# Višeuslužne sveoptičke pristupne mreže

**Đuračić, Stjepan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:325512

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**STJEPAN ĐURAČIĆ**

# VIŠEUSLUŽNE SVEOPTIČKE PRISTUPNE MREŽE

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, 2018.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 5. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

# ZAVRŠNI ZADATAK br. 4633

Pristupnik: **Stjepan Đuračić (0135227286)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Višeuslužne sveoptičke pristupne mreže**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti elemente sveoptičke mreže kao i postupke valnog multipleksiranja. Analizirati arhitekturu sveoptičkih pristupnih mreža. Navesti i objasniti mogućnosti primjene i instalacije sveoptičke pristupne mreže kod kućanstava.

Mentor:

dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

# VIŠEUSLUŽNE SVEOPTIČKE PRISTUPNE MREŽE

# MULTISERVICE OPTICAL ACCESS NETWORK

**Mentor**: dr. sc. Ivan Forenbacher

**Student**: Stjepan Đuračić, 0135227286

Zagreb, studeni2018.

SAŽETAK

Višeuslužna pristupna mreža termin je koji se koristi za opisivanje mreže koja za svrhu ima dostavljanje paketa usluga. Pristupna svjetlovodna mreža je telekomunikacijska mreža u kojoj se informacije prenose infracrvenom svjetlošću koristeći optičko vlakno kao prijenosni medij.Pristupna svjetlovodna mreža sadrži svoje pasivne i aktivne optičke komponente. Multipleksiranje označava postupka zajedničkog korištenja istog prijenosnog sredstva za prijenos dviju različitih vrsta informacija. Koncept sveoptičke pristupne mreže zasnovan je na premisi održavanja mrežne komunikacije u domeni optičkih kanala od izvora do odredišta signala. Arhitekture pristupnih mreža kategoriziraju se obzirom na udaljenost krajnjeg korisnika od svjetlovodnog kabela. Sigurnost svjetlovodnih mreža ponajviše se odnosi na održavanju zadovoljavajuće razine pouzdanosti sustava.

Ključne riječi: Svjetlovodna mreža, pasivna svjetlovodna mreža, multipleks, pouzdanost sustava

Abstract

Multiservice access network is a term used to define a netowrk whose purpose is to deliver informational packages. Access optical network is a telecomunication network in which data is transfered via infrared light using optical fiber as means of travel. Optical networks can contain both passive and active components. Multiplexing is a process of joint use of the same communication channel by two different information types. Concept of all optic accesible networks is based upon a premise of keeping network communication inside optic channel domain from its source up to its final destination. Optical network architectures are categorized upon the distance of optical fiber from the end user. Safety of optical networks mostly evolves around maintaining a suitable system reliability.

Key terms: optical network, passive optical network, multiplex, system reliability

# Sadržaj

1. Uvod ..... 1
2. Elementi sveoptičke mreže ..... 3
2.1. Karakteristike sveoptičke mreže ..... 3
2.2. Optičke niti ..... 3
2.3. Konektori ..... 4
2.4. Fuzijski kontakti ..... 7
2.5. Djelitelj ..... 8
2.6. Kabeli ..... 9
2.7. Spojnice ..... 11
2.8. Distribucijski paneli ..... 11
3. Postupci multipleksiranja ..... 13
3.1. WDM ..... 14
3.1.1. CWDM ..... 16
3.1.2. DWDM ..... 17
3.1.3. Usporedba CWDM i DWDM ..... 19
3.2. OTDM ..... 20
4. Arhitektura sveoptičke pristupne mreže ..... 21
4.1. FTTH ..... 22
4.2. FTTC ..... 22
4.3. FTTCab ..... 23
4.4. FTTB ..... 24
4.5. FTTN ..... 24
5. Instalacija i primjena sveoptičke mreže u kućanstvu ..... 26
5.1. Instalacija FTTH mreže ..... 26
5.2. Primjena svjetlovodnih pristupnih mreža u kućanstvima ..... 27

6. SIGURNOST SVEOPTIČKE PRISTUPNE MREŽE ..... 28
6.1. Kvarovi na mreži ..... 28
6.2. Sigurnost svjetlovodnih mreža ..... 29
6.3. Zaštita na mreži ..... 29
7. Zaključak ..... 31
LITERATURA ..... 33
POPIS SLIKA ..... 37
POPIS KRATICA I AKRONIMA ..... 38

# 1. Uvod

Zahtjevi korisnika za uslugama multimedije u širokoj paleti proizvoda - Internet, TV sadržaj na zahtjev, potaknuli su razvoj optičkih mreža. Optičke mreže odgovaraju na sve zahtjeve korisnika za većim prijenosnim brzinama i pouzdanošću. Optička mreža je telekomunikacijska mreža u kojoj se informacije prenose infracrvenom svjetlošću koristeći optičko vlakno kao prijenosni medij. Prednost ovakve mreže u odnosu na električnu je ta što je brzina prijenosa mnogo veća, a smetnje prouzrokovane vanjskim utjecajima su minimalne.Široka primjena Interneta i korištenje usluga koje zahtijevaju visoku propusnost zbog multimedijskog sadržaja, prisilili su na pomak mreže sa bakrenim kablovima na mreže sa optičkim kablovima. Uspoređujući električne i optičke transmisijske sustave, vidljive su prednosti optičkih sustava. Također, korištenje puno većih podatkovnih paketa zahtijeva i brže slanje istih. Zahtjevi korisnika rastu zajedno s rastom datoteka, ponudom sadržaja i opcijama usluga koje korisnik može primiti. Upravo je iz ovog razloga nastojanje da se optičke mreže rade u izvedbi sveoptičkih mreža, odnosno da prilikom distribucije informacija, paketa informacija i ostalih sadržaja ne dolazi do konverzije elemenata mreže s visokom propusnošću (poput optičkih komponenti) u tradicionalne (bakrena parica) čije će serelativne nedostatke obraditi u ovom radu.

Cilj završnog rada je istražiti te prikazati elemente i značajke sveoptičke pristupne mreže. Unutar rada iznijet će se načini spajanja korisnika na sveoptičku mrežu kao i načine distribucije mreže od strane poslužitelja. Nastojat će se i dati pregled sigurnosnih rizika povezanih uz korištenje šriokopojasnih usluga te načine zaštite od utjecaja sigurnosnih rizika.

Materija rada izložena je u ukupno sedam teza na sljedeći način:

1. Uvod,
2. Elementi sveoptičke mreže,
3. Postupci multipleksiranja,
4. Arhitektura sveoptičke pristupne mreže,

5. Primjena i instalacija sveoptičke mreže u kućanstvu,
6. Sigurnost sveoptičke pristupne mreže te
7. Zaključak.

U uvodnom su dijelu rada izneseni problem i predmet rada, naveden je cilj i svrha rada, opisani su izvori i metodologija rada te je iznesen sadržaj i struktura rada.

Elementi sveoptičke mreže drugo je poglavlje rada, a gdje su navedene osnove optičke mreže te njen sastav. Također je opisana arhitektura optičke mreže kao i općenite karakteristike.

U trećem poglavlju rada pod nazivom postupci multipleksiranja navedeni su i opisani postupci i vrste multipleksiranja.

Arhitektura sveoptičke pristupne mreže četvrto je poglavlje rada gdje su pojašnjene pristupne mreže, mrežna arhitektura te funkcionalnost arhitekture.

Peto poglavlje je primjena i instalacija sveoptičke mreže u kućanstvu gdje se na primjeru opskrbe grada električnom energijom povlači paralela u odnosu na sve veći opseg uređaja koji spadaju u Internet of Things okolinu.

Šesto poglavlje rada govori o sigurnosti sveoptičke pristupne mreže te je pojašnjena sama sigurnost i pouzdanost optičke mreže i kako uočiti pokušaje proboja u mrežu.

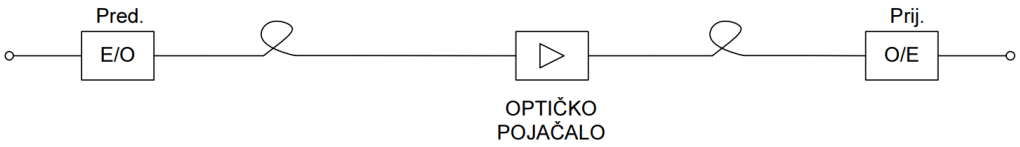
Sedmi dio rada je *Zaključak* koji je donesen na temelju analize i vlastitih promišljanja. Na kraju rada se uz popis literature nalazi i popis kratica i akronima te popis slika prikazanih u tekstu rada.

# 2. Elementi sveoptičke mreže

## 2.1. Karakteristike sveoptičke mreže

Sveoptička mreža služi za distribuciju informacija putem svjetlovodnog medija kao medija. Sveoptička mreža ima karakteristiku da se informacija prenosi izrazito velikom brzinom, odnosno brzinom puno većom od brzine kojom se to odvija u koaksijalnom kabelu ili bakrenoj parici. Obzirom da su moguće veće brzine, u konstruiranju mreže je prvenstveno cilj osigurati da ne dolazi do česte i nepotrebne konverzije iz električnog u optički način prijenosa informacija. Na taj je način osiguran brz protok informacija i velika protočnost ukupnog sustava. Također, u slučaju da se signal konvertira iz električne u svjetlosnu domenu, uz visoku cijenu pretvarača, bitno je istaknuti i gubitak kvalitete prilikom konverzije [1].

Na slici 1. moguće je vidjeti poopćenu shemu temeljnih elemenata sveoptičkog sustava.

