**UNIVERZITET U KRAGUJEVCU**

**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U ČAČKU**

**SEMINARSKI RAD**

**Optičke mreže**

**Smer: MAS Informacione tehnologije**

ProfesorStudent

**Prof. Dr Risto Bojović Pavle Pavlović 525/2020**

Čačak, 2021

# SADRŽAJ

[SADRŽAJ 1](#_Toc73884913)

[1. UVOD 1](#_Toc73884914)

[2. ISTORIJSKI RAZVOJ 2](#_Toc73884915)

[3. BEŽIČNE MREŽE 5](#_Toc73884916)

[4. OPTIČKE BEŽIČNE MREŽE (OWC) 7](#_Toc73884917)

[5. OPTIČKI KABL 9](#_Toc73884918)

[5.1. ISTORIJA OPTIČKOG KABLA 10](#_Toc73884919)

[5.2. STRUKTURA OPTIČKOG KABLA 13](#_Toc73884920)

[5.3. TIPOVI OPTIČKIH KABLOVA 14](#_Toc73884921)

[5.4. SPAJANJE OPTIČKIH KABLOVA 16](#_Toc73884922)

[5.5. UZROCI SLABLJENJA NA SPOJU 18](#_Toc73884923)

[6. KARAKTERISTIKE OPTIČKIH KABLOVA 20](#_Toc73884924)

[7. MULTIPLEKSIRANJE 22](#_Toc73884925)

[7.1. FDM 23](#_Toc73884926)

[7.2. WDM 24](#_Toc73884927)

[7.3. TDM 24](#_Toc73884928)

[7.4. CDM 25](#_Toc73884929)

[8. POJAČIVAČI 26](#_Toc73884930)

[9. AMRES INFRASTRUKTURA 28](#_Toc73884931)

[10. ZAKLJUČAK 30](#_Toc73884932)

[11. SPISAK SLIKA 31](#_Toc73884933)

[12. LITERATURA 32](#_Toc73884934)

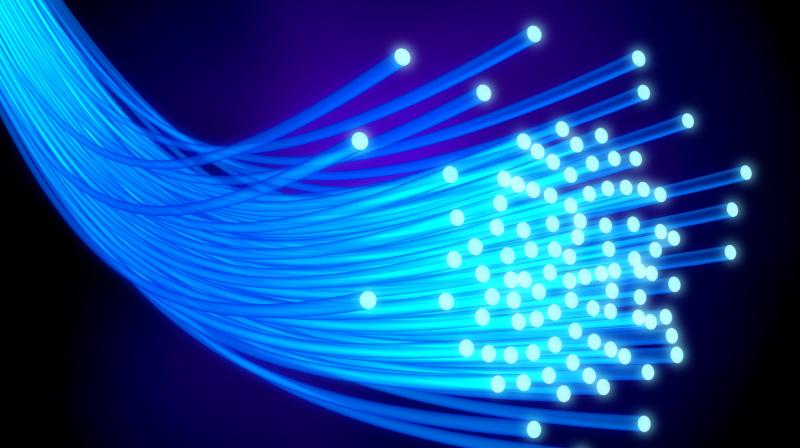
# UVOD

Seminarski rad iz predmeta „Optičke mreže“ ima za cilj da detaljno opiše prenošenje informacija putem optičkih vlakana i najbitnije informacije o samim optičkim mrežama.

U savremeno doba, usled ubrzanog načina života znatno se promenio način življenja a tim i proces prenošenja informacija koji se u potpunosti digitalizovao a samim tim i ubrzao. Usled napretka čovečanstva pogotovo ICT tehnologija dovele su do toga da se zahteva efikasna razmena informacija na čitavoj zemljinoj kugli. Za razliku od starih vremena gde se na određenu informaciju čekalo i po nekoliko meseci u današnje doba tehnike i telekomunikacije prag tolerancije se znatno smanjio tako da su sada sekunde važne radi njene korisnosti kako ne bi zastarele i tako postale beskorisne.

Znatni napredak u razmeni informacija se dogodio ekspanzijom internate i težnji telekomunikacijskih servisa putem interneta. Zbog toga je neophodno utvrditi da li postojeći standardi i način povezivanja – kabliranje mogu da podrže neophodnu stabilnost prilikom prenosa govora, videa i masovne količine informacija.

U poslednje vreme optička vlakna su izuzetno korisna zbog činjenice da omogućavaju transfer podataka po ekstremno velikim protocima tj velikoj količini bitova po sekundi. Funkcioniše po principu slanja impulsa svetlost kroz samo optičko vlakno a svetlo formira elektromagnetni talas koji se modulira da prenosi informacije.



Slika 1 Optički kabl

# ISTORIJSKI RAZVOJ[[1]](#footnote-1)[[2]](#footnote-2)

1840-ih godina, Daniel Colladon i Jackues Babinet u Parizu su prvi put demonstrirali princip kojim omogućava optičku optiku a 12 godina kasnije John Tindall je demonstraciju toga uključio u svoja javna predavanja u Londonu.

1880-te godine Aleksandar Graham Bell patentirao je optički telefonski sistem anzvan fotofon. Medjutim, njegov raniji izum, telefon, pokazao se realnijim te iste godine Viliam Vheeler izumeo sistem svetlosnih cevi obloženih visoko reflektujućim premazom koji je osvetljavao domove koristeći svetlost električne lučne lampe postavljene u podrumu i usmeravajući svetlost oko kuće cevima.

1953. godine, Bram van Heel je prvi put demonstrirao prenos slike kroz snopove optičkih vlakana sa prozirnom oblogom. Iste godine su Hardold Hopkins i Harinder Singh uspeli da napreve snopove koji prenose slike sa preko 10 000 vlakana a potom je postignu prijenos slike kroz snop dugačak 75cm koji je kombinovao nekoliko hiljada valakana.

Prvi radni sistem za prenos optičkih valakana pokazao je Mandfred Borner u istraživačkim laboratorijama 1965-te godine nakon čega je usledila prva prijava patenta za ovu tehnologiju 1966-te godine.

1968. godine je NASA koristila optička vlakna u televizijskim kamerama koje su poslate na Mesec.

1975-te je policija Dorseta postavila prvu neeksperimentalu optičku mrežu a dve godine kasnije prvi telefonski saobraćaj uživo kroz optičku mrežu se odvijao u Long Beachu u Kalifoniji.

1980-te godine postaknut je dalji razvoj pronalaskom EDFA pojačivača.

Sadašnji razvoj je najviše postaknut korišćenjem dielektričnih filtara, Bragovih optičkih rešetki i AWG(arrayed waveguide gratings) tipa rešetki koji su u potpunosti ušli u upotrebu devedesetih godina prošlog veka.

Mreža putem optičkih kablova je telekomunikaciona mreža velikog kapaciteta zasnovana nsa optičkim tehnologijama i komponentama koje omogućavaju rutiranje, pripremanje i obnavljanje signala na nivou talasnih dužina kao i servisa zasnovanih na njima.

To je postalo moguće 1950-te godine pronalaskom lasera. Nakon pronalaska lasera usledio je razvoj optičkih vlakana sa malim gubicima. Kada govorimo o telekomunikacionim mrežama koje za osnovu imaju optička vlakna govorimo praktično o optoelektronskim sistemima za prenos, odnosno optičkim mrežama. Nastale su iz potrebe da imamo mreže koje obrzbeđuju izuzetbi velike kapacitete linkova pošto količina podataka koji se razmenjuju kroz mrežu imaju tendenciju stalnog rasta.

