

# Razvoj i primjena svjetlovodnih materijala

---

Župan, Marina

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:413070>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I**  
**INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**RAZVOJ I PRIMJENA SVJETLOVODNIH**  
**MATERIJALA**

**Završni rad**

**Marina Župan**

**Osijek, 2020.**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	2
2. PREGLED PODRUČJA TEME .....	3
3. POVIJESNI RAZVOJ .....	4
4. SVJETLOVODI .....	6
4.1. Fizika u svjetlovodu .....	7
4.2. Konstrukcijska izvedba svjetlovoda .....	10
4.3. Materijali za izradu svjetlovodnih vlakana.....	11
4.4. Podjela svjetlovodnih kabela prema indeksu loma i modu rada .....	13
4.4.1. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (MMF – multimode fiber).....	13
4.4.2. Višemodni svjetlovod s gradijentnim indeksom loma.....	14
4.4.3. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (SMF – Single mode fiber).....	15
4.5. Karakteristike svjetlovodnih prijenosnika .....	16
4.5.1. Prigušenje.....	17
4.5.2. Interferencija .....	17
4.5.3. Disperzija .....	18
4.5.4. Širina propusnog pojasa .....	19
4.5.5. Optički odnos signal – šum.....	20
4.5.6. Vrijeme porasta.....	20
5. PRIMJENA I POLAGANJE SVJETLOVODNIH MATERIJALA .....	21
5.1. Proces proizvodnje svjetlovodnog kabela .....	21
5.2. Postavljanje svjetlovodnih kabela u kanalizacijskim cijevima .....	24

5.2.1. Ručno postavljanje svjetlovodnog kabela.....	25
5.2.2. Upuhivanje svjetlovodnog kabela u cijev .....	25
5.2.3. Postavljanje svjetlovodnih kabela pomoću robota.....	26
5.2.4. Postavljanje svjetlovodnih kabela u nogostupe i kolnike .....	27
5.3. Spajanje optičkih kabela .....	28
5.4. Primjena svjetlovodnih materijala .....	29
5.4.1. Komunikacija .....	29
5.4.2. Računalne mreže .....	30
5.4.3. Medicina .....	31
5.4.4. Vojna primjena.....	32
5.4.5. Rasvjeta.....	33
5.4.6. Telekomunikacijski sustavi.....	34
5.5. Budućnost svjetlovodnih materijala .....	35
6. ZAKLJUČAK .....	37
LITERATURA.....	39
SAŽETAK.....	41
ABSTRACT.....	42

## 1. UVOD

Svjetlovod, i ili optičko vlakno, je prozirna nit izrađena od polimernih materijala ili čistog stakla čija je namjena prijenos signala između krajeva svjetlovoda u obliku elektromagnetskih valova u optičkom frekvencijskom spektru. Prema svojoj konstrukciji i materijalnom sastavu, svjetlovodi usmjeravaju svjetlost različitih frekvencija koristeći svojstvo refrakcije svjetlosti unutar svjetlovoda. Na taj način se omogućuje slanje svjetlosnog signala između krajeva svjetlovoda brzinom svjetlosti, čime se postižu velike brzine prijenosa signala.

Najznačajnija prednost svjetlovoda u usporedbi s klasičnim električnim vodičima je mogućnost prijenosa velike količine signala brzinom svjetlosti. Nadalje, svjetlovodi nisu podložni elektromagnetskim interferencijama i imaju značajno manje gubitke prijenosa u odnosu na električne vodiče. Dodatna prednost je što ne prenosi elektricitet i opasna zračenja, jer su signal infracrvenom ili ultraljubičastom spektru frekvencija. Nedostatak je što poslane zrake svjetlosti od izvora do odredišta ne stižu istodobno te na taj način oslabljuju signale. Također, materijali koji se koriste u izradi svjetlovoda su krhki i potrebna je velika preciznost izrade za ispravan prijenos signal te je općenito instalacija svjetlovoda skupocjen postupak.

U današnje vrijeme postoji sve viša upotreba svjetlovoda zbog svoje brzine prijenosa podataka u računalnim i telekomunikacijskim mrežama. Najčešći svjetlovodni signali prenose se infracrvenim zrakama valnih duljina od 800 do 1675 nm, pri čemu se javljaju najmanji gubici.

U prvom poglavlju opisan je povijesni razvoj svjetlovodnih materijala. U drugom poglavlju opisana je fizika svjetlovoda, konstrukcijska izvedba svjetlovoda, materijali za izradu svjetlovodnih vlakana te same karakteristike svjetlovoda. U trećem poglavlju su navedene primjene i samo polaganje svjetlovoda.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Cilj ovoga rada je opisati raširenost i značaj svjetlovodnih materijala u svijetu. Potrebno je opisati povijest i razvoj svjetlovodnih materijala te „fiziku svjetlovoda“. Napraviti pregled, opisati građu i vrste optičkih vlakana. Prezentiran je način polaganja i spajanja optičkih kabela. Za kraj, na više primjera, prikazati današnju primjenu svjetlovodnih materijala.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

Glavna tema ovoga rada jesu svjetlovodi, odnosno njihova konstrukcijska izvedba i primjena. Svjetlovodi imaju široku primjenu i različite karakteristike, a neki od njih analizirani su u sljedećim literaturama.

