

**TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**STRUČNI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE**

Igor Karaica

**FTTx MREŽNE TEHNOLOGIJE**

ZAVRŠNI RAD br. 740

Zagreb, srpanj, 2009.

**TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**STRUČNI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE**

Igor Karaica

JMBAG: 1192030563

**FTT<sub>x</sub> MREŽNE TEHNOLOGIJE**

ZAVRŠNI RAD br. 740

Zagreb, srpanj, 2009.

# 1. SAŽETAK

Glavni pojam oko kojeg se sve 'vrti' u FTTx mrežnim petljama odnosno arhitekturama je optički kabel, tj. optičko vlakno, uz kojeg idu još različite mrežne arhitekture (PON,AON,...).Optičko vlakno prenosi impulse svjetlosti odnosno informaciju.Višestruki tokovi informacija mogu biti prenošeni po istoj optičkoj niti u isto vrijeme koristeći više valnih duljina svjetlosti,tj boja svjetlosti.Optičko vlakno ima mnogo prednosti nad bakrenim žicama ili koaksijalnim kabelima,a jedna od tih prednosti je puno lakše održavanje i dostavljanje puno veće propusnosti.

Svjetlosni signal putuje preko velikih udaljenosti kroz optičko vlakno sa manjim ili bez ikakvih degradacija duž optičke trase do mjesta isporuke vlakna.Jedna od prednosti optičkog kabela je ta što je vrlo tanak i lagan što ga čini lakim za prenošenje i instaliranje.Optički kabel teoretski može omogućiti dovoljnu propusnost podataka da opskrbi cijeli svijet različitim informacijama u svakom trenutku.Pasivne optičke mreže ili PON su najučestaliji tip optičke mreže u FTTx arhitekturama,koje opskrbljuju krajnje korisnike.

Ova vrsta tehnologije,kao što je FTTH (Fiber to the Home – optičko vlakno do doma) isto tako zvana FTTP (Fiber to the Premises – optičko vlakno do posjeda) ili FTTx ako se radi o optičkom vlaknu do bilo kojeg mjesta, u današnje vrijeme se smatra 'zlatnim standardom' za budućnost.Kako godine idu optičko vlakno ide sve bliže i bliže do korisnika te omogućava veliku propusnost informacija.Ovakav pristup je poznat pod nazivom FTTN (Fiber to the Node) za optiku do susjedstva ili čvora,ili pak FTTC(Fiber to the Curb) kao optika do pločnika.

Danas, potrebe za sve većom propusnosti sve više rastu te investicijske cijene za FTTH sve su pristupačnije i razumnije,što FTTH arhitekturu kao najvažniji dio FTTx tehnologije čini sve više ekonomičnijom za korisnike.Smatra se da bi do 2011g. cijela mrežna infrastruktura u SAD-u trebala 'preći' na FTTx tehnologiju,a najviše sa naglaskom na FTTH.Što se tiče Hrvatske,početak FTTH krenuo je krajem 2006g. gdje je prvi pružatelj usluge bio Vodatel.Pokrivenost cijele Hrvatske FTTH tehnologijom nije definirana,ali se znatno povećalo uvođenje optike do korisnika.

## 2 . SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. SAŽETAK .....   | 1  |
| 2 . SADRŽAJ .....  | 4  |
| Popis oznaka i kratica.....                                  | 5  |
| Popis slika .....  | 6  |
| Popis tablica .....  | 7  |
| 3. UVOD .....  | 8  |
| 4. FTTx ARHITEKTURE .....                                    | 12 |
| 4.1 HFC ( Hybrid fiber – coax ) .....                        | 14 |
| 4.2 OPTIČKO VLAKNO DO ČVORA ( Fiber to the Node ) .....      | 16 |
| 4.3 OPTIČKO VLAKNO DO PLOČNIKA ( Fiber to the Curb ).....    | 18 |
| 4.4 OPTIČKO VLAKNO DO POSJEDA ( Fiber to the Premises )..... | 20 |
| 4.5 'LAST MILE' TEHNOLOGIJE .....                            | 24 |
| 4.5.1 xDSL.....  | 24 |
| 4.5.2 KABELSKI MODEM .....                                   | 27 |
| 4.5.3 ETHERNET .....   | 29 |
| 4.5.4 WiMAX .....  | 33 |
| 5. MREŽE U FTTx ARHITEKTURAMA.....                           | 35 |
| 5.1 DIREKTNO VLAKNO ( Point to point mreža ).....            | 35 |
| 5.2 DIJELJENO VLAKNO ( Point to Multipoint mreža ).....      | 36 |
| 5.3 AKTIVNA OPTIČKA MREŽA ( AON ) .....                      | 36 |
| 5.4 PASIVNA OPTIČKA MREŽA ( PON ) .....                      | 41 |
| 5.4.1 PON STANDARDI .....                                    | 47 |
| 6. FTTx U SVIJETU .....                                      | 49 |
| 6.1 EUROPA.....  | 49 |
| 6.2 SJEVERNA AMERIKA .....                                   | 50 |
| 6.3 AZIJA .....  | 50 |
| 7. ZAKLJUČAK.....  | 52 |
| 8. LITERATURA .....  | 53 |

## Popis oznaka i kratica

|        |  |
|--------|--|
| AON    | Aktivna optička mreža  |
| APON   | Pasivna optička mreža temeljena na ATM                               |
| BPON   | Pasivna optička mreža temeljena na širokopojasnom prijenosu podataka |
| CAT 5  | Kabel iz kategorije 5 Ethernet standarda                             |
| CCITT  | Međunarodni telekom. savjetodavni odbor                              |
| DOCSIS | Prijenos podataka preko kablenskog sučelja                           |
| DSLAM  | Digitalni korisnički multipleksor                                    |
| DSL    | Digitalna korisnička linija  |
| EPON   | Pasivna optička mreža temeljena na Ethernetu                         |
| EDFA   | Vrsta optičkog pojačala  |
| FTTx   | Optičko vlakno do određenog mjesta                                   |
| FTTN   | Optičko vlakno do mrežnog čvora                                      |
| FTTC   | Optičko vlakno do pločnika   |
| FTTCab | Optičko vlakno do kabineta   |
| FTTH   | Optičko vlakno do doma   |
| FTTB   | Optičko vlakno do zgrade   |
| FTTP   | Optičko vlakno do posjeda  |
| GPON   | Gigabitna pasivna optička mreža                                      |
| GEPON  | Pasivna optička mreža temeljena na gigabitnom Ethernetu              |
| HFC    | Hibridna optičko – koaksijalna mreža                                 |
| IEEE   | Institut inženjera elektrotehnike                                    |
| ITU    | Međunarodna telekomunikacijska unija                                 |
| LAN    | Lokalna mreža  |
| MDU    | Višekorisnička jedinica  |
| MAC    | Nadzor pristupnog medija   |
| OLT    | Optički linijski terminal  |
| ONT    | Optički mrežni terminal  |
| P2P    | Link od točke do točke   |
| P2MP   | Link od točke prema više točaka                                      |
| PON    | Pasivna optička mreža  |
| POTS   | Analogni telefonski servis (centrala)                                |
| PSK    | Modulacija faze  |

|       |  |
|-------|--|
| SAI   | Sučelje za područno posluživanje                   |
| SONET | Sinkrona optička mreža                             |
| WDM   | Uređaj za multipleksiranje optičkih valnih duljina |

## Popis slika

- Slika 1 Prikaz najčešćih FTTx arhitektura u svijetu (str. 9)
- Slika 2 Širokopolasna pristupna HFC mrežna arhitektura (str. 13)
- Slika 3 FTTN arhitektura do korisnika (str. 15)
- Slika 4 Širokopolasna pristupna FTTN mrežna arhitektura (str. 15)
- Slika 5 FTTC arhitektura do korisnika (str. 17)
- Slika 6 Širokopolasna pristupna FTTC mrežna arhitektura (str. 17)
- Slika 7 FTTB arhitektura do korisnika (str. 19)
- Slika 8 Širokopolasna pristupna FTTB 'point-to-point' mrežna arhitektura (str. 19)
- Slika 9 FTTH arhitektura do korisnika (str. 21)
- Slika 10 Širokopolasna pristupna FTTH-PON mrežna arhitektura (str. 21)
- Slika 11 Napredak xDSL standarda u brzini prijenosa podataka (str. 24)
- Slika 12 Način povezivanja ADSL modema i 'Cisco' routera na centralu (str.24)
- Slika 13 Napredak DOCSIS standarda tokom godina (str. 26)
- Slika 14 Uloga Kabelskog modema u distribucijskoj mreži (str. 27)
- Slika 15 Razvoj trenda Ethernet tehnologija (str. 29)
- Slika 16 CAT 5 Ethernet kabel ( str. 30)
- Slika 17 Prikaz uobičajene Ethernet mreže (str. 31)
- Slika 18 Primjer jedne WiMAX mreže (str. 32)
- Slika 19 Point-to-point mreža ili direktno vlakno do korisnika (str. 33)
- Slika 20 Point-to-multipoint mreža ili djeljeno vlakno do korisnika (str. 34)
- Slika 21 Prikaz aktivne optičke mreže koja obavlja downstream promet (str. 35)
- Slika 22 16 – portni, 10/100M mrežni switch uređaj (str. 36)
- Slika 23 7606 series Internet usmjerivač (str. 37)
- Slika 24 Optički 'Gigabit Ethernet' multipleksor (str. 38)
- Slika 25 'Motorola AXS2200' OLT uređaj (str. 38)
- Slika 26 ONT uređaj – unutrašnji dio (str. 39)
- Slika 27 Prikaz pasivne optičke mreže koja obavlja downstream promet (str. 41)

Slika 28 OLT uređaj (str. 42)

Slika 29 PLC pasivni razdjelnik (str. 44)

Slika 30 ONT uređaj – vanjski dio (str. 44)

Slika 31 Procijena broja FTTH korisnika u svijetu sredinom 2007g. (str. 49)

Slika 32 Statistički podaci FTTH i FTTB korisnika u svijetu sredinom 2008g. (str. 49)

## **Popis tablica**

Tablica 1 Karakteristike xDSL tehnologija (str. 23)

Tablica 2 DOCSIS standardi - brzina prijenosa podataka (str. 26 )

Tablica 3 Karakteristike temeljnih PON standarda (str. 46)

### 3. UVOD

Cilj uvoda je da se čitatelja ukratko upozna sa FTTx pojmom, te FTTx arhitekturama, FTTx mrežama i njezinim standardima.

Fiber to the x je opći pojam za svaku mrežnu arhitekturu koja koristi optička vlakna u tu svrhu da zamijeni cijeli ili samo dio uobičajene bakrene lokalne petlje koja se obično koristi u telekomunikacijama.

Razlikujemo četiri tehnologije optičkih petlji:

- Fiber to the node (čvora) / neighborhood (susjedstva) (FTTN) / Fiber to the cabinet (ormara) (FTTCab).
- Fiber to the curb (pločnika) (FTTC)
- Fiber to the building (zgrade) (FTTB)
- Fiber to the home (doma) (FTTH)

Inače, u stvarnom, praktičnom razmiještaju optičkih petlji razlika između FTTN i FTTC je 'jako fina' odnosno temelji se na razlikama udaljenosti optičkog vlakna do korisnika. Kod FTTN optičko vlakno se postavlja na više od 300m od korisnika, dok kod FTTC ta udaljenost je manja od 300m.

Široko definiran pojam Fiber to the premises (FTTP) odnosno optičko vlakno do posjeda često se koristi za opis FTTH i/ ili FTTB optičke petlje.

U rujnu 2006g., FTTH vijeća za Europu, Aziju i Sjevernu Ameriku uveli su standardnu definiciju za Fiber-to-the-Home (optika do doma) i Fiber-to-the-Building (optika do zgrade) još zvana i kao optika do podruma (FTTB). Kao što smo i rekli na početku FTTx je sinonim za optičku mrežnu tehnologiju koja se dijeli na više optičkih mrežnih infrastruktura. Tako pod FTTH se podrazumjeva optički komunikacijski put koji se prostire od operatorske komutacijske opreme u centrali sve do granica životnog prostora ili poslovnog prostora. Definicija FTTH standarda isključuje one arhitekture gdje optičko vlakno prestaje prije nego što dosegne životni prostor ili



poslovni prostor i gdje prilazni put se nastavlja preko fizičkog medija prije nego optičkim vlaknom.

FTTB možemo prikazati kao optički komunikacijski put koji se pruža isto tako od operatorskog komutacijskog mjesta u centrali ali koji ide do granice privatnog posjeda doma ili poslovnog posjeda. Kod ove arhitekture optičko vlakno završava prije nego što se dosegne životni prostor doma ili pak neke poslovne prostorije. Prilazni put se tada nastavlja preko drugog fizičkog medija kao što je bakrena žica ili bežičnim putem sve do krajnjeg korisnika. Osim ove dvije arhitekture isto tako postoje i druge koje se najčešće koriste od strane korisnika u industriji. Pa tako imamo FTTN koji nije definiran od strane FTTH vijeća, ali u glavnom on se odnosi na sustav gdje se optičko vlakno pruža do točke koja se obično nalazi negdje na ulici odnosno do postavljenog kabineta ili ormara koji od korisnika zna biti udaljen od 300 do 1500 metara. Od te točke na ulici dalje se veza do korisnika ostvaruje preko bakrene žice ili bežično. Tipično kod ove optičke arhitekture usluga se prenosi preko raznih vrsta DSL tehnologija.

FTTN, ljudi često zamjenjuju sa Hybrid Fiber Coax (HFC) arhitekturom, koju najčešće koriste kabelaške TV kompanije za implementiranje DOCSIS-a standarda koji omogućava da se podaci prenose preko kablenskog TV sustava. Svaki DOCSIS čvor obično se od centrale povezuje sa optičkim vlaknom, dok se do korisnika informacije dalje prenose preko koaksijalnog kabela opskrbljujući na taj način od 100 do 500 domova na nekom području. FTTC je sličan kao FTTN, osim što kod FTTC optičko vlakno je dovedeno mnogo bliže posjedu korisnika čija udaljenost tipično iznosi od 100 do 300 metara. Osim DSL-a, FTTC instalacija u završnoj fazi veze sa korisnikom može koristiti Ethernet tehnologiju (preko bakrenog medija ili bežični) pomoću koje se signal dovodi od prestanka optičkog medija do točke korisnika. Point-to-point bežična tehnologija se kad-kad koristi u ruralnim područjima zbog jednostavnosti da se signal dovede od cestovnog puta do nečijeg doma koji zna biti udaljen i do nekoliko kilometara.

