Clemares | D. Pološki | G. Pretnar | U. Reiter | Ž. Stepan

Projekt autoceste A5 u Hrvatskoj s osvrtom na izgradnju mosta Drava i mogućnosti etapnog dovršenja sjevera koridora

Mirjana Mašala-Buhin | Petar Sesar | Davor Ivan Banić | Stjepan Kralj | Tomislav Vincek

–

Hrvoje Pilko, Ivica Barišić, Hrvoje Bošnjak

## KRUŽNA RASKRIŽJA U URBANIM SREDINAMA

### URBAN ROUNDABOUTS

**Ključne riječi:** *kružno raskrižje, urbana sredina, funkcionalna učinkovitost, prometna sigurnost, smjernice*

**Keywords:** *roundabouts, urban area, functionalefficiency, trafficsafety, guidelines*

#### SAŽETAK

Kružna raskrižja najčešće se primjenjuju u urbanim sredinama. Usljed pomanjkanja nacionalne regulative primjetna je razlikovnost izvedbe, te kod nekih raskrižja smanjenje funkcionalne učinkovitosti i stupnja prometne sigurnosti. Svrha rada je: 1) prikazati postojeće stanje izvedenosti i učinkovitosti kružnih raskrižja u Republici Hrvatskoj, 2) prikazati dobre primjere iz prakse, te 3) predstaviti i komentirati *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama 2014*. Rezultati rada poslužiti će za diseminaciju znanja za pravilnu primjenu i izvedbu kružnih raskrižja u nacionalnim okvirima.

#### SUMMARY

Roundabouts are most often used in urban areas. Due to the lack of national regulations distinctiveness of design is noticeable. In some intersections this led to reduction of functionalefficiency and the level of trafficsafety. The purpose of this paper is to: 1) present the current state of effectiveness of constructed roundabouts in the Republic of Croatia, 2) show examples of good practice, and 3) to present and comment the *Roundabout Design Guidelines on State Roads 2014*. Research results will serve to disseminate the knowledge for proper application and implementation of roundabouts at the national level.



# 1 UVOD

Raskrižja s kružnim tokom prometa (kružna raskrižja, RKT) izvode se kao sve povoljnija rješenja presijecanja prometnih tokova unutar urbanih sredina. Uspoređujući kružna raskrižja s klasičnim semaforiziranim i nesemaforiziranim raskrižjima u razini istih značajki (broj privoza/prometnih trakova) izvedenim u urbanim sredinama, zaključuje se da ukoliko su kružna raskrižja pravilno primijenjena i oblikovana znatno doprinose povećanju propusne moći i razine usluge raskrižja [1, 2]. Prilikom eksploatacije smanjuju ukupno vrijeme putovanja, vrijeme čekanja vozila na raskrižju, duljinu putovanja vozila i potrošnju goriva, te smanjuju štetne utjecaje na okoliš putem smanjenja ispušnih plinova motornih vozila [3, 4]. Posebno, izvedbom kružnih raskrižja postiže se povećanje stupnja prometne sigurnosti [5]. Procjenjuje se da je u Republici Hrvatskoj izvedeno oko 180 kružnih raskrižja, od čega je 120 (>60%) unutar ili na rubu urbanih područja. Primjetna je razlikovnost izvedbe i nepridržavanje pojedinih načela oblikovanja kružnih raskrižja, a razlog tome je izvjesno neiskustvo i pomanjkanje osnovnih smjernica za projektiranje te normativa i pravila za korisnike. Svi prikazani problemi su na nekim raskrižjima rezultirali povećanjem broja prometnih nesreća, smanjenjem funkcionalne učinkovitosti odnosno služnosti i stupnja sigurnosti prometa [6]. S obzirom na navedeno, te na posljednje *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama 2014 (Smjernice2014)* [7], potrebno je uz pregled pozitivnih primjera iz prakse predstaviti i objasniti svrhu i cilj *Smjernica2014*.

## 2 KRUŽNA RASKRIŽJA

### 2.1 Definiranost i osnovne značajke

Prema [8] kružno raskrižje je prometna građevina kružnoga oblika s nepovoznim, djelomično povoznim ili povoznim središnjim otokom i kružnim prometnim kolnikom na koji se vežu tri priključne ceste (privozi) ili više njih, i u kojem se promet odvija u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na satu. Razvrstavanje kružnih raskrižja može se vršiti prema različitim mjerilima [8], a uobičajena je podjela po lokaciji i veličini, po broju privoza i prometnim trakovima, po svrsi ili namjeni i sl. Potrebno je spomenuti rješenja koja su u posljednje vrijeme sve više zastupljena kao oblikovne vrste kružnih raskrižja: montažno (privremeno), spiralno ili turbo, te kombinirana rješenja. *Montažno (privremeno) kružno raskrižje* predstavlja privremenu izvedbu kružnog raskrižja postavljenoga