Mogu se podeliti u dve generacije:

* Prva generacija koristi optički kabl kao zamenu za bakarni kako bi se postigli veći kapaciteti prenosa, veći protok
* Druga generacija predstavlja pokušaj da se ostvari još funckija u samom optičkom domenu, kao što je rutiranje i distribucija odredjenih talasnih dužina. Postoje dva pristupa problemu povećanja kapaciteta optičkog kabla.
  + Korišćenjem više talasnih dužina i istovremeno na jednom optičkom kablu
  + Korišćenjem vremenskog multipleksiranja

Druga generacija optičkih mreža koja koristi WDM se nalazi još u razvoju, praktično tek izlazi iz laboratorija u komercijalnu upotrebu. Distribucija optičkih paketa je još u početnom razvoju i ograničena je nedostacima optičkih bafera i trenutnim stanjem optičke distribucione tehnologije.

Da bi ostvarili dalji razvoj druge genercije optičkih mreţa treba se baviti smanjivanjem efekata transmisije kroz optički kabl, kao što su disperzija, nelinearni efekti u kablu, neravnomerni spektar pojačanja kod optičkih pojačavača i efekte polarizacije i depolarizacije

# BEŽIČNE MREŽE

Bežične tehnologije su postale neizostavne i biće ključni element u razvoju društva u skorijoj budućnosti. Ističu se kao jedna od najvažnijih pojava u istoriji tehnologije. Radio-frekvencione tehnologije široke upotrebe su ključni faktori bežičnih uređaja i ekspanzija ovih sistema. Elektromagnetni spektar na kom se koriste bežične mreže je ograničem po pitanju kapaciteta i cene.

Uvođenje 4G mreža bio je glavni infrastrukturni projekat za bežične operatore u poslednjih pet godina, pri čemu je LTE (dugoročni razvoj) prevladao nad konkurentskom ViMak tehnologijom. Obe tehnologije se zasnivaju na IP-u, imaju višestruki ulaz i više izlaza (MIMO) i koriste oblik OFDM modulacije. Ali LTE tehnologija sada ima dokazano da pruža brže usluge kupcima, u oba smisla te reči: cene linija su veće, ali prijem je i dalje dobar kada se kupac nalazi u vozilu koje se brzo kreće (poput voza ili automobila).

Problem koji je svojstven 4G bilo koje vrste je, po pravilu, kako se širina opsega povećava, pokriva se površina koju pokriva pojedinačna ćelija, što znači da je potrebno više jarbola. Dakle, s obzirom na to da saobraćaj koji sakupljaju ovi jarboli bežičnom tehnologijom ne može efikasno da se prenese na odredišne ćelije, potreban je optički kabl. Kako se brojevi jarbola povećavaju, potrebno je više kablovskih pravaca, a time i više kablova.

Kao rezultat, pojavila se potpuno nova kategorija proizvoda: „antenski kablovi“ koji kombinuju optička vlakna sa kablovima za napajanje da bi napajali osnovnu opseg u podnožju jarbola. U većini slučajeva, optički elementi u antenskom kablu su odvojeni od napona napajanja i spojeni sa konvencionalnim optičkim kablom spoljašnje biljke.[[3]](#footnote-3)

Razlika između optičkih vlakana i bežične širokopojasna tehnologije je jednostavna i nekomplikovana. Tehnologija optičkih kablova uglavnom funkcioniše korišćenjem kablova za pretvaranje prenosa podataka ukljulujući slike, tekst, video i e-poštu u bujicu svetlosti i ova poplava svetlosti prolazi kablom, vraća se u prvobitni oblik. [[4]](#footnote-4)

Sa druge strane, bežični širokopojasni pristup pretvara prijenos podataka u elektromagnetne talase za emitovanje.

Što se tiče ostalih razlika:

* **Brzina** – optička vlakna pružaju mnogo veću brzinu od bežične mreže. Bežična mreža postaje prilično spora tokom više radnih sati jer svi korisnici bežične mreže počinu da dele istu mrežu i njen propusni opseg. Zbog zagušavanja mreže, bežična mreža u takvoj situaciji neće biti prilagodjena.
* **Udaljenost –** signal bežične mreže se pogoršava sa udaljenošću tj bežična mreža je namenjana samo ograničemom području jer kada dođe do udaljavanja počinje se gubiti signal ali u pogledu troškova, bežična mreža je znatno jeftinija jer dobavljači Internet usluga moraju da polože optički kabl da bi pružili vezu. Na taj način veza postaje prilično skupa.
* **Mobilnost i praktičnost –** Danas ljudima treba više slobode i udobnosti da bi uživali u životu, slično tome kada je u pitanju uspostavljanje Internet veze, svi oni žele modem ili uredjaj koji mog prenositi. Ukoliko je potrebna prijava na nekoj drugoj lokaciji nije potrebno tražiti intenetsku žicu, potrebno je samo da se poveže sa bežičnom mrežom kako bi uživali u pistupu internetu.

# OPTIČKE BEŽIČNE MREŽE (OWC)

Optička bežična komunikacija privukla je značajno interesovanje u industriji i akademskoj zajednici. Ovo posebno izdanje sadrži kolekciju međusobno povezanih radova sa namerom da pokrije sve neophodne multidisciplinarne izazove za realizaciju optičkih bežičnih mreža. Nadamo se da će ovo posebno izdanje poslužiti kao sveobuhvatna referenca i da će biti resurs koji podstiče još mnogo novih ideja za ovo polje koje se brzo razvija.

Bežična komunikacija je nesumnjivo postala osnovna korisnost našeg svakodnevnog života. Većina postojećih sistema bežične komunikacije koriste tehnologije radio frekvencija (RF) za prenos informacija. Međutim, sa sve većom potražnjom za bežičnim podacima, podstaknutom novim paradigmama poput mašinske komunikacije za autonomne sisteme, kao i novim uređajima poput inteligentnih naočara koje koriste proširenu stvarnost i virtuelnu stvarnost (VR), postoji opšta saglasnost da RF spektar neće biti dovoljan za buduću bežičnu komunikaciju. Zbog toga je neophodno uzeti u obzir i optički spektar za bežičnu komunikaciju.

Optički spektar već je ključni faktor za globalni Internet. Komunikacione mreže sa optičkim vlaknima ne samo da povezuju sve kontinente, već čine i kičmu modernih komunikacionih mreža koje pružaju brzi pristup podacima do metropola, gradova, naselja, a sve više i do domova. Proširenje medija optičkih vlakana na medij slobodnog prostora za povezivanje na poslednju milju i mobilni pristup ne samo da se čini prirodnim korakom, već i onim koji je relativno jednostavno preduzeti. [[5]](#footnote-5)

Optičke bežične mreže odnose se na prenos nenavodjenih podataka kroz optičke provodnike, vidljive, infrared ili ultraljubičaste veze. Signaliziranjem pomoću signalnih raketa, dima, zastava na brodu I semafora mogu se smatrati zastarelim oblicima OWC-a.

Sunčeva svetlost se takodje koristila još od ranih perioda za komunikaciju medju Grcima I Rimljanima koji su koristili svoje štitove I sunčevu svetlost za signalizaciju.

