

MODELOVANJE I SIMULACIJA PASIVNE OPTIČKE MREŽE MODELING AND SIMULATION OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS

Miloš Slankamenac, Miroslav Jugović, Nikola Stojanović, Miloš Živanov, Miodrag Jelić
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Republika Srbija

Sadržaj - Danas postoji povećana potreba za uslugama interneta sa visokim protocima, pouzdanim prenosom govora i visoko kvalitetnom slikom. Optika do kuće, popularno zvana FTTH (fiber to the home), je svakako jedna od tehnologija koja može ispuniti pomenute zahteve. Pasivne optičke mreže, kao najpopularnija FTTH tehnologija, imaju dovoljan propusni opseg za snabdevanje triple-play servisa, odnosno istovremeni prenos glasa, videa i podataka. Dizajn i analiza ovih mreža su vrlo složeni i vremenski zahtevni procesi, i oni su obrađeni u ovom radu. Da bi se temeljno i efikasno to uradilo korišćen je napredni programski alat OptiSystem.

Abstract - Today there is an increased need for internet service with high bandwidth, reliable voice and high-quality images transfer. Fiber to the Home, popularly known as FTTH, is certainly one of the technologies that can meet the aforementioned requirements. Passive optical networks, as the most popular FTTH technology, can provide enough bandwidth to supply triple-play service - simultaneous voice, video and data transfer. Design and analysis of these networks are very complex and time consuming process, and they are discussed in this paper. In order to thoroughly and effectively do so we used an advanced software tool OptiSystem.

1. UVOD

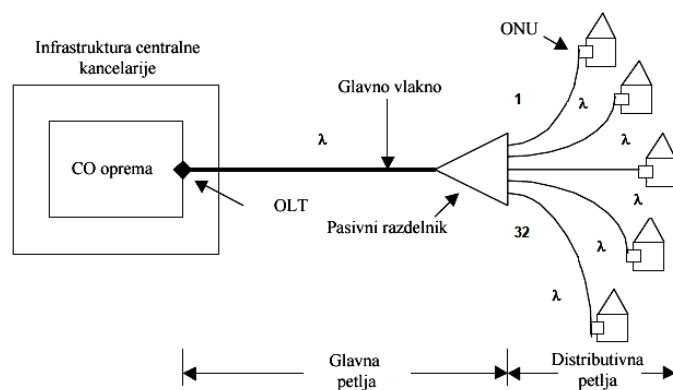
Razmeštaj rezidencijalnog širokopojsnog interneta raste širom sveta. Najrasprostranjenija rešenja širokopojsnog pristupa su digitalna pretplatnička linija (DSL) i javna antenska televizija (CATV, odnosno kablovski internet preko modema). *Wireless* (bežični) za rezidencijalni širokopojsni internet ima takođe mali prikaz. Optika do kuće (FTTH) je relativno nov i brzorazvojni metod pružanja izuzetno visokog propusnog opsega do korisnika i preduzeća [1].

FTTH je isporuka komunikacionih signala preko optičkog vlakna iz centralne kancelarije (CO) direktno do individualnih zdanja kao što su stanovi, apartmanske zgrade i preduzeća, radi obezbeđivanja jedinstvenog pristupa internetu velike brzine.

Pasivne optičke mreže (PON), kao najpopularnija FTTH tehnologija, imaju dovoljan propusni opseg za snabdevanje triple-play servisa, odnosno istovremeni prenos glasa, videa i podataka.

2. ARHITEKTURA PASIVNE OPTIČKE MREŽE

U PON mreži, spoljašnje postrojenje nema aktivnu elektroniku pa zbog toga nije potrebno napajanje. Izgled PON arhitekture prikazan je na slici 1. Pasivni razdelnik replikuje *downstream* (od CO do korisnika) optički signal iz glavnog vlakna na individualna vlakna za prenos, preko maksimalne razdaljine od 20 km, dok sprežac udružuje *upstream* (od korisnika do CO) optičke signale iz individualnih domova na glavno vlakno do jedinice za završetak optičke linije (OLT) [2]. Stoga, u *upstream* smeru se koristi tehnika višestrukog pristupa sa vremenskom raspodelom (TDMA) da bi se izbeglo mešanje signala sa različitim optičkih mrežnih jedinica (ONU).



