

Analiza efekta konverzije talasnih dužina pri uspostavljanju puteva svetlosti u optičkim mrežama

Goran Z. Marković, Vladanka S. Aćimović-Raspopović

Sadržaj — U radu se analizira efekat primene konverzije talasnih dužina u optičkim WDM mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva između izvorno-odredišnih parova čvorova. Na osnovu razvijenog programskog koda sprovedena je simulacija procedure uspostavljanja optičkih puteva svetlosti uz primenu algoritma rutiranja po najkraćoj ruti i različitim strategijama za dodelu talasnih dužina putevima svetlosti. Simulacije su sprovedene za različite intenzitete saobraćajnih zahteva i broja raspoloživih talasnih dužina na konkretno izabranom primeru fizičke topologije optičke WDM mreže. Upoređeni su rezultati za verovatnoće blokiranja zahteva za različite lokacije čvora sa konverzijom talasnih dužina u mreži.

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

I. UVOD

OPTIČKE mreže sa rutiranjem po talasnim dužinama (*WRON*, *Wavelength Routed Optical Networks*) i *WDM* prenos velikog kapaciteta danas predstavljaju pravo rešenje za realizaciju okosnica mreža naredne generacije. Za operatore telekomunikacionih mreža implementacija *WDM*-a postala je izuzetno atraktivna solucija kao efikasan način za brzo i višestruko povećanje potrebnih kapaciteta, bez potrebe za fizičkim proširenjem mreže. Komercijalni *WDM* sistemi danas omogućavaju multipleksiranje više desetina optičkih signala po vlaknu obezbeđujući potencijalno veoma velike agregatne protoke, reda Tb/s po jednom optičkom vlaknu [1].

Osnovni mehanizam komunikacije u *WRON* mreži predstavlja put svetlosti (*lightpath*). Da bi se uspostavio put svetlosti između dva krajnja čvora u mreži, neophodno je odabrati fizičku rutu koju će on koristiti (niz fizičkih linkova) i dodeliti talasnu dužinu na svakom linku duž izabrane rute. Osnovno ograničenje koje se nameće pri ovoj proceduri odnosi se na to da dva puta svetlosti koja koriste iste talasne dužine ne mogu biti rutirana preko istog fizičkog linka (u mrežama sa jednim optičkim vlaknom po

linku). Problem uspostavljanja puteva svetlosti u *WRON* mreži u osnovi podrazumeva rešavanje problema rutiranja i dodele talasnih dužina, *RWA* (*Routing and Wavelength Assignment*). U literaturi je predložen veliki broj algoritama za rešavanje *RWA* problema u optičkim *WDM* mrežama. Detaljan pregled pojedinih algoritama može se naći u [1-3]. Autori su istraživali efikasnosti nekih *RWA* algoritama i dobijene rezultate publikovali u [6-18].

U zavisnosti od tipa saobraćajnih zahteva, *RWA* problemi se mogu podeliti na *statičke* i *dinamičke*. U slučaju *statičkih RWA* problema, skup saobraćajnih zahteva između svih parova čvorova je unapred poznat. Osnovni cilj pri rešavanju *statičkih RWA* problema je minimizirati broj talasnih dužina potrebnih za uspostavljanje svih zahtevanih puteva svetlosti u mreži maksimizirati broj uspostavljenih puteva svetlosti za dati broj raspoloživih talasnih dužina. Za razliku od *statičkih*, *dinamički RWA* problemi podrazumevaju saobraćajni scenario u kome se zahtevi za uspostavljanjem puteva svetlosti pojavljuju potpuno slučajno u vremenu i imaju slučajno vremensko trajanje. Kod *dinamičkih RWA* problema cilj je minimizirati verovatnoću blokiranja zahteva za dati broj raspoloživih talasnih dužina u mreži.