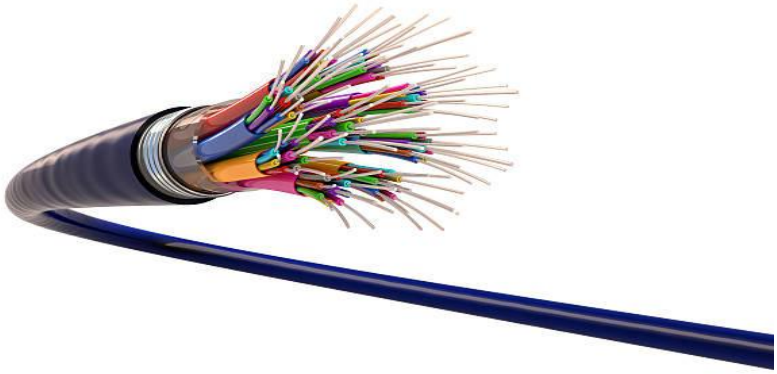



*Slika 1Elementi sveoptičkog sustava [1]*

## 2.2. Optičke niti

Optičke su niti dijelovi mrežnog optičkog sustava kojima se šalju podaci. Mogu se podijeliti obzirom na vlastita svojstva širenja svjetlosti, vrsti materijala korištenih za izgradnju ovojnice i jezgre; dimenzije jezgre i ovojnice; transmisijske karakteristike te konstrukcijske izvedbe. Kako se navodi u izvoru [3], svojstva optičkih niti uvelike nadmašuju sposobnosti bakrenih žica. Razlog se nalazi u brzini čestica koje prijenose informaciju, točnije elektrona i fotona. Fotoni su čestice koje su prijenosnici informacija u optičkim nitima te premda ne putuju brzinom svjetlosti, ne zaostaju mnogo.

Naime, fotoni se unutar optičkih kablova kreću brzinom 30% manjom od brzine svjetlosti, dok se elektroni kreću brzinama od „tek“ 1% brzine svjetlosti. Uz to što posjeduju veće moguće brzine kretanja, optički kablovi nisu podložni elektromagnetskim utjecajima poput bakrenih medija. Optički kablovi također imaju i puno manji gubitak od bakrenih, točnije, kako se navodi u izvoru [3], prigušenje kod bakrene parice ovisi o korištenoj frekvenciji, pa je istim na 1kHz prigušenje jednako 2.5dB/km, dok je na 1MHz blizu 10dB/km. Kod optičke parice minimalno prigušenje u ovisnosti od frekvencije signala iznosi 0.2 dB/km.



*Slika 2 Svežanj optičkih vlakana, preuzeto sa https://d3gx8i893xzz0e.cloudfront.net/fileadmin/fiber_optics/products_applications/Fibers/singlemode_special_optical_fibers.jpg?1524567192*

Osim operativnih karakteristika kablova, prednosti optičkih niti očituju se i u manjoj cijeni izrade, i manjem promjeru te nezapaljivosti uslijed neemitiranja toplinske energije. Činjenice da su optičke niti manjeg promjera znači i posljedično veći kapacitet kabela [1].

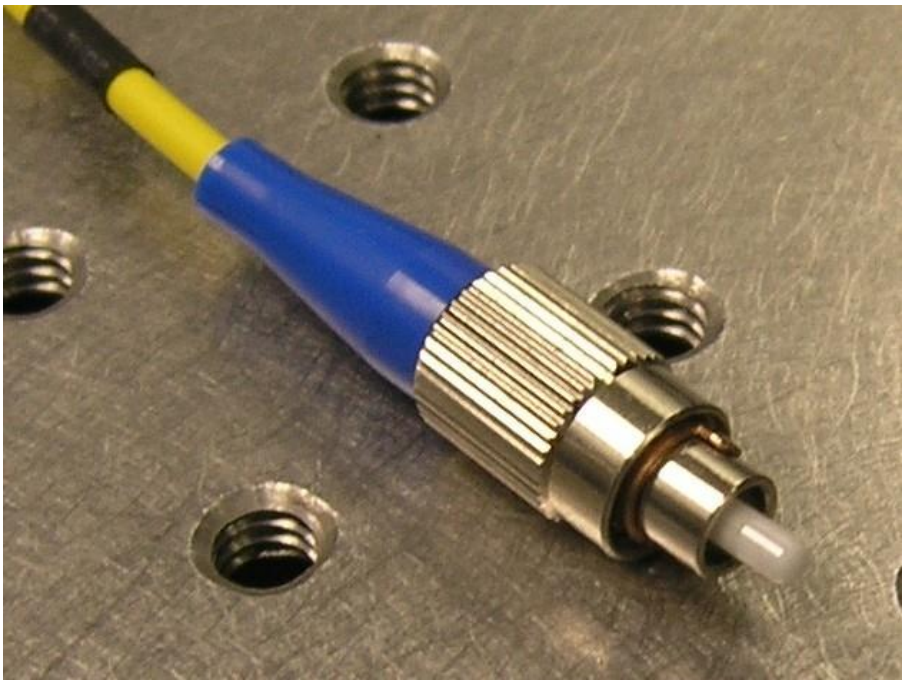
## 2.3. Konektori

Konektori za spajanje optičkih kablova puno su složeniji od istovrsnih konektora za bakrene. Kako se navodi u izvoru [5], u pasivnim je optičkim mrežama nužno osigurati mogućnost spajanja kablova, kako je cilj pasivnih mreža osigurati da se izrazito velik broj

korisnika međusobno poveže optičkom mrežom. Postoje ukupno oko 50 vrsta konektora na tržištu, no, kako se navodi u izvoru [6], samo šest osnovnih tipova. Konektori su u suštini mehaničke komponente koje za funkciju imaju spajanje optičkih niti. Konektori mogu biti u konfiguraciji jednog vlakna (engl. *Single Fiber*) i više vlakana (engl. *Multi Fiber*). Konektori unutar pasivne optičke mreže za ulogu imaju osiguravanje neprekidnosti optičkih niti na način da se gubitak snage i kvalitete signala reducira što je više moguće. Konektori se mogu naći na krajevima kablova optičkih niti, svjetlosnih izvora, prijemnika ili kućišta. Kako se optički kabel sam po sebi smatra „zatvorenim“, odnosno gotovo je neosjetljiv na vanjsko stanje, ovi su konektori „slabe“ karike u optičkoj mreži, iz razloga što se gubitak može dogoditi gotovo isključivo na mjestima spojeva dvaju kablova. Šest tipičnih vrsta konektora su:

1. FC konektori
2. SCkonektori
3. ST konektori
4. LC konektori
5. MM-RJ konektori
6. MTP/MPO Konektori

Razlika u gubitku snage signala postiže se korištenjem drugačijih materijala i tehnika spajanja. Uobičajeno je da se svjetlovodne niti na krajevima, odnosno kod konektora, spajaju na način da se stisnu oprugom prema krajevima kako ne bi došlo do gubitaka ili prekida svjetlovodnih niti uslijed djelovanja zraka. Sve vrste konektora omogućuju precizno pozicioniranje pojedinih svjetlovodnih niti u svrhu osiguravanja neprekinutosti protoka informacija. Ipak, kod korištenja svih optičkih niti nužno je uzeti u obzir očekivane vrijednosti gubitaka neovisno o korištenim konektorima. Tako je kod:



*Slika 3Prikaz FC konektora [7]*

Kod SC konektora dolazi do nešto većeg gubitka snage signala 0.25 dB, dok kod LC konektora dolazi do gubitka od 0.5 dB.

*Slika 4 Prikaz SC konektora [8]*

SC konektor sa slike 3. je u potpunosti izrađen od plastike. Ferula je promjera 2.5 mm, a najčešće se koristi kod aplikacija s dvostrukim spojem, za priključenje terminalne opreme, odnosno kod spajanja na razvodnim kutijama.

LC konektor, sa slike 4., je izrađen od plastike, a koristi se najčešće u slučajevima kada postoji velik broj konektora i priključaka. Učestalo se koristi i kod kućnih priključaka instalacija.

*Slika 5 Prikaz LC konektora [8]*

## 2.4. Fuzijski kontakti

Fuzijski kontakti (engl. *splice)* služe za povezivanja dviju svjetlovodnih niti taljenjem.Prema izvoru [5] postoji posebna procedura pripreme niti neposredno prije taljenja. Naime, potrebno je skinuti zaštitni omotač, odnosno izolaciju, zatim očistiti nit od raznih nečistoća te se svaka zasebna nit reže pod pravim kutom na potrebnu duljinu. Tako odrezana nit se stavlja na jedan kraj uređaja za taljenje. Nakon što se postupak taljenja završi potrebno je i provesti potrebne zaštitne mjere spoja, a koje se provode apliciranjem termo-skupljajuće izolacije na mjestu spoja. Ta se termo skupljajuća izolacija mora primijeniti na mjesto lako lomljivog spoja optičke niti da bi zaštitila nit i podatke koji se šalju kroz nit.

Termo skupljajuća izolacija se mora termički taliti na optičku nit u pećnici, a postupak je trajan i u slučaju pogreške ne postoji način da se postupak ispravi. Nadalje, potrebno je u ovom procesu osigurati da nit kod spoja s uređajem (engl. *splicer*), u slučaju da postoje

fiksni držači niti, na vanjskom omotaču nema nikakvih onečišćenja i zrnaca prašine koji bi mogli uzrokovati velike gubitke u prijenosu podataka, iskrivljenjima niti ili nepravilnom refleksijom. Za ispravan je spoj sa što manjim prigušenjem nužno osigurati da niti, odnosno jezgre niti budu poravnate obzirom na sve osi kako i najmanja neusklađenost drastično utječe na gubitke.Prigušenjekoje potencijalno može biti uzrokovano ovakvim nepravilnostima prilikom izvođenja spajanja mora bit ispod 0.1 dB. Ukoliko je spoj niti loše izveden, a prigušenja veća od navedenog iznosa, potrebno je ponoviti postupak spajanja [9].

Uz kontakt ostvaren taljenim spojem, postoji još i mehanički kontakt u spajanju niti. Mehanički su kontakti obično manje zahtjevne izvedbe, imaju nižu cijenu, no istovremeno imaju i velik gubitak ukapčanja koji iznosi više od 0.2 dB uz dodatno visoku razinu refleksije. Konvencionalni se mehanički kontakti odlikuju jednostavnošću primjene, odnosno olakšanom manipulacijom niti. Upotrebom novih tehnologija izrade i korištenih materijala moguće je smanjiti gubitak, nastanak šuma te povećati performanse do karakteristika sličnih kontaktima s taljenim spojem [9].

