

Sažetak

U radu se analiziraju različite tehnološke i topološke izvedbe FTTH optičkih kabljskih sustava koji tvore širokopojasnu komunikacijsku infrastrukturu namijenjenu Triple Play usluživanju. Procjenjuje se minimalna prijenosna širina kanala potreba za efikasan prijenos. Iznosi se i kraći pregled mogućnosti i ograničenja primjene različitih hibridnih rješenja, tkzv. FTTx sustava (FTTN, FTTC i dr.). Predlažu se različiti modeli realizacije čisto optičkih FTTH sustava; kao PTPF, PON, AON itd. i obrazlažu se mogućnosti i opravdanosti njihove primjene u realnim okruženjima. Posebna pažnja posvećena primjeni CWDM sprežnika u PON sustavima, čime se prevladavaju sva ograničenja danas normiranih PON rješenja. Iznosi se stanje standardizacije za CWDM PON. Upoređuju se prednosti i ograničenja pojedinih FTTH rješenja. Na kraju se izlaže trenutno stanje implementacije FTTH kabljskih sustava u svijetu i kod nas.

Summary

The article deals with the analysis of the various technology and topology realizations of FTTH optical cabling systems for "broadband" communications targeted to Triple Play servicing. The minimum channel width is calculated for today's and tomorrow's applications. The short analysis of advantages and disadvantages for different realizations of hybrid FTTx systems was explained (FTTN, FTTC etc). The various FTTH pure optical models are proposed: PTPF, PON, AON etc., and some technical and economical analysis of each model were done. More detailed consideration was dedicated to CWDM implementation inside PON systems, what solve all limitations in the traditional PON networks. The existing international CWDM PON standards and its developing trends are exposed.. The final comparison table of various FTTH solutions is explained. At the end of the article, the level of FTTH implementation in the world as well in Croatia is exposed.

1. UVOD

Ulaskom u 21. stoljeće, postali smo svjedoci ultrabrzog razvoja telekomunikacijskih tehnologija, koji je uslijedio kao rezultat nastojanja za pružanjem novih usluga korisnicima, koje iz temelja mijenjaju komfor i stil života običnih ljudi. U kompresiji digitalnog signala postignut je također snažan napredak, tako da su do nedavno prezahtjevne usluge, naročito video, postale prihvatljive za efikasan prijenos danas poznatim komunikacijskim tehnologijama. Svijet je kročio u novu informacijsku eru čija je osnovna osobina globalna prespojenost, što danas objedinjavamo jednom riječju: "broadband" ili širokopojasna konvergentna mreža.

Na "broadband" se odmah nadovezuje pojam "Triple Play", na razini informacijske usluge, a uključuje pojam konvergentne mreže po kojoj se istovremeno obavlja prijenos govora, podataka i videa – naravno, sve u digitaliziranom obliku. Triple Play je danas sveprisutan diljem svijeta - za ovo se tržište danas bore i Telco kuće, sa iskorakom prema prijenosu videa, i privatni davatelji Triple Play usluga, ali i CATV operateri koji se pomiču iz analognog videa ka integriranim digitalnim rješenjima.

U svijetu se danas lome koplja kojom komunikacijskom tehnologijom dostaviti Triple Play uslugu do krajnjeg korisnika, a na vagi su aspekti efikasnosti, pouzdanosti i ekonomičnosti. Rješenja prijenosnog puta su različita, a danas se uglavnom koriste tri dominantne tehnologije: svjetlovodno vlakno (FTTH sustavi), brzi bakreni kabeli (xDSL sustavi) i širokopojasni bežični prijenos (npr. WiMAX sustav), kao i njihove kombinacije, tkzv. FTTx sustavi. Ovdje će se detaljnije razmotriti FTTH rješenje, sa naglaskom na njegovoj PON izvedbi.

2. Što zahtjeva Triple Play od komunikacijske infrastrukture?

Već iz uvoda se može zaključiti da uvođenje Triple Play usluga znači "broadband" okruženje svima i svugdje. Uprkos izuzetno efikasnim kompresijskim postupcima, očito je da su potrebne agregatne brzine prijenosa par desetaka Mbit/s, sa projekcijom i do par stotina Mbit/s. U **Tabeli 1** prikazane su neke od Triple Play usluga koje se nude i pripadajući zahtjevi na prijenosni pojas danas i u skoroj budućnosti.

Today's Digital Home



1 phone line = 64 kb/s
1 Internet = 1.5 Mb/s
1 SDTV = 3.5 Mb/s
1 HDTV = 16 Mb/s
24.1 Mb/s

Tomorrow's Digital Home



2 phone lines = 128 kb/s
1 online shopping & banking = 1.5 Mb/s
1 online gaming = 3.0 Mb/s
1 TeleWorking (or Learning) = 5 Mb/s
1 VOD / PVR = 5 Mb/s
2 SDTV = 4 Mb/s
2 HDTV = 16 Mb/s
44.6 Mb/s

CORNING

5

USTA FTTH Webinar 12 JUL 2005
 Corning Restricted

Tabela 1: Zahtjevane prijenosne širine kanala za pojedine Triple Play usluge (Corning 2005)

Jednostavnom matematikom iz **Tabele 1** se može izračunati da je već danas minimalni zahtjev prosječnog korisnika na pojas od 25 Mbit/s, a već sutra od 45 Mbit/s. Općenito se smatra da bi minimalna prijenosna širina suvremene "broadband" mreže trebala iznositi 40 Mbit/s, a sve češće se inzistira na brzini Fast Ethernet, dakle 100 Mbit/s, a minimalni zahtjev je 20 Mbit/s.