U radu je istraživani problem uspostavljanja puteva svetlosti u slučaju *dinamičkih saobraćajnih zahteva*, poznat pod nazivom *DLE* (*Dynamic Lightpath Establishment*). U zavisnosti od toga da li se u čvorovima mreže može vršiti konverzija talasnih dužina ili ne, putevi svetlosti se od izvornog do odredišnog čvora mogu uspostavljati na različitim ili na istoj talasnoj dužini, respektivno. Pokazuje se da primena konvertora talasnih dužina u pojedinim čvorovima mreže može da smanji verovatnoću blokiranja zahteva [4, 5].

Rad je organizovan na sledeći način. U odeljku II data je postavka problema. U odeljku III opisan je *RWA* algoritam koji je korišćen za rešavanje *DLE* problema, na osnovu kojeg je razvijen programski kod za potrebe simulacije. U odeljku IV prikazani su numerički rezultati dobijeni na osnovu sprovedenih simulacionih testiranja, dok su u odeljku V data zaključna razmatranja.

II. POSTAVKA PROBLEMA

U radu se istražuje i rešava problem *dinamičkog uspostavljanja puteva svetlosti* (*DLE*, *Dynamic Lightpath Establishment*) u *WRON* mrežama, uz mogućnost konverzije talasnih dužina u nekom od čvorova mreže. *DLE* problem može se formulirati na sledeći način: za datu fizičku topologiju mreže i slučajno (*dinamički*) generisane saobraćajne zahteve između pojedinih parova čvorova, potrebno je izvršiti rutiranje i dodelu talasnih dužina

Ovaj rad je deo rezultata istraživanja na projektu TR11013 »Optičke mreže naredne generacije – istraživanje mogućnosti unapređenja transportne mreže Srbije« koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (ev.br.)

Goran. Z. Marković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija; (e-mail:g.markovic@sf.bg.ac.rs).

Vladanka S. Aćimović-Raspopović, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija; (e-mail:v.acimovic@sf.bg.ac.rs).

putevima svetlosti tako da se pri datom broju raspoloživih talasnih dužina na pojedinim linkovima i izborom odgovarajuće lokacije čvora sa konverzijom talasne dužine minimizira verovatnoća blokiranja zahteva u mreži. Cilj istraživanja je analiziranje efikasnosti primene konverzije talasnih dužina, tj. ispitivanje da li se potencijalnom implementacijom konvertora talasnih dužina može postići smanjenje verovatnoće blokiranja zahteva. Određivanje optimalnog broja čvorova sa konverzijom talasnih dužina i izbor optimalnih lokacija ovih čvorova je težak optimizacioni problem, posebno u slučaju mreža većih dimenzija. Rezultati brojnih istraživanja pokazuju da implementacija konvertora talasnih dužina u svim čvorovima mreže ne doprinosi značajnom unapređenju performansi u odnosu na slučaj kada bi se konverzija primenjivala samo u pojedinim čvorovima mreže [19, 20]. S obzirom na još uvek visoke cene konvertora talasnih dužina, ekonomski kriterijumi nalažu njihovu implementaciju u ograničenom broju čvorova. Iz tog razloga, ovde je u cilju analize efikasnosti primene konverzije talasnih dužina razmatran najjednostavniji scenario koji podrazumeva konverziju talasnih dužina u samo jednom čvoru mreže.

III. RWA ALGORITAM

DLE problem je kompleksan za rešavanje, posebno u slučaju mreža većih dimenzija i izrazite dinamičnosti saobraćajnih zahteva. Za razliku od statičkih RWA problema, dinamički RWA algoritmi moraju biti značajno jednostavniji u pogledu kompleksnosti proračunavanja, s obzirom da je svaki put svetlosti potrebno procesirati u trenutku nailaska zahteva (*on-line*). Iz tog razloga, rešavanje *DLE* problema se zasniva na razdvajanju RWA problema na dva nezavisna potproblema; potproblem izbora rute između izvornog i odredišnog čvora i potproblem dodele talasne dužine putu svetlosti duž izabrane rute. Specifičnost nekog dinamičkog RWA algoritma određena je brojem ruta kandidata i načinom kako se one proračunavaju, izabranim kriterijumom po kome se uređuju rute i talasne dužine, kao i redosledom kojim se njima pristupa u odgovarajućim tabelama.