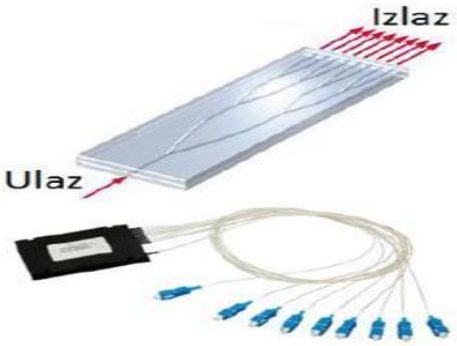
Kontakti ostvareni taljenim spojem su, premda više cijene izrade, brži, nemaju refleksije, ostvaruju mali gubitak ukapčanja od 0,02 dB (gotovo 10 puta manji od mehaničkih kontakta) te se koriste u kablovima velikih duljina. Tako se mogu koristiti u kablovima duljine 2, 4 i 6 kilometara. Unutar kablova od 6 kilometara, održavanje je nešto teže, no unutar kabla se nalazi nešto manji broj spojeva od ostalih kablova [11].

## 2.5. Djelitelj

Djelitelj (engl. *splitter*) jest fizički element mreže koji ima zadaću dijeljenja signala koji se dobiva kroz jednu nit optičkog kabela na više izlaznih optičkih signal smještenih u više niti. Snaga signala na izlazu iz splittera je uvijek manja nego na ulazu, pa je stoga nemoguće imati neograničen broj izlaza. Na slici 5. moguće je vidjeti primjer djelitelja.

Djelitelji mogu biti postavljani unutar infrastrukture u različite svrhe. Tako se postavljanjem djelitelja u blizini krajnjih korisnika u svrhu dobivanja više izlaza za poslane informacije može napraviti ispod zemlje te na telefonske stupove, ili druge

infrastrukturne točke kojima se i sam vod služi da bi opskrbio mrežu. Nadalje, djelitelj se može postaviti i unutar same distribucijske mreže u slučaju da se pokriva veliko geografsko područje, a dok je signal dovoljne snage [10].




*Slika 6 Primjer djelitelja [12]*

## 2.6. Kabeli

Kabeli (engl. *cables*) dijelovi su mreže unutar kojih se stavlja veći broj optičkih niti. Na taj je način olakšana distribucija niti, a i informacija koje se odašilju putem ovih niti. Sastavni dijelovi kablova su:

- Optička nit (jezgra)
- Omotač jezgre
- Zaštitni omotač kabela

Postoje dvije osnovne izvedbe konstrukcije kabla, a to su: [13]

- suhi (engl. *tight buffered*)
- mokri gelom punjeni kablovi (engl. *loose tube*)

Suhi se kablovi najčešće koriste u LAN mrežama dok se kablovi punjeni mokrim gelom pak koriste za dugometražne izvedbe optičkih kablova, a uobičajeno je i da se spojevi niti u ovakvim kablovima vrše taljenjem ili mehaničkim priključkom.

Svjetlovodni se kablovi mogu podijeliti i ovisno o namjeni kablova:

- uvlačni kablovi predviđeni su za postavljanje ispod površine zemlje, obično u sklopu sustava kanalizacije. Materijal korišten za izradu ovih kablova obično je nemetalan, a sami su kablovi lagani i malih dimenzija. Upuhivanjem se stavljaju u položene cijevi promjera do 50 mm
- Podmorski kablovi su kablovi slični uvlačnim kablovima, no sa dodatnom zaštitom od prodora vlage i vanjskom zaštitom. Ukoliko bi došlo do prodora vlage moguće je da dođe do narušavanja prijenosnih svojstava kabela. Ova je izvedba komunikacijskih kablova izrazito popularna zbog očitih prednosti ispred klasičnih kablova u pogledu težine – čak su do 90% lakši, no prednosti se očituju i u nemogućnosti pojave iskrenja, požara i kratkog spoja te nepotrebnog uzemljenja
- Kablovi za izravno polaganje u zemlju
- Instalacijski kablovi su predviđeni za korištenje u jednoj zgradi
- Samonosivi kablovi su kablovi koji se pričvršćuju na postojeću infrastrukturu[3]

Niti i kablovi (u većim kablovima) sadrže oznake i etikete čiji je sadržaj propisan od strane proizvođača kabela, a same se niti mogu kodirati i bojom, na za to propisani način. Zahtjevi za sve vrste kablova su da su lagani, jednostavni za upotrebu, efikasni obzirom na propusnu moć, da ih je relativno lako održavati te da imaju što je moguće veću mogućnost spajanja na konektore dok istovremeno zadržavaju otpornost na habanje, UV zračenje te lomljenje [12].

*Slika 7 Svjetlovodni kabeli, preuzeto sa: https://goo.gl/YWeNPk(pristupljeno 31.08.2018.)*

## 2.7. Spojnice

Elementi koji služe kao temelj na kojima se spajaju svjetlovodne niti. Ova su mjesta izrazito osjetljiva na vanjske podražaje izvan mreže. Nastoji se osigurati da ova mjesta budu neosjetljiva na atmosferske uvjete, vlagu, mehanička oštećenja i slične uzroke negativnih učinaka na ukupan sustav. Obzirom da spojnice predstavljaju „ulazne točke“ u sustav, jer se postavljaju na mjesta gdje je moguće potrebno da dodaju novi korisnici. Također, ovi se elementi mogu montirati u instalacijskim zdencima, a mogu se i ukopavati te stavljati ispd razine mora. Kako se navodi u izvoru, spojnica obilježava mjesto u mreži na kojem se mogu ostaviti pristupni spojevi za dodatne veze s korisnicima. Ukoliko je spojnica izvedena pravilno očekivani rezultati su dobra otpornost na vanjske uvjete te jednostavnost i brzina instalacije novih priključaka. Dijelovi spojnice su baza, kućište, nosač i regler. [10]

## 2.8. Distribucijski paneli

Distribucijski paneli (engl. *Distribution panel)*su uređaji koji služe za međusobno spajanje nekoliko desetaka, stotina ili tisuća niti. Moguće je ove uređaja smatrati sličnima telefonskim centralama, no umjesto telefonskih kablova, unutar panela se međusobno spajaju signali i informacije koji se šalju optičkim nitima. U izvoru se navodi kako je distribucijski panel uređaj za spajanje i distribuciju više vrsta optičkih kabela. Ovi se uređaji, a kako se navodi u istom izvoru, mogu koristiti u uredima, udaljenim uredima, u korisničkim točkama lokalne mreže u kojima su brzine optičkih mreža u potpunosti iskorištene. Distribucijski paneli pružaju mogućnosti centraliziranog upravljanja, odnosno konstruiranja mreže s jednom središnjom točkom upravljanja protokom informacijama unutar mreže [15].

*Slika 8 Distribucijski panel [16]*

Osnovnim tipovima distribucijskih panela smatraju se završne kutije na koje se spaja korisnička oprema. Osnovni dijelovi završnih kutija su, prema izvoru [10]:

- Ormar za smještanje vodilica i polica
- Police koje sadrže reglere za spajanje konektorima
- Kazete spojene trajnim spojem

# 3. Postupci multipleksiranja

Multipleksiranje označava postupka zajedničkog korištenja istog prijenosno sredstva za prijenos dviju različitih vrsta informacija, odnosno dviju odvojenih informacija. To znači da se istim komunikacijskim sredstvom, primjerice optičkim kablom, mogu prenositi dvije zasebne informacije, svaka u svom zasebnom vremenskom okviru. Također, moguće je kontinuirano slati dijelove dviju zasebnih, odvojenih informacija unutar određenog vremenskog perioda kroz isti komunikacijski kanal, a s različitim vremenskim pomakom. Kako je vremenski odsječak razlike vremena u kojem se ova dva podatka šalju, kao dijelovi dviju odvojenih, složenijih informacija izrazito malen, može se govoriti o gotovo simultanom prijenosu više informacija kroz isti komunikacijski kanal [3].

U optičkih niti, moguće je više komunikacijskih, odnosno svjetlosnih signala, spregnuti u jedan kanal, unutar kojeg se postupcima multipleksiranja, odnosno korištenja različitih valnih svjetlosnih duljina za prijenos različitih informacija, ili dijelova informacija smanjuje broj potrebnih niti. Na taj se način može postići da se u, gotovo, isto vrijeme, na izrazito brz način prenose poruke dviju raznovrsnih informacija jednim komunikacijskim kanalom.

Također, kako se navodi u izvoru [10], designacija više valnih duljina u svrhu slanja podataka istim komunikacijskim kanalom omogućila je prijenos podataka jednom niti bez negativnih posljedica eventualne interferencije, koja je moguća u drugim vrstama kablova. U pogledu komunikacije optičkim komunikacijskim sredstvima, za prijenos podataka je moguće korištenje različitih valnih duljina, umjesto da se podaci multipleksiraju frekvencijom, kako je to slučaj u radiovalovima. Tako svaka zasebna valna duljina svjetlosti korištena u svrhu prijenosa podataka čini zasebni komunikacijski kanal.Ta je brzina sasvim dostatna da stvori dojam istovremenosti za uređaje koji se koriste danas.

