

TEHNOLOŠKE IZVEDBE ŠIROKOPOJASNIH KABELSKIH SUSTAVA

mr. sci. Sead Dubravić
NETIKS d.o.o. , Zagreb, Sarajevska 60

Sažetak

U radu se analiziraju različite tehnološke i topološke izvedbe FTTH optičkih kabelskih sustava koji tvore širokopojasnu komunikacijsku infrastrukturu namjenjenu 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 spreznika u PON sustavima. Upoređuju se prednosti i ograničenja pojedinih FTTH rješenja. Na kraju se izlaže trenutno stanje FTTH sustava u svijetu i kod nas.

1. UVOD

Ulaskom u 21. stoljeće, postali smo svjedoci ultrabrzog razvoja telekomunikacijskih tehnologija, 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. "Triple Play", na razini informacijske usluge obuhvaća 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 - danas se lome koplja kojom komunikacijskom tehnologijom dostaviti Triple Play uslugu do krajnjeg korisnika, a na vagi su aspekti efikasnosti, pouzdanosti i ekonomičnosti. Rješenja su različita, a koriste se 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 monolitni optički kabelski sustavi.

2. Što zahtjeva Triple Play od komunikacijske infrastrukture?

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 skorjoj budućnosti. Jednostavnom matematikom 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 minimalna prijenosna širina suvremene "broadband" mreže treba iznositi 40 Mbit/s, a sve češće se inzistira na brzini Fast Ethernet, dakle 100 Mbit/s (minimalni zahtjev je 20Mbit/s). U magistralama suvremenih širokopojasnih 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. **FTTN** rješenje (Fiber To The Node) pretpostavlja

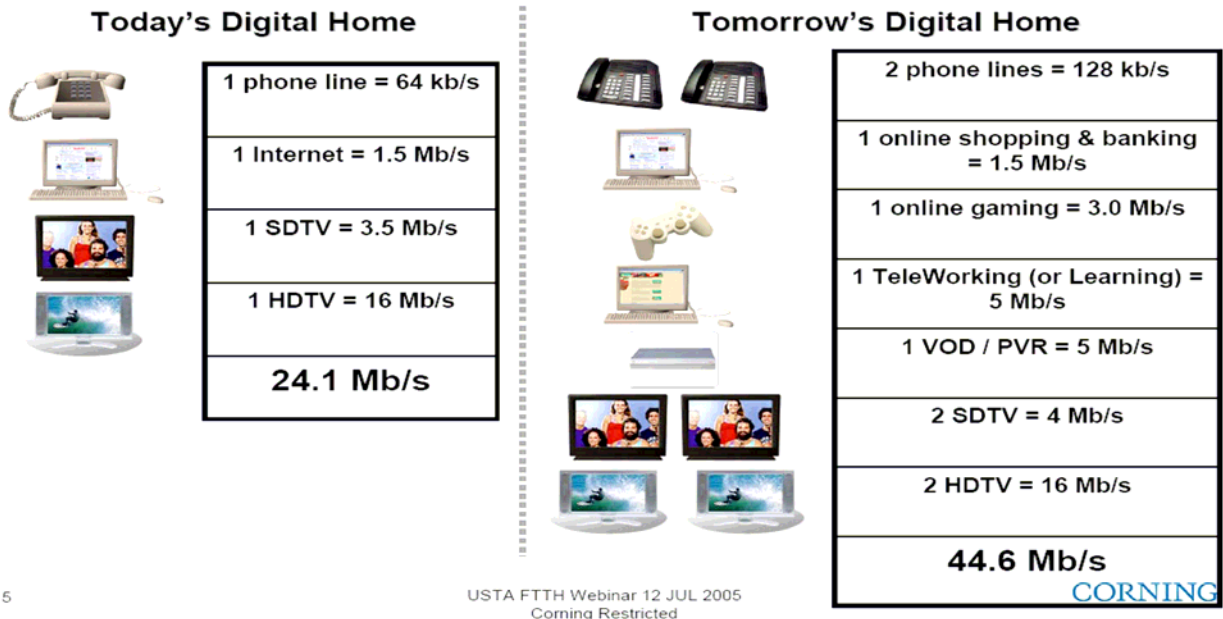
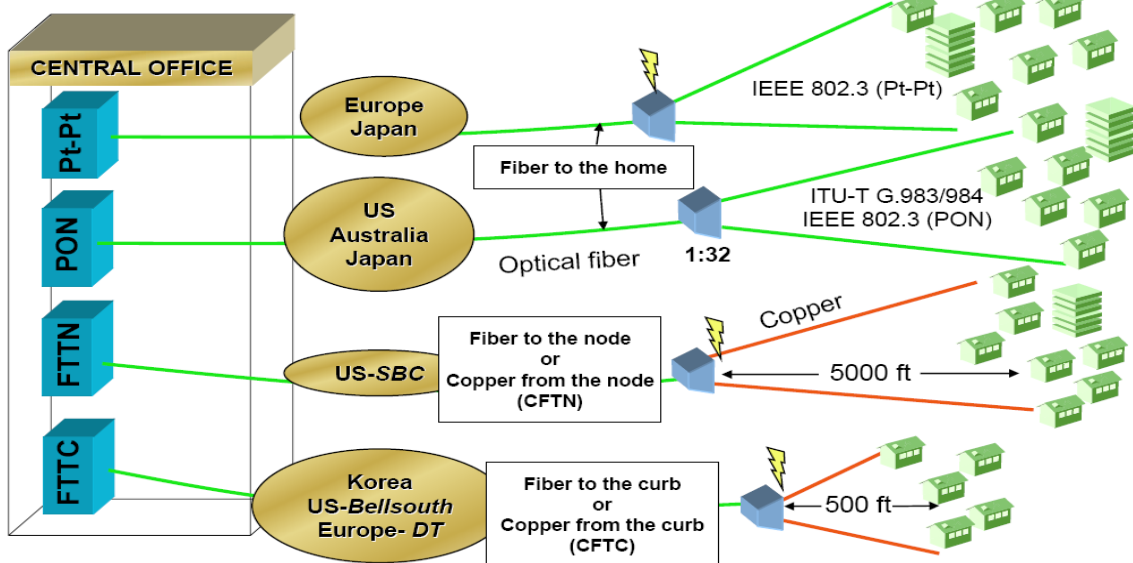


