

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Damir Vuković

# **ARHITEKTURA ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

Završni rad

# **ARHITEKTURA ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA**

## **Architecture of Broadband Access Networks**

Mentor:  
Ivan Forenbacher, dipl. ing.

Student:  
Damir Vuković, 0135217503

Zagreb, rujan 2015.

## ARHITEKTURA ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA

### SAŽETAK

Cilj ovoga rada je pružiti pregled različitih vrsti širokopojasnih pristupnih mreža i podržanih suvremenih usluga, uključujući *IP TV* i *Over the Top Content* usluge. Uvođenjem širokopojasnih pristupnih mreža, postižu se veći propusni kapaciteti odnosno brzine prijenosa podataka što operatorima omogućuje pružanje kvalitetnije usluge korisnicima. Na početcima ovog tipa pristupnih mreža koristili su se isključivo žičani mediji ali unaprjeđivanjem tehnologije dolazi do bežičnih oblika pristupne mreže u cilju zadovoljavanja potrebe tržišta. Trenutno stanje na tržištu ide u korist žičanih mreža ali zbog ubrzanog razvoja bežičnih tehnologija dolazi do izjednačavanja prijenosnih karakteristika ova dva oblika pristupnih mreža. Budući da je operatorima bežični oblik komunikacije puno povoljniji po pitanju same infrastrukture, za očekivati je njihovu dominaciju u budućnosti.

**KLJUČNE RIJEČI:** Širokopojasnost; pristupna mreža; lokalna petlja; infrastruktura; usluge; operatori

### SUMMARY

The aim of present paper is to provide an overview of different types of broadband access networks and supported modern services, including *IP TV* and *Over the Top Content*. During initial stage of broadband access networks, it was possible to achieve significantly higher throughput. As a result data transfer speed were higher, thus enabling higher service quality to users. Additionally, only wired medium was used. However, with the continuous advancement of technology, wireless access networks were introduced gradually. Consequently, prevailing types of access networks on the market nowadays are both wired-based and wireless-based. It can be expected that wireless communication will further dominate the market in the future, primarily because of its cost-effectiveness for operators in certain aspects, such as infrastructure.

**KEYWORDS:** Broadband; access network; local loop; infrastructure; service; operators;

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNA ARHITEKTURA ŠIROKOPOJASNE MREŽE .....	3
2.1 Segmentacija telekomunikacijske mreže .....	3
2.2 Arhitektura žične pristupne širokopojasne mreže.....	4
2.3 Arhitektura pristupne mreže preko optičkog kabela .....	7
2.4 Arhitektura bežične pristupne širokopojasne mreže.....	8
3. DIGITALNA PRETPLATNIČKA LINIJA PUTEM BAKRENE PARICE I NAPONSKIH VODOVA.....	13
3.1 Osnovna podjela xDSL tehnologija .....	13
3.2 Asimetrične DSL tehnologije .....	14
3.3 Simetrične DSL tehnologije .....	16
3.4 VDSL i VDSL2 (simetrični i asimetrični DSL) .....	17
3.5 Bakrena parica i naponski vodovi .....	18
4. PASIVNA OPTIČKA MREŽA (FTTX) .....	21
4.1 GPON .....	23
4.2 Sljedeća generacija PON-a .....	26
5. BEŽIČNA LOKALNA PETLJA.....	28
5.1 WiMAX i IEEE 802.16 .....	28
5.2 IEEE 802.11 .....	30
5.3 Optika u slobodnom prostoru (FSO) .....	32
6. ŠIROKOPOJASNE USLUGE.....	34
6.1 Usluga televizije i usluge sa dodatnom vrijednošću .....	34
6.2 Internetske usluge.....	36
6.2.1 Usluga transfera datoteka.....	37
6.2.2 Usluga pristupa udaljenom računalu.....	38
6.2.3 Elektronička pošta.....	39
6.2.4 Globalni informacijski sustav i HTTP.....	39
6.2.5 <i>Over the Top Content</i> usluge.....	40
6.3 Usluga pozivanja.....	42
7. ZAKLJUČAK .....	44

LITERATURA.....	45
POPIS KRATICA.....	47
POPIS ILUSTRACIJA .....	50
Popis slika.....	50
Popis tablica .....	50

## 1. UVOD

Razvijanjem tehnologije u općenitom pogledu pojavila se potreba za većim prijenosnim kapacitetima, odnosno, da što veću količinu podataka prenese u što manje vremena. Na samim počecima modemske veze su predstavile revoluciju u smislu telekomunikacija, no ubrzo su njihove brzine postale spore za svakodnevnu uporabu. U cilju unapređenja usluge sa minimalnim ulaganjima dolazimo do širokopojasne pristupne mreže. Njen glavni predstavnik je digitalna pretplatnička linija koja je iskoristila postojeću infrastrukturu i zadovoljila potrebe tržišta.

Unatoč digitalnoj pretplatničkoj liniji, korištenjem drugih prijenosnih medija i modulacija mogu se postići znatno veće brzine prijenosa. Susreće se s prijenosom podataka preko optičkih vlakana, koaksijalnih kabela te kako bi korisniku osigurali što veću mobilnost, ponuđene su i mobilne usluge. Naslov završnog rada glasi: *Arhitektura širokopojasnih pristupnih mreža* i podijeljen je na sedam cjelina:

1. Uvod,
2. Osnovna arhitektura širokopojasne mreže,
3. Digitalna pretplatnička linija putem bakrene parice i naponskih vodova
4. Pasivna optička mreža,
5. Bežična lokalna petlja,
6. Širokopojasne usluge,
7. Zaključak.

U drugom poglavlju rada opisana je arhitektura mreže koja je podijeljena na tri osnovne skupine: arhitektura žičane pristupne mreže, arhitektura pristupne mreže preko optičkih vlakana te arhitektura bežične pristupne mreže.

U trećem poglavlju opisan je jedan od trenutno najraširenijih sustava širokopojasne pristupne mreže. Radi se o digitalnoj pretplatničkoj liniji, čije su podjele i tehnologije navedene i detaljno opisane.

U četvrtom poglavlju predstavljeni su načini povezivanja pristupne mreže preko pasivne optike. Prikazani su standardi korišteni za ovaj tip pristupne mreže, koji način je našao najveću primjenu kod korisnika te čemu ova tehnologija teži u budućnosti.

Bežična lokalna petlja je vrlo interesantna korisnicima kojima je nužna mobilnost usluge. Uz velike uštede u samoj infrastrukturi, razvijanjem ovog tipa tehnologije vidljivo je da bi u bližoj budućnosti same brzine prijenosa podataka mogle doći u koliziju sa žičanim vezama i tako napraviti veliku konkurentnost. Uz WiMAX bežičnu tehnologiju opisana je i IEEE802.11 javnosti poznata kao Wi-Fi.

Šesto poglavlje prikazuje najčešće korištene usluge koje se dijele na tri grane: prijenos govora, prijenos televizijskog signala te usluge pristupa internetu. Također je opisana i usluga *Over the Top Content* koja je svoju popularnost stekla razvojem pametnih telefona. Svim uslugama je značajno da pružaju puno bolju kvalitetu kad su izvedene preko širokopojasne digitalne mreže naspram analogne mreže.

## 2. OSNOVNA ARHITEKTURA ŠIROKOPOJASNE MREŽE

Općenita podjela širokopojasne<sup>1</sup> mreže je na žični (uključujući optički) i radijski odnosno bežični pristup. Kod žičnog pristupa imamo bakrenu paricu, optička vlakna, koaksijalni kabel te komunikaciju preko vodova energetske mreže. Veza optičkim kabelom je podijeljena na optiku od točke do točke i pasivnu optičku mrežu. Zadnja kategorija je bežični pristup koja se može podijeliti na WiMAX i pokretne pristupe mreži, satelitski pristup i pristup putem bežične optike, [1].

### 2.1 Segmentacija telekomunikacijske mreže

Segmentaciju telekomunikacijskih mreža dijelimo na dva dijela. Prvi dio nam predstavlja sama pristupna mreža čija je osnovna zadaća povezivanje krajnjih korisnika sa samom mrežom. Tipovi pristupne mreže ovise o željama i mogućnostima korisnika i može ih se podijeliti, kako je već ranije opisano, na žične i bežične. Drugi dio telekomunikacijske mreže predstavlja jezgrena dio. Zadaća jezgrene mreže je da ostvaruje kontrolu i upravljačku funkciju, osigurava usluge poslužiteljskim sustavima u samoj mreži te povezuje sustav sa ostalima davateljima usluga. Prikaz segmentacije nalazi se na slici 1, [2].



**Slika 1.** Segmentacija telekomunikacijske mreže. Podatci od [2].

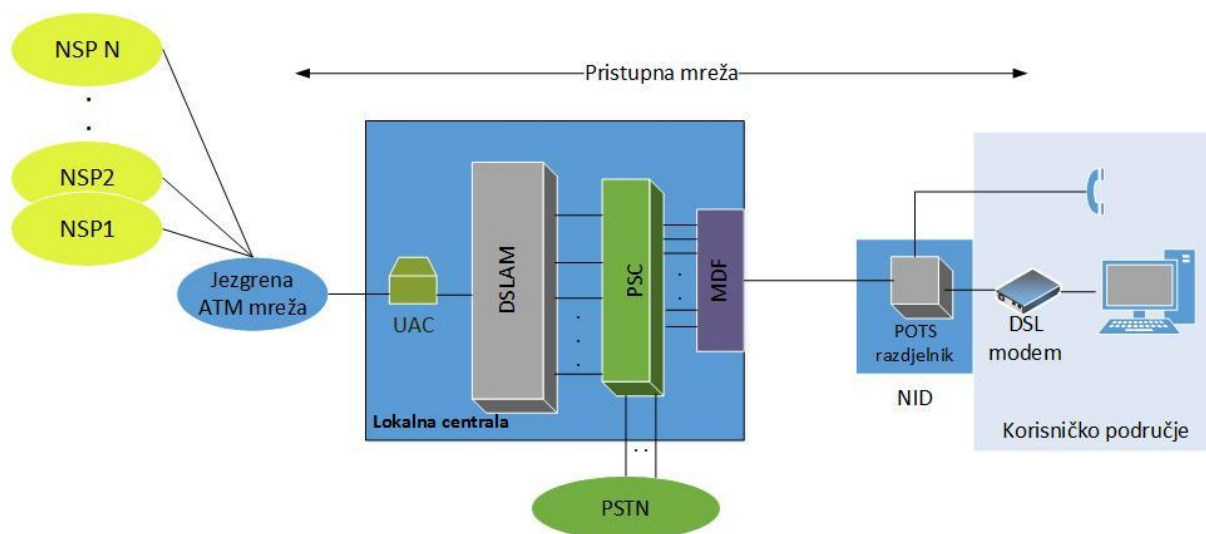
---

<sup>1</sup> Širokopojasna usluga ili sustav zahtijeva prijenosne kanale koji mogu podržati prijenosne brzine veće od brzine primarnog pristupa ISDN-u, [18].



## 2.2 Arhitektura žične pristupne širokopojasne mreže

Glavni predstavnik ove skupine je pristup preko bakrene parice. Na slici 2. prikazana je osnovana arhitektura digitalne pretplatničke linije (engl. *Digital subscriber line* – DSL). POTS razdjelnik (engl. *POTS splitter*) u dolaznom smjeru odvaja POTS (engl. *Plain old telephone service*) promet odnosno frekvencijski spektar predviđen za prijenos govora od DSL prometa i njegovog frekvencijskog spektra i sam razdjelnik integriran je u mrežno sučelje NID (engl. *Network Interface device*).



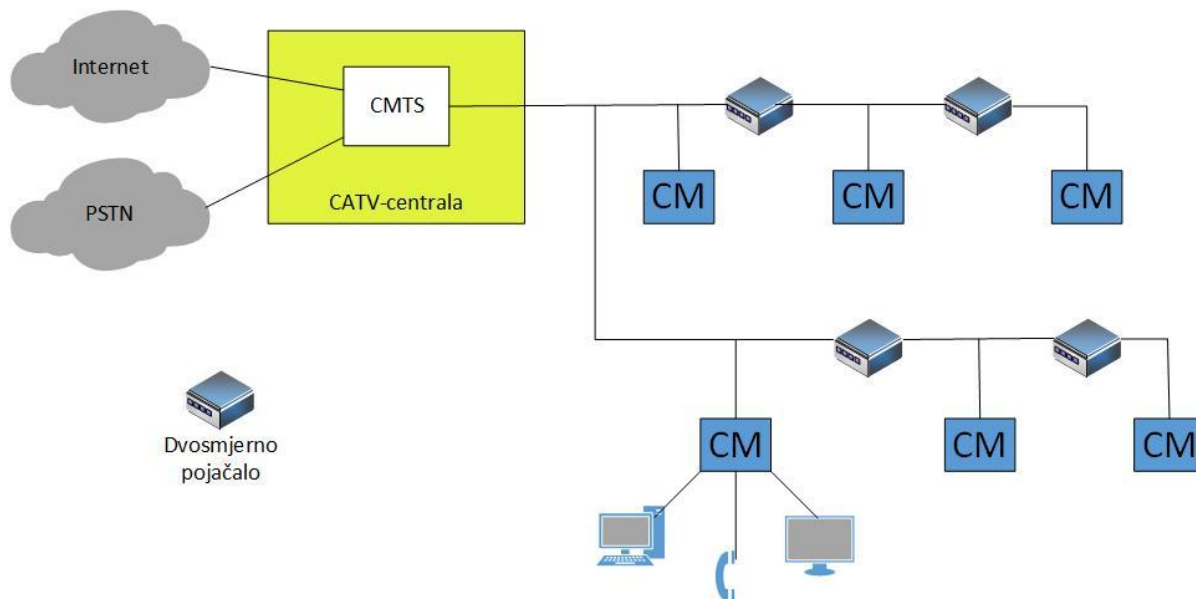
**Slika 2.** Arhitektura DSL sustava. Podatci od [1].

Umjesto razdjelnika mogu se koristiti i mikrofilteri ili mikro razdjelnici koji rade isti posao. Razdjelnici i mikrofilteri se koriste da bi omogućili istovremeno korištenje telefona i podatkovnog prometa. Ovi su uređaji svojom jednostavnošću pogodni za instalaciju od samih korisnika i cijenom prihvatljivi za proizvodnju, [1], [3].

Sa druge strane lokalne petlje nalazi se lokalna centrala, lokalna petlja, odnosno bakrena parica. Spojena je na glavni razdjelnik MDF (engl. *Main Distribution Frame*) koji povezuje DSL korisnike preko pristupne mreže sa DSL multipleksorom kojeg nazivamo DSLAM (engl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). Najnovije generacije DSLAM-ova imaju ugrađenu funkcionalnost mrežnog protokola koji se bazira na IP protokolu te se zbog toga takvi DSLAM-ovi nazivaju i IP/DSL (engl. *Internet Protocol-DSL*) komutatori. Kada se prenosi POTS prometni tok i podatkovni prometni tok preko iste lokalne petlje (ovakav koncept se naziva DSL over POTS) POTS promet se frekvencijski razdvaja od podatkovnog pomoću višestrukog POTS

razdjelinka PSC (*POTS splitter chassis*). Na ovaj način DSLAM multipleksira DSL promet od krajnjih korisnika u brzu jezgrenu mrežu koja se naziva ATM (engl. *Asynchronous Transfer Mode*) putem univerzalnog pristupnog koncentratora UAC (engl. *Universal Access Concentrator*) smještenog u lokalnoj centrali. UAC osim DSL prometa može koncentrirati i ostale vrste promete. On odabire davatelja mrežne usluge NSP-a (engl. *Network Service provider*) kojemu je potrebno usmjeriti podatke od korisnika te komutira ili usmjerava podatke prema brzom spojnom vodu koji se zove *trunk* koji vodi do odabranog NSP-a. Trenutno rezidencijalni i mali poslovni korisnici koriste sljedeće DSL tehnologije: ADSL2, ADSL2+, VDSL, VDSL2, [1], [3].

