

# Poređenje efikasnosti nekih RWA algoritama u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva

Goran Marković, Vladanka Aćimović-Raspopović

**Sadržaj** — U radu je prikazan deo rezultata istraživanja koja se odnose na rešavanje problema rutiranja i dodele talasnih dužina u optičkim WDM mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva. Izvršena je simulacija i upoređeni su po efikasnosti uspostavljanja puteva svetlosti RWA algoritmi sa 3 različita kriterijuma za izbor rute i 4 kriterijuma za dodelu talasnih dužina. Softverski kod koji je razvijen za potrebe simulacije omogućava testiranje performansi RWA algoritama u mrežama različitih topologija i pri različitim scenarijima saobraćaja. U radu su prikazani uporedni rezultati za verovatnoće blokiranja zahteva u optičkoj WDM mreži sa 8 čvorova, bez mogućnosti konverzije talasnih dužina.

**Ključne reči** — optička WDM mreža, put svetlosti, rutiranje i dodela talasnih dužina, verovatnoća blokiranja.

## I. UVOD

OPTIČKE WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) mreže u kojima se rutiranje optičkih signala od izvornog do odredišnog čvora vrši potpuno u optičkom domenu, na osnovu njihove talasne dužine, nazivaju se optičkim mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama WRON (*Wavelength Routed Optical Networks*). WRON mreže se u ovom trenutku smatraju izuzetno atraktivnom solucijom za realizaciju transportnih infrastruktura velikih kapaciteta, s obzirom da omogućavaju efikasno korišćenje ogromnog raspoloživog propusnog opsega optičkog vlakna i ne zahtevaju kompleksna procesiranja signala u optičkom domenu [1],[2].

Osnovni mehanizam komunikacije u WRON mrežama zasniva se na uspostavljanju puteva svetlosti (*lightpaths*). Put svetlosti je potpuno optički komunikacioni kanal uspostavljen između dva krajnja optička čvora u mreži, bez elektro-optičke konverzije u usputnim čvorovima.

Da bi se put svetlosti u WRON mreži uspostavio, neophodno je rešiti sledeća dva podproblema:

(1) izabrati rutu duž koje će put svetlosti biti uspostavljen, i (2) dodeliti talasnu dužinu na izabranoj ruti.

Pomenuti podproblemi objedinjeno se nazivaju problemom rutiranja i dodele talasnih dužina (*RWA*,

*Routing and Wavelength Assignment*) [3]. Dobro odabran *RWA* algoritam je od ključnog značaja za unapređenje efikasnosti WRON mreža.

Osnovno ograničenje koje se postavlja pri rešavanju *RWA* problema odnosi se na to da dva puta svetlosti sa istim talasnim dužinama ne mogu biti rutirana preko istog fizičkog linka (u slučaju kada se koristi samo jedno optičko vlakno po linku). Ovo ograničenje poznato je i pod nazivom *ograničenje konfliktnosti / različitosti talasnih dužina*.

Drugo suštinsko ograničenje, koje mora biti zadovoljeno (u mrežama bez konverzije talasnih dužina), odnosi se na to da putu svetlosti mora biti dodeljena ista talasna dužina na svim fizičkim linkovima duž izabrane rute. Ovo ograničenje naziva se *ograničenjem kontinuiteta talasne dužine*.

*RWA* predstavlja složen kombinatorni problem i suštinski jedan od najvažnijih problema kojeg je potrebno rešavati pri dizajniranju WRON mreža. Do sada je predložen veoma veliki broj različitih algoritama, zasnovanih na primeni egzaktnih, aproksimativnih ili heurističkih metoda. Detaljan pregled i opis različitih *RWA* algoritama može se naći u [4].