U literaturi [1] su objašnjene linearne i nelinearne karakteristike svjetlovodnih prijenosnih sustava kao što su interferencija, prigušenje, disperzija, širina propusnog opsega i optički odnos signal-šum.

Autor u literaturi [2] opisao je proces proizvodnje svjetlovodnih kabela. Prikazano je postavljanje svjetlovodnih kabela u kanalizacijskim cijevima. Ovo je postala poželjna metoda instalacija za gradove koji žele iskoristiti postojeću infrastrukturu.

U literaturi [5] prikazano je na više primjera današnja primjena svjetlovodnih sustava u svijetu, koja se najčešće koristi u telekomunikacijskim tvrtkama za prijenos telefonskih signala i internetnih komunikacija. Također je demonstrirano više svjetlovodnih kabela.

U literaturi [7] opisuje se nadzor mreže i scenariji otklanjanja kvarova za vrijeme eksploatacije PON mreže, te postupci redovitog održavanja optičke mreže te dokumentiranje optičke mreže koje je osnova za gradnju i održavanje optičke komunikacijske mreže.

U literaturi [8] su opisani glavni dijelovi svakog svjetlovodnog prijenosnog sustava kao i njihova podjela. Potom je objašnjen značaj optičkih modula, optičkih konektora, optičkih kabela i optičkih spojnica. Naveden je i princip prijenosa signala uz pomoć svjetlovoda.

### 3. POVIJESNI RAZVOJ

Najraniji oblici svjetlovoda se pojavljuju u drugoj polovici 20. stoljeća, kada je proces proizvodnje svjetlovoda dosegnuo dovoljnu preciznost za praktičnu uporabu. No korištenje svjetlosnih signala za komunikaciju ima svoje korijene još na koncu 18. st.

Optički komunikacijski sustavi datiraju iz 1790-ih, do optičkog semaforškog telegrafa koji je izumio francuski izumitelj Claude Chappe. Sastojao se od niza semafora postavljenih na tornjeve gdje su se nalazili ljudi i putem tih semafora odašiljali poruke od jednog tornja do drugog. Na taj način je bilo omogućeno brzo slanje informacija te je ovaj sustav bio proširen diljem Francuske sve do sredine 19. stoljeća kada ga mijenja električni telegraf.

1880. godine Alexander Graham Bell patentirao je optički telefonski sustav koji je nazvao Fotofon. Fotofonom bi Bell govorio u mikrofون, što bi uzrokovalo titranje zrcala. Sunčeva svjetlost udarila bi u zrcalo, a vibracije zrcala prenijele bi svjetlost na otvorenoj udaljenosti od oko 200 metara. Zrcalo prijemnika primalo bi svjetlost i uzrokovalo titranje kristala selena, što bi izazivalo buku na drugom kraju. Iako je fotofon bio uspješan u omogućavanju razgovora na otvorenom prostoru, imao je nekoliko nedostataka: nije radio noću, na kiši ili ako je netko hodao između signala i prijamnika. Međutim, njegov raniji izum, telefon, bio je praktičniji. Fotofon je ostao eksperimentalni izum i nikada se nije ostvario. Tijekom 1920-ih John Logie Baird iz Engleske i Clarence W. Hansell iz Sjedinjenih Američkih Država patentirali su ideju korištenja niza šupljih cijevi ili prozirnih šipki za prijenos slika za televiziju ili telefaks sustave [1].

Laser je predstavljen 1958. godine kao učinkovit izvor svjetlosti. Koncept su uveli Charles Townes i Arthur Schawlow te došli do spoznaje da se optičkom komunikacijom može prenijeti veća količina podataka. Mnogi inženjeri vjerovali su da će laser biti koristan za prijenos informacija zrakom, ali ubrzo su saznali da oblaci, kiša i drugi atmosferski uvjeti ponekad blokiraju svjetlosni snop zraka. Alternativa je bila slanje laserske svjetlosti duž staklenih vlakana (slično načinu na koji se električni signali šalju duž bakrenih žica). Prvi problem neučinkovitosti javlja se kada se otkrije da su prvi laseri napravljeni od jednog poluvodiča GaAs i samim time upućuju na neučinkovitost. Nisu zadovoljavali uvjete raspršenja snage, dolazi do pregrijavanja



uz veliku potrošnju električne energije za ostvarenje laserske reakcije koja nije bila ostvariva na sobnoj temperaturi.