Slika 1. Pasivna optička mreža – PON

Postoje tri standardizovane verzije PON mreže: Širokopojsni PON (BPON), Ethernet PON (EPON) i Gigabit PON (GPON). One koriste dve talasne dužine, 1310 nm za *upstream* prenos i 1490 nm za *downstream* prenos. Mnogi provajderi koriste 1550 nm talasnu dužinu da bi isporučili emitovanje analognog videa.

Prednost FTTH PON-a je činjenica da koriste čiste pasivne optičke komponente koje mogu da podnesu žestoke i zahtevne uslove okruženja izvan postrojenja bez potrebe potrošnje energije između CO i korisnika. Jedna od koristi za telekomunikacione operatere je to što mali zahtevi za održavanje ovih pasivnih optičkih komponenti značajno smanjuju troškove poboljšanja i operativnih rashoda.

3. ZAVISNOSTI REZULTATA SIMULACIJE OD PARAMETARA ELEMENATA PON MREŽE

U ovom delu biće prikazani rezultati simulacija modela baziranoga na PON mreži opisanoj u glavi 2. U pitanju je GPON mreža topologije stablo sa dvosmernim prenosom

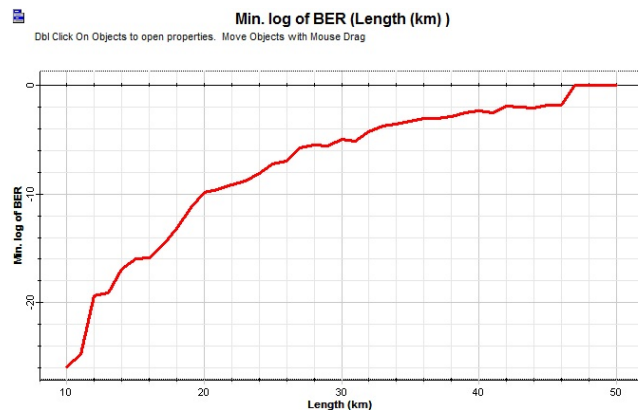
podataka (*downstream* i *upstream*). Obradiće se zavisnosti kvaliteta prenetog signala od nekih parametara elemenata modela sistema. U fokusu će biti zavisnosti od dužine optičkog vlakna u prenosnom delu mreže (ODN) i zavisnosti od bitskog protoka, odnosno brzine prenosa podataka koja se koristi u modelu PON mreže. Modelovaće se GPON mrežu (sl. 2) čije su karakteristike [3]:

- simetrični bitski protok (u oba smera) je 2488 Mbps,
- *downstream* talasna dužina je 1550 nm,
- *upstream* talasna dužina je 1310 nm,
- koristi se monomodno dvosmerno optičko vlakno dužine 20 km (referentne talasne dužine 1550 nm),
- odnos deljenja RN-a je 1:8.

3.1. Kvalitet prenosa signala u zavisnosti od dužine optičkog vlakna u ODN-u

Koristi se model GPON mreže uz dodatak da je urađena 41 iteracija prikazane zavisnosti (menjanjem dužine dvosmernog optičkog vlakna od 10 do 50 km). Ostali parametri GPON mreže u ovom odeljku će ostati nepromenjeni. Urađeno je ispitivanje samo za *upstream* smer jer su rezultati *BER analyser*-a za oba smera (*downstream* i *upstream*) približno isti.