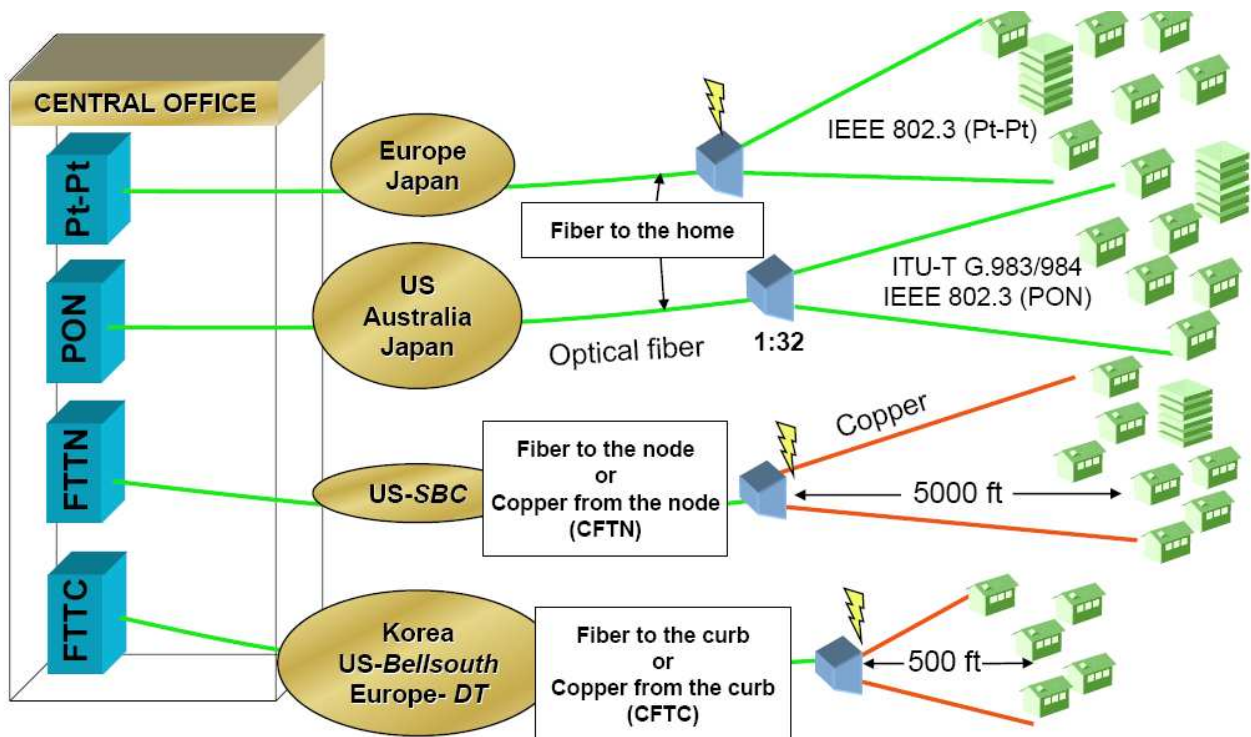
U magistralama suvremenih širokopojsnih mreža koriste se gdje god je to moguće svjetlovodna vlakna, iz jednostavnog razloga što je to najbrži prijenosni medij. Trenutak kada prijeći sa vlakna na bakrenu paricu je stvar diskusije, a i fizičkog stanja na terenu, pa razlikujemo više rješenja FTTx (Fiber To The x) sustava, od čisto optičkih do pretežito bakrenih, pri čemu oznaka "x" u FTTx označava točku demarkacije između optičke mreže i mreže bakrenih (primarno paričnih) kabela. Iznimak čine HFC (Hybrid Fibre Coaxial) kabelski sustavi, koji su nastali kao napor postojećih CATV operatera da pruže Triple Play usluge hibridnom optičko-koaksijalnom tehnologijom.

Na **Slici 2** prikazane su do danas prihvaćene topološke izvedbe FTTx kabelskih sustava. Prve dvije izvedbe, PTPF i PON su čisto optičke, tj. monolitne, o čemu je riječ u slijedećem podnaslovu.

FTTN rješenje (Fiber To The Node) pretpostavlja rješenje u kojem se pretvorba optika-bakar ostvaruje u postojećem telefonskom komutacijskom čvorištu, tako da su udaljenosti do krajnjih korisnika i do 1.500 metara, pa prema tome treba odabrati sofisticiraniju VDSL tehnologiju. Napajanje prijenosne opreme i njen fizički smještaj, međutim, ovdje nisu problem, iz očitih razloga.

FTTC rješenje (Fiber To The Curb) je znatno povoljnije sa gledišta zahtjeva na xDSL (koristi se ADSL), jer se demarkacija obavlja u uličnom prespojnom ormariću, koji se nalazi do max 150 metara od krajnjeg korisnika. Ovakav scenario omogućuje veće prijenosne brzine, ali je smještaj aktivne komunikacijske opreme upitan, kao i njeno napajanje.

U svakom slučaju, i FTTC i FTTN su primamljive operaterima sa stajališta primjene, jer koriste postojeću "last mile" bakrenu kabelsku strukturu, dakle investicija je umjerena. Nedostatak je očigledan – brzina ovih sustava limitirana je brzinom na bakrenom dijelu instalacije koja često nije dovoljna (traži se pojas od 40Mbit/s po korisniku!).



