

TEHNOEKONOMSKO POREĐENJE JEDNOKANALNIH I VIŠEKANALNIH EPON MREŽA

Mirjana Radivojević¹, Petar Matavulj²

¹Računarski fakultet, Univerzitet Union, Beograd

² Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

Sadržaj: *Ethernet pasivna optička mreža (Ethernet Passive Optical Network) se poslednjih godina nametnula kao efikasno rešenje za realizaciju brzih širokopoljasnih modernih mreža za pristup. EPON mreža može da se realizuje kao jednokanalni (single-channel) komunikacioni sistem ili kao višekanalni (multi-channel) komunikacioni sistem u kome se primenjuje WDM (Wavelength Division Multiplexing) tehnologija. Analiza i poređenje ovih rešenja, kako sa tehnološkog tako i sa ekonomskog aspekta je od ključnog značaja za operatore kako bi mogli da definišu dalji razvoj svojih mreža za pristup. U ovom radu je prikazana tehnoeekonomska analiza jednokanalnih i višekanalnih EPON sistema sa posebnim osvrtom na odnos ponuđeni propusni opseg / cena mreža.*

Ključne reči: *Ethernet pasivna optička mreža (EPON), pasivna optička mreža sa multiplexiranjem po talasnim dužinama (WDM PON), tehnoeekonomska analiza.*

1. Uvod

U poslednjoj dekadi prenos podataka i različite mrežne tehnologije su doživele neslućen razvoj. Najveći deo tog razvoja odnosi se pre svega na okosnicu mreže gde su korišćenje rutera i linkova visokog kapaciteta omogućili kreiranje širokopoljasne infrastrukture dok je mreža za pristup (nekada 'last mile' danas 'first mile') ostala tačka zagušenja. Pored toga, rapidan porast broja krajnjih korisnika, kako rezidencijalnih tako i poslovnih, pojava velikog broja aplikacija koje su zahtevne po pitanju propusnog opsega, kao što su video konferencija, video na zahtev (VoD), televizija visoke rezolucije (HDTV), IP televizija su samo neki od faktora koji uslovljavaju potrebu za realizacijom moderne širokopoljasne mreže za pristup [1].

U takvim uslovima EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) mreža se nametnula kao potencijalno optimalno rešenje za isporuku 3play servisa (govor, brzi Internet, digitalna televizija i video na zahtev (VoD)) rezidencijalnim i poslovnim korisnicima odnosno kao mreža sledeće generacije NGN (*Next Generation Network*) [2]. Međutim, sa pojavom novih multimedijalnih aplikacija i servisa propusni opseg koji je u pristupnoj mreži potrebno obezbediti krajnjim korisnicima postaje sve veći a EPON mreža predstavlja jednokanalni (*single-channel*) sistem u kome potencijal optičkog vlakna nije u potpunosti iskorišćen. Rešenje problema je prelazak sa jednokanalnog na višekanalni sistem

odnosno uvođenje multipleksiranja po talasnim dužinama tj. WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tehnologije u EPON mrežu (WDM EPON).

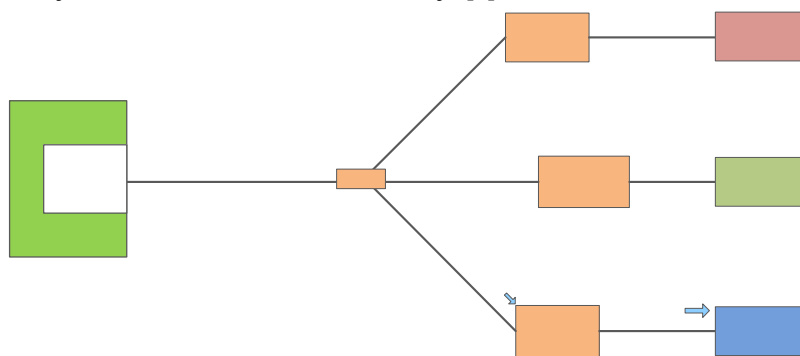
U nastavku rada, poglavlja su organizovana na sledeći način: u drugom poglavlju su predstavljena dva modela za jednokanalni i višekanalni sistem i analizirane su sve potrebne karakteristike elemenata neophodnih za njihovu realizaciju, u poglavlju tri je izvršena tehnoekonomska analiza, dok su zaključci sumirani u četvrtom poglavlju.

2. Arhitekture razmatranih mrežnih rešenja

U cilju tehnoekonomske analize EPON mreža potrebno je pre svega definisati osnovnu arhitekturu EPON sistema (bez obzira da li je jednokanalni ili višekanalni) kao i opcije za implementaciju kvaliteta servisa QoS (*Quality of Service*). Naime, sa razvojem *Triple play* mreža i novih aplikacija, podrška za kvalitet servisa postaje od ključnog značaja za dalji razvoj ovih sistema, kako jednokanalnih tako i višekanalnih. Prema analizama tržišta različite video aplikacije će do kraja 2015 godine činiti 90% ukupnog Internet saobraćaja pa količina propusnog opsega i podrška za kvalitet servisa postaju ključni parametri za razvoj budućih multiservisnih mreža [3].