Sekundarni problem bio je da lasersko svjetlo nije imalo mogućnost putovanja kroz slobodan prostor zbog raspršenja i potpunog gušenja. Iz toga se za prijenos informacija putem svjetlosti na velike udaljenosti trebao napraviti vodič sličan telefonskim linijama kako bi se izbjegli navedeni problemi. S obzirom da su postojali nedostaci koji su bili prisutni prilikom prijenosa optičkih signala kroz atmosferu, razvijale su se različite vrste svjetlovoda koje su kasnije uvjetovale pojavom spoznaje da bi svjetlovodi svojim ujedinjenjem otklonili nedostatke koji su bili otkriveni.

Članak u kojem je naznačeno kako visoki gubici optičkih vlakana nastaju zbog nečistoća unutar stakla su objavili C.Kao i G.Hockham 1966.godine u Engleskoj.

1970. godine Dr. Robert Maurer, Peter Schultz i Donald Keck iz tvrtke Corning Incorporated u Corningu u New Yorku, osmislili su prvo optičko vlakno s malim gubicima, s manje od 20 dB / km (decibela po kilometru). Danas se jednosmjerna vlakna premium razreda prodaju sa specifikacijama od 0,25 dB / km ili boljim [2].

S.B.Poole 1985. godine dolazi do otkrića, naime, dodavanjem dovoljno količine erbiju u staklo za izradu optičkih vlakana moguće je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Staklenom pramenu se dodaje erbij i ugrađuje u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, bez korištenja elektronike.

1991. godine, istraživači iz Bell Laboratories, ustanovili su da potpuno optički sustavi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima

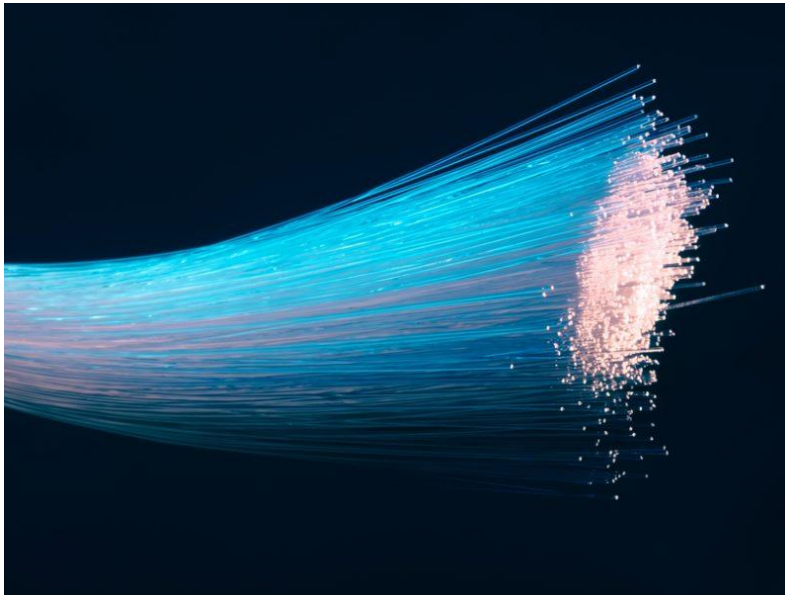
U kratkom roku europske i američke komunikacijske tvrtke postavile su potpuno nove svjetlovođe preko Atlantskog i Tihog oceana te ih pustile u rad 1996. Godine [2].

Današnji prijenos informacija između kontinenata zasniva se na svjetlovodima postavljenim na dnu oceana; na taj način omogućena je brza komunikacija i brz prijenos informacija diljem svijeta. Suvremena svjetska internetska umreženost je zasnovana na brzom i efikasnom prijenosu signala koristeći svjetlovođe.

## 4. SVJETLOVODI

Svjetlovod, ili još poznato pod imenom optičko vlakno, je tanka prozirna nit promjera ljudske vlasi obično je načinjena od stakla visoke čistoće ili polimernoga materijala, kroz koju se prenosi svjetlost, odnosno generira svjetlosni signal električnom pobudom. Najčešće se primjenjuje u medicini (endoskopi), telekomunikacijama i računalnim mrežama, graditeljstvu, brodogradnji, rudarstvu i zrakoplovnoj industriji.

Najvažnija odlika svjetlovodnih sustava je mogućnost efikasnog prijenosa velike količine informacije, uz prilično manje energije u odnosu na druge sustave prijenosa informacija. Optičke svjetlovodne komunikacije uglavnom se izvode dielektričnim valovodima cilindrične strukture, koje nazivamo svjetlovodna (optička) vlakna koja su prikazana na slici 4.1 [2].



*Slika 4.1. Fotografija svjetlovodnih vlakana[6].*

Podjela svjetlovoda se može izvršiti na raznovrsne načine, obzirom na vrstu materijala od kojih je načinjena jezgra i plašt te s obzirom na promjenu indeksa loma i na broj modova koji se mogu prenositi.