Slika 2. Topološke izvedbe FTTH/FTTx kabljskih sustava

3. PTFP (Point To Point Fiber) optičke "broadband" tehnologije

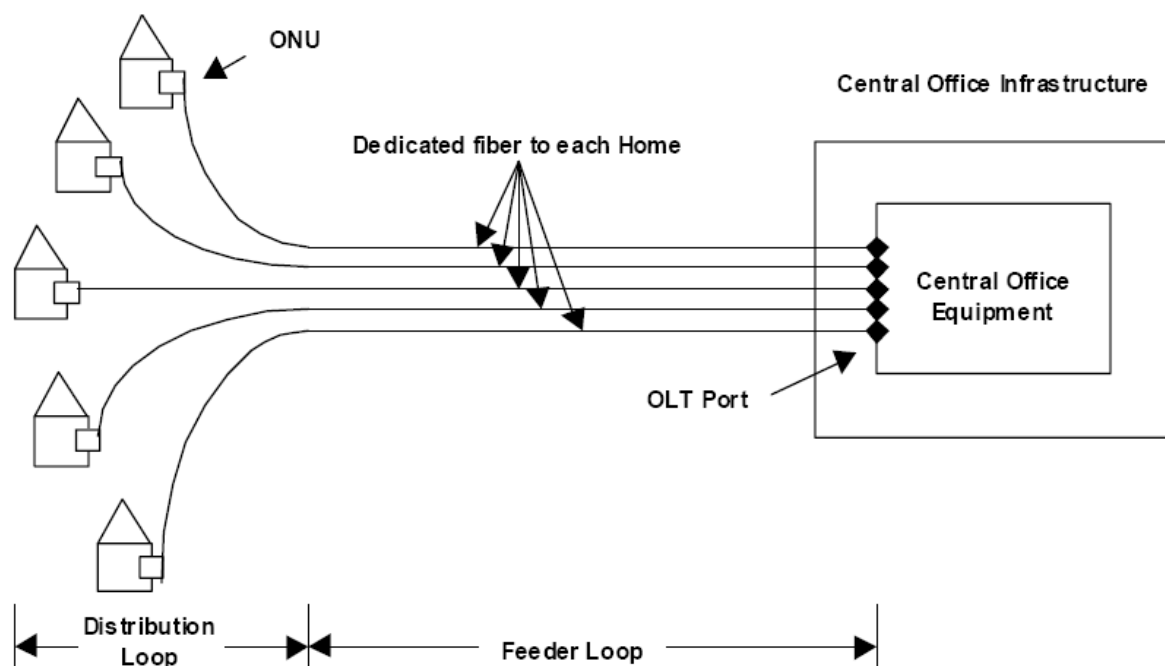
Najjednostavniji, ali i najskuplji način povezivanja korisnika i davatelja usluga svjetlovodnim vlaknom svodi se na trivijalno povlačenje optičkog kabela između njih. Takav način izgradnje optičke infrastrukture povezivanja je poznat pod **nazivom PTFP ili Pt-Pt (Point To Point Fiber)**. Česta inačica PTFP je da se umjesto optičke parice koristi samo jedna svjetlovodna nit, uporabom jednostavnog WDM spreznika/raspreznika na obje strane. Takvi WDM uređaji sprežu/rasprežu u dva prozora Tx1310/Rx1550nm i obratno, jeftini su i najčešće su integrirani u terminalnu opremu, pa se njima u konačnici ostvaruje ušteda u odnosu na parični PTFP. U obje varijante problem ovakvog rješenja je visoka cijena u odnosu na hibridne tehnologije, koja se nastoji opravdati praktično nelimitiranim prijenosnim pojasom. Problem ogromnog broja vlakana u magistrali (PTFP "backbone") je ipak najveći nedostatak ovakvih rješenja i često nepremostiva prepreka, obzirom na limitiran kapacitet podzemnih cijevi i kanala, naročito u urbanim područjima (gdje se zapravo optika i najčešće primjenjuje).

Zagovornici **PTFP topologije** tvrde da je ona zapravo jedino pravo "broadband" rješenje, koje može odgovoriti na sve potrebe Triple Play okruženja. Prijenosni kanal od 100 Mbit/s ili čak 1 Gbit/s ovdje nije problem, kao niti premostive distance reda više desetaka km. Sva prespajanja se mogu izvršiti pasivno, i najčešće se izvode varenjem vlakana, tako da je pouzdanost ovakvih sustava vrlo velika, a održavanje jeftino. Sustav je tehnički jednostavan i intuitivan. Uporabom nasuvremenijih izvedbi "micro" optičkih kabela, ili čak upuhivanjem golih vlakana u prethodno postavljene mikro-tubice, proširivanje mreže je jednostavno i donekle ekonomski prihvatljivije, ali opet pod uvjetom da je magistrala dovoljno moćna i proširiva. Obzirom na Pt-Pt veze u PTFP mrežama, protokol prijenosa je popularni i skalabilni Gigabit/Fast/Ethernet.

Na **Slici 3.** prikazana je PTFP topološka izvedba optičkog kabljskog sustava. Treba reći, da usprkos činjenici što mnogi Triple Play davatelji usluga odabiru baš ovakav kabljski sustav, da je njegova implementacija često nepredvidljivo skupa. Cijena priključka je to skuplja što je populacija na određenom području rjeđa, pa takva rješenja na kraju vode u neekonomičnu "slijepu ulicu". Ukoliko se pak ograničite samo na Metro mrežu u gusto naseljenim urbanim područjima, i imate dovoljno prostora u kanalizaciji, PTFP je ne-elegantno rješenje koje ipak možete odabrati.

Problem prepunjene kanalizacije može se «vatrogasno» riješiti uporabom **AON rješenja (Active Optical Network)**, tkzv. Aktivnom Optičkom Mrežom. Ukoliko se na mjestu spajanja magistrale na korisničke linije postavi aktivna oprema (optički preklopnici, često i CWDM multiplekseri), magistrala može biti bitno "tanja", pa kanalizacija više nije problem. Održavanje AON mreža je međutim složenije, a pouzdanost upitna zbog uporabljenih aktivnih uređaja i kvalitete njihovog napajanja. Primjena AON mreža je stoga ograničena na

manje mreže, ili ih susrećemo u početnih fazama razvoja mreže kada se zamjenjuje bitno pouzdanijim **PON sustavima (Passive Optical Network)**.

