

ANALIZA PLANA PROŠIRENJA KAPACITETA OPTIČKOG LINKA U FUNKCIJI TROŠKOVA OPREME

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Goran Marković
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Sadržaj: *U radu je predstavljen model strategije za proširenje optičkog DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) linka u funkciji troškova opreme. Izvršena je analiza osetljivosti predstavljenog modela u funkciji troškova zagušenja, kao i predlog modifikacije navedene funkcije. Pokazuje se da prekoračenjem stepena iskorišćenosti preko maksimalno prihvatljivog nivoa dolazi do značajne degradacije performansi optičkog linka, kao i do pojave nezadovoljstva korisnika i potencijalnog pada profita operatora. Shodno tome, u radu je pokazano da se primenom odgovarajuće strategije proširenja resursa mogu minimizirati troškovi mrežnog operatora. Na primeru konkurentnog tržišta širokopojasnih servisa Republike Srbije izvršeno je poređenje rezultata sa i bez primene navedene modifikacije.*

Ključne reči: *strategije proširenja resursa mreže, troškovi opreme, funkcija zagušenja, DWDM link.*

1. Uvod

Savremeni internet servisi bazirani su na konceptu *on-line* tehnologija. Prenos podataka se sve više oslanja na upotrebu *Cloud* tehnologija, dok se multimedijalni sadržaji poput zvuka i video zapisa prenose u rezoluciji visoke definicije. Takođe, u ponudi savremenih proizvoda dominantno je učešće tzv. pametnih uređaja, poput televizora, tablet uređaja ili mobilnih telefona, koji osim mobilnih servisa koriste i širokopojasne servise, namenjene rezidencijalnom sektoru.

Navedene činjenice ukazuju na potrebu da, u procesu planiranja proširenja mrežnih resursa (poput optičkih linkova), mrežni operatori moraju uzeti u obzir i trendove tržišta. Primenom različitih optimizacionih modela za planiranje proširenja mrežnih resursa, dobijaju se različita rešenja za optimalno vreme proširenja. Međutim, pokazuje se da odlaganje realizacije jednog proširenja može rezultirati značajnim smanjenjem troškova, posmatrano kroz aspekt pada cena opreme tokom vremena, ali i do povećanja stepena iskorišćenosti postojećih resursa. Visok stepen iskorišćenosti resursa utiče na pad performansi mreže, što do određene mere može biti korigovano upotrebom QoS (Quality of Service) mehanizama. Prekoračenje stepena iskorišćenosti preko maksimalno prihvatljivog nivoa dovodi do značajne degradacije performansi, kao i do pojave nezadovoljstva korisnika i potencijalnog pada profita operatora. Shodno navedenom, primenom odgovarajuće strategije proširenja resursa mogu se minimizirati

troškovi mrežnog operatora, što predstavlja glavni cilj istraživanja, čiji su rezultati delimično predstavljeni u ovom radu.

U radu će biti prikazan model za proširenje DWDM linka u funkciji troškova opreme, kao nastavak istraživanja na razvoju strategija za proširenje mrežnih resursa [1].

Problem proširenja kapaciteta magistralnih (*backbone*) linkova razmatran je sa različitim stanovišta [2], [3], [4], [5], [6], pri čemu su troškovi proširenja u funkciji vremena razmatrani u [2][6], gde se analizira i problem pada cena opreme tokom vremena. Model proširenja optičkog DWDM linka predložen u [1], iako zasnovan na CE (*Capacity Expansion*) modelu [6], razlikuje se od navedenih, po tome što uvodi u model tržišnu komponentu, koja se može predstaviti Bass-ovim difuzionim modelom [7], kojim se opisuje proces prihvatanja novog servisa ili proizvoda kroz odnose među postojećim i potencijalnim korisnicima.

U okviru modela, prikazanog u ovom radu, troškovi opreme se ne posmatraju kao konstantna veličina, već su stavljeni u funkciju vremena. Obzirom da se navedenim modelom razmatra proširenje optičkog DWDM linka tokom određenog perioda vremena, predstavljeno proširenje modela se zasniva na činjenici da cena opreme, koja se koristi u procesu proširenja kapaciteta, opada tokom vremena, što predstavlja osnov za stvaranje odgovarajućih ušteda prilikom primene odgovarajuće strategije za proširenje mrežnih resursa. Shodno navedenom, postoji potreba da se analiziraju troškovi investiranja u navedenu opremu, sa hipotezom da pad cena opreme, opisan kroz odgovarajuću zakonitost, može uticati na optimalno vreme u kome treba izvršiti proširenje resursa.