## 4.1. Fizika u svjetlovodu

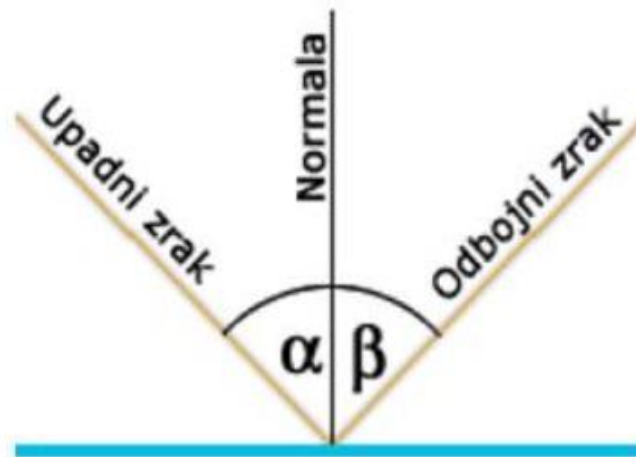
Umjesto da koristi električne impulse za komunikaciju informacija, svjetlovod koristi impulse svjetlosti. Kao rezultat toga, nudi tehnički neograničene mogućnosti izvedbe.

Prolazak svjetlosti kroz optička vlakna zasniva se na dva zakona geometrijske optike:

- zakon odbijanja (refleksije),
- zakon loma (refrakcije) svjetlosti.

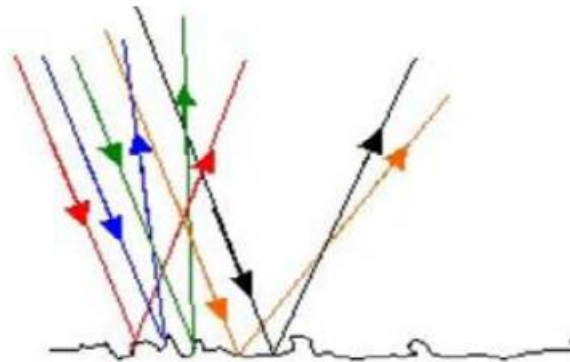
Zakon refleksije opisuje promjenu smjera prostiranja svjetlosti na graničnoj površini dvije optičke sredine gdje se jedan dio odbija, a drugi dio prelama. Ukoliko se svjetlosna zraka odbije o ravnu glatku površinu (površina vode, zrcalo, glatka površina metala...), onda dolazi do usmjerenog odbijanja, odnosno, upadna i odbijena zraka leže u istoj ravnini a kut upadne zrake je jednak kutu odbijene zrake (slika 4.2) [3].

Usmjeravanje putanje zrake svjetlosti kroz svjetlovod počiva na višestrukoj refleksiji svjetlosti unutar svjetlovoda.



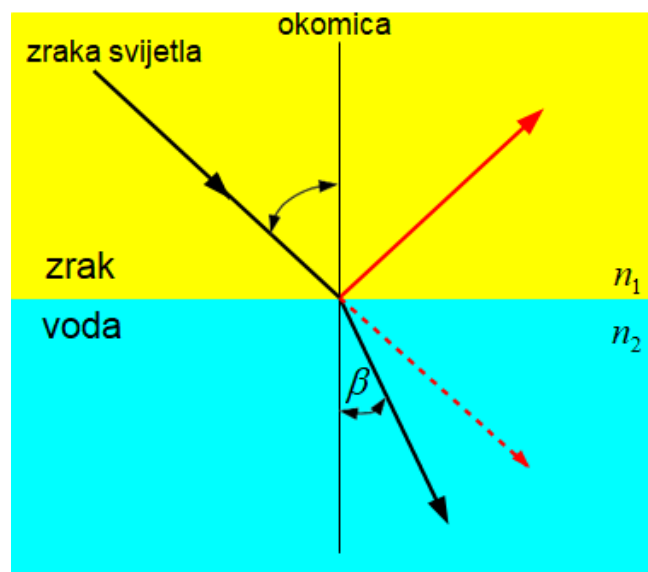
*Slika 4.2. Zakon odbijanja (refleksije) [3].*

Ako je površina na koju svjetlost nailazi neravna, dolazi do pojave koja se naziva difuzno odbijanje svjetlosti gdje se svjetlosne zrake odbijaju u različitim smjerovima. Takva pojava je prikazana na slici 4.3.



*Slika 4.3. Zakon refleksije pri udaru u hrapavu površinu [3].*

Zakon loma (refrakcije) svjetlosti, ili još poznato pod imenom Snellov zakon prikazan je na slici 4.4. Prelaskom zrake svjetlosti iz jednog sredstva u drugo, zraka svjetlosti skreće s prvobitnog smjera unutar drugog sredstva.