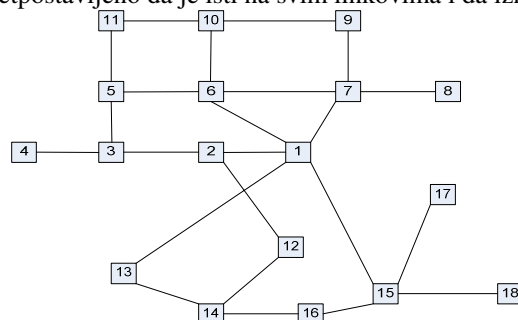
Za rešavanje *DLE* problema, korišćen je RWA algoritam zasnovan na rutiranju po najkraćoj ruti (*shortest path routing*) i različitim potencijalnim metodama za selekciju raspoložive talasne dužine: prva raspoloživa (*FF, First-fit*), po slučajnom redosledu (*RN, Random*), najviše korišćena (*MU, Most Used*) i najmanje korišćena (*LU, Least Used*) talasna dužina. [1].

Algoritam rutiranja po najkraćoj ruti je najjednostavniji metod rutiranja jer se za svaki par čvorova u mreži unapred odredi samo jedna fiksna ruta (sa najmanjim brojem linkova između datih čvorova) koja se ne menja tokom vremena, bez obzira na saobraćajno opterećenje u mreži. Na pojavu zahteva za uspostavljanje puta svetlosti RWA algoritam proverava da li postoji neka slobodna talasna dužina na svim linkovima duž rute (u odsustvu konvertora talasnih dužina) odnosno na pojedinim delovima rute (u slučaju primene konvertora talasnih dužina u nekom čvoru na posmatranoj ruti). Ukoliko nema slobodnih talasnih dužina, zahtev se blokira.

IV. NUMERIČKI REZULTATI

Opisani RWA algoritam primenjen je za rešavanje *DLE* problema u optičkoj WDM mreži u kojoj je dopuštena puna konverzija talasnih dužina (*FWC, Full Wavelength Conversion*) u jednom čvoru. Fizička topologija WDM optičke mreže koja je korišćena u sprovedenim testiranjima prikazana je na slici 1. U posmatranoj mreži može se uočiti čvor (označen # 1) sa većim stepenom fizičke povezanosti u odnosu na ostale čvorove mreže. Cilj istraživanja je da se analizira kako bi se postavljanje *FWC* konvertora u tom čvoru odrazilo na verovatnoću blokiranja zahteva.

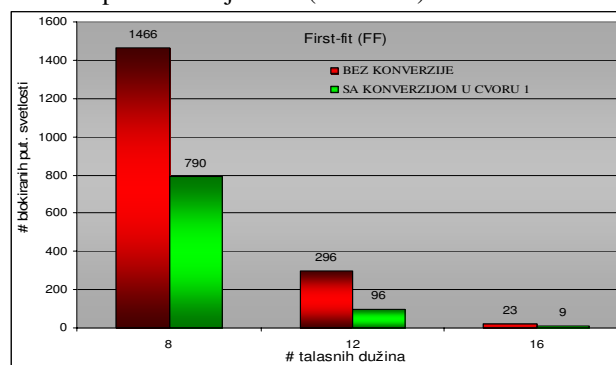
Pretpostavljeno je da na svakom fizičkom linku postoji po jedno nezavisno optičko vlakno za svaki smer prenosa, pri čemu je za broj raspoloživih talasnih dužina pretpostavljeno da je isti na svim linkovima i da iznosi *W*.



