

## TEHNOEKONOMSKO POREĐENJE MOGUĆIH REŠENJA ZA PRELAZAK SA GPON NA NG-PON MREŽE

Petar Matavulj<sup>1</sup>, Marija Mraković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

<sup>2</sup>Telekom Srbija a. d., Beograd

**Sadržaj:** *GPON (Gigabit Passive Optical Network) je optička pristupna tehnologija koja je u ovom trenutku najpopularnija i od koje se mnogo očekuje u budućnosti. Rad na razvoju sledeće generacije GPON mreža (NG-PON - Next Generation PON) je u toku, a u skladu sa navedenim zahtevima i ciljevima koje one treba da ostvare, izdvojilo se nekoliko arhitektura koje predstavljaju načine na koje se mogu realizovati. Analiza i poređenje ovih rešenja sa stanovišta ekonomske isplativosti je od ključnog značaja za operatere da bi mogli da definišu pravi trenutak za prelaz na GPON mreže sledeće generacije. U ovom radu je prikazana tehnoeekonomska analiza nekih od ovih mogućih rešenja.*

**Ključne reči:** *Gigabitne pasivne optičke mreže (GPON), NG-PON, optičke pristupne mreže, tehnoeekonomska analiza*

### 1. Uvod

GPON u ovom trenutku predstavlja jednu od najbržih pristupnih tehnologija. Međutim, zbog kontinualnog razvoja novih servisa u telekomunikacionim mrežama koji nagoveštava dalje povećanje potreba za propusnim opsegom u pristupnoj mreži započeo je rad na razvoju sledeće generacije GPON mreža - NG-PON. U skladu sa novim planom razvoja sistema sledeće generacije koji je uspostavio FSAN (*Full Service Access Network*), NG-PON sistemi su podeljeni u dve kategorije, tj. faze razvoja: NG-PON1 i NG-PON2. Prva faza ovog razvoja (NG-PON1) je u toku i ima za cilj definisanje sistema koji treba da obezbede četvorostruko povećanje protoka po korisniku u odnosu na postojeće GPON sisteme a koji mogu da koegzistiraju sa postojećim GPON mrežama, da bi se obezbedila postepena migracija sa starih na nove GPON sisteme. ITU-T je početkom 2010. godine izdao i prve ITU-T preporuke serije G.987 koje definišu ove sisteme.

Imajući u vidu velike investicije u optičku infrastrukturu pri prelasku sa bakarnih mrežnih rešenja na FTTH (*Fiber to the Home*), za operatere koji su počeli sa implementacijom GPON tehnologije, važno je definisanje migracionog puta koji omogućava punu iskorišćenost i poboljšane performanse instalirane optičke infrastrukture

i u budućnosti, korišćenjem novih tehnologija [1]. Pri tome najvažniji problem predstavlja određivanje najboljeg trenutka za prelaz sa GPON na NG-PON1 sisteme i načina ostvarivanja ovog prelaska koji je optimalan za posmatranu postojeću mrežu.

S obzirom na činjenicu da se prilikom ovog prelaska maksimalno iskorišćava postojeća ODN (*Optical Distribution Network*) mreža, prelazak na NG-PON1, tj. trenutak prelaska, zavisi od cene novih OLT (*Optical Line Terminal*) i ONT (*Optical Network Terminal*) uređaja. Pošto ovi uređaji još nisu komercijalno dostupni, u ovom radu je procenjena vrednost nove aktivne opreme na osnovu analize komponenata koje će se razlikovati od postojećih, u zavisnosti od primenjenog rešenja.

Postoji više načina na koje se u okviru NG-PON1 mreža može postići četverostruko povećanje kapaciteta u odnosu na postojeće GPON sisteme [2]. U ovom radu su razmatrana dva rešenja koja će imati najveću primenu u praksi: *overlay* PON i čisti 10G-PON.

U nastavku rada, poglavlja su organizovana na sledeći način: u poglavlju 2 su opisane faze razvoja NG-PON1 sistema, u poglavlju 3 su predstavljene dve mrežne arhitekture koje se razmatraju u ovom radu i analizirane su potrebne karakteristike elemenata neophodnih za njihovu realizaciju; poglavlje 4 je posvećeno ekonomskoj analizi predloženih rešenja, dok su zaključci sumirani u poglavlju 5.