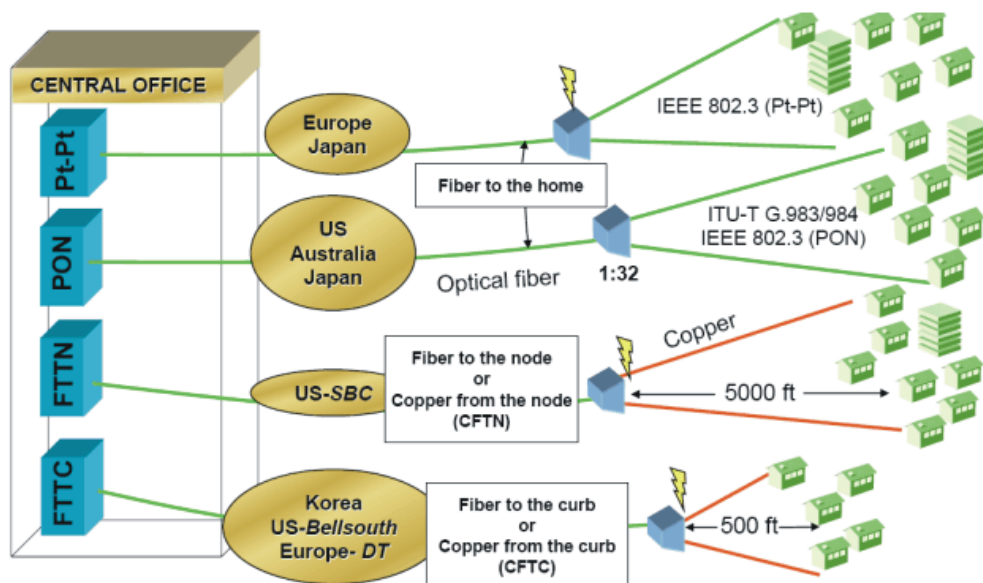
U FTTx tehnologijama familija optičkih mreža može se podijeliti na dvije vrste mreža, a to su PON (pasivna optička mreža) i AON (aktivna optička mreža). PON

znači pasivna optička mreža. Odnosi se na činjenicu da kod nje nema aktivnih električnih uređaja između centrale i korisnika. Svi problemi kod ove mreže su riješeni uz pomoć zrcala, prizmi i optičkih vlakana. AON stoji za aktivnu optičku mrežu. Kao što ime ukazuje, tu su prisutni električni uređaji između korisnika i centrale. Ti uređaji su routeri i switchevi koji najčešće koriste ethernet standard. Ali danas, aktivna elektronika nije smještena unutar udaljenog ormara, već se ona nalazi u centrali. Zbog toga u industriji AON mreže su počeli nazivati point-to-point ili P2P mrežama. To se odnosi na činjenicu da svaki krajnji korisnik dobiva dodjeljeno optičko vlakno (ili nekoliko) koje se pruža od centrale. Zbog toga što svako optičko vlakno zahtijeva svoj laserski izvor, P2P mreže zahtijevaju više energije i mjesta u centrali, te takve mreže ne trebaju distribucijske hubove (sadržavaju optičke splittere), što ih čini lakima za upravljanje.

PON optičku mrežu možemo podijeliti na dvije grane. Prva grana se bazira na Ethernet tehnologiji, isti onaj standard koji se koristi u domovima i korporacijskim LAN-ovima. Ethernet grana standardizirana je od strane IEEE instituta. Druga grana PON-a se bazira na tzv. 'nosećim' standardima od strane ITU unije, te su više telekomunikacijski naklonjene. Prvi ITU standard koji je ušao u primjenu bio je APON, što bi značilo ATM PON. Kao što krajnji korisnici koriste mreže bazirane na Ethernet-u, telefonske kompanije i ostali dalekosežni davatelji usluga koriste ATM tehnologiju. BPON ili širokopojasni PON je verzija koja je zamjenila APON. BPON se bazira isto na ATM-u, ali sa brzinama prema korisniku od 622 Mbps za download, te 155 Mbps za upload, ali još uz to omogućava odvojenu 'dužinu svjetlosti' za prijenos video usluga.

U Sjevernoj Americi, prva veća FTTH mreža koristila je BPON. Ova verzija kasnije je bila zamijenjena sa GPON tehnologijom koja omogućava 2.48Gbps za download te 1.24Gbps za upload. GPON inače podržava tehnologije prijenosa poput ATM-a, Etherneta, i TDM-a (protokolne telefonske kompanije koriste ju za obične telefonske usluge) 'umotavanjem' i 'zarobljavanjem' njihovih podatkovnih paketa sa dodatnim bitovima, zbog čega nastaje GEM ili 'GPON zarobljavajući mod'. GPON standard je finaliziran 2004g. ali u primjenu je tek krenuo 2006g. pojeftinjenjem elektroničkih čipova za njegovu implementaciju te je postao široko dostupan standard.

Prvi Ethernet PON tzv. EPON standard izbačen je na tržište od strane IEEE instituta nekoliko mjeseci nakon GPON standarda 2004g. EPON standard odmah je bio poboljššan u smislu prijenosa podataka na 1.25Gbps, dvaput više u odnosu na originalni početni standard koji je imao manju propusnost, kako su noviji elektronički dijelovi postali dostupniji. Mreža koja koristi ovu brzinu prijenosa podataka dosta puta ju znaju zvati i GePON kao pojam za gigabitni ethernet PON. Na kraju svega ponekad može doći i do zabune pa tako za P2P mreže kaže se da su aktivne gdje je tipična implementacija te mreže Ethernet. Pa tako kod Ethernet P2P mreže obično nema aktivne elektronike između krajnjeg korisnika i centrale. U tom smislu tada nema razlike između P2P i PON-a. Ali isto tako ne smijemo zaboraviti da P2P mreža svakog korisnika poslužuje barem jednim dodjeljenim optičkim vlaknom od strane centrale, te svako vlakno ima svoj laserski izvor svjetlosti za generiranje impulsa. Dok kod pasivne optičke mreže PON, jedan laserski izvor svjetlosti iz centrale može posluživati do 64 korisnika.



Slika 1. Prikaz najčešćih FTTx arhitektura u svijetu

## 4. FTTx ARHITEKTURE

U ovom poglavlju čitatelja se upozna sa svakom optičkom petljom posebno, te najkorištenijim vrstama 'last mile' tehnologija.

U proteklih 15 godina globalni davatelji usluga postupno su omogućavali da optička tehnologija bude sve više odvojena od centrala a da bude sve bliže korisniku. Takav trend se nastavio sa unaprijeđenjem i razvojem novih sustava pretplatničkih petlji, koji su jednostavno zamijenili zastarijele bakrene linije sa optičkim vlaknima za prvih nekoliko kilometara od centrale. Nešto kasnije, početkom 1990-ih godina CATV operateri počeli su unaprijeđivati svoj TV prijenos, infrastrukturu koristeći HFC sustave, pomoću kojih su dovukli optičko vlakno na nekoliko kilometara od korisnika.

Početkom 1998g. tvrtka BellSouth počela je koristiti FTTC sustave svaki put kada je trebala obnoviti stara bakrena postrojenja ili početi iznova nečije kućne instalacije, kako bi korisniku osigurali optiku samo 150m od njega. 2002g. Japan je počeo uvoditi FTTH sustav koristeći point-to-point način povezivanja s korisnikom.

Ubrzo nakon toga 2004g. tvrtka Verizon počela je uvoditi FTTH sustav koristeći pasivnu optičku mrežu (PON), te takav sustav nazvali optika do posjeda ili FTTP, da na taj način omoguće uslugu višestrukog posluživanja istog optičkog vlakna, npr. u zgradi. Danas, tvrtka AT&T u SAD-u daje usluge preko FTTN arhitekture, što je malo lošija varijanta od FTTC, ali sve jedno omogućava dovođenje optičkog vlakna na 1 km od korisnika.

Za hibridne korištene pristupe poput FTTN, FTTC za posljedicu ima to da je prisutna manja propusnost informacija koje se dostavljaju do korisnika. Sve tri navedene varijante koje se baziraju na optici su slične. Svaka od njih ima terminalnu opremu u centrali, velika optička postrojenja, srednja optička distribucijska postrojenja, način polaganja medija te opremu koja se nalazi na korisnikovoj strani. Kod HFC-a nastavni medij je koaksijalni kabel, kod FTTC-a je to upredena parica, a kod FTTH je to optičko vlakno. Osim toga oni se razlikuju i po još jednom

aspektu :HFC i FTTC koriste aktivne uređaje i napajanje iz vanjske jedinice,dok kod FTTH sve se vrti oko pasivnog vanjskog postrojenja koji ne zahtijeva napajanje.Naravno sve se vrste još razlikuju po cijeni koštanja arhitektura.A od sve tri arhitekture se očekuje da isporuče korisniku : telefonske usluge,video usluge,te internet velikih brzina za prijenos podataka.

Optička petlja je sustav sličan POTS (Plain old telephone service – analogna telefonska usluga) lokalnoj petlji,koja je implementirana ili nadograđena svjetlovodnom optičkom tehnologijom koja ide od centrale do udaljenog pretplatničkog stupnja ( SAI – serving area interface) koji je smješten u blizini naselja,ili optičke niti koja ide do mrežne optičke jedinice (Optical Network Unit),tj. ONU koja je smještena na korisnikovom posjedu (vlastitom ili poslovnom). Inače,u optičkim petljama,optičko vlakno može se provesti duž cijele trase do korisnika ili može ići samo do distribucijske točke od koje dalje ide bakrena žica.

Optičke petlje uključuju razne arhitekture kao što su optičko vlakno do pločnika (FTTC),optičko vlakno do doma (FTTH), te optičko vlakno do posjeda (FTTP). Stambena područja koja se već poslužuju sa 'balansnim' vezama (Hibridne optičke petlje – optika - bakar) zasad su najviše isplative zbog balansa između cijene i kapaciteta usluge,koja je pogodna većini korisnika.Dakle,što je bliže 'optička glava' korisniku to će biti veća cijena optičke investicije ali i veći podatkovni kapacitet do korisnika.

Osim pravih optičkih petlji postoji još mreža nazvana Hybrid fibre – coaxial(Hibrid optičke i koaksijalne trase) (HFC), to je mreža koju najčešće koriste distributeri kabela televizije,te ta mreža nije sinonim za optičku petlju,premda se većina naprednih usluga (DTV,visokopropusni internet,govor,podaci) može prenositi preko HFC hibridne petlje.

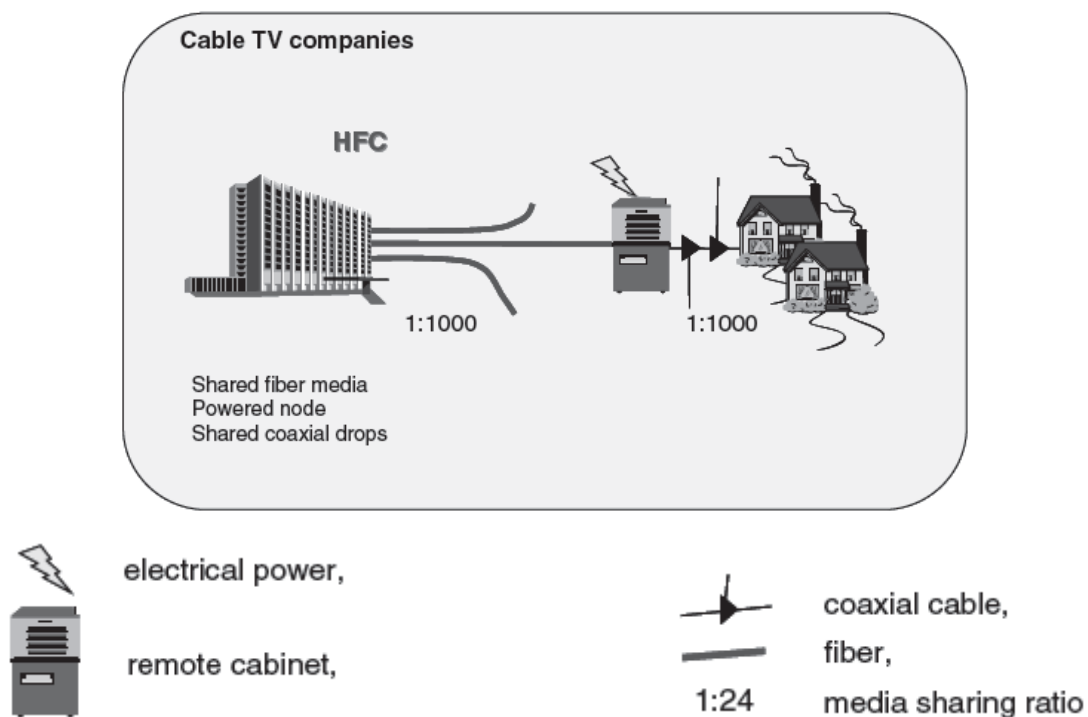
## **4.1 HFC ( Hybrid fiber – coax )**

Do danas, davatelji višestrukih usluga razvili su i omogućili HFC mrežu za više od 40 milijuna korisnika. Ova arhitektura koja se bazira na optičkom prijenosu od centrale do nekog čvora mreže omogućava svoje usluge korisnicima kojih tipično ima od 500 do 1000 na nekom području. Prijenos usluga preko optičkog dijela HFC mreže se izvršava na način da se npr. analogni TV kanali od centrale multipleksiraju na valnoj duljini od 1550nm i tako se prenose.

U HFC mreži odašiljač mora biti linearan da nebi došlo do intermodulacije multipleksiranih signala, te optički signal na prijemniku mora biti velike snage kako bi se bolje izdvoio od šuma. Dalje, što znači da u centrali moraju postojati EDFA pojačala da dovoljno pojačaju optički signal kako bi se on mogao razdvojiti u splitterima i posluživati više čvorova. Svaki čvor prima istu grupu analognih TV kanala. Osim toga, svaki čvor mreže prima vlastiti kanal koji se odnosi na internet uslugu za taj čvor. To znači da se jedinstveni Internet podaci moraju multipleksirati na posebni Internet kanal za taj svaki pojedini čvor. Kako svi korisnici nekog čvora u mreži dobivaju isti signal, oni zapravo dijele taj Internet kanal, pa tako nitko od tih korisnika ne može ostvariti mogućnost potpune Internetske propusnosti (mogućnost maksimalne brzine).

Unutar svakog čvora kanali su pojačani i razdvojeni da na taj način opskrbljuju svakog korisnika koji se nalazi na tom čvoru. Svaki korisnik čvora prima isti analogni signal koji dolazi do tog čvora i njihov kabelski modem mora filtrirati one TV kanale koje oni žele gledati i odabrati one internetske pakete koji odgovaraju njihovom accountu. Kabelski modemi koji se danas koriste odvajaju internetski kanal od TV kanala i omogućavaju brzinu od 42 Mb/s za Internet downstream tok podataka u kombinaciji sa DOCSIS 2.0 standardom, koji se dijeli na sve korisnike u čvoru. Prema upstream toku podataka Internet promet od svakog korisnika se multipleksira na jedan upstream kanal gdje on kod DOCSIS 2.0 standarda iznosi 30 Mb/s dijeljeno na sve korisnike čvora.

Upstream kanal je inače ograničen korištenjem koaksijalnih pojačala u postrojenju distribucije, i to je glavni problem HFC sustava što se tiče Internet usluge velikih brzina. Tokom vremena, došlo je do poboljšanja DOCSIS standarda što se odnosilo najviše na kablanske modeme koji su većinom kontrolirali propusnost korisnika. Glavni cilj je bio povećati downstream tok podataka prema korisniku i povećati upstream tok od korisnika, omogućiti više kanala za Internet pristup, te naposljetku maknuti koaksijalna pojačala sa distribucijskog dijela da bi se omogućilo korištenje više kanala u upstream smjeru. Kada budu udaljenosti do kojih seže optičko vlakno dovoljno male da se maknu sva pojačala i kada svaki čvor bude posluživao do 25 korisnika tada bi HFC arhitektura mogla dostavljati podatke gigabitnim brzinama do korisnika, a sve to kako bi mogla ispuniti zahtjeve budućih korisnika.



