

Optimizacija saobraćajnog procesa na kružnim raskrscima implementacijom adaptibilnog sistema upravljanja saobraćajem – primeri dve kružne raskrsnice u Budvi

Andjela Lazarević, ElcomBgd d.o.o, Beograd, andjela.lazarevic@elcombgd.rs

Margareta Ilić, ElcomBgd d.o.o, Beograd, margareta.ilic@elcombgd.rs

Aleksandra Kovač, ElcomBgd d.o.o, Beograd, aleksandra.kovac@elcombgd.rs

Rezime: Dugi niz godina širom sveta prisutan je trend izgradnje kružnih raskrsnica, kao i preoblikovanje klasičnih raskrsnica u moderne kružne raskrsnice. Primena kružnih raskrsnica u odnosu na konvencionalne raskrsnice može imati niz prednosti, uključujući smanjenje rizika, efikasnije iskorišćenje postojećih kapaciteta, smanjenje broja zaustavljanja itd., ali njihova efikasnost u velikoj meri zavisi od efikasnog upravljanja saobraćajem. Tradicionalni pristupi upravljanja saobraćajem može biti nedovoljno fleksibilno da efikasno reaguju na netipične uslove u saobraćajnom toku, pa semaforizovane kružne raskrsnice pronalaze sve veću primenu u mnogim zemljama, međutim nisu toliko česti primeri primene adaptibilnih sistema upravljanja na kružnim objektima. Simulacije kao alat adaptibilnog upravljanja koriste se za testiranje različitih scenarija i vizuelnu interpretaciju uslova u saobraćaju. U ovom radu je prikazana primena adaptibilnih sistema na kružnim raskrscima uz korišćenje simulacionog modela kao ključnog alata za prikaz različitih upravljačkih rešenja. Fokus je bio na analizi efikasnosti različitih varijanti u upravljanju saobraćajem na dve kružne raskrsnice u Budvi. Ove raskrsnice karakteriše različita geometrija, saobraćajano opterećenje po prilazima i potpuno različita problematika u opsluživanju saobraćajnih tokova i rad istražuje primenu adaptibilnih sistema na njima, a kroz simulacije prikazana je efikasnost ovih sistema u rešavanju specifičnih izazova svake od ovih raskrsnica. Rad pruža dublji uvid u potencijal primene adaptibilnih sistema na kružnim raskrscima i njihov doprinos efikasnijem upravljanju saobraćaja, koristeći simulacije kao alat za analizu i evaluaciju različitih upravljačkih varijanti.

Ključne reči: kružna raskrsnica, semaforizacija, adaptibilno upravljanje, simulacija

1 UVOD

Urbana saobraćajna zagušenja najčešće se javljaju oko raskrsnica, posebno tokom vršnih perioda dana. U poslednje vreme značajna pažnja posvećena je razvoju različitih teorija i modela sa ciljem minimiziranja problema saobraćajnih gužvi.

Savremene kružne raskrsnice sve više se prepoznaju kao alternativno rešenje za kontrolu saobraćaja, jer mogu poboljšati bezbednost i operativnu efikasnost u poređenju sa tradicionalnim metodama kontrole, kao što su konvencionalne raskrsnice. Međutim, iako kružne raskrsnice mogu biti izuzetno efikasne u mnogim situacijama, one nisu uvek optimalno rešenje, naročito kada se suočavaju sa velikim intenzitetom saobraćaja ili

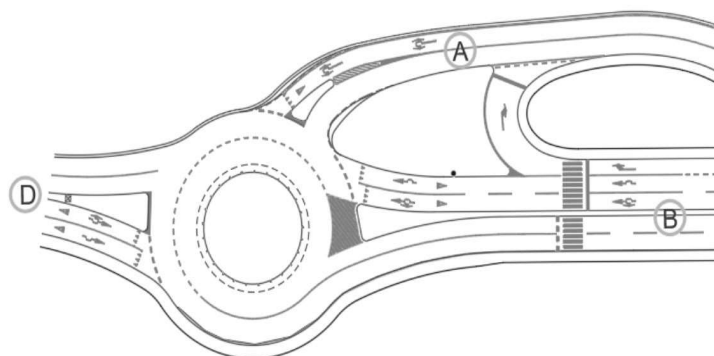
intenzivnim pešačkim tokovima [1]. U ovim složenim uslovima, kada dolazi do čestih dinamičkih promena u uslovima saobraćajnog toka, čak ni tradicionalne metode upravljanja, poput semaforizacije, ne mogu u potpunosti da iskoriste kapacitete kružne raskrsnice. U tom kontekstu, adaptibilno upravljanje saobraćajem se ističe kao napredni pristup koji može značajno poboljšati efikasnost kružnih raskrsnica.