## 2. Evolucioni put ka NG-PON1 sistemima

Postoji više načina na koje migracija sa postojećih na NG-PON1 sisteme može da se ostvari. Konkretno scenario za koji će se neki operater odlučiti zavisi od zahteva korisnika, u skladu sa ponuđenim servisima. Pretpostavlja se da će u najvećem broju slučajeva postepeni prelazak započeti tako što će operater početi da nudi servise sa poboljšanim mogućnostima, korišćenjem NG-PON. Neki od postojećih GPON korisnika će biti zainteresovani za takve poboljšane servise i njih će operater prebaciti na NG-PON, dok će ostali korisnici koji su trenutno zadovoljni postojećim uslugama ostati na GPON mreži. U ovom slučaju koegzistencija GPON i NG-PON bi mogla da traje veoma dugo, mada postoji i mogućnost da posle određenog vremenskog perioda, kada broj NG-PON korisnika postane mnogo veći od preostalih GPON korisnika, operater obavi tzv. "prisilnu migraciju", tj. da prebaci i sve preostale GPON korisnike na NG-PON.

U okviru NG-PON1 razmatra se više različitih tehnoloških opcija kojima se uz gornji uslov može omogućiti povećanje kapaciteta u odnosu na GPON sisteme. Među njima su najvažnija rešenja sa paralelnim prenosom po istom optičkom vlaknu (tzv. *overlay*) više GPON sistema. Osim ovih metoda kojima se povećanje brzine i/ili kapaciteta obavlja u postojećim GPON mrežama koje imaju nominalne brzine prenosa od 2,5 Gb/s [3], u okviru NG-PON1 su definisani i novi GPON sistemi sa linijskim brzinama od 10 Gb/s bar u *downstream* (DS) smeru prenosa (ka korisniku) koji su nazvani XG-PON, pri čemu X označava rimski broj 10. Kod XG-PON sistema opcije za brzine prenosa u *upstream* (US) smeru (od korisnika) su 2,5 Gb/s i 10 Gb/s u zavisnosti od planiranih aplikacija, cene i raspoloživosti potrebnih uređaja/komponenti. U zavisnosti od brzine prenosa u US smeru XG-PON sistemi se dele na XG-PON1 (asimetrični NG-PON1 koji radi na nominalnim brzinama prenosa od 10 Gb/s DS i 2,5 Gb/s US [4]) i XG-PON2 (simetrični NG-PON1 koji podržava 10 Gb/s i u DS i u US smeru prenosa).

### 3. Arhitekture razmatranih mrežnih rešenja

U skladu sa zahtevima i ciljevima koje NG-PON1 mreže treba da ostvare, izdvojilo se nekoliko arhitektura koje predstavljaju načine na koje se one mogu realizovati. Definisane samo jednog tipa arhitekture je nemoguće zbog zahteva za koegzistencijom sa postojećim GPON sistemima. Potencijalni načini realizacije ovih mreža se razlikuju u *brownfield* (postojeće mreže) i *greenfield* (nove mreže) slučajevima, a osim toga zavise i od potreba za brzinama u US smeru prenosa, kao i očekivane dinamike prema kojoj će postojeći GPON sistem koji se nadograđuje potpuno preći na NG-PON1. U ovom radu ćemo se fokusirati na dva rešenja koja će najverovatnije biti najpopularnija: paralelni prenos više 2,5 Gb/s sistema po jednom optičkom vlaknu i čisti 10G-PON (XG-PON1).