Slika 2. Širokopoljaska pristupna HFC mrežna arhitektura

## **4.2 OPTIČKO VLAKNO DO ČVORA ( *Fiber to the Node* )**

Fiber to the Node (čvora) (FTTN), često zvan optičko vlakno do susjedstva (neighborhood) ili optičko vlakno do ormara – kabineta (FTTCab), je telekomunikacijska arhitektura bazirana na optičkim kabelima koja je osmišljena za opskrbljivanje korisnika odnosno susjedstva informacijama od TK ormara do kojeg se taj prijenos informacija obavlja preko optičkog vlakna. Korisnici se priključuju na taj ormar ili kabinet posredstvom standardnog koaksijalnog kabela ili upletene parice (twisted pair). Radijus područja koje se obično poslužuje ovom vrstom optičke petlje manja je od 1500m. Broj korisnika koji ova optička petlja može posluživati u danom području obično iznosi do nekoliko stotina korisnika.

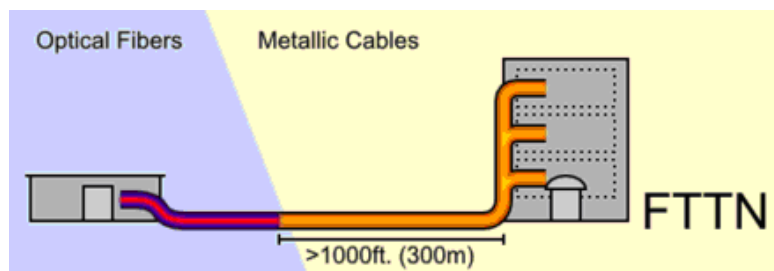
Fiber to the Node (čvora) omogućava dostavu širokopojasnih (broadband) usluga kao što je internet velikih brzina protočnosti informacija (High speed internet). Komunikacijski protokoli velikih brzina kao što su širokopojasni kabelski pristupi (DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification) ili neke vrste DSL tehnologija se koriste između ormara – kabineta i krajnjeg korisnika. Protočnost podataka odnosno brzina varira ovisno o komunikacijskom protokolu koji se koristi ili pak o tome koliko je korisnik udaljen od ormara (kabineta). Ako se za posljednju dionicu do korisnika koristi bakrena linija, što je obično i slučaj kod FTTN arhitekture, tada udaljeni DSLAM tvori distribucijsku točku. On vrši prespajanja sa uličnim kabinetima, koji inače poslužuju grupu domova ili zgrada sa bakrenom vezom. U tzv. hibridnoj optičko-bakrenoj FTTN arhitekturi, za vezu ostvarenu upredenom paricom između korisnika i udaljenog DSLAM-a se obično koristi VDSL tehnologija.

ONU mrežna jedinica koja se nalazi tik do DSLAM jedinice 'hrani' centralu povratnim signalima od korisnika preko optičkog linka koji je postavljen sve do centrale. Pored svega u FTTN arhitekturi moguće je korištenje BPON+VDSL tehnologija ili GPON+VDSL2 tehnologija što je jedan od ciljeva tvrtke Verizon za realizaciju u FTTN arhitekturama. Ili pak ako se koristi bežična komunikacija za posljednju dionicu do korisnika, antena tada tvori distribucijsku točku. Kod ove vrste

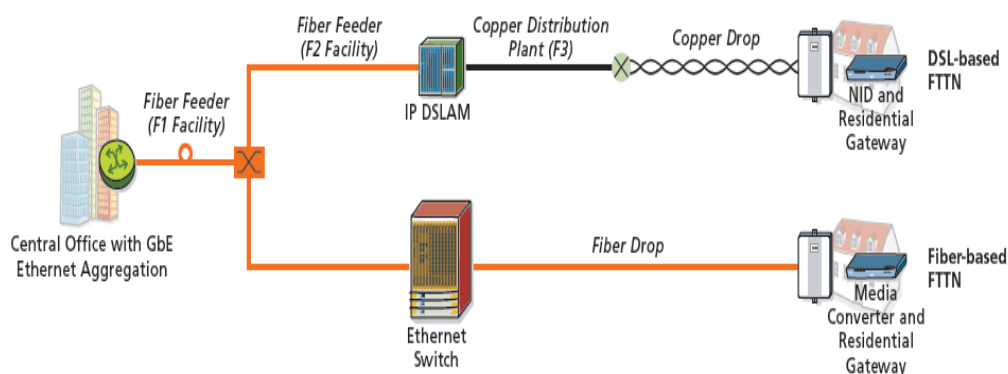


konekcije WiMax stoji kao najveći obećavajući kandidat za FTTN realizaciju u hibridnom obliku optičko - bežične arhitekture. FTTN mreže uključuju one mreže koje omogućavaju DSL preko bakrene linije ili pak optičke mreže koje koriste Ethernet switcheve, sa brzinom od 100 Mb/s do korisnika. Kako se danas većina pristupne opreme bazira na Ethernetu, glavna razlika između aplikacija je u posljednjoj dionici do korisnika, koja se sastoji od bakrene linije i DSL modema u slučaju FTTN arhitekture bazirane na bakru ili pak od optičkog vlakna i medijskog pretvarača u slučaju Etherneteta što se odnosi na FTTN arhitekturu baziranu na optici.

Za razliku od konkurentne Fiber to the Premises (posjeda) (FTTP) tehnologije, FTTN može koristiti postojeću koaksijalnu ili paričnu infrastrukturu da omogući tzv. 'last mile' odnosno posljednju milju prijenosa podataka do korisnika. Baš iz tog razloga Fiber to the Node (čvora) košta manje za realiziranje, te isto tako ima manji potencijal frekvencijskog pojasa (bandwidth potential) od FTTP (optičko vlakno do posjeda).



Slika 3. FTTN arhitektura do korisnika



Slika 4. Širokopolasna pristupna FTTN mrežna arhitektura

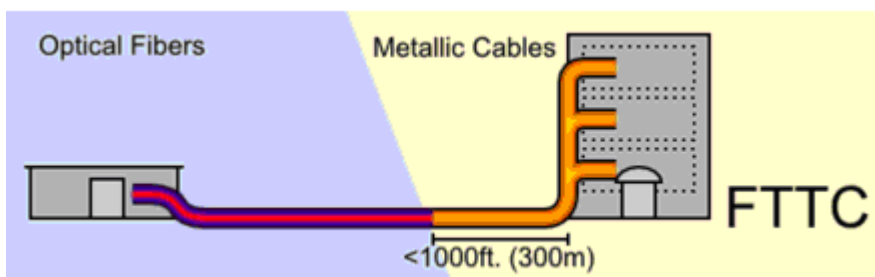
### **4.3 OPTIČKO VLAKNO DO PLOČNIKA ( *Fiber to the Curb* )**

Fiber to the Curb (FTTC), je telekomunikacijski sustav, petlja bazirana na optičkim kabelima koja služi za posluživanje nekolicine korisnika. Svaki od tih korisnika ima konekciju na ovu optičku petlju preko koaksijalnog kabela ili upletene parice. Ako petlja poslužuje korisnike koji su udaljeni od 'vruće točke' barem 300m tada se takva optička arhitektura naziva Fiber to the Curb (FTTC).

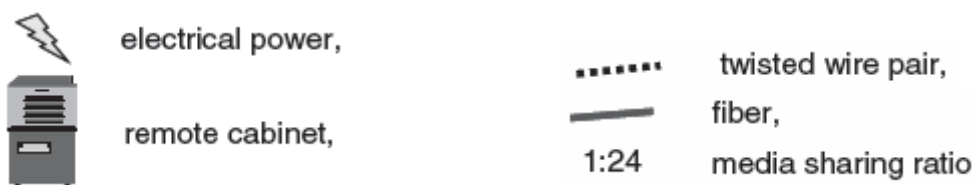
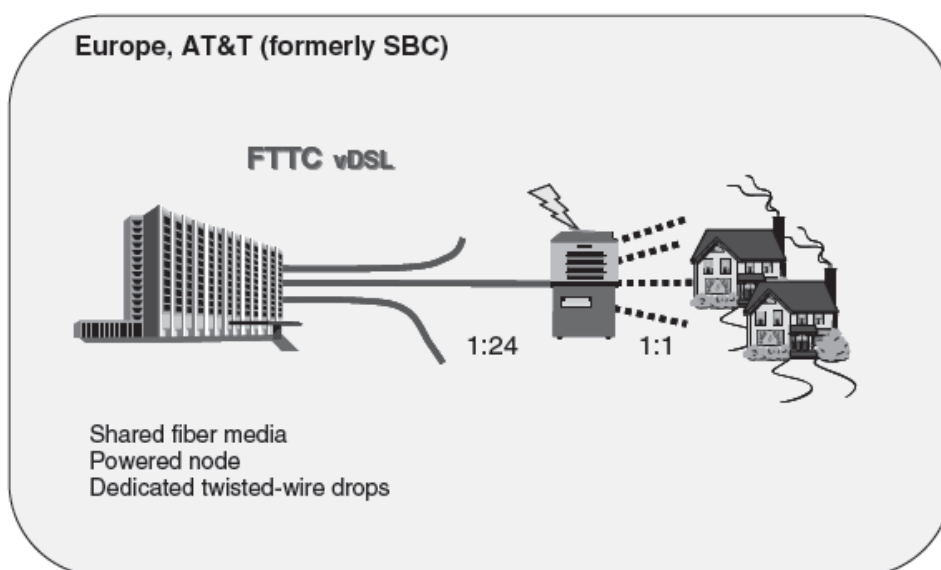
Fiber to the Curb (pločnika) omogućava dostavu širokopojasnih usluga kao što je internet velikih brzina (High speed internet). Komunikacijski protokoli velikih brzina kao što su širokopojasni kabelski pristup (DOCSIS) ili neke vrste DSL tehnologija se koriste između kabineta (pločnika) i krajnjeg korisnika. Tako kod FTTC-a tvrtke BellSouth (sada AT&T Southeast) imamo situaciju da nakon optičkog vlakna, 300m do korisnika se koristi bakrena linija uz korištenje VDSL2 tehnologije koja omogućava propusnost od 100Mbit/s do korisnika. Isto tako brzina prijenosa podataka varira ovisno o trenutnom protokolu koji se koristi, te o tome koliko je udaljen korisnik od kabineta (pločnika).

FTTC se znatno razlikuje od FTTN ili FTTP (sve su to verzije optičke petlje). Bitna razlika između optičkih petlji je mjesto postavljanja kabineta. Tako će FTTC kabinet biti postavljen blizu 'pločnika' gdje će se optičko vlakno prostirati do vanjskog kabineta na udaljenosti od 300 do 600m od korisnika, te kao last mile tehnologiju koristiti će VDSL kao pristup korisniku, što se razlikuje od FTTN kabineta koji će biti postavljen znatno dalje od korisnika, i na kraju FTTP kabinet koji će biti postavljen na samoj lokaciji posluživanja usluge. Za razliku od konkurentne FTTP tehnologije, FTTC koristi postojeću koaksijalnu ili paričnu infrastrukturu koja omogućava tzv. last mile uslugu. Iz toga razloga Fiber to the Curb (FTTC) košta manje za realiziranje. Međutim, isto tako ima manji potencijal propusnosti (bandwidth potential) od FTTP.

U budućnosti postojeće FTTC arhitekture moći će biti nadograđene na način da će se dio takve arhitekture ukloniti i prilagoditi za uvođenje FTTP arhitekture.



Slika 5. FTTC arhitektura do korisnika



Slika 6. Širokopolasna pristupna FTTC mrežna arhitektura

#### **4.4 OPTIČKO VLAKNO DO POSJEDA ( *Fiber to the Premises* )**

Fiber to the Premises ( posjeda) (FTTP) je vrsta optičke (svjetlovodne) komunikacije za dostavljanje informacijskih usluga kod koje optičko vlakno se direktno dovodi do korisnikove prostorije, posjeda (doma, poslovne zgrade). Ova optička arhitektura za razliku od predhodnih optičkih usluživačkih strategija kao što su FTTN, FTTC ili hibrid svjetlovoda i koaksijalnog kabela, ne koristi postojeće prepletene parice i koaksijalne kabele kao rješenje za 'last mile' način prijenosa.

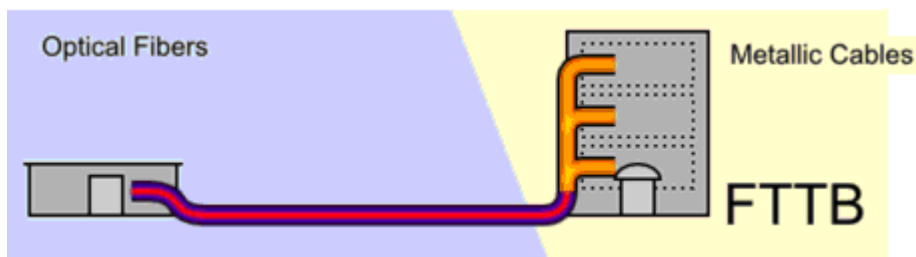
**Fiber to the Premises** (FTTP) može se podijeliti na kategorije ovisno gdje završava optički kraj :

**FTTB (Fiber to the Building)** je vrsta optičke komunikacijske usluge kod koje optički signal doseže privatno imanje ograđujući na taj način dom ili poslovni prostor pretplatnika ili grupu pretplatnika ,gdje optička nit se 'prekida' prije dolaska do kućnog životnog prostora ili poslovnog uredskog prostora, dakle optičko vlakno ne ide sve do krajnje prostorije korisnika već do određenog prizemnog mjesta u zgradi, gdje se prijenos informacija tada nastavlja preko bakrenog medija. Kod FTTB oprema za ostvarenje veze se postavlja u centrali i na korisničkom posjedu, a veza između te dvije točke se ostvaruje preko pasivne point-to-point konekcije. FTTB je sličan FTTH sa iznimkom da istodobno poslužuje više korisnika (multi-dwelling units - MDU) ili pak samo jednog korisnika na nekoj lokaciji, dok FTTH poslužuje samo jednog korisnika (family unit - FU).

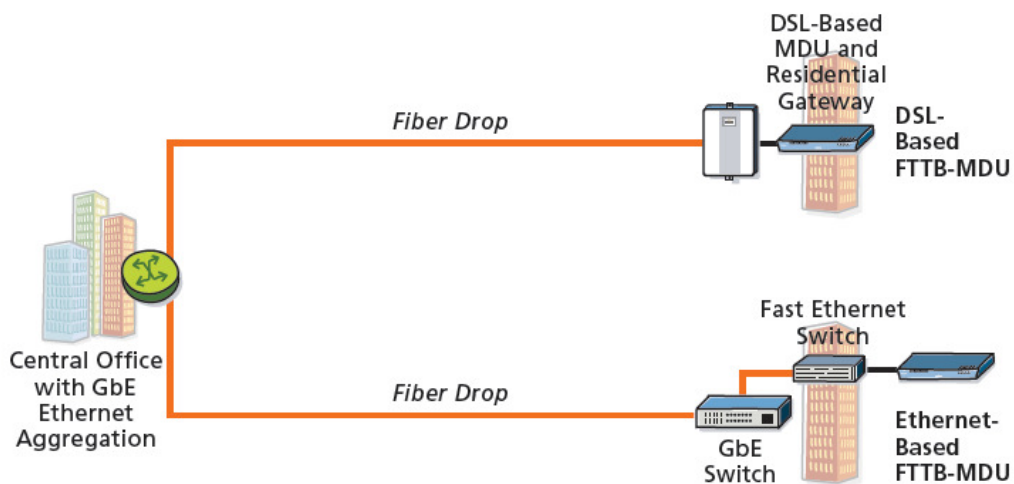
Na strani korisnika optička veza se prekida na ONT odnosno MDU jedinici gdje se svjetlosni signali pretvaraju u električne. FTTB – MDU sustav je sačinjen od DSLAM ili Ethernet switcha postavljenom na korisnikovom posjedu (obično u podrumu ili ormaru) i DSL-a ili 5/5E/6 (CAT5/5E/6) kategorije kabela korištene za dovođenje usluge do korisnika po katovima zgrade. Upravo to omogućava MDU jedinicama da budu poslužene sa jednim ili više GbE (gigabit ethernet) uređaja na samom ulazu u zgradu. FTTB-MDU aplikacije su najčešće identične po principu kao i kod FTTN vanjskog postrojenja, pa oprema koja se nalazi u tom postrojenju mora biti prilagodiva

i sposobna da radi u ekstremnim uvjetima kao što su to temperature od -40 do 65 celzijevih stupnjeva. Osim toga sučelja moraju biti zaštićena od raznih vanjskih naponskih smetnji koje mogu znatno naštetiti opremi (npr. munja, vodovi sa izmjeničnom energijom....itd.). Za razliku od FTTB – MDU jedinice, point-to-point mreže koje poslužuju samo jednog korisnika (FTTB-SDU) dodjeljuju posebna postrojenja od centrale do korisničkog posjeda.