Adaptibilni sistem upravljanja saobraćajem koristi naprednu tehnologiju za prilagođavanje u realnom vremenu, što omogućava bolje iskorišćavanje postojećih kapaciteta i odgovor na netipične promene u saobraćajnim uslovima. Ovakav sistem upravljanja se zasniva na algoritmima za predviđanje i detekciju prognoziranog saobraćajnog zahteva u realnom vremenu i uz pomoć simulacionih modela vrši generisanje optimalnih signalnih planova. [2]

U gradovima, kao što je Budva, saobraćajni uslovi se drastično razlikuju u van turističkoj i turističkoj sezoni. U sezoni u Budvi se javlja povećan broj vozila i pešaka, dok su van sezone uslovi znatno mirniji. Dve kružne raskrsnice u Budvi, Zavala i Lugovi, predstavljaju primere kako različiti uslovi u toku, u zavisnosti od sezone, mogu značajno uticati na stvaranje saobraćajnih zagušenja. Ovakve sezonske fluktuacije u intenzitetu saobraćaja iskazuju potrebu za adaptibilnim sistemima upravljanja, koji bi omogućili dinamičko prilagođavanje saobraćajnih tokova i optimizaciju saobraćajnog procesa tokom različitih perioda godine.

2 SAOBRAĆAJNA PROBLEMATIKA KRUŽNIH RASKRSNICA ZAVALA I LUGOVI

Kružna raskrsnica Zavala je strateška tačka na mreži koja povezuje tri važna pravca - Budvu (*krak D*), Petrovac (*krak B*) i Cetinje (*krak A*).. U toku turističke sezone (jun-avgust) Zavalu karakteriše izuzetno veliki intenzitet saobraćaja koji funkcioniše nekontrolisano i koji karakterišu stalna presecanja saobraćajnih tokova i veliki broj konfliktnih tačaka, dok van letnje sezone je znatno manji obim saobraćaja koji se opslužuje bez zadržavanja ispred same raskrsnice. Zbog nestandardne geometrije raskrsnice, vozači koji dolaze iz smera Cetinja nemaju dobru preglednost, a veliki intenzitet saobraćaja duž magistralnog puta i prednost vozila u raskrsnici dovode do formiranja nepreglednih kolona vozila na kraku A u pojedinim periodima.

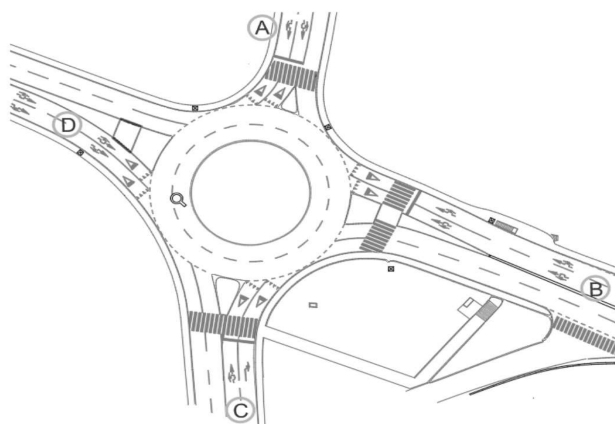


Slika 1. Kružna raskrsnica Zavala

Kružna raskrsnica Lugovi je čvorište magistralnog put (*krak B – ka Petrovcu i krak D – ka Budvi*) i gradske saobraćajnice (*krakovi A i C*).

Tokom turističke sezone, glavni problem predstavlja nekontrolisano prelaženje pešaka preko svih pešačkih prelaza, što dovodi do učestalog prekida i usporavanja toka vozila. Ovaj problem rezultira saobraćajnim zagušenjima i dugim redovima vozila pred kružnim tokom. Najveći problem je na pešačkom prelazu na kraku D, gde intenzivni pešački tokovi presecaju prioritetni tok vozila.