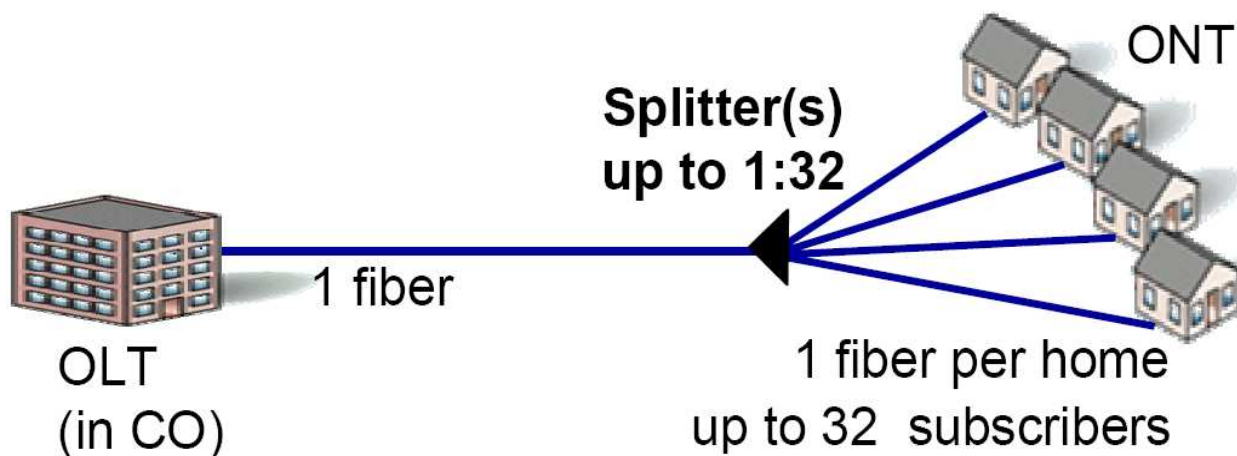


Slika 3. PTPF "Point To Point Fiber" pasivna širokopolasna mreža

PON je potpuno pasivna optička kabelska struktura, gdje za razliku od AON-a, na mjesto spojišta umjesto aktivne opreme postavljamo pasivne optičke sprežnike, koji razdjeljuju ulazni optički informacijski tok na veći broj fizičkih puteva, najčešće 8-128, kako je prikazano na **Slici 4**. Zbog složenosti PON-a, posvetit ćemo mu novo poglavlje.

4. PON (Passive Optical Networking) optičke "broadband" tehnologije

PTPF i AON rješenja predstavljaju trivijalno rješenje kabelskog sustava za širokopolasni prijenos Triple Play usluga, i oba rješenja imaju jedan nedostatak, i to velik, a to je nemogućnost efikasnog proširivanja na rastući broj korisnika, što se tehnički zove loša skalabilnost sustava. Gomilanje "point to point" vlakana ili pak AON aktivnih čvorišta je jednostavno ograničeno fizičkom propusnošću kanalizacije, odnosno pouzdanošću aktivne opreme.



Slika 4. PON pasivna optička širokopojasna mreža

Osnovna zamisao PON-a je P2MP (Point To Multi Point) okruženje, u kojem se kičmeni dio kablenskog sustava efikasnije iskorištava određenim metodama multipleksiranja, npr. vremenskim/paketnim multipleksiranjem ili multipleksiranjem po valnim duljinama. Spajanje magistrale na korisničke optičke linije izvodi se pasivnim optičkim sprežnicima, tipično u omjeru 1:32, što znači da se kod PON-a korisnički signal za isti omjer dijeli na putu od centralnog čvora davatelja usluga (OLT – Optical Line Terminal) do krajnjeg korisničkog priključka ONT (Optical Network Terminal).

Sprežnik može biti izveden centralno, kao jedan element 1:32, kada govorimo o **centraliziranom PON-u**, a sprežnici se mogu i dislocirano kaskadirati npr. $1:8 + 1:4 = 1:32$, kada govorimo o distribuiranom PON-u. Kada primjeniti koju vrstu PON-a, ovisi ponajviše o fizičkom rasporedu korisnika i postojećoj kanalizacionoj mreži i općenito o strategiji razvoja širokopojasne mreže. Davatelji usluga skloniji su centralizaciji u OLT čvoru, čime se minimizira potreban broj optičkih sprežnika, ali i aktivne komunikacijske opreme u centralnom čvorištu. Dijagnostika kvara u pasivnom dijelu mreže je brža i jednostavnija, a ukupno gušenje PON-a manje, po principu manji broj sprežnika – manje intrinzično gušenje i manje kvarova. U **distribuiranom PON-u**, sprežnici su pomaknuti bliže ONT opremi, dakle korisnicima. Centralno čvorište OLT je jednostavnije, a broj novih uličnih kabineta se smanjuje, jer se najčešće koriste već postojeći manji komunikacijski ormarići. Dijagnostika i pouzdanost su manje efikasna u odnosu na centralizirani PON.

Glavne prednosti PON-a u odnosu na ostala optička rješenja su ekonomičnost i pouzdanost. Pouzdanost je očito velika jer se radi o potpuno pasivnoj strukturi. Ekonomičnost proizlazi već i same uštede na količini optičkog kabela i jednostavnosti topologije, te izostanku potrebe za napajanjem opreme duže prijenosnog puta. Pored toga, PON raspodjeljuje (multipleksira) prijenosnu širinu svjetlovodnih vlakana u magistrali.