Ovakva mreža može biti skupi zahtjev gdje tada cijena optičkog postrojenja postaje dosta velika. Ipak, point-to-point ili jedno-korisnička FTTB rješenja obično imaju smisla kada su udaljenosti između centrale i korisnika male i postrojenja količinski velika.



Slika 7. FTTB arhitektura do korisnika



Slika 8. Širokopojasne pristupna FTTB 'point-to-point' mrežna arhitektura

**FTTH (Fiber to the Home)** je vrsta optičke komunikacijske usluge kod koje optički signal dolazi do korisnikovog dnevnog ili uredskog prostora.

Tvrtka Verizon u ožujku 2004g. počela je razvijati FTTH (koristili su termin FTTP koji je uključivao domove, više - stanovne jedinice i poslovne lokacije) te je do lipnja 2007g. prošla više od 7 milijuna domova a od toga procijenjuje se da su imali do 1.5 milijuna korisnika. Opskrbljivači diljem Europe i Azije također rade na globalnom razvoju i uvođenju ovakve vrste arhitektura do korisnika.

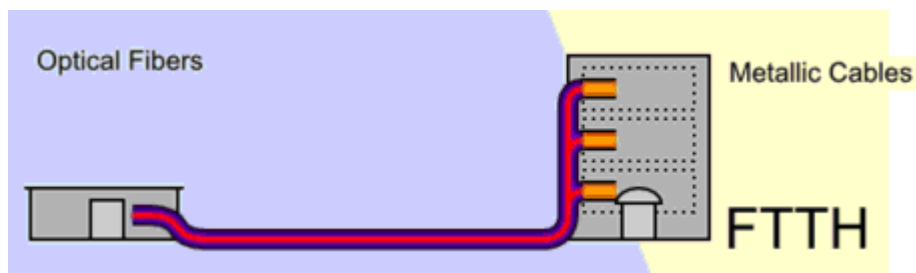
FTTH sustavi koriste PON vrstu mreža, prenoseći na taj način signal od centrale do višestrukih korisnika uz pomoć 1:32 optičkog splitter (razdjelnika) koji se nalazi u 'pasivnom' kabinetu, te nakon toga on ide sve do mrežnog sučelja koje se nalazi izvan kuće. Analogni i digitalni signali se prenose na različitim valnim duljinama svjetlosti. Tako je downstream analognog signala prenošen na valnoj duljini od 1550nm, a digitalni na 1490nm. Upstream signali su prenošeni po istom vlaknu kao downstream signali ali na valnoj duljini od 1310nm, te su spregnuti u vlakno preko sprežnih filtera na svakom kraju mreže. Upstream podatkovni signali su multipleksirani zajedno uz pomoć TDMA metode gdje je svakom korisniku dodjeljen jedan ili više vremenskih odsječaka.

Glavni problem PON mreža je taj da svaki od korisnikovih upstream signala će stići u promjenjivom vremenu koje ovisi od udaljenosti korisnika od centrale i prijelaznog vremena signala u vlaknu uzrokovanog na samom početnom dijelu gdje se upstream TDMA signali multipleksiraju. To se rješava auto-odmjeravajućom sinkronizacijom signala kojeg generira svaki korisnik, gdje taj svaki signal dolazi na multipleks točku u točno određenom vremenskom odsječku. U početku PON standardi karakterizirali su FTTH sustave sa downstream brzinama podataka od 622 Mb/s i upstream brzinama od 155 Mb/s koristeći asinkroni način prijenosa (ATM) odnosno A-PON. Kasnije, to je bilo poboljšano s ciljem da se u obzir uzme i analogni kanal za širokopojasni pristup (B – PON).

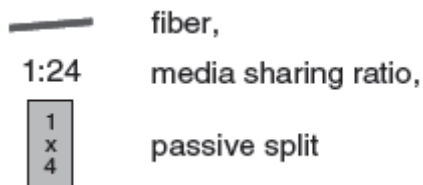
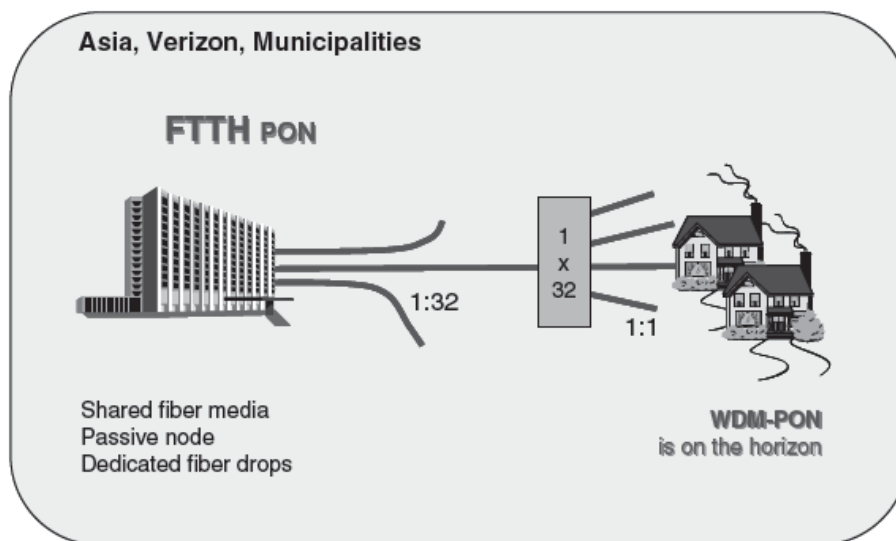
S vremenom ATM pristup se proširio na 2.5 Gb/s downstreama i 622 Mb/s upstreama i bio nazvan G – PON, te drugi sličan tehnološki pristup koji se nešto kasnije razvio a bazirao na gigabitnom ethernetu bez analognog preklapanja bio je standardiziran kao GE – PON. Sa ATM formatom korisnik ima dobro definiranu i

garantiranu propusnost i kvalitetu usluge (QoS), dok sa Ethernet formatom korisnik dijeli punu propusnost (brzinu) na temelju tzv. best – effort osnove.

ATM bazirane PON mreže su popularne od strane US operatera od kada je ATM sukladan sa starim prijenosnim sustavima, dok ethernet format zahtijeva dodatne kapitalne promjene za izgradnju mreže. Danas je jasno da za FTTH sustave korisnička propusnost od 100 Mb/s je prilično razumna i da ta propusnost vrlo vjerojatno bi se mogla pomaknuti do gigabitnih vrijednosti uvođenjem statističkog multipleksiranja koji bi bio nerazdvojni dio ethernet protokola.



Slika 9. FTTH arhitektura do korisnika



Slika 10. Širokopolasna pristupna FTTH-PON mrežna arhitektura

## **4.5 'LAST MILE' TEHNOLOGIJE**

Pristupne tehnologije koje se još smatraju tradicionalnim 'last-mile' tehnologijama to su one tehnologije koje čine posljednji segment linijske veze od mjesta gdje prestaje optičko vlakno pa sve do korisnika. Neke od čestih last mile tehnologija su : xDSL, Cable modem (CATV), Ethernet, WiMax..

### **4.5.1 xDSL**

Prvi širokopolasni DSL standard bila je digitalna mreža integriranih usluga (ISDN) koja je razvijena 1980g. od strane CCITT koji je bio preteća današnjem ITU-T. ISDN standard pruža tzv. 2B+1D kodnu shemu preko jedne upredene parice. ISDN uključuje dva 64 kbps kanala (2B) za prijenos govora i podataka i jedan neobavezan od 16 kbps digitalni kanal, te to sve ukupno daje brzinu prijenosa podataka od 144 kbps u oba smjera. ISDN usluge nikad nisu postale popularne zbog svoje visoke cijene i nedostataka u svojoj izvedbi.

Kako web stranice uključuju sve više i više multimedijских podataka pa je zahtjev za propusnosti sve veći, da bi zadovoljio korisničke potrebe. Različite vrste DSL tehnologija (ili xDSL) razvijene su najviše za dostavu širokopolasnih podataka preko bakrenih upredenih parica. DSL usluge koriste viši frekventni pojas preko bakrenih parica za prijenos podataka. Pojas od 0 - 4 kHz se koristi za prijenos govora od strane telefonske centrale, pojas od 25 - 160 kHz se koristi za upstream tok podataka, te na poslijetku pojas od 240 kHz – 1.5 MHz se koristi za downstream tok podataka. DSL brzine prijenosa i udaljenosti su ograničene zbog pogoršanja signala koji putuje kroz bakrene parice, jer signali viših frekvencija se guše brže unutar bakrenih parica.

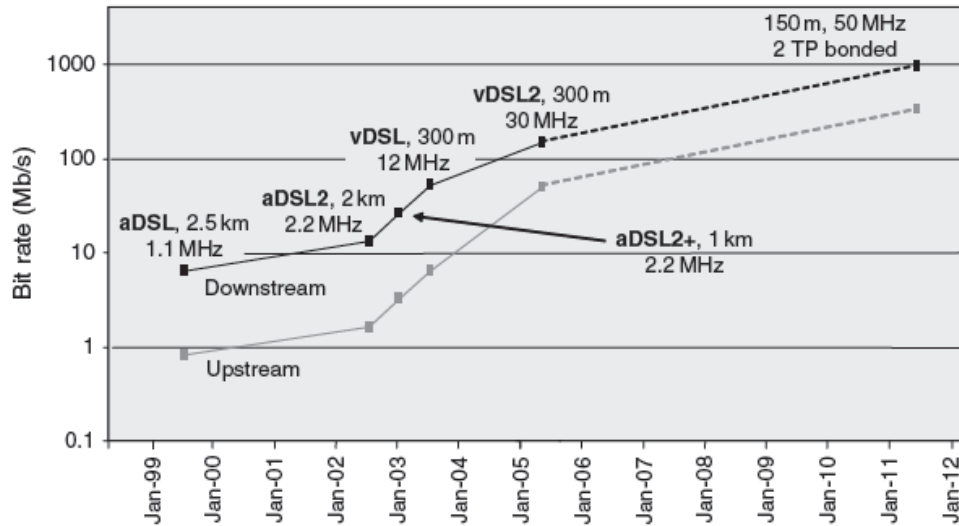


Gotovo sve DSL tehnologije danas koriste modulacijsku tehniku koja se zove diskretna multitonnska modulacija (DMT), koja djeli cijeli frekventni pojas na 247 kanala od po 4 kHz isječka. Kvaliteta signala u svakom isječku se konstantno prati, te se signali prebacuju iz loših isječaka u dobre kao adaptivni način prijenosa signala. Asimetrični DSL (ADSL) i Very high data rate DSL (VDSL) su dvije najkorištenije DSL tehnologije. ADSL pruža downstream tok podataka od 8 Mbps i upstream tok podataka od 800 kbps, preko maksimalne udaljenosti od 5,5 km. Što se tiče VDSL usluge ona je najčešće podržana sa optičkom infrastrukturom kao što je to FTTC, koja nakon optičkog dijela ima kratku udaljenost do korisnika za prijenos podataka.

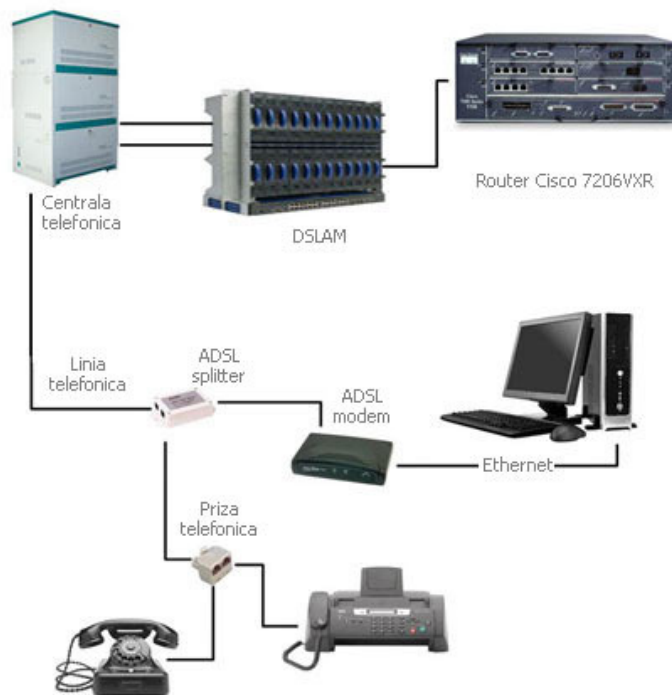
VDSL usluga na udaljenosti od 1200 m od korisnika pruža downstream tok podataka od 52 Mbps i 16 Mbps upstream tok podataka. Da bi korisnici primili DSL uslugu moraju instalirati DSL modem koji je zapravo filter za razdvajanje govornih signala od podatkovnih signala. DSL modem obično se nalazi na korisničkoj strani te na taj način povezuje korisnika sa davateljem usluga preko DSLAM-a koji se nalazi u udaljenom pristupnom čvoru ili pak u centrali. DSLAM inače omogućuje point-to-point vezu davatelja usluge sa korisnikom.

| DSL tip                                | Maksimalna brzina |            | Maksimalna prijenosna udaljenost (km) | Broj prijenosnih linija | POTS podržavanje |
|--|-------------------|------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
|  | Upstream          | Downstream |                                       |                         |                  |
| <b>ADSL</b> (Asymmetric DSL)           | 800 kbps          | 8 Mbps     | 5,5                                   | 1                       | Da               |
| <b>HDSL</b> (High data rate DSL)       | 1,54 Mbps         | 1,54 Mbps  | 3,65                                  | 2                       | Ne               |
| <b>IDSL</b> (ISDN)                     | 144 kbps          | 144 kbps   | 10,7                                  | 1                       | Ne               |
| <b>MSDSL</b> (Multirate symmetric DSL) | 2 Mbps            | 2 Mbps     | 8,8                                   | 1                       | Ne               |
| <b>RADSL</b> (Rate adaptive DSL)       | 1 Mbps            | 7 Mbps     | 5,5                                   | 1                       | Da               |
| <b>SDSL</b> (Symmetric DSL)            | 2,3 Mbps          | 2,3 Mbps   | 6,7                                   | 1                       | Ne               |
| <b>VDSL</b> (Very high data rate DSL)  | 16 Mbps           | 52 Mbps    | 1,2                                   | 1                       | Da               |

*Tablica 1. Karakteristike xDSL tehnologija*



Slika 11. Napredak xDSL standarda u brzini prijenosa podataka



Slika 12. Način povezivanja ADSL modema i 'Cisco' routera na centralu

## 4.5.2 KABELSKI MODEM

U usporedbi sa upredenim paricama, koaksijalni kabel je vrlo dobar širokopolasni medij sa odličnim frekvencijskim odzivom. Posjeduje korisni frekvencijski pojas do 1 GHz. U Sjevernoj Americi, CATV davatelji usluga nazivaju se višestruki davatelji usluga (MSOs). Srednjih 90-ih godina, MSO-i počeli su preoblikovanje svojih standardnih jednosmjernih analognih sustava na način da su postavljali u oba smjera pojačala, te optička vlakna kako bi mogli osigurati usluge poput VOD (Video on demand). 1996g. Telecom Act tvrtka u SAD-u liberalizirala je svoje tržište telekomunikacija, gdje su MSO-i iskoristili njihove koaksijalne kabele, linije da na taj način pruže širokopolasne usluge preko kablenskog modema.