A. Generička EPON arhitektura

EPON mreža se sastoji od OLT (*Optical Line Terminal*) jedinice koja se nalazi kod provajdera servisa i preko pasivnog optičkog razdvajачa/sabirača signala povezana je sa više različitih terminalnih jedinica ONU (*Optical Network Unit*) koje se nalaze na strani krajnjih korisnika, slika 1. Svi podaci se prilikom prenosa enkapsuliraju u Ethernet pakete dok se za razmenu podataka definiše kontrolni protokol MPCP (*Multipoint Control Protocol*) koji omogućava razmenu informacija u realnom vremenu između OLT jedinice i svih ONU jedinica sinhronizovano i bez kolizije [4].



Slika 1. EPON arhitektura

B. Podrška za kvalitet servisa

Podrška za QoS realizuje se kroz podršku modela diferenciranih servisa odnosno *DiffServ* modela [4]. U ovom modelu definišu se tri osnovne klase saobraćaja: EF (*Expedite Forwarding*) klasa za servise najvećeg prioriteta koji su osetljivi na kašnjenje (prenos glasa) i varijaciju kašnjenja (*jitter*); AF (*Assured Forwarding*) klasa za saobraćaj srednjeg nivoa prioriteta; i BE (*Best Effort*) klasa za saobraćaj najnižeg prioriteta koji nije osetljiv na kašnjenje, kao što su *web browsing*, transfer fajlova i *e-mail* aplikacije.

Da bi EPON arhitektura mogla da podrži model diferenciranih servisa neophodno je korišćenje dva nezavisna algoritma za raspoređivanje (*scheduling*) [2,4]. *Inter-ONU*

raspoređivanje (*scheduling*) definiše implementaciju algoritama za dinamičku alokaciju propusnog opsega i *Intra-ONU* raspoređivanje (*scheduling*) koji definiše implementaciju tehnika za menadžment i formiranje reda čekanja (*queuing*) kako bi se propusni opseg koji je dodeljen ONU jedinici raspodelio na različite klase saobraćaja (na osnovu definisanih prioriteta) koje ONU jedinica podržava.

C. Jednokanalni (*single-channel*) EPON sistem

Prenos podataka u jednokanalnom EPON sistemu je baziran na TDMA (*Time Division Multiple Access*) tehnici u kojoj se svakoj ONU jedinici u okviru ciklusa za prenos dodeljuje određeni vremenski interval odnosno propusni opseg za prenos. U jednokanalnom EPON sistemu za prenos podataka se koristi jedna talasna dužina za prenos podataka od korisnika ka provajderu servisa ($\lambda_{\text{upstream}}$) i jedna talasna dužina koja se koristi za prenos podataka od provajdera servisa ka krajnjim korisnicima ($\lambda_{\text{downstream}}$). Za razmenu kontrolnih poruka i sinhronizaciju prenosa koristi se MPCP protokol dok se za raspodelu propusnog opsega korisnicima definiše nezavistan algoritam DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*) koji nije definisan standardom već je njegov razvoj ostavljen proizvođačima opreme.

U ovom radu razmatramo jednokanalni EPON sistem koji koristi HG protokol [2, 4] za alokaciju propusnog opsega pri čemu je podržana implementacija kvaliteta servisa u skladu sa standardom. Za razliku od 'klasičnih' DBA algoritama HG protokol definiše dva ciklusa za prenos podataka, jedan za EF saobraćaj i jedan ciklus za AF i BE servise pri čemu se propusni opseg za prenos EF saobraćaja uvek alokira pre AF/BE podciklusa. Za uređivanje redova čekanja, odnosno *Intra-ONU* mehanizam, koristi se PBS (*Priority Based Scheduling*) mehanizam čime se istovremeno optimizuje prenos EF saobraćaja i izbegava situacija u kojoj bi taj prenos ugrozio prenos saobraćaja nižeg prioriteta. Redosled prenosa podataka je određen njihovim prioritetima, a u slučaju istih prioriteta koristi se ciklično opsluživanje (*round-robin*). Analize prikazane u [2,5] pokazuju da HG protokol daje najbolje performanse po pitanju svih ključnih QoS parametara: kašnjenje, *jitter*, procenat izgubljenih paketa i iskorišćenje propusnog opsega, pa ga u tehnokonomskoj analizi koristimo kao predstavnika jednokanalnih EPON sistema.