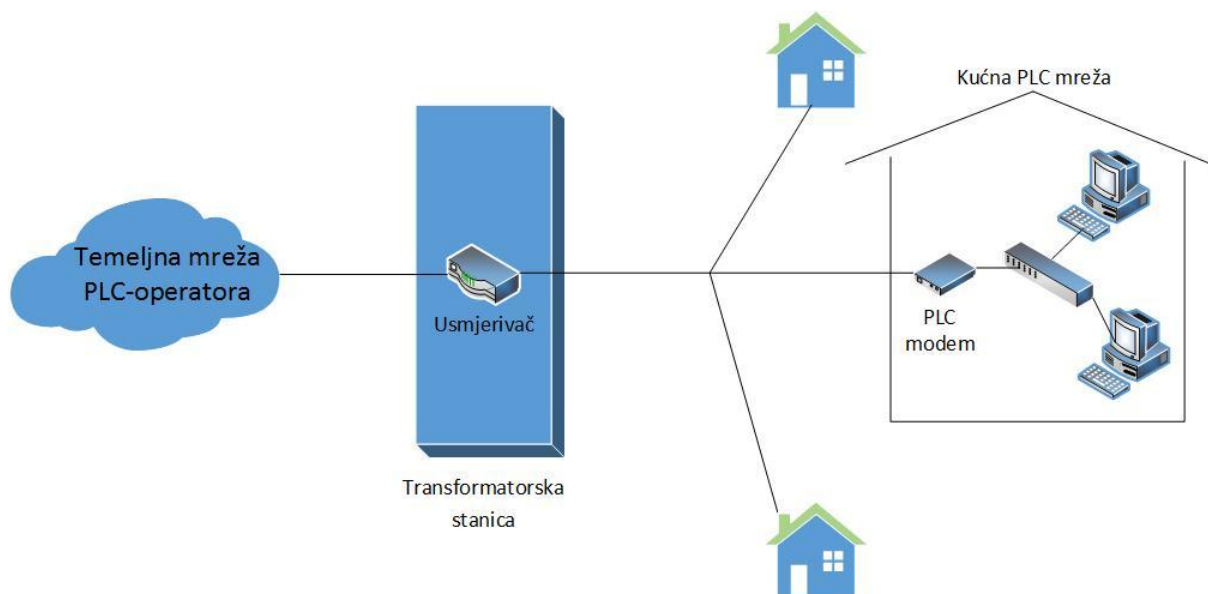
Širokopojasni pristup mreži preko koaksijalnih kabela realizira se uz pomoć kabelskih modema (engl. *Cable modem*, CM). Kabelski modemi su koaksijalnim kabelima povezani sa završnim sustavom zvanim CMTS (engl. *Cable Modem Termination System*) koji predstavlja sastavni dio CATV centrale operatora. Domet ovakve vrste mreže može biti vrlo velik zbog uporabe pojačala koja pojačavaju signal i u dolaznom i odlaznom smjeru, pa se nazivaju dvosmjerna pojačala. Na navedeni način može se slati signal na udaljenostima od čak 100 km prema većoj skupini korisnika uz relativno mali broj kabela (jedan CMTS može posluživati i do 2000 korisnika po jednom TV kanalu) Prilikom korištenja kabelskih modema za pristup Internetu svi korisnici koji su spojeni na CMTS pomoću zajedničkog kabela dijelit će ukupnu brzinu te nastaje pitanje upitne sigurnosti, odnosno privatnosti komunikacije iz tog razloga. Mreža koja povezuje operatorov koncentrador sa kablenskim modemima može biti izvedena na dva načina: isključivo preko koaksijalnih kabela i kao HCF (engl. *Hybrid Fiber/Coax*). HCF način je trenutno najrašireniji primjer ovakve veze u svijetu. U HCF mreži signal se iz centrale (CATV) te optičkim nitima prenosi do optičkog čvora iz kojeg se granaju koaksijalni kabeli do krajnjih korisnika. Arhitektura koaksijalne mreže prikazana je na slici 3, [1].



**Slika 3.** Arhitektura koaksijalne mreže. Podatci od [1].

Tipične brzine koje je moguće postići preko koaksijalnih modema su 55,2 Mbit/s u dolaznom smjeru te 3 Mbit/s u odlaznom smjeru (novi standardi omogućuju prijenos do 30 Mbit/s u odlaznom smjeru)[1]. Prije navedene brzine su izražene za jedan koaksijalni kabel. Pošto više korisnika dijeli jedan kabel, prijenosne brzine po jednom korisniku iznose od 500 do 1000 Kbit/s u dolaznom smjeru i oko 255 Kbit/s u odlaznom smjeru. Glavni standard u ovoj tehnologiji je DOCSIS (engl. *Data Over Cable Service Interface Specification*).

Zadnja tehnologija koja predstavlja ovu grupu pristupne mreže je širokopojasni pristup preko vodova elektroenergetske mreže. Arhitektura ove tehnologije nalazi se na slici 4. Operator koji pruža ovakav tip usluge mora imati ugovor o korištenju elektroenergetske mreže na koju će preko transformacijske stanice pustiti širokopojasni signal. Komunikacija između jezgrene odnosno temeljne mreže i transformacijske stanice izvedena je najčešće optičkim vlaknima. Nakon transformacijske stanice signal putuje elektroenergetskom mrežom do korisnika koji uz pomoć PLC (engl. *Power Line Communication*) modema prima širokopojasni signal i koristi uslugu operatora, [1].

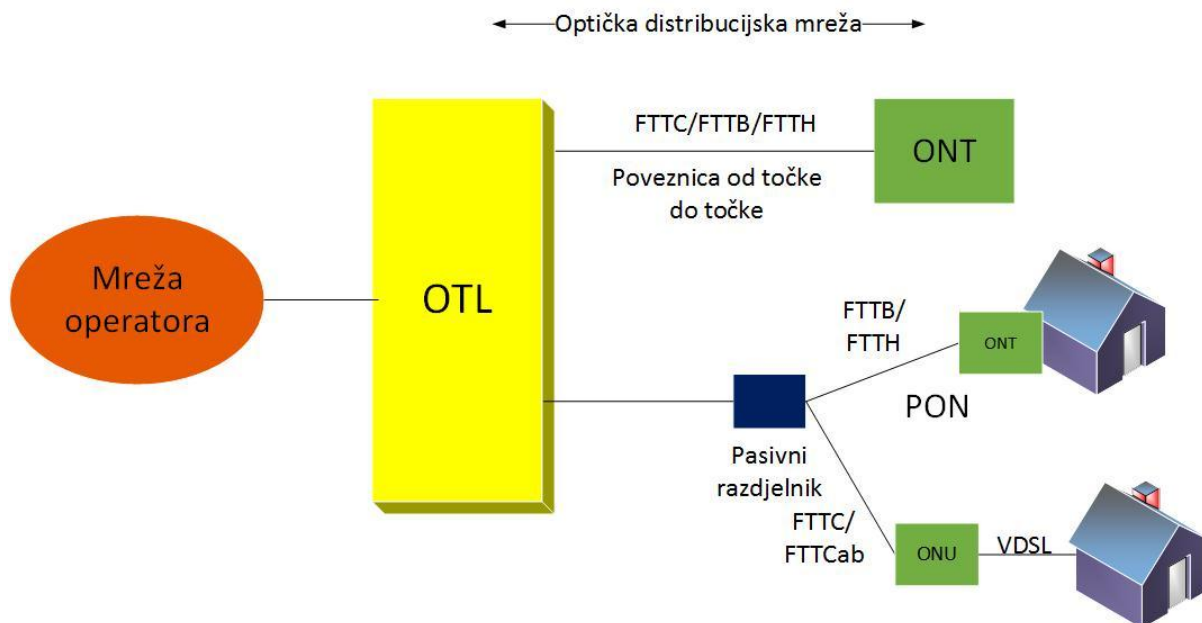


**Slika 4.** Arhitektura širokopojasne mreže preko dalekovoda. Podatci od [1].

Opširnije o ovom načinu pristupanja širokopojasnoj mreži nalazi se na kraju drugog poglavlja.

### 2.3 Arhitektura pristupne mreže preko optičkog kabela

U sustavima FTTH (optika do kućnih vrata) i FTTB (optika do zgrade) optički linijski terminal (engl. *Optical Line Terminal*, OTL) povezan je pomoću optičkih niti s optičkim mrežnim završecima ONT (engl. *Optical Network Termination*) koji se nalaze na kraju pristupne mreže od strane korisnika odnosno u kućama ili zgradama. Dok u sustavima FTTC i FTTCab (optika do pločnika/ormarića) optički linijski terminal OLT povezan je pomoću optičkih niti sa optičkim mrežnim jedinicama (engl. *Optical Network Unit*, ONU). Oni su smješteni u blizini naselja stambenih zgrada ili kuća te se korisnik na ONU spaja preko neke od DSL tehnologija bilo preko bakrene parice ili koaksijalnog kabela sve do mrežnih završetaka (engl. *Network Termination*, NT). FTTC i FTTCab su za sad najzastupljenije tehnologije razvlačenja optike zbog značajne uštede u pristupnoj infrastrukturi. Kao što je prikazano na slici 5. pristupnu tehnologiju FTTx je moguće podijeliti na dvije glavne podjele: poveznica od točke do točke (izravno povezivanje korisnika i centrale) i povezivanje pomoću pasivne optičke mreže (engl. *Passive Optical Network*, PON).



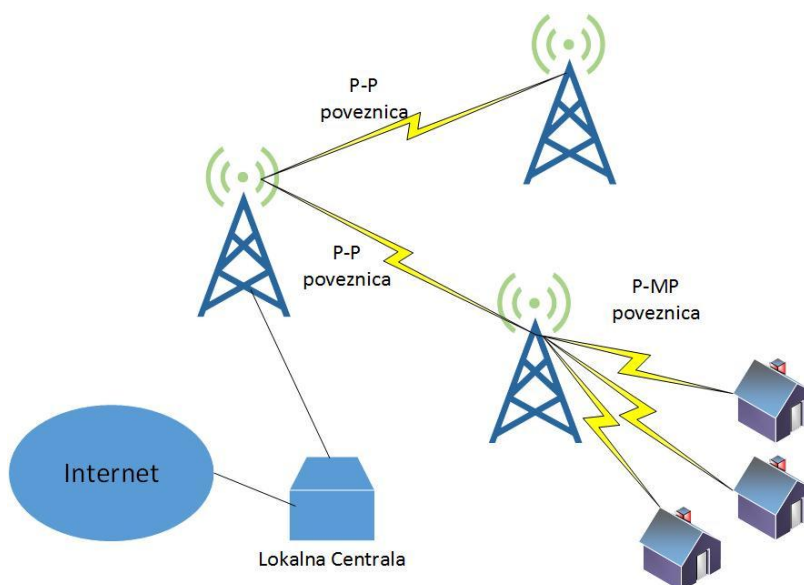
**Slika 5.** Arhitektura širokopojasne optičke mreže. Podatci od [1].

Glavna prednost pasivne optičke mreže, naspram poveznice od točke do točke, je ušteda u izgradnji kabelaške infrastrukture. To bi značilo smanjenje količine optičkih niti jer se snaga signala dijeli u omjeru 1:N. N označava broj krajnjih korisnika koji su povezani na pasivni optički razdjelnik. Kod pasivnih optičkih mreža koristi se vremensko multipleksiranje (engl. *Time Division Multiplexing*, TDM). Podaci usmjereni prema korisniku (dolazni smjer) prenose se načelom *broadcastinga*, dok se u smjeru od korisnika (odlazni smjer) prenose višestrukim pristupom (engl. *Multiple medium access*). To bi značilo da se ukupni prijenosni pojas između OTL-a i ONU-a dijeli između krajnjih korisnika. Broj korisnika je uvjetovan o brzini koja će im se propuštati i nigdje nije definirano koliki je taj broj. U praksi se po jednom razdjelniku spaja maksimalno 64 korisnika zbog povećanja pristupnog kašnjenja (engl. *Access delay*) nakon većeg broja korisnika, [1], [16].

## 2.4 Arhitektura bežične pristupne širokopojasne mreže

WiMAX (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) predstavlja standard za realizaciju gradskih bežičnih mreža (engl. *Wireless metropolitan area network*, MAN). Sama arhitektura ovog sustava podržava poveznice od točke do točke (P-P) kao i pristup od točke prema većem broju točki (P-MP) kao što je

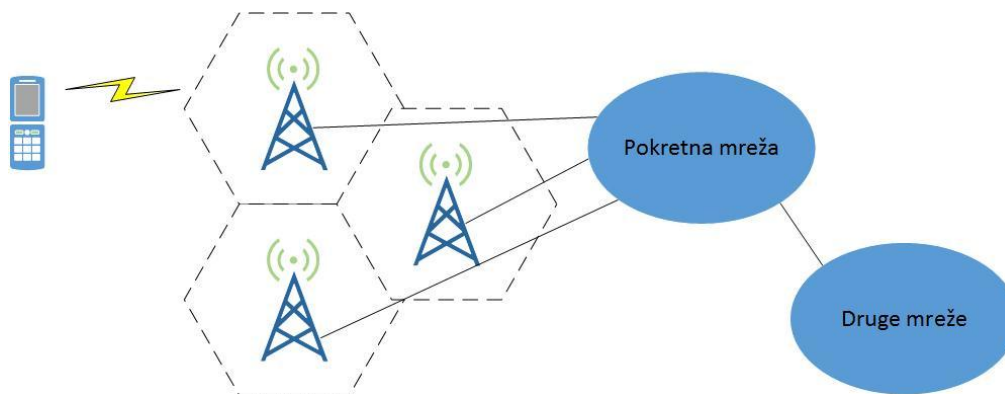
prikazano na slici 6. U P-P topologiji mreže imamo jednu ili više P-P poveznica koje su povezane usmjerenim antenama jer se nastoji smanjiti rasipanje signala. Kod P-MP topologije koriste se bazne stanice koje zrače u čitavom krugu od odašiljača prema korisnicima. Najčešće korištena topologija mreže je miješana te u njoj krajnji korisnički uređaji mogu primati, ali i usmjeravati promet prema drugim terminalima u mreži. Na ovaj način omogućuje se bolje pokrivanje terena iz razloga što svaka nova korisnička stanica može poslužiti kao nova bazna stanica. Kod miješane topologije P-P veza se koristi između baznih stanica sa temeljnom mrežom, te P-MP topologija između baznih stanica i krajnjih korisnika. Veza između bazne stanice i mreže može biti izvedena optičkim vlaknima ili zakupljenim kanalima, [1], [4].