Prijenos podataka preko kablenskog sučelja poznato kao i DOCSIS standard 1.0 nastao 1997g. napravio je značajan doprinos u popularnosti kablenskih modema u SAD-u nudeći vlastite specifikacije za različite operabilnosti i na taj način smanjio cijene oprema i usluga. U sustavima baziranim na kablenskim modemima, kablenski modemi u pojedinačnim domaćinstvima se inače spajaju na kablenske modemske terminacijske sustave (CMTS) koji se nalaze u centrali ili obližnjem glavnom čvoru. Korisnički podaci se multipleksiraju koristeći vremenski multipleks (TDM). Downstream tok podataka od centralnog operatorskog dijela prenosi se individualno za svaki kablenski modem do korisnika preko kablenskog koaksijalnog postrojenja.

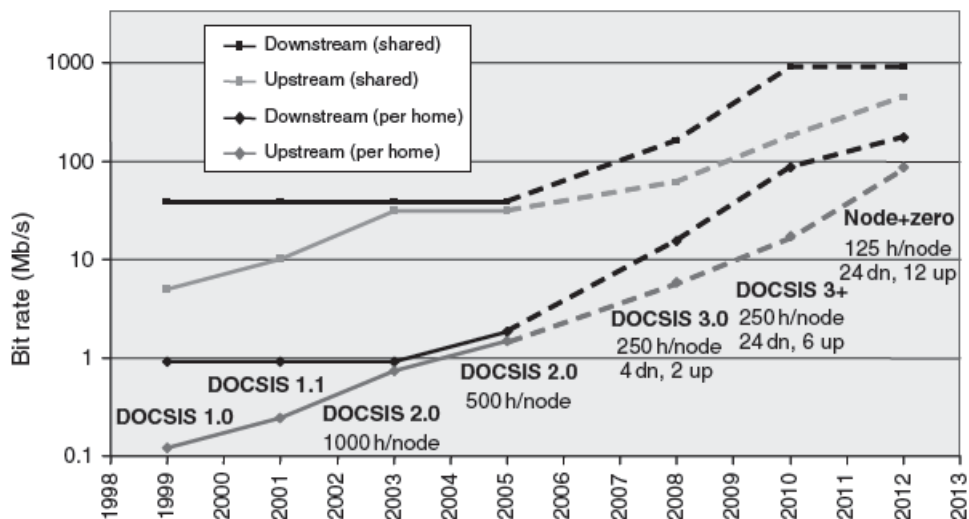
Svaki zasebni kablenski modem prepoznaje svoje podatke preko ID identifikacije umetnute u downstream tok podataka. CMTS se ponaša kao glavni dio koji nadzire pristup mediju (MAC – medium access control master) koji dodjeljuje upstream vremenske odsječke za svaki kablenski modem. Kablenski modemi koriste koaksijalni frekvencijski pojas od 0 do 45 MHz za upstream prijenos. Ovaj frekvencijski pojas obično ne ostaje takav zbog smetnji poput instalacija s električnom energijom i šuma od strane ostalih upstream korisničkih tokova koji smanjuju taj pojas. DOCSIS standard za prijenos svojih usluga je specificirao modulacijsku tehniku kvadraturne amplitudne modulacije (QAM) pomoću koje kodira informaciju tako da svaki simbol prikaže kao kombinaciju bitova. Pa tako imamo za downstream tok podataka 64-QAM

i 256-QAM modulacije, dok se za upstream tok koristi 16-QAM i QPSK koja je ekvivalentna 4-QAM modulaciji, što daje brzine prijenosa od 38 Mbps za downstream i 10 Mbps za upstream. Kasnije je došlo do razvoja još 'bržih' DOCSIS standarda kao što su 2.0 i 3.0 .

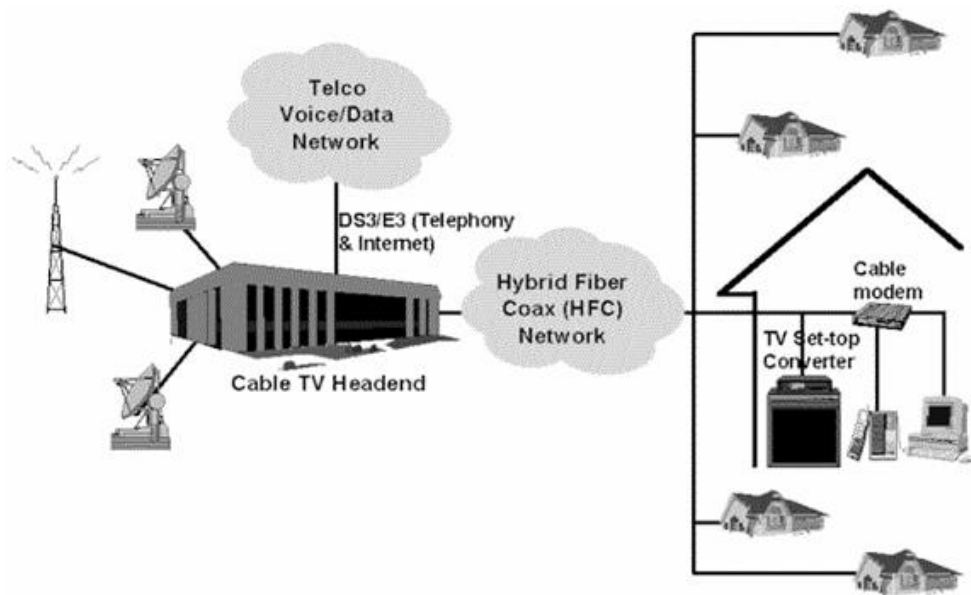
Do smanjivanja propusnosti preko kabljskih modema dolazi zbog dijeljenja frekvencijskog pojasa sa ostalim korisnicima, a smanjivanje počinje od obližnjeg čvora gdje se promet račva prema pojedinom korisniku. Za veću propusnost podataka potrebno se pretplatiti na posebnu kabljsku liniju koja je naravno i skuplja. U prosjeku obično se na jednom 'optičkom čvoru' nalazi 50 do 100 korisnika.

| DOCSIS verzija | Maksimalna brzina prijenosa |            |
|----------------|-----------------------------|------------|
|                | Upstream                    | Downstream |
| 1.0            | 10 Mbps                     | 38 Mbps    |
| 2.0            | 30 Mbps                     | 40 Mbps    |
| 3.0            | 120 Mbps                    | 160 Mbps   |

Tablica 2. DOCSIS standardi - brzina prijenosa podataka



Slika 13. Napredak DOCSIS standarda tokom godina



Slika 14. Uloga Kabelskog modema u distribucijskoj mreži

### 4.5.3 ETHERNET

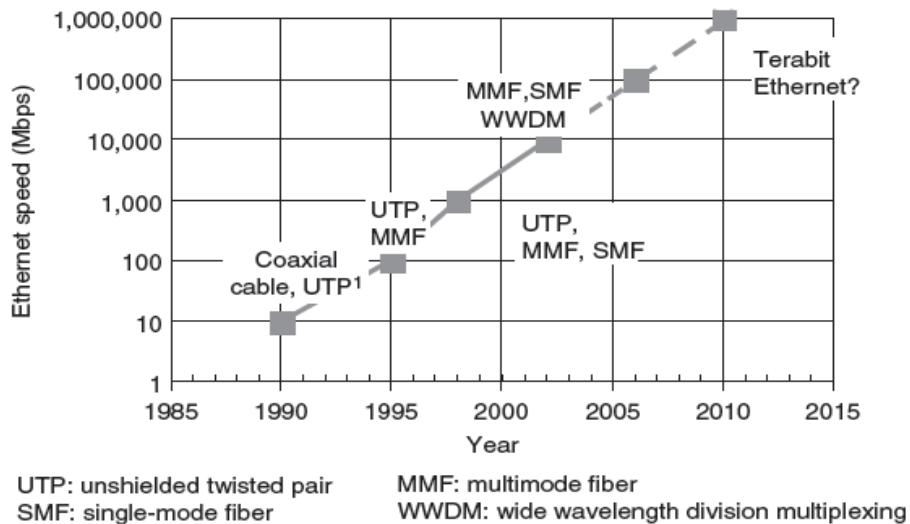
Ethernet je osmišljen 70-ih godina 20. stoljeća. U početku, Ethernet se koristio kao tehnologija za LAN mreže, točnije, koristio se za povezivanje desktop računala. Osnovan je kao standardno korisničko sučelje koje je najčešće bilo izbor za povezivanje IP uređaja. Više od 90% IP paketa su generirani ili raskinuti kao Ethernet okviri (frames). Ethernet pokriva dva donja sloja (fizički i podatkovni sloj) OSI referentnog modela. Standardiziran je pod nazivom kao IEEE802.3 grupa. Zbog svoje velike propusnosti, niske cijene, te lakog načina instalacije i korištenja Ethernet je postao najpopularnija tehnologija za mrežni prijenos podataka.

Nakon Internetskog buma, velika količina IP podatkovnog prometa u telekomunikacijskim mrežama je uvelike počela nadilaziti tradicionalni TDM govorni promet, te je sav IP promet počinjao i završavao sa Ethernet okvirima. Osim toga video streaming usluge također se baziraju na IP digitalnim platformama, te tako novije video usluge kao što je TV na zahtjev, njezini signali su isto tako u obliku Ethernet paketa, te učinkovito rukovanje Ethernet paketima biti će vrlo važno za novu

generaciju mreža. Prva generacija Etherneta koristila je MAC protokol koji se zvao CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) i koristio se za prijenos podataka u lokalnim mrežama, te su sva host računala bila povezana sa multipoint-to-multipoint (MP2MP) koaksijalnom sabirničkom mrežnom vezom. Svako mjesto u mreži može izravno komunicirati sa drugim u istorazinskoj peer-to-peer izvedbi. Kako brzina prijenosa podataka raste tako i veličina mreže se treba korektno ostvariti. CSMA/CD protokol također ograničava brzinu prijenosa i udaljenost do korisnika.

U modernom full-duplex Ethernetu, sva čvorna mjesta u mreži komuniciraju sa svakim drugim preko P2P veze u kojoj sudjeluju switchevi. U P2P komunikaciji switchevi se ponašaju kao skretnice koje prespajaju podatkovne pakete između dva mjesta u mreži, gdje ta mjesta nemaju nikakvog osjećaja da taj switch postoji. Sve Ethernet switch operacije su specificirane IEEE802.1 Spanning Tree Protocol-om (STP). STP je vrlo važan protokol koji omogućava potpuni dvosmjerni Ethernet prijenos (full-duplex) pomoću kojeg se uklanja CSMA/CD ograničenje. On omogućava Ethernet okvirima da budu preneseni preko udaljenosti koje su ograničene kanalnim smetnjama poput šuma i gušenja signala.

Bilo da PON sustav koristi Ethernet (kao EPON), ATM (kao BPON) ili GEM (kao GPON) standarde za kapsuliranje podataka između OLT i ONU jedinica, nema sumnje da je Ethernet glavni standard za podržavanje korisničkog sučelja koje ONU jedinica sadrži. U posljednjih nekoliko godina, Ethernet je napravio brzi pomak iz LAN mreža prema tzv. Backbone mrežama, te end-to-end privatne Ethernet usluge su postale sve više i više popularnije. Tradicionalni Ethernet pruža najbolju i najisplativiju uslugu gdje se najčešće natječe sa svojim TDM rivalom poput SONET-a. Da bi se omogućila Ethernet usluga, nosilac sustava treba imati sposobnost da kontrolira i upravlja Ethernet vezom. Ostali organizacijski standardi kao što su ITU i Internet Task Force također su uložili puno napora da naprave Ethernet više prikladnim za end-to-end usluge.



Slika 15. Razvoj trenda Ethernet tehnologija

### Neke varijante Ethernet standarda :

- 10Mbit/s Ethernet:
  - 10BASE-T – dvoparični kabel, kategorija 3 i kategorija 5, 10 Mbit/s
  - FOIRL- optički linijski među-obnavljač, standard za Ethernet preko optičkog vlakna
  - 10BASE-F - pojam za familiju Ethernet standarda, 10 Mbit/s
  
- Fast Ethernet:
  - 100BASE-T – pojam za tri vrste standarda ovog tipa (100BASE-TX,....., - T4, - T2) uz brzinu prijenosa od 100 Mbit/s
  - 100BASE-FX – Ethernet preko optičkog vlakna, brzina prijenosa do 100 Mbit/s
  
- Gigabitni Ethernet:
  - 1000BASE-T – Ethernet kabel kategorije 5e, bakreni kabel, brzina prijenosa do 1 Gbit/s
  - 1000BASE-SX – Ethernet od 1 Gbit/s preko optičkog vlakna

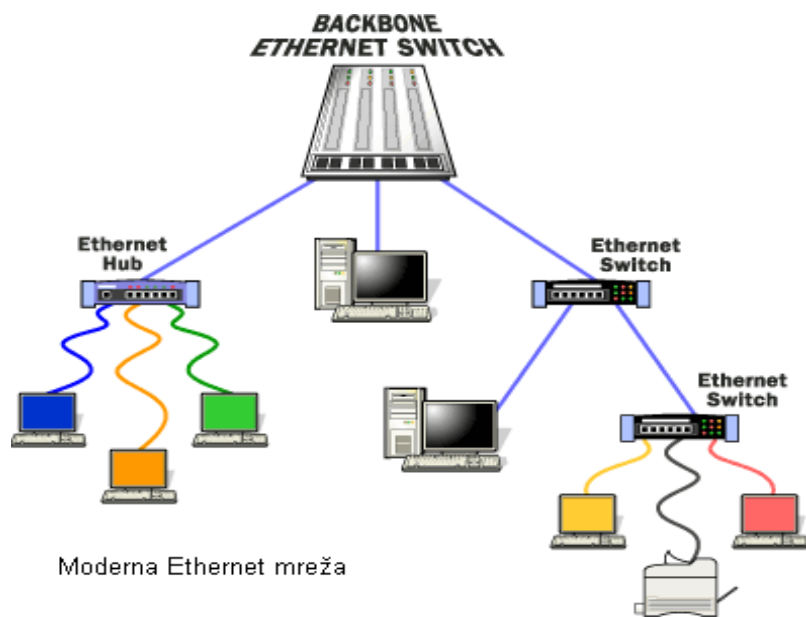
- 1000BASE-LX – Ethernet standard od 1 Gbit/s preko optičkog vlakna, optimiziran za veće udaljenosti preko jednomodnog vlakna
- 1000BASE-CX – Ethernet preko posebnog bakrenog kabela do 25 m za brzine prijenosa od 1 Gbit/s
- 10 – Gigabitni Ethernet:
  - 10GBASE-SR – Ethernet kabel, za kraće udaljenosti preko višemodnih optičkih vlakana (26 – 82 m). Isto tako podržava prijenos na udaljenosti od 300 m preko novog višemodnog optičkog vlakna od 2000 MHz \* km
  - 10GBASE-LX4 – Ethernet standard koji koristi WDM za održavanje udaljenosti od 240 – 300 m preko višemodne infrastrukture. Isto tako podržava udaljenost do 10 km preko jednomodnog vlakna
  - 10GBASE-LR i 10GBASE-ER – Ethernet standardi koji podržavaju udaljenosti od 10- 40 km preko jednomodnog vlakna.
  - 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW – Ethernet varijante dizajnirane za povezivanje sa SONET/SDH opremom
  - 10GBASE-T – Ethernet standard koji koristi upredene bakrene parice, poznat još kao IEEE Std 802.3 – 2008

10 – Gigabitni Ethernet je tehnologija koja je još u procesu nastajanja, te ostaje da vidimo koji će od tih standarda ući u komercijalnu upotrebu.