Nakon uvodnog dela, u radu su prikazane sledeće celine: u drugom poglavlju opisan je predloženi model proširenja DWDM linka u funkciji troškova opreme. U trećem poglavlju prikazani su najvažniji elementi analize osetljivosti predstavljenog modela u funkciji troškova zagušenja, kao i predlog modifikacije navedene funkcije, dok je u četvrtom poglavlju prikazan odgovarajući numerički primer primene predstavljenog modela. U zaključku rada sumirani su dobijeni rezultati istraživanja.

2. Formulacija modela

U skladu sa rezultatima istraživanjima predstavljenim u [1], modifikacija modela za proširenje kapaciteta DWDM linka u funkciji troškova opreme, može se formulisati kao problem mešovitog celobrojnog linearnog programiranja (*Mixed Integer Linear Programming problem* - MILP). Uvedene su sledeće oznake, parametri i promenljive modela:

a) *Oznake:*

$t = t_0, t_1, \dots, t_j, \dots, t_0 + \Delta T$	Vreme
ΔT	horizont planiranja
C_{nl}	kapacitet talasne dužine [bit/s]
$j = 1, \dots, J$	tip servisa

b) *Parametri modela:*

$s = 1, \dots, S$	korak s funkcije troškova zagušenja
cp_t^{eq}	troškovi opreme u vremenu t

cp_s^{fg}	troškovi zagušenja u koraku s
q_s	donja granica funkcije troškova u koraku s
$C_j(t)$	prognozirani srednji pristupni kapacitet, za servis j u vremenu t
$A_j(t)$	prognozirana iskorišćenost pristupnih kapaciteta, za servis j u vremenu t
$u_j(t)$	prognozirani faktor koncentracije saobraćaja sa komutacijom paketa za servis j u vremenu t
$b_j(t)$	prognozirani faktor koncentracije saobraćaja, sa komutacijom kola za servis j u vremenu t
$P_j(t)$	prognozirana penetracija broja domaćinstava za servis j u vremenu t
$F_j(t)$	prognozirani kumulativni broj korisnika, za servis j u vremenu t
M	potencijal tržišta
BM	dovoljno veliki broj (<i>Big M</i>), $BM \geq 2^{\Delta T-1} \cdot nl_{t_0}$

c) Promenljive

x_{st}	prekoračenje saobraćaja u odnosu na odgovarajući nivo funkcije troškova zagušenja u koraku s u vremenu t
nl_t	broj aktivnih talasnih dužina DWDM linka u vremenu t
de_t	binarna promenljiva, sa vrednošću 1 ako je kapacitet linka proširen u vremenu t , odnosno 0 u suprotnom slučaju.

Strategija proširenja kapaciteta linka u funkciji troškova opreme, formulisana je kao MILP problem kojim se vrši optimizacija troškova u posmatranom horizontu planiranja ΔT . Shodno navedenom, funkcija cilja definisana je na sledeći način:

$$\text{Min} \sum_t \frac{cp^{eq}_{t_0}}{cp^{eq}_t} \cdot nl_t + \sum_t \sum_s cp_s^{cg} \cdot x_{st} \quad (1)$$

pri ograničenjima:

$$nl_t \geq nl_{(t-1)}, \forall t \quad (2)$$

$$nl_t \leq nl_{(t-1)} + 1, \forall t \quad (3)$$

$$nl_t \leq nl_{(t-1)} + BM \cdot de_t, \forall t \quad (4)$$

$$x_{st} + q_s nl_t \geq \frac{M}{c_n nl_t} \sum_{j=1}^J C_j(t) A_j(t) b_j(t) u_j(t) P_j(t) F_j(t), \quad \forall t, \forall s \quad (5)$$

$$nl_t \geq 0, \forall t \quad (6)$$

$$x_{st} \geq 0, \forall s, \forall t \quad (7)$$

$$de_t \in \{0,1\}, \forall t \quad (8)$$

Funkcija cilja, koju treba minimizirati, prikazana izrazom (1), sadrži dve vrste troškova: troškove instalacije opreme (poput troškova instalacije/zamene multipleksera), cp_t^{eq} , kao i troškove zagušenja linka cp_s^{fg} . Kao što je već navedeno, model je stavljen u funkciju troškova opreme, što je formulisano kao odnos nivoa troškova opreme u prethodnom i posmatranom vremenu. Ova vrsta troškova može se formulisati kroz odgovarajuću zavisnost, što će biti detaljnije opisano u narednom poglavlju. Nadalje, troškovi zagušenja zavise od nivoa iskorišćenosti linka i to u zavisnosti od nivoa prekoračenja funkcije troškova zagušenja u svakom pojedinačnom koraku s . S obzirom da je broj aktivnih talasnih dužina nl_t upotrebljen kao ekvivalent kapaciteta linka, podrazumevaće se da je iskorišćenost linka predstavljena upravo kroz iskorišćenost broja aktivnih talasnih dužina u vremenu t .