**Slika 6.** Arhitektura WiMAX sustava. Podatci od [1].

Pokretne mreže obuhvaćaju javne mreže u kojoj se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućuje pokretljivost korisničke opreme (terminala) na području pokrivenosti signalom. Sama arhitektura sadrži jezgrenu i pristupnu mrežu i prikazana je na slici 7. jezgrena mreža izvedena je kao fiksna mreža kojom se povezuju prostorno raspodijeljene pristupne mreže. Pristupna mreža sadrži radijski dio koji se temelji na sustavu ćelija. Područje pokriveno jednom baznom stanicom nazivamo ćelija. Sami ćelijski koncept zasniva se na maksimalnoj iskoristivosti raspoloživih frekvencija jer se u susjednim ćelijama rabe različite (zbog interferencije), a na udaljenim ćelijama iste frekvencije. Na navedeni način postiže se

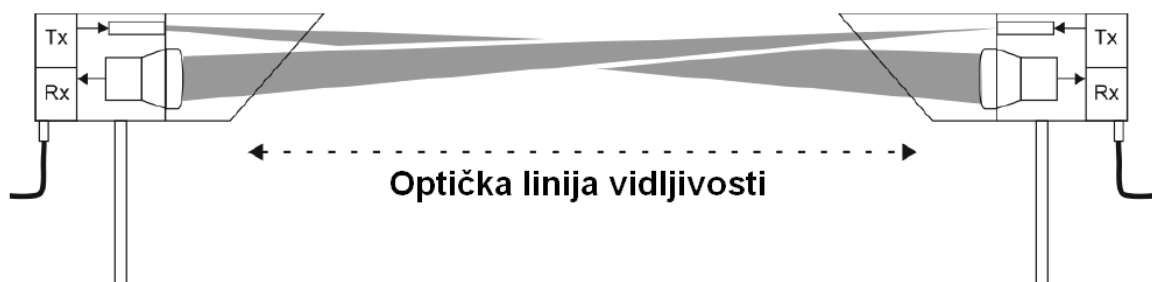
idealna pokrivenost i iskorištava se frekvencijski spektar koji je ograničen. Mreža koja se zasniva na ovom principu rada osim čvorova koji rješavaju problem primopredaje radijskog signala moraju sadržavati skup čvorova koji omogućuju kontakt unutar pokretne mreže i van nje, [1].



**Slika 7.** Ahitektura pokretne mreže. Podatci od [1].

Bežični optički pristup naziva se izvorno *Free Space Optics* ili skraćeno FSO. Ova tehnologija podržava veze od točke do točke sa prijenosnim brzinama do 1,25 Gbit/s dok se u laboratorijskim uvjetima postižu brzine od 10 Gbit/s. Razvitkom tehnologije uskoro će ove brzine biti dostupne javnosti. Pri povećanju udaljenosti između odašiljača i prijemnika dolazi do pada brzine prijenosa i do smanjenja raspoloživosti sustava. Pri brzini od 155 Mbit/s domet prijenosa iznosi 2000 m. Potrebno je naglasiti da je poveznica raspoloživa sve vrijeme do 150 metara udaljenosti, a nakon toga raspoloživost pada. Na 800 metara raspoloživost se smanjuje na 99.5% te nakon 1500 metara iznosi 99%. Raspoloživost se smanjuje i sa lošim vremenskim uvjetima, kao što su vremenske nepogode ili magla. Ukoliko je korisniku potreba stopostotna raspoloživost može koristiti redundantne poveznice.

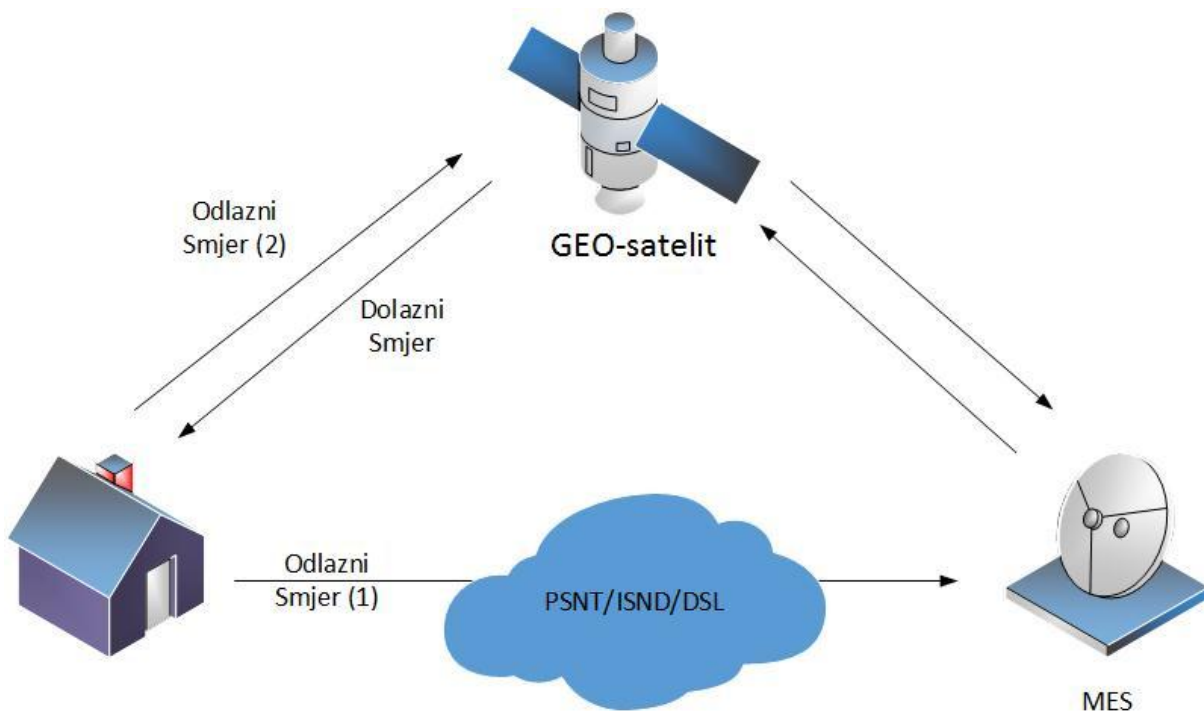
Glavni nedostatak ove tehnologije su nedovršeni standardi na svjetskoj razini. Sama arhitektura slična je kao i kod sustava sa optičkim vlaknom. Razlika je u tome što od optičkog linijskog terminala i krajnjeg korisnika nije optičko vlakno već laserski odašiljač i fotodetektor. Uloga odašiljača je da šalje usku kolimiranu koherentnu svjetlost na fotodetektor koji će pak primiti signal. FSO sustav je simetričan i svaki terminal ima ugrađene i predajne i prijemne sklopove kao na slici 8. gdje je sa Tx označen odašiljač, a sa Rx fotodetektor, odnosno prijemnik, [1], [5].



**Slika 8.** FSO primopredajni uređaji. Preuzeto od [5].

Zadnja tehnologija u ovom poglavlju je satelitska komunikacija. Postoje razna rješenja za realizaciju širokopojasnog pristupa Internetu putem satelitskog prijenosa. Tri najraširenije tehnologije su: *Digital Video Broadcast with Return Channel via Sattelite* (DVB-RCS), *Digital Video Broadcast with Return Channel Terrestrial* (DVB-RCT) i *Very small aperture Terminal* (VSAT). VSAT sustavi su ušli u najširu primjenu zbog relativno malih dimenzija prijemnog tanjura. Počeci ovih tehnologija su bili isključivo za prijenos video signala, ali kasnije su se njihovi prijenosni kanali mogu koristiti i za povezivanje sa Internetom. Satelitski prijenos se uglavnom koristio za razaslanje televizijskog signala i u tim sustavima nije bila potrebna povratna veza. Kod pristupanja Internetu takav model nije bio izvediv i bilo je potrebno realizirati vezu u odlaznom smjeru od korisnika. U konceptu DVB-RCS sustava povratni put realiziran je također satelitski te se za takav sustav koristi naziv *two-way satellite*. U konceptu DVB-RCT i VSAT sustava povratna veza realizirana je preko zemaljskih linija kao što su DSL ili ISDN. Sama arhitektura sastoji se od tri komponente: prva komponenta je sama satelitska stanica koja se nalazi na geostacionarnoj visini, druga komponenta prijemna stanica samog korisnika (može biti izvedena preko satelitskog tanjura) i treća komponenta glavna zemaljska stanica *Master Earth Station* ili skraćeno MES koja služi za povratnu vezu izvedenu putem ISDN ili DSL veze. Brzine ostvarene ovim tehnologijama uobičajeno su od 64 Kbit/s do 2 Mbit/s.





**Slika 9.** Arhitektura satelitskog širokopojasnog pristupa. Podatci od [1].

Obzirom na cijenu ove usluge i same brzine ostvarene ovom tehnologijom, satelitske komunikacije se koriste isključivo za korisnike na ruralnim područjima ili za brodove. Na slici 9. prikazana je arhitektura satelitskog prijenosa, [1].

### 3. DIGITALNA PRETPLATNIČKA LINIJA PUTEM BAKRENE PARICE I NAPONSKIH VODOVA

Razvitkom tehnologije pojavila se potreba za što većim brzinama prijenosa informacija između računala i ostalih terminala spojenih u mrežu. Korisnici zahtijevaju što veće brzine, dok pružatelji usluga traže najjeftiniji način ostvarenja tih zahtjeva. To upućuje na modificiranje postojeće infrastrukture u cilju uštede u novcu. Najidealniji slučaj bio bi dovesti optiku do svakog korisnika i time osigurati veliku brzinu i kvalitetu usluge. To je i najskuplja varijanta, pa su operatori odlučili koristiti postojeću POTS infrastrukturu (bakrene parice u obliku lokalne petlje) korištene za telefonsku mrežu.

#### 3.1 Osnovna podjela xDSL tehnologija

xDSL znači digitalna pretplatnička linija gdje prefiks x označava o kojoj se tehnologiji DSL-a radi. Osnovna podjela DSL tehnologija bila bi na asimetrične i simetrične u pogledu brzine prijenosa u dolaznom i odlaznom smjeru. To bi značilo da kod asimetričnih brzina nije ista u dolaznom smjeru naspram odlazne i obrnuto. Kod simetričnih tehnologija obje brzine su iste (podjela je prikazana u tablici 1.). Dolazni smjer je onaj od lokalne centrale prema korisniku i često se naziva *downstream* ili *downlink*, a suprotan smjer prijenosa naziva se *upstream* ili *uplink*. Asimetrične tehnologije bolje su standardizirane od strane ITU-T-a (engl. *International Telecommunications Union*), dok su kod simetričnih tehnologija standardizirali HDSL (engl. *High-bit-rate Digital Subscriber Line*) i SHDSL (engl. *Symmetrical high-speed digital subscriber line*). Svim tehnologijama je zajedničko korištenje bakrenih parica prvobitno namijenjenim za telefonske linije. Samom standardizacijom xDSL-a u svijetu bavi se više organizacija kao što su ITU-T, ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) te ANSI (*American National Standards Institute*), [1], [2], [6].

**Tablica 1.** Podjela DSL tehnologija. Podatci od [2].

Asimetrične DSL-tehnologije	Simetrične DSL-tehnologije
ADSL, ADSL over ISDN	IDSL – ISDN over DSL
ADSL2, ADSL2plus, half-rate ADSL2	HDSL, HDSL2
VDSL, VDSL2	SDSL (MSDSL)
	VDSL, VDSL2

### 3.2 Asimetrične DSL tehnologije

Kod asimetričnih DSL tehnologija najširu primjenu su našle ADSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*), ADSL2 i ADSL2+. ADSL tehnologija našla je mjesto u telekomunikacijama zbog minimalnih ulaganja u već postojeću POTS arhitekturu i postizanje relativno velike brzine informacija. Ovisno o udaljenosti od centrale na debljini žice od 0.4-0.5 mm brzine se kreću od 1.533 Mb/s (engl. *Mega bits per second*) do 8.448 Mb/s u dolaznom smjeru te Kb/s (engl. *Kilo bits per second*) do 1 Mb/s u odlaznom smjeru što je bio veliki korak naprijed u usporedbi sa modemskim *Dial-up* spajanjem. ADSL primjenjuje modulaciju u pomaknutom spektru (kao i sve druge DSL tehnologije) što znači da nema blokade telefonskog signala za vrijeme spajanja na Internet te je telefonska usluga dostupna kao i ostale digitalne usluge.

Sam ADSL podržava razne širokopojasne usluge koje su po svojoj prirodi asimetrične (korisnik prima više informacija nego što pošalje) kao što su: video na zahtjev, digitalna TV, pristup internetu, online kupovina itd. Signali tih usluga zauzimaju frekvencijski pojas od 25 kHz-1.1 MHz. Odlazni promet koristi frekvencijski spektar od 25-180 kHz dok dolazni promet koristi frekvencijski spektar od 25 kHz - 1.1 MHz što znači da se u prijenosu mora primijeniti uklanjanje buke. Pošto je ADSL učinio velik iskorak po pitanju brzina bilo je potrebno ukloniti neke njegove mane kao što su poboljšanje kvalitete na većim udaljenostima na temelju čega nastaje ADSL2 tehnologija.

ADSL2 omogućuje postizanje brzina u dolaznom smjeru do 12 Mb/s i do 1 Mb/s u odlaznom na udaljenostima do 5 km gdje brzina pada do 3.5 Mb/s u dolaznom

smjeru odnosno do 50 Kb/s u uzlaznom smjeru. Glavne prednosti ADSL2 naspram ADSL-a su sljedeće, [1]:

- Dijagnostika – ADSL2 primopredajnici su poboljšani dodavanjem većih dijagnostičkih mogućnosti temeljenim na softverskim alatima za rješavanje problema nastalih tijekom i nakon instalacije primopredajnika te služe za nadziranje performansi sustava tijekom rada.
- Potrošnja električne energije – prva generacija ADSL-a je koristila istu količinu električne energije bez obzira odvijao se podatkovni promet ili ne, uzevši u obzir velik broj korisnika. Dolazi do velikih financijskih izdataka od strane operatora što se odražavalo na ukupnu cijenu usluge. ADSL2 ima 2 definirana načina rada po pitanju potrošnje energije. Prvi, kad se odvija podatkovni promet i drugi tzv. pričuveno stanje (engl. Standby), u kojem je smanjen podatkovni promet te dolazi do uštede električne energije.
- Prilagodba prijenosne brzine – štetnost preslušavanja (prijenos energije jedne parice na drugu u neposrednoj blizini) je jedan od razloga zbog kojeg ADSL sustav može prekinuti komunikaciju, te još može doći do ometanja od strane AM-područja frekvencije (engl. Amplitude Modulation). Također promjena temperature i utjecaj vlage, odnosno vremenskih nepogoda, mogu uzrokovati poteškoće. ADSL2 navedene probleme je riješio automatskom regulacijom brzine prijenosa informacija i to u stvarnom vremenu. SRA (engl. Seamless Real-time Data Rate Adaptation) omogućava ADSL2 sustavu promjenu brzine bez prekida rada.
- Usnopljavanje linija – povećavanje prijenosne brzine prema rezidencijalnim i malim poslovnim korisnicima može se postići usnopljavanjem što se u ADSL2 tehnologiji postiže uporabom inverznog ATM multipleksiranja (engl. Inverse Multiplexing from ATM, IMA) koje je standardizirano od ATM foruma. ADSL 2 nam omogućuje usnopljavanje do 32 parice u jednu, u svrhu povećanja brzine.

ADSL2plus za razliku od svojih prethodnika iz ADSL standarda koji su koristili frekvencijski spektar dolaznog kanala do 1.1 MHz koristi frekvenciju od čak 2.2 MHz. Rezultat povećanja frekvencijskog spektra uzrokuje znatno veće brzine u dolaznom kanalu, ali na lokalnim petljama kraćim od 1500 m. Dolazna brzina iznosi oko 45 MB/s dok u odlaznom smjeru seže do 1 MB/s. Obije brzine ovise u uvjetima na kojima se nalazi lokalna petlja, [1], [3], [7].

### 3.3 Simetrične DSL tehnologije

Simetrične DSL tehnologije se koriste u puno manjoj mjeri od asimetričnih. Glavni razlog tome su korisnički zahtjevi (podatci se češće primaju nego što se šalju pa su i brzine prilagođene tome). Prvi predstavnik ove skupine je ISDN digitalna pretplatnička linija (eng. *Integrated Services Digital Network*). Ova tehnologija na područjima Europe izvedena je preko telefonske mreže, dok se u Sjedinjenim Američkim Državama koristi infrastruktura kabelaške televizije zbog njene velike raširenosti. Osnovno sučelje ove tehnologije radi na brzinama do 160 kb/s u oba smjera, dolaznom i odlaznom. Veće brzine su moguće ako grupiramo ISDN kanale i može se postići maksimalna brzina od 768 Kbit/s. Glavni problem ove tehnologije je visoka cijena usluge jer je ISDN izveden preko sklopki telefonskog signala te je sama nadogradnja tih sklopki izrazito skupa. Jedno od rješenja je bilo prebacivanje ISDN-a u širokopojasni frekvencijski spektar što se i dogodilo. Brzine su ostale na 160 Kbit/s sa dometom udaljenosti 6 km od centrale. Nakon dolaska ADSL-a ova tehnologija izlazi iz uporabe.