1810 godine, Carl Friedrich Gauss izumeo je heliograf koji ukljuluje ogledala da bi usmerio zrak svetlosti ka udaljenoj stanici. Iako je prvobitno heliograf izumljen za geodetska pregledanja , pretetno je korišćen u vojne svrhe krajem devetnaestog veka I početkom dvadesetog veka.

1935 godine Nemačka vojska je razvola photophone u kome je specifična lampa sa IR emitujućim filterima kkoripćena kao izvror svetlosti.

1962 godine MIT laboratorije su napravile eksperimentalan OWC gde su za vezu koristili diode koje sum ogle da emituju TV signal na distance većoj od 48 kilometara a nakon otkrića lasera za OWC je predviđeno da će biti jedna od glavnih oblasti za dalje razvijanje.

# OPTIČKI KABL

Optički kabl je sklop sličan električnom kablu, ali koji sadrži jedno ili više optičkih vlakana koja se koriste za prenos svetlosti. Elementi optičkih vlakana su obično pojedinačno presvučeni plastičnim slojevima i sadrže se u zaštitnoj cevi koja odgovara okruženju u kome se kabl koristi. Različite vrste kablova koriste se za različite primene, na primer za telekomunikacije na velike daljine ili za pružanje brze podatkovne veze između različitih delova zgrade.

Predstavlja medijum za prenos podataka velike brzine. Sadrži sitne staklene ili plastične niti koje nose zrake svetlosti. Digitalni podaci se prenose putem kabla brzim impulsima svetlosti. Prijemni kraj optičkog vlakna prevodi svetlosne impulse u binarne vrednosti, koje računar može da pročita.

Kod ove vrste kablova, optička vlakna prenose digitalne signale u obliku modulisanih svetlosnih impulsa. Ovo je relativno bezbedan način prenošenja podataka jer optički kablovi ne mogu da prenose električne impulse pa se i ne mogu prisluškivati, a podaci su bezbedni od krađe. Takođe su manje podložni buci i smetnjama u poređenju sa bakarnim žicama ili telefonskim linijama. Međutim, optički kablovi su lomljiviji od metalnih panela i zato zahtevaju više zaštitnog oklopa. Iako se bakarne žice mogu spajati i popravljati onoliko puta koliko je potrebno, pokvareni optički kablovi često moraju da se zamene. [[6]](#footnote-6)

Optičko vlakno je tanka staklena nit sačinjena od silicijuma. Staklo koje se koristi ima izuzetnu čistoću. Ne moţe se ni uporediti sa staklom na koje smo navikli. Staklo debljine nekoliko kilometara ima providnost običnog prozorskog stakla debljine 3-4mm. Svetlost putuje kroz staklena vlakna zahvaljujući pojavi koja se naziva totalna unutrašnja refleksija.

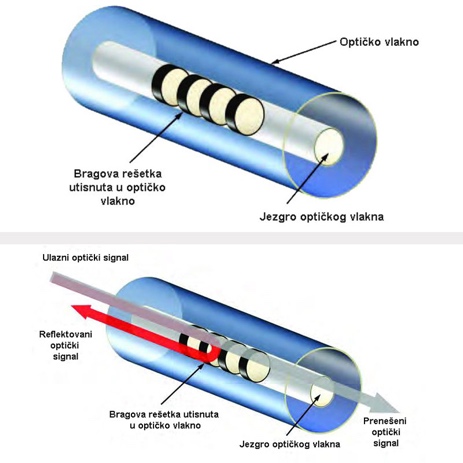
S obzirom da optički kablovi pružaju brzu brzinu prenosa i veliku propusnu opseg, oni se koriste za veliki deo kičme Interneta. Na primer, većina transatlantskih telekomunikacionih kablova između SAD-a i Evrope je optička. Poslednjih godina tehnologija optičkih vlakana postaje sve popularnija i za lokalne Internet veze. Na primer, neki dobavljači Internet usluga sada nude „optički Internet“, koji omogućava pristup Internetu preko optičke linije. Fiber veze mogu pružiti domovima i preduzećima brzine prenosa podataka od 1 Gbps. [[7]](#footnote-7)

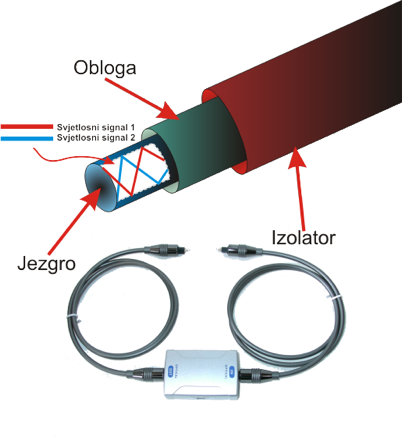
Optički kablovi se koriste i u slučajevima umrežavanja više objekata, gde se sa bakarnim kablovima mogu očekivati problemi sa uzemljenjem i atmosferskim praţnjenjima. Optičke veze osim velike brzine prenosa obezbedjuju i potrebno razdvajanje instalacija. Često se postavljaju u objektima, u slučajevima kada se predvidja veliki mreţni saobradaj izmedju spratnih (vertikalnih) razvoda u odnosu na centar mreţe. Prilikom postavljanja ovih kablova potrebno je poštovati pravila o savijanju jer isuviše veliki ugao savijanja moţe sprečiti prostiranje svetlosti.

Dve uobičajene vrste optičkih vlakana su: Single-mode fiber (SMF) Multi-mode fiber (MMF) Međusobna veza između više vlakana je mnogo složenija i teže je postići od onih između električnih kablova.[[8]](#footnote-8)

Prednosti optičkih kablova su:

* Manje dimenzije u odnosu na bakarne kablove
* Malo slabljenje signala što dozvoljava domet i do 200km
* Manja težina
* Mogućnost prenosa velike količine informacija
* Lakše nameštanje
* Neosetljivost na električne smetnje, vodu, niske i visoke temperature

Optički kablovi su jedino osetljivi na radioaktivno zračenje.



Slika 2 Presek optičkog kabla 1

## ISTORIJA OPTIČKOG KABLA

Slika 3 Presek optičkog kabla 2

Kao što je ranije pomenuto, koncept propuštanja svetlosti postoji od ranih 1840-ih godina kada su francuski pronalazač Danie Colladon i Jackues Babinet demonstrirali vodjenje svetlosti na daljinu reflekcijom.

Otprilike deset godina kasnije sredino 50-ih Irski pronalazač John Tindall izveo je sličnu demonstraciju koristeći vodoskoke što je dovelo do razvoja televizije kada je John Logie Baird demonstrirao prijenos pokretnih slika 1925-te godine.