*Slika 16. CAT 5 Ethernet kabel*





*Slika 17. Prikaz uobičajene Ethernet mreže*

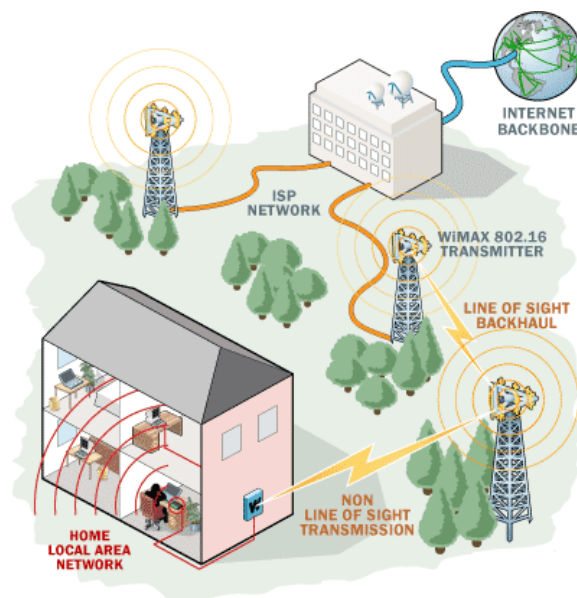
#### 4.5.4 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) je ime nasljednika spomenutog i vrlo raširenog protokola koji će nas približiti korak bliže budućnosti interneta. Trebao bi omogućiti potencijalno vrlo brz prijenos informacija baziran na ćelijama sličnima onim koje se koriste u mobilnoj telefoniji danas. Dakle naše računalo ili sličan uređaj koji ćemo imati u budućnosti trebao bi biti u mogućnosti održavati neprekinuti prijenos podataka sve dok se nalazi u ćeliji veličine 50 km, a sve uz brzinu od cca 100 Mbit/s. Uz to nam zidovi, naš položaj ili općenito nepostojanje vidne veze sa odašiljačem ne bi trebali predstavljati ni najmanji problem.

Treba napomenuti da će prilikom korištenja performanse sustava ovisiti o tome radili se o fiksnoj ili mobilnoj konekciji – a WiMax je u stanju podržati oba zahtjeva. Norma pod radnim nazivom IEEE 802.16-2004 pokriva mogućnost fiksnog pristupa ovako ostvarenoj infrastrukturi, dok će IEEE 802.16e-2005 omogućiti mobilno spajanje. WiMax se od WiFi-a razlikuje u samoj osnovi, radi se o potpuno

drugačijem principu iskorištavanja zraka kao prijenosnog medija. 'WiMAX Forum Certified™' sustavi će prema očekivanjima omogućavati kapacitet od 40 Mbps po kanalu, neovisno radili li se o fiksnoj ili mobilnoj upotrebi. Navedeni kapacitet je dovoljan za stotine konekcija T1 tipa namjenjenih prvenstveno poslovnim korisnicima, te tisuće konekcija DSL brzine. U praksi ovo znači da su danas dostupne WiMax mreže koje korisniku omogućavaju prijenos podataka brzinom do 2 Mbit/s u krugu do 10 km oko odašiljača – vidimo da prije spomenuti cilj nije postignut, ali napretkom tehnologije očekuje se njegovo ispunjavanje uzimajući u obzir optimistična očekivanja oko ulaganja u ovu tehnologiju.

Konkretno upotrebe ove tehnologije, osim interneta koji nam prvi pada na pamet, se odnose i na prijenos glasovne komunikacije preko interneta (VoIP), te kao baza za buduće mobilne telefonske mreže. Ubrzanom razvoju ove tehnologije teže i proizvođači hardware-a. Tako ćemo trebati pripaziti da npr. Naš budući prijenosnik podržava Wi-Fi, ali i WiMax kako bi se osigurao maksimalno stabilan i neprekinut pristup internetu, neovisno o tome u kojem se području nalazimo. Najveću prednost WiMax-a u vrijeme razvoja osjećaju ruralna i nerazvijena područja. Time je postao vrlo popularan u Australiji i Africi, jer se velike i rijetko naseljene prostore može dovoljno dobro pokriti bez raširene infrastrukture koja košta mnogo novca i traži mnogo vremena za rast.



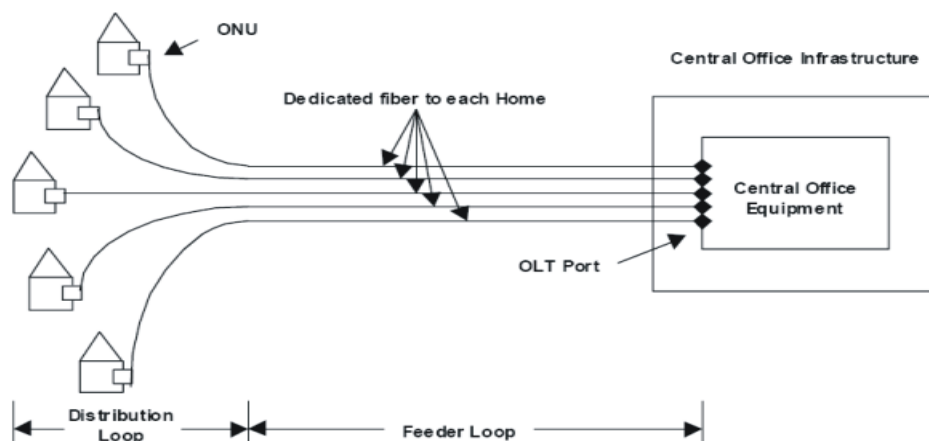
Slika 18. Primjer jedne WiMAX mreže

## 5. MREŽE U FTTx ARHITEKTURAMA

U ovom poglavlju čitatelj se upoznaje sa vrstama optičkih mreža i načinima umrežavanja korisnika.

### 5.1 DIREKTNO VLAKNO ( Point to point mreža )

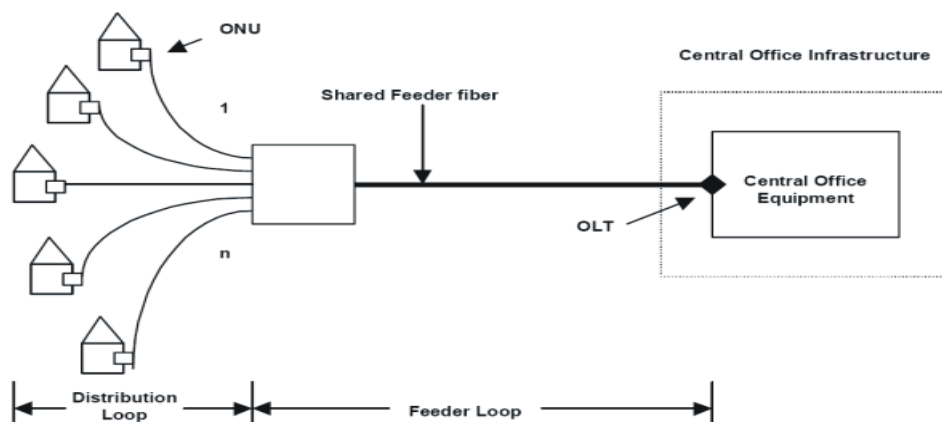
Najjednostavniju optičku distribucijsku mrežu možemo nazvati direktno vlakno ili izravno vlakno do korisnika. U ovoj mrežnoj arhitekturi optičko vlakno napušta centralu i iz nje ide direktno do korisnika. Ovakve mreže mogu omogućiti odličan bandwidth, odnosno veliku propusnost podataka, od koje svaki pojedini korisnik dobiva svoj vlastiti optički link odnosno vezu koja se direktno ostvaruje sa centralom. Ipak, za ostvarenje ove mreže cijena postaje veća za oko 10% zbog korištenja veće količine optičkih i centralnih uređaja u samoj centrali. Ovakav pristup u glavnom je omiljen među novim korisnicima i samim operaterima. Dobrobit ove vrste mreže je ta što ne isključuje ni jednu layer 2 (sloj 2 LAN mreže) mrežnu tehnologiju, bilo da je ona pasivna optička mreža (PON) ili aktivna optička mreža (AON). Sa kontrolne točke gledišta ova mrežna topologija stvara najmanje poteškoća što se tiče nadzora mreže.



Slika 19. Point-to-point mreža ili direktno vlakno do korisnika

## 5.2 DIJELJENO VLAKNO ( Point to Multipoint mreža )

Više uobičajena mrežna topologija je ta da svako vlakno koje napušta glavnu centralu bude na nekom djelu optičke trase podijeljeno na više korisnika, na tom mjestu je obično razdjelnik (splitter) gdje od njega svaki korisnik dobiva vlastitu optičku nit, koja ovisno o vrsti optičke petlje ide do korisnika. Od svih mrežnih arhitektura postoje samo dvije najkompetitivnije optičke distribucijske mrežne arhitekture koje dijelimo na : aktivnu optičku mrežu (AON) i pasivnu optičku mrežu (PON).



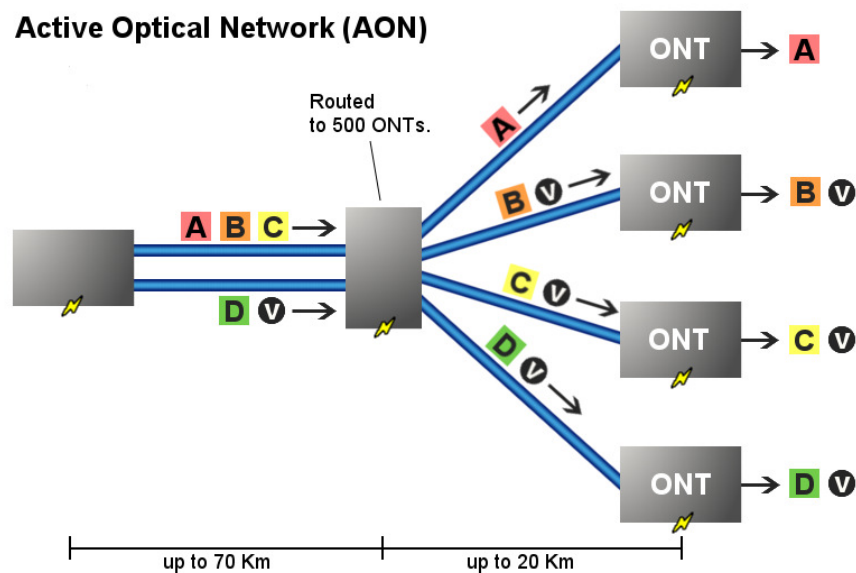
Slika 20. Point-to-multipoint mreža ili djeljeno vlakno do korisnika

## 5.3 AKTIVNA OPTIČKA MREŽA ( AON )

Aktivne optičke mreže obično se temelje na nekoj vrsti elektroničke opreme kao što su switch (skretnica), router (usmjerivač) ili multipleksor (umnoživač) koji za svoj rad trebaju napajanje električnom energijom kako bi mogli distribuirati ili osigurati prijenos signala do krajnjeg korisnika. Svaki signal koji napušta centralu je usmjeren samo prema korisniku za kojeg je taj signal namjenjen. Dolazni signali od korisnika prema centrali izbjegavaju koliziju odnosno sudare sa drugim signalima na raskrsnici u sustavu upravo zbog elektroničke opreme koja omogućava dolaznim signalima njihovo međupohranjivanje ili poznato još kao buffering. Kao što je poznato i utvrđeno

još 2007g. najčešći tip aktivnih optičkih mreža dobio je ime kao aktivni ethernet, pod kojim se smatra tzv. 'ethernet korišten u prvoj milji'. Aktivni ethernet koristi optičke ethernet switch-eve za distribuiranje signala, te tako uključuje krajnjeg korisnika i centralu u jednu ogromnu switch ethernet mrežu. Takve mreže su identične računalnim ethernet mrežama koje se koriste u poslovnim i akademskim institucijama, osim što je njihov cilj povezati domove i zgrade sa centralom, nego da npr. povezuju računala i printere u krugu jednog kampusa.

Svaki komutacijski ormar (switching cabinet) može poslužiti do 1000 korisnika, iako 400 – 500 korisnika je najčešće. Oprema koja se koristi obavlja komutiranje i usmjeravanje signala na bazi podatkovnog i mrežnog sloja, te potpuno usmjeravanje signala prema centrali na bazi mrežnog sloja ethernet modela IEEE 802.3ah standard ili tzv. ethernet u prvoj milji omogućava davateljima usluga da isporuče brzinu prijenosa podataka do 100 Mbit/s potpunog dupleksa preko jednodnog optičkog vlakna sve do korisnikovog posjeda, što ovisi pak o samom davatelju usluge. Kako zahtjevi korisnika za brzinom prijenosa podataka rastu tako i brzine od 1 Gbit/s postaju komercijalno dostupne.



Slika 21. Prikaz aktivne optičke mreže koja obavlja downstream promet

**Glavni dijelovi AON mreže :**

- Skretnica

Skretnica (eng. Network switch) je mrežni uređaj koji povezuje mrežne segmente unutar neke mreže. Izraz skretnica obično se odnosi na 'mrežni most' koji obrađuje i usmjerava podatke na razini podatkovnog sloja OSI modela. Skretnice koje još dodatno obrađuju podatke na nivou mrežnog sloja i iznad toga (fizički, podatkovni, mrežni, transportni sloj) najčešće se zovu mrežne skretnice ili višeslojne skretnice. Sami pojam mrežne skretnice uglavnom ne predstavlja neintelegentni ili pasivni uređaj neke mreže kao što su to npr. hub-ovi (koncentratori), ponavljači (repeaters).

Prva Ethernet skretnica predstavljena je od strane firme Kaplan 1990g. Mrežne skretnice implementirane Ethernet standardom podržavaju 10/100 Mbit/s ili 10/100/1000 Mbit/s brzine portova. Veće skretnice mogu imati i brzine portova i do 10 Gbit/s. Skretnice se obično razlikuju od hub-ova u tome što hub-ovi ne mogu imati portove različitih brzina.



*Slika 22. 16 – portni, 10/100M mrežni switch uređaj*

- Usmjerivač

Usmjerivač (eng. Router) je mrežni uređaj čiji softver i hardver su napravljeni u cilju usmjeravanja i prosljeđivanja informacija, npr na Internetu informacije se usmjeravaju i prosljeđuju različitim putevima od strane usmjerivača. Usmjerivači povezuju dvije ili više logičkih podmreža koji se ne moraju nužno izravno povezivati na fizičkoj razini. Izraz 'skretnica 3 sloja' često se zna zamjeniti sa usmjerivačem. Za

usporedbu npr. mrežni hub ne obavlja nikakvo usmjeravanje, on jednostavno ono što primi na svojoj mrežnoj liniji prosljeđuje svim ostalim mrežnim linijama.