unutar dimenzija postojećega klasičnoga raskrižja u razini. Pri njegovoj izvedbi ne predviđaju se veliki građevinski zahvati na postojećem raskrižju (npr. zamjena kolnika, izmjena ili dogradnja razdjelnih otoka itd.) koji znatno povećavaju financijska sredstva za rekonstrukciju. Velika je prednost ovakvih rješenja to što za njihovu izvedbu nije potrebna građevinska dozvola. *Spiralno ili turbo kružno raskrižje* posebna je vrsta višetračnoga raskrižja gdje su neki usmjereni tokovi međusobno fizički odijeljeni (Slika 1. i 2.). Ideja je za takva rješenja nastala iz potrebe da se za slučajeve preopterećenih višetračnih kružnih raskrižja smanji broj konflikata na mjestima preplitanja (na kružnom kolniku) i križanja (uvoz i izvoz na kontaktu s privoznim kolnicima). *Kombinirana rješenja kružnih raskrižja* posebne kombinacije kružnih raskrižja koji se pojavljuju kao posljedica terenske konfiguracije, prometnih tokova, ciljanefunkcionalne učinkovitosti ili drugih zahtjeva. U urbanim sredinama izvode se kao: bliska/tandem mini kružna raskrižja, elipsasta izdužena raskrižja, „Dumb-bell” raskrižja u dvije razine, kombinirana rješenja s dvjema (ili trima razinama), te rješenje s prolazom tramvajske pruge itd. [6].

### 2.2 Funkcionalna učinkovitost

Istraživanja propusne moći i razine prometne usluge odnosno funkcionalne učinkovitosti kružnih raskrižja rezultirala su razvojem matematskih metoda prilagođenim prema specifičnostima promatranih područja istraživanja. Te matematske metode ugrađene su u razne simulacijske programe za modeliranje propusne moći i ostalih osobitosti kružnih raskrižja, kao što su npr. SIDRA, ARCADY, RODEL, KREISEL, PTV VISSIM i dr. Prema [6], austrijska, britanska (Kimber) i američka (Highway Capacity Manual (HCM2010)) metoda za proračun funkcionalne učinkovitosti kružnih raskrižja, a koje se temelje se parametrima oblikovnih elemenata i prometnog opterećenja, predstavljaju osnovne metode za definiranje optimizacije funkcionalne učinkovitosti kružnih raskrižja. S obzirom da u Republici Hrvatskoj ne postoje dugogodišnja sustavna istraživanja funkcionalne učinkovitosti i ostalih osobitosti kružnih raskrižja, nije moguće preporučiti u kojoj mjeri se određena metoda i/ili simulacijski program može koristiti prilikom određivanja funkcionalne učinkovitosti i stupnja služnosti kružnih raskrižja.

### 2.3 Prometna sigurnost

Prometna sigurnost, stupanj sigurnosti prometa ili učinkovitost sigurnosti prometa kružnog raskrižja (eng. *safety performance*) može se kvantificirati kroz poboljšanje sigurnosti raskrižja pomoću smanjenja konfliktne površine i konfliktnih točaka, broja i stope prometnih nesreća, te brzine oko/u raskrižja [6]. Ipak, najčešći oblik kvantificiranja sigurnosti prometa

kružnih raskrižja uglavnom se prikazuje kao broj prometnih nesreća nastalih u promatranom vremenskom razdoblju ili se određuje putem odgovarajućih matematskih modela za predviđanje prometnih nesreća. Od mnogobrojnih metoda, prema [6] za određivanje/predviđanje broja i vrsti prometnih nesreća temeljenih na osnovnim oblikovnim elementima kružnog raskrižja, navode se britanska (Maycock i Hall), novozelandska (Turner) i američka (HCM2010) metoda. U Republici Hrvatskoj za određivanje sigurnosti prometa kružnih raskrižja uglavnom se koriste statistički podatci o broju i vrsti prometnih nesreća nastalih za promatrano vremensko razdoblje.

## 2.4 Pregled nacionalnih istraživanja

S obzirom na cilj i svrhu rada u nastavku će se prikazati sažeti osvrt na dosadašnja istraživanja urbanih kružnih raskrižja provedenih na teritoriju Republike Hrvatske.