Prema scenariju saobraćaja, *RWA* problemi se mogu podeliti na dve opšte kategorije: *statičke* i *dinamičke*. U slučaju *statičkog* scenarija, skup svih zahtevanih puteva svetlosti koje treba uspostaviti u mreži je unapred potpuno poznat, pri čemu je sve zahtevane puteve svetlosti potrebno uspostaviti odjednom, a svaki od njih ima neograničeno vremensko trajanje. Kod *dinamičkih RWA* problema, zahtevi za uspostavljanje puteva svetlosti između pojedinih parova čvorova u mreži se pojavljuju potpuno slučajno u vremenu i imaju slučajno vremensko trajanje. U radu se istražuju efikasnosti pojedinih algoritama za rešavanje dinamičkih *RWA* problema.

U slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva, *RWA* algoritmi moraju biti vrlo jednostvni za izvršavanje, s obzirom da se u ovom slučaju zahteva donošenje odluka u realnom vremenu, u momentu nailaska pojedinačnih zahteva [5]. Da bi se smanjila kompleksnost rešavanja, *RWA* problem se uobičajeno rešava razdvajanjem na dva nezavisna potproblema: potproblem rutiranja i potproblem dodele talasnih dužina.

Algoritmi rutiranja se, u zavisnosti od toga da li se odluke o izboru rute menjaju tokom vremena ili ne, mogu klasifikovati na dve opšte kategorije: *statičke* i *dinamičke (adaptivne)*. Kod *statičkog* rutiranja odluke o izboru rute se ne menjaju tokom vremena, odnosno ne zavise od trenutnog stanja u mreži. Za razliku od *statičkih*, algoritmi *adaptivnog* rutiranja koriste informacije o trenutnom stanju zauzetosti mreže u momentu nailaska zahteva [6]. U

Ovaj rad predstavlja deo rezultata istraživanja u okviru projekta *Optičke mreže naredne generacije - istraživanje mogućnosti unapređenja transportne mreže Srbije*, koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije (TP-11013)

G. Marković, Saobraćajni fakultet - Univerzitet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091-225; e-mail: [g.markovic@sf.bg.ac.yu](mailto:g.markovic@sf.bg.ac.yu)).

V. Aćimović-Raspopović, Saobraćajni fakultet - Univerzitet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091-398; e-mail: [v.acimovic@sf.bg.ac.yu](mailto:v.acimovic@sf.bg.ac.yu)).

zavisnosti od toga da li postoji ograničenje u pogledu broja potencijalnih ruta koje se uzimaju u obzir pri donošenju odluka o izboru rute, algoritmi rutiranja se mogu generalno podeliti na: fiksno rutiranje (*FR, Fixed Routing*), alternativno rutiranje (*AR, Alternative Routing*) i iscrpljujuće rutiranje (*ER, Exhaust Routing*).

Fiksno rutiranje (*FR*) je široko primenjivana tehnika statičkog rutiranja, kod koje se za svaki par čvorova u mreži definiše samo jedna ruta [7]. Kod algoritama alternativnog rutiranja (*AR*), za svaki par čvorova definiše se skup od  $r$  potencijalnih ruta ( $r > 1$ ), koje se mogu pretraživati po fiksnom ili adaptivnom redosledu u momentu nailaska zahteva [8], s obzirom da se rute za uspostavljanje puteva svetlosti pretražuju iz ograničenog skupa potencijalnih ruta. Za razliku od fiksnog i alternativnog rutiranja, koji pripadaju klasi algoritama rutiranja „sa ograničenjem“, algoritmi iscrpljujućeg rutiranja (*ER*), u obzir uzimaju sve rute iz skupa potencijalnih ruta, bez ograničenja [9].

Klasifikacija algoritama za dodelu talasne dužine može se izvršiti prema redosledu po kome se traži slobodna talasna dužina za put svetlosti. Prema ovoj klasifikaciji, talasna dužina može biti izabrana kao: najviše korišćena u mreži (*MU, most-used*), najmanje korišćena (*LU, least-used*), prema fiksnom pravilu - prva raspoloživa (*FF, first fit*) ili na slučajan način (*RN, random*) [3].