Tabela 1: Zahtjevane prijenosne širine kanala za pojedine Triple Play usluge (Corning 2005)

rješenje u kojem se pretvorba optika-bakar ostvaruje u postojećem telefonskom komutacijskom čvorištu, tako da su udaljenosti do krajnjih korisnika i do 1.500m, 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 kablensku 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 barem 40Mbit/s po korisniku!).

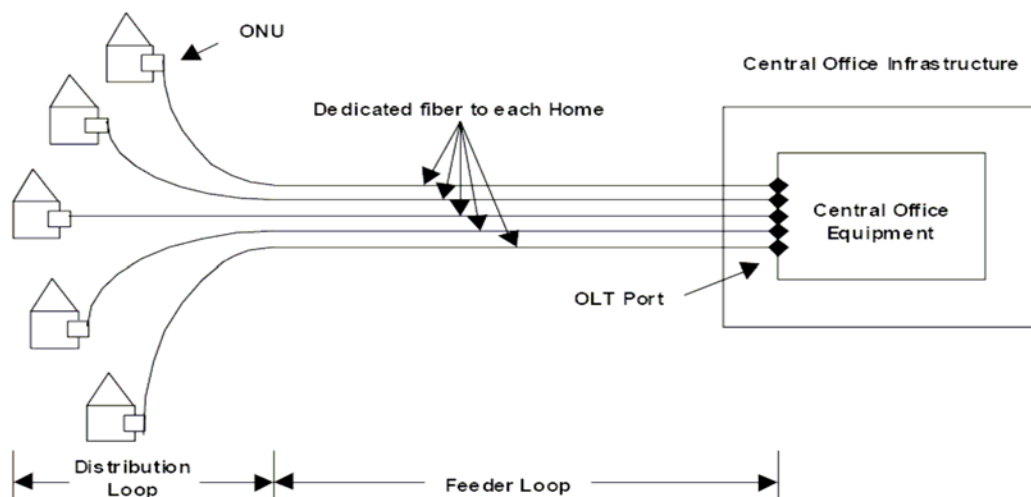


Slika 2. Topološke izvedbe FTTH/FTTx kablenskih sustava

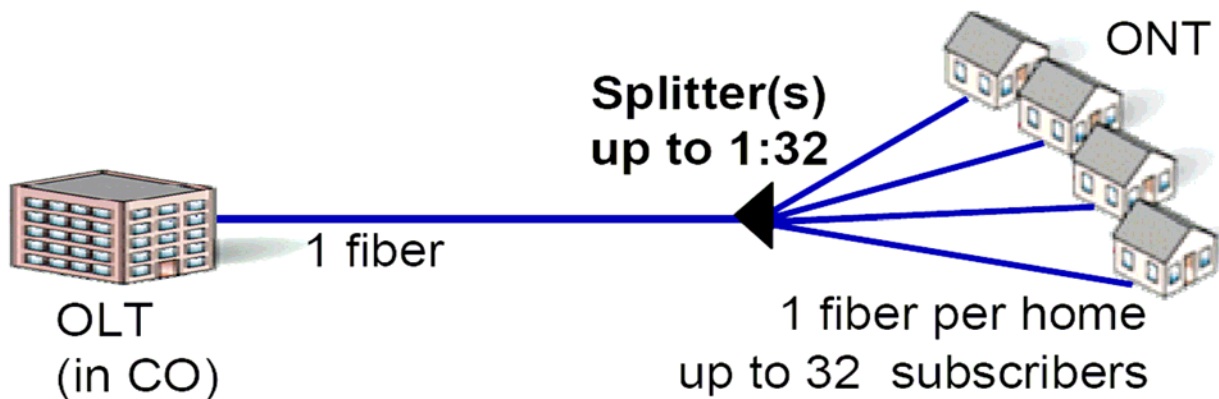
3. PTPF (Point To Point Fiber) optičke "broadband" tehnologije

Najjednostavniji, ali i najskuplji način povezivanja korisnika i davatelja usluga svjetlovodnim vlaknom svodi se na trivijalno povlačenje optičkog kabela između njih, poznato pod **nazivom PTPF ili Pt-Pt (Point To Point Fiber)**. Česta inačica PTPF je da se umjesto optičke parice koristi samo jedna svjetlovodna nit, uporabom jednostavnog WDM spreznika/raspreznika na obje strane. Takvi 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 PTPF. 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 (PTPF "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 **PTPF 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 PTP mrežama, protokol prijenosa je popularni i skalabilni Gigabit/Fast/Ethernet. Na **Slici 3.** prikazana je PTPF topološka izvedba optičkog kablenskog sustava. Treba reći, da usprkos činjenici što mnogi Triple Play davatelji usluga odabiru baš ovakav kablenski 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, PTPF 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 složeno, 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)**. PON je potpuno pasivna optička kablenska struktura, gdje za razliku od AON-a, na mjesto spojišta umjesto aktivne opreme postavljamo pasivne optičke spreznike, koji razdjeljuju ulazni optički informacijski tok na veći broj fizičkih puteva, najčešće 8-128, kako je prikazano na **Slici 4.**



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



Slika 4. PON pasivna optička širokopoljasna mreža

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

PTPF i AON rješenja predstavljaju trivijalno rješenje kablenskog sustava za širokopoljasni 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. 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 kanalizacijskoj mreži i općenito o strategiji razvoja širokopoljasne mreže. 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 zbog 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 širokopoljasnosti. Radi ilustracije, i da vidimo da li je to stvarno tako, pogledajmo **Tabele 2. i 3.** gušenja 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 se u omjeru od 1:32 do 1:128. 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. 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 širokopoljasnim mrežama, daljnje ubrzanje treba tražiti u CWD PON tehnologiji. Pri tome glavne prednosti PON-a i dalje vrijede: relativno niska instalacijska cijena

Dinamika po ITU-T G.984	Gušenje spreznika 1:32	Gušenje spreznika 1:64	Gušenje spreznika 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