Međutim, bez obzira na uvođenje novih protokola i mehanizama EPON mreža i dalje ostaje jednokanalni sistem u kome potencijal optičkog vlakna nije u potpunosti iskorišćen. Sa pojavom novih servisa propusni opseg koji može da pruži jednokanalna EPON mreža više nije dovoljan da bi se ispunili svi zahtevi krajnjih korisnika. Uvođenje multipleksiranja po talasnim dužinama, odnosno WDM tehnologije u EPON mrežu predstavlja logičan korak u razvoju pristupnih optičkih mreža.

D. Višekanalni (*multichannel*) EPON sistem

U poslednjih nekoliko godina predloženo je više arhitektura za realizaciju višekanalnog EPON sistema ali se nijedna od njih nije nametnula kao dominantno rešenje [5]. EPON mreža buduće generacije može da se zasniva na uvođenju potpuno nove arhitekture u sistem ili na postepenom uvođenju WDM tehnologije u postojeći TDM EPON sistem odnosno hibridnoj WDM/TDM EPON mreži.

S obzirom na cene potrebne opreme, kao i na kompleksnost sistema, u ovom radu razmatramo implementaciju hibridnog TDM/WDM sistema odnosno FWBA (*Fixed Wavelength Bandwidth Allocation*) modela [2,5]. Predložena WDM EPON arhitektura je u stvari generička EPON arhitektura u kojoj su krajnji korisnici preko ONU jedinica povezani

na OLT. Za razliku od jednokanalnog EPON sistema koji podržava prenos na dve talasne dužine, višekanalni EPON sistemi za prenos saobraćaja koriste više talasnih dužina. FWPBA model podržava prenos saobraćaja korišćenjem četiri talasne dužine: λ_0 , λ_1 , λ_2 i λ_3 . Samim tim se u OLT i ONU jedinicama implementiraju četiri primopredajnika fiksnih talasnih dužina, po jedan za svaku talasnu dužinu. Naime, korišćenje lasera sa podesivim talasnim dužinama ne bi dalo dobre rezultate jer isključuje mogućnost da optičke jedinice istovremeno prenose saobraćaj na više talasnih dužina. Da bi se funkcionisanje sistema optimizovalo jedna talasna dužina (λ_0) se rezerviše za prenos MPCP kontrolnih poruka i sinhronizaciju i može biti ili originalna talasna dužina korišćena u EPON mreži ili neka druga talasna dužina. Da bi sistem mogao da podrži prenos multimedijalnih aplikacija u FWPBA modelu se implementira direktna podrška za QoS tako što se definiše veza između talasne dužine koja se koristi za prenos podataka i klase saobraćaja kojoj taj podatak pripada. Talasne dužine koje su rezervisane za prenos u sistemu se koriste na sledeći način: λ_1 za prenos EF saobraćaja najvišeg prioriteta, λ_2 za prenos AF saobraćaja srednjeg prioriteta, i λ_3 za prenos BE saobraćaja najnižeg prioriteta. Raspodela 'talasna dužina po klasi saobraćaja' odstupa od do sada predloženih rešenja 'talasna dužina po ONU jedinici' što unapređuje funkcionisanje sveukupnog sistema [2,5]. Naime, s obzirom da je napravljena fiksna veza između tipa saobraćaja i talasne dužine koja se koristi za njen prenos, a koja je poznata i OLT jedinici, alokacija talasne dužine nije potrebna čime je sam algoritam efikasniji a cena komponenti niža.

3. Ekonomska analiza predloženih rešenja

Kao što je u uvodu objašnjeno cilj ovog rada je tehnoekonomsko poređenje jednokanalnih i višekanalnih sistema. Višekanalni sistem razmatran u ovom radu je u stvari hibridni TDM/WDM EPON sistem i može se u praksi implementirati po potrebi. Naime, s obzirom na rasprostranjenost jednokanalnih EPON sistema verovatnoća *greenfield* implementacije, odnosno izgradnje novog WDM EPON sistema, je mala pa se procenjuje da će se operatori servisa pre odlučiti za dalju nadogradnju svojih sistema i postepeno uvođenje WDM tehnologije [2]. Svi proračuni i analize su izvršene pod pretpostavkom da deobni odnos koji se koristi u oba tipa EPON sistema iznosi 1:64 (N=64) i da je rastojanje između OLT i ONU jedinica 20 km.