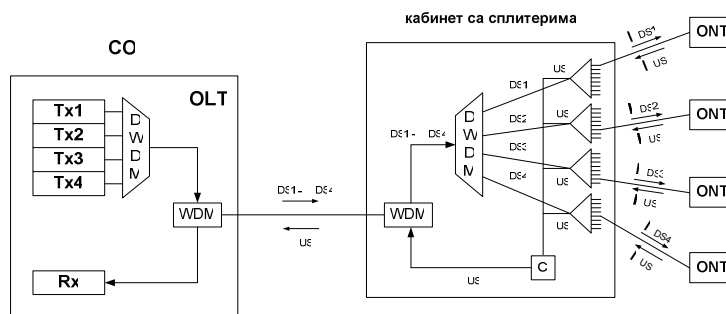
Da bi se ova rešenja mogla analizirati i uporediti potrebno je definisati, za svaki od njih, najvažnije komponente aktivnih uređaja koje se razlikuju od GPON, kao i proceniti koliko bi te različite karakteristike mogle uticati na povećanje cene uređaja.

#### *GPON sa podelom DS opsega talasnih dužina (overlay)*

Ovo je način nadogradnje postojećih GPON mreža u kome se povećanje GPON opsega namenjenog svakom korisniku obezbeđuje smanjenjem broja korisnika tog GPON. Pri tome se u DS smeru prenosa koriste višestruke nezavisne talasne dužine preko WDM-a (*Wavelength Division Multiplexing*) da bi se povećao kapacitet mreže, dok se prenos u US smeru ostavlja neizmenjen. Od svih korisnika jedne GPON mreže formira se nekoliko manjih grupa i u svakoj se DS prenos obavlja na različitoj talasnoj dužini a preko iste ODN (slika 1) [5, 6]. Na taj način se svi ONT koji pripadaju jednom GPON sistemu mogu posmatrati kao nezavisne virtualne grupe: u tipičnom slučaju sa 32 ONT formiraju se 4 virtualne grupe od kojih svaka radi na DS brzini od 2,5 Gb/s i napaja 8 ONT. Svi krajnji korisnici su sada prebačeni sa fizičkog deobnog odnosa od 1:32 na logički deobni odnos od 1:8. U okviru GPON DS opsega od 1480-1500 nm se korišćenjem DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) tehnike zbog uskog raspoloživog opsega, uz izbor rastojanja kanala od 200 GHz, mogu formirati četiri podopsega za prenos četiri 2,5 Gb/s GPON signala preko iste ODN [7]. Time se dobija četverostruko povećanje brzine po korisniku (u proseku sa nominalnih 75 Mb/s na 300 Mb/s) koje čini sve postojeće ONT kompatibilnim sa sledećom generacijom GPON sistema.

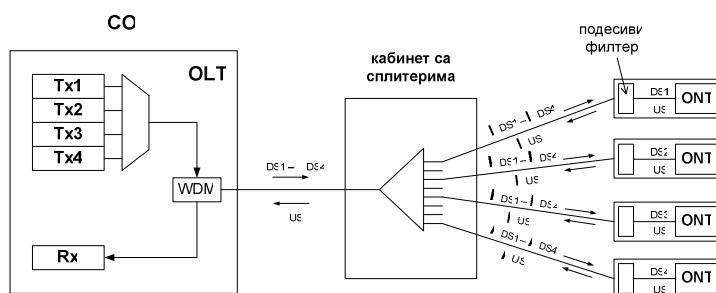
Pošto se sve četiri DS talasne dužine nalaze unutar optičkog prozora ONT prijemnika, ONT se ne moraju menjati. Međutim, u ovom slučaju je za razdvajanje DS saobraćaja koji pripada različitim grupama potrebno korišćenje DWDM filtera. Oni se mogu staviti u svaki ONT ili što je još ekonomičnije, mogu da se stave u hibridni spliter da bi dozvolili samo jednom od 4 GPON signala da prođe ka određenom ONT, tj. grupi ONT koji koriste tu DS talasnu dužinu. Na dizajnu hibridnog splitera se još radi, a on se prilikom izgradnje GPON mreže u početku može koristiti kao običan spliter a kada se ukaže potreba za nadogradnjom sistema može se konfigurisati da radi kao kombinovani spliter/WDM filter [8]. ONT mogu da primaju DS signal bez ikakvih modifikacija, pa se ovom arhitekturom izbegava njihova skupa zamena. Ovakvo rešenje zahteva nadogradnju postojećih OLT sa uređajima novog tipa koji imaju četiri DS predajnika i jedan US

prijemnik [9]. U US smeru prenosa, sve ostaje isto kao kod GPON, tj. brzina prenosa na US linku je 1,244 Gb/s na 1310 nm talasnoj dužini, a dele ga svi ONT te GPON mreže.