Slika 1. Fizička topologija posmatrane optičke mreže

Za potrebe simulacije *DLE* procedure razvijen je programski kod korišćenjem MATLAB softverskog paketa. Simuliran je dinamički saobraćajni scenario sa eksponencijalnom raspodelom vremena između nailazaka pojedinačnih zahteva za uspostavljanje puteva svetlosti, pri čemu je srednji broj generisanih zahteva u jedinici vremena variran u granicama od 50 do 120. Za trajanje pojedinačnih zahteva pretpostavljena je eksponencijalna raspodela sa jediničnom srednjom vrednošću, što znači da je ukupan saobraćaj, *A*, u mreži bio u granicama od 50 do 120 Erl. Parovi čvorova između kojih su generisani pojedinačni zahtevi birani su na slučajnan način sa uniformnom verovatnoćom. Ukupan broj generisanih zahteva u sprovedenim simulacionim eksperimentima iznosio je 10.000.

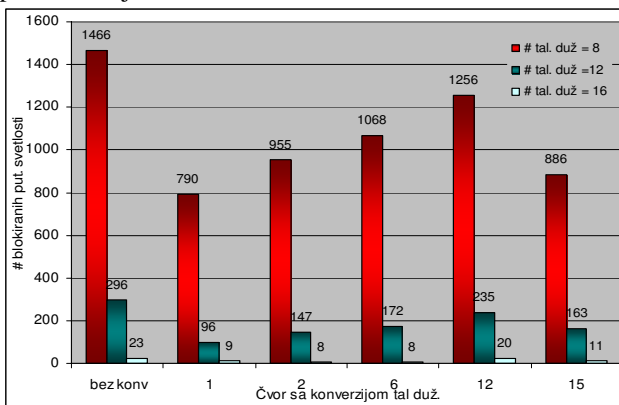
Na slici 2 ilustrovani su rezultati simulacije koji pokazuju zavisnost broja blokiranih puteva svetlosti u funkciji broja raspoloživih talasnih dužina u posmatranoj mreži, u slučaju bez i sa primenom konvertora talasnih dužina u posmatranoj mreži (u čvoru 1).



Slika 2. Poređenje broja blokiranih puteva svetlosti: bez konverzije i sa konverzijom talasnih dužina (u čvoru 1)

Na osnovu rezultata prikazanih na Sl.2, jasno se vidi da implementacija konvertora talasnih dužina u samo jednom čvoru može da doprinese značajnom smanjenju broja blokiranih zahteva u mreži u odnosu na slučaj bez konverzije talasnih dužina.

Izbor lokacije čvora sa konverzijom talasnih dužina takođe predstavlja jedan od uticajnih faktora na ukupan broj uspostavljenih (blokiranih) puteva svetlosti. Jedan od osnovnih parametara pri izboru lokacije čvora sa konverzijom talasnih dužina predstavlja stepen povezanosti čvora. U cilju izbora najbolje lokacije čvora sa konverzijom talasne dužine sprovedeni su posebni simulacioni eksperimenti u kojima je konvertor lociran u različitim čvorovima mreže, sa različitim stepenom povezanosti. Dobijeni rezultati simulacije ilustrovani na Sl. 3 pokazuju uticaj izbora lokacije čvora sa konverzijom talasne dužine na ukupan broj blokiranih puteva svetlosti u posmatranoj mreži.