Dodatno pojeftinjenje postiže se time što PON koristi samo jedno vlakno za dvosmjerni prijenos korištenjem WDM multipleksera, najčešće 1310nm za "upstream" prijenos, odnosno 1550nm za "downstream" prijenos (tkzv. WDM PON). Prednost PON-a je i skalabilnost, jer je magistrala "fizički tanka" iz razloga multipleksiranja, pa se može pojačavati. PON-u se zamjeraju dva nedostatka: ograničeni domet i ograničen prijenosni pojas, dakle sama srž širokopojasnosti. Radi ilustracije, i da vidimo da li je to stvarno tako, provest ćemo analizu gušenje i prijenosnog pojasa GPON koji je standardiziran po ITU-T G.984 i kod kojega je agregatna brzina magistrale 2.5 Gbs., a sprežanje/rasprežanje vrši u omjeru od 1:32 do 1:128. /Tabele 2 i 3/

Dinamika po ITU-T G.984	Gušenje sprežnika 1:32	Gušenje sprežnika 1:64	Gušenje sprežnika 1:128	Rezerva sustava	Preostala dinamika	Duljina vlakna G.652 na 1310nm koluti 4km	Duljina vlakna G.652 na 1550nm koluti 4km
-28 dB	16 dB	-	-	2-3 dB	12 dB	30 km	40 km
-28 dB	-	19 dB	-	2-3 dB	9 dB	20 km	30 km
-28 dB	-	-	22 dB	2-3 dB	6 dB	15 km	20 km

* izračun uz intrinzično gušenje sprežnika od 1dB i prosječno gušenje vara od 0,2 dB

Tabela 2: Maksimalni domet GPON-a glede gušenja za G.652 vlakno

Može se suprotno kritikama reći da PON ima više nego dovoljnu dinamiku za urbana područja, i iznad 20km, po standardu je zajamčeno 20km. Smatra se da u krugu radiusa 20km oko centra živi 98% populacije u većini gradova. PON nije primjenjiv niti projektiran za rijetko naseljena ruralna područja.

Agregatna brzina magistrale	Pojas po korisniku uz sprežnik 1:32	Pojas po korisniku uz sprežnik 1:64	Pojas po korisniku uz sprežnik 1:128
1,25 Gbs	39 Mbs	19,5 Mbs	9,75 Mbs
2,5 Gbs	78 Mbs	39 Mbs	19,5 Mbs

* izračun vrijedi uz maksimalan promet svih korisnika i uz zanemarenje "overhead" protokola raspodjeljivanja medija i vlakno G.652

Tabela 3: Maksimalne prijenosne širine GPON-a za G.652 vlakno

Može se zaključiti da je prijenosna širina GPON-a također zadovoljavajuća, iako manja od PTPF mreže. Agresivni zahtjevi na brzine 100 Mbit/s po korisniku, pa i veće, mogli bi ugroziti budućnost PON-ova. Ukoliko je konačna maksimalna prijenosna širina glavni razlog upitnosti primjene PON-ova u širokopojasnim mrežama, daljnje ubrzanje treba tražiti u CWD PON tehnologiji. Pri tome glavne prednosti PON-a i dalje vrijede: relativno niska instalacijska cijena po priključku (bitno niža od PTP sustava), te jednostavno i jeftino održavanje uz visoku pouzdanost.

Čitatelju prepuštam da maksimalnu brzinu i krajnji domet ostalih standardiziranih PON-ova izračunaju sami, prema njihovim karakteristikama navedenim u Tabeli 4.

	BPON	EPON	GPON
Standard	ITU-T G.983	IEEE803.2ah	ITU-T G.984
Bandwidth	Downstream up to 622Mbps Upstream 155Mbps	Up to symmetric 1.25Gbps	Downstream up to 2.5Gbps Upstream up to 2.5 Gbps
Downstream λ (nm)	1490 and 1550	1550	1490 and 1550
Upstream λ (nm)	1310	1310	1310
Transmission	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM

Tabela 4. PON protokoli i standardi

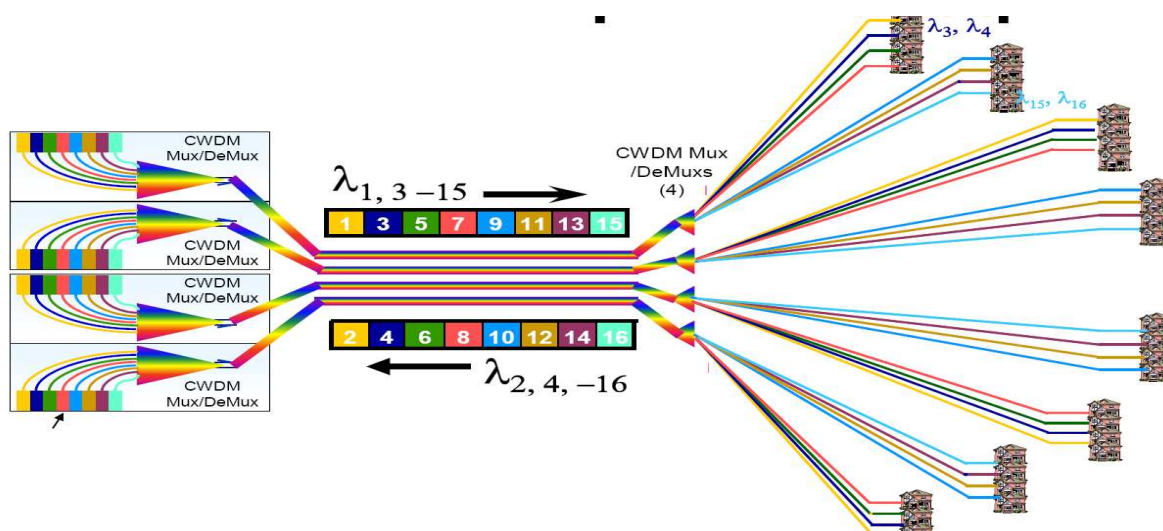
Ako još dodamo činjenicu da i ITU-T i IEEE (802.3av) upravo razmatraju draft tehničke specifikacije budućeg standardiziranog 10G-PON-a agregatne brzine 10 Gbs, tada prigovori na sporost PON-a definitivno ne stoje. Mišljenje je autora, međutim, da je CWDM PON buduće rješenje ultrabzih PON-ova, a ne 10G-PON, ponajviše zbog oštro ograničenog dometa 10G signala (dovoljno je pogledati domete današnjih GBIC/SFP modula za 10G Ethernet).