Prva istraživanja odnosa utjecajnosti oblikovnih elemenata na kapacitet i stupanj sigurnosti kružnih raskrižja otpočela su znanstveno-istraživačkim projektom "Korelacija oblikovnosti i sigurnosti u raskrižjima s kružnim tokom prometa" [9]. *In situ* istraživanja su obuhvatila 30 kružnih raskrižja Grada Zagreba s detaljnom analizom korelacijskih oblikovnih elemenata, broja i vrsti prometnih nesreća, inteziteta i strukture prometnih tokova, te ostalih parametara (preglednost, prilazne brzine vozila, prometna signalizacija, rasvjeta, ponašanje vozača, itd.). Također, rezultirala su sljedećim: 1) stvorena je kvalitativna i kvantitativna baza prometnih podataka kružnih raskrižja, 2) omogućena je klasifikacija i određivanje reprezentanata pojedinih skupina kružnih raskrižja, 3) potvrđeno je da su kružna raskrižja sigurnija od klasičnih raskrižja, a utjecaj oblikovnih elemenata na stupanj sigurnosti je izrazit, 4) u suradnji s Ministarstvom unutarnjih poslova Republike Hrvatske definiran je dijagram kolizije u raskrižju koji sadrži sedam vrsta prometnih nesreća, te je 5) stvorena metodologija za terensku obradu raskrižja, elemenata i parametara potrebnih u svrhu provođenja analize funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti kružnih raskrižja. Vezana istraživanja glede analize postojećih i potencijalnih lokacija za primjenu kružnih raskrižja na području Grada Rijeke [10] omogućili su definiranje lokalnih preporuka za projektiranje kružnih raskrižja u Gradu Rijeci koji su temeljeni na stečenim empirijskim spoznajama i prema tada važećim smjernicama [11].

Istraživanja kapaciteta i razine usluge upotrebom stranih modela rezultirala su spoznajama o operativnim značajkama kružnih raskrižja, te su potvrdila teze o primjenjivosti korištenih modela uz njihovu kalibraciju prema lokalnim uvjetima [2, 12, 13]. Autori [14] su primjenom neuronskih mreža kalibrirali mikrosimulacijski prometni model na primjeru dva

urbana jednotračna kružna raskrižja (grad Osijek) što je rezultiralo analizom parametara funkcionalne učinkovitosti, posebno vremena putovanja i duljine repa čekanja vozila. Istraživanje optimizacije osnovnih oblikovnih elemenata (vanjski polumjer, ulazni/izlazni polumjeri, širina ulaza/izlaza privoza) i trajektorije provoženja vozila kružnim raskrižjem [15], te odnosa projektne brzine trajektorije provoženja vozila i stvarno izmjerene brzine vozila [16] provedena na urbanim jednotračnim kružnim raskrižjima predstavljaju dobru bazu za daljnja istraživanja utjecaja korelacijskog odnosa oblikovnih elemenata na stupanj funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti urbanih kružnih raskrižja. Pri tome posljednja istraživanja, posebno, razvijeni višekriterijski model za optimizaciju funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti putem glavnim oblikovnih elemenata urbanih kružnih raskrižja autora [6], te definiranja pojedinih urbanističkih parametara pri planiranju i izvedbi kružnih raskrižja kao rješenja, te utjecaja na sliku urbanog prostora u kojem se nalaze autora [17], značajno doprinose navedenome.

## 3 REGULATIVA

### 3.1 Inozemna iskustva

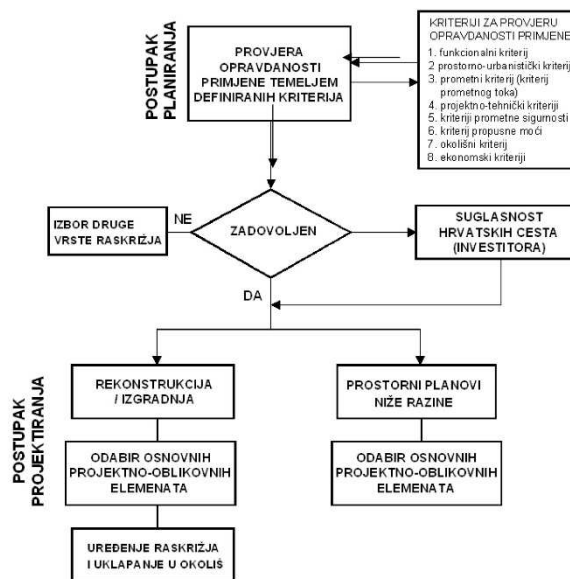
Zbog svrhe rada neće se detaljnije opisati pojedina regulativa već će se sažeto opisati najznačajnije globalne osobitosti. Za detaljan opis inozemne regulative predlaže se korištenje referentne literature, odnosno [6, 18, 19].

Pregledom dostupne inozemne zakonske regulative odnosno europskih i sjevernoameričkih smjernica [6] za planiranje i projektiranje kružnih raskrižja može se zaključiti sljedeće. Izradi regulative prethodila su opsežna i dugogodišnja istraživanja postojećih nacionalnih izvedenih kružnih raskrižja i njihovih eksploatacijskih značajki, te su u tim procesima sudjelovali svi dionici kružnih raskrižja (akademska zajednica, projektanti, izvođači, korisnici, lokalna uprava itd.). Često su u tim procesima sudjelovali vrhunski stručnjaci i znanstvenici iz drugih zemalja, kao npr. pri izradi sjevernoameričke regulative *National Cooperative Highway Research Programme* (NCHRP) i HCM2010. Kod europske, posebno istočnoeuropske regulative primjetan je izostanak spomenutih istraživanja. To je u većini slučajeva dovelo do određenog preklapanja između pojedinih istočnoeuropskih smjernica i velikog utjecaja odnosno oslanjanja na posljednje sjevernoameričke smjernice bez kalibracije prema lokalnim značajkama. Tako autor [20] predlaže da se u državama u kojima nisu razvijene metode za određivanje propusne moći, odnosno funkcionalne učinkovitosti kružnih raskrižja na temelju nacionalnih značajki i istraživanja, primijeni HCM2010 metodologija.