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

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

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

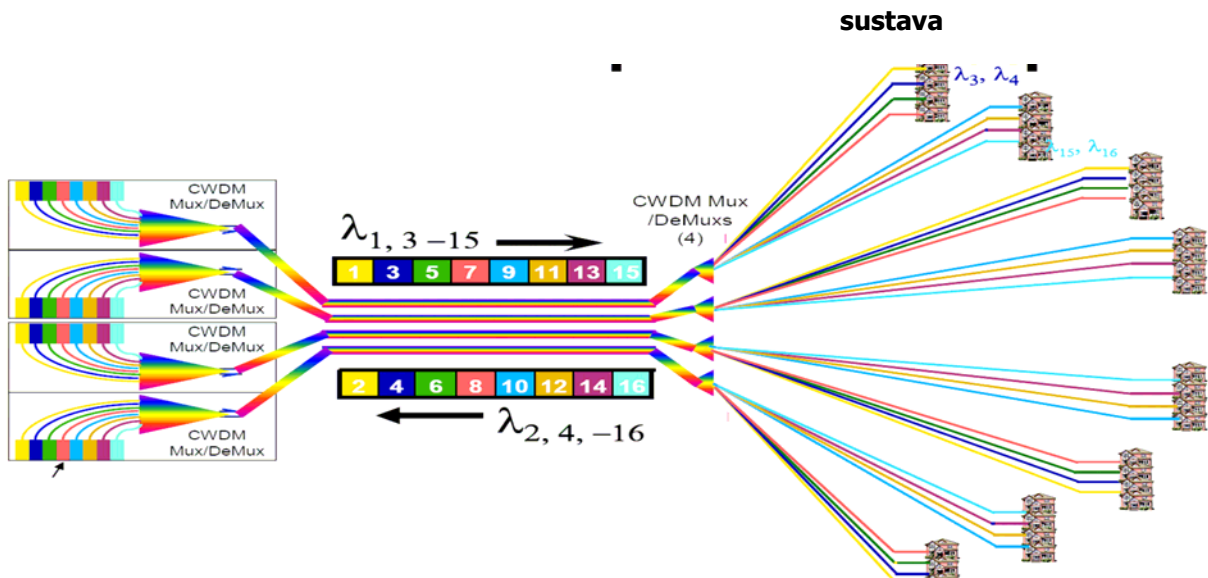
	BPON	EPON	GPON
Standard	ITU-T G.983	IEEE803.2ah	ITU-T G.984
Bandwidth	Downstream up to 622Mbps Upstream 155Mbps	Up to symmetric 1.25Gbps	Downstream up to 2.5Gbps Upstream up to 2.5 Gbps
Downstream λ (nm)	1490 and 1550	1550	1490 and 1550
Upstream λ (nm)	1310	1310	1310
Transmission	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet,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

Tabela 4. PON protokoli i standardi

po priključku (bitno niža od PTPF 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. 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 ultrabrzih 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 Division Multiplexing PON)

U ultrabrzim Metro mrežama topologiju PON-a treba kombinirati sa CWDM multipleksiranjem, u **tkzv. CWDM PON**. Time se osigurava dedikirana valna duljina po svakom korisniku, uporabom višekanalnog CWDM-a prema **Slici 5**. U CWDM PON-u, logički se ostvaruje "point-to-point" komunikacija 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 spreznici i rasprednici. Ovakav PON nudi na prvi pogled idealno rješenje za metro mreže, a ovaj dobitak dodatno se plaća se investicijom u CWDM opremu. Dodatno povećanje broja kanala postiže se, po preporuci ITU-T G.694.2, za faktor 8-18 puta. Preduvjet za korištenje CWDM jeste da je kabela 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



Slika 5: Princip CWDM za ubrzanje PON-a

20-25nm, imaju ogromnu prijenosnu širinu-iznad 200 Gbs, po preporuci ITU-T G.694.2. Za obično vlakno, treba «preskočiti» područje 1370-1430 nm. Dodatnim umetanjem CWDM-a sa recimo 4 kanala za "download", dobiva se hibridno rješenje sa ubrzanjem još 4 x. 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 nevjerojatne za možda budući 10G PON!), pa primjedba na sporost PON-a postaje bespredmetna.

6. ZAKLJUČAK

U svijetu, danas su prisutne tri FTTH optičke kableske 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. Penetracija širokopoljnih priključaka u razvijenim zemljama iznosi tipično 15-40%.

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. 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 ubrzanja. Oba standarda se očekuju oko 2010. g. Pri tome je primjena CWDM u već postojećim GPON vrlo jednostavna – dodaju se pasivni CWDM sprežnici/rasporežnici na oba kraja.

U Hrvatskoj, prave Triple Play i FTTH mreže započinje tek sa integracijom usluge video prijenosa uz već postojeće VoIP i Internet veze. U ovom trenutku penetracija priključaka u RH iznosi oko 400.000 "broadband" priključaka, dakle cca 8-9% (uglavnom ADSL tipa). Od toga je dvadesetak tisuća FTTH priključaka različitih privatnih operatera (cca 0,5%, uglavnom PTPF), što je prihvatljiv udio. Neki operateri koriste i WDM kao rješenje (Metronet). Biti će interesantno napraviti analizu prisutnosti "broadband"-a već krajem g.2009., koja je stimulirana od Vlader RH. Do tada se planira i značajna penetracija FTTH priključaka dominantnog operatera T-HT. Kako sada stvari stoje, T-HT je odabrao GPON sa mogućnošću proširivanja uporabom CWDM-a.

7. LITERATURA

- /1/ Sead Dubravić "Tehnološke izvedbe FTTx kableskih sustava", KOM' 2006: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2007
- /2/ Sead Dubravić "Projektiranje i izgradnja monolitnih optičkih kableskih sustava", KOM'97: Zbornik radova sa Savjetovanja, 1997