## 3.1. WDM

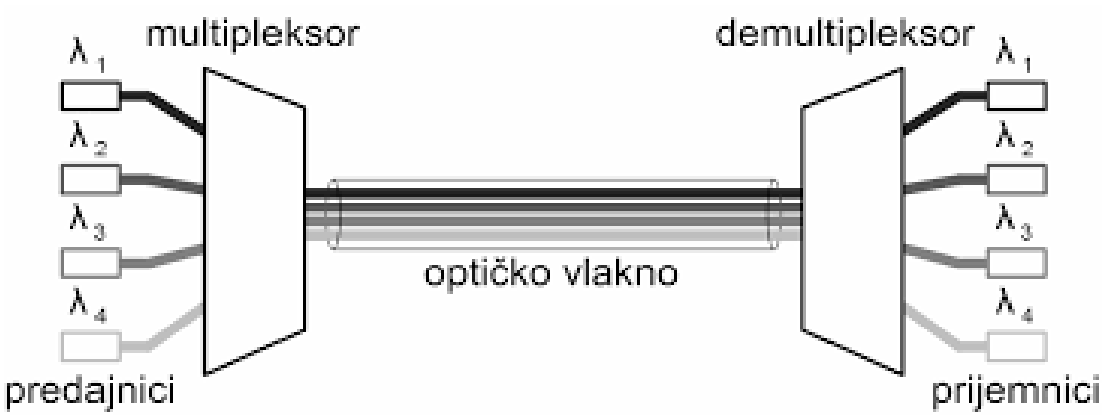
Najčešći način multipleksiranja jest multipleks valnih duljina (engl. *Wavelenght Division Multiplexing)* koji označava tehnologiju multipleksiranja u prijenosu podataka svjetlovodnim nitima koja iskorištava svojstva širokopojasnosti niti, odnosno korištenja širokog spektra valnih duljina. Na taj se način jednom niti može slati širok spektar informacija, koristeći svaku od zasebnih valnih duljina [15]. dijelovi ukupnog svjetlosnog spektra kojim se prenose informacija nazivaju se „prozori“, a određeni su zasebnim i međusobno nešto različitim svojstvima. Valne duljine prozora predočene su u tablici 1.

Tablica 1. Tablični prikaz vrijednosti optičkih „prozora“ [16]

| Optički pojas | Valna duljina |
|---|---|
| O – izvorni pojas (original) | 1260 – 1360 |
| E – prošireni pojas (extended) | 1360 – 1460 |
| S – kratki pojas (short) | 1460 – 1530 |
| C – konvencionalni pojas (conventional) | 1530 – 1565 |
| L – dugi pojas (long) | 1565 - 1625 |

CWDW, (engl. Coarse Wavelenght Division Multiplexing) prenosi ukupno 18 svjetlosnih valnih duljina. Za potrebe multipleksiranja koristeći ovu tehnologiju koristi se SFP (*Small Factor Pluggable)* primopredajnik koji omogućuje korištenje postojećih ethernet switch-eva koji posjeduju Gigabit Interface Converter [3].

Tehnologija multipleksiranja razvijena je u 80-tim godinama prošlog stoljeća, gdje su ovi sustavi u početku prenosili signale u dva široko odvojena prozora i to samo na kratkim udaljenostima. Današnja je tehnologija neograničena materijalima i tehnologijom izrade kablova, stoga su prigušenja manja, signal jednake jačine, gubitka gotovo i nema, pa je i domet daleko veći.




*Slika 9 WDM sustav, preuzeto sa: https://goo.gl/YWeNPk(pristupljeno 31.08.2018.)*

Uz Coarse WDM, kako se navodi u izvoru, postoji još i tehnologija Dense Wavelenght Division Multiplexing gdje se može prenositi više od 8 svjetlosnih dužina. Opseg same niti iznosi 1552,52 nm, a cijena je značajno viša od CDWM. Kapaciteti ovih niti su značajno viši od prethodnih, a iznose do nekoliko stotina Tb/s [16].

Ova dva sustava imaju sljedeće karakteristike:

1. Gusti (Dense - DWDM ) - do 560 DWDM valne duljine preko jednog para vlakana, udaljenosti od preko 1.000 km mogu se postići uporabom optičkog pojačala, DWDM valna duljina: 1528 nm (kanal 61) do 1563 nm (kanal 17);

2. Rijetki (Coarse - CWDM) - do 18 CWDM valne duljine preko jednog para vlakana, CWDM razmak kanala 20 nm, 1270 nm do 1610 nm, udaljenosti do 120 km. ITU- T standard nalaže, prema preporuci G.694.2

Razvojem optičkog pojačala sposobnog za ravnomjerno pojačavanje svih valnih dužina značajno se povećala veličina prijenosnih udaljenosti i time omogućio daljnji razvoj i implementacija DWDM sustava.

DWDM sustavi su definirani razmacima u sljedećim vrijednostima.

Tablica 3. Prikaz vrijednosti razmaka između kanala za DWDM [15]

| Razmak između kanala (GHz) | Razmak između kanala na 1550 [nm] |
|---|---|
| 12.5 | 0.1 |
| 25 | 0.2 |
| 50 | 0.4 |
| 100 | 0.8 |
| 200 | 1.6 |

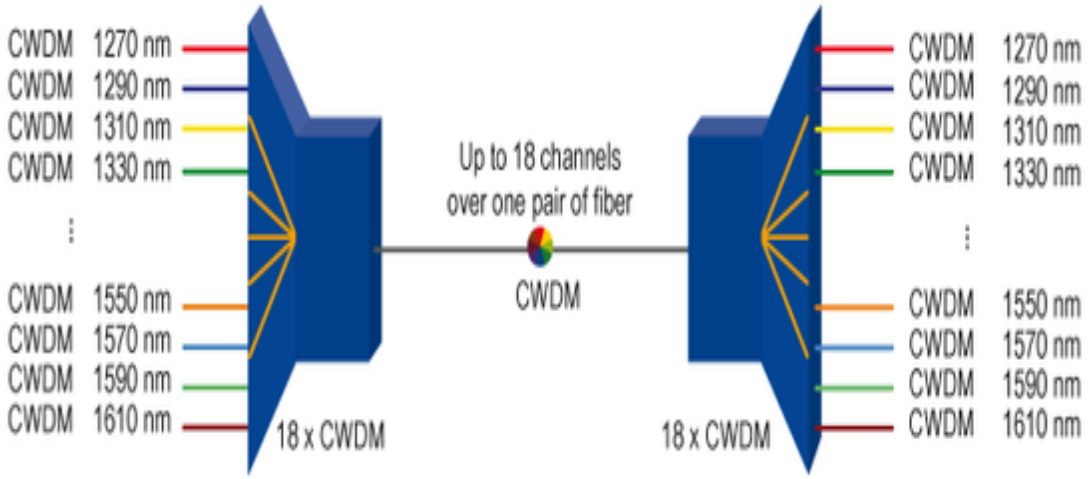
Multipleksiranje valnih duljina odnosi se na proces kodiranja informacija na prijenosni medij. Propusnost jedne svjetlosne zrake ograničena je disperzijom u samom vlaknu. To znači da nije praktično puštati više svjetlosnih zraka kroz isto vlakno, zbog interferencije i utjecaja na sadržaj kodiranih podataka. U slučaju svjetlosnih kabela to se odnosi na različite dijelove svjetlosnih valova, odnosno na različite valne duljine istog vala. Na taj način se omogućuje da jednim optičkim vlaknom koje za medij koristi jedan svjetlosni val, bude poslana veća količina informacija [17].

### 3.1.1. CWDM

CWDM (engl. *Coarse Wavelenght Division Multiplexing*), dakle rijetko multipleksiranjevalnih duljina je metoda kombiniranja više signala različitih valnih duljina za prijenos podataka kroz optičko vlakno, tako da je broj kanala manji od broja kanala u DWDM tehnici, a veći od standardnog multipleksiranja [17].

CWDM tehnika omogućava rad od oko 18 kanala gdje je razmak između kanala otprilike 20 nm. Svaki kanal može ponuditi veliku brzinu prijenosa podataka kao primjerice 2,5, 4, 10 Gbit/s. Ova tehnika na valnim duljinama od 1310 nm i 1550 nm.

Energija iz lasera u CWDM tehnici je odaslana u većem rasponu valnih duljina nego kod DWDM-a. Tolerancija lasera iznosi 3 nm dok je kod DWDM-a tolerancija puno uža [17]. kanali korišteni za CWDM način prijenosa izbjegavaju pojas E kanala, kako je izvan tog pojasa za ovaj način prijenosa gubljenje signala i prigušenje najmanje.




*Slika 10 CWDM sustav [17]*

Zbog upotrebe lasera sa nižom preciznošću, CWDM sustav je jeftiniji te troši manje energije nego DWDM. Negativna strana grubog multipleksiranja je manja maksimalno ostvariva udaljenost između komunikacijskih čvorova koja otprilike iznosi oko 100 kilometara.

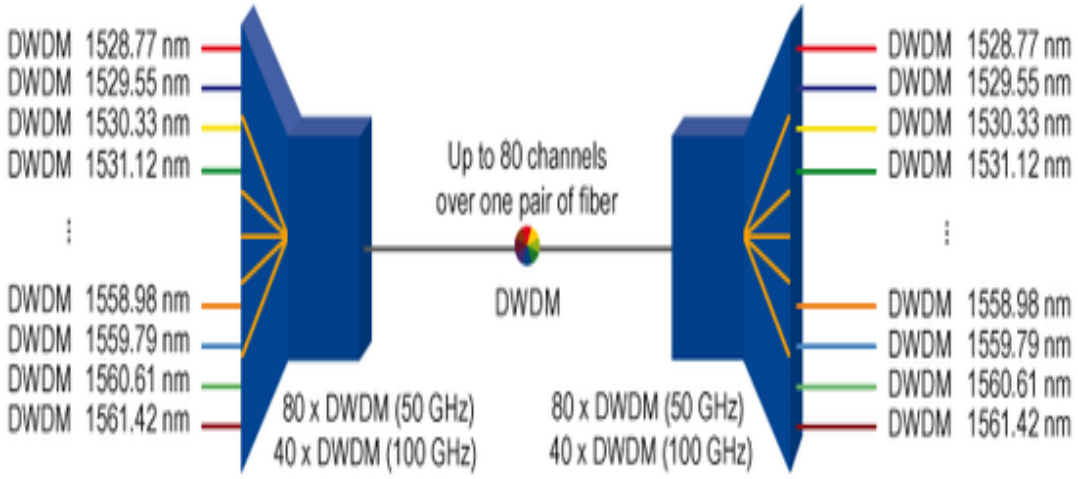
### 3.1.2. DWDM

DWDM (engl. *Dense Wavelenght Division Multiplexing*), odnosno gusto multipleksiranje po valnim duljinama je tehnologija koja stavlja podatke različitih izvora u isto optičko vlakno.