Slika 1. GPON sa podelom DS opsega talasnih dužina

Druga varijanta hibridnog WDM pristupa je postavljanje podesivih filtera u ONT (slika 2) [6]. Ovaj pristup je fleksibilniji jer dodela četiri talasne dužine može biti dinamički preraspodeljivana. Međutim, dodavanje ovih filtera u svaki ONT čini ovaj pristup mnogo skupljim i po CAPEX-u (*Capital expenditure*) i po OPEX-u (*Operational expenditure*).



Slika 2. Korišćenje podesivih filtera u GPON sistemima sa podelom DS opsega talasnih dužina

Rad u DWDM podeljenom opsegu u zavisnosti od međukanalnog rastojanja može zahtevati malu toleranciju korišćenih talasnih dužina lasera (za međukanalna rastojanja reda veličine 1 nm). Ovaj zahtev predstavlja problem za realizaciju i kontrolu temperature za DFB (*Distributed Feedback*) lasere [7]. Međutim, ako bi se kod ovog rešenja u postojećoj GPON mreži formirale četiri grupe, tj. podsistema (a ne više), dobili bi se podopsezi od oko 5 nm (srednja gustina kanala) koji su malo širi od kritičnih i koji se mogu realizovati i sa sadašnjim tehnologijama uz zadovoljavajuću cenu.

Kada su WDM filteri u pitanju, najrasprostranjenije tehnologije za njihovu realizaciju koriste filtere tankog filma (TFF - *Thin Film Filter*) koji mogu biti napravljeni tako da odgovaraju praktično bilo kojim potrebnim prenosnim karakteristikama. Međutim, za pristupne mreže osetljive na cenu postoje neka ograničenja u dizajnu ovih

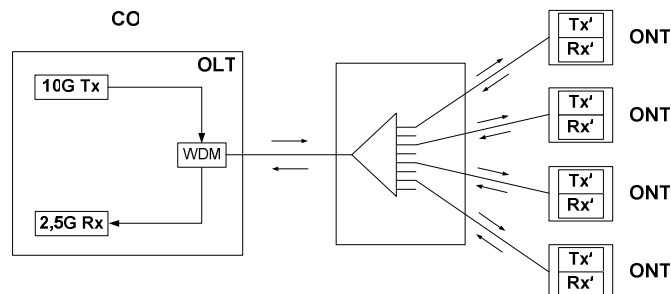
filtera. Ostvarivanje strmijih ivica prenosne karakteristike filtera je jedva moguće po prihvatljivim cenama, posebno za uglove ispod 45 stepeni, što je potrebno za korišćenje unutar optičkih primopredajničkih modula. Korišćenje filtera koji omogućavaju strmije ivice smanjilo bi potrebu za uskim zaštitnim opsezima čime bi se u budućnosti poboljšalo iskorišćenje raspoloživog propusnog opsega.

### *XG-PON1*

XG-PON1 sistemi se, tehnički gledano, posmatraju kao GPON veće brzine, koji rade na nominalnim brzinama prenosa od 10 Gb/s DS i 2,5 Gb/s US. Asimetrija protoka od 1:2 u GPON je povećana na 1:4 u XG-PON1, uglavnom zato što su uzeti u obzir argumenti operatera da je u GPON sistemima US kapacitet kanala previsok u poređenju sa DS kapacitetom. Pored toga, očekuje se da cena 2.5 Gb/s ONT predajnika koji rade u burst režimu bude nešto niža nego za 5 Gb/s ili 10 Gb/s US rešenja, što u ovom trenutku još ostaje da se potvrdi na komercijalnom nivou [10]. XG-PON standardi G.987, G.987.1 i 987.2 su kompletirani u septembru 2009. godine. Nakon faze verifikacije, u prvoj polovini 2010. godine su objavljene preporuke G.987 (definicija XG-PON sistema), G.987.1 (generalni zahtevi) i G.987.2 (specifikacije fizičkog - PMD (*Physical Medium Dependent*) sloja). Primena standarda se očekuje oko 2012. godine.