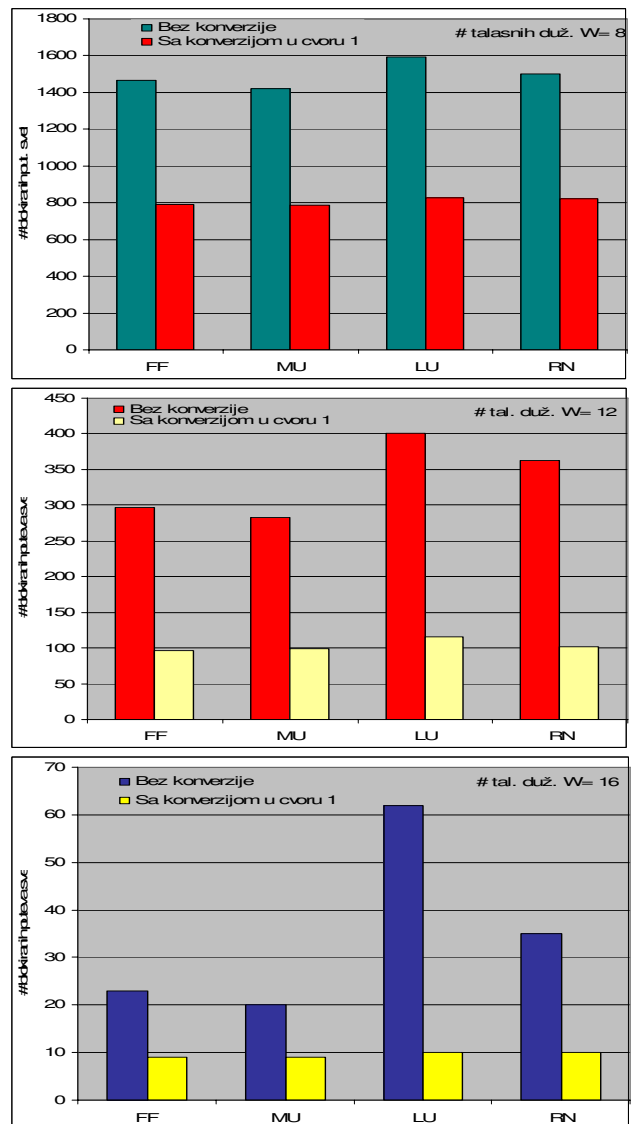


Slika 3. Uticaj lokacije čvora sa konvertorom na broj blokiranih puteva svetlosti u posmatranoj mreži

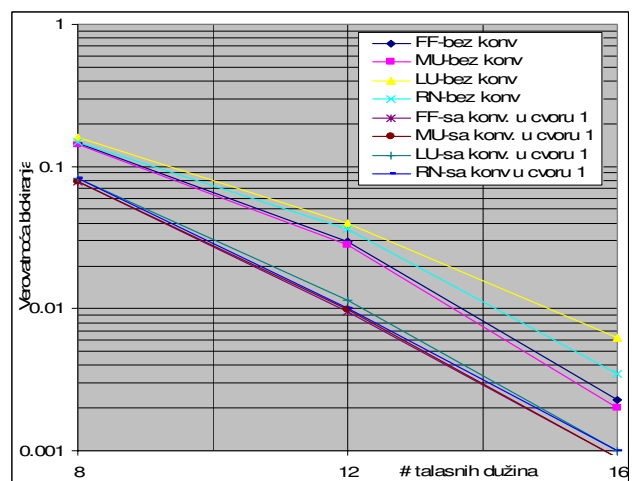
Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se u posmatranoj mreži najbolji efekat može postići ako se konvertor talasnih dužina locira u čvor broj 1. Izborom ostalih čvorova (lokacija) za konvertor talasnih dužina postižu se lošiji rezultati u odnosu na rezultate prikazane na Sl.3.

Različite potencijalne metode za dodelu talasnih dužina (*RN, FF, MU, LU, FN*) pokazuju različite performanse u pogledu broja blokiranih puteva svetlosti u mreži. Ove razlike su posebno izražene u slučaju kada se ne primenjuje konverzija talasnih dužina, dok u slučaju primene konvertora razlike u performansama postaju manje izražene, što se može zaključiti na osnovu rezultata prikazanih na slici 4.

Na slici 5 prikazani su uporedni rezultati simulacije u slučaju primene pojedinih metoda za dodelu talasnih dužina putevima svetlosti za različiti broj raspoloživih talasnih dužina u mreži. U slučaju kada se ne primenjuje konverzija talasnih dužina, najbolji rezultati postižu se primenom *MU* metode, dok metoda *LU* daje najlošije performanse. Primena *FF* metode pokazuje slične efekte kao i *MU* metoda, s tim što je *FF* značajno lakša za implementaciju u poređenju sa *MU* metodom. Metoda *RN* obezbeđuje neznatno lošije performanse u poređenju sa *FF* i *MU*, ali ipak bolje u odnosu na *LU* metodu.