Navedena funkcija cilja ima ograničenja koja su predstavljena izrazima (2)-(8). Ograničenjem (2) obezbeđeno je da broj aktivnih talasnih dužina nl_t u vremenu t , ne može biti manji od broja aktivnih talasnih dužina nl_{t-1} u vremenu $t-1$. Ograničenje (3) obezbeđuje da broj aktivnih talasnih dužina nl_{t-1} u trenutku $t-1$ može biti uvećan samo za jednu talasnu dužinu u trenutku t , što je dodatno obezbeđeno kroz ograničenje (4), uvođenjem dovoljno velikog broja (*Big M*), koji ne može biti manji od $2^{\Delta T-1} \cdot nl_{t_0}$.

Ograničenjem (5) obezbeđeno je da se prekoračenje donje granice funkcije troškova u koraku s , generisano od strane prognoziranog intenziteta saobraćaja u vremenu t , „sankcioniše“ uvođenjem penala čija je vrednost definisana funkcijom troškova zagušenja linka. Navedeni mehanizam obezbeđuje da odluka o proširenju kapaciteta posmatranog linka može biti doneta na osnovu onih vrednosti prognoziranog intenziteta saobraćaja, koje omogućavaju zadovoljenje specificiranog QoS. Nadalje, ograničenjima (6) i (7) garantuje se da broju aktivnih talasnih dužina, kao i nivou prekoračenja stepena iskorišćenosti u koraku s , mogu biti dodeljene samo nenegativne vrednosti. Konačno, ograničenje (8) definiše de_t kao binarnu promenljivu, kojom se određuje da li će proširenje, u trenutku t , biti realizovano ili ne.

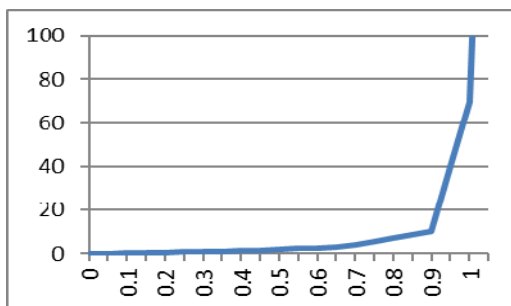
Uzimajući u obzir navedenu formulaciju, model proširenja kapaciteta optičkog linka, biće u nastavku rada označen kao *MILP model*. Predstavljeni optimizacioni problem zahteva procenu sledećih parametara:

1. Funkcija troškova zagušenja, (bazična funkcija troškova - BFT), $cp_s^{fg}(u_t)$, u zavisnosti od stepena iskorišćenja linka u_t , aproksimirana je na sledeći način [6],[8]:

$$cp_s^{fg}(u_t) = \begin{cases} 1 & \text{za } 0 \leq u_t < 1/3 & (\text{korak 1}) \\ 3 & \text{za } 1/3 \leq u_t < 2/3 & (\text{korak 2}) \\ 10 & \text{za } 2/3 \leq u_t < 9/10 & (\text{korak 3}) \\ 70 & \text{za } 9/10 \leq u_t < 1 & (\text{korak 4}) \\ 500 & \text{za } 1 \leq u_t < 11/10 & (\text{korak 5}) \\ 5000 & \text{za } 11/10 \leq u_t < \infty & (\text{korak 6}) \end{cases} \quad (9)$$

Kao što je već navedeno, ova funkcija daje vrednost penala, koja se pridružuje određenom opterećenju linka u cilju kontrole stepena iskorišćenosti, odnosno, što je veći stepen iskorišćenosti linka, to će parametru cp_s^{fg} biti pridružena veća vrednost

ove funkcije. Aproximacija prikazane funkcije izvedena je tako da funkcija, u svakom koraku, s , ima linearni skok, od vrednosti koja važi za dati korak na početku posmatranog intervala, sve do vrednosti funkcije u narednom koraku (Slika 1).



Slika 1. Aproximirana funkcija troškova zagušenja - BFT

2. Funkcija troškova opreme, cp_t^{eq} , prikazana je u zavisnosti od promene cene odgovarajuće opreme, neophodne za proširenje kapaciteta jednog linka, tokom vremena, t . Prognoziranje pada cene opreme sprovodi se na bazi analize vremenske serije. Ako su na raspolaganju korektni statistički podaci, metode trenda se mogu koristiti za prognoziranje ponašanja posmatrane promenljive u budućnosti, pod bitnom pretpostavkom da će ista zavisnost između promenljivih postojati i u budućnosti. Posmatrajući kako se promenljiva menja u vremenu, moguće je postaviti relaciju između promenljive i vremena, potom na osnovu nje predvideti buduću vrednost promenljive. Najčešće funkcije razvoja prate linearni, eksponencijalni, Gompertzov trend, stepenasti oblik linije trenda ili imaju liniju trenda sa određenim nivoom zasićenja. Pogodne funkcije razvoja za predstavljanje pada cene opreme su:

$$cp_t^{eq} = LB - a + bt, \quad a < 0, b < 0, \quad \text{za linearni trend,} \quad (10)$$

$$cp_t^{eq} = LB - ae^{bt}, \quad a < 0, b < 0, \quad \text{za eksponencijalni trend,} \quad (11)$$

$$cp_t^{eq} = LB - e^{a-br^t}, \quad a < 0, b < 0, \quad \text{za Gompertzov trend i} \quad (12)$$

$$cp_t^{eq} = LB - at^b, \quad a < 0, b < 0, \quad \text{za stepenasti trend,} \quad (13)$$

pri čemu LB predstavlja minimalnu vrednost cene opreme, dok su a i b parametri modela, koji se dobijaju fitovanjem vrednosti na raspoloživom uzorku.

3. Grupa parametara za definisanje ograničenja (5), u okviru koga je prognoziranje saobraćaja realizovano kombinacijom Bass-ovog modela za konkurentno tržište [9], [10], kao i modelom za prognoziranje saobraćaja na transportnoj mreži [11]. U datu relaciju su uključeni sledeći parametri: potencijal tržišta M , prognozirani faktor koncentracije saobraćaja sa komutacijom paketa za servis j , $uj(t)$, prognozirani faktor koncentracije saobraćaja, sa komutacijom kola za servis j , $b_j(t)$, prognozirani srednji pristupni kapacitet, za servis j u vremenu t , $C_j(t)$, prognozirana iskorišćenost

pristupnih kapaciteta, za servis j u vremenu t , $A_i(t)$, prognozirana penetracija za servis j u vremenu t , $P_j(t)$, kao i prognozirani kumulativni broj korisnika, za servis j u vremenu t , $F_j(t)$ [12], koji je predstavljen formulom:

$$F_j(t) = \frac{q_j}{q} \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} + \frac{p}{q} \left(\frac{p_j}{p} - \frac{q_j}{q} \right) \ln \frac{1 + \frac{q}{p}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \quad (14)$$

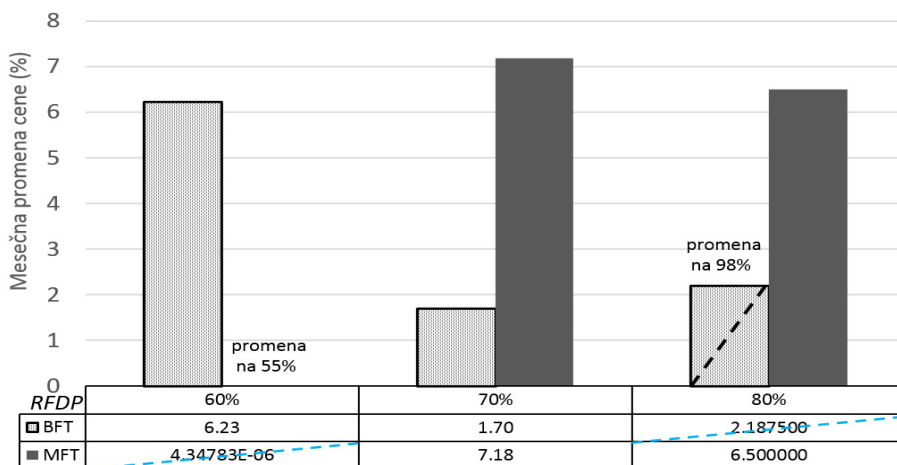
gde su: p_i i q_i parametri inovacije i imitacije pojedinačnih servisa i , respektivno, dok su p i q ukupni parametri inovacije i imitacije na nivou širokopoljasnih tehnologija. U ovom radu, parametri p , p_i , q i q_i , dobijeni su na osnovu statističkih podataka o broj korisnika širokopoljasnih tehnologija (po servisu i ukupno) [13] primenom *Nonlinear Least Squares Estimation* (NLS) metode za procenu parametara [14].

3. Analiza osetljivosti

Strategija proširenja kapaciteta optičkog DWDM linka [1], predstavlja osnov na kome je formiran prikazani model. Plan proširenja se razmatra u poznatim intervalima (na primer, na svaka 3 meseca), pri čemu se unapred definiše donja granica referentnog iskorišćenja linka u_i , na osnovu koje se mogu dobiti vrednosti funkcije troškova zagušenja $cp_s^{eg}(u_i)$, (9), koje služe za određivanje nivoa penala. S obzirom da rezultat prikazanog modela zavisi od brzine promene cene opreme tokom vremena, analiza osetljivosti datog modela bi trebalo da pokaže kolika je minimalna mesečna brzina pada cene, koja može da odluku o proširenju kapaciteta odloži za jedinično vreme t , u odnosu na donju granicu referentnog iskorišćenja linka u_i , u okviru odgovarajućeg koraka s funkcije troškova zagušenja (nadalje u tekstu – *referentna vrednost za definisanje penala - RFDP*). U ovom slučaju odabrane su *RFDP* vrednosti od 60%, 70% i 80%. Treba napomenuti da je analiza osetljivosti izvedena za nivoe iskorišćenosti aktivnih talasnih dužina u opsegu od 89% do 95%.