Među mnogim izazovima koji se javljaju pri 10 Gb/s prenosu u PON sistemima najznačajniji je zahtev da se održi rad u TDMA (*Time Division Multiple Access*) burst režimu rada u US smeru prenosa. Optički prenos u burst režimu je uvek bio važno pitanje u PON sistemima, a što su brzine prenosa veće, on je teže ostvarljiv. Značajnije tehnološke prepreke u praktičnoj realizaciji OLT prijemnika koji rade u burst režimu pojavljuju se pri prenosu na i iznad 5 Gb/s [9]. Zbog ograničenja postojećih komponenti mnoge postojeće tehnike formiranja potrebnih optičkih elemenata postaju nepraktične iznad 5 Gb/s [5]. Ključni problemi se odnose na obezbeđivanje blagovremenog i tačnog podešavanja praga odluke (*decision threshold*). Najnovija istraživanja na polju burst prijemnika velikih brzina za sada obećavaju da će ova ograničenja moći da se prevaziđu. Međutim rok za komercijalizaciju takvih uređaja nije još definisan.

Prilikom analize predloga za bilo koju novu arhitekturu GPON mreže posebno je važno da ONT uređaji, zbog njihovog velikog broja, koriste komponente niskih cena. ONT uređaji su najosetljiviji na povećanje cene elektronike koja je posledica povećanja njihove kompleksnosti, jer se ona ne raspodeljuje na veći broj korisnika kao kod OLT, već se množi sa njihovim ukupnim brojem. Pošto na jedan OLT uređaj koji sadrži više ploča sa GPON portovima može biti povezano na stotine ONT, izuzetno je važno održavanje cene ONT-a tj. sprečavanje njenog drastičnog povećanja. Ključni element u držanju niže cene ONT je jeftin optički primopredajnik, a 10G-PON primopredajnici koji mogu da prenose 10 Gb/s US su znatno skuplji od onih sa US brzinama od 2.5 Gb/s i 1.25 Gb/s. Zbog navedenih problema, XG-PON1 kao prva NG-PON1 arhitektura sa nadgradnjom na čisti 10 Gb/s prenos koristi 10 Gb/s prenos samo u DS smeru, dok u US smeru radi na 2,5 Gb/s (slika 3). Ova arhitektura je takođe TDM (*Time Division Multiplexing*) sistem i u DS i u US smeru prenosa. U DS smeru prenosa svi ONT dele jedan 10 Gb/s link.



Slika 3. XG-PON sa 10 Gb/s u DS smeru prenosa i 2.5 Gb/s u US smeru prenosa

Pošto XG-PON mreže rade na 2,5 Gb/s u US smeru prenosa, za potrebe realizacije prijelnika biće potrebno povećanje brzine rada CDR (*Clock and Data Recovery*) kola za oporavak takta/podataka koja rade u burst režimu. CDR kola u OLT-u obezbeđuju vrlo brz oporavak takta i podataka da bi se smanjio *overhead*. Međutim, pri radu na većim brzinama CDR kola daju veći džiter i imaju veću potrošnju energije. Razvoj CDR kola koja rade u burst režimu na 2.5 Gb/s je u toku.

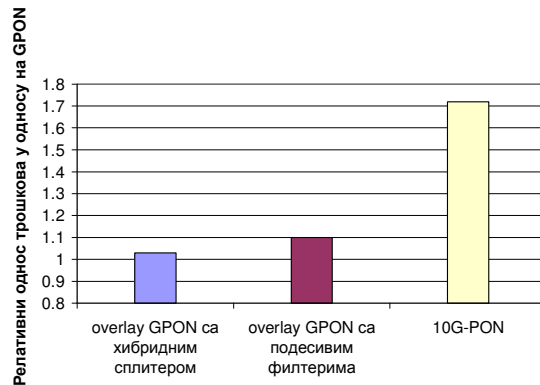
#### 4. Ekonomska analiza predloženih rešenja

Cilj ovog rada je tehnokonomsko poređenje prelaska sa postojećih na nove GPON sisteme, dakle slučajevi u kojima pasivna optička infrastruktura već postoji, dok se *greenfield* implementacije ne razmatraju. Zato se u tehnokonomskoj analizi cena izgradnje pasivne optičke infrastrukture ne uzima u obzir. Svi proračuni dati u ovom poglavlju obavljani su uz pretpostavku da deobni odnos koji se koristi u jednom postojećem GPON sistemu iznosi 1:32.