1952. godine, fizičar iz Ujedinjenog Kraljevstva, Naridan Singh Kapani izumeo je prvi stvarni optički kabl na osnu eksperimenta John-a Tindala. Trinaest godina kasnije, 1965-te godine Charles Kao i Geogrde Hockman, radeći na Standard Telephones and Cables otkrili su da je slabljneje optičkih vlakana uzrokovano nečistoćama u proizvodnji. Ako bi se prigušenje moglo dovoljno smanjiti, teoretizovana optička vlakna bi se mogla koristiti kao praktično sredstvo komunikacije. Čarles Kao i Georges Hockham utvrdili su da veliki gubici u optičkom vlaknu teoretski nastaju zbog malih nečistoća unutar stakla , a ne zbog unutrašnjih ograničenja samoga stakla[[9]](#footnote-9)

Procenili su da se gubici svetlosti koja putuje vlaknom mogu drastično smanjiti, sa 1000 db/km na manje od 20 db/km. Zahvaljujući otkriću Čarlsa Kaoa i Georgea Hockmana 1970. godine počeo je vrlo intenzivan razvoj optičkih komunikacija kada je tim stručnjaka iz kompanije “Corning Glass” proizveo optičko vlakno duţine stotinu metara.[[10]](#footnote-10)

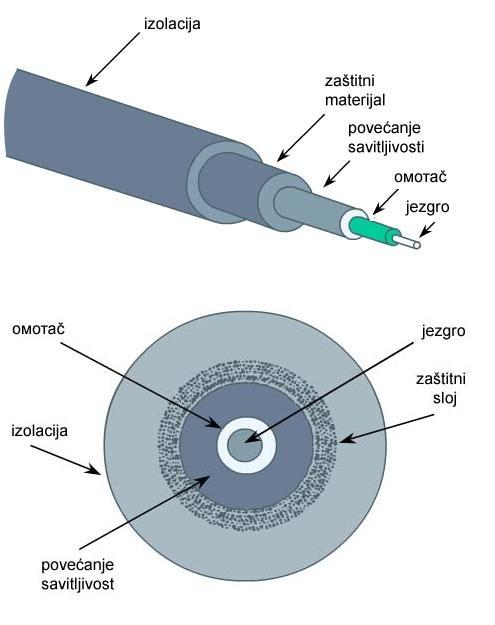
Barijeru slabljenja su 1970. godine probila četiri naučnika istraživača koji rade za Corning Glass Vorks (danas Corning Inc.), Robert Maurer, Donald Keck, Peter Schultz i Frank Zimar.

U roku od dve decenije, inovativna istraživanja gurnula su stopu slabljenja dovoljno nisku da bi optička vlakna postala dominantan nosilac elektronskih informacija.

Tokom osamdesetih godina uloţeni su ogromni napori da se otklone problemi vezani za popravku prekinutih optičkih kablova i da se poboljša tehnika njihovog postavljanja. Sve do 1991. godine kada su prikazani optički pojačavači koji su ugraĎeni u same optičke kablove i koji su u stanju da obezbede 100 puta veći kapacitet od sistema sa elektronskim pojačavačima. Godina 1996. je poznata po tome što su postavljeni kablovi sastavljeni isključivo od optičkih vlakana preko Tihog okeana.

Početkom 1990-ih, kako je Internet postajao popularizovan u javnom carstvu, kablovi od optičkih vlakana počeli su da se polažu širom sveta sa velikim naporima da se svet poveže kako bi se obezbedila infrastruktura za suzbijanje uočenih problema I2K problema. [[11]](#footnote-11)

Danas su vlakna prisutna u gotovo svakoj zemlji na Zemlji, čineći apsolutnu okosnicu moderne komunikacione infrastrukture.



Slika 4 Struktura optičkog kabla

## STRUKTURA OPTIČKOG KABLA

Opšta struktura optičkih vlakana je ista za bilo koji kabl. Ako su vam reči optička vlakna pomalo čudne, samo ih smatrajte žicama koje mogu da prenose svetlost. Zbog toga su ove žice tanke i fleksibilne. Nisu napravljeni od metala, poput običnih žica koje vidite kako se vrte oko vaše kuće. Umesto toga, čine ih posebne vrste stakla ili prozirne plastike.

Na tržištu je dostupno nekoliko različitih vrsta optičkih vlakana. Opšta struktura optičkih vlakana uključuje sledeća tri dela.

* Jezgro
* Obloga
* Ogrtač

**Jezgro** je najunutarnji deo napravljen od stakla ili prozirne plastike. Izuzetno je tanak, fleksibilan i ima cilindrični oblik. Njegova jedina svrha je da zadrži svu svetlost u sebi. I takođe da vodi svetlo u pravcu paralelnom njegovoj osi. Budući da je primarni nosač i vodič svetlosnih talasa, može se nazvati optičkim talasovodom. Na isti način, njegova struktura utiče na prenos svetlosti. Stoga će svi podaci koji se prenose imati svoje parametre prenosa ili svojstva zasnovana na strukturi ovog segmenta optičkog vlakna. Ima smisla.

**Obloga** je drugi sloj na vrhu jezgra. Takođe je napravljen od stakla ili prozirne plastike. Ali sa drugim materijalom, pa je indeks prelamanja obloge niži od indeksa prelamanja jezgra. Da bismo razumeli potrebu za sekundarnim slojem napravljenim od drugačijeg materijala, ponovo ćemo pregledati osnovni koncept širenja svetlosti iz teorije zraka svetlosti: refrakcija.

Kada svetlost iz medija sa visokim indeksom loma pređe u medijum sa niskim indeksom refrakcije, ona se na mestu ukrštanja udaljava od normale. Pogledajte sliku ispod. Crvena linija beži od normalne pri ulasku u oblogu koja ima niži indeks refrakcije.

**Ogrtač** postoji isključivo radi zaštite jezgra i obloge. Sastoji se od fleksibilnih i otpornih na habanje vrsta plastike. Obično jakna ispod sebe ima još jedan sloj koji se naziva tampon. Odbojnik i jakna zajedno štite optička vlakna od oštećenja okoline i fizičkih oštećenja.

## TIPOVI OPTIČKIH KABLOVA

Dve osnovne vrste optičkih vlakana su jednomodno (monomode, singlemode) i višemodno (multimode) vlakno, prema broju modova svetlosnog talasa koji se prostiru kroz vlakno.Mod najlakše vizuelizuje kao svetlosni zrak odreĎene debljine, koji se prostire kroz vlakno. Jednomodno vlakno ima toliko mali prečnik jezgra samo jednog zraka-moda.

Jednomodna vlakna su uobičajena vrsta optičkih vlakana koja se koriste za prenos na veće udaljenosti. To je jedan od dva tipa optičkih vlakana, a drugi je višemodni. Jednomodna vlakna su pojedinačna vlakna od staklenih vlakana koja se koriste za propuštanje jednog modusa ili zraka svetlosti.

Jednomodna vlakna imaju samo jedan način prenosa. U poređenju sa višemodnim optičkim vlaknima, može nositi veću propusnu širinu; međutim, on treba da ima izvor svetlosti uske spektralne širine. Jednomodna vlakna su takođe poznata kao jednomodna optička vlakna, jednodomna vlakna, mono-modna optička vlakna i jednodomni optički talasovod.

Jednomodna vlakna korisnicima pružaju veću brzinu prenosa, pored gotovo 50 puta veće udaljenosti, za razliku od višemodnih vlakana. Međutim, jednodomna vlakna su skuplja od višemodnih vlakana. Među svim razlikama između jednodomnih i višemodnih vlakana, najosnovnija je razlika u veličini u jezgru vlakana kao i pridruženi gubitak ili slabljenje i

propusni opseg vlakana.[[12]](#footnote-12)

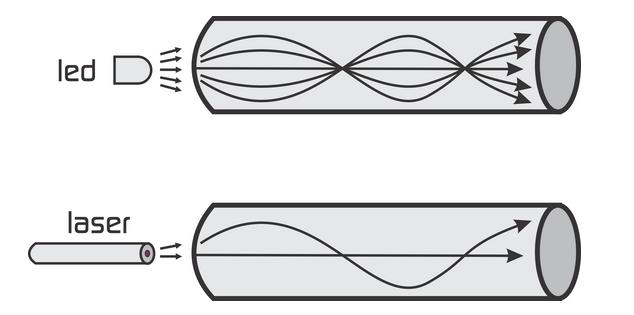
Multi-modno vlakno je vrsta optičkih vlakana dizajniranih da istovremeno prenose više svetlosnih zraka ili modova, svaki pod neznatno drugačijim uglom refleksije unutar jezgra optičkih vlakana.