### 3.2 Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja u Republici Hrvatskoj

Postupci planiranja i projektiranja kružnih raskrižja u Republici Hrvatskoj temelje se na važećoj domaćoj [11]te primijenjenoj inozemnoj regulativi i smjernicama, posebno njemačkoj [21], austrijskoj [22] i švicarskoj [23], pozitivnim primjerima iz svjetske prakse, te iskustvenoj praksi projektanata. Jedan od prvih koraka u stvaranju nacionalne regulative za projektiranje kružnih raskrižja bile su *Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora* iz 2002. godine. Osnovni ciljevi ovih smjernica bili su usmjereni ka postizanju istovjetnosti u projektiranju i izvedbi kružnih raskrižja na javnim cestama u Republici Hrvatskoj. Tada, u nedostatku domaće regulative, prilikom projektiranja kružnih raskrižja primjenjivala se spomenuta inozemna regulativa i inženjerska praksa, što je rezultiralo velikim brojem oblikovno neusklađenih kružnih raskrižja. Također, nedovoljno pažnje posvećivalo se kriterijima za izvedbu kružnog raskrižja, posebno kriterijima propusne moći. Smjernice su podjelom kružnih raskrižja i definiranjem kriterija za izvođenje, te ujednačavanjem projektno-oblikovnih elemenata stvorile preduvjete za učinkovitije planiranje i projektiranje kružnih raskrižja. *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama* iz 2014. godine predstavljaju logičan korak na putu stvaranja nacionalne regulative za planiranje i projektiranje svih oblika kružnih raskrižja, a posebno u urbanim sredinama. Brojna inozemna i domaća istraživanja o mogućnostima poboljšanja projektno-oblikovnih elemenata u svrhu veće propusne moći i razine usluge, dovela su do potrebe za izmjenom i nadogradnjom postojećih znanja o kružnim raskrižjima.

Tako *Smjernice 2014* predstavljaju značajnu nadogradnju *Smjernice 2002* u pogledu projektno-oblikovnih elemenata, kriterija za izvođenje, definiranja, planiranja i izvedbe novih oblika (turbo) kružnih raskrižja, te važnosti i potrebitost provjere trajektorija kretanja mjerodavnih vozila u fazi projektiranja. Projektiranje kružnih raskrižja vrlo je specifično zbog velike raznolikosti prostornih i prometnih čimbenika, stoga nije uvijek moguće primijeniti optimalne projektno-oblikovne elemente i zadovoljiti sve tražene kriterije. Međutim, planiranjem i projektiranjem u skladu sa *Smjernicama 2014* postiže se usklađenost kružnih raskrižja na nacionalnoj razini koja omogućuje potpunije sagledavanje problematike (utjecajnih čimbenika), iz čega u konačnici proizlaze potpunija i optimalna rješenja.



Slika 1. Postupak primjene smjernica [7]

Za učinkovitu primjenu smjernica izuzetno je važna analiza opravdanosti primjene kružnih raskrižja u fazi planiranja (Slika 1.). Analiza opravdanosti služi za provjeru zadovoljenja zadanih kriterija i izbor optimalnog rješenja, te dovodi do racionalizacije troškova i smanjenja negativnih utjecaja na okoliš.

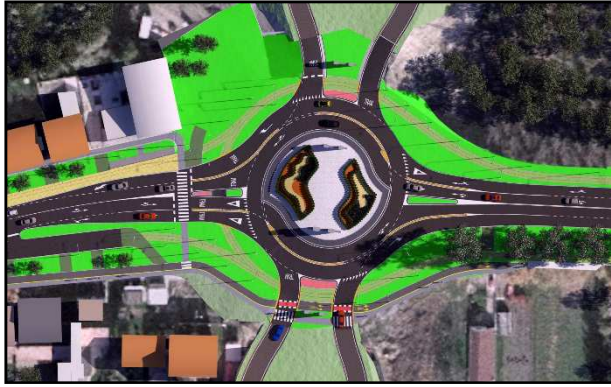
Do stvaranja konačnog zakonodavnog okvira - Pravilnika za projektiranje kružnih raskrižja, potrebno je postupno usvajati i primjenjivati potvrđene inozemne metodologije i praksu, te ih uvoditi u državnu regulativu, uz obvezno uvažavanje svih nacionalnih značajki.