Analiza cena opreme za oba rešenja je obavljena na osnovu trenutnih prosečnih vrednosti postojeće opreme na tržištu dok je cena novih elemenata procenjena na osnovu cena postojeće opreme i prethodno prezentovane analize. Naime, u slučaju implementacije WDM EPON sistema struktura terminalnih jedinica se menja usled uvođenja podrške za prenos podataka na više talasnih dužina. U skladu sa tim u OLT i ONU jedinicama se umesto dosadašnja dva transmitera sada implementiraju primopredajnici za svaku podržanu talasnu dužinu, slika 3. U predloženom rešenju za WDM EPON sistem svaka optička jedinica podržava prenos na četiri talasne dužine pa se u svakoj jedinici implementiraju četiri primopredajnika odnosno osam optičkih interfejsa sa brzinom od 1.25Gbps (standardizovana za jednokanalne EPON sisteme). Cena elektronike i pratećih komponentih se značajno povećava u poređenju sa jednokanalnim sistemom. Međutim, s obzirom da je algoritam za implementaciju kvaliteta servisa u slučaju WDM EPON sistema automatski implementiran kroz algoritam za raspodelu talasnih dužina, nije potrebno implementirati dodatne kompleksne algoritme za QoS podršku čime se direktno smanjuje kompleksnost sistema a samim tim i optimizuje cena optičkih jedinica.

U Tabeli 1 su prikazane cene komponenti koje su korišćene za tehnoekonomsku analizu jednokanalnih i višekanalnih sistema. Za analizu jednokanalnog sistema korišćene

su prosečne vrednosti komponenti na tržištu ([6] i cene opreme poznatih proizvođača: Cisco, Alcatel, Huawei i Elcon). Za analizu WDM EPON sistema, koji kao što je prethodno objašnjeno još nije dostupan na tržištu, u radu pretpostavljamo da su sve komponente dostupne. Kalkulacije su urađene uz procenu povećanja cena opreme od 3.2 puta za ONU i OLT jedinicu, i 50% za pasivni optički razdvajač signala, pri čemu je procena bazirana na dosadašnjem povećanju cene opreme koja obavlja istu funkciju i koja uzima u obzir povećanje broja portova i primopredajnika u optičkim jedinicama [6]. Takođe, cena instalacije i radova su definisane u skladu sa prosečnim vrednostima na evropskom tržištu [6]. U analizi razmatramo najgori mogući slučaj (*worst-case scenario*) jer će razlika u ceni datih komponenti na tržištu sigurno biti manja s obzirom da predloženi višekanalni model ne koristi lasere sa podesivim talasnim dužinama (cena ovog lasera je znatno viša od cene lasera sa fiksnom talasnom dužinom), implementira se jednostavan matematički model, i podrška za kvalitet servisa se realizuje kroz samu raspodelu talasnih dužina.

Tabela 1. Cene komponenti i instalacije ([6] + proizvođači opreme)

	EPON	WDM EPON
OLT jedinica		
Kabinet(\$)	200000	200000
Brzina na ulaznom portu (Mbs)	1250	3750
Cena ulaznog porta (\$)	4240	13568
Brzina na izlaznom portu (Mbs)	1250	3750
Cena izlaznog porta (\$)	3600	11520
Pasivni optički razdvajač/sabirač signala		
Kabinet(\$)	480	480
Šasija (\$)	80	120
Brzina ulaznog porta (Mbs)	1250	3750
Cena na ulaznom portu (\$)	40	60
ONU jedinica		
Cena instalacije(\$)	96	307
Cena ONU jedinice (\$)	160	512
Optika/cene kablova i propratnih radova		
Cena kablova(\$/km)	128	128
Cena spajanja/razdvajanja kablova (\$/km)	56	56
Cena postavljanja (kopanje i propratni radovi)		
OLT -RT (\$/km)	5600	5600
RT-ONU (\$/km)	5600	5600

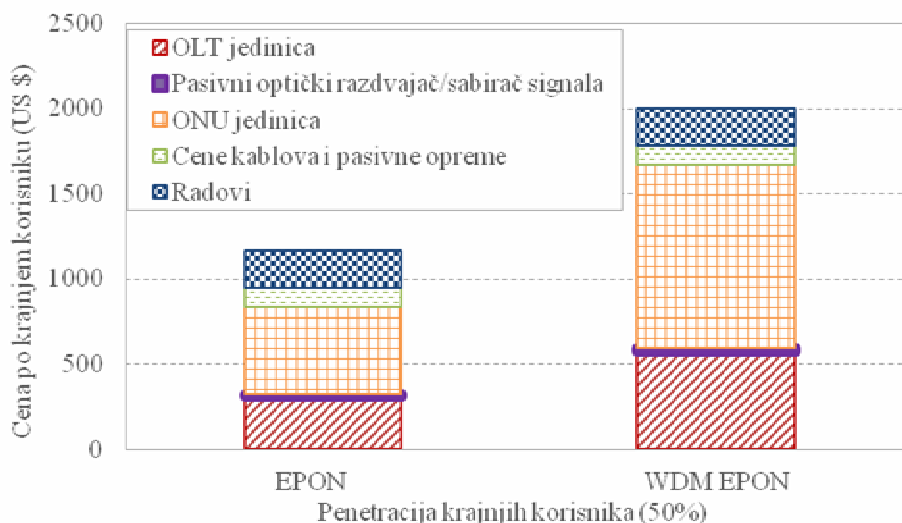
Pored toga, za razliku od dosadašnjih analiza u kojima se smatra da je cena portova ONU jedinice za 1.5 puta veća od cena OLT EPON jedinica u predloženom sistemu predviđamo da je i cena portova ONU jedinice 3.2 puta veća, jer u posmatranom WDM EPON modelu i ONU jedinice treba da podrže prenos saobraćaja na više talasnih dužina (kao što je prethodno objašnjeno u predloženom FWPBA modelu u ONU jedinici nije moguće implementirati laser sa podesivim talasnim dužinama jer bi u tom slučaju u jednom trenutku optičke jedinice mogle da podrže prenos samo na jednoj talasnoj dužini a ne na više njih istovremeno). Pored toga, u cenu ONU jedinice uračunata je i cena korisničkog uređaja (*Residential Gateway* (RG)) jer danas većina servis provajdera uključuje i postavljanje CPE (*Customer Premises Equipment*) uređaja kao deo 'paketa' koji nudi krajnjem korisniku.