Analiza cena aktivne opreme za sve tri razmatrane NG-PON1 arhitekture, kao i za postojeće GPON mreže, obavljena je na osnovu trenutnih prosečnih komercijalnih vrednosti postojeće opreme. Razlika u ceni novih elemenata je procenjena na osnovu analize u prethodnom poglavlju:

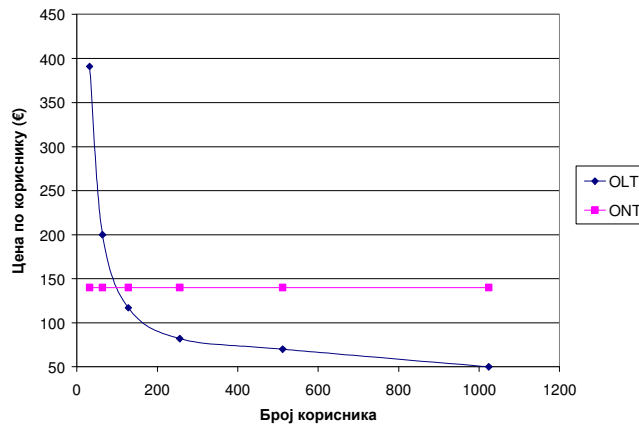
- kod *overlay* rešenja sa korišćenjem hibridnih splitera, uzeto je u obzir povećanje cene OLT usled potrebe za korišćenjem četiri DS predajnika i povećanje cene splitera prema predloženom modelu hibridnog splitera.
- kod *overlay* rešenja sa korišćenjem podesivih filtera u ONT takođe je uzeto u obzir povećanje cene OLT usled potrebe za korišćenjem četiri DS predajnika, a osim toga i povećanje cene ONT usled potrebe za dodavanjem podesivih filtera.
- za analizu čistih 10G-PON rešenja kalkulacije su urađene uz procenu povećanja cene aktivne opreme (OLT za oko 100 % i ONT za oko 60 %) koja je obavljena na osnovu dosadašnjih iskustava po pitanju relativnog povećanja cene kod opreme koja obavlja istu funkciju ali radi na različitim brzinama, tj. sa različitim kapacitetima.

Na slici 4 su prikazani dobijeni rezultati ukupnih troškova dodat/zamenjene aktivne opreme za razmatrane arhitekture u odnosu na cene postojeće GPON aktivne opreme.



Slika 4. *Ekonomsko poređenje NG-PON1 rešenja u odnosu na postojeće GPON sisteme*

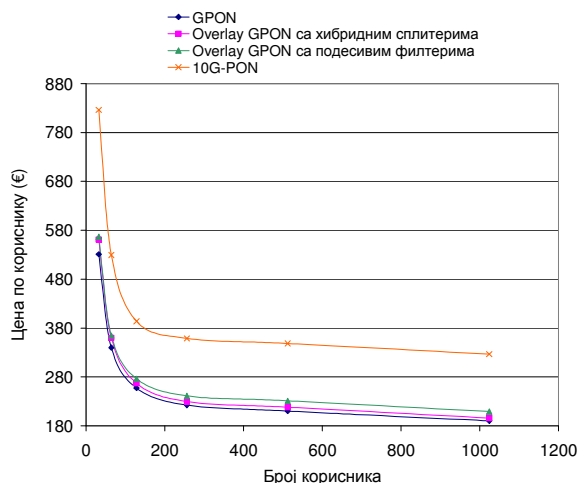
Sa obzirom na činjenicu da početna cena OLT po korisniku zavisi od uključenih korisnika, dok je cena ONT po korisniku naravno konstantna, tj. ne zavisi od broja ukupno uključenih korisnika, važno je i analizirati razliku u troškovima u zavisnosti od broja korisnika u mreži za koje se planira prelazak na NG-PON. Na slici 5 je prikazana ova zavisnost kod sadašnjih GPON sistema, pri čemu su razdvojeni troškovi OLT i ONT. Prilikom izračunavanja cene OLT uzeti su u obzir elementi celog OLT (kabinet, šasija, sve potrebne ploče, napajanje, softver, licence). Većina ovih elemenata sa svojom cenom fiksno učestvuje u velikom rasponu korisnika koji se pokrivaju, tako da se njihova vrednost po korisniku smanjuje sa povećanjem broja korisnika, što utiče i na izgled krive OLT troškova prikazane na slici 5.