U radu je istraživana efikasnost algoritama alternativnog rutiranja uz primenu 3 različita kriterijuma za izbor rute i 4 pomenute metode za dodelu talasnih dužina. Sprovedena je simulacija *RWA* procedure u optičkoj *WDM* mreži u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva. Na osnovu rezultata simulacije moguće je uporediti performanse istraživanih *RWA* algoritama u mrežama različitih topologija i pri različitim saobraćajnim profilima.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom odeljku data je postavka problema. U trećem odeljku dat je opis primenjenih algoritama rutiranja, dok su u četvrtom delu prikazani numerički rezultati simulacije, sprovedene na jednom primeru optičke mreže.

## II. POSTAVKA PROBLEMA

Pretpostavlja se da je topologija *WRON* mreže unapred poznata i definisana skupom čvorova i fizičkih linkova između pojedinih čvorova. Pretpostavlja se da svaki fizički link poseduje po jedno (posebno) optičko vlakno namenjeno za svaki smer prenosa. Takođe, pretpostavlja se da po svakom optičkom vlaknu može prenositi najviše  $W$  talasnih dužina. Posmatra se slučaj optičke mreže bez mogućnosti konverzije talasnih dužina u čvorovima.

Za svaki izvorno-odredišni par čvorova u mreži ( $s, d$ ), unapred se definiše skup od  $r$  najkraćih alternativnih ruta, koje se mogu koristiti za uspostavljanje puteva svetlosti između datog para čvorova. Istraživana su sledeća 3 kriterijuma za selekciju rute: (1) izbor rute sa najmanjim brojem hopova (linkova), (2) izbor rute sa najvećim brojem slobodnih talasnih dužina, i (3) izbor rute kombinacijom prethodna dva kriterijuma.

Prvi kriterijum bazira se na ideji da se korišćenjem kraćih ruta može smanjiti potrebna količina resursa

(talasnih dužina) u mreži, neophodnih za uspostavljanje zahtevanih puteva svetlosti. Primena ovog kriterijuma dovodi do koncepta *fiksnog alternativnog rutiranja*. Međutim, prema ovom kriterijumu forsira se izbor kraćih ruta, ali se pri tome ne vodi računa o njihovom trenutnom opterećenju, što može uticati na povećanje verovatnoće blokiranja budućih zahteva. Pokazuje se, međutim da je u nekim situacijama bolje koristiti neznatno duže, ali manje opterećene rute.

Sa druge strane, prema drugom kriterijumu isključivo se u obzir uzima trenutno stanje zauzetosti pojedinih ruta (trenutni broj slobodnih talasnih dužina na ruti) i forsira se izbor najmanje opterećene rute. Primena ovog kriterijuma dovodi do koncepta adaptivnog alternativnog rutiranja. Iako ovakav pristup za selekciju rute uzima u obzir i trenutno stanje u mreži, on ne garantuje da će ostvarene performanse biti bolje. Naprotiv, moguće je da manje opterećene rute budu rute koje sadrže veliki broj hopova (linkova), zbog čega bi potencijalno bila korišćena veća količina resursa za uspostavljanje datog puta svetlosti, što bi se odrazilo negativno na verovatnoću blokiranja budućih zahteva u mreži.

Kao kompromisno rešenje, treći kriterijum zasniva se na kombinaciji prethodna dva kriterijuma. Primenom ovog kriterijuma pri izboru rute istovremeno se u obzir uzima i dužina rute i njena trenutna opterećenost, pri čemu se može davati manji ili veći značaj svakom od njih pojedinačno.

Cilj rada je da se istraže efikasnosti pomenutih kriterijuma rutiranja i metoda za dodelu talasne dužine u pogledu verovatnoće blokiranja zahteva. Do blokiranja zahteva dolazi usled nepostojanja slobodnih talasnih dužina na potencijalnim rutama između izvornog i odredišnog čvora. Verovatnoća blokiranja definiše se odnosom broja blokiranih zahteva i ukupnog broja generisanih zahteva za uspostavljanje puteva svetlosti u posmatranoj mreži.