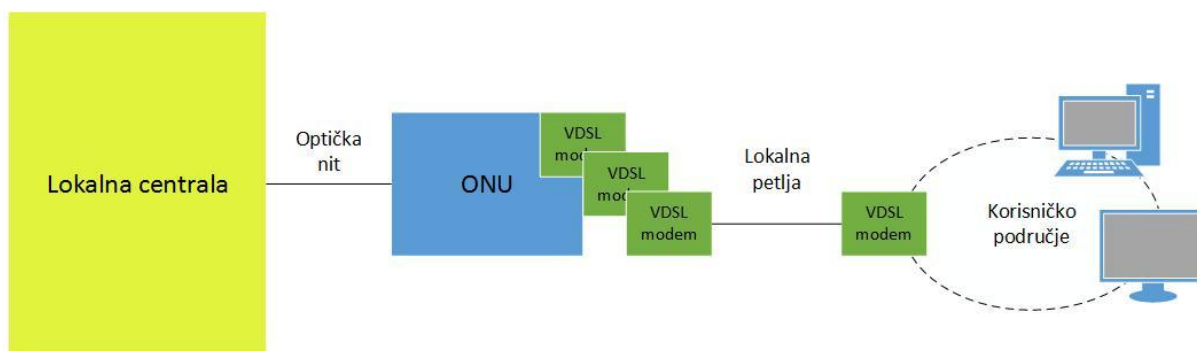
Brzi DSL (engl. *High Bit rate DSL*, HDSL) je također simetrična prijenosna tehnologija koja osigurava prijenosne brzine do 1.544 Mbit/s u Sjedinjenim Američkim Državama te brzinu od 2.048 Mbit/s u ostatku svijeta. Ova tehnologija, za razliku od ostalih, može koristiti jednu, dvije ili čak tri bakrene parice u svrhu postizanja većih brzina (jedna parica za dolazni, jedna za odlazni). Standardni promjeri bakrene parice od 0.4, 0.5 i 0.63 mm neće bitno utjecati na brzinu prijenosa, ali znatno utječu na udaljenost korisnika od centrale i kvalitetu signala pa će tako udaljenosti biti redom 2.7, 3.6 i 8 km. U praksi udaljenost je oko 3.6 km jer operatori štede na bakrenim paricama. Ova usluga je zaživjela zbog usluga koje su same po sebi simetrične kao što su video konferencije, učenje na daljinu itd. Kako bi se

povećao broj korisnika pojavio se standard HDSL2 koji je za komunikaciju koristio samo jedan par bakrene parice. To je rezultiralo nizom pogreški u prijenosu (signal u oba smjera putuje istom žicom) te se morao dodati protokol za kontrolu pogrešaka u sam sustav. Sami protokoli za kontrolu pogrešaka povećavaju složenost prijenosa informacija ali su znatno uštedjeli na samoj infrastrukturi i time povećali broj mogućih korisnika. HDSL2 je svojom pojavom u potpunosti zamijenio SDSL tehnologiju.

Simetrična digitalna korisnička linija s više brzina prijenosa (engl. *Multirate Symmetric DSL*, MSDSL) je tehnologija iz čijeg imena vidimo njenu glavnu prednost. To je dopuštanje promjene brzina prijenosa što može povećavati ili smanjivati moguću udaljenost korisnika od centrale (manje brzine znače veći domet). MSDSL je tehnologija koja je nastala iz HDSL2 tehnologije što znači da također koristi samo jednu bakrenu paricu za prijenos. Brzine prijenosa su naravno simetrične, a variraju od 272 Kbit/s pa sve do 2320 Kbit/s. Ova tehnologija omogućava istodobno korištenje podatkovne i govorne usluge pa čak i videokonferencije, [1], [3], [6].

### **3.4 VDSL i VDSL2 (simetrični i asimetrični DSL)**

U usporedbi sa prethodnim DSL tehnologijama VDSL (engl. *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*) će u skoroj budućnosti zamijeniti ADSL iz dva razloga. Prvi razlog je taj što su sva nova naselja opremljena optičkim vodom do ulaza u njih. Ako se radi o zgradama, svaka zgrada će imati jedan optički vod te će tek od tog čvorišta ići bakrene parice i tako će se skratiti njihova pristupna duljina. Drugi razlog je taj što moderne usluge koje pružaju operatori zahtijevaju sve veći frekvencijski pojas prijenosa, pogotovo kod digitalnog tv prijenosa. Taj zahtjev VDSL može ispuniti zbog svoje relativno kratke pristupne mreže. Samu arhitekturu VDSL-a čini i FTTN (engl. *Fiber to the neighbourhood*) što bi značilo da optičke niti povezuju lokalnu centralu (engl. *Local Exchange*, LE) sa optičkim mrežnim jedinicama (engl. *Optical Network Unit*, ONU) a veza između ONU-a i korisnika je izvedena preko bakrenih parica te je na obje strane instaliran VDSL modem kao što je prikazano na slici 10.



**Slika 10.** Arhitektura VDSL tehnologije. Podatci od [1].

VDSL podržava simetričan i asimetričan prijenos te se koristi frekvencijama do 12 MHz. Brzine VDSL-a prikazane su u tablici 2.

**Tablica 2.** Brzine VDSL u ovisnosti o udaljenosti. Podatci od [1].

Inačica VDSL-a	Domet (m)	Dolazna brzina (Mbit/s)	Odlazna brzina (Mbit/s)
Asimetrična	900	26	3
Asimetrična	300	52	6
Simetrična	900	13	16
Simetrična	300	26	26

VDSL2 je druga inačica VDSL tehnologije. To je simetrična prijenosna usluga koja podržava prijenos do 100 Mbit/s u oba smjera. Glavna razlika između ove dvije tehnologije je ta što kod VDSL2 frekvencijski spektar iznosi 30 MHz te se sa novim primopredajnicima garantiraju brzine do 100 Mbit/s na udaljenostima većim od 350 metara što nije bilo izvedivo preko bakrenih parica. Ova tehnologija zbog svoje velike propusne moći pogodna je za tzv. Triple play uslugu koja sadrži višekanalni HDTV (engl. *High Definition Television*), prijenos podataka visoke brzine te prijenos govora VoIP tehnologijom (engl. *Voice over Internet Protocol*), [1], [6].

### 3.5 Bakrena parica i naponski vodovi

Bakrena parica sastoji se od dvaju međusobno izoliranih i upredenih vodiča. Najčešće je veći broj bakrenih parica smješten unutar kabela i zaštićen zajedničkim omotačem. Bakrena parica je najrašireniji medij kod pristupne mreže. Prvo je provučena zbog govorne usluge telefonskog poziva te napretkom tehnologije koristi

se kao pristupni medij širokopojasnim tehnologijama kao što su xDSL tehnologije. Imamo dvije vrste bakrenih parica: oklopljena ili STP (engl. *Shielded Twister pair*) i neoklopljena UTP (engl. *Unshielded Twisted pair*). Kod telefonskih instalacija i kabliranja u lokalnim mrežama koristi se UTP parica isključivo zbog jednostavne instalacije i niske cijene. UTP parica ima i svoje nedostatke kao što su preslušavanje, odnosno negativni utjecaj elektromagnetskog djelovanja dvije susjedne parice pa se iz tog razloga parice dodatno zaštićuju metalnim plaštom.

Prijenosne karakteristike bakrene parice opisane su u nastavku. Premošteni odvojci su jedan od najvećih problema sa kojima se susreću tehnologije koje koriste bakrenu paricu kao prijenosni medij. Premošteni odvojci smješteni su između centrale i pojedinih korisničkih priključaka te nastaju kao rezultat odjeka (engl. *Echo*) odnosno refleksija signala koja uzrokuje gubitak ili izobličenje prijenosnog signala. Druga bitna karakteristika je preslušavanje ili šum koji nastaju zbog elektromagnetskog zračenja pojedinih žica u kabelu.

Električna i magnetska polja stvaraju inducirane struje u susjednim paricama te zbog njih se pojavljuje šum preslušavanja. Razlikuju se dva tipa preslušavanja: preslušavanje na bližem kraju NEXT (engl. *Near End Crosstalk*) i preslušavanje na daljem kraju FEXT (engl. *Far End Crosstalk*). Uz pretpostavku da osoba A razgovara sa osobom B, dok istovremeno osoba C razgovara sa osobom D i u oba slučaja komunikacije je obostrana. Preslušavanje je objašnjeno na primjeru osobe A. Preslušavanje na bližem kraju odnosno NEXT pojavljuje se kad osoba A prima promet od osobe B, te dio prometa od osobe C koji je upućen osobi B. Preslušavanje na kraju se pojavljuje kada osoba A prima prima još i dio prometa koji šalje osoba D osobi C. NEXT se najčešće razmatra kod dvosmjernog prijenosa kod kojeg se frekvencijski spektri odlaznog i dolaznog signala preklapaju, utjecaj FEXT-a na prijenosne sustave je minimalan i često se zanemaruje.

Prigušenje i induktivni elementi parice su jedan od nedostataka prijenosa ovim medijem te se povećavaju sa samom duljinom bakrene parice. Što je bakrena parica duža to dolazi do pada kvalitete prenesenog signala. Kako bi se to izbjeglo parice su dodatno upredene čime se dodaje induktivitet kojim se poništava utjecaj kapaciteta unutar parice. Drugi način smanjenja preslušavanja je dodavanje induktivnih



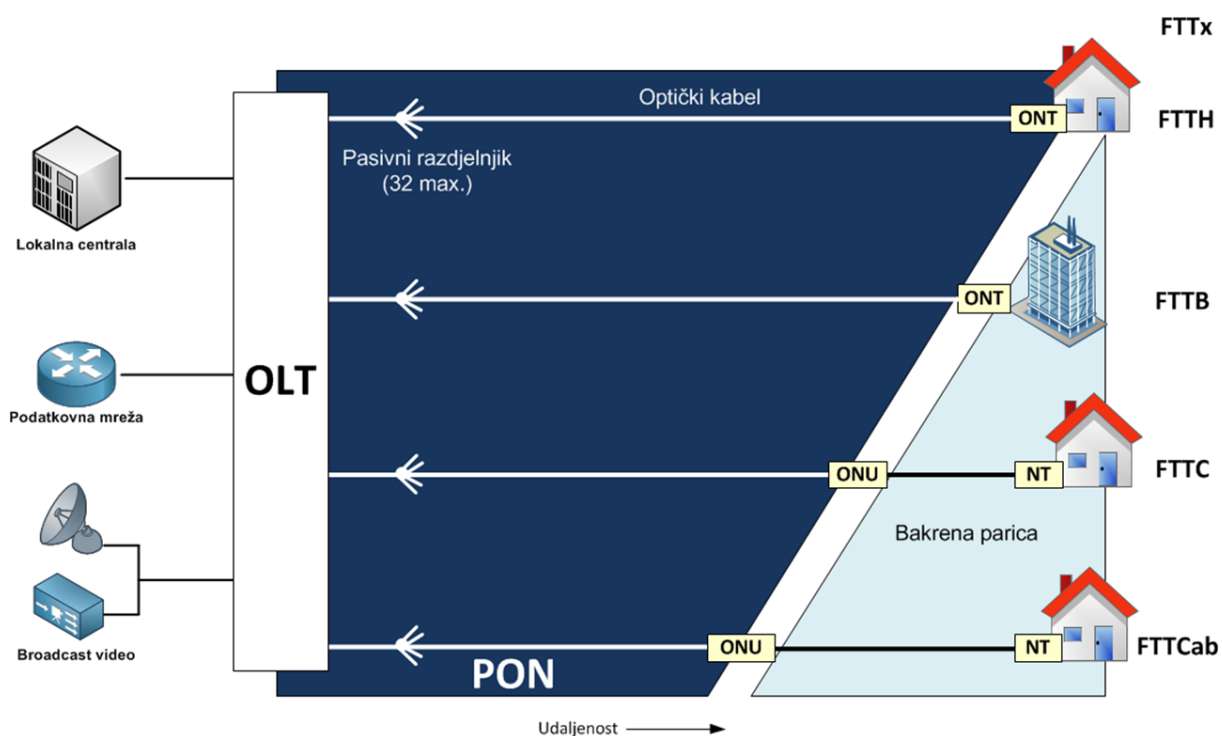
elemenata parici (engl. *Loading coils*), čime se u kombinaciji sa upredenom paricom uveliko smanjuje gubitak snage, pogotovo kod nižih frekvencija, [6].

Komunikacija preko vodova elektroenergetske mreže PLC (engl. *Power Line Communication*) posebno je interesantna operatorima distribucijske elektroenergetske mreže, npr. Hrvatska Elektroprivreda (HEP), iz razloga što mogu naplatiti uslugu svoje postojeće infrastrukture uz minimalne dodatne investicije. Osnovna ideja PLC-a je dovođenje širokopolasne mreže optičkim nitima iz jezgrene mreže do transformatorskih stanica od kojih podatci putuju preko vodova elektroenergetske mreže do krajnjih korisnika. Razlikuju se dva tipa PLC mreže: vanjska mreža (engl. *outdoor*) koja se nalazi između transformatorske mreže i PLC modema koji se nalazi kod korisnika te unutarnja mreža (engl. *indoor*) obuhvaća samu električnu instalaciju unutar kuće. U današnje vrijeme PLC sustavi se uglavnom koriste za uskopojasni prijenos podataka koji su kreirani za upravljanje elektroenergetskim postrojenjima na daljinu te im veće brzine prijenosa nisu potrebne (frekvencijski spektar do 500 kHz), a brzine koje se postižu u uskopojasno prijenosu su do nekoliko desetaka Kbit/s. Širokopolasne mreže odnosno BPL (engl. *Broadband Power-line*) podržavaju prijenos podataka brzinom do 45 Mbit/s i to obostrano i u dolaznom i odlaznom smjeru. Postoje dvije skupine BPL tehnologija: pristupna BPL koja se implementira nad vanjskom PLC mrežom te BPL unutar zgrade (engl. *In-building BPL*) implementiran nad kućnom PLC mrežom. Kao i kod ostalih pristupnih medija potrebno je ograničiti broj korisnika koji se spajaju preko BLP-a na baznu stanicu kako bi se agregatna brzina dijelila sa manjim brojem i samim tim bi sustav bio stavljen u stabilan rad. Glavna mana BLP-a je nedostatak standarda na svjetskoj razini što usporava razvoj ove tehnologije. U Hrvatskoj se komunikacija preko *powerline*-a koristi slabo. Većinom je postavljaju tehničari Hrvatskog telekoma u kućnim mrežama gdje je nemogućnosti provlačenja kabela za neku od njihovih usluga (najčešće MAXtv), [1], [7].