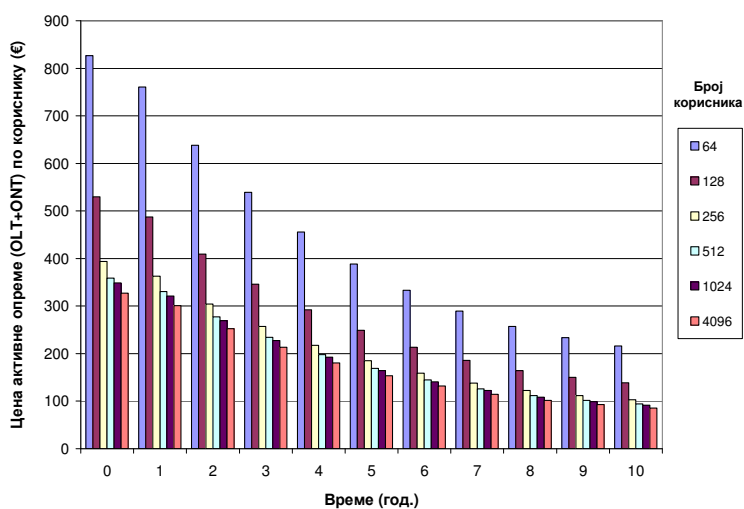
Slika 5. *Zavisnost cene OLT i ONT po korisniku od ukupnog broja korisnika*

Na slici 6 je ova zavisnost troškova od broja korisnika u mreži prikazana zbirno za OLT i ONT i to za GPON sisteme i sva tri slučaja prelaska na NG-PON1 koji se razmatraju u ovom radu. Na osnovu ovih podataka, u konkretnoj mreži uz poznat broj korisnika za koje se analizira isplativost prelaska na NG-PON1, analizom prihoda koji se

očekuju po korisniku u skladu sa servisima koji u konkretnom trenutku postoje i njihovim upoređivanjem sa troškovima prikazanim na grafiku može se proceniti opravdanost migracije.



Slika 6. Zavisnost zbirne cene OLT i ONT po korisniku od ukupnog broja korisnika za razmatrane mrežne arhitekture



Slika 7. Uticaj learning curve pojave na smanjenje troškova prelaska sa GPON na XG-PON sisteme

Međutim, analize koje su do sada prikazane važe samo uz sadašnje vrednosti GPON i ostalih optoelektronskih komponenata. Nakon povećanja masovne implementacije realno je, kao i u svim ostalim tehnologijama do sada (DSL, WiFi...), očekivati postizanje tehnoloških poboljšanja u cilju smanjenja cena osnovnih komponenti



što dovodi do opadanja cena aktivnih uređaja. Ovaj efekat je poznat kao *learning curve* [1, 11] i njegov uticaj primenjen na troškove prelaska na čiste 10G-PON mreže je prikazan na slici 7.

Na osnovu podataka prikazanim na slikama 6 i 7 koje prikazuju porast cene pri prelasku na NG-PON1 i opadanje ukupnih troškova sa vremenom, respektivno, najvažniji zaključak do koga se dolazi je da se može očekivati da vremenski period od dve do tri godine dovede do izjednačavanja cene NG-PON1 aktivne opreme sa cenom GPON aktivne opreme koja je aktuelna u ovom trenutku.