## III. OPIS PRIMENJENIH ALGORITAMA RUTIRANJA

Za rešavanje problema rutiranja primenjuje se koncept alternativnog rutiranja. Kod ovakvog načina rutiranja, na pojavu zahteva za uspostavljanje puta svetlosti, biće izabrana jedna od ruta kandidata iz skupa raspoloživih alternativnih ruta (pod raspoloživom rutom smatra se ruta na kojoj postoji bar jedna slobodna talasna dužina). Pri tome, izbor raspoložive rute  $r$  za par čvorova ( $s, d$ ) vrši se prema ceni rute  $C_r^{s,d}$ , koja se u zavisnosti od primenjenog kriterijuma definiše na sledeći način:

**Kriterijum 1:**  $C_r^{s,d} = d_r^{s,d}$ ,  
gde je  $d_r^{s,d}$  dužina rute  $r$ , izražena brojem linkova na ruti.

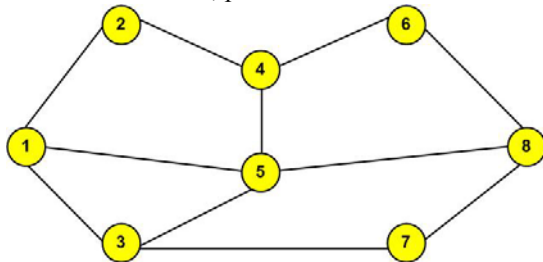
**Kriterijum 2:**  $C_r^{s,d} = 1/W_r^{s,d}$ ,  
gde je  $W_r^{s,d}$  broj slobodnih talasnih dužina na ruti  $r$ .

**Kriterijum 3:**  $C_r^{s,d} = a d_r^{s,d} + (1-a)/W_r^{s,d}$ ,  
gde je  $a$  konstanta koja u granicama  $0 \leq a \leq 1$ .

Cena rute  $C_r^{s,d}$  se izračunava za svaku raspoloživu rutu, pri čemu se za uspostavljanje puta svetlosti bira ruta sa najmanjom cenom. Ukoliko dve ili više ruta imaju istu cenu, izbor jedne od njih vrši se na slučajan način.

IV. ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE

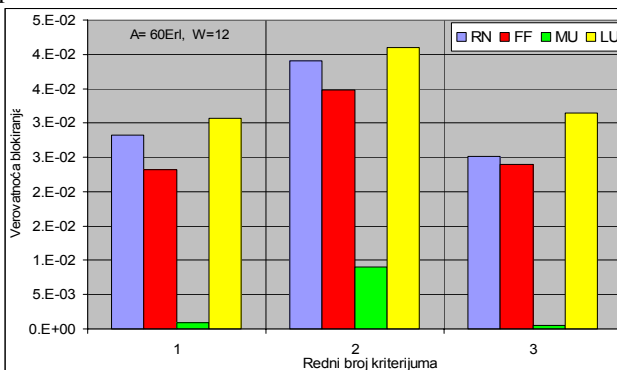
Da bi se uporedile efikasnosti pojedinih algoritama rutiranja i dodele talasnih dužina, izvršena je simulacija *RWA* problema u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva na primeru fizičke topologije optičke *WDM* mreže sa  $N=8$  čvorova i  $L=11$  linkova, prikazane na slici 1.