## 4. PASIVNA OPTIČKA MREŽA (FTTX)

Pristupna optička mreža može se izvesti na dva načina: optičkim nitima i bežičnim putem. U slučaju optičkih niti koristimo koncepte FTTx (engl. *Fiber to the x*) gdje x označava mjesto do kojeg se provlači optički kabel. Postoje glavne četiri podjele razvlačenja optike:

- FTTH (engl. *Fiber To The House*) – optičke niti do stana
- FTTB (engl. *Fiber To The Building*) – optičke niti do zgrade
- FTTC (engl. *Fiber To The Curb*) – optičke niti do pločnika, koristi se i FTTK izraz (engl. *Fiber To The Kerb*)
- FTTCab (engl. *Fiber To The Cabinet*) – optičke niti do kabineta



**Slika 11.** Mogućnosti razvlačenja optičkih kabela. Preuzeto od [8].

Pristupna mreža izvedena na gore navedene načine je najpoželjnija iz razloga što se mogu postići velike brzine na znatno većim udaljenostima nego kada se koriste bakrene parice za pristup širokopojasnim uslugama. Najveća prepreka i nedostatak pri realizaciji ovog načina izvođenja pristupne mreže je visoka cijena

opreme i postavljanje te regulatorni uvjeti nametnuti od strane države. To se odražava na cijenu usluge koja je znatno veća nego kod xDSL izvedene preko bakrenih parica. Pristupne tehnologije za pasivnu optičku mrežu prikazane su na slici 11, [1] , [16].

Kod pasivnih optičkih mreža koristi se vremensko multipleksiranje (engl. *Time Division Multiplexing*, TDM). Podatci usmjereni prema korisniku (dolazni smjer) prenose se načelom *broadcastinga*, dok se u smjeru od korisnika (odlazni smjer) podatci prenose višestrukim pristupom (engl. *Multiple medium access*) što bi značilo da se ukupni prijenosni pojas između OTL-a i ONU-a dijeli između krajnjih korisnika. Broj korisnika je uvjetovan o brzini koja će im se propuštati i nigdje nije definirano koliki je taj broj. U praksi se po jednom razdjelniku spaja maksimalno 64 korisnika zbog povećanja pristupnog kašnjenja (engl. *Access delay*) nakon većeg broja korisnika. Ovisno o mehanizmu korištenom za prijenos podataka preko optičkih niti definiramo nekoliko vrsta TDM-PON-ova: EPON (engl. *Ethernet over PON*), BPON (engl. *Broadband PON*) i GPON (*Gigabit PON*). Sva tri PON standarda su međusobno slična, koriste valni multipleks za rad u potpunom dupleksu (istovremeni promet u odlaznom i dolaznom smjeru) preko samo jednog optičkog vlakna gdje se za dolazni smjer koristi valna duljina od 1490 nm, a za dolazni smjer valna duljina od 1310 nm. Za razošiljanje odnosno *broadcast* TV signala koristi se valna duljina od 1550 nm. Iako sva tri standarda rade na istim principima postoji nekoliko razlika koje su prikazane u tablici 3, [1] , [16].

**Tablica 3.** Standardi pasivne optičke mreže. Podatci od [11].

	<b>EPON</b>	<b>BPON</b>	<b>GPON</b>
<b>Standard</b>	IEEE 802.3ah	ITU-T G.983	ITU-T G.984
<b>Protokol</b>	Ethernet	ATM	Ehernet, TDM
<b>Brzine (Mbit/s)</b>	100, silazno i uzlazno	622 silazno, 155 uzlazno	2488 silazno, 1244 uzlazno
<b>Razmak (km)</b>	10	20	20
<b>Odnos dijeljenja</b>	16 ili 32	32	32 ili 64

Po pitanju standardizacije pasivnih mreža imamo dva glavna tijela : IEEE (engl. *Institute of Electrical & Electronics Engineers*) i ITU-T. Iz tablice 3 je vidljivo da je IEEE odgovoran za standardizaciju EPON-a, dok je ITU-T odgovoran za standardizaciju GPON-a i BPON-a. Iako je ITU-t službena organizacija za standardizaciju GPON-a većina aktivnosti za standardizaciji se odvija unutar grupe FSAN (engl. *Full Service Access Network*). FSAN grupu čine telekomunikacijski operatori i proizvođači opreme koji su definirali zahtjeve i pripremu standarda za GPON. Prihvaćanje potreba operatera je jedan od glavnih razloga zašto je GPON tehnologija najraširenija u pasivnim optičkim mrežama i baza za razvoj ovih mreža. GPON podržava najveće brzine prijenosa te široki spektar aplikacija i usluga što pogoduje za prijenos TV i video usluge. GPON se također može kombinirati sa različitim mrežnim arhitekturama kao što su VDSL, FTTC te FTTH. Zbog ovih razloga sljedeća cjelina će biti posvećena ovoj tehnologiji, [11].

#### **4.1 GPON**

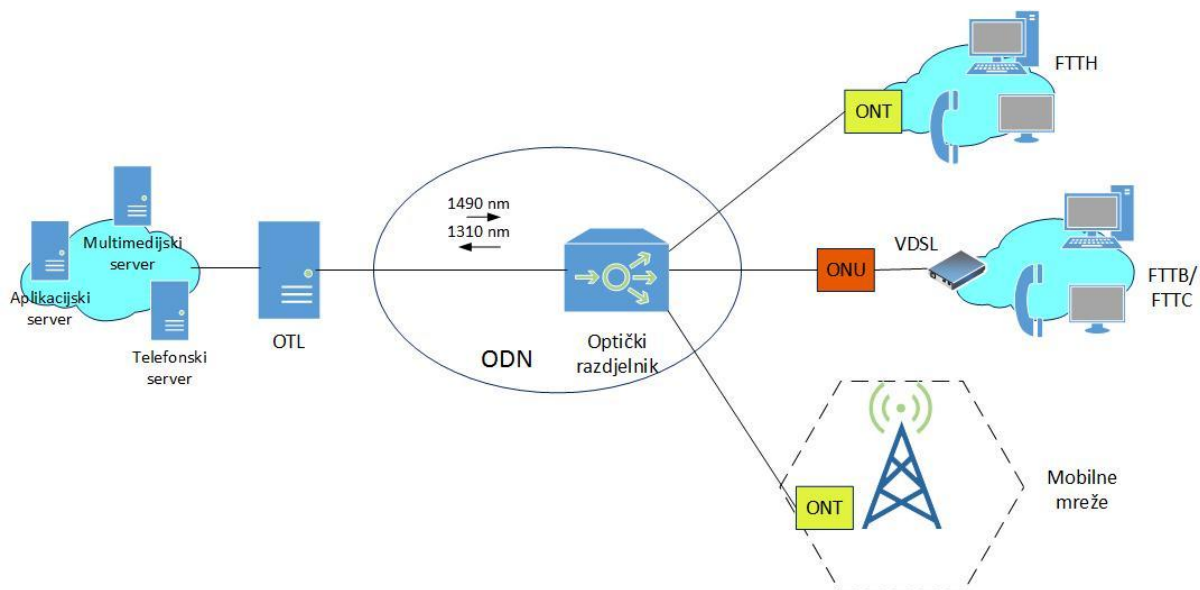
Gigabitna pasivna optička mreža GPON nastala je iz BPON standarda, a GPON je standardiziran nizom preporuka od strane ITU-T G.984.x. Ovaj standard podržava znatno veće brzine od prethodnika te uz povećanu sigurnost i veću efikasnost zauzima vodeće mjesto u pasivnim optičkim mrežama. Iako nam standard G.984.x dozvoljava izbor različitih brzina, kod GPON-a se najčešće koristi brzina od 2.488

Gbit/s u dolaznim smjeru te 1.244 Gbit/s u odlaznom smjeru. Sama standardizacija je trajala od 2003. godine do 2008 godine. Tijek donošenja standarda prikazan je u tablici 4.

**Tablica 4.** Standardizacija GPON mreže. Podatci od [11].

ITU-T standard	Datum donošenja	Opis
<b>G.984.1</b>	03-2003/03-2008	Osnovna svojstva GPON
<b>G.984.2</b>	03-2003	Specifikacije fizičkog sloja
<b>G.984.3</b>	03-2004/03-2008	Specifikacije prijenosnog sloja
<b>G.984.4</b>	06-2004/02-2008	Specifikacija sučelja za upravljanje i kontrolu ONT-ova
<b>G.984.5</b>	09-2007	Napredni pojas valnih duljina
<b>G.984.6</b>	03-2008	Produljenje dometa

Sama arhitektura GPON sustava sastoji se optičkog linijskog terminala tzv. OTL-a koji se nalazi u centralnom uredu (engl. *Central office*, CO) te većeg broja optičkih terminala ONT koji se nalaze kod korisničke strane (prikazano na slici 12). Ukoliko se GPON kombinira sa nekom od ostalih tehnologija kao što su VDSL2 koristi se i optička mrežna jedinicu ONU. Navedene komponente GPON sustava su aktivne jer zahtijevaju električno napajanje. Sama optička distribucijska mreža OND sadrži optička vlakna i optičke djelatnike te su ovi dijelovi potpuno pasivni iz razloga što ne zahtijevaju električno napajanje što uveliko smanjuje troškove.



**Slika 12.** Arhitektura GPON mreže. Podatci od [11].

Kod pasivne optičke mreže središnji terminal OLT je povezan jednim optičkim vlaknom do optičkog razdjelnika i to na udaljenosti do maksimalno 20 km. Optički razdjelnik ima najčešće 32 izlaza i jedan ulaz. Optička snaga na ulazu razdjelnika jednako se raspoređuje po izlazima pri čemu se snaga na svakom izlazu u odnosu na ulaz reducira za faktor  $n \times 3.5 \text{ dB}$  ( $10 \log 2n = n \times 10 \log 2$ ; 0.5 dB dodano kako bi se uračunali gubitci u razdjelniku). Optička distribucijska mreža ODN je sastavljena od optičkih vlakana i pasivnih optičkih razdjelnika. Pasivna optička mreža omogućuje dijeljenje jedne optičke niti između više korisnika zbog korištenja različitih valnih duljina za dolazni i odlazni promet. Također je moguć i obrnut postupak stapanja više optičkih niti u jednu. Što se tiče smetnji u pasivnoj optičkoj mreži najveću prijetnju predstavlja gušenje koje je klasificirano u 3 skupine: A skupina sa maksimalnim gubitcima do 20 dB, B skupina sa gubitcima do 25 dB i C skupina sa gubitcima od 30 dB. Gušenje kod GPON sustava se najviše pojavljuje u pasivnom optičkom razdjelniku gdje gubitak snage iznosi 3 dB za svako dijeljenje što rezultira gušenjem od 17.5 dB na 32 krajnja korisnika. Gušenje se povećava starenjem komponenti te utjecaju vremenskih nepogoda u obliku magle, promjene temperature (toplinsko rastezanje svedeno na minimum no i dalje postoji). Ostali izvori gubitaka su konektori, spojevi koji nastaju prilikom spajanja dva optička kabela (varenje optike, promjena kuta ili zadebljanje), gubici u WDM sprežniku te gubici povećanjem udaljenosti. Normalne vrijednosti gubitaka prikazane su u tablici 5. koja prikazuje

smetnje na jednomodnom optičkom vlaknu SMF (engl. *Single Mode Fiber*) koji se u praksi najčešće i koristi, [11].

**Tablica 5.** Prigušenja po komponentama. Podatci od [11].

KOMPONENTA	PRIGUŠENJE (dB)
Optički razdjelnik (32 korisnika)	18,5
Kondenzatori, spojevi	1,5
Sprežnik	1,0
Optičko vlakno (SMF)	
1310 nm	0,35/km
1490 nm	0,22/km
1550 nm	0,19/km

## 4.2 Sljedeća generacija PON-a

Kao što je već napomenuto pasivne optičke mreže GPON i EPON su standardizirane i veće se implementiraju, no razvijanjem tehnologije i one će postati spore. Jedan od glavnih zahtjeva za novu generaciju PON mreže odnosno NG-PON (engl. *New Generation PON*) upravo je povećanje prijenosnih kapaciteta. Obzirom na već postojeću mrežu potrebna su značajna ulaganja da bi došlo do implementacije NG-PON-a na trenutnu arhitekturu te podrazumijeva migraciju nekih od postojećih korisnika na novu tehnologiju.

Nova NG-PON mreža morala bi podržavati sve postojeće usluge te ih učiniti još jeftinijima što u ovim trenucima nije moguće. Najidealnije rješenje uvođenja nove tehnologije bilo bi implementiranje u postojeću arhitekturu i novim korisnicima ponuditi NG-PON uslugu, a starim korisnicima koji su na GPON sustavu i nisu zadovoljni brzinama, ponuditi migraciju na novu uslugu sa što manjim vremenom prebacivanja. Glavni problemi su opet financijske prirode koji bi operatora prisilili na održavanje dva sustava čija je svrha ista i sami sebi su konkurenti uz upitnu isplativost na duži vremenski period.

Iz tog razloga dolazimo do NG-PON2. NG-PON2 istražuje mogućnosti WDM-PON (engl. *Dense Wavelength Division Multiplexing*) multipleksiranja i brzine do 40 Gbit/s

(NG-PON ima brzinu od 10 Gbit/s) te za ovaj model ne odgovara postojeća distribucijska mreža ODN što znači da DWDM-PON ne može koristiti GPON protokol (koristi se usmjeritelj sa valovodnom rešetkom, o tome u nastavku teksta). Kod ove tehnologije potrebno je imati prijemnike koji emitiraju određenu valnu duljinu što je kritično za ONT jedinice jer se one nalaze na kraju pristupne mreže i izravno utječu na cijenu svake korisničke linije. Sama arhitektura WDM-PON-a je identična FTTH arhitekturi GPON-a. Udaljeni čvor RN (engl. *Remote Node*) u WDM-PON-u može biti izveden sa optičkim razdjelnikom ili pasivnim usmjeriteljem valnih duljina. Kod optičkog razdjelnika distribuiraju se svi odlazni signali na sve izlazne portove što zahtjeva uporabu filtera valnih duljina na svakom ONU. Iako je optički razdjelnik sam po sebi jednostavan i jeftin uređaj, ova izvedba zahtijeva optičke filtere na svakom ONU uređaju. Umjesto običnog optičkog razdjelnika u udaljenom čvoru koristi se usmjeritelj sa valovodnom rešetkom AWG (engl. *Arrayed Waveguide Grating*) koji razdvaja valne duljine i usmjerava ih na ONT-ove. Prednosti ovog načina multipleksiranja su potpuno odvajanje valnih duljina u odlaznom smjeru za svakog korisnika što rezultira znatno većom kapacitetom za svakog korisnika, veću sigurnost te bolju kontrolu rada jer nema smetnji između različitih valnih duljina u odlaznom smjeru. Zbog ovog uređaja nije moguća kompatibilnost sa prijašnjim generacijama PON sustava, [11].



## 5. BEŽIČNA LOKALNA PETLJA

Žičane lokalne petlje, unatoč svojim prednostima, imaju i nedostatke, npr. njihova skupa implementacija, a razvijanjem novih tehnologija konstantno se trebaju unaprjeđivati ili skroz zamijeniti. Iz ovog razloga se krenulo na bežične tehnologije širokopojasnog pristupa mreži. Velika prednost bežičnih tehnologija pred žičnim i optičkim tehnologijama su relativno niska cijena implementacije, no još uvijek nije moguće parirati prijenosnim performansama i stabilnosti optičkom pristupu. Najveći predstavnici ove tehnologije su WiMAX, Wi-Fi (engl. *Wireless-Fidelity*) i FSO sustavi koji će biti opisani u nastavku.