U cilju ekonomske analize predloženih rešenja neophodno je proceniti cenu sistema po krajnjem korisniku kako bi se procenila opravdanost uvođenja nove tehnologije. Cena mreže po korisniku se definiše kao:

$$\text{Cena po korisniku} = \frac{\text{Cena infrastrukture po korisniku}}{\text{Penetracija krajnjih korisnika}}$$

gde se penetracija krajnjih korisnika definiše kao procenat krajnjih korisnika koji su pokriveni mrežom datog provajdera servisa i koji postaju pretplatnici odnosno korisnici datih servisa (stopa penetracije korisnika na definisanom području). Kao rezultat cena infrastrukture (postavljanje optičkih instalacija, prateća elektronska instalacija, povezivanje opreme) se preračunava za sve korisnike u datoj oblasti iako se povraćaj sredstava može obezbediti jedino od korisnika koji postanu pretplatnici. Sistemi se implementiraju u urbanoj sredini sa 2100 korisnika/km² tj. n=2100) [7]. Naime, u analizi posmatramo jednokanalni i višekanalni sistem u gradskoj oblasti, gde je cena implementacije sistema znatno viša u poređenju sa manje naseljenim oblastima.

Na slici 2 je prikazana cena sistema po krajnjem korisniku u slučaju da je penetracija krajnjih korisnika 50%. Kao što je i očekivano višekanalna EPON arhitektura ima veću cenu implementacije od 1.7 puta u poređenju sa jednokanalnim EPON sistemom. Naime, cena implementacije višekanalnog WDM EPON sistema je 1998\$ naspram 1165\$ koliko iznosi cena implementacije jednog korisnika u jednokanalnom sistemu. S obzirom da broj korisnika servisa znatno utiče na cenu sistema i verovatnoću njegove implementacije, na slici 3 je prikazana cena po krajnjem korisniku u oba modela za različite vrednosti penetracije.

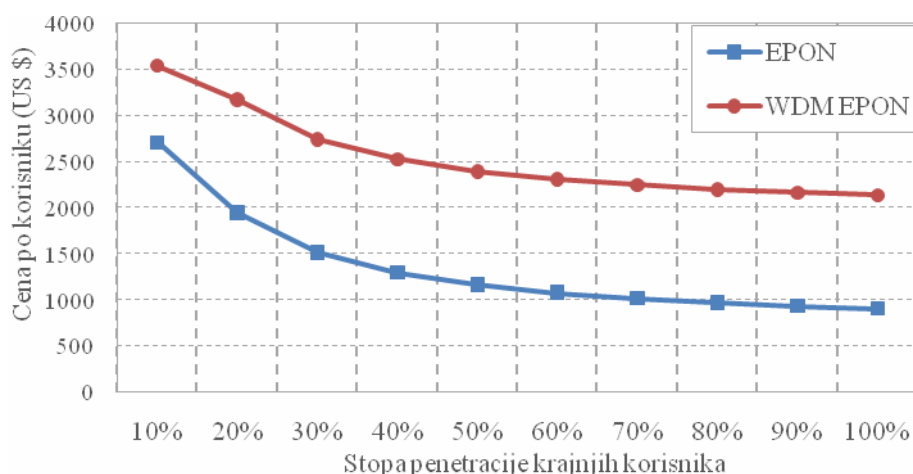


Slika 2. Cenu po krajnjem korisniku u US\$ u slučaju penetracije krajnjih korisnika 50%