## 5. Zaključak

Analizom očekivanih troškova za različite scenarije prelaska na NG-PON1 sisteme pokazano je da je pristup sa hibridnim GPON opcija sa nižom cenom jer maksimalno koristi postojeće optičke tehnologije, dok TDM 10G-PON rešenja imaju veće troškove zbog 10G optike koja još nije sasvim razvijena [8]. S obzirom na činjenicu da ODN u posmatranim slučajevima već postoji, razlike u ceni uglavnom potiču samo od razlika u vrednosti aktivne opreme. Međutim, pokazano je da ove razlike nisu velike i da će, imajući u vidu opadanje cena aktivne opreme sa vremenom usled tehnoloških poboljšanja i pojednostavljenja, u vremenu potrebnom za njihov razvoj do početka masovne primene doći do njihovog postepenog smanjenja i relativno brzog dolaska na nivo cena koje u ovom trenutku ima GPON oprema.

Izložena tehnološka rešenja i mrežne arhitekture se tokom vremena mogu nadovezivati jedna na drugu, tj. iz jednih mogu evoluirati druge kada se potrebe za kapacitetima povećaju. Proces nadgradnje postojećih mreža i postepen prelazak na nove sisteme bi se mogao obaviti tako što bi se prvo realizovala hibridna GPON rešenja pošto se mogu realizovati poznatim tehnologijama i mogu biti dostupna i u sadašnjem trenutku. Operater koji danas koristi GPON može lako da razvija svoju mrežu ka visokim propusnim opsezima nadograđivanjem OLT u sistem sa četiri talasne dužine i menjanjem (ili konverzijom) splitera delitelja snage hibridnim spliterima. Nakon određenog vremena, kada 10G optika postane komercijalno isplativa, operater može razviti svoju mrežu na 10G-PON.

## Literatura

- [1] J. Prat, P. Chanclou, R. Davey, J.M. Finochietto, G. Franzl, A.M.J. Koonen, S. Walker, Long-term Evolution of Passive Optical Networks, Proceedings of the 1st international conference on Access networks, article N° 4, 2006.
- [2] M. Mraković, NG-PON1 optičke pristupne mreže i njihova koegzistencija sa postojećim GPON mrežama, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- [3] ITU-T Recommendation G.984 Series, 2003.
- [4] ITU-T Recommendation G.987 Series, 2010.
- [5] J. Zhang, N. Ansari, Y. Luo i dr., Next-Generation PONs: A Performance Investigation of Candidate Architectures for Next-Generation Access Stage 1, IEEE Communications Magazine, vol. 48, pp. 49-57, August 2009.

- [6] S. Wilkinson, Next-generation PON options promise greater bandwidth, White Paper, 2008.
- [7] R. W. Heron, T. Pfeiffer, D. T. van Veen, Technology Innovations and Architecture Solutions for the Next-Generation Optical Access Network, Bell Labs Technical Journal N° 13, Alcatel-Lucent, pp. 163-181, 2008.
- [8] R. Heron, T. Pfeiffer, J. Smith, S. Patel, PON Evolution Strategies for Increased Bandwidth, The FTTH Prism, vol. 5, pp. 27-34, June 2008.
- [9] F. J. Effenberger, H. Mukai, S. Park, T. Pfeiffer, Next-Generation PON - Part II: Candidate Systems for Next-Generation PON, IEEE Communications Magazine, vol. 47, pp. 50-57, November 2009.
- [10] M. Hajduczenia, H. J. A. da Silva, Next-Generation PON - A Quick Look at Current Status, ONTC Prism, vol. 1, November 2009.
- [11] K. Casier, Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Deployment in a Competitive Setting, PhD Thesis, Faculty of Engineering, Ghent University, 2009.

**Abstract:** *GPON (Gigabit Passive Optical Network) is an optical access technology that is currently the most popular and from which much is expected in the future. Work on the development of a next-generation GPON networks (NG-PON) is in progress and in accordance with specified requirements and goals that they need to achieve, several architectures are proposed for their implementation. Analysis and comparison of these solutions from the cost efficiency point of view is critical for operators to be able to define the right time for migration to a next-generation GPON networks. This paper presents a techno-economic analysis of some of these possible solutions.*

**Keywords:** *GPON, NG-PON, optical access networks, techno-economic analysis*

## **TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF PROPOSED NETWORK SCENARIOS FOR GPON TO NG-PON MIGRATION**

Petar Matavulj, Marija Mraković