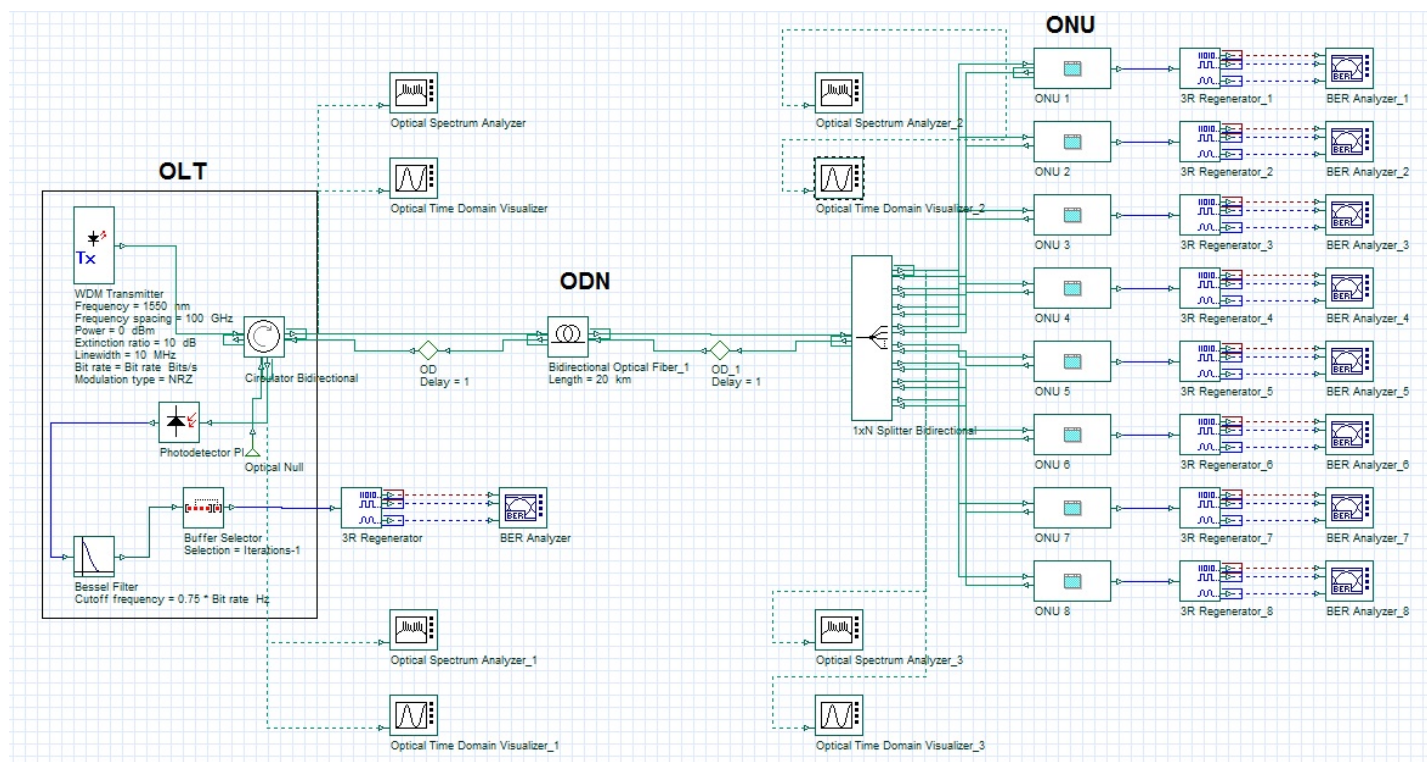
Za referentnu meru kvaliteta prenosa koristiće se minimalna BER vrednost. Zavisnost ove vrednosti od dužine optičkog vlakna u ODN delu PON mreže za *upstream* smer data je na slici 3.



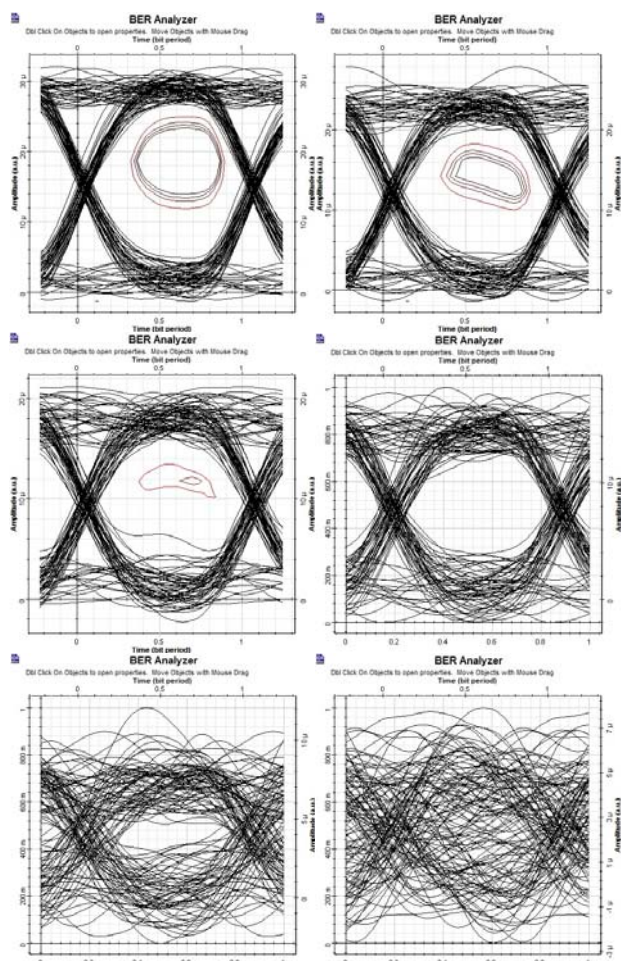
Slika 3. BER u zavisnosti od dužine optičkog vlakna