Van letnje sezone obim saobraćaja znatno je smanjen, što omogućava neometano kretanje bez čestih zaustavljanja i velikih vremenskih gubitaka.



Slika 2. Kružna raskrsnica Lugovi

3 PREDLOZI REŠENJA

U odnosu na utvrđene problematike na dve kružne raskrsnice razmatrana su različita upravljačka rešenja.

3.1 Kružna raskrsnica Zavala

Na Zavali izazov predstavlja značajan intenzitet saobraćaja duž magistralnog puta, naročito iz Petrovca, a vozila koja su već unutar raskrsnice imaju prednost u odnosu na vozila sa prilaza. Ovo dovodi do stvaranja velikih kolona vozila iz pravca Cetinja.

S obzirom da je saobraćaj na raskrsnici bio regulisan saobraćajnim znakovima, predlog rešenja za navedeni problem podrazumevao je semaforizaciju kraka magistralnog puta iz pravca Petrovca, i to samo saobraćajnih traka koje vode ka kružnoj raskrsnici. Na taj način bi vozila koja nailaze na raskrsnicu sa kraka B bila zaustavljena u slučaju formiranja kolone iz pravca Cetinja, koje bi bile detektovane na osnovu induktivne petlje koja je instalirana na 40 metara od ulaska u kružnu raskrsnicu, dok bi u suprotnom ovaj tok imao slobodan prolaz kroz raskrsnicu.

Ipak, razmatrane su 2 opcije semaforizacije: prva opcija je podrazumevala postavljanje semaforne lanterne sa tri osnovna signala – crveni, žuti i zeleni, dok je druga podrazumevala samo crveni i žuti trepćući signal. Iz bezbednosnih razloga je usvojeno drugo rešenje.

3.1.1 Izrada VISSIM modela

PTV VISSIM je najčešće korišćeni softver sa mikrosimulaciju saobraćaja koji opisuje sistemske entitete (vozila, vozači, pešaci...) i njihove interakcije sa velikim nivoom detalja.

Ključni element koji je zahtevan pri implementaciji adaptibilnih sistema za upravljanje saobraćajem jeste instalacija detektorskih resursa koji su neophodni za prikupljanje podataka o saobraćajnom protoku. Na kružnoj raskrsnici Zavala instalirana je induktivna petlja na kraku A na 40 metara od zaustavne linije, koja je okarakterisana kao okupaciona petlja, dok su na kraku B, u obe saobraćajne trake, instalirane petlje na udaljenosti od 25 metara od zaustavne linije. Za predmetnu raskrsnicu je urađen saobraćajni model u VISSIM softveru za čiju izradu su korišćeni podaci o saobraćajnom opterećenju koji su dobijeni na osnovu snimanja saobraćaja u jutarnjem i popodnevnom vršnom periodu.

Strategija upravljanja na Zavali se zasniva na “ramp metering” upravljanju, gde je cilj bio sprečiti zagušenje na ulivnom kraku iz pravca Cetinja u periodima najintenzivnijih tokova. Zagušenje je, osim intenziteta, rezultat i kontinualnog prolaska vozila iz smera Petrovca kroz raskrsnicu, koja imaju prednost u odnosu na vozila sa Cetinjskog puta. Primenjen je koncept povremenog kratkotrajnog zaustavljanja tokova iz Petrovca, u situaciji kada je na Cetinjskom putu detektovano zasićenje. Ovom akcijom se, za izvestan period, oslobađa konfliktna zona za slobodan ulazak vozila iz pravca Cetinja, uz odgovarajuću nužnu redukciju kapaciteta smera od Petrovca.

3.1.2 Rezultati simulacije

Za uneto saobraćajno opterećenje testiran je veći broj različitih upravljačkih varijanti, tako što su vršene simulacije za različite težinske faktore koji su dodeljeni signalnoj grupi (SG10) iz pravca Petrovca i virtualnoj signalnoj grupi iz pravca Cetinja (SG20), kao i za različita definisana minimalna i maksimalna trajanja zelenog signala pomenutih signalnih grupa. Upravljačke varijante su vrednovane na osnovu nivoa usluge na kraku A i kraku B.