Rezultati sprovedene analize osetljivosti pokazali su da je, za posmatrani opseg iskorišćenosti aktivnih talasnih dužina, pri *RFDP* od 60 %, potreban mesečni pad cene opreme od 6,23% da bi odluka o realizaciji proširenja bila odložena za 1 period. U slučaju *RFDP* od 70%, dovoljan je mesečni pad cene od 1,7%, dok u slučaju *RFDP* od 80%, mesečni pad cena nije utvrđen, odnosno, mesečna promena od 2,1875% postoji tek pri iskorišćenosti aktivnih talasnih dužina od 98%, što se smatra neprihvatljivom vrednošću, pošto navedeno iskorišćenje dovodi do značajnih gubitaka performansi linka (Slika 2).

Takođe, uočena je određena varijacija nivoa iskorišćenosti aktivnih talasnih dužina pri različitim mesečnim brzinama pada cene, u odnosu na koje se donosi odluka o proširenju kapaciteta, a koja je uočljiva pri *RFDP* od 70% (Tabela 1).



Slika 2. Analiza osetljivosti troškova zagušenja u slučajevima upotrebe bazične (BFT) i modifikovane funkcije troškova zagušenja (MFT)

Tabela 1: Nivoi iskorišćenosti (%) aktivnih talasnih dužina pri različitim mesečnim brzinama pada cene u slučaju BFT

BFT	Mesečna brzina promene cene opreme (%)			
	0.5	1	2.5	5
60	91	91	91	91
70	93	93	94	95
80	98	98	98	nema

Dobijeni rezultati su ukazali na potrebu da se predloži modifikacija funkcije troškova zagušenja, na taj način što bi se povećala vrednost penala za opseg od 90-100% (korak $s=4$) sa 70 na 240. Tako modifikovana funkcija troškova zagušenja (MFT) bi imala sledeći oblik:

$$cp^{eg}(u_i) = \begin{cases} 1 & \text{za } 0 \leq u_i < 1/3 & (\text{korak 1}) \\ 3 & \text{za } 1/3 \leq u_i < 2/3 & (\text{korak 2}) \\ 10 & \text{za } 2/3 \leq u_i < 9/10 & (\text{korak 3}) \\ 240 & \text{za } 9/10 \leq u_i < 1 & (\text{korak 4}) \\ 500 & \text{za } 1 \leq u_i < 11/10 & (\text{korak 5}) \\ 5000 & \text{za } 11/10 \leq u_i < \infty & (\text{korak 6}) \end{cases} \quad (15)$$

Ponavljanjem postupka analize osetljivosti, uz upotrebu MFT, dobijaju se sledeći rezultati: za vrednost RFDP od 60% nije dobijena promena perioda, ali je dobijena stabilna vrednost stepena iskorišćenosti aktiviranih talasnih dužina (91%), za sve testirane vrednosti brzine pada cena opreme. Naknadnim testiranjem utvrđeno je da

do promene vremena realizacije aktiviranja nove talasne dužine dolazi pri vrednosti RFDP od 55%, pri čemu je za promenu vremena realizacije dovoljno ekstremno mala brzina promene cene od 0.000004348%, za koju je usvojeno da nije prihvatljiva vrednost (Slika 2). Za vrednosti RFDP od 70% i 80% dobijaju se promene perioda za mesečne brzine promena cena od 7,18% i 6.5%, respektivno (Slika 2). Dodatne analize pokazuju da se u slučaju ovih vrednosti RFDP dobijaju stabilne vrednosti nivoa iskorišćenja aktivnih talasnih dužina u posmatranim brzinama pada cena opreme na mesečnom nivou (Tabela 2), tj. do promena će doći samo ako mesečna brzina pada cena bude veća od vrednosti prikazanih na Slici 2 (za slučajeve RFDP: 60% i 70%).

Tabela 2: *Nivoi iskorišćenosti (%) aktivnih talasnih dužina pri različitim mesečnim brzinama pada cene u slučaju MFT*

MFT	Mesečna brzina promene cene opreme (%)			
RFDP (%)	0.5	1	2.5	5
60	91	91	91	91
70	91	91	91	91
80	93	93	93	93

Vrednosti nivoa iskorišćenosti aktivnih talasnih dužina, u slučaju primene MFT, odgovaraju slučajevima optimalnih rešenja u modelu [1], u kome troškovi opreme nisu analizirani u funkciji vremena. Rezultati analize osetljivosti za BFT i MFT, dovode do zaključka da veća vrednost penala dovodi do efikasnije kontrole gornje granice vrednosti iskorišćenja u kome upotreba QoS na posmatranom linku zadržava zahtevane performanse. Time je, kao što je već navedeno, dobijena i veća stabilnost rezultata.