Višedimenzionalno vlakno se uglavnom koristi za prenos na relativno kraćim rastojanjima, jer je veća verovatnoća da će se modovi raširiti na većem opsegu. Ovaj fenomen poznat je pod nazivom modalna disperzija. Još jedna uobičajena vrsta optičkih vlakana je jednomodno vlakno, koje se koristi uglavnom za veće razdaljine. Multimodno vlakno je takođe poznato i kao višemodno optičko vlakno.

Višedimenzionalni kabl sastoji se od staklenih vlakana sa zajedničkim prečnikom u opsegu od 50 do 100 mikrona za element koji nosi svetlost. Najrasprostranjenija veličina je 62,5 mikrona. Plastična optička vlakna (POF) su moderni kablovi na bazi plastike koji osiguravaju performanse slične staklenim kablovima za kratke vožnje, ali ekonomično.

Višedimenzionalna vlakna možda nisu pogodna za brzi prenos podataka. Nije poželjno ni mešati i podudarati vlakna. Pokušaj povezivanja jednomodnog vlakna sa višemodnim vlaknom može rezultirati gubitkom od 20 dB, što je 99% ukupne snage.[[13]](#footnote-13)

Jednonodna optička vlakna koriste laser tehnologiju dok multinodna LED.



Slika 5 Jednomodni i multinodni

## SPAJANJE OPTIČKIH KABLOVA

Nastavljanje optičkih vlakana se obavlja jer su proizvodne dužine kablova limitirane (1-6 km), a takođe ih je potrebno spojiti i na uređaje. Spajanje se obavlja na nekoliko načina:

* varenjem (splice) optičkih vlakna u električnom luku;
* meahničkim spojnicama;
* konektorima.

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i mane. Prednost varenja je ostvarivanje kvalitetnog spoja sa najmanjim slabljenjem. Mehaničke spojnice se koriste za privremeno spajanje optičkih vlakana. Konektori se koriste za prespajanje optičkih deonica i spajanje vlakana na optičke uređaje.

Mehaničko spajanje iber optičkih kablova je alternativna tehnika spajanja koja ne zahteva fuzijsko spajanje. Mehanički spoj je spoj dva ili više optičkih vlakana koja su poravnata i zadržana na mestu pomoću sklopa koji drži vlakno u poravnanju pomoću tečnosti koja odgovara indeksu. Mehaničko spajanje koristi mali mehanički spoj, dug oko 6 cm i prečnik od 1 cm koji trajno spaja dva optička vlakna. Ovo precizno poravnava dva gola vlakna, a zatim ih mehanički učvršćuje.

Vlakna nisu trajno spojena, već se tačno drže zajedno kako bi svetlost mogla da prelazi sa jedne na drugu. (Gubitak umetanja <0,5 dB) [[14]](#footnote-14)

Gubitak spajanja je obično 0,3 dB. Ali mehaničko spajanje vlakana uvodi veću refleksiju od postupka fuzijskog spajanja.

Mehanički spojevi optičkih kablova su mali, vrlo jednostavni za upotrebu i vrlo su zgodni za brze popravke ili trajne instalacije. Dostupni su u stalnim i dostupnim tipovima. Mehanički spojevi optičkih kablova dostupni su za jednonodna ili višemodna vlakna.

Koliko god dobro planirali instalaciju, optički kabl je retko prave dužine za svaku seriju i teško je spojiti. Shodno tome, kablovi moraju biti povezani ili presečeni na terenu, s potencijalnim problemima koji to povlače za sobom.

Za rad na terenu potrebno je prethodno upoznati trasu kabla i mesta gde treba napraviti nastavak. Do mesta nastavaka, ako nisu u naseljenom mestu, obično nije lako doći. Posebno su izraženi problemi u slučaju lošeg vremena. Radovi ne mogu čekati lepo vreme i suve puteve. Zato je poželjno imati odgovarajuća terenska vozila. Priprema kablova za spajanje zavisi od tipa kabla i tipa spojnice i vrši se na osnovu uputstava proizvođača spojnice. Spojnica pruža mehaničku zaštitu optičkim vlaknima. Priprema za spajanje traje 1,5 do 2 sata. Priprema i spajanje ne moraju da se obave istog dana. U tom slučaju spojnicu je potrebno zatvoriti i postaviti na stub.

Korektan spoj vlakana se zaštićuje termoskupljajućom cevčicom i odlaţe na predviđeno mesto u spojnici. Nakon završetka spajanja svih vlakana spojnica se zatvara i postavlja na određeno mesto na stubu dalekovoda.

Ne samo da fabrički završeni kablovi eliminišu troškove rada povezane sa instaliranjem konektora na terenu, već takođe izbegavaju potrebu da troše vreme i novac na ponovno obavljanje neuspelih poslova, kao i troškove dodatnih konektora. Uobičajene cifre koje citiraju pružaoci usluga su uštede kapitala u rasponu od 40-50%, jer nema potrebe za specijalnom opremom. Opet, za one telekomunikacione kompanije koje su investirale u mašine za spajanje vlakana, možda je jeftinije koristiti ovo, a ne kupiti fabrički završene kablove.

Precizna kontrola slabljenja spoja vrši se OTDR-om sa jednog od krajeva optičkog vlakna. Kontrola slabljenja spoja vršena je na 1550 nm. Nakon završetka spajanja vlakna monter obaveštava kontrolora koji vrši merenje. Komunikacija se obavljala optičkim i mobilnim telefonom. Efikasnije za rad je da se kontrola vrši odmah nakon spajanja vlakna. U slučaju potrebe, usled slabljenja većeg od 0,10 dB, spajanje istih vlakana se ponavlja (do 6 puta).

## UZROCI SLABLJENJA NA SPOJU

Kod spajanje optičkih vlakna, presudno je da se suprotstavljena jezgra pravilno poravnaju. Primarna specifikacija konektora ili spojnica je gubitak ili količina izgubljene svetlosti u vezi. Nepravilno poravnanje tamo gde optička vlakna nisu savršeno poravnana rezultiraće gubitkom dela svetlosti zbog lošeg spoja.

Postoje četiri glavna uzroka optičkih gubitaka koja su uglavnom uzrokovana:[[15]](#footnote-15)

* **Loše poravnanje jezgra -** Optički gubitak konektora / spojnice nastaje usled aksijalnog isticanja (nepravilni rezani uglovi) između optičkih vlakana koja treba spojiti. Neophodno je izbegavati povećani ugao na kraju odsečenog vlakna kada se koristi cepač za optička vlakna (uređaj za rezanje) pre fuzijskog spajanja, jer takav ugao može rezultirati spajanjem optičkih vlakana sa istjecanjem.