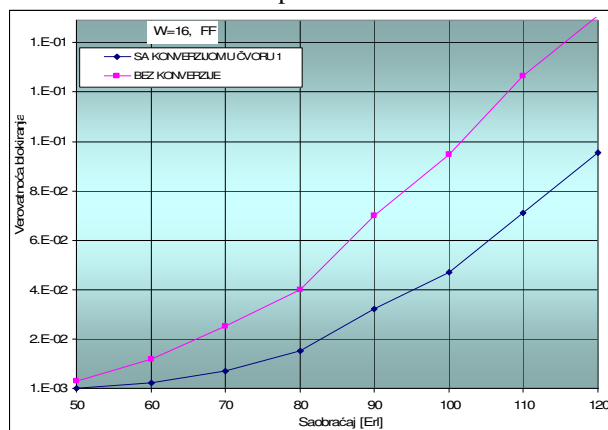
Slika 4. Poređenje metoda za dodelu talasnih dužina za različite vrednosti broja raspoloživih talasnih dužina



Slika 5. Zavisnost verovatnoće blokiranja zahteva u funkciji broja raspoloživih talasnih dužina u mreži

Verovatnoće blokiranja zahteva značajno zavise i od vrednosti intenziteta saobraćaja u mreži. Svi prethodno prikazani rezultati dobijeni su u slučaju manjeg saobraćajnog opterećenja u mreži (prosečno 50

generisanih zahteva u jedinici vremena). Međutim, sa povećanjem intenziteta saobraćaja, saobraćajne performanse mreže (verovatnoća blokiranja zahteva) se pogoršavaju. Na slici 6 prikazana je zavisnost verovatnoće blokiranja u funkciji srednjeg intenziteta saobraćaja u mreži, za broj raspoloživih talasnih dužina $W=16$ i uz primenu FF metode za dodelu talasnih dužina. Upoređeni su rezultati za slučajeve bez konverzije i sa konverzijom talasnih dužina u čvoru 1 posmatrane mreže.



Slika 6. Verovatnoća blokiranja zahteva u funkciji saobraćajnog opterećenja mreže

V. ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenih istraživanja pokazuju da se u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva za uspostavljanjem puteva svetlosti u posmatranoj mreži mogu značajno smanjiti verovatnoće blokiranja primenom konvertora talasnih dužina u jednom čvoru mreže. Pored toga verovatnoće blokiranja značajno zavise od broja raspoloživih talasnih dužina na linkovima kao i od primenjenog metoda za dodelu talasnih dužina. Dalja istraživanja mogu biti usmerena ka implementaciji više konvertora talasnih dužina u različitim čvorovima mreže i primeni drugih algoritama za izbor rute. Takođe, u cilju generalizovanja zaključaka, neophodna su testiranja na većem broju različitih topologija mreža sa različitim scenarijima saobraćajnih zahteva.

LITERATURA

- [1] C. S. Ram Murthy, M.Gurusamy, WDM Optical Networks - Concepts, Design and Algorithms, Prentice Hall, 2002.
- [2] V. Aćimović-Raspopović, G. Marković; Rutiranje u optičkim mrežama sa talasnim multipleksiranjem; Zbornik radova konferencije TELFOR 2003 CD izdanje, nov. 2003; Beograd.
- [3] 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.
- [4] X. Chu, B. Li, and I. Chlamtac, "Wavelength converter placement under different RWA algorithms in wavelength-routed all-optical networks," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 5, no. 4, pp. 607–617, Apr. 2003.
- [5] R. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Fixed-alternate routing and wavelength conversion in wavelength-routed optical networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 10, no. 3, pp. 351–367, Jun. 2002.
- [6] D. Teodorović, G. Marković, "Rutiranje u optičkim mrežama primenom algoritama inspirisanih ponašanjem mrava", *Zbornik radova konf. PosTel*, Beograd 2005, str.271-280.
- [7] G. Marković, D. Teodorović, V. Aćimović, "Routing and Wavelength Assignment in All-Optical Networks Based on the Bee