Pomoću DWDM tehnologije se prenosi iznimno velika količina podataka preko velikih
udaljenosti u telekomunikacijskim mrežama. Svi signali se prenose u isto vrijeme na različitim valnim duljinama. Korištenjem DWDM-a moguće je spregnuti oko osamdeset

ili više kanala u jedno optičko vlakno. Svaki signal je vremenski pomaknut. Razmak između
kanala je manji od 1nm. Brzine prijenosa su od 2,5 Gbit/s pa sve do 200 Gbit/s. Budući da je svaki kanal demultipleksiran po završetku prijenosa u svoj originalni oblik, moguće je kroz vlakno prenositi različite formate podataka. Tako se zajedno mogu prenositi internet podaci, ethernet podaci te ostalo [18].

Koristi pogodnosti EDFA (engl. *Erbium Doped Fibre Amplifier*) pojačala pojačavajući optičke kanale bez optičko – električno – optičke konverzije i tako omogućava prijenos podataka na udaljenosti veće od 1500 kilometara. Budući da DWDM tehnologija ima jako uzak razmak kanala, moraju se bolje kontrolirati valne duljine. To zahtijeva uporabu hlađenih lasera, što znači i veću cijenu sustava [18].




*Slika 11 DWDM sustav [17]*

### 3.1.3. Usporedba CWDM i DWDM

U tablici 1., a prema podacima iz izvora [19], navedena je usporedba CWDM i DWDM tehnologija prema parametrima svake zasebno te je izveden sažetak njihovih pripadajućih prednosti kao i nedostataka.

Tablica 3. Usporedba CWDM i DWDM tehnologija

<table>
<tr><th></th><th>CWDM</th><th>DWDM</th></tr>
<tr><td rowspan="8">PREDNOSTI</td><td>Jednostavniji odnosno jeftiniji i manji laseri</td><td rowspan="3">Ogroman kapacitet – 160 (kanala) x 40 Gbit/s po jednom vlaknu</td></tr>
<tr><td>Mogućnost korištenja LED-a kao predajnika</td></tr>
<tr><td>Manja potrošnja snage (nije potrebno hlađenje lasera)</td></tr>
<tr><td>Jednostavniji i jeftiniji optički filteri</td><td rowspan="4">Domet do nekoliko tisuća kilometara</td></tr>
<tr><td>Mogućnost dvostranog prijenosa (manji zahtjevi za jednosmjernim kapacitetom)</td></tr>
<tr><td>Ukupno 50% do 70% jeftinije komponente</td></tr>
<tr><td>3 do 5 puta jeftiniji systemmanagement</td></tr>
<tr><td rowspan="3">NEDOSTACI</td><td rowspan="2">Nema pojačala</td><td>Puno složeniji sustav od CWDM-a</td></tr>
<tr><td>Ultra precizni (skupi) laseri i filteri</td></tr>
<tr><td>Ograničen domet</td><td>Potrebno stalno hlađenje lasera zbog sprječavanja odstupanja u valnoj duljini</td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| | | Veće komponente |
| | | Veća potrošnja energije |
| | Manji kapaciteti (manje kanala) | Većinom jednosmjerni prijenos (jedno vlakno – jedan smjer) |
| | | Skupa pojačala |

## 3.2. OTDM

OTDM (engl. Optical Time Domain Multiplexing) označuje pojam multipleksiranja signala u kojem se ostvaruju sljedeće prednosti:

- Fleksibilan spektar valnih duljina
- Mogućnost rada na 1500 i 1300 nm valne duljine
- Manja kompleksnost opreme korištene kod krajnjih pristupnih točaka mreže

Kod OTDM tehnike multipleksiranja može se koristiti multipleksiranje „bit po bit“ ili „paket po paket“. Ovisno o propusnosti kabela, podaci se šalju u obliku bitova ili paketa bitova. U bilo kojem od ta dva slučaja, radi se o vremenskom odmaku, odnosno „pulsu“ koji predstavlja vremenski odsječak u kojem se dijelovi informacije, zapakirani ili u pojedinačne bitove ili u pakete bitova odašilju putem komunikacijskog kanala [21].

# 4. Arhitektura sveoptičke pristupne mreže

Koncept sveoptičke pristupne mreže zasnovan je na premisi održavanja mrežne komunikacije u domeni optičkih kanala od izvora do odredišta signala. Takvim se načinom komunikacije smanjuje broj potrebnih elektroničkih uređaja, povećava se stabilnost i pouzdanost mreže, no i režu se troškovi potrebni za ostvarivanje komunikacije između izvora signala i odredišta. Pretpostavke za uporabljivi sustav sveoptičke mreže stvorene su prije malo više od 20 godina, a ukupna je industrija od tada znatno napredovala. Nastojanje da se količina elektroničkih uređaja smanji na minimum dovela je industriju do sadašnjeg stanja, gdje premda još uvijek postoje uređaji diljem toka informacija u mreži, dizajn i upotreba mreža bitno se razlikuju od drugih komunikacijskih kanala. Nadalje, ovakav je način konstrukcije sveoptičkih mreža omogućio da se navedene mreže u potpunosti prilagode zahtjevima metroa te „core“ mreža koje se koriste u poslovanju kompanija, a posebno vezano za komunikaciju između velikih podatkovnih centara jedne ili više kompanija [22].

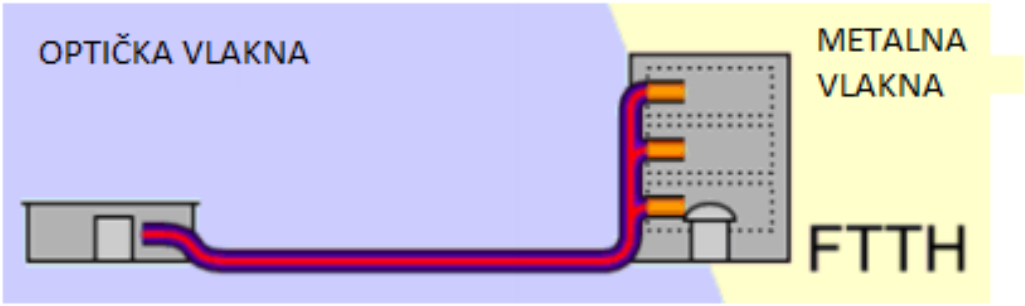
Mrežne arhitekture podrazumijevaju razinu pružane usluge, odnosno do koje je granice dostupna optička mreža, odnosno u kojoj se točki optička mreža konvertira u električnu. Tako se razlikuju sljedeći pojmovi:

- FTTH (engl. fiber to the home) - optička nit do kuće / stana,
- FTTC (engl. fiber to the curbe) - optička nit do pločnika,
- FTTCab (engl. fiber to the cab) - optička nit do ormarića,
- FTTB (engl. fiber to the building) - optička nit do zgrade,
- FTTN (engl. fiber to the node) - optička nit do čvora.

Također, bitno je spomenuti i kako se najnovijim generacijama smatra upravo FITL (engl. fiber in the loop), a što podrazumijeva FTTH i FTTB kao najvišim razinama usluge u pogledu ostvarivanja svih prednosti optičkih mreža [3].

## 4.1. FTTH

FTTH (engl. *Fiber to the Home*) je vrsta optičke komunikacijske usluge gdje se signal dovodi do krajnjeg korisnika, odnosno prostorija u kojima se nalazi, bilo poslovni ili privatni prostor u kojem se nalazi korisnik. Moguće je da se optički kabel dovodi do većeg broja korisnika, pa se u konačnici razdjelnicima podijeli na potreban broj krajnjih točaka. Ta se konfiguracija mreže naziva još i PONs (point to multipoints) mreža. U mrežama „point to point“ bitno je osigurati niske razine otkaza, širok spektar dostupnih valnih duljina, odnosno komunikacijskih kanala te dugoročna upotrebljivost. Obzirom na nisku cijenu ugradnje svjetlovodnih kablova, tehnologija svjetlovodnih mreža je na zadovoljavajućoj razini da bi se mogla koristiti u svim aspektima postavljanja novih konfiguracija mreža [23].



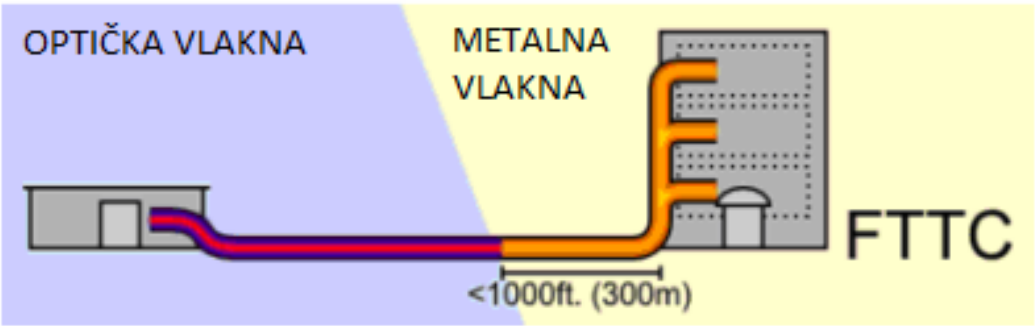

*Slika 12 . FTTH arhitektura do korisnika, izradio autor prema[24]*

## 4.2. FTTC

FTTC (engl. Fiber to the curb) sustav je optičke mreže u kojem se optički kabel dovodi do ruba pločnika, odnosno krajnji se korisnik optičkom mrežom služi preko bakrene parice ili koaksijalnog kabela. Kako su kablovi napravljeni od metala, odnosno bakra, manje propusnosti i manje brzine s većim gubitcima od svjetlovodnog kabela, brzina pristupa mreži od strane korisnika ovisi o udaljenosti do svjetlovodnog kabela. Obzirom da se u ovakvoj arhitekturi mreže, sama svjetlovodna mreža dostavlja tek do

pločnika, u aktivnim su strukturama upitni napajanje i smještaj aktivne opreme, stoga se ponajviše koriste pasivne pristupne strukture. Također, ove se konstrukcije u najvećem dijelu koriste za dostavu VDSL tehnologije krajnjem korisniku [25].