Slika 6 Spajanje kabla - loše poravnanje

* **Prostor** - Krajnji jaz između optičkih vlakana rezultira optičkim gubitkom konektora / spojnice. Na primer, ako krajnje površine optičkih vlakana nisu pravilno međusobno spojene u mehaničkom spajanju, dolazi do gubitka spajanja zbog prelamanja svetlosti u vazdušnom zazoru između vlakana. Krajnji jaz između optičkih vlakana rezultira u 0,6 dB povratnog gubitka na maksimumu zbog promene indeksa prelamanja od optičkog vlakna do vazduha. 

Slika 7 Spajanje kabla - prikaz praznog prostora

* **Refleksija** - Kraj vlakna mora biti pravilno poliran i čist kako bi se gubici sveli na minimum. Gruba površina će raspršiti svetlost, a nečistoća može raspršiti i upiti svetlost. S obzirom da je optičko vlakno tako malo, tipična nečistoća u vazduhu može biti glavni izvor gubitaka. Čišćenje krajeva optičkih vlakana važno je za optičke konektore. Pored toga, treba očistiti čitave krajeve optičkog konektora, jer gubitak može nastati i zbog nečistoće između krajeva optičkog konektora.
* **Spajanje** - Spajanje fuzija uključuje spajanje dva optička vlakna od kraja do kraja pomoću nekog izvora toplote. Krajnji rezultat je spajanje dva vlakna, tako da se spoj ne raspršuje ili odbija natrag i tako da spoj i region koji ga okružuju budu gotovo jednako jaki kao i samo devičansko vlakno.

Povezivanje optičkih vlakana se odvija u nekoliko koraka:

* dolazak na mesto izrade nastavka;
* priprema kablova za spajanje;
* spajanje optičkih vlakana;
* kontrola spoja OTDR-om;
* eventualno ponavljanje spajanja;
* zatvaranje spojnice.

# KARAKTERISTIKE OPTIČKIH KABLOVA

Kod optičkih kablova, optička vlakna prenose digitalne signale u obliku modulisanih svetlosnih impulsa. Ovo je relativno bezbedan način prenošenja podataka jer se optički kablovi ne mogu prisluškivati, a podaci su bezbedni od krađe. Takođe, kablovi od optičkih vlakana ne podležu električnim smetnjama, imaju najmanje slabljenje signala duž kabla i podržavaju izuzetno velike brzine prenosa podataka na velikim udaljenostim.

Postoji dvanaest razloga za upotrebu optičkog prenosa:

* **Prenos na velike udaljenosti bez repetitora i regeneratora**

Zbog njegovog veoma malog slabljenja, pomoću optičkih vlakana može se vršiti prenos na velike udaljenosti bez repetitora i regeneratora. Tipično, optička elektronika može da vrši prenos na 40-80 km

* **Veliki kapacitet**

Zbog veoma niske stope prostiranja impulsa optički sistemi imaju veliki kapacitet. Trenutno, telefonski sistemi mogu da prenose oko 30.000 telefonskih konverzacija kroz jednu paricu.

* **Smanjena cena sistema**

Eliminacijom repetitora, regeneratora i srednjedometnih koncentratora smanjuje se cena sistema. U nekim primenama, kao što su telefon i CATV, početna cena instaliranja optičkih sistema je manja nego kod takvih sistema na bazi bakra.

* **Smanjena cena održavanja**

Zbog velikog kapaciteta optičkih vlakana, kapacitet optičkog sistema za prenos možemo povećati jednostavno promenom elektronike.

* **Bolji kvalitet**
* **Najmanja cena životnog ciklusa**
* **Male dimenzije**

Optičkavlaknaioptičkikablovisunajmanjitrenutnoraspoloživikablovi. Uprepunjenim cevovodima, 100 parica prečnika 3 inča mogu biti zamenjene jednim optičkim kablom prečnika 0.75 inča.

* **Mala težina**

U visokim zgradama, sa velikim opterećenjem spratova, mala težina optičkih kablova je vodeći razlog njihove upotrebe.

* **Dielektrična priroda**

Dielektrična priroda ima četiri prednosti. Prvo, ne postoji uzemljenje koje prouzrokuje probleme u procesu kontrole aplikacije. Drugo, dielektrični optički kablovi ne privlače munje pa samim tim imaju manju cenu održavanja. Treće, dielektrični optički kablovi imaju manje ograničenja za mesta postavljanja u zgradama. Četvrto, ovi kablovi ne zrače signale što znači da su ovo sigurni komunikacioni sistemi.

* **Otpornost na EMI/RFI**

Pošto se u optičkim sistemima prenos signala vrši putem svetlosti, signal je otporan na električne šumove u okruženju. Znači, šum neće biti pokupljen čak ni prilikom prenosa na velike udaljenosti i kroz područja u kojima postoje električni šumovi.

* **Unutrašnja zaštita prenosa**

Optički sistem prenosa poseduje unutrašnju zaštitu prenosa. Postoje dva aspekta ove zaštite. Prvo, kako ne postoji električni signal, ne postoji ni signal koji će biti ozračen od strane 12 optičkog kabla. Stoga, detektor smešten u blizini optičkog kabla neće “pokupiti” signal. Drugo, iako optički kablovi mogu biti spojeni bez prekidanja kabla, ovakvo spajanje će dovesti do smanjenja snage signala na izlaznom kraju kabla

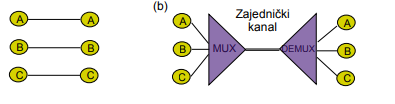
* **Međusobni odnos osobina optičkog vlakna i faktora koštanja njegove primene**

# MULTIPLEKSIRANJE

Multiplekser je uređaj koji omogućava odabir jednog od nekoliko analognih ili digitalnih ulaznih signala i prenosi odabrani ulaz u jedan medij. Multipleker je poznat i kao Selektor podataka. Multipleksor od 2n ulaza ima n izabranih linija koje će se koristiti za odabir ulazne linije za slanje na izlaz. Multipleker je skraćeno Muk.

**MUKS** šalje digitalne ili analogne signale većom brzinom na jednoj liniji u jednom zajedničkom uređaju. Oporavlja odvojene signale na prijemnom kraju. Multipleker pojačava ili pojačava informacije koje se kasnije prenose preko mreže u okviru određenog propusnog opsega i vremena. Ovaj članak daje pregled šta je multiplekser i vrste multipleksera.[[16]](#footnote-16)

Multipleker deluje kao prekidač sa više ulaza i jednim izlazom. Više signala deli jedan uređaj ili provodnik za prenos, kao što je bakarna žica ili optički kabl. U telekomunikacijama, analogni ili digitalni signali prenose se na više komunikacionih kanala multipleks metodom. Ovi signali su signali veće brzine sa jednim izlazom. Multipleksor 4 na 1 sadrži četiri ulazna signala, a multipleksor 2 na 1 ima dva ulazna i jedan izlazni signal.



Slika 8 Multipleksiranje

Multipleksiranje se deli na :

* Frekvencijsko (FDM – Frequency Division Multiplexing)
* Talasno (WDM – Wavelenght Division Multiplexing)
* Vremensko (TDM – Time Division Multiplexing)
* Kodno (CDM – Code Division Multiplexing)

## FDM

Multipleksiranje sa frekvencijskom podelom (FDM) je tehnika multipleksiranja koja podrazumeva kombinovanje više od jednog signala preko zajedničkog medija. U FDM-u se kombinuju signali različitih frekvencija za istovremeni prenos.