## 4 PRIMJERI IZ NACIONALNE PRAKSE

Obzirom na navedeno u poglavlju 2.4., u nastavku će se dati sažeti pregled značajnijih izvedenih i planiranih oblika urbanih kružnih raskrižja. Prikazani primjeri iz projektantske prakse projektirani su u skladu sa hrvatskom normom HRN.C4.050, *Smjernicama za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora* [11], te prema inozemnoj literaturi.

Prvo **turbo kružno raskrižje** u Hrvatskoj izvedeno je u gradu Osijeku 2014. g. (Slika 2. i 3). Raskrižje je projektirano u skladu sa smjernicama [11] kao i stručnom literaturom iz domene projektiranja raskrižja oblika kružnog toka sa spiralnim tokom prometa (Nizozemska, Slovenija, BiH).





Slika 2. Tlocrtni prikaz turbo kružnog raskrižja u Osijeku [24]

Svi projektno-oblikovni elementi raskrižja (posebno širine kolnika priključaka u zoni kružnog toka te oblikovanje ulaznih i izlaznih radijusa), odabrani su kako bi se osigurao prolaz mjerodavnog vozila (kamiona sa prikolicom,  $l=16,5\text{m}$ ) kroz kružni tok. Turbo kružni

tok je jajastog oblika – na glavnom smjeru ima dva ulazna i izlazna vozna traka, a na sporednom smjeru ima jedan vozni trak na ulazu i izlazu. Vozni trak kod turbotokaima smaknut centar kružnih segmenata pod kutom od  $180^\circ$  (kod klasičnog su vozni trakovi raspoređeni kao koncentrirani krugovi), čime se postiže spiralni tok vožnje, odnosno tijekom vožnje ima mogućnost prijeći samo iz manjeg u veći radijus, što osigurava bolju provoznost. Vozni trakovi su razdvojeni spiralnom horizontalnom signalizacijom i fizičkim elementima za razgraničenje što vozaču omogućuje da samo jednom bira vožnju i to prije ulaska u kružni tok, čime se smanjuje broj konfliktnih točaka. Najznačajniji oblikovni elementi su:  $D_v=5.15\text{m}$  (vanjski razmak smaknutih centara kružnih segmenata);  $D_u=4.95\text{m}$  (unutarnji razmak smaknutih centara kružnih segmenata);  $R_1=15\text{m}$  (polumjer unutarnjeg ruba kolničkog traka);  $R_2=20\text{m}$  (polumjer vanjskog ruba unutarnjeg prometnog traka);  $R_3=20.3\text{m}$  (polumjer unutarnjeg ruba vanjskog prometnog traka);  $R_4=25.2\text{m}$  (polumjer vanjskog ruba kolničkog traka) [24].



Slika 3. Prikaz turbokružnog raskrižja i nadvožnjaka „Strossmayer“ na D7 u Osijeku, slika iz zraka [24]

S obzirom na specifične lokalne uvjete, sanacija opasnog mjesta "T" raskrižja državnih cesta D22 i D28 u mjestu Sv. Ivan Žabno, izvela se primjenom kružnog raskrižja (Slika 4.). U periodu od 01.1.2007. g. do 31.12.2011. g. zabilježeno je 16 prometnih nesreća sa 2 poginule osobe. Uzrok prometnih nesreća prema statističkim podacima Ministarstva unutarnjih poslova je oduzimanje prednosti prolaza (44%) i neprilagođena brzina (44%). Osim na raskrižju, prometne nesreće zabilježene su u zoni raskrižja ~100 m od raskrižja. Negativna značajka raskrižja je izrazito slaba

preglednost jer se područje raskrižja nalazi na konveksnom prijevoju na trasi D28. Posebno iz smjera Zagreba, gdje se nalazi dugačak zavoj iz kojeg vozila brzo dolaze u zonu raskrižja, bez mogućnosti pravovremenog sagledavanja prometne situacije u raskrižju.

U raskrižju se nalazi autobusno stajalište na D28 za smjer iz Zagreba što nije dopušteno važećim regulativom o izvedbi autobusnih stajališta, te ga je potrebno izmjestiti. Nakon raskrižja, s južne strane u



pravcu Bjelovara nalazi se benzinska postaja na koju su omogućeni svi smjerovi ulaska i izlaska vozila, te dolazi do dodatnih konfliktih točaka u zoni raskrižja. Situaciju čine kompleksnijom priključci dvije nerazvrstane ceste sa južne strane D28 (jedna prije, a druga - Paromlinska ulica - poslije raskrižja, u neposrednoj blizini benzinske postaje). Projektiranim rješenjem (pješački prelazi smješteni ~8m od kružnog toka, izvedba prometnih otoka između dva smjera) razina sigurnosti pješačkog prometa znatno bi se povećala. Autobusno stajalište izmješta se ~115 m od raskrižja u smjeru istoka, kako bi se poštivala regulativa definiran razmak između nasuprotnih autobusnih stajališta. i omogućio pristup

državnoj cesti, bez prelaska preko perona stajališta. Autobusno stajalište sa sjeverne strane D28 se skraćuje sukladno odabranoj računskoj brzini, s obzirom na preveliku duljinu (~8 m), te ga vozila dijelom koriste za parkiranje uz kolnik.