*Slika 4.4. Lom svjetlosti pri prolazu iz rjeđeg u gušće optičko sredstvo [2].*

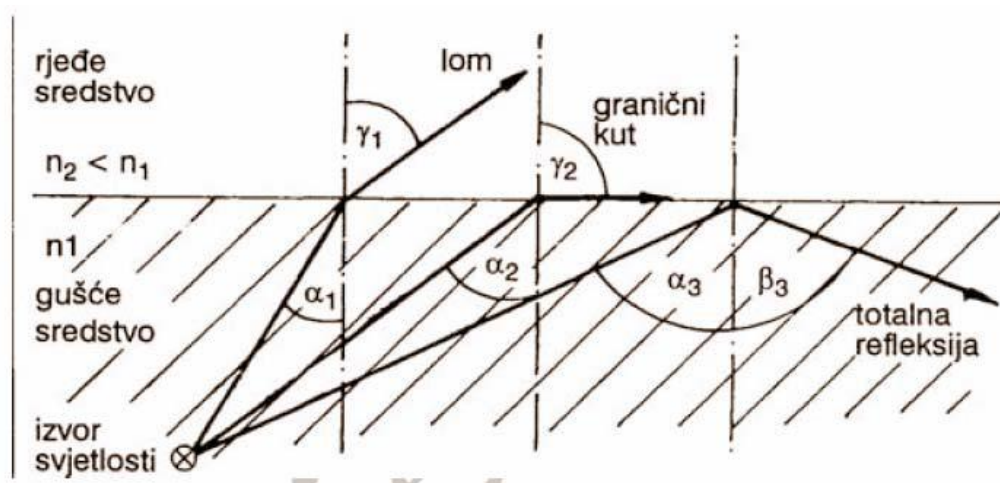
Do promjene smjera dolazi zbog različite brzine svjetlosti u sredstvima, koji se nazivaju optičkim medijima. Svjetlost ima veću brzinu u optički "rjeđem" sredstvu, dok kod optičkog "gušćeg" sredstva je brzina manja. Za opis različitih brzina svjetlosti, uvodi se veličina naziva indeks loma  $n$ , a definirana je kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu  $c$  i brzina svjetlosti u sredstvu  $v$ , odnosno: 
$$n = \frac{c}{v} \quad (4-1)$$

Kada zraka svjetlosti prelazi iz optički rjeđeg u optički gušći medij, ona se lomi prema okomici granice medija. Lomljena zraka, upadna zraka te okomica na dva medija se nalaze u istoj ravnini. Omjer sinusnog upadnog kuta  $\alpha$  i kuta loma  $\beta$  jednak je omjeru indeksa loma sredstva kroz koje prolazi lomna zraka  $n_2$  i sredstva kroz koje prolazi upadna zraka  $n_1$ , odnosno :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1,2} \quad [4]. \quad (4-2)$$

Navedena relacija je poznata kao Snellov zakon loma svjetlosti. Omjer indeksa loma se zove relativni indeks loma  $n_{1,2}$ .

Pojava potpune refleksije je temelj djelovanja svjetlovoda, što prikazuje slika 4.5.



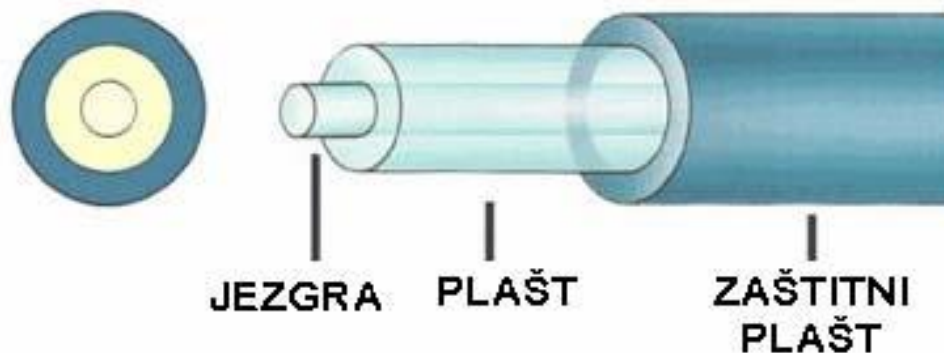
Slika 4.5. Totalna refleksija svjetlosti [5].

Prema [4]: "Kada zraka svjetlosti upada na graničnu plohu iz optički gušćeg medija u optički rjeđe, ona se lomi od okomice na graničnu plohu. Ako se upadni kut povećava, dolazi se do graničnog (kritičnog) kuta upada koji iznosi  $90^\circ$ ."

Iz Snellovog zakona dobiva se  $\sin\alpha_g = n_{1,2}$ , gdje je  $\alpha_g$  iznos upadnog kuta zrake svjetlosti. Povećanjem upadnog kuta dolazi do pojave potpune refleksije, odnosno zraka svjetlosti neće napustiti optički gušće sredstvo.

## 4.2 Konstruktivna izvedba svjetlovoda

Svjetlovodi sadržavaju jezgru, plašt, zaštitni plašt (koji se sastoji od primarne zaštite i sekundarne zaštite), kao što je prikazano na slici 4.6.