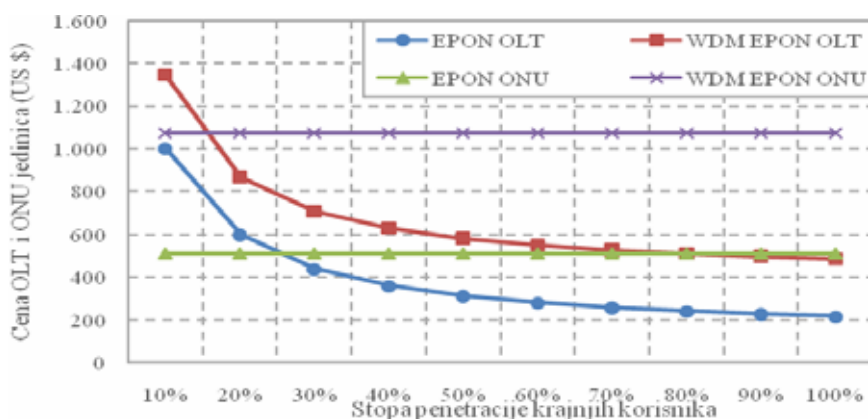
Analiza prikazana na slikama 3 i 4 pokazuje da najveći uticaj na cenu sistema imaju cene OLT i ONU jedinica jer se cene ostalih komponenti sistema kao što su postavljanje optičkog kabla, kablovi, infrastruktura veoma malo razlikuju za oba modela.

Naime, kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju u FWPBA modelu svaka ONU jedinica treba da podrži prenos na višestrukim talasnim dužinama pa cena ONU jedinice znatno više utiče na cenu sistema nego u analizama prezentovanim u [6, 8]. Pored toga, cena ONU jedinice je konstantna (slika 4) i ne zavisi od stope penetracije odnosno broja uključenih korisnika dok u slučaju OLT jedinice to nije slučaj. Naime, početna cena OLT jedinice po korisniku zavisi od broja korisnika tj. svi elementi jedne OLT jedinice učestvuju u ukupnoj ceni, tako da se vrednost po korisniku smanjuje sa povećanjem broja korisnika, slika 4. Pri maksimalnoj penetraciji cena WDM EPON OLT jedinice je 2.2 puta veća od cene EPON OLT jedinice.

Sledeći parametar koji je neophodno analizirati kako bi se utvrdila isplativost implementacije višekanalnog sistema je količina propusnog opsega koju je moguće isporučiti krajnjim korisnicima jer od toga direktno zavisi koliko i koje aplikacije i servise operator može da ponudi korisnicima.



Slika 3. Cenu po krajnjem korisniku u US\$ u slučaju različitih stopa penetracije



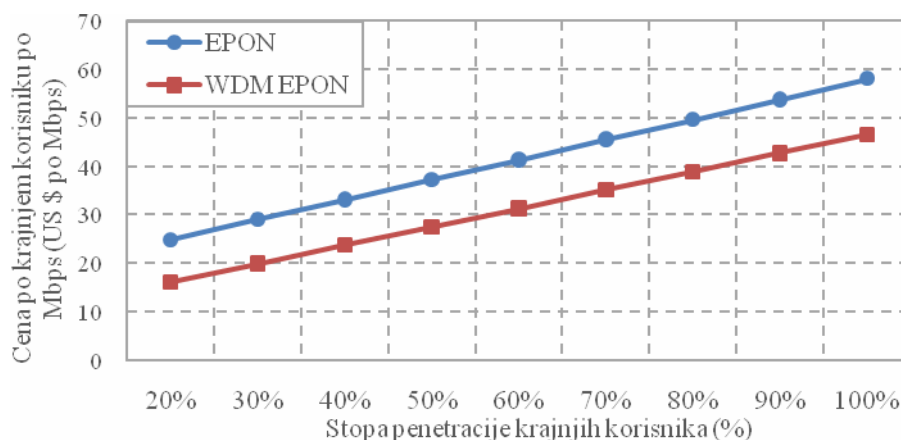
Slika 4. Cena OLT i ONU jedinica u zavisnosti od stope penetracije

Kao što je utvrđeno prethodnom analizom višekanalni sistem ima veću cenu po krajnjem korisniku ali on istovremeno omogućava isporuku najvećeg propusnog opsega

krajnjim korisnicima. Naime, u slučaju penetracije krajnjih korisnika od 100% ('najkritičniji' mogući scenario po pitanju raspodele i obezbeđivanja propusnog opsega korisnicima jer svi korisnici na posmatranom području postaju korisnici servisa) višekanalni sistem je u stanju da obezbedi i garantuje brzinu od 100Mbps krajnjim korisnicima i u *upstream* i u *downstream* smeru, dok jednocanalni HG(PBS) sistem može da obezbedi brzinu od 31.25Mbps [2, 4]. Pri tome višekanalni EPON može da obezbedi u potpunosti simetričan servis krajnjim korisnicima. Radi procene troškova implementacije sistema potrebno je definisati novi parametar 'Cena po krajnjem korisniku po Mbps' koji se izračunava kao:

$$\text{Cena po korisniku po Mbps} = \frac{\text{Cena po korisniku}}{\text{Prosečan propusni opseg po korisniku}}$$