Colony Optimization", *AI Communications – Special Issue: Network Analysis in Natural Sciences and Engineering*, Vol.20, No.4, pp. 273-285, Nov. 2007

- [8] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović "Optimalno uspostavljanje puteva svetlosti u optičkim WDM mrežama", Zbornik radova konferencije TELFOR 2006 - CD izdanje, nov. 2006; Beograd,
- [9] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, "Optimal Solution for Routing and Wavelength Assignment Problem in Optical WDM Networks", *Proceedings of ICEST Conference*, Niš 2005, Vol.1, pp.289-292.
- [10] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, "The blocking probability comparison for some routing and wavelength assignment methods", *Proceedings of ICEST Conference 2007*, Vol.1, June 2007, Ohrid, Macedonia, pp.27-30.
- [11] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, D. Teodorović "An application of heuristic algorithm based on route minimum cost for RWA in all-optical WDM networks", *Proc. of IEEE Conference TELSIS 2007*, Niš 2007, Vol.2, pp.397-400.
- [12] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, "An Adaptive Multi-Criteria Routing Algorithm for Wavelength Routed Optical networks", *Proceedings of IEEE Conf. EUROCON*, 2005, pp. 1353-1356.
- [13] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, "A Procedure of Wavelength Rerouting in Optical WDM Networks", *Proc. of IEEE Conference TELSIS 2005*, Vol.1, pp.303-306. Niš 2005.
- [14] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović, "Verovatnoća blokiranja u optičkim WDM mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama: poređenje nekih metoda", *Zbornik radova konf. ETRAN*, Herceg Novi 2007.
- [15] G. Marković, "Optimizacija korišćenja resursa u optičkim mrežama sa rutiranjem po talasnim dužinama", doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2007.
- [16] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović "Poređenje efikasnosti nekih RWA algoritama u slučaju dinamičkih saobraćajnih zahteva", *Zbornik radova XVI konferencije TELFOR 2008 - CD izdanje*, nov. 2008; Beograd,
- [17] G. Marković, V. Aćimović-Raspopović "Rešavanje RWA problema u WDM mrežama primenom BCO metaheuristike", *Zbornik radova XVII Konferencije TELFOR 2009 - CD izdanje*, str. 720-723, nov. 2009; Beograd
- [18] G. Marković, D. Teodorović, « Problem lociranja čvorova sa konverzijom talasnih dužina u optičkim mrežama», *Zbornik radova PosTel 2009, XXVII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 15-16.dec. 2009, str. 305-316
- [19] S.Subramania *et al.*» On the Optimal Placement of Wavelength Converters in Wavelength Routed Networks» *Proc. of IEEE Infocom '98*, Vol.2., pp. 902-909, April 1998
- [20] S.Subramania *et al.* »All-optical networks with sparse wavelength conversion« *IEEE/ACM transaction on Networking*, Vol.4, Aug. 1996, pp.544-557

ABSTRACT

This paper researches the effects of wavelength converter usage in wavelength routed optical WDM networks in a case of dynamic traffic demands between source-destination node pairs. Simulation of the lightpath establishment procedure with the shortest path routing and different wavelength assignment methods is performed based on the program code particularly developed for this purpose. The simulations are performed for various traffic demand intensities and the available number of wavelengths in considered optical WDM network topology. The obtained simulation results (blocking probabilities) are compared for different locations of nodes equipped with a wavelength converter.

ANALYSIS OF WAVELENGTH CONVERSION EFFECTS ON LIGHTPATH ESTABLISHMENT IN OPTICAL NETWORKS
Goran Marković and Vladanka Aćimović-Raspopović