### 5.1 WiMAX i IEEE 802.16

WiMAX je popularni naziv standarda za realizaciju gradskih bežičnih mreža. Svjetska organizacija za standardizaciju zvana IEEE 1998. godine odredila je radnu skupinu nazvanu 802.16 koja je bila zadužena za razvoj ove tehnologije. Prva inačica ovog projekta je bila IEEE 802.16 čiji je komercijalni naziv bio WiMAX. Glavna zadaća bila je realizacija fiksnog bežičnog pristupa u ruralnim područjima. Prva inačica ovog sustava je funkcionirala na frekvencijskom pojasu između 10 GHz i 66 GHz<sup>2</sup>. Pošto je bila potrebna optička vidljivost između prijemnika i predajnika, to je znatno otežavalo implementaciju na tržište. Zbog navedenog problema dolazi druga generacija ovog sustava nazvana IEEE 802.16a koja rabi frekvencijsko područje od 2 do 11 GHz i ne zahtjeva optičku vidljivost (signal se može reflektirati). Druga verzija je standardizirana 2001. godine, ali je i dalje problem predstavljala komunikacija u odlaznom smjeru pogotovo nakon veće udaljenosti od odašiljača. Taj je dio uklonjen trećom verzijom sustava nazvanim IEEE 802.16d ili IEEE 802.16d-2014, čijom se dopunom riješio problem. Usprkos tome što je WiMAX namijenjen fiksnim korisnicima, određena skupina krajnjih korisnika zahtijevala je mobilnost usluge. Prema prijašnjim standardima mobilnost je predstavljala problem, dolazilo je do smanjenja kvalitete usluge i na kraju do potpunog pucanja veze, [1], [4].

---

<sup>2</sup> U Republici Hrvatskoj se koriste frekvencijska područja 3.4-3.6GHz i 24.5-26.5 GHz, [15].

Konačna inačica sustava nazvana je IEEE 802.16e koja je riješila problem mobilnosti krajnjeg korisnika i to sve dok se korisnik kreće brzinama čak do 130 km/h. Kako bi mobilnost bila moguća, u računala i krajnje terminale mora biti ugrađena posebna kartica predviđena za WiMAX mrežu, a ne bežična LAN kartica kao što je to bilo do sada. Sam WiMAX je posebno značajan u ruralnim područjima koja nemaju razvijenu telekomunikacijsku infrastrukturu iz razloga što je samim operatorima preskupa investicija u bakrenu ili optičku infrastrukturu bez obzira na potencijalno tržište. Implementacija WiMAX tehnologije bila bi puno brža da nema konkurentnih usluga kao što su žično-optičke mreže. Za sad se pokušava korisnike pridobiti nižom cijenom telekomunikacijske usluge (čak do 30% jeftinijom). Ukoliko se modernizacijom ove tehnologije omoguće još veće brzine i poveća stabilnost mreže bez obzira na vremenske nepogode, a sama cijena usluge ostane ista, moguće je da je upravo ovo budućnost telekomunikacijskih usluga. Pogotovo što ova tehnologija podržava *triple play* usluge odnosno Internet, digitalnu televiziju i telefon. U usporedbi WiMAX-a i ostalih bežičnih tehnologija, WiMAX je definitivno najinteresantniji zbog svog velikog frekvencijskog pojasa koji može omogućiti veće brzine. Njegov domet od čak 20 km garantira dobru pokrivenost sa malim brojem odašiljača. Postizanje velikog pokrivanja signalom nije moguće sa jednom antenom koja bi zračila u svim smjerovima te je iz tog razloga područje pokrivanja podijeljeno na sektore. Za svaki sektor rabi se posebna usmjerena antena, čime se postiže daleko veća snaga, brzina prijenosa i domet nego kod izotropne antene.

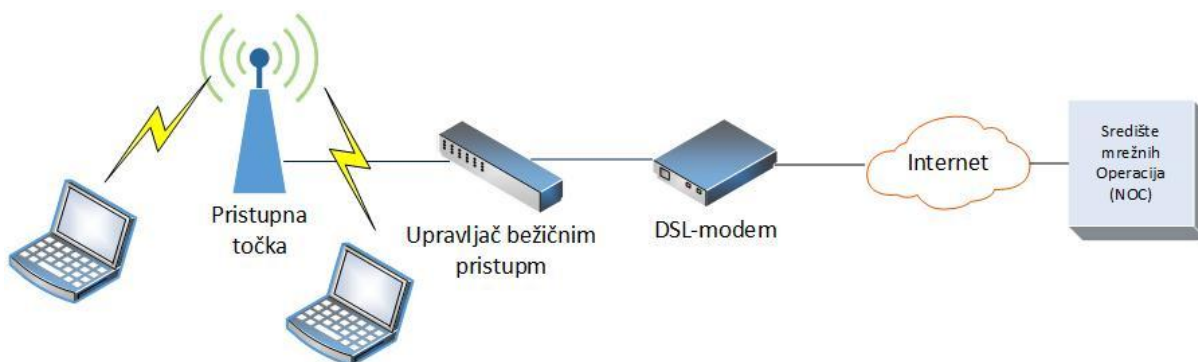
Sukladno IEEE 802.16 standardu dolazni smjer komunikacije riješen je vremenskim multipleksom TDM pri čemu se krajnjem korisniku dodjeljuje jedan ili više vremenskih odsječaka (ovisno koju brzinu želi krajnji korisnik) dok se u odlaznom smjeru koristi višestruki pristup riješen tehnikom TDMA. Širina jednog kanala na području Europe iznosi 28 MHz. Pošto se radi o dvosmjernoj komunikaciji koristi se frekvencijski dupleks FDD (engl. *Frequency Division Duplex*) ili vremenski TDD (engl. *Time Division Duplex*). Standard IEEE 802.16a predviđa uporabu modulacijskog postupka OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) i adekvatnu tehniku višestrukog pristupa OFDMA, [1], [4].

Na području Republike Hrvatske ova tehnologija bi imala dosta prostora za razvitak zbog relativno loše bakrene infrastrukture, parice su stare i preskupa je

zamjena za zastarjelu tehnologiju, dok je optička pristupna mreža jedva dostupna u najvećim gradovima uz dosta visoku cijenu usluge. Unatoč idealnoj situaciji za razvitak prvenstveno MAN koji bi u potpunosti mogli pokriti velike gradove ali također i rubna, slabo naseljena mjesta kao što su otoci (koji su uglavnom osuđeni na alternativne usluge preko satelita i fiksnih GSM telefona), Hrvatska i dalje ne ulaže u ovaj oblik pristupne mreže. Naravno svi imaju očekivanja od vodećeg teleoperatora T-HT-a (T-com, Iskon) koji je i dalje monopolist na ovom području. S njihove strane se pravdaju da nema postojećeg poslovnog modela kojim će se ova tehnologija isplatiti. Razlog je što Hrvatska agencija za telekomunikaciju nameće velike financijske izdatke kako bi se spriječio ionako postojeći monopol i obranili mali operatori. Jedini operator koji je uspio ponuditi WiMAX je Novi-Net i to na području grada Varaždina. Projekt je tu i stao iz razloga što je cijena usluge približno jednaka kao i kod ADSL poslužitelja te samim tim nije konkurentna, [1], [4].

## 5.2 IEEE 802.11

Ovaj standard je općem svijetu poznat pod nazivom Wi-Fi. Kao što nam samo ime kaže radi se o bežičnim lokalnim vezama koje daju pristup širokopojasnoj mreži, odnosno pristup Internetu bežičnim putem. Prva primjena ove tehnologije bila je na mjestima koje ljudi masovno posjećuju kao što su hoteli, odmarališta i kafići, ali se zbog svoje praktičnosti i relativno niske cijene implementacije pronašla u svakodnevnoj kućnoj uporabi. Velika prednost IEEE 802.11 je u tome što koristi ISM pojas koji je američko normizacijsko tijelo FCC (engl. *Federal Communications Commission*) standardiziralo 1985. godine kao frekvencijsko područje za komunikaciju u proširenom spektru bez ikakve naknade. Standard 802.11 predvidio je frekvencijski pojas od 2.4 GHz (koristi se i 5 GHz) kao osnovno frekvencijsko područje za bežičnu LAN (engl. *Local Area Connection*) vezu što je kasnije postao standard u cijelom svijetu. Na slici 13. je prikazana općenita arhitektura na kojoj je primjenjena bežična pristupna točka odnosno WLAN (engl. *Wireless Local Area Network*).



**Slika 13.** Ahhitektura mreže izvedene sa IEEE 802.11. Podatci od [1].

IEEE 802.11 standard je nadograđivan nizom inačica od kojih je najvažnije spomenuti 802.11a, 802.11b, 802.11g. Glavna razlika među njima je u brzinama modulacijama signala i po broju kanala. 802.11a nastao je kao nadogradnja na 802.11 standard na fizičkom sloju, a razlika je u tome što koristi OFDM tehniku enkodiranja. Pošto su zahtjevi za što većim kapacitetom komunikacijskog kanala i broja bežičnih uređaja koji rade na frekvenciji od 2.4 GHz, standard 802.11a koristi frekvencijski spektar od 5 GHz. Odabran je upravo iz razloga što na njemu ne postoji velika konkurencija u smislu interferencije. Ovaj standard omogućava komunikacijski kanal širine od 25 do 54 Mbit/s. Unatoč nazivnoj brzini od 54 Mbit/s stvarna je dvostruko manja iz razloga što svi korisnici koriste isti kanal te se prijenosni kapacitet također dijeli. 802.11b standard za razliku od 802.11a koristi frekvencijski spektar od 2.5 GHz koje je podijeljen u četrnaest kanala koji koristi DSSS (engl. *Direct-Sequence Spread Spectrum*) kao tehniku za multipleksiranje. Kod ovog standarda potrebno je uzeti u obzir da dosta kućanskih aparata koristi ovaj frekvencijski pojas uključujući i druge mreže koje rade na ovom standardu te bi lako moglo doći do istokanalne interferencije. Nazivna brzina za ovaj standard je 11 Mbit/s no nailazimo na isti problem kao kod 802.11a standarda i stvarna brzina je duplo manja, a propusnost ovisi i o udaljenosti korisnika od pristupne točke. Na kraju ostaje još 802.11g tehnologija koja za enkodiranje koristi OFDM postupak, ali se zadržava kompatibilnost sa 802.11b standardom te pruža brzinu prijenosa do 54 Mbit/s. Kod modulacija može doći do problema zbog modulacija koje koriste različiti proizvođači opreme Tako da se zbog OFDM ili PBCC (engl. *Packet Binary Convolutional Coding*) modulacije koristiti nova CCK (engl. *Complementary Code Keying*) modulacija. Zbog

nje uređaji koji rade na ovom standardu podržavaju i 2,4 GHz i 5 GHz. Svi 802.11 standardi sa opisom nalaze se u tablici 6, [6], [16].

**Tablica 6.** IEEE 802.11 standardi. Podatci od [8].

IEEE 802.11 standard	Godina	Frekvencijsko područje	Bandwidth	Modulacija	Transmisijska shema	Brzine
802,11	1997	2.4 GHz	20 MHz	DBPSK, DQPSK	DSSS/FHSS	≤ 2 Mbps
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM	≤ 54 Mbps
802.11b	1999	2.4 GHz	20 MHz	CCK	DSSS	≤ 11Mbps
802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	CCK, BPSK, QPSK, QAM	DSSS/OFDM	≤ 54Mbps
802.11n	2009	2.4/5 GHz	20/40 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM, MIMO	≤ 600 Mbps
802.11ad	2012	60 GHz	2160 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM, MIMO	≤ <b>6.76 Gbps</b>
802.11ac	2013	5 GHz	40/80/160 MHz	BPSK, QPSK, QAM	OFDM, MIMO	≤ <b>6.93 Gbps</b>

### 5.3 Optika u slobodnom prostoru (FSO)

Bežična optička veza u praksi se koristi u dva slučaja. Prvi slučaj je u gradskoj MAN mreži gdje se uobičajeno koristi u topologiji povezivanja dvije točke. Ovaj način povezivanja je alternativa optičkom vlaknu, dok štedimo na samoj cijeni infrastrukture. Drugi slučaj korištenja FSO sustava je u lokalnim mrežama unutar zgrada i drugih objekata. U ovom slučaju sustav se koristi kao nadopuna ili zamjena postojećih IEEE 802.11 standarda. FSO sustavi se češće koriste kod mreža topologije od točke do točke.

Prijenos optičkog signala odvija se između dva primo-predajnika dok je prijenosni medij zrak, odnosno atmosfera. Kod objašnjavanja arhitekture u prvom poglavlju navedene su prednosti i nedostaci ove tehnologije. Pošto se radi o bežičnom prijenosu potrebno je definirati radiofrekvencijski spektar koji je određen od 3 kHz do 300 kHz. Razlog ovoliko širokog spektra je što u samim počecima ove tehnologije

pojedini dijelovi spektra nisu bili iskoristivi. Upravo ta činjenica je jedna od glavnih razloga za razvoj ove tehnologije danas. Korištenjem vidljivog spektra elektromagnetskog zračenja također može zamijeniti radiofrekventnu tehnologiju na lokacijama poput zrakoplova ili ostalih uređaja koji su osjetljivi na frekvencijske smetnje. Za komunikaciju između primopredajnika koristi se poluvodički laseri koji odašilju usmjerenu svjetlost. Budući da se svjetlo prostire atmosferom potrebno je imati što kvalitetniji laser za komunikaciju. Povećavanjem kvalitete lasera dobivamo veći stupanj usmjerenosti i samim time ovi sustavi postaju dosta sigurni u smislu preslušavanja. FSO tehnologija zbog svoje same izvedbe ima pouzdaniji rad kod fiksnih sustava ili sustava smanjene mobilnosti iako se unaprjeđivanjem tehnologije ovaj problem pokušava riješiti. Trenutno fiksni FSO sustavi predstavljaju alternativu ostalim radiofrekventnim sustavima iz razloga što nije potrebno zakupiti frekvencijski pojas, [10].

## 6. ŠIROKOPOJASNE USLUGE

Pod širokopojasne usluge spadaju sve usluge koje su izvedene putem svih tehnologija nabrojanih u ranijem dijelu teksta. Gruba podjela bi bila na: prijenos glasa, odnosno telefonska usluga, spajanje na Internet i korištenje internetskog sadržaja te bilo koji oblik IPTV usluge, što bi značilo gledanje TV kanala putem širokopojasne mreže. Usluge su ono što operatori naplaćuju i u njihovom interesu je da ponude najbolju uslugu u komparaciji sa ostalim operatorima. Navedene tri usluge se obično spajaju u jedan paket. Korisniku se nudi *triple play* usluga (telefon, Internet, televizija) po najatraktivnijim cijenama i uz praćenje ostalih trendova (povećanje opsega usluge, dodavanje aktualnih sadržaja u postojeće pakete) u cilju zadržavanja postojećih i privlačenju budućih korisnika, [6].

### 6.1 Usluga televizije i usluge sa dodatnom vrijednošću

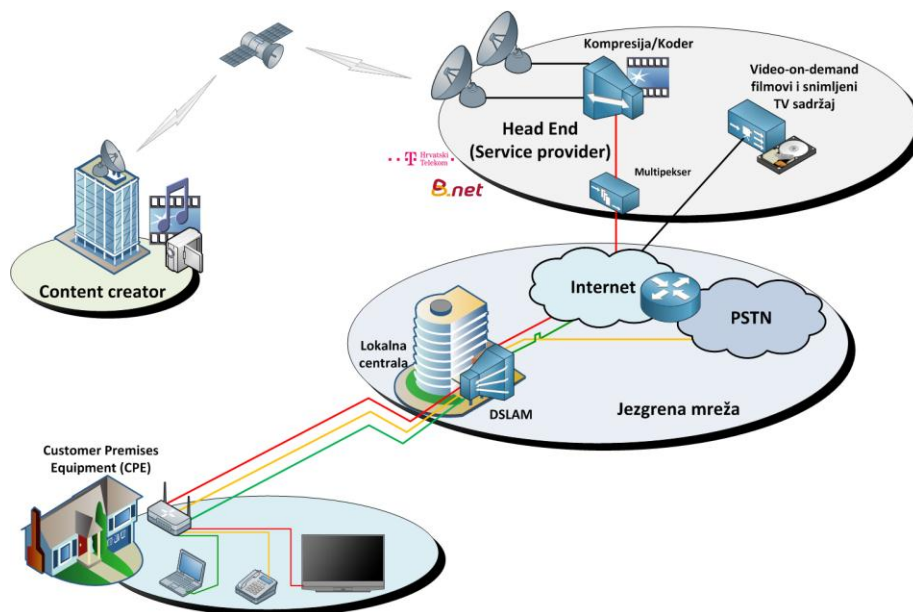
Najvažnija razlika između širokopojasnih i uskopojasnih tehnologija je razina usluge koju pružaju. Sama xDSL, FFTx ili WiMAX tehnologija ne mogu ponuditi nešto znatno drugačije od starih ISDN pristupa (osim boljih mrežnih performansi) .Stoga se operatori fokusiraju na potrebe korisnika i u ponudu stavljaju nove usluge koje često nazivamo i VAS (engl. *Value-Added Service*) odnosno usluge sa posebnom vrstom naplate. VAS usluge se definiraju kao poboljšane osnovne usluge omogućene preko neke od širokopojasnih tehnologija kao što su VoD (engl. *Voice Over DSL*, glazba kodirana u MPEG (engl. *Moving Pictures Expert Group Music*) formatu, igranje umreženih igara (engl. *Multiplayer Gaming*), videokonferencije te gledanje TV kanala preko širokopojasne mreže.