U FDM-u, ukupna širina opsega je podeljena na skup frekvencijskih opsega koji se ne preklapaju. Svaki od ovih opsega je nosilac različitog signala koji generiše i modulira jedan od uređaja za slanje. Frekvencijski opsezi su međusobno odvojeni trakama neiskorišćenih frekvencija koje se nazivaju zaštitnim opsezima, kako bi se sprečilo preklapanje signala.[[17]](#footnote-17)

Modulirani signali se kombinuju zajedno koristeći multipleksor (MUKS) na kraju slanja. Kombinovani signal se prenosi preko komunikacionog kanala, omogućavajući istovremeno prenos više nezavisnih tokova podataka. Na kraju prijema, pojedinačni signali se izvlače iz kombinovanog signala postupkom demultipleksiranja (DEMUKS).

Kada se FDM koristi za omogućavanje više korisnika da dele jedan fizički komunikacioni medij (tj. Ne emituje se u vazduhu), tehnologija se naziva višestruki pristup sa podelom frekvencije (FDMA).[[18]](#footnote-18)

## WDM

Multipleksiranje sa talasnom dužinom (WDM) je tehnologija ili tehnika koja modulira brojne tokove podataka, tj. Signale optičkih nosača različitih talasnih dužina (boja) laserske svetlosti, na jedno optičko vlakno. WDM omogućava dvosmernu komunikaciju kao i umnožavanje kapaciteta signala. [[19]](#footnote-19)

WDM je zapravo multipleksiranje sa frekvencijskom podelom (FDM), ali referenca na talasnu dužinu svetlosti za razliku od frekvencije svetlosti. Međutim, pošto talasna dužina i frekvencija imaju obrnuti odnos (kraća talasna dužina znači veću frekvenciju), termini VDM i FDM zapravo opisuju istu tehnologiju - svetlost u optičkom kablu koja se koristi za prenos podataka i komunikacionih signala.

WDM je dramatično povećao nosivost optičke infrastrukture telefonskih kompanija i drugih operatera. Poznati i kao „gusti VDM“ (DVDM), dobavljači su uveli sisteme koji mogu da podrže stotine talasnih dužina, od kojih svaki nosi 10 Gbps. To znači da terabit podataka u sekundi može preći jedan optički pramen, tanji od ljudske kose. Kontrast sa TDM-om. Pogledajte CVDM i rečnik optičkih vlakana. Takođe pogledajte FDM.[[20]](#footnote-20)

## TDM

Multiplikacija vremenske podele (TDM) je komunikacioni proces koji prenosi dva ili više strujnih digitalnih signala preko zajedničkog kanala. U TDM-u, dolazni signali su podeljeni u jednake vremenske slotove fiksne dužine. [[21]](#footnote-21)

Nakon multipleksiranja, ovi signali se prenose preko zajedničkog medija i ponovo se sastavljaju u svoj izvorni format nakon de-multipleksiranja. Izbor vremenskog slota je direktno proporcionalan ukupnoj efikasnosti sistema. Multipliciranje vremenskom podelom (TDM) takođe je poznato i kao preklopljeno digitalno kolo.

## CDM

Multipliciranje kodne podele (CDM) je mrežna tehnika u kojoj se kombinuje više podataka podataka za simultani prenos u zajedničkom frekvencijskom opsegu. Kada se CDM koristi za omogućavanje više korisnika da dele jedan komunikacijski kanal, tehnologija se naziva višestruki pristup kodnom podelom (CDMA)

CDMA koristi prošireni spektar, tehnologiju koja je razvijena u Drugom svetskom ratu kako bi sprečila neprijatelje da presreću i ometaju prenose. U proširenom spektru, signal podataka se šalje preko opsega frekvencija u dodeljenom frekvencijskom spektru.[[22]](#footnote-22)

# POJAČIVAČI

Gubitak prenosa svetlosti koja prolazi kroz optička vlakna vrlo je mala vrednost manja od 0,2 dB po km sa talasnim dužinama svetlosti u opsegu od 1,550 nm. Međutim, kada optička vlakna imaju udaljenost do 10 km ili 100 km dužine, gubitak u prenosu se ne može zanemariti. Kada signal koji se širi kroz optička vlakna na velike udaljenosti taj signal postane izuzetno slab, potrebno je pojačati signale pomoću optičkog pojačala.

Daljina u prenosu signala kroz optičko vlakano uglavnom je ograničena gubicima u vlaknu. Za sisteme za prenos na veliku daljinu, ograničenje usled gubitaka je prevladano korišćenjem regeneratora, u kojima se optički signal prvo pretvara u električni, a zatim se regeneriše pomoću predajnika.

Ovakvi regeneratori su prilično složeni i skupi za sisteme multipleksiranjem talasnih dužina (WDM). Alternativni pristup za nadoknađivanje ovog gubitka su optički pojačavači, koji direktno pojačavaju optički signal bez potrebe za konverzijom u električni domen. U toku osamdesetih godina razvijeno je nekoliko vrsta optičkih pojačavača, a njihova upotreba postala je široko rasprostranjena tokom devedesetih.

Kada signal koji se širi kroz optička vlakna na velike udaljenosti taj signal postane izuzetno slab, potrebno je pojačati signale pomoću optičkog pojačala. Možemo reći da optička mreža na velike udaljenosti nije moguća bez optičkog pojačala.

Postoje dve vrste optičkih pojačala koja se koriste u optičkim mrežama:[[23]](#footnote-23)

* Čvrsta optička pojačala
* Pojačala za vlakana

Optički pojačavači OA(*Optical amplifiers*) su uređaji zasnovani na konvencionalnim laserskim principima. Optički pojačavač dobija jedan ili više optičkih signala, svaki u prozoru optičkih frekvencija i istovremeno pojačava sve talasne dužine.

Optički pojačavač prijemnika je podsistem optičkog pojačavača u kome je pred- pojačavač integrisan sa optičkim prijemnikom, što rezultira visokom osetljivosti prijemnika. Veza između prijemnika i optičkog pojačavača je zaštićena i nije precizirana. Njihova primena je generalno ista kao i za predpojačavače.

# AMRES INFRASTRUKTURA[[24]](#footnote-24)

AMRES infrastruktura je naučno-istraživačka i obrazovna računarska mreža Republike Srbije u funkcionalnom i tehničkom smislu, zajedno sa spoljnim vezama koje je povezuju sa okruženjem (Internet, GÉANT, ostali provajderi itd.) i serversko-računarskom infrastrukturom. Uključuje sve uređaje koji su u vlasništvu ili iznajmljeni od strane AMRES-a i sve telekomunikacione linkove koje AMRES poseduje ili iznajmljuje od telekomunikacionih provajdera.

Mrežni deo AMRES infrastrukture sačinjavaju pristupna mreža, kičma mreže i spoljne veze. Pristupna mreža povezuje AMRES korisnike na pristupne tačke AMRES infrastrukture. AMRES pristupna tačka je svaka lokacija AMRES infrastrukture gde se nalaze komunikacioni uređaji koji povezuju najmanje druga dva AMRES korisnika.