Na slici 4 dati su „dijagrami oka” za neke od dužina optičkog vlakna kako bi se dobio „osećaj” o kvalitetu prenosa. Zatvorene krive linije predstavljaju sektore BER vrednosti od 10^{-12} do 10^{-8} [4].

Jedan od propisa standarda ITU G.984 za GPON mrežu je maksimalna dozvoljena vrednost BER-a od 10^{-10} . U ovoj simulaciji GPON mreže, za vrednost BER-a od 10^{-10} odgovara dužina optičkog vlakna koja iznosi 20 km (slika 4). Upravo ta dužina optičkog vlakna je i propisana pomenutim standardom kao maksimalna daljina do koje GPON mreža može da dosegne [3].



Slika 2. Modelovana GPON pasivna optička mreža

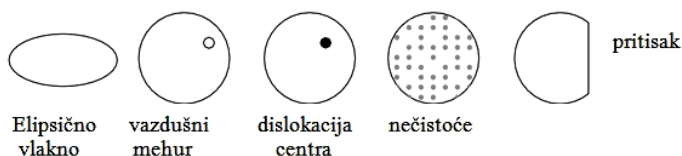


Slika 4. „Dijagrami oka” za dužine optičkog vlakna od 10, 15, 20, 25, 40 i 50 km respektivno

3.2. Polarizaciona disperzija (PMD)

Jedan od efekata koji veoma utiče na domet optičkog prenosa pri velikim bitskim protocima je polarizaciona disperzija ili PMD (Polarization Mode Disperzion - polarizaciona disperzija). Ovaj problem uočen je nedavno, jer ranije nije ometao prenos na nižim bitskim protocima. Sa porastom bitskog protoka uticaj PMD-a eksponencijalno raste.

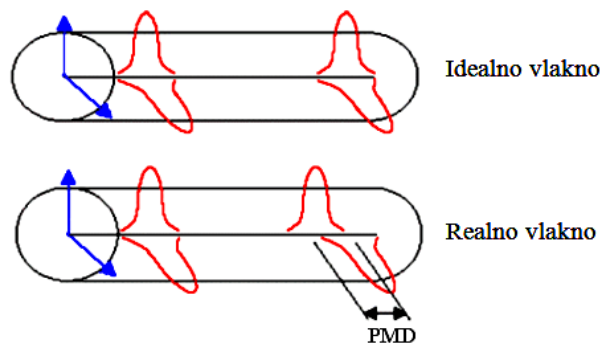
Svetlost je elektromagnetni talas. Kao takav, sam impuls se sastoji od dve komponente u polarizovanim ravnima. Dok se svetlost prostire kroz sredinu, u ovom slučaju optičko vlakno, ona je u konstantnoj interakciji sa njom. Ovo dovodi do stanja da dve komponente impulsa više nisu jednake po intezitetu i smeru što vodi do PMD-a. Na slici 5 prikazane su nepravilnosti vlakna usled kojih dolazi do disperzije.



Slika 5. Nepravilnosti optičkog vlakna usled kojih dolazi do disperzije

Na slici 6 prikazan je uticaj PMD-a. Kao što se vidi, dolazi do kašnjenja jedne komponente impulsa u odnosu na

drugu. Dakle što je prenos duži impuls postaje slabijeg inteziteta i širi i na prijemu dolazi do preklapanja. Ako se uzme u obzir da je pri većim bitskim protocima razmak među impulsima proporcionalno manji, jasno da za veće brzine prenosa uticaj PMD-a postaje bitan ograničavajući faktor pri projektovanju sistema.