Tabela 1. Rezultati iz simulacije za različita upravljačka rešenja na Zavali

	Tež. faktor SG10	Tež. faktor SG20	Min/maks. trajanje zelenog signala SG10 (s)	Min/maks. trajanje zelenog signala SG20 (s)	NU – krak A (iz pravca Cetinja)	NU – krak B (iz pravca Petrovca)
Bez semafora	/	/	/	/	F	C
Varijanta 1	10	5	40/beskonačno	25/50	D	E
Varijanta 2	50	20	60/beskonačno	25/beskonačno	F	D
Varijanta 3	500	10	60/beskonačno	10/15	D	B

Za saobraćajno opterećenje koje je uneto u model vršena je i simulacija za slučaj kada raskrsnica nije opremljena semaforima. Rezultati simulacije pokazali su da nivo usluge na prilaznom kraku raskrsnici iz pravca Cetinja F, dok je na kraku iz pravca Petrovca C. Cilj uvođenja adaptibilnog sistema na ovoj raskrsnici bio je pronaći optimalno upravljačko rešenje koje bi dovelo do povećanja nivoa usluge na oba kraka. U tabeli 1 su prikazani dobijeni nivou usluge za različite varijante, a kao najoptimalnija je odabrana varijanta 3 koja je rezultirala poboljšanjem nivoa usluge sa F na D za jedan krak i sa C na B za drugi krak.

3.2 Kružna raskrsnica Lugovi

Kao što je ranije pomenuto, jedan od ključnih problema na raskrsnici Lugovi je prisustvo intenzivnih pešačkih tokova, naročito tokom letnje sezone. Preko tri kraka ove

raskrsnice su obeleženi pešački prelazi koji omogućavaju prelazak pešaka. Usled čestih presecanja saobraćajnog toka, pri prelazu pešaka, vozila moraju da uspire ili da se potpuno zaustave kako bi propustila pešake. U letnjem periodu, kada je broj pešaka najveći, problem se dodatno pogoršava, što dovodi do preopterećenja i umanjenja efikasnosti raskrsnice. Pored navedenog problema sa pešačkim saobraćajem, takođe uočeno je da na presecanje saobraćajnog toka na glavnom pravcu (krak B) veliki uticaj imaju vozila sa bočnog prilaza (krak A).

Budući da je saobraćaj na ovoj raskrsnici regulisan horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, jedna od mogućih strategija za rešavanje problema može da bude semaforizacija dva kraka raskrsnice, kraka A i kraka B, koja su u najvećem međusobnom konfliktu i koji imaju najveći konflikt sa pešacima, kao i pešačkih prelaza preko ova dva kraka raskrsnice.

3.2.1 VISSIM model i simulacija

Kao i za prethodno pomenutu raskrsnicu, i za kružnu raskrsnicu Lugovi je takođe izrađen VISSIM model radi simuliranja uočenih saobraćajnih problema i pronalaska najprihvatljivijeg upravljačkog rešenja.

Naime, neophodno je da upravljač puta već prilikom modelovanja ima jasan upravljački cilj. Zamišljena upravljačka strategija za ovu raskrsnicu podrazumeva da se obezbedi prednost prioritetnom pravcu što je u ovom slučaju magistralni put M1 uz prihvatljivo vreme čekanja za pešake koji presecaju glavni pravac i vozila na bočnom pravcu, odnosno na kraku A.

To je moguće obezbediti primenom odgovarajućih parametara relativne značajnosti konkurentnih saobraćajnih tokova, kao i definisanjem minimalnih trajanja zelenog signala svake faze. Vozački i pešački tokovi bi se opsluživali u dve faze, i to u beskonačnoj fazi bi se opsluživao vozački tok iz pravca Petrovca (SG20), pešački tok preko obilaznice (b) i uslovno desno skretanje za vozački tok sa obilaznice, dok bi se u drugoj fazi opslužuje vozački tok sa obilaznice (SG10), prešači tok preko magistralnog puta (a) i uslovno desno skretanje za vozački tok iz pravca Petrovca.

3.2.2 Vrednovanje upravljačkih rešenja

Simulacija je omogućila detaljno testiranje različitih težinskih faktora signalnih grupa kao i različite varijante u trajanju minimalnih i maksimalnih zelenih vremena.

Rezultati simulacije, prikazani u tabeli ispod, ilustruju tri različite varijante upravljačkih strategija. Svaka varijanta definiše različite težinske faktore za vozačke grupe, kao i različita minimalna i maksimalna trajanja zelenog signala po grupama. U tabeli se mogu videti i dobijeni nivoi usluge na kraku raskrsnice iz pravca Cetinja, sa obilaznice, kao i nivo usluge na celoj raskrsnici.