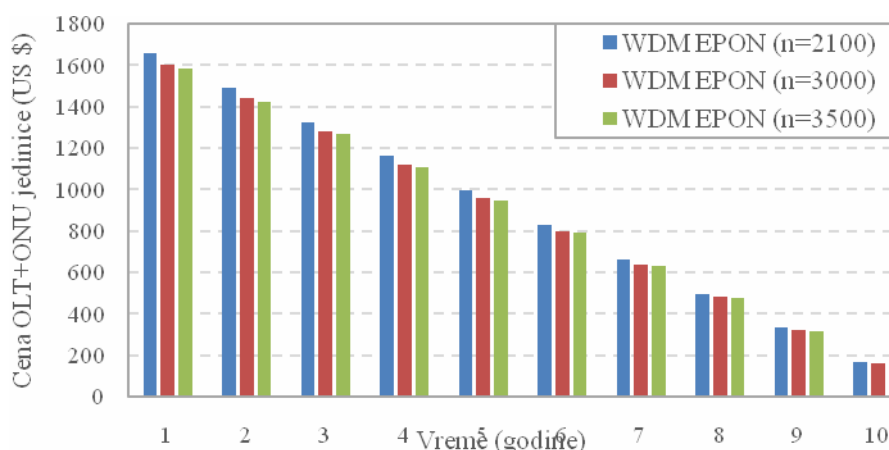
Na slici 5 je prikazana cena po korisniku po Mbps u predloženim modelima u zavisnosti od stope penetracije odnosno broja korisnika u sistemu. Iako je cena višekanalnog EPON sistema veća od jednocanalnog sistema, 'cena po korisniku po Mbps' je za oko 20-30% manja u višekanalnom EPON sistemu. Naime, cena implementacije krajnjeg korisnika po Mbps, pri maksimalnoj stopi penetracije u urbanoj sredini, u slučaju višekanalnog modela iznosi 58\$/Mbps u poređenju sa 46.5\$/Mbps u slučaju implementacije jednocanalnog modela. Ovo je pokazatelj koji potvrđuje da bez obzira na inicijalne troškove vezane za prelazak sa TDM EPON na WDM EPON sistem operatori imaju podsticaj da pređu na novi sistem jer sa njegovom implementacijom mogu da ponude znatno veći propusni opseg korisnicima i samim tim i različite nove servise što će rezultovati povećanjem profita.



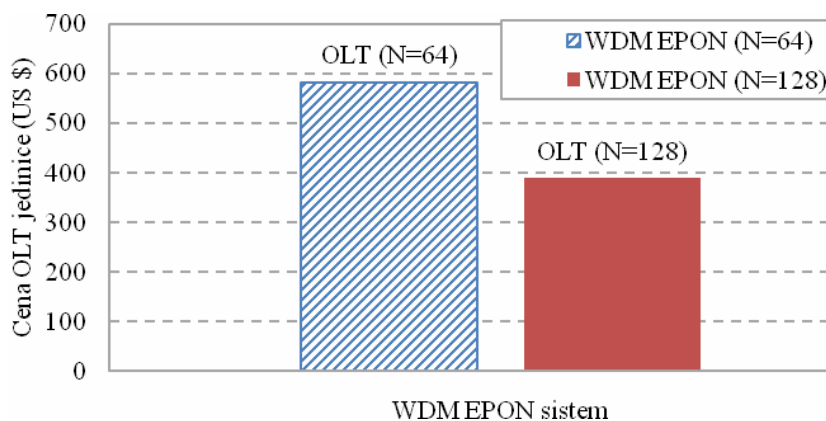
Slika 5. Cena po krajnjem korisniku po Mbps (US\$)

Analize koje su prethodno prikazane uzimaju u obzir sadašnje cene komponenti ali nakon povećanja broja korisnika i masovnije implementacije višekanalnih sistema realno je očekivati smanjenje cena osnovnih komponenti. Naime, kao i kod ostalih tehnologija koje se implementiraju u mreži za pristup (različite DSL tehnologije, kablovski sistemi, WiFi) masovna implementacija praćena je tehnološkim napretkom što rezultuje smanjenjem ceni komponenti a samim tim i uređaja. Ovaj efekat je u literaturi poznat kao *learning curve* [6,8] i pretpostavlja smanjenje ukupne cene sistema od 10% na godišnjem nivou, slika 6.

Kao što je i očekivano cena optičkih jedinica opada sa vremenom što ide u prilog budućoj implementaciji višekanalnih sistema s obzirom da je očekivano da će u narednim godinama broj korisnika i dalje rasti. Pored toga višekanalni sistem može da se implementira i u slučaju deobnog odnosa od 1:128 (slika 7) što bi takođe uticalo na ukupnu cenu sistema i ekonomski opravdalo prelazak na višekanalni sistem. Sa povećanjem deobnog odnosa i za penetraciju korisnika od 50%, cena OLT jedinice opada 1.5 puta, a cena ukupnog sistema po CAPEX-u (*Capital expenditure*) opada 1.1 puta što predstavlja značajno smanjenje troškova i opravdava uvođenje WDM tehnologije u pristupnu mrežu.