Sl. 1. Topologija posmatrane optičke mreže

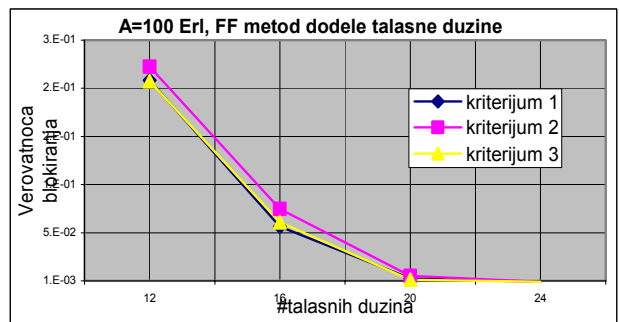
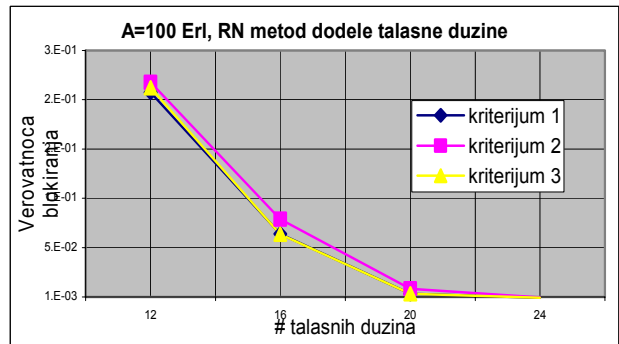
Simuliran je dinamički scenario nailazaka zahteva u mreži, modelovan Poisson-ovim oblikom saobraćaja. Vremenski trenutki između generisanja pojedinačnih zahteva su eksponencijalno raspodeljeni, sa različitim srednjim vremenima između nailazaka, pri čemu je broj generisanih zahteva u jedinici vremena variran u granicama od 20 do maksimalno 100, a vremensko trajanje svakog zahteva je eksponencijalno raspodeljeno sa jediničnom srednjom vrednošću. To znači da je ukupan intenzitet saobraćaja  $A$  u mreži, variran u granicama od 20 do 100 Erlanga. Izvorno-određišni par čvorova između kojih treba uspostaviti svaki generisani zahtev biran je na slučajan način, sa uniformnom raspodelom verovatnoća. U sprovedenim simulacijama ukupan broj generisanih zahteva iznosio je 10.000. Pri tome, pretpostavljena je situacija da na početku simulacije u mreži već postoje neki uspostavljeni putevi svetlosti koji zauzimaju resurse (talasne dužine) na pojedinim linkovima.

Na slici 1 prikazani su rezultati simulacije, koji predstavljaju zavisnost verovatnoće blokiranja zahteva od primenjenog kriterijuma (algoritma) rutiranja i metode za dodelu talasne dužine. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se najbolje performanse u posmatranoj mreži postižu primenom trećeg (kombinovanog) kriterijuma za selekciju rute. Posle njega, po performansama sledi prvi kriterijum (izbor najkraće rute), dok se najlošije performanse postižu primenom drugog kriterijuma rutiranja, tj. rutiranjem isključivo po najmanje opterećenoj ruti. Kada su u pitanju metode za dodelu talasne dužine, najbolji rezultati se postižu primenom *MU* metode, dok metoda *LU* daje najlošije performanse.



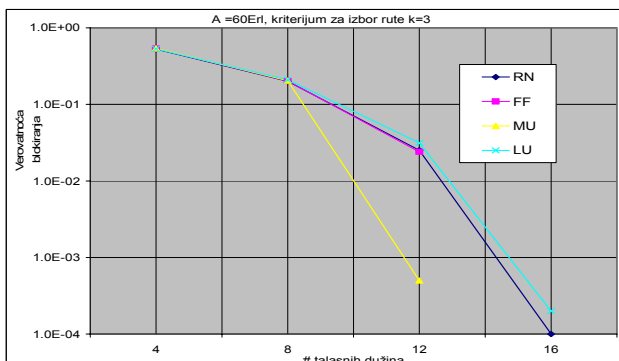
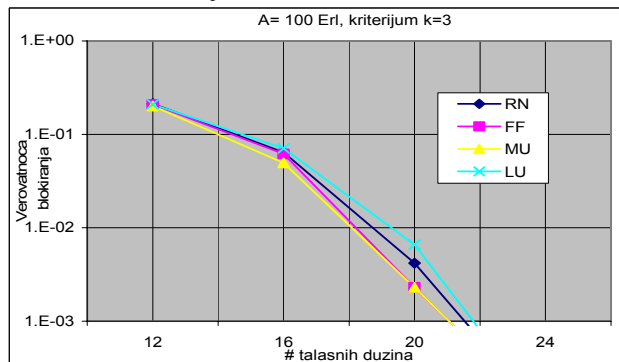
Sl. 1. Poređenje performansi različitih kriterijuma za izbor rute i metoda za dodelu talasne dužine

Verovatnoće blokiranja zahteva značajno zavise od broja talasnih dužina na u mreži, što je ilustrovano na slici 2, za različite primenjene kriterijume rutiranja i *RN* i *FF* metode za dodelu talasne dužine.