IP TV (engl. *Internet Protocol Television*) je standard razvijen od strane organizacije ITU-T u svrhu razošiljanja televizijskog signala preko širokopojasne mreže. Trebalo bi napomenuti da se IP TV usluge prenosi privatnom mrežom operatora , a ne Internetom ili drugim javnim mrežama zbog kontrole pristupa i održavanja privatnosti mreže. Budući da ova usluga dijeli mrežne resurse i sa ostalim uslugama kao što su podatkovne i govorne usluge, IP TV ima najviši prioritet u mreži iz razloga na osjetljivost kašnjenja (isto kao i govor) ali prvenstveno zbog potrebe veće propusnosti od ostalih usluga (govorna usluga preko širokopojasne mreže

zauzima 64 Kbit/s, dok gledanje HD (engl. *High Definition*) sadržaja zauzima minimalno 10 Mbit/s). Glavna prednost IP TV-a nad tradicionalnim slanjem TV signala je u interaktivnosti usluge, krajnji korisnik prema mreži šalje zahtjeve za sadržaj. Za veliku popularnost IP TV usluge zaslužan je niz faktora kao što su sve veća raširenost *Gigabit Ethernet*a i nove tehnologije zastupljene na *Ethernet* protokolu, sposobnost IP mreža da pružaju više razine kvalitete usluge naspram konvencionalnih, napredna programska podrška koja zadovoljava potrebe tržišta. IP TV je skup usluga koji sadrži slanje TV programa, video na zahtjev, plaćanje po odgledanom sadržaju PPV (engl. Pay per View), prijenos TV programa uz visoki stupanj razlučivosti. Kako bi isporuka ovakvih usluga bila potpuna moraju se prilagoditi uvjeti u mreži kao što su dovoljni prijenosni kapaciteti, visoka kvaliteta transfera IP paketa i zadovoljavajuća razina sigurnosti i na razini transfera i na razini sadržaja. Ukoliko korisnik koristi *triple play* uslugu koja podrazumijeva telefon, Internet i televiziju potrebno je osigurati brzinu u dolaznom smjeru od minimalni 20 do poželjnih 30 Mbit/s, [6], [16].

Arhitektura IP TV mreže preuzeta je sa općenitog modela nazvanog komutirani digitalni video SDV (engl. Switched Digital Video). Arhitektura je prikazana na slici 14.





**Slika 14.** Arhitektura IP TV mreže. Preuzeto [8].

U navedenoj arhitekturi se pojedinačnim korisnicima šalje samo odabrani kanal, dok se slanje videa korisnicima realizira preko IP paketa na veći broj odredišta (engl. IP multicasting) uglavnom preko protokola IGMP (engl. *IP Group Membership Protocol*). Kodiranje sadržaja uglavnom se vrši preko MPEG formata, ali također i MPEG2 ili MPEG4 ovisno o kvaliteti koju želimo postići. Nakon kodiranja svaki kanal se pakira u IP pakete i šalje prema korisnicima. Pristupna mreža prema korisnicima izvedena je nekom od tehnologija širokopojasne mreže, dok sama kućna mreža mora biti realizirana preko *Ethernet* mreža izvedena žičnim ili bežičnim putem. Krajnji korisnik povezuje se sa IPTV uslugom preko korisničkog uređaja zvanog STB (engl. *Set Top Box*) te se na njemu nalazi programska podrška za klijent stranu u klijent-poslužitelj sustavu, [6].

## 6.2 Internetske usluge

Internetska usluga može se opisati kao korisnikovo viđenje aplikacijskih protokola koji su njemu interesantni. Pa tako usluge na Internetu mogu biti transfer datoteka, elektronička pošta, pristup raznim *web* sadržajima itd. Popis usluga te protokola koje te usluge koriste prikazane su u tablici 7.

**Tablica 7.** Internet usluge. Podatci od [6].

Usluga	Aplikacijski protokol
Transfer podataka	FTP
Pristup udaljenom računalu	Telnet
Mrežne novosti	NNTP
Elektronička pošta	SMTP, POP, IMAP
Globalni informacijski sustav	HTTP
Imenička usluga	LDAP

U izvedbi internetskih usluga osim samog aplikacijskog protokola koriste se i odgovarajući modeli usluge, format podataka i transportni protokoli (TCP ili UDP). Najčešće korišteni model usluge je klijent-poslužitelj dok također postoje modeli čvor na čvor (engl. Peer to peer), model pokretnog koda, agentski model no oni se slabije koriste. U modelima klijent-poslužitelj izvedba usluge je podijeljena na dvije strane, klijenta i poslužitelja. Između njih se komunikacija temelji na nizu zahtjeva i odgovora, pri čemu klijent slanjem zahtjeva poslužitelju traži uslugu, a poslužitelj obrađuje zahtjev i šalje rezultat obrade kao odgovor na postavljeno pitanje. Komunikacija između klijenta i poslužitelja mora biti razumljiva obostrano. Mora se koristiti standardni format podataka i komunikacijski protokol. Pojmovi klijenta i poslužitelja odnose se na procese koji se izvode. Ti se procesi mogu izvoditi na istom ili na odvojenim računalima. Ovakvo korištenje u mrežnom radu te posluživanje više udaljenih klijenata je glavna prednost ovog modela. Neke od najčešće korištenih usluga preko Interneta opisane su u nastavku teksta, [6], [16].

### 6.2.1 Usluga transfera datoteka

Ova usluga je standardna internetska usluga koja korisniku omogućava dohvaćanje neke datoteke sa udaljenog računala ili obrnuto. Osnovni zahtjevi ove usluge su: transparentni pristup datotečnom sustavu na udaljenom računalu, da se tokom prijenosa podataka sačuva cjelovitost datoteke, zaštita datotečnog sustava poslužitelja od neovlaštenog pristupa te zaštita od preslušavanja i narušavanja

komunikacije. Među dodatne zahtjeve ove usluge mogu spadati i mogućnost interaktivnog rada te javni i anonimni datotečni poslužitelji. Protokol koji je zadužen za usluge transfera datoteka naziva se *File Transfer Protocol* ili skraćeno FTP. FTP otvara dvije TCP veze između dva računala koja razmjenjuju podatke, veza upravljača i podatkovna veza. Podatkovna veza služi za sam transport podataka iz datoteke, dok upravljačka služi za razmjenu korisničkih naredbi u interaktivnom modu rada. To bi značilo usklađivanje dinamički određenih vrata za podatkovnu vezu između klijenta i poslužitelja te pokretanje procesa transporta podataka preko podatkovne veze. U interaktivnom radu FTP koristi telnet NVT format za slanje korisnikovih naredbi preko upravljačke veze. Kako bi dohvatio datoteku s udaljenog poslužitelja klijent prvo uspostavlja vezu preko *porta* 21, a potom otvara podatkovnu vezu. Nakon uspješne prijave na FTP poslužitelja korisnik se može kretati datotečnim sustavom, odabrati datoteku koju želi prenijeti te podešavati parametre veze. Zaštita se najčešće rješava filtriranjem korisnika preko korisničkog imena i lozinke zahtijevane od strane poslužitelja da bi pristupili željenom sadržaju. Zaštita od prisluškivanja rješava se kriptografskom zaštitom podataka. U slučaju javnog FTP poslužitelja korisnici se spajaju bez identifikacije, [6].

### **6.2.2 Usluga pristupa udaljenom računalu**

Kod ove usluge radi se o interaktivnom spajanju na udaljeno računalo i to preko mreže uz puno korištenje resursa na udaljenom poslužitelju u obliku kakvog bi imali da se trenutno nalazimo na traženom terminalu. Zahtjevi ove usluge su transparentni pristup aplikacijama i podacima na udaljenom računalu te omogućuju interaktivni rad uz zaštitu od neovlaštenog pristupa i prisluškivanja. Zaštita od neovlaštenog pristupa najčešće se rješava korištenjem korisničkog imena i lozinke za pristup te primjene pravila za zadanog korisnika. Zaštita od prisluškivanja predstavlja najveći problem i rješava se kriptografskom zaštitom podataka na razini aplikacije pomoći SSL (engl. *Secure Socket Layer*) ili TLS (engl. *Transport Layer Security*). Najčešći protokol korišten za ovu uslugu je telnet, [6].

### 6.2.3 Elektronička pošta

Elektronička pošta je jedna od najstarijih usluga koja seže još od 1973. godine. Ova usluga omogućuje slanje i primanje poruka preko Interneta korištenjem elektroničkih poštanskih adresa. U izvedbi ove usluge sudjeluju klijenti na strani krajnjih korisnika (primatelj i pošiljatelj) i pošiljatelji koji čine sustav za razmjenu elektroničkih pošti između njih. Sam korisnik za pristup za upravljanje svojim korisničkim računom koristi razne programe od kojih je najpopularniji Microsoft Outlook, dok se mogu koristiti razne online usluge preko web preglednika. Krajnji poslužitelj prihvaća dolaznu elektroničku poštu za lokalne korisnike od drugih poslužitelja i prosljeđuje tu poštu prema odgovarajućim primateljima. Bilo koji program preko kojeg korisnik pristupa naziva se *Message User Agent* ili skraćeno MUA, a program poslužitelja *Message Transfer Agent* (MTA). Svaki MTA čeka na dolaznu poštu od lokalnih korisnika ili udaljenih MTA. Za svaku primljenu poruku MTA pregledava odredišnu adresu. Ako se radi o adresi koja se nalazi u lokalnoj mreži jednostavno je prosljeđuje korisniku, no ako se radi o korisniku na nekoj udaljenoj mreži lokalni MTA će proslijediti poruku sljedećem MTA-u na putu prema odredištu. U dostavi jedne poruke može biti uključeno više MTA-ova i svi poslužitelji kojima poruka pređe nazivaju se prijenosnicima elektroničke pošte (engl. *Mail relay*). Najčešći protokoli koji su zaduženi za rad elektroničke pošte su *Simple Mail Transfer Protocol* ili skraćeno SMTP koji služe za slanje poruka između dva MTA poslužitelja ili između MUA i MTA, te protokoli *Post Office protocol 3* (POP3) i *Internet Message Access Protocol* (IMAP) koji služe za komunikaciju između MUA i MTA putem koje korisnik pristupa porukama elektroničke pošte na udaljenom poslužitelju, [6].

### 6.2.4 Globalni informacijski sustav i HTTP

*World Wide Web* ili skraćeno WWW je hipermedijski informacijski sustav za obavljanje i pristupanje raznim sadržajima na Internetu (tekst, audio, video, dokumenti...). Sami početci WWW dolaze iz ranih 1990-ih godina i vežu se za švicarski CERN. WWW je znatno doprinio popularnosti Interneta te je prvobitnu ulogu našao u poslovnim svrhama. Svi standardi vezani za WWW izdaju se od strane organizacije *World Wide Web Consortium* (W3C). Ova usluga se temelji na *HyperText Markup Language* (HTML) jeziku koji koristi HTTP (engl. *HyperText*

*Transfer Protocol*) protokolu. Sam WWW se temelji, kao i većina usluga korištena preko Interneta, na klijent-poslužitelj modelu. Na strani poslužitelja nalazi se program koji upravlja zahtjevima klijenta (npr. http daemon ili WWW server) koji radi na *portu* 80. Klijent koji se u praksi zove i preglednik služi kao korisničko sučelje za slanje zahtjeva poslužitelju i prikaz primljenih podataka u obliku web stranice. Sam preglednik često ne podržava sve sadržaje sa svojom izvornom verzijom pa se često nadopunjuju raznim aplikacijama koje nazivamo *plug-ins*-ima. Ako se uzme u obzir da internet preglednik može služiti kao klijent za druge usluge kao što su FTP ili e-mail može ga se nazvati i univerzalnim klijentom. HTTP je protokol koji nije vezan za platformu računala odnosno za same komponente, temeljen je na modelu klijent-poslužitelj. HTTP može biti izveden na bilo kojoj mreži koja se temelji na internetskim protokolima i može prenositi više vrsta podataka. Sam HTTP protokol je jednostavna komunikacija klijenta i poslužitelja u kojoj ne postoji stanje veze, pa se takav način komunikacije naziva stateless, [6].

### **6.2.5 Over the Top Content usluge**

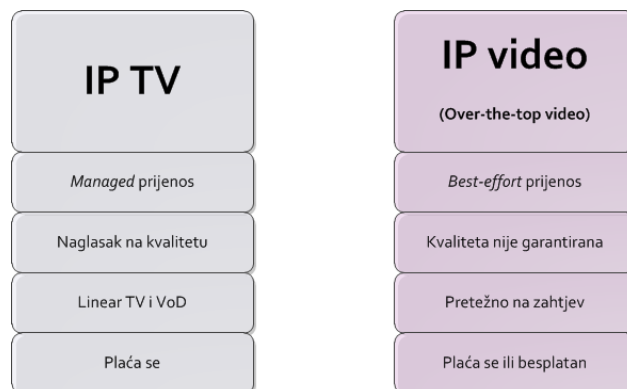
*Over the Top Content* ili skraćeno OTT odnosi se na usluge koje konkuriraju uslugama telekom operatora. Odvijaju se preko otvorenog interneta i operator može jedino naplatiti ostvareni promet ali ne i samu uslugu. OTT obuhvaća prijenos glasovnih, video i podatkovnih usluga. Popularnost ovih usluga porasla je sa masovnim korištenjem pametnih telefona te naravno Interneta sa neograničenim podatkovnim prometom, što je rezultiralo gotovo besplatnom komunikacijom i drastičnim smanjenjem korištenja usluga telekom operatera. Sve što je potrebno za ostvarivanje ove usluge je internetska veza i adekvatna aplikacija do kojih je jednostavno doći preko aplikacijskih tražilica kao što su *Google Play* za android uređaje, *App store* za *IOS* uređaje, *Windows Phone store* za uređaje bazirane na *Windows mobile* sustavu.

Najkorištenija usluga OTT-a je razmjena podatkovnih usluga preko aplikacija kao što su *WhatsApp*, *Viber* i slične. Ove aplikacije učinkovito zamjenjuju teleusluge kao što su SMS i MMS po povoljnijoj cijeni, odnosno besplatno. Telekom operatorima SMS je jedna od najvećih oblika zarade. Naplatom ove usluge ostvaruju gotovo 20% svog profita i OTT usluge im predstavljaju veliki problem u financijskom pogledu.

*WhatsApp* je trenutno vodeća aplikacija po pitanju podatkovnih usluga sa brojem 800 milijuna aktivnih korisnika, [12]. Ova nam nudi trenutno slanje poruka (engl. Instant messaging) za pametne telefone i tablet uređaje te dosta opcija kao što su slanje SMS poruke, slika, lokacije korisnika te audio i video sadržaja, [11].