*Slika 4.6. Prikaz svjetlovodnog kabela[1].*

Jezgra može biti izrađena od plastične mase, kvarcnog stakla ili višekomponentnog stakla. Promjer jezgre može biti od nekoliko milimetara ukoliko se radi o monomodnim vlaknima i čak do nekoliko stotina milimetara ukoliko je riječ o višemodnim vlaknima. Jezgra služi za prijenos signala u svjetlovodu.

Plášť, ili još poznato pod imenom odrazni plášť, se izrađuje od istog materijala kao i jezgra. Razlika je da se jezgra obično izrađuje s 0,5 do 2% većim indeksom loma od plášťa. Funkcija plášťa u svjetlovodu služi isključivo za odbijanje svjetlosnih zraka natrag u jezgru.

Zaštitni plášť se koristi kao zaštita samog svjetlovoda, a sastoji se od primarne i sekundarne zaštite. Primarna zaštita se najčešće izrađuje od tankog sloja plastične mase, visokoperformirane plastike (PVC), višeslojnih polimera, i tvrdih neporoznih elastomera. Služi za mehaničku zaštitnu jezgre i odraznog plášťa te se nanosi ekstruzijom nakon izvlačenja svjetlovoda. Sekundarna zaštita se uglavnom izrađuje od debljeg sloja plastične mase, koji se nanosi na vlakno s primarnom zaštitom, tijesno (*tight*) ili labavo (*loose*), s ili bez punjenja posebnom masom. Sekundarna zaštita služi za dodatnu zaštitu optičkog vlakna te za zaštitu od kemikalije i vlage.

Vlakna se proizvode za točnu određenu namjenu. Nečistoća i rafiniranost sirovina znatno utječu na kvalitetu svjetlovoda, kao i na način proizvodnje.

### **4.3. Materijali za izradu svjetlovodnih vlakana**

Optička vlakna se obično izrađuju od stakla na bazi  $\text{SiO}_2$ , plastičnih materijala, višekomponentnih stakla te stakleno plastičnih vlakana [2].

Najbolja današnja svjetlovodna vlakna se izrađuju od kvarcnog stakla ( $\text{SiO}_2$ ). Uz dodatke je moguće povećati indeks loma kvarcnog stakla tako da se može upotrebljavati kao jezgra. Mogući dodaci su germanijev (IV) oksid ( $\text{GeO}_2$ ) i fosforov (V) oksid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Bez navedenih dodataka,  $\text{SiO}_2$  se koristi isključivo kao omotač.

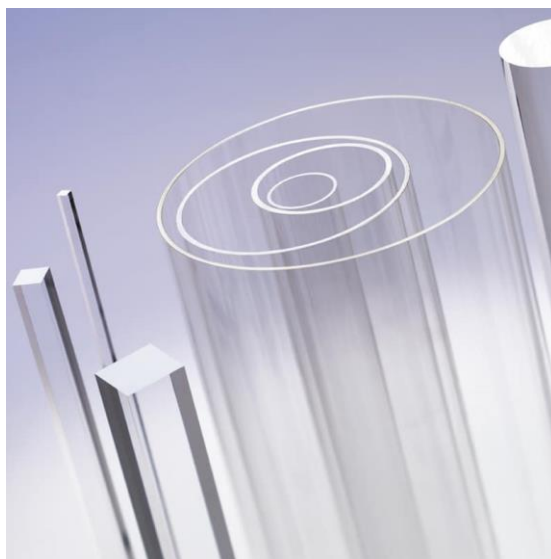
Bitne značajke plastičnih vlakana su jednostavnost rukovanja i spajanja međusobno s izvorom te mala masa. Amorfni polimeri se upotrebljavaju kao jezgra, dok za omotač se upotrebljavaju fluoro-polimeri [2].

Za proizvodnju jeftinijih staklenih vlakana se koriste višekomponentna stakla koja se proizvode od silicijev(IV) oksida ( $\text{SiO}_2$ ), natrijevog dioksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) i kalcijevog oksida ( $\text{CaO}$ ).

Vlakna od  $\text{SiO}_2$ , radijusa 0,2 do 0,1 mm s omotačem od polimera se upotrebljavaju ukoliko se traže vlakna s velikim numeričkim otvorom (NA).

Najrasprostranjeniji svjetlo vodi su s jezgrom od stakla. Odlikuje ga mala atenuacija te su izrađeni od vrlo čistog i prozirnog silicijevog dioksida,  $\text{SiO}_2$ , ili lijevanog kvarca. Dodavajući bor i fluor, smanjuje se stupanj lomljenja svjetlosti a dodavajući titan ili fosfor povećava se stupanj refrakcije. Također dodavanjem navedenih primjesa, povećava se atenuacija signala, bilo apsorpcijom svjetlosti ili njenim raspršenjem. Ovakvi oblici svjetlovoda imaju višu cijenu.