FTTC arhitektura do korisnika prikazan je na slici 12.



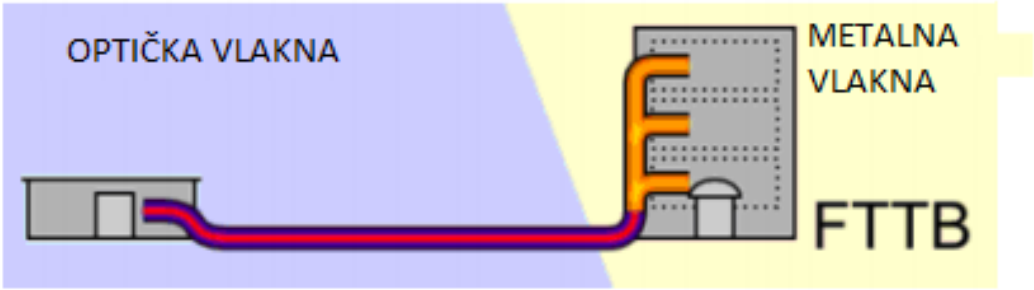

*Slika 13 FTTC arhitektura do korisnika, izradio autor prema[24]*

## 4.3. FTTCab

FTTCab (engl. *Fiber to the Cabinet*) je mrežna arhitektura gdje se optičkim vlaknima služi kao zamjena za bakrene. Ova se arhitektura odnosi na lokalne mrežu, odnosno na povezivanje lokalnih centrala i uličnih ormar. Od ormara se u FTTCab arhitekturi postavljaju bakrene parice koje imaju ulogu dostavljanja pristupa mreži krajnjem korisniku, a koji može biti u obliku stana, skupine stanova (zgrade) ili susjedstva. Ipak, osnovna razlika između FTTCab i primjerice FTTC jest u udaljenosti krajnjeg korisnika od svjetlovodne niti. FTTCab se kategorizira kao svjetlovodna mreža s udaljenosti većom od 300 metara do krajnjeg korisnika [26].

## 4.4. FTTB

FTTB (engl. *Fiber to the Building*) optička nit do zgrade je inačica FTTC jer je ormar, odnosno centrala optike mreže smještena u podrumu zgrade. Velike sličnosti između FTTB-a i FTTCab /FTTN postoje u vidu da se u oba slučaja radi o produžetku svjetlovodne mreže korištenjem bakrenih i/ili koaksijalnih kabela. Ipak, u slučaju FTTB-a većina udaljenosti koja se prevali od centrale unutar zgrade, jest vertikalna. Također, postoji i pitanje vlasništva, odnosno u slučaju FTTB arhitekture mreže i bakrena parica/koaksijalni kabel je u vlasništvu zgrade, dok je kod slučaja FTTN arhitekture, gdje je centrala smještena izvan prostorija u kojima obitavaju korisnici, odnosno na cesti, bakrena parica u vlasništvu pružatelja usluge. Unutar zgrade komunikacija unutar mreže ostvaruje se preko point-to-point načina povezivanja, odnosno preko pasive svjetlovodne mreže. Cijena izvedbe FTTB mreže je relativno visoka, stoga se ista ne razvija ukoliko ne postoji izrazito velik broj potencijalnih korisnika (poslovni prostori). FTTB arhitektura do korisnika prikazana je na slici 13.

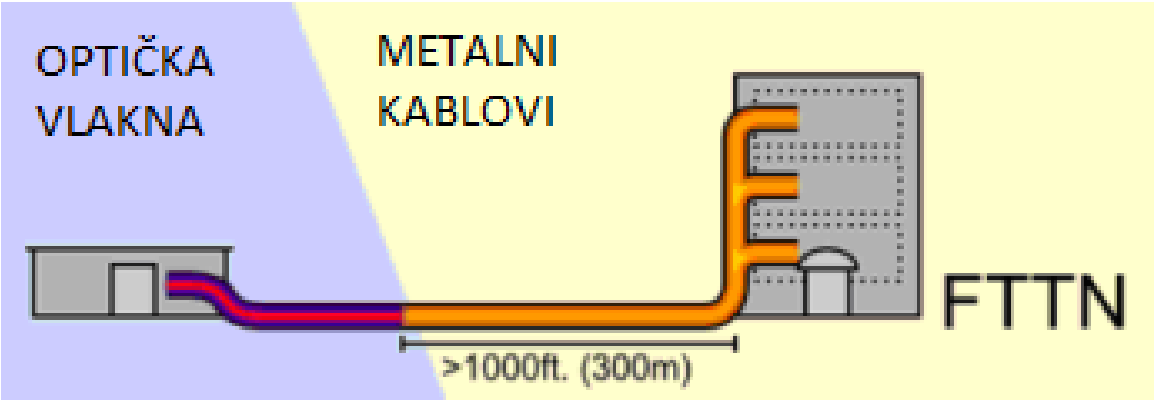



*Slika 14 FTTB arhitektura do korisnika, izradio autor prema[24]*

## 4.5. FTTN

FTTN (fiber to the node) je ranije u radu poistovjećen s FTTCab. FTTN omogućava dostavu širokopojasnih (engl. *broadband*) uslugakao što je Internet velikih brzina protočnosti informacija (engl. *High speed internet*) [26].

Slika 14. prikazuje shematski prikaz FTTN mrežne arhitekture do korisnika.




*Slika 15FTTN arhitektura do korisnika, izradio autor prema[24]*

# 5. Instalacija i primjena sveoptičke mreže u kućanstvu

## 5.1. Instalacija FTTH mreže

Kako je u prethodnom poglavlju objašnjeno, FTTH mreža odnosi se na provođenje fizičkih svjetlovodnih niti do krajnjih korisnika, gdje se konverzija iz optičke u električnu domenu događa na krajnjoj točki u mreži, najbliže korisniku. Prema izvoru [29], izvedba instalacije FTTH mreže je gotovo jednake cijene kao i instalacija bakrenih parica. Naime, prilikom izvođenja obično se bira između dva načina instalacije, podzemnog i nadzemnog načina. U većem dijelu Republike Hrvatske nadzemno vođenje svjetlovodnih niti, odnosno kablova koji sadrže adekvatan broj niti, su zabranjeni. Također, nadzemni način izvedbe instalacije pristupne mreže moguć je isključivo u ruralnim područjima gdje su i zahtjevi korisnika relativno manji, obzirom na naseljenost.

Instalacija se u urbanim sredinama vrši na način korištenja podzemnih kablova, koji u sebi sadrže od nekoliko do više stotina svjetlovodnih niti. Ti kablovi se najčešće dovode do zgrada, a obzirom na vrstu suvremene gradnje gdje je većina podžbuknih kanala ispunjena drugim instalacijama poput strujnih kablova i bakrenih parica, te do individualnih korisnika stižu nadžbuknim kanalicama. Kablovi u nadžbuknim kanalicama sadrže nekoliko desetaka ili stotina svjetlovodnih niti koje se granaju prema krajnjim korisnicima. Za svakog korisnika je, da bi se postigao *duplex*, potrebno provesti po dvije svjetlovodne niti, no obzirom na takvu visoku infrastrukturnu ovisnost, obično se koristi jedna svjetlovodna nit po korisniku. Kapacitet niti koje stižu do korisnika je, prema podacima iz izvora [29], do 100 Mbit/s.Također, prilikom instalacije nužno je u obzir uzimati vrstu pristupne mreže. Tako u slučaju da se radi o aktivnoj svjetlovodnoj mreži potrebno je osigurati dovod strujnog napajanja i adekvatne klimatske uvjete.

Ukupni troškovi instalacije čine bitan udio u ukupnom trošku izgradnje FTTH infrastrukture. Iz tog je razloga iniciranje izgradnje infrastrukture u najvećoj mjeri od strane vlasnika telekomunikacijskih usluga. Naime, obzirom da je većina stambenih prostora u razdijeljenom vlasništvu nekoliko vlasnika, troškovi pojedinaca za pristup svjetlovodnoj mreži su previsoki. Stoga se za izgradnju FTTH mreže s pripadajućim troškovima u najvećoj mjeri zalažu pružatelji telekomunikacijskih usluga, kako je njihov

interes unificiran. U drugim zemljama Europske Unije ovaj je interes podijeljen u jednakoj mjeri između operatera i vlasnika stambenih prostora.

## 5.2. Primjena svjetlovodnih pristupnih mreža u kućanstvima

Kućanstva se trenutno u najvećoj mjeri oslanjaju na bežične tehnologije prijenosa informacija i upravljanja osnovnim elektroničkim sustavima koje svakodnevno koristimo, prvenstveno regulacija klime i multimedijom te sustavima ograničenja pristupa. Ipak, nazire se nova era, *Internet of things*. Ideja je da se svi uređaji s elektroničkim sklopovljem korišteni u svakodnevnom životu umreže i na optimalan i efikasan način služe za poboljšanje kvalitete života. Kako je u današnjici iznimno velik broj uređaja, potreba za bržim prijenosom generiranih informacija je u porastu [28].

Tehnologija svjetlovodnih mreža u kućanstvu omogućuje, obzirom na povećane zahtjeve korisnika, izbjegavanje zagušenja kapaciteta, „bottleneck“ podataka u pogledu problematike zadnje milje („*last mile problem*“)na mjestu spoja pristupne mreže i krajnjeg korisnika. Tako se ranije spomenute svjetlovodne niti do korisnika koriste za pristup internetu, a dodatna svjetlovodna nit korištena za potpuni duplex, obično se koristi za multimediju, signal za televizijski program i dodatne telefonske usluge (VoIP protokol).