Slika 6. Uticaj PMD-a na prenos optičkog impulsa

3.3. Kvalitet prenosa signala u zavisnosti od bitskog protoka

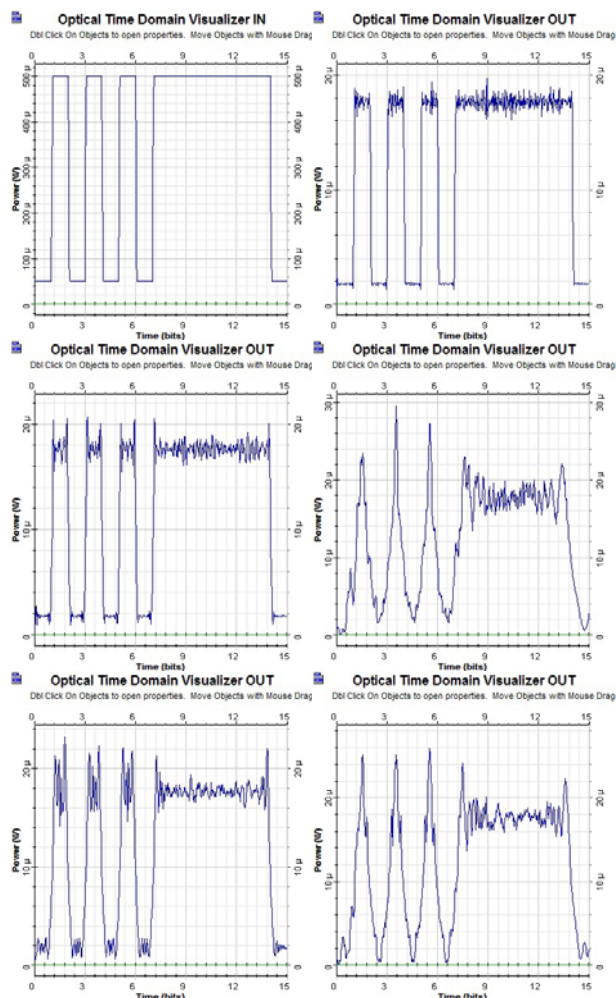
U ovom delu rada biće obrađena zavisnost kvaliteta prenosa od bitskog protoka. Koristićemo modelovanu PON (GPON) mrežu (sl. 2) čija je dužina optičkog vlakna u ODN delu mreže 20 km, za koju smo u odeljku 3.1 ustanovili da je to maksimalna razdaljina propisana standardom ITU G.984 [3].

Uticaj PMD-a biće prikazan pomoću „dijagrama oka” i minimalne BER vrednosti koja će dati okvirnu sliku o kvalitetu prenosa kao i izgledom samih optičkih signala pre i posle prenosa. Signali se posmatraju na komponenti za pregled optičkih signala u vremenskom domenu (*Optical Time Domain Visualizer*) [4]. Posmatraćemo signale samo za *downstream* smer što znači da posmatramo signale pri ulasku u ODN i izlasku iz ODN-a. Odrađene su simulacije za 0.622, 1.244, 2.488, 3, 5, 7, 8, 10, 15 Gbps. U tabeli 1 date su minimalne vrednosti BER-a za odrađene bitske protoke. Sa njih se vidi da maksimalni bitski protok, za vrednost BER-a 10^{-10} koja je propisana standardom ITU G.984, iznosi 2.488 Gbps. Ovaj bitski protok je maksimalan bitski protok propisan istim standardom.