Usmjerivači mogu raditi u :

- Kontrolnoj ravnini – u ovoj ravnini usmjerivač proučava odlazno sučelje koje je najprigodnije za prosljeđivanje posebnih paketa podataka za posebne destinacije.
- Prosljednoj ravnini – u ovoj ravnini usmjerivač je odgovoran za trenutni proces slanja paketa primljenih na svom logičkom sučelju prema izlaznom logičkom sučelju.



*Slika 23. 7606 series Internet usmjerivač*

- **Multipleksor**

Multipleksor (eng. Multiplexer) je uređaj koji izvodi multipleksiranje, on odabire jedan od mnogo analognih, digitalnih električnih signala ili u slučaju optičkog multipleksora jednu valnu duljinu svjetlosti i prosljeđuje tu odabranu valnu duljinu sa svog ulaza na svoj jedan jedini izlaz. Tako multipleksor od  $2^n$  ulaza ima  $n$  bitova koji se koriste da bi se odredilo koji od ulaznih signala će se spojiti na izlaz. Elektronički uređaj kakav je multipleksor omogućuje da nekoliko signala dijele jedan uređaj ili izvor, bolje nego da svaki signal ima svoj uređaj. Dok obrnuto od multipleksiranja je demultipleksiranje gdje multipleksirani signali bivaju demultipleksirani odnosno podjeljeni na uređaju zvanom demultipleksor.



*Slika 24. Optički 'Gigabit Ethernet' multipleksor*

- Optički linijski terminal (OLT)

Optički linijski terminal je uređaj koji električne signale govora, podataka, videa sa predajne strane mreže pretvara u optičke signale za prijamnu stranu mreže. To je uređaj koji svjetlosne impulse ubacuje u optičko vlakno. Zbog toga što je smješten obično u telefonskim centralama i u sličnim mrežnim lokacijama korisnici i vlasnici posjeda rijetko ga viđaju.



*Slika 25. 'Motorola AXS2200' OLT uređaj*

- Optički mrežni terminal (ONT)



U optičkim sustavima kao što su FTTP sustavi, signal se prenosi do korisničkog posjeda korištenjem tehnologije optičkog vlakna. Za razliku od mnogih konvencionalnih telefonskih tehnologija, ova vrsta tehnologije ne omogućava provedbu električnog napajanja do opreme niti nije prikladna za direktnu vezu sa korisničkom opremom. Optički mrežni terminal (ONT) se koristi na strani korisnika kako bi 'prekinuo' dovod optičkog signala, demultipleksirao optički signal u njegove električne dijelove (signali govora, televizije, interneta) i omogućio napajanje korisničkim telefonskim aparatima. Kako ONT najčešće mora uzeti napajanje iz korisnikovog posjeda, mnogi ONT terminali imaju opciju za korištenje vlastite pomoćne baterije kako bi nastavili posluživati korisnika u slučaju da dođe do nestanka napajanja u gradskoj mreži.



*Slika 26. ONT uređaj – unutrašnji dio*

## **5.4 PASIVNA OPTIČKA MREŽA ( PON )**

Pasivna optička mreža (PON) je 'point-to-multipoint' vrsta mrežne arhitekture u kojoj su prisutni optički razdjelnici bazirani na neelektričnom postrojenju. Optički razdjelnici u PON mreži rade na principu korištenja Brewster-ovog kuta koji omogućava da se sa jednim nadolazećim optičkim vlaknom poslužuje više korisničkih posjeda, obično je to razdjelnik koji poslužuje od 32 – 128 korisničkih posjeda. Pasivna optička mreža se obično sastoji od centralnog čvora koji se naziva optički linijski terminal (OLT), jednog ili više korisničkih čvorova nazvanog optička mrežna jedinica (ONU) ili optički mrežni terminal (ONT) te kao što je napomenuto na početku od optičkih vlakana i razdjelnika (splitters) postavljenih između spomenutih jedinica, a to sve na kraju možemo nazvati optička distribucijska mreža (ODN).

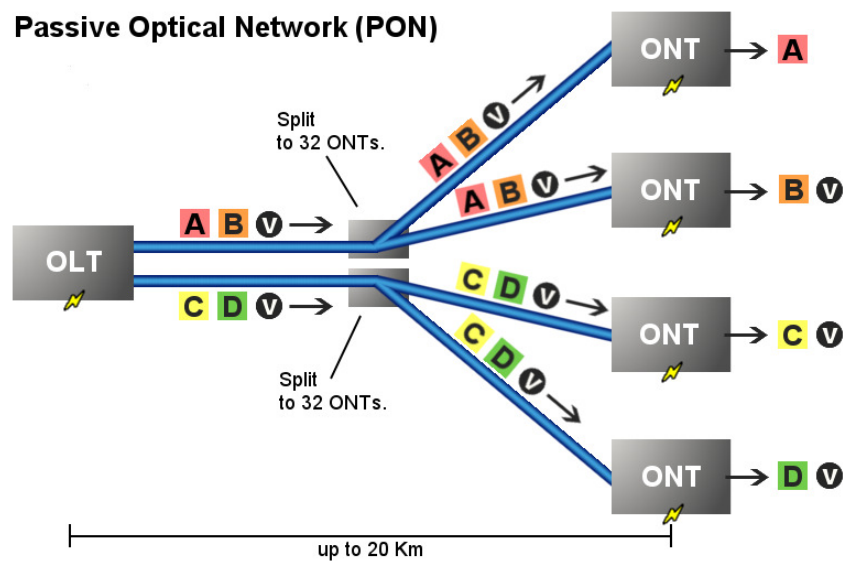
PON konfiguracija smanjuje broj optičkih niti i količinu opreme koja je kod point-to-point arhitektura više prisutnija. Kod PON arhitekture downstream signali se prenose do svakog korisničkog posjeda korištenjem dijelnog vlakna, te se koristi enkripcija podataka kako nebi došlo do prisluškivanja. Upstream signali od korisnika se najčešće kombiniraju korištenjem višestrukog pristupnog protokola (multiple access protocol) kao što je TDMA (Time division multiple access) protokol, dakle na taj način će OLT centralna jedinica primati podatke od strane ONU jedinica koje se nalaze sa korisničke strane. ONT izraz dolazi od strane ITU-T organizacije, dok ONU izraz je više od strane IEEE organizacije. ONT može biti premošćen do krajnjeg korisnika tj. njegovog kućnog uređaja korištenjem tehnologija kao što je Ethernet preko upredene parice ili DSL.

Uloga ONT jedinice je prekidanje PON optičkog dijela mreže, te posluživanje korisnika uslugama korištenjem električnih signala. Usluge koje se isporučuju su najčešće govor preko IP (VoIP), isporuka podataka, video, i telemetrija. Često su ONT funkcije podjeljene u dva dijela :

- ONU - prekida PON i predstavlja sučelja kao što su xDSL, koaksijalni vod, ili višenamjenski Ethernet prema korisniku.
- Mrežna prekidna oprema (NTE) - omogućava odvojena uslužna sučelja direktno do korisnika.

Osim pasivnih razdjelnika PON arhitektura koristi i prednosti optičkih multipleks uređaja za ubrzanje sustava, kao što je WDM (Wavelength division multiplexing), koristeći na taj način jednu valnu duljinu za downstream promet i drugu za upstream promet preko jednomodnog NZ-DSF (Nonzero dispersion shifted fiber, ITU-T G.655) vlakna. BPON, EPON, GEAPON i GPON baziraju se isto tako na identičnom planu korištenja valnih duljina gdje se valna duljina od 1490nm koristi za downstream promet, a valna duljina od 1310nm koristi za upstream promet. Valna duljina od 1550nm je najčešće rezervirana za RF analogni video.

Na kraju sa sigurnošću možemo reći da je PON 'dijeljiva' vrsta mreže u kojoj OLT jedinica šalje jedan određeni tok downstream prometa koji dolazi do ONT jedinice koja 'čita' sadržaj tih paketa koji su izravno namjenjeni toj jedinici te ih prosljeđuje korisniku.



Slika 27. Prikaz pasivne optičke mreže koja obavlja downstream promet

**Glavni dijelovi PON mreže :**

- Optički linijski terminal (OLT)

Optički linijski terminal je uređaj koji električne signale govora, podataka, videa sa predajne strane mreže pretvara u optičke signale za prijamnu stranu mreže. To je uređaj koji svjetlosne impulse ubacuje u optičko vlakno. OLT najčešće predstavlja sučelje između PON-a i davatelja usluga, što tipično uključuje:

- Internet protokol (IP) promet preko gigabitnog, 10 G, ili 100 Mbit/s Ethernet
- Standardna vremenska multipleks sučelja (TDM) kao što su SONET ili SDH
- ATM UNI standard sa brzinama od 155 – 622 Mbit/s

Zbog toga što je smješten obično u telefonskim centralama i u sličnim mrežnim lokacijama korisnici i vlasnici posjeda rijetko ga viđaju.

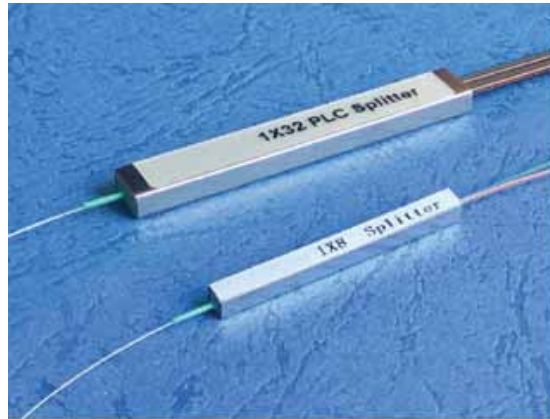


*Slika 28. OLT uređaj*

- Pasivni razdjelnik (Splitter)

Razdjelnik (eng. Splitter) kao što i ime kaže je važna komponenta PON mreže, čija je uloga da razdvoji jedan snop svjetlosti na nekoliko drugih snopova svjetlosti na temelju razdjelnog omjera razdjelnika (npr. 1x4). Tipični parametri razdjelnika su ulazna i izlazna duljina optičkog kabela, razdjelni omjer, radna valna duljina i vrsta konektora na razdjelniku. Kao i kod optičkih patch kabela, optički razdjelnici obično podržavaju promjere kabela od 0.9mm, 2mm i 3mm. Kabeli sa promjerom od 0.9mm većinom se koriste u izvedbi optičkih razdjelnika sa cijevima od nehrđajućeg čelika, dok kabeli sa promjerima od 2mm i 3mm se koriste i postavljaju u 'box' tip razdjelnika. U ovisnosti od razlike valnih duljina koje se koriste u razdjelniku razlikujemo 'single window' i 'dual window' optički razdjelnik, što će reći da imamo jednomodni optički razdjelnik i višemodni optički razdjelnik. Tipična vrsta konektora koja se instalira na optički razdjelnik je obično FC i SC.

Ovisno o tome koja se tehnologija koristi, na tržištu razlikujemo dvije vrste optičkih razdjelnika i to Spojni optički razdjelnik (Fused optical splitter) i PLC (Planar Light wave Circuit) optički razdjelnik. Spojni optički razdjelnik je razdjelnik tradicionalnog tipa koji je u primjeni više od 20 godina, materijal koji je potreban za nastajanje ovakvog proizvoda je dosta lako nabaviti pa zbog toga je i cijena dosta niska. Spojni optički razdjelnik za razliku od PLC razdjelnika ima dosta mana, npr. ako želimo više izlaza kao što je omjer 1x32, sama veličina takvog razdjelnika će se povećati, gubici u razdjelniku ovisiti će o radnoj valnoj duljini. PLC razdjelnik za razliku Spojnog razdjelnika se bazira na procesu silicijskog staklenog valnog puta sa pouzdanom preciznošću centriranja optičkog 'pigtail' kraja kabela unutar minijature strukture razdjelnika. PLC optički razdjelnik ima mnogo prednosti, jedna od tih je da samo jedan poluvodič može realizirati 1x32 omjer razdvajanja ili viši, što na taj način smanjuje veličinu razdjelnika. Gubici unutar PLC razdjelnika ne ovise o radnoj valnoj duljini koja obično iznosi od 1260nm do 1620nm.



*Slika 29. PLC pasivni razdjelnik*

- Optički mrežni terminal (ONT)

U optičkim sustavima kao što su FTTP sustavi, signal se prenosi do korisničkog posjeda korištenjem tehnologije optičkog vlakna. Za razliku od mnogih konvencionalnih telefonskih tehnologija, ova vrsta tehnologije ne omogućava provedbu električnog napajanja do opreme niti nije prikladna za direktnu vezu sa korisničkom opremom. Optički mrežni terminal (ONT) se koristi na strani korisnika kako bi 'prekinuo' dovod optičkog signala, demultipleksirao optički signal u njegove električne dijelove (signali govora, televizije, interneta) i omogućio napajanje korisničkim telefonskim aparatima. Kako ONT najčešće mora uzeti napajanje iz korisnikovog posjeda, mnogi ONT terminali imaju opciju za korištenje vlastite pomoćne baterije kako bi nastavili posluživati korisnika u slučaju da dođe do nestanka napajanja u gradskoj mreži.



*Slika 30. ONT uređaj – vanjski dio*

## 5.4.1 PON STANDARDI

- APON (eng. ATM Passive Optical Network) spada među prve standarde za primjenu u pasivnim optičkim mrežama. Koristio se najčešće za poslovne aplikacije, te se bazirao na ATM načinu prijenosa podataka brzine 155 Mbit/s.
- BPON (eng. Broadband PON) je standard baziran na APON standardu. Služi kao potpora za WDM, za dodjeljivanje dinamičke i velike upstream propusnosti i posluživosti podataka. Pomoću ovog standarda kreirano je upravljačko sučelje poznato kao OMCI, između OLT i ONU/ONT jedinice koje omogućava realizaciju vanjskih mješovitih mreža.
- EPON ili GEPON (eng. Ethernet PON) možda manje poznat kao IEEE 802.3ah standard je Ethernet standard za rukovođenje i prijenos paketskih podataka. 802.3ah je danas dio IEEE 802.3 standarda, te je u svijetu trenutačno instalirano preko 15 milijuna EPON portova ne ubrajajući 'Kina 2008 EPON' razvoj uz koji je taj standard dosegao približno 20 milijuna korisnika u svijetu do kraja 2008g.
- GPON (Gigabitni PON, ITU-T G.984) je novija vrsta pasivne optičke mrežne protočnosti. GPON je evolucija BPON standarda koji podržava visoke brzine prijenosa, poboljšanu sigurnost, i izbor protokola prisutnih u sloju 2 OSI modela (ATM, GEM; Ethernet). Do sredine 2008g. tvrtka Verizon imala je preko 800.000 instaliranih linija sa podrškom za GPON standard. British Telecom, mobility-Saudi Arabia, Etisalat-uae, i AT&T su još u periodu napredovanja. Isto tako ostale kompanije kao što su 'Independent fibre networks LTD' počeli su raditi s davateljima usluga kao što je 'See the Light' da omoguće visoku brzinsku GPON vezu i FTTH.
- 10G-EPON (10 Gigabitni Ethernet PON, IEEE P802.3av) je IEEE budući poboljšani Ethernet standard sa brzinom prijenosa do 10 Gbit/s, koji je unatrag kompatibilan sa 802.3ah EPON standardom. 10 Gigabit EPON će koristiti odvojene valne duljine za 10G i 1G downstream tok, dok će nastaviti koristiti

jednu valnu duljinu sa brzinama prijenosa od 10G i 1G za upstream tok sa TDMA separacijom. Sama kompatibilnost 10G-EPON sa WDM-PON biti će izvan svakog dosega, što znači da neće biti u mogućnosti koristiti više valnih duljina u svakom pravcu.