Tehnologija *G.fast*, (Fast Access to Subscriber Terminals), DSL je tehnologija koja omogućuje iznimno brz prijenos podataka na kraćim udaljenostima. Naime, 2015. godine testovima su dokazane brzine prijenosa podataka od čak 100Mbit/s unutar petlji na duljinama od 500 metara.*G.fast* tehnologija se koristi zajedno s GPON (Gigabit Passive Optical Networks) tehnologijom. GPON obuhvaća način strukturiranja optičke mreže na način da se svjetlovodna nit dovede do nekoliko desetaka metara krajnjem korisniku, a u nastavku instalacije svjetlovodne niti implementira se bakrena parica ili koaksijalni kabel. Korisnik se time, zahvaljujući izrazito visokom kapacitetu G.fast mreža, spaja na mrežu bez velikih gubitaka u prijenosu podataka. Pasivnost GPOM-a omogućuje olakšani pristup mreži od strane korisnika te manje troškove izvedbe instalacije, samim time i povećan broj korisnika [29].

# 6. SIGURNOST SVEOPTIČKE PRISTUPNE MREŽE

## 6.1. Kvarovi na mreži

Današnji WDM uređaji omogućavaju da jedna svjetlovodna nit prenosi ogromne količine podataka reda veličine Tbit/s. Međutim, kvar mrežnih komponenti (npr. svjetlovodnog linka, optičkog pojačala, predajnika ili prijemnika) ili pokušaj proboja u mrežu može dovesti do značajnog gubitka podataka i prihoda.

Kvarovi na mreži definiraju se kao slučajni prekidi idealnog rada mreže nastali zbog kvara na komponentama ili kabelima. Kvarovi uzrokuju degradaciju ili kompletan prekid signala. Osim kvarova mreža je podložna i napadima. Napadi se definiraju kao namjerno prekidanje normalnog rada i sigurnosti mreže pri čemu se usluge prekidaju ili im se bitno narušava kvaliteta.

Zaštitna metoda je po definiciji proaktivni način povećavanja otpornosti mreže. Bazira se na izračunu rezervnog puta za svaki primarni put u mreži prije nego se pojavi kvar u mreži. Taj izračun se može provesti pri planiranju ili nadogradnji mreže. Potrebni kapacitet dodaje se na kabele koji se koriste kao rezervni put. Kada se pojavi kvar promet se jednostavno preusmjeri na rezervni put bez dodatnog donošenja odluka i obrađivanja [30].

Osnovna podjela zaštitnih metoda je na metode zaštite linka/kabelske dionice, zaštite puta i metoda p-ciklusa.U novije vrijeme sve se više razvija koncepcija zaštite s tzv. unaprijed planiranim i povezanim zaštitnim prstenovima, nazvanim p-ciklusi (engl. *p-Cycles*). Kod p-ciklusa čvorovi se povezuju zaštitnim prstenom, na bazi prethodnog konfiguriranja, prije pojavljivanja kvara [31].

Obično se, matematički gledano, razlikuju tri faze funkcije distribucije gustoće kvarova, a to su: faza početnih kvarova, faza kvarova uzrokovanih normalnim vijekom trajanja i faza pojave kvarova uslijed istrošenosti komponenti uređaja i samog sustava zbog korištenja [31].

## 6.2. Sigurnost svjetlovodnih mreža

Kako se navodi u izvoru [32], optički su sustavi suština svih modernih sustava korištenih u modernoj komunikaciji. U suvremeno doba, optičkom se domeni nalazi glasovna komunikacija, podatkovna, video, faks, e-mail, TV i wireless komunikacija. Činjenica da je visokog kapaciteta, visoke brzine prijenosa i relativno jeftina za implementaciju omogućila je široku primjenu tehnologije i njenu visoku stopu usvajanja. Obzirom na laku usvojivost tehnologije, potrebno je promatrati i sigurnosni aspekt ove tehnologije iz razloga neizbježne primjene u odašiljanju osjetljivih informacija. Premda se u začecima ove tehnologije, obzirom na karakteristike prijenosa informacija smatralo kako je prisluškivanje, odnosno gubitak informacija prilikom prijenosa, nemoguće, napretcima u tehnologiji te daljnjim ispitivanjima otkriveno je kako je gubitak informacija, uz upotrebu odgovarajuće opreme, relativno lako.

Naime, optičku je nit moguće razdijeliti razdjelnikom bez da pružatelj usluge bude svjestan pristupa signalu. Također se, upotrebom suvremenijih uređaja i implementacijom postupaka gubitci priliko prisluškivanja veze u potpunosti mogu zanemariti. Kod prethodnih je inačica uređaja dolazilo do gubitka signala na određeno vremensko razdoblje, no isto se pripisivano smetnjama signala uobičajene razložnosti. Suvremeniji postupci omogućuju lako pristupanje odašiljanim informacijama. U laboratorijskim je uvjetima moguće reproducirati scenarij u kojem se video konferenciji odašiljanoj između dva osobna računala na udaljenosti od 10 km. Pritom se, kako stoji u izvoru [33], kod namjeravanog primatelja informacija nije primijetila nikakva smetnja, a reprodukcija informacija, odnosno video sadržaja održavala se u stvarnom vremenu.Ukoliko je potencijalnom korisniku ovakvih tehnologija i uređaja dopušten fizički pristup mreži, ne postoji adekvatna opcija praćenja gubitka informacija od strane pružatelja usluga kao ni osiguranja od neželjenih ometanja rada sustava.

## 6.3. Zaštita na mreži

Prvi korak u planiranju osiguranja mreže je identificirati sigurnosne prijetnje. Različite faze razvoja dovode do različitih rizika koje sustav treba identificirati. To dovodi do liste sigurnosnih potreba i do specifikacije sigurnosne arhitekture. Prvenstveno je, u pogledu zaštite mreže, potrebno zaštititi fizičke komponente mreže od nezakonitog ometanja rada

sustava.Tako je, prema izvoru [34], prvi korak zaštite uspostaviti dostatnu razinu fizičke zaštite koja ima za funkciju sprječavanje uspostavljanja veze između komunikacijskog sustava i neautoriziranog korisnika, a u svrhu suzbijanja opasnosti koje prijete od neovlaštenog fizičkog pristupa sustavu, prisluškivanja i špijunaži u uključivanjem u komunikacijske puteve i presretanjem elektromagnetskih valova.

Drugi je korak u uspostavi zadovoljavajuće razine zaštite poduzimanje mjera tehničke zaštite, koja podrazumijeva čitav niz mjera koje imaju za cilj onemogućiti pristup samim informacijama unutar pristupanim podacima, ukoliko prva mjera fizičke zaštite zakaže. Također, u ovom se koraku podrazumijeva i tehnička zaštita prostora u kojem se nalaze pristupni terminali i mjesta povećanog rizika od prisluškivanja i špijunaže. Zaštita se na tehničkoj razini vrši ugradnjom sustava za identificiranje ovlaštenog pristupa sustavu, i protumjera za neovlašteni pristup.

Optičke mreže i kablovi se osim od neovlaštenog pristupa i nepravilnog korištenja moraju zaštititi i od vremenskih nepogoda. Za vanjske kablove koji sadrže više vlakana, a u stalnom su potencijalnom dodiru s vodom, koriste se dvije inačice kablova. Prva je sa korištenim gelom, odnosno gelastim materijalom koji za svrhu ima zaštitu vlakna od utjecaja vode, a druga inačica je tzv. „suha“ inačica kabla gdje se koristi izrazito apsorbirajući polimer u obliku praha koji u dodiru s vodom reagira te na taj način sprječava utjecaj vode na vlakna. Također, korištenjem polimera dopušta se i dodatno širenje kabla uslijed djelovanja temperatura. Dodatna prednost „suhih“ kablova ispred onih ispunjenih gelom je što je u slučaju kablova ispunjenih gelom, prilikom pristupanja optičkim nitima nužno prethodno maknuti gel, proces nešto složeniji nego kod „suhih“ kablova [34].

# 7. Zaključak

Posljednjih se 20 godina, do začetka ideje potpuno svjetlovodnih mreža radilo se na integraciji različitih komunikacijskih vrsta u kompaktnu distribucijsku mrežu koja bi zadovoljavala zahtjevima krajnjih korisnika, no i mogućnosti proizvođača obzirom na cijenu. Efekt razvijanja Interneta doprinio je u najvećoj mjeri ukupnom razvitku distribucijskih mreža. Internet je također stvorio zahtjeve sa količinom informacija i podataka koji se generiraju, pa je stoga zanimljivo promatrati kako je, paradoksalno, Internet stvorio i zahtjeve i rješenja na iste zahtjeve. Ipak, ti su zahtjevi toliko enormni u usporedbi s količinama generiranih podataka prije ere interneta, da će postojeće infrastrukture bazirane na bakrenim vodovima morati biti zamijenjene boljim alternativama. Također, uz kapacitete, svjetlovodne mreže zadovoljavaju drugi, možda i bitniji kriterij – brzinu.

Glavna i najbitnija karakteristika sveoptičke svjetlosne mreže zasigurno je nedostatak pretvaranja signala iz optičkog medija u električni, pa stoga i zadržavanje svih dobrobiti optičkih mreža. Pod time se misli na brzinu prijenosa koja je brža nego kod koaksijalnog kabela ili bakrene parice no i manje gubitke u prijenosu – reda veličine do 10 puta manje obzirom na druge prijenosne medije. Pristupna svjetlovodna mreža sadrži pasivne i aktivne optičke komponente. One moraju tvoriti cjelinu kako bi optička mreža ispravno funkcionirala. U pasivne optičke komponente ubrajaju se optičke niti, konektori, trajni spojevi, djelitelji, kabeli, spojnice, distribucijski paneli i priključni ormari. U aktivne optičke komponente spadaju terminirajući optički uređaj na strani centrale i terminirajući optički uređaj na strani korisnika. Pasivne se optičke komponente nalaze u, trenutno, nešto široj primjeni zbog relativno niže cijene postavljanja, no i smanjenja potrebe i za održavanjem i za napajanjem.

Kod implementacije optičkih sustava razlikuje se nekoliko pristupa, a ovisno o udaljenosti krajnjeg korisnika od optičke niti. Najpopularniji oblici implementiranih optičkih sustava su *Fiber to the Home* i *Fiber to the Curb*. Ovisno o udaljenosti do krajnjeg korisnika moguće je govoriti o različitim razinama usluga koje krajnji korisnik optičkih mreža uživa.