Od svih navedenih zamjerki PON-ovima ostaje zapravo samo jedna: kompleksnije projektiranje PON-a u odnosu na PTPF trivijalno rješenje, i zatečeno stanje na terenu gdje se širokopojasna mreža obično počne razvijati kao "point-to-point" topologija (pa se tako i razvija dokle ide, što je najčešće politika kratkog daha).

5. CWDM PON (Coarse Wavelength Divison Multiplexing PON)

U ultrabzrim Metro mrežama topologiju PON-a trebalo kombinirati sa CWDM multipleksiranjem, u tkzv. **CWDM PON**. Time se osigurava dedikirana valna duljina po svakom korisniku, npr. uporabom 16 kanalnog CWDM-a prema **Slici 5**. U CWDM PON-u, logički se ostvaruje "point-to-point" komunikacija na relaciji OLT-ONT kao i u PTPF mrežama, samo je razlika što sada logički put određene valne duljine (tkzv. "logical path") u biti zamjenjuje fizičko vlakno (tkzv. "physical path").

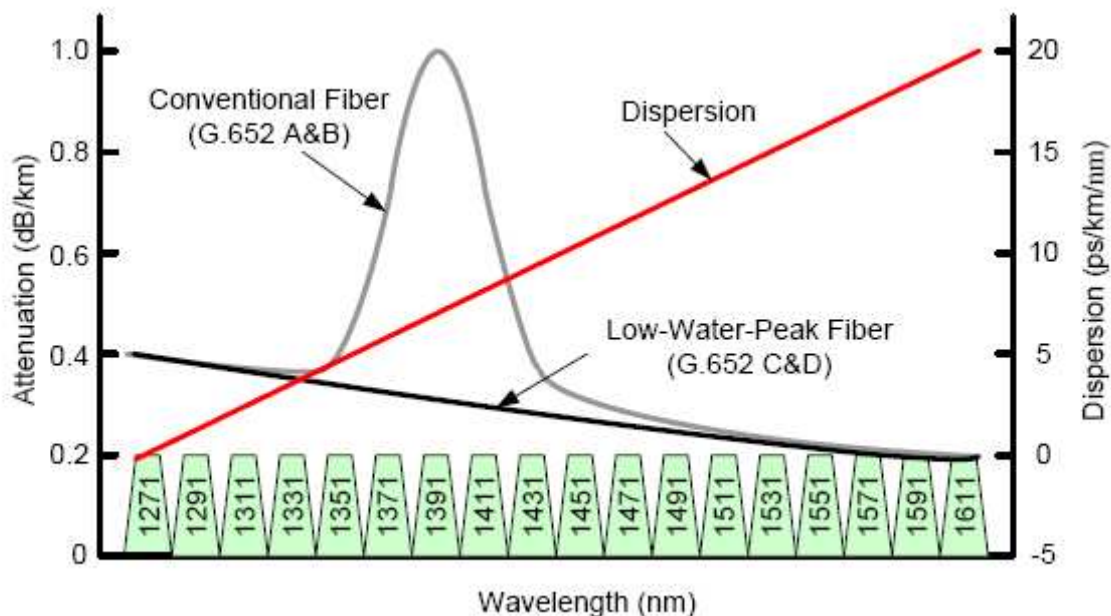
Bitno je napomenuti da CWDM PON smanjuje, a ne povećava broj vlakana u magistrali, što je osnovna zamjerka PTPF sustava. Pored toga, primjena je jednostavna i direktna, dodavanjem CWDM-ova u postojeću pasivnu PON strukturu. CWDM PON je neovisan o protokolu i kodiranju, vrlo brz i pouzdan, pogotovo ako se ugrade pasivni CMDW sprežnici i rasporežnici. Ovakav PON nudi na prvi pogled idealno rješenje za Metro mreže, a ovaj dobitak dodatno se plaća se investicijom u CWDM opremu.



Slika 5: Princip CWDM za ubrzanje PON sustava

Dodatno povećanje broja kanala postiže se, po preporuci ITU-T G.694.2 za CWDM, za faktor 8-18 puta. Preduvjet za korištenje CWDM jeste da je kabelska instalacija izvedena "dehidriranim" vlaknom, tkzv. "low

water peak fiber” po ITU-T G.652d, koje ima linearnu karakteristiku u cijelom području 1270-1625 nm. Kanali međusobno razmaknuti tipično 20-25nm, imaju ogromnu prijenosnu širinu - iznad 200 Gbs, prema **Slici 6.** , po preporuci ITU-T G.694.2. Za obično vlakno, treba «preskočiti» područje 1370-1430 nm.