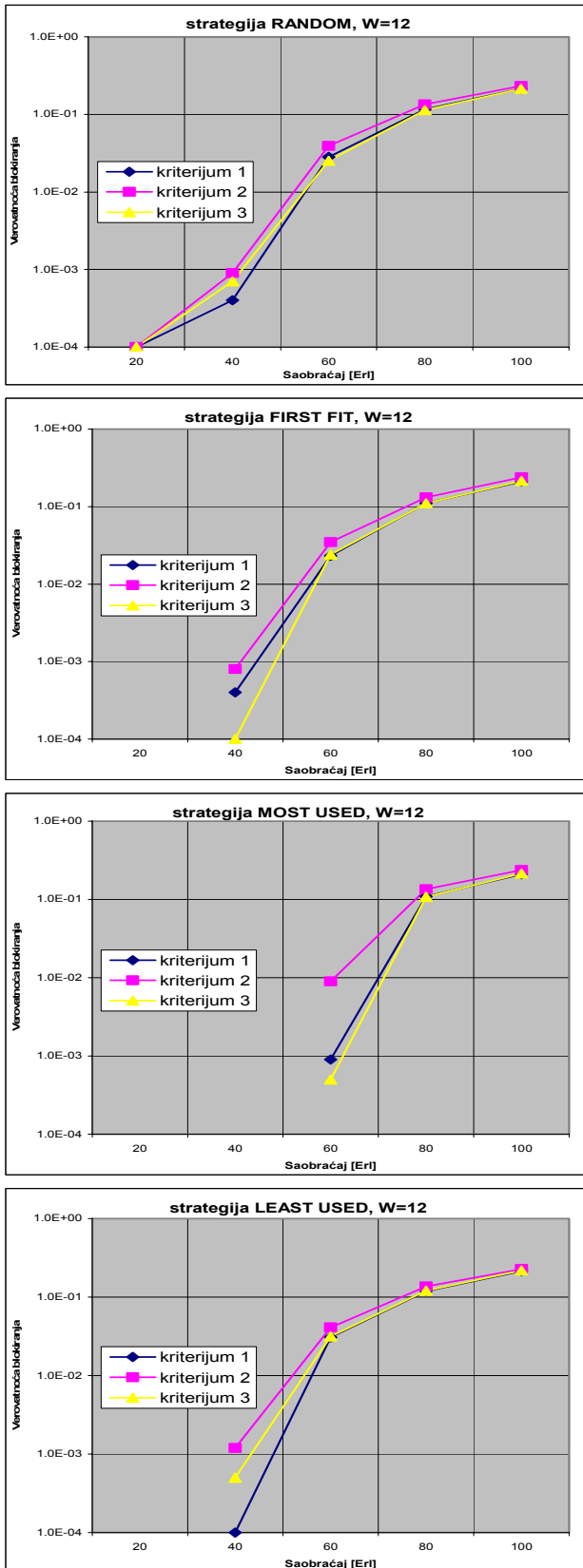
Sl. 2. Zavisnost verovatnoće blokiranja od broja talasnih dužina  $W$  za različite kriterijume rutiranja

Sa slike 2 se, takođe, vidi da pri većim saobraćajnim opterećenjima, kriterijumi rutiranja 1 i 3 daju približno iste performanse, dok je kriterijum 2 i dalje lošiji u poređenju sa njima. Na slici 3, prikazano je kako zavisi verovatnoća blokiranja zahteva od broja talasnih dužina u slučaju primene kriterijuma rutiranja 3 i različitih potencijalnih metoda za dodelu talasne dužine, za različite vrednosti intenziteta saobraćaja u mreži.



Sl. 3. Zavisnost verovatnoće blokiranja od broja talasnih dužina za različite metode za dodelu talasnih dužina

Verovatnoća blokiranja zahteva značajno zavisi od vrednosti saobraćaja u mreži. Na slici 4 prikazan je uticaj promene vrednosti saobraćaja na ukupne gubitke u mreži u slučaju različitih primenjenih metoda za dodelu talasne dužine.