Tabela 1. Vrednosti BER-a za određene bitske protoke

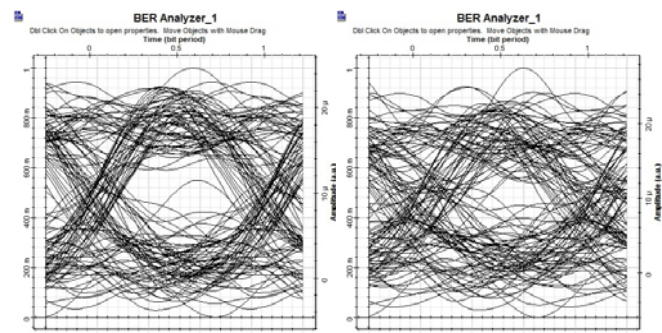
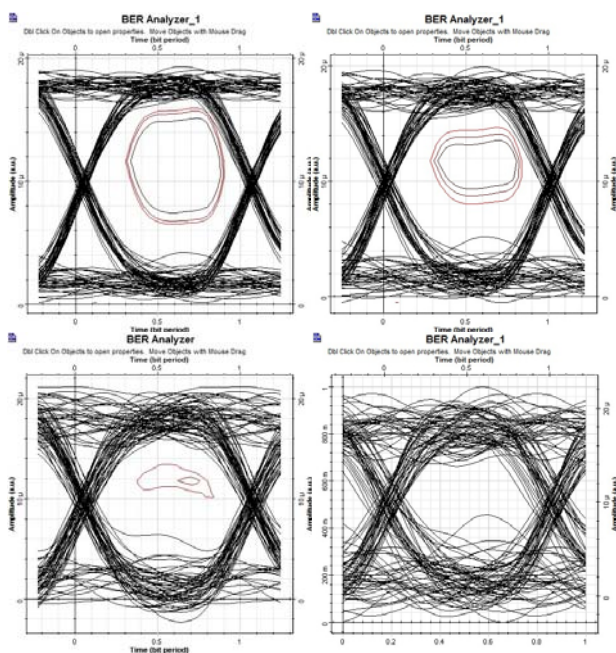
Bitrate (Mbps)	Min BER	Bitrate (Mbps)	Min BER
0.622	$1.74337 \cdot 10^{-38}$	1.244	$2.94449 \cdot 10^{-20}$
2.488	$1.32244 \cdot 10^{-10}$	3	$1.63856 \cdot 10^{-9}$
5	$2.05303 \cdot 10^{-6}$	7	$4.58777 \cdot 10^{-5}$
8	0.000122553	10	0.000492728
15	1		

Na slici 7 dat je deo ulaznog signala koji je u svim slučajevima isti i izlazni signali za neke od obrađenih bitskih protoka. Sa ove slike se takođe vidi ono što je i zaključeno uz pomoć vrednosti iz tabele 1 - kvalitet signala u simulacijama modela GPON mreže sa bitskim brzinama većim od 2.488 Gbps značajno opada.



Slika 7. Ulazni signal i izlazni signali za 1.244, 2.488, 5, 10, 15 Gbps respektivno

Na slici 8 dati su „dijagrami oka” za neke od vrednosti bitskih prenosa kako bi se dobio osecaj o kvalitetu prenosa signala. Zatvorene krive predstavljaju sektore BER vrednosti od 10^{-8} do 10^{-12} .



Slika 8. „Dijagrami oka” za bitske vrednosti od 0.622, 1.244, 2.488, 5, 10, 15 Gbps respektivno

4. ZAKLJUČAK

U radu je prvo ispitana dužina optičkog vlakna za koju se dobija maksimalna dozvoljena vrednost BER-a od 10^{-10} , propisana standardom ITU G.984. Dobijena je dužina od 20 km koja je ujedno i maksimalna daljina do koje GPON mreža može da dosegne i koja je takođe propisana pomenutim standardom. Koristeći ovu dužinu optičkog vlakna ispitano je uticaj PMD-a, odnosno pad kvaliteta signala u odnosu na povećanje bitskog protoka. Zaključeno je da maksimalni bitski protok za vrednost BER-a od 10^{-10} iznosi 2488 Mbps. Ovo je maksimalni propisani bitski protok za GPON mrežu. Kvalitet signala u simulacijama modela GPON mreže sa bitskim brzinama većim od 2488 Mbps značajno opada.

Rad na ovoj problematici bi se mogao nastaviti merenjem karakteristika u realnom okruženju na postojećoj realnoj GPON mreži i poređenjem sa rezultatima simulacija. Time bi bila pokazana validnost dobijenih rezultata modelovanja i simulacije i eventualno proračunata odstupanja.

5. ZAHVALNOST

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije u okviru projekata „Razvoj metoda, senzora i sistema za praćenje kvaliteta vode, vazduha i zemljišta” pod brojem III43008 i „Optoelektronski nanodimenzioni sistemi – put ka primeni” III45003.

6. LITERATURA

- [1] Andjelka Kelic, *Fiber to the Home Technologies and Standards*, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2005.
- [2] A. Banerjee, Marvin Sirbu, „Towards Technologically and Competitively Neutral FTTH Infrastructure”, Carnegie Mellon University, USA, 2003.
- [3] Standards: “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics”, ITU-T Recommendation G.984.1, 2003; “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent layer specification”, ITU-T Recommendation G.984.2, 2008.
- [4] <http://www.optiwave.com/pdf/brochure/OptiSystem.pdf>