Svjetlo vodi od polimernih masa imaju najveću atenuaciju signala i većih su dimenzija od ostalih predstavnika svjetlovoda. Budući da su jeftiniji, obično se koriste u industrijskim postrojenjima, ali imaju negativno svojstvo da su zapaljivi stoga je potrebno provlačiti ih kroz temperaturno izolirane cijevi. Jezgra se uglavnom sastoji od plastomernog materijala, od kojih je najvažniji polimetil-metakrilat (PMMA), poznat pod imenom pleksi-staklo (slika 4.7).



*Slika 4.7. Pleksi-staklo [14]*

Pleksi-staklo sadrži bolje optičke karakteristike od stakla. Propušta 90% do 95% bijele svjetlosti te 75% ultraljubičastog zračenja, pa se često naziva organskim staklom. Plašt se sastoji od fluoropolimera.



## 4.4. Podjela svjetlovodnih kabela prema indeksu loma i modu rada

Koristeći refleksiju za prijenos svjetlosti u svjetlovodima, prilikom refleksije se javljaju polja različitih energija koja se opisuju diskretnim skupom elektromagnetskih valova, koje predstavljaju modove rada.

Broj modova rada optičkog vlakna ovisi o:

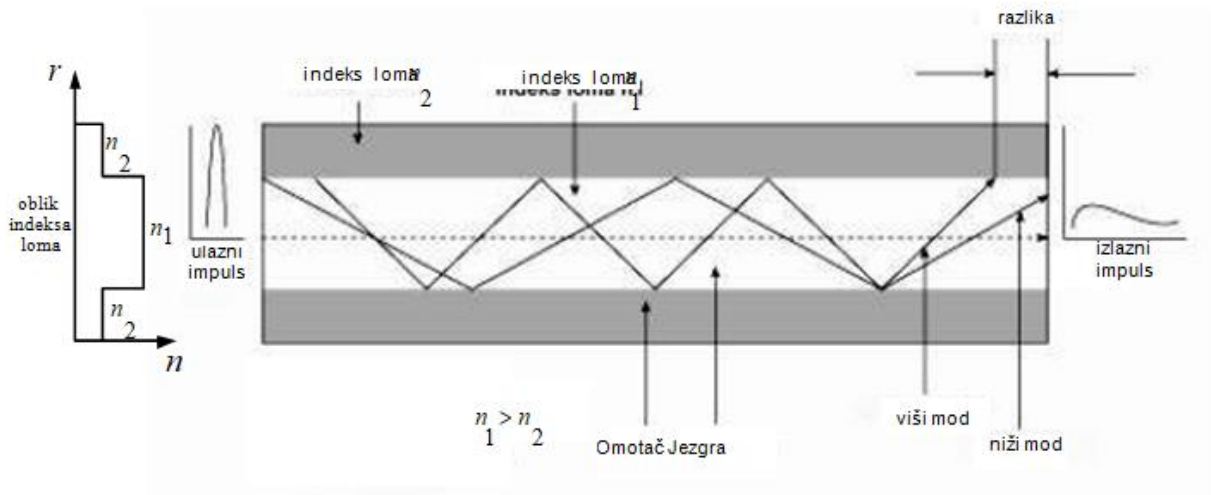
- numeričkom otvoru (NA),
- valnoj duljini na kojoj rade i
- promjeru jezgre svjetlovoda [2].

Obzirom na način širenja svjetlosti unutar jezgre, odnosno obzirom na geometrijske karakteristike, svjetloводе dijelimo na:

- višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma,
- višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma,
- jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma.

### 4.4.1. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (MMF – multimode fiber)

Bitna značajka ovoga tipa svjetlovoda je promjer jezgre. Valne duljine zrake su daleko manje od promjera jezgre te je to razlog rasipanja svjetlosti u više zraka, odnosno postoji više puteva širenja svjetlovodne trake. Modovi propagiraju s jednog kraja na drugi. Viši modovi prikazani su kao reflektirane zrake, odnosno povećanjem moda raste i razmak između točaka gdje se dogodila refleksija. Dok najniži modovi putuju uzduž osi svjetlovodne niti. Na slici 4.8. se vidi da je signal na izlazu proširen i prigušen.