Slika 6. CWDM multiplekser po ITU-T G.694.2

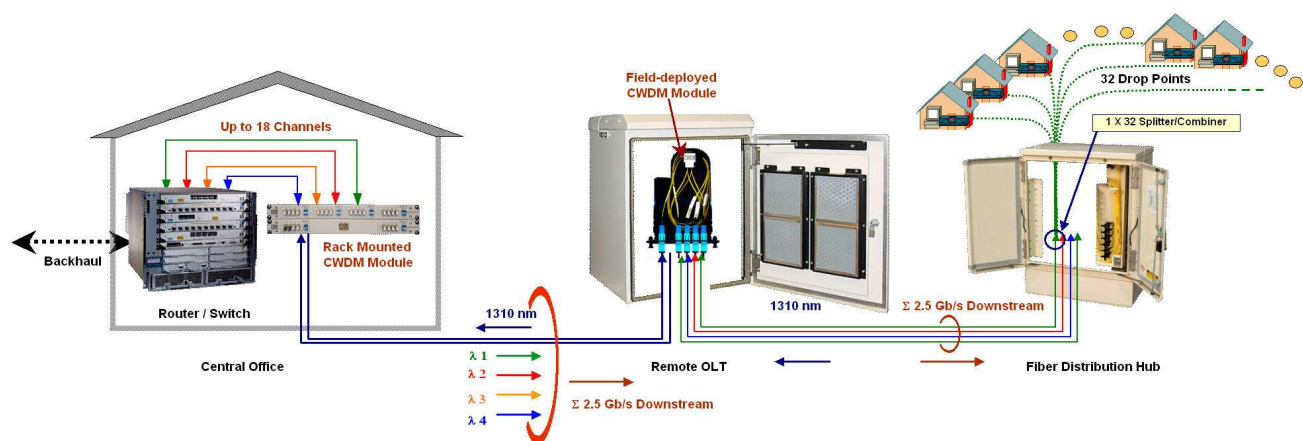
Još “gušće” pakiranje kanala (i preko 100-njak) može se ostvariti DWDM (Dence Wavelength Division Multiplexing) multiplekserom. Vrlo visoka cijena i vrlo složeno i osjetljivo održavanje ovog uređaja čini ga neupotrebljivim u Metro okruženju, za razliku od “long haul” aplikacija gdje se često koristi kao akcelerator. U **Tabeli 5:** prikazane su stvarne širine pojasa po EPON/GPON/10G PON korisniku koje se ostvaruje za različite varijante PON-a, sa i bez uporabe CWDM-a.

	Conventional PON Option 0		Lower split ratio PON Option 1		Full Spectrum CWDM/PON Hybrid Options 2 and 3		Full Spectrum CWDM PON Option 4	
Bandwidth Split ratio	32		8		4		1	
Feeder fibers per 32 HP	1		4		1		4	
Mb/s per Subscriber	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up
BPON	17	4	70	17	140	35	622	155
EPON	28	28	112	112	224	224	1,000	1,000
GPON*	70	35	280	140	560	280	2,422	1,244
10G PON (future?)	281	281	1,125	1,125	2,250	2,250	10,000	10,000

Tabela 5: Širine pojasa po korisniku za različite varijante PON-a i CWDM PON-a

Iz Tabele je vidljivo da zastarjeli BPON sa raspredanjem 1:32 jamči inicijalno samo 17 Mbit/s "downstream", odnosno 4Mbit/s "upstream", a situacija je zadovoljavajuća ukoliko se smanji broj spregnutih korisnika na 8. Dodatnim umetanjem CWDM-a sa recimo 4 kanala, dobiva se hibridno rješenje sa ubrzanjem još 2x, dakle postiže se čak 140 Mbit/s. Ukoliko i to nije dovoljno, treba koristiti budući "čisti" 32 kanalni CWDM koji će svima omogućiti "logical path", dakle i punu brzinu BPON-a od 622/155 Mbit/s. Analogijom se mogu postići zavidne željene brzine za EPON i GPON (čak nevjerovatne za možda budući 10G PON!), pa primjedba na sporost PON-a postaje bespredmetna.

Na **Slici 7.** prikazan je primjer topološke izvedbe CWDM GPON-a sa 4 kanala, kada želimo povećati broj korisnika na magistrali za četiri puta, a nemamo više slobodnih vlakana u njoj. Centralni čvor šalje svoje sadržaje korisnicima kroz postojeća vlakna, ali na četiri diskretne valne duljine L1,L2...L4, agregatnom brzinom od 2,5 Gbs po svakoj od njih. U izdvojenom uličnom OLT kabinetu u kojemu završavaju grupna vlakna (svako za grupu od po 32 korisnika), putem pasivne CWDM kazete sve valne duljine se transpondiraju u jedinstvenu valnu duljinu po GPON standardu i šalju dalje. Dalje prema korisniku sve ostaje isto kao i u klasičnom 1:32 GPON-u. Ako zamislimo da je prije CWDM ubrzanja ovdje već postojao klasični GPON, onda je za ubrzanje 4x potrebno dodati 4-kanalni CWDM modul u centralni čvor i CWDM pasivnu kazetu u izdvojeni OLT predstupanj. Na krajnjoj korisničkoj strani ne vrše se nikakve preinake niti nadogradnje, tako da je ovakvo ubrzanje brzo i efikasno izvedivo. Ukupna prenesena informacija je 4 puta veća.