Sl. 4. Zavisnost verovatnoće blokiranja od intenziteta saobraćaja u mreži za različite metode dodele tal. dužina

## V. ZAKLJUČAK

Rutiranje i dodela talasnih dužina putevima svetlosti u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva je veoma važan problem kojeg treba efikasno rešavati u cilju postizanja zahtevanih performansi u mreži. U radu je istraživana uticaj potencijalnih kriterijuma za izbor rute i dodelu talasne dužine na efikasnost uspostavljanja puteva svetlosti u mreži. Simulacijom je pokazano da kombinovana primena dva različita kriterijuma za izbor rute (izbor kraće i manje opterećene rute) može dovesti do unapređenja performansi u mreži u odnosu na slučaj kada se ovi kriterijumi pojedinačno i nezavisno primenjuju jedan od drugog.

## LITERATURA

- [1] R. M. Krishnaswamy and K. N. Sivarajan, "Design of logical topologies: A linear formulation for wavelength routed optical network with no wavelength changers," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 9, no. 2, pp. 186–198, Apr. 2001.
- [2] R. Dutta, G.N. Rouskas. A survey of virtual topology design algorithms for wavelength routed optical networks. *Opt. Netw. Mag.*, Vol.1, pp.73–89, January 2000.
- [3] C. S. Ram Murthy, M.Gurusamy, *WDM Optical Networks - Concepts, Design and Algorithms*, Prentice Hall, 2002.
- [4] H. Zang, J. P. Jue, and B. Mukherjee, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks," *SPIE Opt. Netw. Mag.*, vol. 1, pp. 47–60, Jan. 2000.
- [5] H. Zang, J. P. Jue, and B. Mukherjee, "Dynamic lightpath establishment in wavelength-routed WDM networks," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 39, no. 9, pp. 100–108, Sept. 2001.
- [6] A. Mokhtar and M. Azizoglu, "Adaptive wavelength routing in all-optical networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 6, no. 2, pp. 197–206, Apr. 1998.
- [7] S. Subramaniam and R. A. Barry, "Wavelength assignment in fixed routing WDM networks," *Proc. IEEE ICC'97*, pp. 406-410, Nov. 1997. Montreal, QC, Kanada
- [8] R. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Fixed-alternate routing and wavelength conversion in wavelength-routed optical networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 10, no. 3, pp. 351–367, Jun. 2002.
- [9] T. F. Asztalos, N. Bhide, K.M. Sivalingam, "Adaptive weight functions for shortest path routing algorithms for multi-wavelength optical WDM networks," *IEEE Int Conf. Commun., ICC 2000*, Vol.3, pp. 1330-1334.
- [10] G. Marković, *Optimizacija korišćenja resursa u optičkim mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama*, Doktorsta disertacija, Saobraćajni fakultet, Beograd 2007.
- [11] V. Aćimović-Raspovović, G. Marković »Rutiranje u optičkim mrežama sa talasnim multipleksiranjem« *Zbornik radova konferencije TELFOR 2003 CD izdanje*, nov. 2003; Beograd, [www.telfor.org.yu](http://www.telfor.org.yu)
- [12] G. Marković, V. Aćimović-Raspovović, „Verovatnoće blokiranja zahteva u optičkim WDM mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama – poređenje nekih metoda“, *51. Konferencija ETRAN-a*, Zbornik radova -CD, H.Novi, jun 2007.

## ABSTRACT

In this paper, the routing and wavelength assignment problem is simulated in the case of dynamic traffic demands with the wavelength continuity constraint. For this purpose a particular programme code is developed. The network performances in a case of different routing and wavelength assignment criteria application are compared and analysed in terms of blocking probability performance metric.

## THE COMPARISON OF SOME RWA ALGORITHMS IN CASE OF DYNAMIC TRAFFIC

Goran Marković, Vladanka Aćimović-Raspovović.