Primjena optičkih komunikacijskih mreža u kućanstvu očituje se u rastućoj potražnji za medijem visoke protočnosti i širokog spektra prijenosnih kanala unutar jednog kabela. Također, sve veća količina generiranih podataka kojima je nužno upravljati je dodatan razlog iz kojeg se *Internet of Things* razvija u smjeru svakodnevnog upravljanja načinom života pojedinaca.

Sigurnost sustava očituje se u pouzdanosti rada sustava. Također, za rad sustava je bitno osigurati što je moguće manje kvarova kako bi sustav bio siguran. Zaštita sustava vrši se na tri razine. Fizička razina osigurava zaštitu od nezakonitog ometanja rada sustava, tehnička razina osigurava pravilan rad komponenata u sustavu i na taj način čini sustav sigurnijim. Treća je razina zaštita od svih vanjskih utjecaja, poput vremenskih nepogoda, i sličnih utjecaja.

# LITERATURA


1. Šarić, S., Forenbacher, I.: *Svjetlovodni prijenosti sustavi i mreže,* Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, nastavni materijali, 2014.,dostupno na: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/6_Arhitektura_multimedijskih_mreza_-_10112016.pdf, pristupano (30.08.2018.)
2. Lieber, E.: *Fiber, Copper or Wireless: Which Connection Is Best for Your Company?*, Small Business Trends, 2017. dostupno na: https://smallbiztrends.com/2015/08/fiber-optic-copper-wireless-internet-transmission-methods.html
3. Bažant, A. et. al.: *Osnovne Arhitekture Mreža*, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, 2006,
4. Glavić, G.: *Podmorks asvjetlovodna mreža: Sigurnost i Zaštita,* Diplomski rad, sveučilište u Rijeci, Rijeka 2014., dostupno na: https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/214-2014.pdf, (pristupano: 11.11.2018.)
5. Zhu, A.: *Introduction to passive optical Network (PON),* Fiber Optic Solution, 2016, dostupno na: http://www.fiber-optic-solutions.com/intro-optical-network-pon.html (pristupljeno: rujan 2018.)
6. Alwayn, V.: *Fiber-Optic Technologies,* Cisco press, 2004. dostupno na: http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=170740&seqNum=8 (pristupljeno srpanj, 2018)
7. Zambrano, D.: *Best Practices for Ensuring Fiber Optic System Performance,* PowerPoint presentation,
8. *Fiber Optic Network Products,* web članak, slika s web stranice, dostupno na: http://www.fiberopticshare.com/sc-vs-lc.html (pristupano 01.07.2018.)
9. Trezise, S.: *Understanding Optical Los sin Fiber Networks – and how to tackle it,* web članak, dostupno na: https://www.ppc-online.com/blog/understanding-optical-loss-in-fiber-networks-and-how-to-tackle-it (pristupano: 30.08.2018.)
10. Popović, I.: Primjena svjetlovodne tehnologije u pristupnom dijelu telekomunikacijske mreže, diplomski rad, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka,

2013. Dostupno na: http://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/161-2013.pdf (pristupano 02.08.2018.)

11. Meitzler et. al.: *Is That Splice Really Good Enough? Improving Fiber Optic Splice Loss Measurement*, NEMI Fiber Optic Splice Improvement Project, dostupno na: https://pdfs.semanticscholar.org/5aa7/abfb58d771f1c353c457b197a9a55b72da0b.pdf (pristupano: 30.08.2018.)
12. Amaku, A., Watti, R. E., Joshua, J.: *Optic Fiber as a Reliable Medium for Metropolitan Area Networking (MAN) Connectivity*, 2014, web slika, dostupno na: http://iet-journals.org/archive/2014/sep_vol_4_no_9/3341881394247.pdf(pristupano 02.08.2018.)
13. Netiks: Optički kabeli. Dostupno na: http://netiks.hr/opticki-kabeli/ (pristupano 02.08.2018.)
14. ADCP-90-325: *Fiber Distribution Panel User Manual*, January 2006. dostupno na: https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/161-2013.pdf (pristupljeno 20.07.2018.)
15. Mujarić, E.: Optička vlakna, Računalne mreže. Dostupno na: http://mreze.layer-x.com/s020202-0.html (pristupano 03.08.2018.)
16. ITU-T Telecomunication Standardization Sector of ITU, G.664, dostupno na:https://www.itu.int/rec/T-REC-G.664/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.664-201210-I (pristupano 03.08.2018.)
17. Pan Dacom Direct: WDM (Wavelength Division Multiplexing). Dostupno na: https://www.pandacomdirekt.com/en/technologies/wdm/what-is-wdm.html (pristupano 13.08.2018.)
18. Kasalo, Z.: Optički prijenosni sustavi-pregled tehnologije i trendovi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006. Dostupno na: http://www.fpz.unizg.hr/manzek/FPZ_prezentacija_2006%20_ericsson.pdf (pristupano 04.08.2018.)
19. Smukavič, A. : *Svjetlovodni Prijenosni Sustavi s Valnim Multipleksiranjem*, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2015. dostupno na:

https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A64/datastream/PDF/view, (pristupljeno 02.08.2018.)

20. Habljak.T., Organizacija telekomunikacijske mreže, IP WDM evolucija operatora, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva Dostupno na: http://www.ieee.hr/_download/repository/IP_WDM_Evolucija_operatora.pdf
21. Hakani, R.: *Optical Time Division Multiplexing (OTDM),* Conference paper, Nirma University Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/271767077_Optical_Time_Division_Multiplexing_OTDM
22. Saleh, A.M., Simmons, J.M.: *All-Optical Networking-Evolution, Benefits, Challenges and Future Vision,* Proceedings of the IEEE, Vol. 100, No.5, May 2012.
23. Fibrain, Fiber OPtic Solutions, web članak. Dostupno na: http://fibrain.com/pon-technology-based-ftth-networks-for-gpon-transmission,62.html (pristupano 08.08.2018.)
24. Karaica, I.*:FTTx Mrežne Tehnologije*,završni rad, Zagreb, 2009., dostupno na: http://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/FTTX_mrezne_tehnologijeKaraica.pdf (pristupano 05.08.2018.)
25. Dubravić, S.: *Tehnološke izvedbe širokopojasnih kabelskih sustava,* Referat za EIS, Zagreb 2008. dostupno na: http://netiks.hr/wp-content/uploads/2014/12/EIS2008-TEHNOLOSKE_IZVEDBE_SIROKOPOJASNIH_KABELSKIH_SUSTAVA.pdf (pristupano:13.08.2018.)
26. Kaminow, I.P., Li, T., Willner, A. E. : "Optical Fiber Telecommunications - Systems and Networks", Academic Press, SAD, 2008.
27. *Tehno-ekonomska obilježja izgradnje FTTH mreža,* studija, Lator, 2011, dostupno na: http://www.hakom.hr/UserDocsImages/2012/studije/Studija_Tehno-ekonomska%20obilje%C5%BEja%20izgradnje%20FTTH%20mre%C5%BEa-v%201%200.pdf (pristupano: 08.10.2018)

28. Mohammed, Z. K. A., Ahmed, E. S. A.: *Internet of Things Applications, Challenges and Related Future Technologies*, Electrical and Electronic Engineering Department, Red Sea University, Sudan, 2017
29. Strobel, R..: *G.fast Technology and the FTTDP Network*, whitepaper, Lantiq, 2017
30. Kavran, Z.: *Planiranje telekomunikacijskih mreža: Širokopojasne pristupne mreže*-autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
31. Lešković, D.: *Sigurnost i zaštita informacijskih sustava*, nastavni materijali, autorizirana predavanja, 12.05.2010.
32. Begović, M.: *Održavanje telematičkih sustava,* Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2003.
33. Iqbal, Z. M., Fathallah, H.: *Optical Fiber Tapping: Methods and Precautions*, Prince Sultan Advanced Tech. Research Institute, December 2017, dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/254050694_Optical_fiber_tapping_Methods_and_precautions/download (pristupano 08.10.2018.)
34. Akpan, A.: *The Vulnerability of Fiber – Optics communication Systems: The Role of Optical Tapping*, Akwa Ibom State University, 2016, dostupno na:
35. Peters, J.: *A Comparison of Dry Versus Gel Filled Optical Cables,*Sterlite Tech, 2012. dostupno na: https://www.sterlitetech.com/sterlite-live/application_notes/12/original/A_Comparison_of_Dry_Versus_Gel_Filled_Optical_Cables1.pdf?1499155785, (pristupano 30.08.2018.)

# POPIS SLIKA

Slika 1Elementi sveoptičkog sustava ..... 3

Slika 2 Svežanj optičkih vlakana ..... 4

Slika 3Prikaz FC konektora ..... 6

Slika 4 Prikaz SC konektora ..... 6

Slika 5 Prikaz LC konektora ..... 7

Slika 6 Primjer djelitelja ..... 9

Slika 7 Svjetlovodni kabeli ..... 10

Slika 8 Distribucijski panel ..... 12

Slika 9 WDM sustav ..... 15

Slika 10 CWDM sustav ..... 17

Slika 11 DWDM sustav ..... 18

Slika 12 FTTH arhitektura do korisnika ..... 22

Slika 13 FTTC arhitektura do korisnika ..... 23

Slika 14 FTTB arhitektura do korisnika ..... 24

Slika 15FTTN arhitektura do korisnika ..... 25

# POPIS KRATICA I AKRONIMA

CWDM (engl. coarse wavelength division multiplexing)

DWDM (engl. dense wavelength division multiplexing)

FTTH (engl. Fiber To The House )

FTTB (engl. Fiber To The Building)

FTTC (engl. Fiber To The Curb)

FTTCab (engl. Fiber To The Cabinet)

FTTx (engl. Fiber to the x)

MTTF (engl. Meant Time Till Failure)

OTDM (engl. Optical Time Domain Multiplexing)

PON  (engl. Passive Optical Network)

WDM  (engl. Wavelength Division Multiplexing)

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 **Višeuslužne sveoptičke pristupne mreže**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 22.11.2018.

*(potpis)*