Slika 7. Ubrzanje GPON magistrale za faktor 4 uporabom CWDM opreme

Danas su komercijalno dostupni CWDM sprežnici/rasprednici potpuno pasivne izvedbe, kod kojih se odvajanje/uplitanje valnih duljina vrši kromatski selektivnim prizmama ili zrcalima. Uz malo intrinzično gušenje, ovi uređaji odlikuju se temperaturnom stabilnošću i visokom pouzdanošću karakterističnom za pasivnu opremu. Na **Slici 8.** prikazane su industrijske izvedbe CWDM-a za 4, 8 i 16 kanala po G.694.2.



Slika 8. Pasivni CWDM sa 4-16 kanala, do 10Gbs po ITU-T G.694.2, domet do 80 km

U **jednostavnom CWDM PON-u**, svaki kanal određene valne duljine radi potpuno neovisno od svih ostalih kanala («logical path»), pa nikakva dodatna MAC kontrola pristupanja u kanalu nije potrebna. Standardizirani Ethernet MAC protokol u svakom pojedinom kanalu rješava sve potrebne procedure na relaciji OLT-ONT.

U **razvijenom CWDM PON-u**, koji želi maksimalno koristiti PON, neke valne duljine su jako opterećene, dok neke u istom trenutku nisu upotrebene – dakle, traži se dinamičko alociranje logičkih puteva-valnih duljina. Time se CWDM PON može značajno ubrzati. U razvoju je nekoliko rješenja protokola dinamičkog alociranja slobodnih ili manje opterećenih CWDM kanala, nakon čega se očekuje i njihova normizacija u smislu postizanja zadovoljavajućeg SLA (Service Level Agreement) statusa.

6. ZAKLJUČAK

CWDM tehnologija je potpuno transparentna glede njene ugradnje u postojeće PON sustave, i kao pasivna oprema uklapa se jednostavno u PON koncept.

U svijetu, danas su prisutne tri FTTH optičke kabelaške izvedbe: GPON, EPON i PTPF, i sve koriste Ethernet protokol raspodjeljivanja kapaciteta medija. Korea Telecom (KT) jedan je od najagresivnijih pobornika CWDM PON-a, g.2006 oko 2000 kućanstava je već koristilo taj priključak. NTT je skloniji CWDM rješenju u odnosu na 10G PON. Slično misli i američki Verizon.

U Evropi, odluka se donosi između dvije FTTH izvedbe: GPON ili PTPF. U Francuskoj, npr. France Telecom se odlučio za GPON, a privatni davatelj usluga Free koristi PTPF. Slično je i kod nas, Hrvatski Telekom u ovom trenutku testira nekoliko raznih varijanti GPON-a, dok većina privatnih operatera izgrađuje PTPF mreže. Eventualni iskorak na 10G-PON zahtjeva kompatibilnost prema „sporijim“ GPON/EPON rješenjima. Ovo ubrzanje ostvareno u vremenskoj domeni je tehnički kompliciranije i limitiranije od direktne primjene CWDM sprežnika, kada se zadržava normirana agregatna brzina GPON-a od 2.5 Gbs, sa mogućnošću naknadnih ubrzavanja. Oba standarda se očekuju oko 2010. g. Pri tome je primjena CWDM u već postojeći GPON vrlo jednostavna – dodaju se pasivni CWDM sprežnici/rasprežnici na oba kraja, bez obzira koji je GPON protokol odabran i koja je agregatna brzina aktivna.

U Hrvatskoj, prave Triple Play i FTTH mreže nastaju tek sa integracijom usluge video prijenosa uz već postojeće VoIP i Internet veze. U ovom trenutku kod nas postoji desetak tisuća FTTH priključaka različitih privatnih pružatelja usluga. Neki koriste i WDM kao rješenje (Metronet). Iako se radi o početnim instalacijama, biti će interesantno napraviti analizu prisutnosti „broadband“-a već krajem g.2009., do kada se planira značajna primjena FTTH priključaka dominantnog operatera T-HT. Kako sada stvari stoje, testiraju se pilot rješenja - očekujem da će T-HT odabrati GPON, sa mogućnošću proširivanja uporabom CWDM-a.

LITERATURA

- /1/ Sead Dubravić *“Tehnološke izvedbe FTTx kabelaških sustava”*, , KOM'2007: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2007
- /2/ Sead Dubravić *“Primjena optičkih kabela u lokalnim računalnim mrežama po standardima ISO”*, , KOM'95: Zbornik radova sa Savjetovanja, 1995
- /3/ Sead Dubravić *“Projektiranje i izgradnja monolitnih optičkih kabelaških sustava”*, , KOM'97: Zbornik radova sa Savjetovanja, 1997
- /4/ Bob Lund *“A Comparison of PON and Point-to-Point Optical Access Networks”*, www.opticalsolutions.com, 2000
- /5/ M. Klimek, *“ATM Passive Optical Network”*, Alcatel Telecommunications Review, 2002
- /6/ Paul Whittlesey *“Fiber to the Curb and Beyond”*, WaveOptics, 2002
- /7/ W.J.Goralski, *“SONET – a Guide to Synchronous Optical Networks”*, Macgraw Hill, pp. 371-439,
- /8/ A.Banerjeem, Y.Park *“WDM Passive Optical Network technologies for Broadband Access”*, Joptical Networking, Vol. 4, No. 11, November 2005
- /9/ F.Nedvidek, M.Nebeling *“Deploying CWDM to Overcome Bandwidth Limitations of FTTH Access Networks”*, FTTH Conference, October 2006.
- /10/ F.Nedvidek *“CWDM – A low risk tactic”*, European Communications, September 2007.

Podaci o autoru:

mr. sci. Sead Dubravić, dipl.inž.

NETIKS d.o.o. za telekomunikacije i informatiku, E-mail: sdubravic@netiks.hr, www.netiks.hr, Sarajevska cesta 60, 10.000 ZAGREB, tel (01)6652940, 6652920, fax (01)6652902