Uzimajući u obzir potrebnu provoznost raskrižja za teška teretna vozila, te ograničenost raspoloživog prostora, odabrani su slijedeći oblikovni elementi kružnog raskrižja:  $D_v = 30.60$  m (vanjski promjer kružnog raskrižja),  $B = 7.00$  m (širina kružnog kolnika),  $b_p = 1.75$  m (širina povoznog traka), te  $D_s = 13.35$  m (promjer središnjeg otoka) [25].



Slika 4. Prikaz kružnog raskrižja Sv. Ivan Žabno [25]

Rekonstrukcija državne ceste D517 na dionici kroz grad Belišće izvela se primjenom dva kružna raskrižja, te je idejno prikazana na slici 5. Rekonstrukcijom se eliminira postojeći opasni zavoj malog radijusa i nepovoljnih horizontalnih elemenata, i ostvaruje prometno sigurna i protočna veza prema Bistrincima. Omogućen je i priključak tvrtke "HF Belišće" na državnu cestu, putem četvrtog privoza na kružni tok. Također, kako bi se izbjegli individualni kolni prilazi u zoni raskrižja postojećih objekata, projektirana je zasebna servisna (prilazna) cesta duljine ~85m, koja se spaja na privoz raskrižju iz smjera Bistrinaca.

Kružno raskrižje 1. (desno na slici 5.) promjera je  $D_v = 38.00$  m, te predstavlja najprometnije i najvažnije raskrižje za funkcioniranje prometnih tokova u Belišću. Nepovoljnog je oblik zbog križanja cesta pod ostrim kutovima, a rekonstruirano je početkom 80-tih godina.

Međutim, prometni tokovi su nedefinirani i nejasni (posebno smjer državne ceste D517 u pravcu prema Baranji, tj. mostu 107. brigade), dok je regulacija prometa uspostavljena pomoću vertikalne prometne signalizacije (prometne tokove nije moguće precizno definirati horizontalnom prometnom signalizacijom). Pri tome je većina gabarita postojećeg raskrižja uspješno iskorištena; npr. desni trakovi ("bypass") iz smjera Ulice kralja Tomislava na privozima sa sjevera u juga. Kružno raskrižje 2. (lijevo na slici 5.) promjera je  $D_v = 36.00$  m. Širina prometnog traka iznosi 6.6m, uz izvedbu dodatnog povoznog traka za teška teretna vozila u širini od 1.8m. Priključni radijusi privoza odabrani su na način da osiguraju provoznost mjerodavnih vozila (tegljač duljine 16.5m, odnosno kamion sa prikolicom duljine 18.00m) [26].



Slika 5. Prikaz rekonstrukcije državne ceste D517 u Belišću [26]

Rekonstrukcija postojećeg četverokrakog raskrižja „Trešnjevka“ (križanje državnih cesta D1 i D310) u Jastrebarskom izvedena je primjenom kružnog raskrižja (Slika 6.). U zoni postojećeg raskrižja državna cesta D1 proširena je na 10.5m zbog traka za lijevo skretanje prema D310 (Cvetkovačka ulica) i prema industrijskoj zoni Jastrebarsko. Između državne ceste D1 i D310 (u smjeru centra Jastrebarskog) prisutan je „bypass“ (obilaznica). Širina kolnika je 7.0-8.0m, a u zoni proširenja za lijevo skretanje širina kolnika je 10.0-10.5m.