Kičmu mreže sačinjavaju međugradske i gradske optičke veze koje međusobno povezuju AMRES pristupne tačke. U trenutnoj aktivnoj topologiji mrežnog dela AMRES infrastrukture AMRES pristupne tačke se nalaze u 50 gradova: Beograd, Novi Sad, Niš, Kragujevac, Subotica, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Pančevo, Sombor, Apatin, Vrbas, Bečej, Inđija, Ruma, Šid, Sremska Mitrovica, Šabac, Loznica, Valjevo, Užice, Prijepolje, Ivanjica, Čačak, Kraljevo, Kruševac, Jagodina, Velika Plana, Mladenovac, Smederevo, Požarevac, Paraćin, Gornji Milanovac, Leskovac, Prokuplje, Vranje, Medveđa, Bujanovac, Preševo, Bor, Zaječar, Negotin, Kladovo, Pirot, Dimitrovgrad, Novi Pazar, Raška, Sjenica, Tutin i Kosovska Mitrovica.

Spoljne veze predstavljaju veze AMRES infrastrukture prema GÉANT mreži, akademskim mrežama drugih država, telekomunikacionim servis provajderima, kao i drugim partnerskim institucijama.

Optičke tehnologije upotrebljavaju se za prenos podataka preko infrastrukture optičkih kablova (dark fiber). U AMRES-u su zastupljene 10 Gigabit Ethernet (10GBASE-X) i Gigabit Ethernet (1000BASE-X) kako u kičmi tako i u pristupnoj mreži. Koriste se različite karakteristike optičkih 10 Gigabit Ethernet i Gigabit Ethernet modula, koje zavise od dužine optičke veze i tipa optičkog kabla (singlemode i multimode);

Map

Description automatically generated

Slika 9 AMRES

# ZAKLJUČAK

Široka primena interneta i korišćenje usluga koje zahtevaju visoku propusnost signala i velike brzine prenosa poput video konferencije napravili su pomak sa mreže sa bakarnim kablovima na mreže sa optičkim vlaknima. Upoređujući električne i optičke transmisione sisteme, vidljive su prednosti optičkih sistema. Možda najvažnija prednost je vremenska isplativost optičkih vlakana.

Sigurno je da će optička vlakna nastaviti sa svojim razvitkom u budućnosti i fokusirati se na rešavanje problema sa slabljenjem signala. Vrlo je važna i njihova neosetljivost na spoljne elektromagnetne smetnje. Ovaj napredak će dovesti do značajnih mogućnosti pružanja novih servisa i telekomunikacionih mreža

Ukoliko uporedimo sa bakarnim kablom postoji znatno više razloga za korišćenje optičkih kablova nego bakarnih u šta se ubraja znatno manje slabljenje, velike propusne moći zbog koje je moguće preneti veće količine informacija. Nemetalni optički kablovi su potpuno otporni na EMI i RFI, takođe nema emisije signala u okruženje, pa stoga nema ni preslušavanja.

Sve su to razlozi zašto je danas pogodnije koristiti optička kabla, nego bakarna. Jedino što bi moglo da se navede kao mana je to da je oprema za prenos signala skuplja kod optičkog kabla, kao i kablovske komponente (konektori, spojnice) i radovi na spajanju, montaži i merenju optičkih kablova su skuplji i zahtevaju specifičnu opremu.

# SPISAK SLIKA

[Slika 1 Optički kabl 2](#_Toc73884876)

[Slika 2 Presek optičkog kabla 1 10](file:////Users/pavlepavlovic/MASTER/Opticke%20mreze/525-2020_Opticke%20mreze.docx#_Toc73884877)

[Slika 3 Presek optičkog kabla 2 10](file:////Users/pavlepavlovic/MASTER/Opticke%20mreze/525-2020_Opticke%20mreze.docx#_Toc73884878)

[Slika 4 Struktura optičkog kabla 12](#_Toc73884879)

[Slika 5 Jednomodni i multinodni 15](#_Toc73884880)

[Slika 6 Spajanje kabla - loše poravnanje 18](#_Toc73884881)

[Slika 7 Spajanje kabla - prikaz praznog prostora 18](#_Toc73884882)

[Slika 8 Multipleksiranje 22](#_Toc73884883)

[Slika 9 AMRES 29](#_Toc73884884)

# LITERATURA

[1] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org> , 25.05.2021.

[2] Tripleplay, <https://tripleplay.in/blog> ,28.05.2021.

[3] Royal society publishing, <https://www.royalsocietypublishing.org> ,30.05.2021.

[4] Techopedia, http://www.techopedia.com ,29.05.2021.

[5] Connect fibre, <https://www.connectedfiber.com> ,01.06.2021.

[6] AMRES, <https://www.amres.ac.rs>, 04.06.2021.

[7] Tutorials point, <https://www.tutorialspoint.com> ,03.06.2021.

[8] Instrumentation tools, <https://instrumentationtools.com> ,03.06.2021.

[9] Focenter, <https://focenter.com> ,05.06.2021.

1. Timbercon https://www.timbercon.com/resources/blog/history-of-fiber-optics/ [↑](#footnote-ref-1)
2. Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\_fiber#History [↑](#footnote-ref-2)
3. PPC https://www.ppc-online.com/blog/how-fiber-and-wireless-networks-are-converging [↑](#footnote-ref-3)
4. Tripleplay https://www.tripleplay.in/blog/understand-the-differences-between-fiber-optic-and-wireless-broadband [↑](#footnote-ref-4)
5. Royal society publishing https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2020.0051 [↑](#footnote-ref-5)
6. Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber-optic\_cable [↑](#footnote-ref-6)
7. Techterms https://techterms.com/definition/fiber\_optic\_cable [↑](#footnote-ref-7)
8. Technopedia https://www.techopedia.com/definition/24918/optical-fiber-cable [↑](#footnote-ref-8)
9. Tevalec https://www.tevelec.com/history/ [↑](#footnote-ref-9)
10. Connect fiber https://www.connectedfiber.com/when-was-fiber-optic-cable-invented/ [↑](#footnote-ref-10)
11. Connect fiber https://www.connectedfiber.com/when-was-fiber-optic-cable-invented/ [↑](#footnote-ref-11)
12. Techopedia https://www.techopedia.com/definition/13288/single-mode-fiber [↑](#footnote-ref-12)
13. Techopedia https://www.techopedia.com/definition/14831/multi-mode-fiber [↑](#footnote-ref-13)
14. Focenter <https://focenter.com/fiber-optic-cable-splicing-explained/> [↑](#footnote-ref-14)
15. Instrumentation tools <https://instrumentationtools.com/fiber-optic-cable/> [↑](#footnote-ref-15)
16. Wat electronics <https://www.watelectronics.com/what-is-multiplexer-and-types/> [↑](#footnote-ref-16)
17. Techopedia https://www.techopedia.com/definition/7153/frequency-division-multiplexing-fdm [↑](#footnote-ref-17)
18. Tutorials point <https://www.tutorialspoint.com/frequency-division-multiplexing> [↑](#footnote-ref-18)
19. Techopedia https://www.techopedia.com/definition/3451/wavelength-division-multiplexing-wdm [↑](#footnote-ref-19)
20. PCMAG https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/wdm [↑](#footnote-ref-20)
21. Techopedia <https://www.techopedia.com/definition/9669/time-division-multiplexing-tdm> [↑](#footnote-ref-21)
22. Techopedia https://www.techopedia.com/definition/6394/code-division-multiplexing-cdm [↑](#footnote-ref-22)
23. Techopedia https://www.technopediasite.com/2020/07/types-of-optical-amplifiers.html [↑](#footnote-ref-23)
24. AMRES <https://www.amres.ac.rs/cp/amres/amres-infrastruktura> [↑](#footnote-ref-24)