Kod prijenosa glasovnih poruka najzastupljenija je aplikacija *Skype*. Ova aplikacija je prvobitno napravljena za računala na platformama *Windows* i *MAC* no ubrzanim razvojem pametnih telefona pojavljuje se i u mobilnom obliku. Iako nudi prijenos poruka, video poziva te glasovnog poziva, svoju popularnost aplikacija je stekla povezivanjem fiksnih i mobilnih mreža po jako povoljnoj tarifi od 30 lipa po minuti za međunarodne pozive, [11].

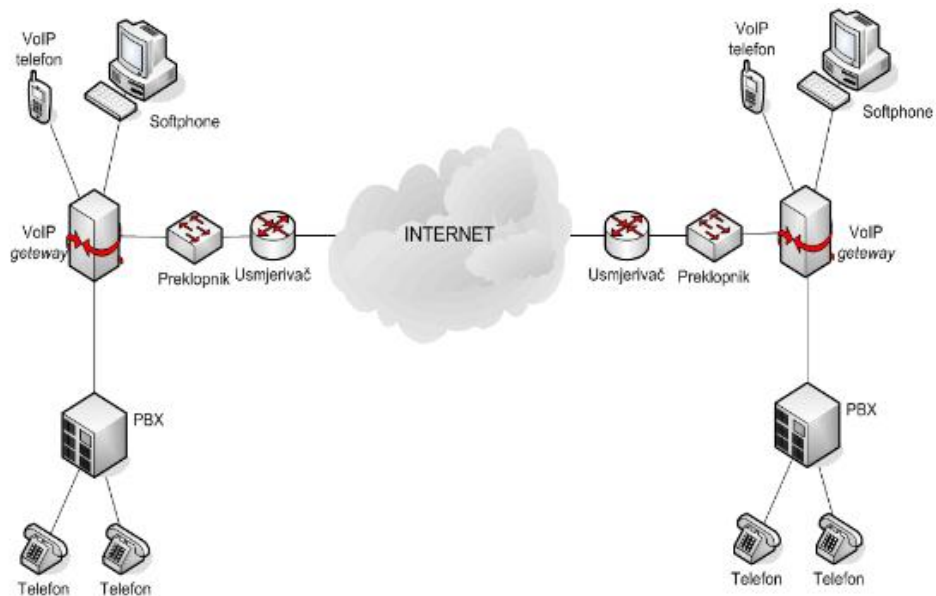
*Netflix* aplikacija izborila je prvo mjesto kad je riječ o prijenosu videa. Ova aplikacija nudi video sadržaj na zahtjev što znači da korisnik u bilo kojem trenutku, ukoliko je spojen na Internet, može gledati svoje omiljene serije i filmove. Razlog popularnosti ove aplikacije je u politici firme koja korisniku daje slobodu izbora i ne veže ga dugim ugovornim obvezama. Prvi mjesec korištenja je besplatan, a dalje se plaća na mjesečnoj bazi. Uz sve kvalitete slike se reproduciraju u HD rezoluciji i sam sadržaj nije prekidano reklamama i slično. *Netflix* trenutno broji preko 50 milijuna korisnika. Glavne razlike između IP TV usluge i prijenosa videa preko Over the top usluge prikazana je na slici 15. [13], [11].



**Slika 15.** Usporedba *IP TV* i *Over the Top* video usluge. Preuzeto od [8].

### 6.3 Usluga pozivanja

Usluga pozivanja preko širokopojasne mreže izvedena je preko VOIP (engl. *Voice Over Internet Protocol*) tehnologije. VOIP je proces digitaliziranja i slanja glasovnih paketa preko podatkovnih mreža i njegova implementacija donosi značajnu uštedu operatorima. Prije dolaska VOIP tehnologije operatori su koristili POTS telefonske centrale koje su procesom multipleksiranja dijelile frekvencijski pojas sa podatkovnim prometom te smo imali tri skupine frekvencija (govor, slanje podataka, primanje podataka). Pošto se radi o dvije različite tehnologije (digitalna i analogna) operatori su morali koristiti dvije pristupne stanice, jednu za POTS te jednu za podatkovni promet zvanu DSLAM. Odlučili su maknuti analognu tehnologiju i time dobiti malo širi frekvencijski spektar za podatkovne usluge te značajno uštedjeti na održavanju same mreže (sada mreža koristi samo DSLAM centralu). Sam VOIP nije nastao isključivo za telefonske pozive. Prvobitno se koristio za komunikaciju preko Interneta koristeći razne programe (danas najkorišteniji je *Skype*). Pokazivajući dobre karakteristike našao je implementaciju u fiksnoj telefoniji.



**Slika 16.** Arhitektura VOIP sustava. Preuzeto od [17].

Sama arhitektura VOIP-a prikaza je na slici 16. Njegove komponente dijele se na mrežnu infrastrukturu, kontrolore poziva, preklopnike i krajnje terminale koji korisnici koriste za uporabu usluge. Mrežna infrastruktura koja podržava VoIP tehnologiju može se gledati kao jedna logička glasovna mreža distribuirana preko IP okosnice koja pruža prijenos glasovnih paketa preko te mreže bez ikakvih poteškoća. Kontrolori poziva su moduli potrebni za uspostavljanje i nadziranje poziva, praćenje rada korisnika te pružanje osnovnih telefonskih usluga. Preklopnici (engl. *Media/Signaling Gateways*) potrebni su za nastajanje poziva što uključuje redukciju poziva, pretvorbu glasa iz analognog u digitalni te ujedno pružaju prelazak između različitih tehnologija. Na kraju dolaze korisnički terminali. Oni mogu biti realizirani kao terminali isključive namjene (kao što su VoIP telefoni) ili kao računala sa instaliranim adekvatnim programom, [16].



## 7. ZAKLJUČAK

Digitalne usluge koje se pružaju preko širokopojasne mreže postaju sastavni dio ljudskog života. Kako bi operatori privukli što veći broj zadovoljnih korisnika potrebno je ponuditi bolju uslugu od drugih operatora. Povećavanjem kvalitete usluge povećava se i potreba za prijenosnim kapacitetima mreža. Da bi se udovoljilo novim zahtjevima pokrenute su razne studije o napretku širokopojasnih mreža. U većini slučajeva studije izvode proizvođači opreme. Budući da operatori žele maksimalno iskoristiti postojeću infrastrukturu, studijske grupe pokušavaju na što jednostavniji način doći do rješenja. Sam primjer iskorištavanja postojeće infrastrukture su xDSL tehnologije koje za pristupnu mrežu koriste bakrene parice predviđene za POTS telefonsku mrežu. Pošto kod xDSL tehnologija značajan utjecaj ima udaljenost korisnika od centrale, što uzrokuje smanjenje brzine prijenosa, budućnost žičnih veza nalazi se na drugim prijenosnim medijima kao što su koaksijalni kabel te optička vlakna. Optička vlakna imaju najveću propusnost, ali su i najskuplja varijanta pristupne mreže.

Unatoč visokoj kvaliteti žične pristupne mreže korisnici se često, zbog svojih potreba, odlučuju za bežične širokopojasne usluge. Korisnici ovu vrstu usluga izabiru po potrebi, primjerice satelitski pristup koji je najskuplji garantira pokrivenost gdje god se nalazili, dok Wi-Fi tehnologija predstavlja spajanje na već postojeću mrežu i sama ne iziskuje financijski značajan trošak, ali je područje pokrivenosti malo. U ovu vrstu pristupne mreže uključuje se i mobilna pokretna mreža koja je izvedena preko baznih stanica mobilne telefonije. Ova vrsta pristupa danas je jako popularna pošto je odnos cijene i brzine prijenosa postao sličan kao i kod trenutno aktualnih žičnih veza.

Unatoč trenutnoj dominaciji žičnih veza, daljnja budućnost ipak pripada bežičnim vezama zbog njihove jeftinije infrastrukture i nadogradnje. Bežična komunikacija je izrazito unapređivala te postaje atraktivna i operatorima i korisnicima. Za sada kombinacija optičkih vlakana i bakrenih parica predstavlja najbolje rješenje.

## LITERATURA

- [1] Bažnat, A. i dr.: *Telekomunikacije – tehnologija i tržište*, Element, Zagreb, 2007.
- [2] Lovrek, I.: *Regulatorni aspekti mreža i usluga*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2014
- [3] Stojković, N.: *xDSL tehnologije za komunikaciju po bakrenim paricama*, Zagreb, 2003
- [4] WIMAX Forum  
<http://www.wimaxforum.org/>  
(rujan, 2015.)
- [5] Jurdana, I., Štrlek, M., Kunić, S.: *Wireless Optical Networks – Mobile Communications*  
[hrcak.srce.hr/file/152806](http://hrcak.srce.hr/file/152806)  
(rujan, 2015.)
- [6] Bažnat, A. i dr.: *Osnovne arhitekture mreža*, 2. Izdanje, Element, Zagreb, 2007.
- [7] Bažnat, A.: *Širokopolasni pristup mrežama i uslugama*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2015
- [8] Forenbacher, I.: *Auditorna predavanja iz Arhitekture telekomunikacijske mreže*, Fakultet Prometnih Znanosti, Zagreb, 2015
- [9] Popović, Ž.: *Sljedeća generacija pasivnih optičkih mreža*  
[www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br\\_1\\_2010/02.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/02.pdf)  
(rujan, 2015.)
- [10] Štrlek, M.: *Bežične optičke mreže*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2013
- [11] Popović, Ž.: OTT usluge: prijatnija ili poslovna prilika za operatore?  
[www.ericsson.com/hr/etk/novine/kom0512/30.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/novine/kom0512/30.pdf)  
(rujan, 2015.)
- [12] I. Lunden  
<http://techcrunch.com/2014/02/24/whatsapp-is-actually-worth-more-than-19b-says-facebookszuckerberg/>  
(kolovoz, 2015.)

- [13] Ralph, N.: *WhatsApp touts 800M monthly active users*  
<http://www.cnet.com/news/whatsapp-touts-800m-monthly-active-users/>  
(kolovoz, 2015.)
- [14] Bačić, J.: *Ethernet pasivna optička mreža*, Časopis KOM
- [15] HAKOM, *Radijske tehnologije za širokopojasni nepokretni pristup i mjerenja*, Zagreb, 2008
- [16] Horak, R.: *Telecommunications and data communications handbook*, The Context Corporation, 2007
- [17] Carnet: *Sigurnosni aspekti VoIP tehnologije*  
<http://www.cert.hr/sites/default/files/CCERT-PUBDOC-2006-03-151.pdf>  
(kolovoz, 2015)
- [18] ITU-T I.133, *Series I: integrated services digital network*  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-I.113-199706-I/en>  
(kolovoz, 2015)

## POPIS KRATICA

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BPON	Broadband Passive Optical Network
BPSK	Binary Phase-shift keying
CCK	Complementary Code Keying
CM	Cable modem
CMTS	Cable Modem Termination System
CO	Central Office
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DQPSK	Differential Quadrature PhaseShift Keying
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
DVB-RCS	Digital Video Broadcast with Return Channel via Sattelite
DVB-RCT	Digital Video Broadcast with Return Channel Terrestrial
EPON	Ethernet over Passive Optical Network
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FEXT	Far End Crosstalk
FSAN	Full Service Access Network
FTP	File Transfer Protocol
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTCab	Fiber To The Cabinet
FTTH	Fiber To The House
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HD	High Definition
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line
HDTV	High Definition Television
HEP	Hrvatska Elektroprivreda

HTML	HyperText Markup Language
IEEE	Institute of Electrical & Electronics Engineers
IGMP	Internet Protocol Group Membership Protocol
IMAP	Internet Message Access Protocol
IP/DSL	Internet Protocol Digital Subscriber Line
IPTV	Internet Protocol Television
ITUT	Institute of Electrical & Electronics Engineers
LAN	Local Area Connection
MAN	Metropolitan Area Network
MDF	Main Distribution Frame
MES	Master Earth Station
MPEG	Moving Pictures Expert Group Music
MSDSL	Multirate Symmetric Digital Subscriber Line
MTA	Message Transfer Agent
MUA	Message User Agent
NEXT	Near End Crosstalk
NGPON	New Generation Passive Optical Network
NSP	Network Service provider
NT	Network Termination
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OTL	Optical Line Terminal
OTT	Over the Top
PBCC	Packet Binary Convolutional Coding
PLC	Power Line Communication
PON	Passive Optical Network
POP3	Post Office protocol 3
POTS	Plain old telephone service
QAM	Quadrature amplitude modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SHDSL	Symmetrical high-speed digital subscriber line
SMF	Single Mode Fiber
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SSL	Secure Socket Layer
STB	Set Top Box

STP	Shielded Twister pair
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TLS	Transport Layer Security
UAC	Universal Access Concentrator
UDP	User Datagram Protocol
VDSL	Very-high-bit-rate digital subscriber line
VOD	Voice Over DSL
VoIP	Voice Over Internet Protocol
VSAT	Very small aperture Terminal
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WWW	World Wide Web

## POPIS ILUSTRACIJA

### Popis slika

<b>Slika 1.</b> Segmentacija telekomunikacijske mreže. ....	3
<b>Slika 2.</b> Arhitektura DSL sustava. ....	4
<b>Slika 3.</b> Arhitektura koaksijalne mreže. ....	6
<b>Slika 4.</b> Arhitektura širokopojasne mreže preko dalekovoda. ....	7
<b>Slika 5.</b> Arhitektura širokopojasne optičke mreže. ....	8
<b>Slika 6.</b> Arhitektura WiMAX sustava. ....	9
<b>Slika 7.</b> Arhitektura pokretne mreže. ....	10
<b>Slika 8.</b> FSO primopredajni uređaji. ....	11
<b>Slika 9.</b> Arhitektura satelitskog širokopojasnog pristupa. ....	12
<b>Slika 10.</b> Arhitektura VDSL tehnologije. ....	18
<b>Slika 11.</b> Mogućnosti razvlačenja optičkih kabela. ....	21
<b>Slika 12.</b> Arhitektura GPON mreže. ....	25
<b>Slika 13.</b> Arhitektura mreže izvedene sa IEEE 802.11. ....	31
<b>Slika 14.</b> Arhitektura IP TV mreže. ....	36
<b>Slika 15.</b> Usporedba <i>IP TV</i> i <i>Over the Top</i> video usluge. ....	42
<b>Slika 16.</b> Arhitektura VOIP sustava. ....	43

### Popis tablica

<b>Tablica 1.</b> Podjela DSL tehnologija. ....	14
<b>Tablica 2.</b> Brzine VDSL u ovisnosti o udaljenosti. ....	18
<b>Tablica 3.</b> Standardi pasivne optičke mreže. ....	23
<b>Tablica 4.</b> Standardizacija GPON mreže. ....	24
<b>Tablica 5.</b> Prigušenja po komponentama. ....	26
<b>Tablica 6.</b> IEEE 802.11 standardi. ....	32
<b>Tablica 7.</b> Internet usluge. ....	37



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## METAPODACI

**Naslov rada:** Arhitektura širokopojsnih pristupnih mreža

**Autor:** Damir Vuković

**Mentor:** Ivan Forenbacher, dipl. ing.

**Naslov na drugom jeziku (engleski):**

Architecture of Broadband Access Networks

**Povjerenstvo za obranu:**

- prof. dr. sc. Slavko Šarić, predsjednik
- Ivan Forenbacher, dipl. ing., mentor
- izv. prof. dr. sc. Dragan Peraković, član
- prof. dr. sc. Zvonko Kavran, zamjena

**Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Zavod za informacijsko komunikacijski promet

**Vrsta studija:** Sveučilišni

**Naziv studijskog programa:** Promet

**Stupanj:** Preddiplomski

**Akademski naziv:** univ. bacc. ing. traff.

**Datum obrane završnog rada:** 15. rujna, 2015.





Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Arhitektura širokopojsnih pristupnih mreža**

---

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 6.9.2015

\_\_\_\_\_  
(potpis)