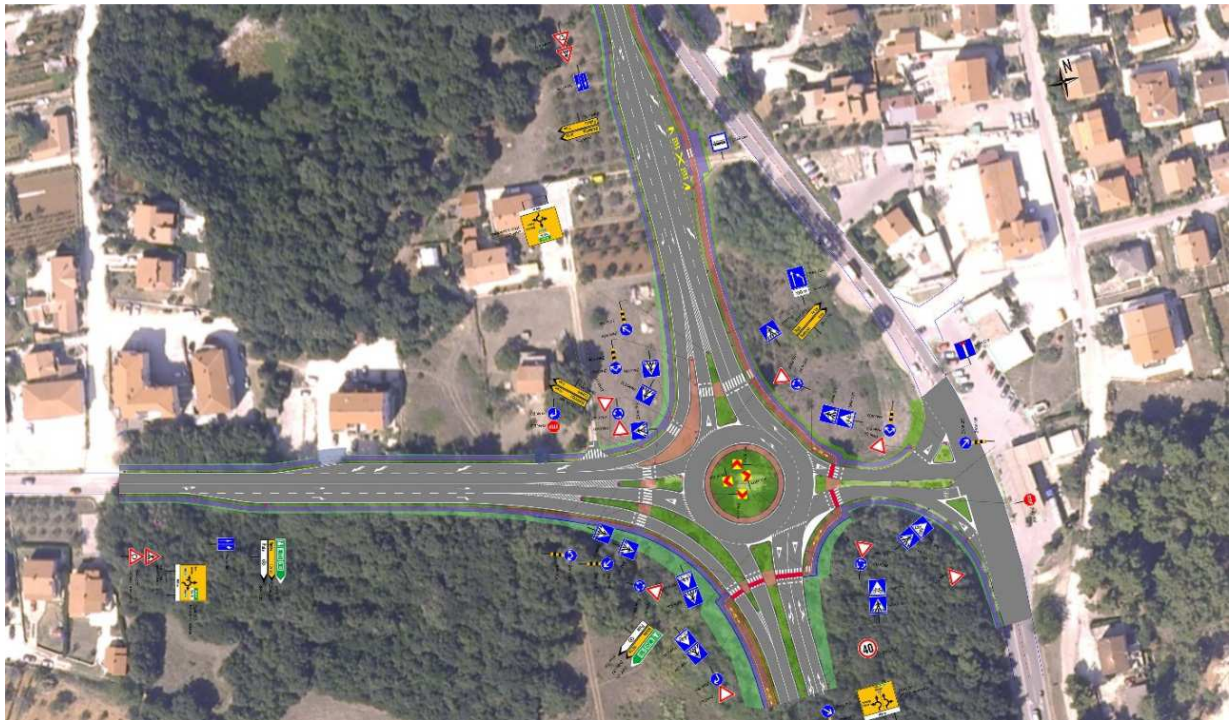


Slika 6. Tlocrtni prikaz kružnog raskrižja „Trešnjevka“ u Jastrebarskom [27]

S obzirom na visoki prosječni godišnji dnevni promet od 11.600 (voz/dan) u zoni raskrižja, skretanje lijevo prema Karlovcu je izazivo otežano. Širina kolnika iznosi 6.50-7.00m, a u zoni proširenja za lijevo skretanje širina kolnika je od 10.0-11.0m. Priključak industrijske zone na D1 je smaknut u odnosu na D310, a prelazi preko bujičnog potoka Reka. Skretanje iz industrijske zone lijevo prema centru Jastrebarskog je također vrlo otežano. Projektirani kružni tok je vanjskog promjera 36.00m. Širina za kolnički trak u kružnom toku je 7m i 2,0m za povozni dio (zastor od granitne kocke). Promjer središnjeg (zelenog) otoka je 18m. Svi projektno - oblikovni elementi raskrižja, odabrani su tako da omogućuje prolaz vozila maksimalnih očekivanih dimenzija (zglobni autobus, kamion dužine 16.5m) kroz raskrižje. Izvedbom kružnog toka na predmetnom četverokrakom raskrižju bitno bi se podigla razina sigurnosti i brzina protočnosti u raskrižju sa sporednih ulica (D310 i industrijske zone) [27].

U sklopu rekonstrukcije dijela državne ceste D75 Vodnjan – Pula u duljini od 1,42km (Vodnjanska cesta), također se prema lokalnim uvjetima predložila primjena kružnog raskrižja (Slika 7.). Početak zahvata nalazi se na križanju sa županijskom cestom Ž5115 (Fažanska cesta) koje je predviđeno kao kružno raskrižje. Na to raskrižje uklapa se projekt dogradnje drugog kolnika državne ceste D66 i D75 od kružnog raskrižja „Šijan“ do gradske četvrti Veli Vrh. Projekti su međusobno usklađeni u tlocrtnom i visinskom smislu pri čemu je projektirana os produžena je prema jugu za ~75m [28].





Slika 7. Tlocrtni prikaz rekonstrukcije dijela D75 Vodnjan-Pula[28]

## 5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Očigledan je porast primjene i izvedbe svih oblika kružnih raskrižja u urbanim sredinama. Usljed pomanjkanja nacionalne regulative, pojedina nacionalna istraživanja i projektanti upozoravaju na razlikovnost izvedbe, što je kod nekih kružnih raskrižja utjecalo na smanjenje funkcionalne učinkovitosti i stupnja prometne sigurnosti. Izradom *Smjernica2014* omogućuje se kvalitetnija izrada nacionalne regulative za planiranje i projektiranje svih oblika kružnih raskrižja, posebno u urbanim sredinama. Tako predstavljaju značajnu nadogradnju *Smjernica2002* u pogledu projektno-oblikovnih elemenata, kriterija za izvođenje, definiranja i izvedbe novih oblika (turbo) kružnih raskrižja, te važnosti provjere trajektorija kretanja mjerodavnih vozila u fazi projektiranja. Također, primjenom posljednjih smjernica u projektantskoj praksi postiže se usklađenost kružnih raskrižja na nacionalnoj razini koja omogućuje potpunije sagledavanje problematike (utjecajnih čimbenika), što rezultira primjenom i izvedbom optimalnih rješenja. Međutim, za donošenje obvezujuće nacionalne zakonske regulative potrebno je provesti opsežna i sustavna terensko-analitička istraživanja na izvedenim kružnim raskrižjima. Pri tome, dosadašnja nacionalna istraživanja mogu poslužiti kao određena baza prometnih podataka, te izvor iskustvenih spoznaja. Potrebno je uključiti svedionike te inozemne stručnjake iz tog područja s ciljem donošenja regulative za pravilnu primjenu i izvedbu optimalnog urbanog kružnog raskrižja. To podrazumijeva zadovoljavajuću razinu funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti prema

lokalnim značajkama. Rezultati rada trebaju poslužiti za diseminaciju znanja za pravilnu primjenu i izvedbu kružnih raskrižjima u nacionalnim okvirima.