4. Numerički primer

U radu je prikazan numerički primer konkurentnog tržišta širokopoljasnih servisa Republike Srbije, na bazi prikupljenih statističkih podataka [13]. Prema navedenom izvoru, broj korisnika širokopoljasnih servisa prikazan je u Tabeli 3.

Tabela 3. *Broj korisnika širokopoljasnih servisa u Republici Srbiji za period 2008-2012* [13]

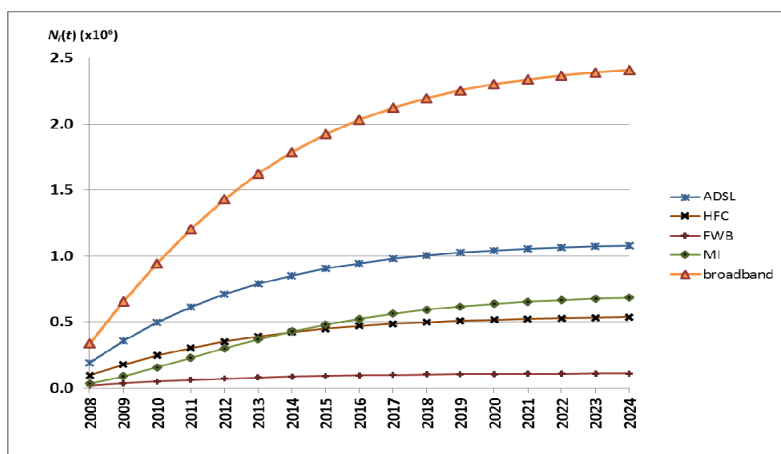
Godina/Servis	ADSL	HFC	FWB	MI
2008	267876	151154	48130	25489
2009	351252	187923	45864	100628
2010	536796	260474	58305	131475
2011	623611	285413	53754	249542
2012	659878	331281	62013	291588

U skladu sa prikazanim podacima, izvršeno je fitovanje parametara inovacije i imitacije, kako po navedenim servisima, tako i za celu populaciju korisnika širokopoljasnih tehnologija (Tabela 4).

Tabela 4. Parametri inovacije i imitacije za celokupno tržište širokopojasnih tehnologija, kao i za pojedinačne servise

Potencijal tržišta širokopojasnih tehnologija ($m = 2.475.128$)			
Parametri		Inovacije (p)	Imitacije (q)
j	Širokopojasni servis	$p = 0.139$	$q = 0.107$
1	ADSL	$p_1 = 0.083$	$q_1 = 0.001$
2	HFC	$p_2 = 0.041$	$q_2 = 0.001$
3	FWB	$p_3 = 0.008$	$q_3 = 0.001$
4	MI	$p_4 = 0.007$	$q_4 = 0.104$

Upotrebom izraza (14), uz korišćenje parametara navedenih u Tabeli 4, izvršeno je prognoziranje broja korisnika navedenih širokopojasnih servisa, kao i ukupnog broja korisnika širokopojasnih tehnologija za period 2008-2014. godine (Slika 3).

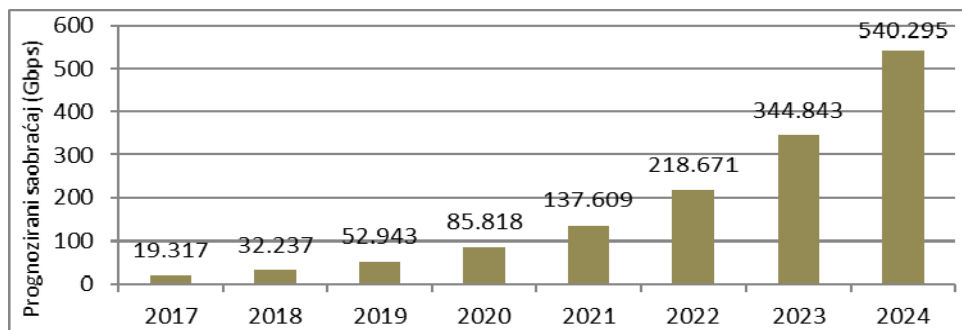


Slika 3. Prognozirani ukupan broj korisnika širokopojasnih tehnologija i korisnika pojedinačnih širokopojasnih servisa za period 2008 -2014. godine

Vrednosti parametara, koji se koriste u ograničenju (5), usvojeni su iz [12], na sledeći način:

1. analizom vremenskih serija, prognozirani srednji pristupni kapacitet $C(t)$, na nivou Republike Srbije, ima eksponencijalni trend $C(t) = C_i(t) = 239.31e^{0.3567t}$, za sve širokopojasne servise;
2. prognozirana iskorišćenost pristupnih kapaciteta, $A_i(t)$, za sve navedene servise ima linearni trend, $A(t) = 0.0089t + 0.1971$;
3. prognozirani faktor koncentracije saobraćaja sa komutacijom paketa, $u(t)$, kao i prognozirani faktor koncentracije saobraćaja, sa komutacijom kola, u slučaju svih širokopojasnih servisa imaju praktično konstantne vrednosti: $u_i(t) = u = 0.6$ i $b_i(t) = b = 0.23$, respektivno;
4. prognozirana penetracija širokopojasnih tehnologija na tržištu ima linearni trend, $HP(t) = 2.5918t - 1.266$.

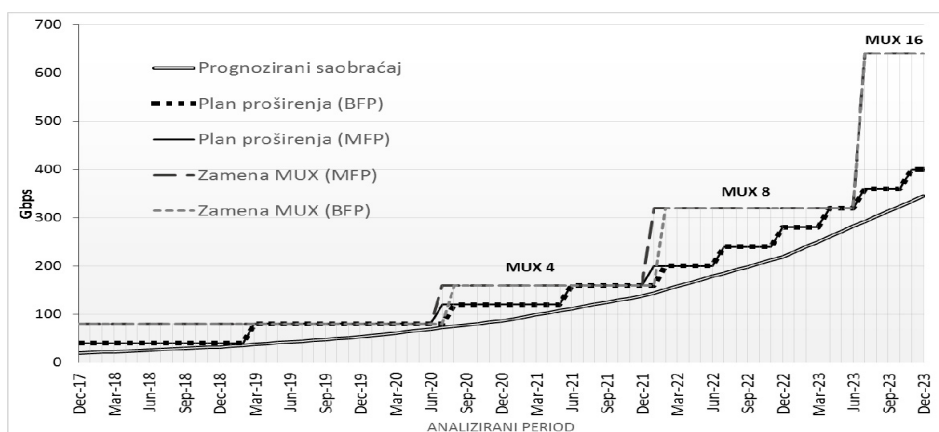
Shodno navedenom, moguće je prognozirati intenzitet saobraćaja koji može biti generisan od strane svih korisnika širokopojasnih tehnologija na tržištu Republike Srbije, kao što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Prognozirani saobraćaj, generisan od strane ukupnog broja korisnika širokopojasnih tehnologija, za period 2017 -2024. godine

Prognožiranje intenziteta saobraćaja navedenom metodom vrši se u godišnjim intervalima. Obzirom da predložena strategija za proširenje magistralnih linkova može razmatrati odluke o proširenju na mesečnom nivou, potrebno je da se izvrši interpolacija prognožiranog saobraćaja u skladu sa pretpostavkom da saobraćaj, u toku 12 meseci, ima linearni trend rasta. Pretpostavljajući da je kapacitet jedne talasne dužine 40GB/s, plan proširenja neće uključiti period pre 2019. godine.

Pored navedenog, usvojen je trend pada cene DWDM opreme (mupleksera), u skladu sa [15]. Izvršeno je fitovanje parametara, i na osnovu proračuna dobijen je eksponencijalni trend pada cena $y = 11162 + 80823.655e^{-0.18166t}$, $R = 0.960385656$. Shodno navedenom, planovi proširenja DWDM linka, koji su dobijeni na osnovu primene BFT i MFT funkcija troškova zagušenja, prikazani su na Slici 5.



Slika 5. Plan proširenja optičkog linka u slučajevima upotrebe BFP i MFP

Rezultati proračuna, na osnovu kojih su dobijeni prikazani planovi proširenja, pokazali su skoro identične rezultate. Razlike su se pojavile u po jednom vremenskom

intervalu (jul-avgust 2020. i januar-februar 2022. godine). U oba slučaja kod modela sa primenjenim MFP, pojavile su se odluke za raniju realizaciju proširenja, što se može objasniti pojavom strožijih vrednosti penala u slučaju povećane iskorišćenosti linka.