Slika 6. Cene OLT i ONU komponenti u zavisnosti od broja korisnika i vremena



Slika 7. Cena OLT jedinice (US \$) u zavisnosti od deobnog odnosa

4. Zaključak

U prezentovanoj tehnokonomskoj analizi prikazani su i analizirani parametri vezani za implementaciju jednokanalnih i višekanalnih EPON mreža. Rezultati analize pokazuju da su jednokanalni EPON sistemi isplativiji za implementaciju na terenu s obzirom da je cena optičkih komponenti u slučaju njihove implementacije niža. Pored toga jednokanalni EPON sistem je u potpunosti standardizovan i uz dodavanje odgovarajućih algoritama (*Inter/Intra* ONU raspoređivanje) može da podrži kvalitet servisa. U slučaju implementacije višekanalnog EPON sistema kompleksnost optičkih jedinica bi porasla (dodavanje filtera i novih predajnika u svaku

OLT i ONU čini sistem skupljim i po CAPEX-u (*Capital expenditure*) i po OPEX-u (*Operational expenditure*). Međutim, implementacija višekanalnog sistema koji bi bio nadogradnja postojećeg jednokanalnog sistema omogućila bi povećanje propusnog opsega koji može da se isporuči krajnjim korisnicima, ekspanziju različitih multiservisnih aplikacija i značajno bolji kvalitet servisa u poređenju sa jednokanalnim sistemom. Predloženi FWPBA WDM EPON model bi mogao da se implementira po potrebi, pa bi s obzirom na trenutnu višu cenu sistema mogao da se u prvoj fazi implementira za poslovne korisnike a zatim i za rezidencijalne. Pored toga, analiza pokazuje da će, imajući u vidu cenu po korisniku po Mbps i neminovno opadanje cene opreme sa vremenom usled tehnološkog razvoja, implementacija višekanalnog sistema postati izbor sve većeg broja provajdera servisa jer višekanalni sistem omogućava operatorima da isporuče znatno veću količinu propusnog opsega krajnjim korisnicima i razviju u potpunosti multiservisno okruženje.

Literatura

- [1] OECD Telecom and Internet Reports. (2011). National Broadband Plans [Online]. Available: <http://www.oecd.org/dataoecd/22/41/48459395.pdf>
- [2] M. Radivojevic and P. Matavulj, *The Emerging WDM EPON*. Academic mind, Belgrade, Serbia, 2012.
- [3] Cisco systems. (2011). Forecast and Methodology, 2010-2015 [Online]. Available: http://www.cisco.com/en/US/netso/ns827/networking_solutions_white_papers_list.html
- [4] M. Radivojevic, and P. Matavulj, "Implementation of Intra-ONU Scheduling for Quality of Service Support in Ethernet Passive Optical Networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol.27, no.18, pp. 4055-4062, Sept. 2009.
- [5] M. Radivojević, and P. Matavulj, "Novel Wavelength and Bandwidth Allocation Algorithms for WDM EPON with QoS Support," *Photonic Network Communications*, vol. 20, no. 2, pp. 173-182, Oct. 2010.
- [6] L. Wosinska, C. M. Machuca, and M. Jaeger, "Cost vs. reliability performance study of fiber access network architectures," *IEEE Comm. Mag.*, pp. 56- 65, Feb. 2010.
- [7] D. Dodman. (2009, April 2). Urban density and climate changes [Online]. Available: <http://www.unfpa.org/webdav/site/global/users/schensul/public/CCPD/papers/Dodman%20Paper.pdf>
- [8] C. Bhagat, K. Raje, R. Shetye, and A. Vaity C. (2011, May 2). Technological and cost-based comparison of next generation PON technologies: 10GPON and WDM PON [Online]. Available: <http://morse.colorado.edu/~tlen5710/11s/11PON.pdf>

Abstract: *In recent years Ethernet Passive Optical Network (EPON) has imposed itself as efficient solution for the realization of high speed, modern broadband access networks. EPON can be realized as single-channel communication system or multichannel communication system in which wavelength division multiplexing (WDM) technology is implemented. Analysis and comparison of these solutions, both from the technological and economic aspects is essential for operators in order to define further development of their access networks. In this paper, a techno-economic analysis of single-channel and multichannel systems has been done with special emphasis on the relationship between the offered EPON bandwidth / network costs.*

Keywords: *Ethernet passive optical network (EPON), wavelength division multiplexing passive optical network (WDM PON), techno-economic analysis.*

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF SINGLE-CHANNEL AND MULTICHANNEL EPON

Mirjana Radivojević and Petar Matavulj