## 6 LITERATURA

- [1] Tolazzi, T., The Contribution to the procedure of capacity determination at unsignalized priority-controlled intersections, *Promet - Traffic & Transportation*, 16(1), 2004, pp. 31-36.
- [2] Ištoka Otković, I., Dadić, I., Comparison of delays at signal-controlled intersection and roundabout, *Promet - Traffic & Transportation*, 21(3), 2009, pp. 157-165.
- [3] Varheyli, A., The effects of small roundabout on emissions and fuel consumption: A case study, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 7, 2002, pp. 65-71.
- [4] Coelho, M.C., Farias, T.L., Roupail, N.M., Effect of roundabout operations on pollutant emissions, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 11(5), 2006, pp. 333-343.
- [5] Sacchi, E., Bassani, M., Persaud, B., Comparison of safety performance models for urban roundabouts in Italy and other countries, *Transportation Research Record*, 2265, 2011, pp. 253-259.
- [6] Pilko, H., Optimiziranje oblikovne i sigurnosne komponente raskrižja s kružnim tokom prometa (doktorski rad), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [7] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama 2014, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 2014.
- [8] Legac, I. i dr., Gradske prometnice, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.

- [9] Korelacija oblikovnosti i sigurnosti u raskrižjima s kružnim tokom prometa, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008-2013.
- [10] Analiza postojećih i potencijalnih lokacija za primjenu kružnih raskrižja na području Grada Rijeke (studija), Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 2010.
- [11] Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnoga oblika – rotora, Institut prometa i veza, Zagreb, 2002.
- [12] Otković Ištoka, I., Capacity modelling of roundabouts in Osijek, *Technical Gazette*, 15(3), 2008, pp. 41–47.
- [13] Šubić, M., Legac, I., Pilko, H., Analysis of capacity of roundabouts in the city of Zagreb according to HCM-C-2006 and NingWu methods, *Technical Gazette*, 19(2), 2012, pp. 451-457.
- [14] Ištoka Otković, I., Tollazzi, T., Šraml, M., Calibration of microsimulation traffic model using neural network approach, *Expert Systems with Application*, 40, 2013, pp. 5965-5974.
- [15] Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S., Optimization of roundabout design elements, *Technical Gazette*, 20(3), 2013, pp. 533-539.
- [16] Pilko, H., Brčić, D., Šubić, N., Study of vehicle speed in the design of roundabouts, *GRAĐEVINAR*, 66(5), 2014, 407–416.
- [17] Barišić, I., Urbanistički parametri pri planiranju kružnih raskrižja (doktorski rad). Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 2014.
- [18] Šurdonja i dr., Mini-roundabouts in urban areas, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA, 2012, pp. 997-1003, Dubrovnik.
- [19] Njegovec, M., Stepan, Ž., Rigo, A., Design elements of modern roundabouts, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA, 2012, pp. 1005-1011, Dubrovnik.
- [20] Mauro, R., Calculation of Roundabouts – Capacity, Waiting Phenomena and Reliability, Springer Science & Business Media, Berlin, 2010.
- [21] Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2006.
- [22] RVS 03.05.14 Straßenplanung, Plangleiche Knoten - Kreisverkehr, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straßen und Verkehr, Wien, 2010.
- [23] Schweizer Norm 640 263, Knoten mit Kreisverkehr, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1999.
- [24] Rekonstrukcija raskrižja u Strossmayerovoj ulici s krakovima petlje zapadne obilaznice grada Osijeka u kružni tok – Glavni projekt, Rencon d.o.o., Osijek, 2013.
- [25] Izgradnja kružnog toka na raskrižju državnih cesta D28 i D22 u Svetom Ivanu Žabno – Glavni projekt, Rencon d.o.o., Osijek, 2013.
- [26] Rekonstrukcija državne ceste D517 na dionici kroz grad Belišće – Glavni projekt, Rencon d.o.o., Osijek, 2013.
- [27] Rekonstrukcija raskrižja „Trešnjevka“ (križanje državnih cesta D1 i D310) u kružni tok u Jastrebarskom – Glavni projekt, Rencon d.o.o., Osijek, 2013.
- [28] Rekonstrukcija državne ceste D75 Vodnjan-Pula – Glavni projekt, Rencon d.o.o., Osijek, 2013.