5. Zaključak

U radu je analiziran model strategije za proširenje optičkog DWDM linka u funkciji troškova opreme, pri čemu su prognozirani intenziteti saobraćaja dobijeni primenom modifikacije *Bass*-ovog modela tražnje za konkurentno tržište, na osnovu procenjenih parametara inovacije i imitacije posmatranog tržišta. Izvršena je analiza osetljivosti modela sa BFT, gde je uočeno da se pri većim iskorišćenjima pojavljuje nestabilnost rezultata u poređenju sa slučajem optimalnog rešenja dobijenog kada nivo troškova opreme nije funkcija vremena. Nestabilnost se javlja u opsegu viših nivoa iskorišćenosti. Analizom rezultata, predložena je korekcija funkcije troškova zagušenja (MFT), čija primena je dovela do stabilnijih rezultata za RFDP od 70% i 80%, dok za RFDP od 60% analiza nije pokazala osetljivost na promenu cene. Može se zaključiti da se upotrebom MFT može ostvariti efikasnija kontrola gornje granice vrednosti iskorišćenja, zahvaljujući čemu link sa upotrebom QoS može da zadrži željene performanse. Time je, kao što je već navedeno, dobijena i veća stabilnost rezultata, sa prihvatljivim brojem kraćih intervala za realizaciju proširenja kapaciteta linka (što je pokazano u numeričkom primeru). Na taj način se pojavljuje određeno smanjenje mogućih ušteda kroz realizaciju dobijenog plana proširenja. Ipak, navedena razlika između planirane i rezultujuće uštede može biti kompenzovana očuvanjem prihoda, pošto se očuvanjem QoS mogu sačuvati željene performanse posmatranog linka, i samim tim odgovoriti zahtevima korisnika.

Zahvalnica

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata TR36012 i TR32025.

Literatura

- [1] S. Mitrović, V. Radojičić and G. Marković, "Strategije za proširenje resursa mreže u funkciji modela tražnje," in *XXXI Simpozijum o novi tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju*, Beograd, 2013.
- [2] R. Kouassi, M. Gendreau, J.-Y. Potvin and P. Soriano, "Heuristics for multi-period capacity expansion in local telecommunications networks," *Journal of Heuristics*, vol. 15, no. 4, pp. 381-402, 2009.
- [3] B. Melian, M. Laguna and J. A. Moreno-Perez, "Capacity expansion of fiber optic networks with WDM systems: problem formulation and comparative analysis," *Computers & Operations Research*, vol. 31, no. 3, p. 461-472, 2004.
- [4] M. Pickavet and P. Demeester, "Multi-Period Planning of Survivable WDM Networks," *European Transactions on Telecommunications*, vol. 11, no. 1, pp. 1541-8251, 2000.
- [5] K. Papagiannaki, N. Taft, Z.-L. Zhang and C. Diot, "Long-term forecasting of Internet backbone traffic," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 16, no. 5, pp. 1110-1124, 2005.

- [6] O. M. Heckmann, *The Competitive Internet Service Provider: Network Architecture, Interconnection, Traffic Engineering and Network Design*, John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [7] F. M. Bass, "A New Product Growth for Model Consumer Durables," *Management Science*, vol. 15, no. 15, pp. 215-227, 1969.
- [8] B. Fortz and M. Thorup, "Optimizing OSPF/IS-IS Weights in a Changing World," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 4, p. 756-767, 2002.
- [9] T. V. Krishnan, F. M. Bass and V. Kumar, "Impact of a Late Entrant on the Diffusion of a New Product/Service," *Journal of Marketing Research*, vol. 37, no. 2, pp. 269-278, 2000.
- [10] H. Seol, G. Park, H. Lee and B. Yoon, "Demand forecasting for new media services with consideration of competitive relationships using the competitive Bass model and the theory of the niche," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 79, no. 7, p. 1217-1228, 2012.
- [11] K. Stordahl, K. Kalhagen, B. Olsen, J. Lydersen, B. Olufsen and N. Elnegaard, "Traffic Forecast Models for the Transport Network," in *Networks*, Munich, 2002.
- [12] V. Radojicic, G. Markovic, M. Jankovic and B. Draskovic, "Broadband Traffic Forecasting in the Transport Network," *PROMET - Traffic&Transportation*, vol. 24, no. 4, pp. 275-284, 2012.
- [13] Republic Agency for Electronic Communications (RATEL), "An Overview of Telecom Market in the Republic of Serbia in 2012," Republic Agency for Electronic Communications (RATEL), Serbia, Belgrade, 2013.
- [14] V. Srinivasan and C. H. Mason, "Nonlinear Least Squares Estimation of New Product Diffusion Models," *Marketing Science*, vol. 5, no. 2, pp. 169-178, 1986.
- [15] D. Inness, "100G Price Challenge," in *ECOC Exhibition 2013*, Cannes, 2013.

Abstract: *In this paper, a model of capacity expansion planning based on the service demand function with time-dependent equipment cost function is introduced. A sensitivity analysis has been conducted. A modification of congestion cost function has been proposed. Also, a numerical example is presented in order to compare the results obtained by using both, the original and the modified congestion cost function.*

Keyword: *strategies for network resources expansion, equipment costs, congestion costs function, DWDM link.*

ANALYSIS OF THE OPTICAL LINK CAPACITY EXPANSION PLAN IN FUNCTION OF EQUIPMENT COSTS

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Goran Marković