- RFoG (eng. RF over Glass) je SCTE interface Practices Subcommittee standard u razvoju za primjenu u 'Point to Multipoint' izvedbama koje će posjedovati 'valni plan' za kompatibilnost sa podatkovnim PON solucijama kao što su EPON, GEAPON ili 10GigEPON. RFoG standard će nuditi FTTH - PON arhitekturu za višestruke davatelje usluga bez da moraju odabrati ili realizirati PON vrstu tehnologije (standarda).

|                                 | <b>BPON</b>   | <b>GPON</b>  | <b>EPON</b>  |
|---------------------------------|---|--|--|
| <b>Udaljenost</b>               | do 20 km  | 60 km maks., 20km raznoliko                                    | 10 km danas, 20km planirano  |
| <b>Maksimalni ulazni gubici</b> | 20/25/30 dB   | 15/20/25 dB  | 15/20 dB   |
| <b>Maksimalni broj grana</b>    | 32  | 64 ( 128 u razmatranju)  | 32   |
| <b>Brzina prijenosa (Mbps)</b>  | Down: 155,622,1244<br>Up: 155,622                           | Down:1244,2488<br>Up:155,622,1244,2488                         | Down:1244<br>Up:1244   |
| <b>Valna duljina</b>            | Down:1480 -1500 nm<br>Video na 1550 nm<br>Up:1260 - 1360 nm | Down:1480 -1500 nm<br>Video na 1550 nm<br>Up:1260 - 1360 nm    | Down:1490 nm<br>Up:1300 nm   |
| <b>Vrsta prometa</b>            | ATM   | ATM, Ethernet, TDM   | Ethernet   |
| <b>Arhitektura</b>              | Asimetrična ili simetrična                                  | Asimetrična ili simetrična                                     | Ethernet   |
| <b>Video preklapanje</b>        | Da  | Da   | Ne   |
| <b>Naziv standarda</b>          | ITU-T G.983.x   | ITU-T G.984.x  | IEEE 802.3ah   |
| <b>Chipset potpora</b>          | Moguća  | Moguća   | Moguća   |
| <b>Vrijeme upstream bursta</b>  | Fiksni 56 bajtova (ATM)                                     | Pričuvni: 25,6 ns<br>Tipični: 35,2 ns<br>Razgraničeni: 16,9 ns | Laser on/off: 512 ns (maks.)<br>AGC postavke, CDR pregled:<br>400 ns |

*Tablica 3. Karakteristike temeljnih PON standarda*



## 6. FTTx U SVIJETU

Kroz ovo poglavlje čitatelja se ukratko upoznaje sa popularnosti FTTx tehnologije na tri kontinenta u svijetu.

### 6.1 EUROPA

Prema istraživanjima IDATE (Europski institut za Audio, Video i Telekomunikacije), broj FTTx korisnika još u lipnju 2005g. u EU 18 (EU 15+Norveška+Island+Švicarska) članica zemalja bio je 646.570 tisuća sa oko 2.51 milijuna prijeđenih što zagrada, što domova. Od toga 97% FTTx korisnika u EU 18 su koncentrirani u pet država (Švedska, Italija, Danska, Nizozemska i Norveška) gdje je konkurencija za alternativne i kableske operatere najveća. Iako je Deutsche Telekom 2006g. ambiciozno krenuo u projekt primjene FTTN+VDSL2 tehnologije u kojem bi se povezalo do 50 njemačkih gradova, što zbog isplativosti, što zbog konkurencije na tržištu taj projekt je stavljen na čekanje. Do kraja 2006g. Deutsche Telekom ipak je taj projekt uspio ostvariti, ali samo u 10 gradova.

Za komercijalnu FTTH realizaciju, općine, pokrajne, moćne komunalne firme i alternativni davatelji usluga u većini su bili zaslužni i odgovorni za iniciranje takvih novih projekata. Jedan takav ambiciozni projekt bio je najavljen od strane 'Iliad Group' tvrtke 2006g. koja je planirala investirati 1 milijardu eura u FTTH mrežu za Pariz i ostale francuske gradove sa ciljem da 'pokriju' 10 milijuna korisnika do 2012g. Kao protuodgovor na tu ideju France Telecom najavio je u 10mj. 2006g. da je njihova namjera povezati između 150.000 i 200.000 korisnika sa GPON baziranom FTTH arhitekturom do kraja 2008g, te ponuditi simetrične brzine prijenosa podataka od 100 Mbit/s do svakog korisnika. U Hrvatskoj danas prevladava DSL (ADSL), uz dial-up modemska konekciju koja je u padu, a u budućnosti postoji namjera da se realizira zamjena upredenih parica sa optičkim vlaknima, što bi omogućilo uvođenje FTTH usluga, i samu digitalizaciju linka.

Brzine koje davatelji usluga pružaju korisnicima u Hrvatskoj se kreću od 52kb/s za modemska konekciju do 24 Mbit/s za ADSL2+ konekciju. Što se tiče uvođenja FTTH

u Hrvatskoj T-com je najavio da 2009g. ima namjeru pokriti područje Zagreba, a do kraja 2012g. i ostatak Hrvatske.

## **6.2 SJEVERNA AMERIKA**

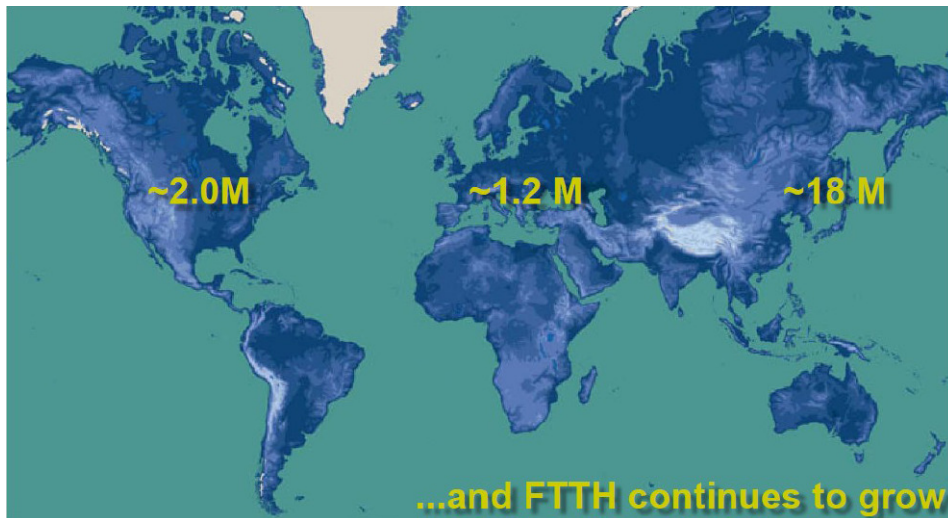
Iako je broj zahtjeva u Sjevernoj Americi za FTTH konekcijama u porastu, one još uvijek predstavljaju manje od 1% ukupnih konekcija u domaćinstvu. Najveći FTTH projekt u regiji od strane SAD-a je Verizon projekt. Sa svojom investicijom od 23 milijarde dolara kojom planiraju pokriti 18 milijuna posjeda sa vlastitom optičkom mrežom do kraja 2010 godine, gdje im je početni cilj bio da do kraja 2006g. pokriju 6 milijuna posjeda. AT&T firma koja se bila opredijelila za FTTN+VDSL2 arhitekturu ( a FTTH samo za nerazvijena područja) namjeravala je pokriti približno 19 milijuna domaćinstava kao dio početne realizacije svog projekta 'Lightspeed' do kraja 2008g. Prema tvrdnjama FTTH vijeća Sjeverne Amerike, AT&T trenutno pokriva 500.000 domova po godini sa svojom FTTN+VDSL2 arhitekturom.

## **6.3 AZIJA**

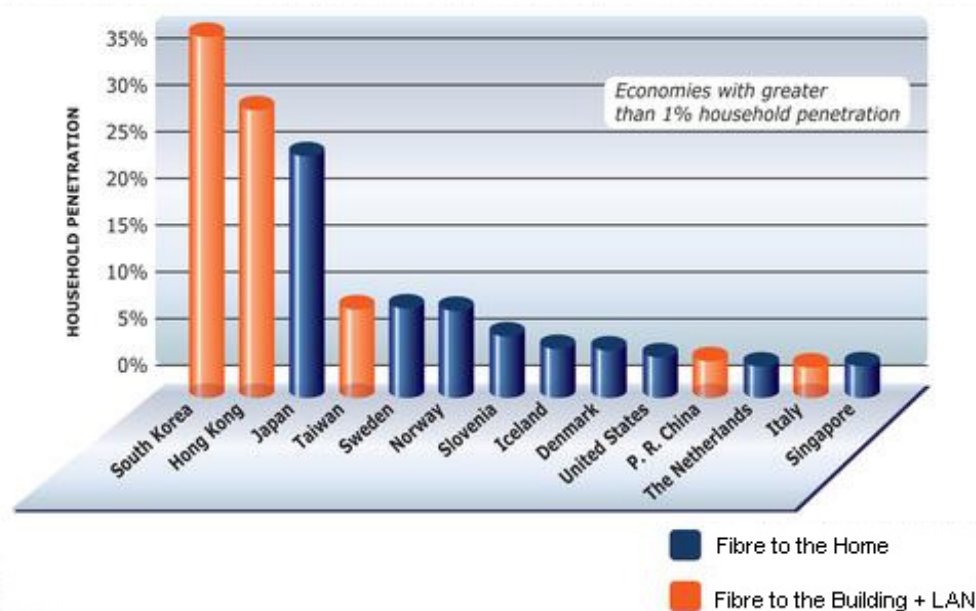
Što se tiče FTTx-a u Aziji, njega predvode Japan i Južna Koreja kao glavni 'igrači' u regiji. Japanski NTT ( Nippon Telegraph and Telephone kompanija) je odgovoran za vlastitu najveću komercijalnu realizaciju FTTH na svijetu koja je imala preko 6 milijuna FTTH korisnika do kraja 2006g. preko svoje dvije podružnice, 'NTT West' i 'NTT East'. Kao znak povećanja zamaha FTTH, broj FTTH korisnika počeo je prelaziti broj ADSL korisnika za obadvije NTT West i NTT East podružnice u 3m. 2006g, te su na temelju pouzdanih statističkih podataka pretpostavili da će do kraja 2007g. broj FTTH korisnika preći broj ADSL korisnika kojih je na kraju 2006g. bilo 14 milijuna. Glavni cilj NTT kompanije je imati 30 milijuna FTTH korisnika do kraja 2010g.

U Južnoj Koreji, dva glavna državna fiksna operatera, Korea Telekom (KT) i Hanaro Telekom na svoje tržište se probijaju sa FTTx+VDSL i FTTx+Ethernet LAN arhitekturom, od čega za FTTB sa Ethernet LAN distribucijom, te preko VDSL-a prema korisničkim stanovima. Prema tvrdnjama IDATE europskog instituta, KT je imao

627.000 Ethernet LAN korisnika i 2 milijuna VDSL korisnika do sredine 2005g, dok je Hanaro prešao 4.6 milijuna domova bilo sa VDSL ili Ethernet LAN-om za isto vrijeme. Kako bi ubrzala korisnički FTTx sustav Korea Telekom (KT) isto tako je uvela WDM-PON tehnologiju kako bi mogla konkurirati drugim operaterima u zemlji. Ono što isto ima za potvrdu u praksi je to da su pružene komercijalne usluge do novo sagrađenih stambenih zgrada ograničene na samo 2000 domaćinstava.



Slika 31. Procijena broja FTTH korisnika u svijetu sredinom 2007g.



Slika 32. Statistički podaci FTTH i FTTB korisnika u svijetu sredinom 2008g.

## 7. ZAKLJUČAK

Troškovi i mogućnosti po korisniku koji se spaja na optičke arhitekture kao što su optika do posjeda (FTTP), optika do čvora (FTTN), i optika do pločnika (FTTC) danas još variraju širom svijeta. Danas najjeftinija i najisplativija mrežna solucija za dopremanje optičke veze do korisnika sa velikom propusnosti informacija trenutno je pasivna optička mreža ili PON. Njezina ušteda se manifestira kroz najvišu moguću linijsku iskoristivost što se tiče brzina prijenosa podataka, te na taj način omogućava da više korisnika bolje iskorištavaju dovodna postrojenja u kombinaciji sa dinamičkom prirodom pasivnog optičkog umrežavanja. A ono što je najbitnije, uz sve to omogućava da više korisnika može dijeliti jedno optičko postrojenje (dijeljeno vlakno).

Za skromne potrebe korisnika za propusnosti podataka, manje od 40 ili 50 Mbit/s teško je da se može pobijediti DSL tehnologiju baziranu na FTTN arhitekturi. Iskoristivost FTTN bakrene postojeće distribucijske mreže pruža velike uštede koje iznose i preko 50% kada se uspoređuje sa ostalim alternativama. Ipak, osjetljiva je na udaljenost i zahtijeva optičko vlakno da uz pomoć njega prenese korisničke usluge kroz glavni dio mreže. Pored svega imamo i veliki broj korisnika koje uz pomoć više-stambenih jedinica (MDU) u kombinaciji sa DSL ili Ethernet tehnologijama možemo opskrbiti raznim uslugama (Triple play). Nadalje, point-to-point FTTN solucije, uključujući u to i DSL baziran na optici (aktivni Ethernet) uskraćeni su za visoke troškove distribucije i velike količine opreme koja se mora dodijeliti svakom korisniku, pa i kod skromnih brzina prijenosa podataka. Kada se želi omogućiti zadovoljavajući tip propusnosti prema korisniku u skladu sa PON mrežom, point-to-point (P2P) način veze se jedini pokazuje kao najbolji odabir, ali samo isplativ na kraćim udaljenostima.

Dakle, FTTx, kao najbolja solucija toga, FTTH je sada najbolje, najstabilnije i najotpornije 'data transfer' rješenje koje će zaživjeti u dogledno vrijeme. Da bi korisnici 'prešli' na FTTH potrebna je svojevrсна edukacija javnosti, te uvođenjem optičkih vodova na područje Hrvatske, Hrvatska bi ušla u uski krug visokorazvijenih zemalja koje su se na ovaj način modernizirale.

## 8. LITERATURA

### Knjige :

1. Ivan P. Kaminow ; Tingye Li; Alan E. Willner : "Optical Fiber Telecommunications - Systems and Networks", Academic Press,SAD,2008g., 865
2. Paul E. Green Jr., : "Fiber to the Home: The New Empowerment",Wiley,Kanada,2006g.,139
3. Cedric F. Lam: "Passive Optical Networks - Principles and Practice",Academic Press,SAD,2007g.,315

### Internet linkovi :

1. <http://www.huihongfiber.com/fiber-optic-splitter.html>
2. <http://www.exfo.com/en/Library/WaveReview/2006-January/WRarticle1.asp>
3. <http://www.motorola.com/business> (OLT,ONT)
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet\\_Switch](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_Switch)
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_router](http://en.wikipedia.org/wiki/Network_router)
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexor>
9. [http://en.wikipedia.org/wiki/Passive\\_Optical\\_Network](http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_Optical_Network)