Treća varijanta se pokazala kao najbolje rešenje, jer se njom ostvaruje željeni cilj najvećeg poboljšanja nivoa usluge na prioritetnom pravcu iz Cetinja, pri čemu je takođe i nivo usluge na obilaznici takođe poboljšan u odnosu na prvu varijantu.

U nastavku su prikazane varijante koje su testirane u okviru simulacije.

Tabela 2. Testirane upravljačke varijante za kružnu raskrnicu Lugovi

Varijanta 1				
Signalna grupa	SG10	SG20	a	b
Težinski faktori	10	10	5	5
Minimalno trajanje zelenog signala	14	28	26	17
Maksimalno trajanje zelenog signala	neograničeno	neograničeno	neograničeno	neograničeno
Nivo usluge	C	E	NU_rask = D	
Varijanta 2				
Signalna grupa	SG10	SG20	a	b
Težinski faktori	10	15	5	5
Minimalno trajanje zelenog signala	14	38	36	17
Maksimalno trajanje zelenog signala	24	neograničeno	neograničeno	21
Nivo usluge	D	D	NU_rask = D	
Varijanta 3				
Signalna grupa	SG10	SG20	a	b
Težinski faktori	10	20	5	5
Minimalno trajanje zelenog signala	18	48	46	21
Maksimalno trajanje zelenog signala	24	neograničeno	neograničeno	27
Nivo usluge	D	C	NU_rask = D	

4 ZAKLJUČAK

Primena adaptibilnih sistema upravljanja saobraćajem na kružnim raskrnicama, kao što su ove dve raskrsnice u Budvi, pokazuje značajan potencijal za unapređenje efikasnosti saobraćaja i smanjenje problema sa zagušenjima koja su posledica dinamičkih promena uslova u saobraćajnom toku. Simulacije su demonstrirale da pravilno primenjen adaptibilni sistem može pružiti rešenja za kompleksne izazove, poboljšavajući nivo usluge na kritičnim krakovima raskrsnica omogućavajući bolje korišćenje postojećih kapaciteta.

Adaptibilni sistemi nude fleksibilnost i prilagodljivost koja je prepoznata kao nužno potrebna za rešavanje problema na Zavali i Lugovima, koji su prvenstveno posledica različitih opterećenja na mreži tokom zimske i letnje sezone.

Rezultati simulacija, prikazani u ovom radu, potvrđuju da adaptibilni sistemi imaju značajan potencijal za unapređenje efikasnosti saobraćajnih tokova na kružnim raskrnicama, naročito u urbanim sredinama sa visokim intenzitetom saobraćaja i nepredvidim promenama.

LITERATURA

- [1] Yetis Sazi Murat, Rui-jun Guo, *Signalized Roundabouts*
- [2] DANILO N. RADIVOJEVIĆ., STAMENKA R. STANKOVIĆ, NIKOLA Đ. ČELAR, SMILJAN M. VUKANOVIĆ, *Sistemi za adaptibilno upravljanje saobraćajem na gradskoj mreži*

Optimization of traffic processes at roundabouts through the implementation of an adaptive traffic management system - examples of two roundabouts in Budva

Abstract: The application of roundabouts compared to conventional intersections can offer several well known advantages. However, the traditional roundabouts regulation is not flexible enough to respond effectively to periodically atypical conditions in traffic flow, which is why signalized roundabouts are increasingly used in many countries. Nevertheless, there are fewer examples of the application of adaptive management systems at roundabouts. Simulations, as a tool for adaptive management, are used to test various scenarios and visually interpret traffic conditions. This paper demonstrates the application of adaptive systems at roundabouts, using simulation models as a key tool for presenting different management solutions. The focus is on analyzing the effectiveness of various traffic management variants at two roundabouts in Budva. These roundabouts are characterized by different geometries, traffic loads on approaches, and entirely different issues in managing traffic flows. The research explores the application of adaptive systems at these roundabouts, and simulations are used to show the effectiveness of these systems in addressing the specific challenges of each roundabout. The paper provides deeper insights into the potential application of adaptive systems at roundabouts and their contribution to more efficient traffic management, using simulations as a tool for analyzing and evaluating different management variants.

Key words: roundabout, signalization, adaptive management, simulation