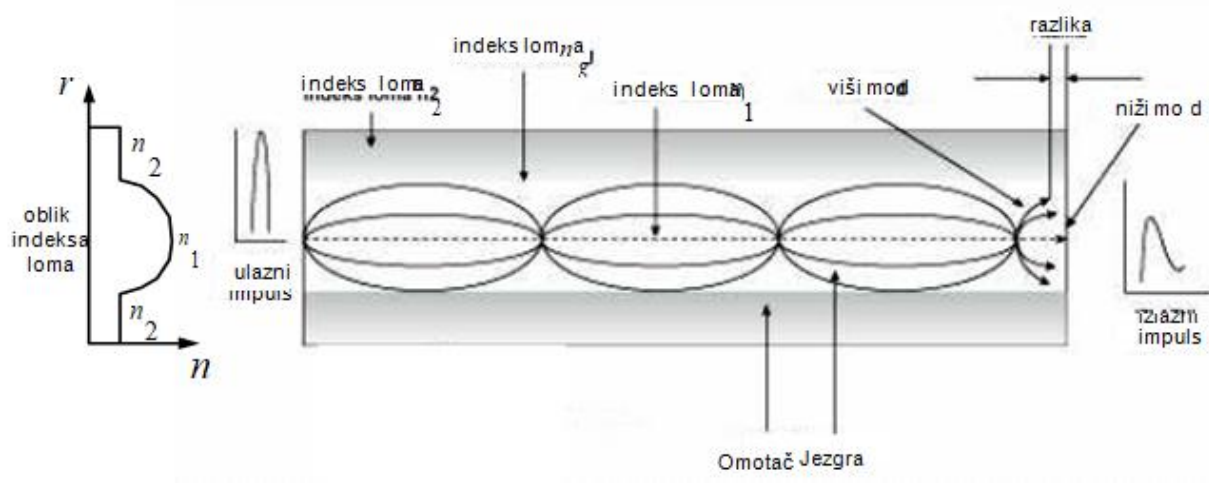


**Slika 4.8.** Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma [2].

Prigušenje će se pojaviti kao uzrok toga što polje na granici gdje se pojavljuje refleksija eksponencijalno pada, te djelomično zrake dijelom prelaze u plašt tokom refleksije. Pri tomu akumulira se toplina i snaga zrake opada, zbog toga je izlazni signal prigušen. Kromatsko raspršenje javi se kako posljedica ne prolaska modova istim putem od početka sve do kraja. Najniži mod prevali najkraći put dok najviši prevali najduži put. Razlog toga je što sve zrake ne stignu istovremeno na završetak svjetlovodne niti, te spajanjem pristiglih zraka u jednu pojavi nam se vremenska disperzija. Ovakav oblik svjetlovoda specifikira veće gušenje signala, te zbog toga ih koristimo za udaljenosti do 5 km [7].

#### 4.4.2. Višemodni svjetlovod s gradijntnim indeksom loma

Višemodni svjetlovod koji s gradijntnim indeksom loma posjeduje indeks loma koji je promjenjiv po paraboli od centra jezgre do plašta. Na slici 4.9 prikazan je višemodni svjetlovod s gradijntnim indeksom loma.

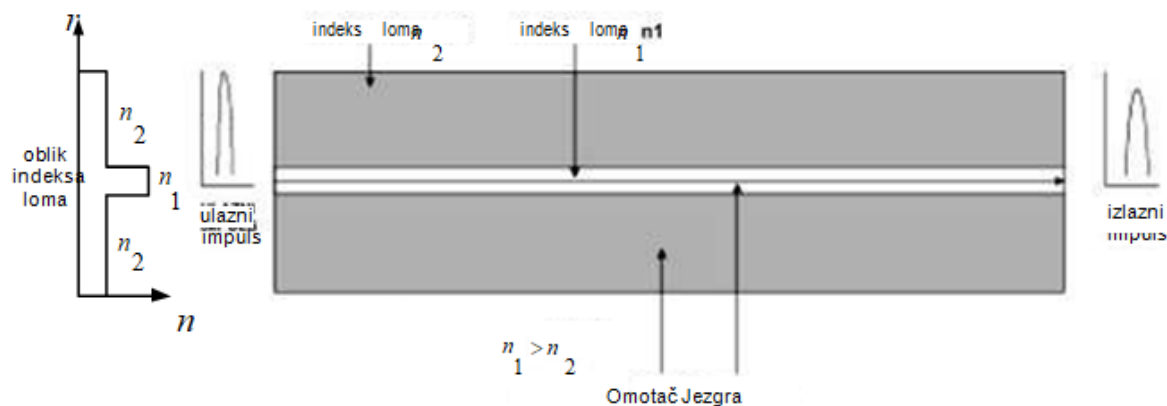


*Slika 4.9 Prikaz višemodnog svjetlovoda sa gradijentnim indeksom loma [2].*

Ovakva vrsta svjetlovoda sadržava indeks loma koji je promjenjiv po paraboli od centra jezgre do plašta. Ova vrsta svjetlovoda je ograničena, pa je samim time i prigušenje ograničeno. U slučaju promjene modova, oni će se mijenjati prema gradijentu indeksa loma. Prisutno je postojanje vremenske disperzije, no kako su viši modovi ograničeni, sukladno tomu disperzija i gušenje su ograničeni. Izlazni impuls je prigušeni vremenski razvučen, ali nije kao kod stepeničastog indeksa loma višemodnog svjetlovoda. Uz plašt od 125  $\mu\text{m}$ , odabire se promjer jezgre od 50, 62,5 i 85  $\mu\text{m}$ . Spomenuti svjetlovod većinom je izrađen od stakla [1].

#### **4.4.3. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma (SMF – Single mode fiber)**

Posebna karakteristika SMF svjetlovoda je da je omotač puno većeg promjera u odnosu na jezgru. Upravo zbog manjeg promjera jezgre, ne dolazi do razdvajanja zrake svjetlosti pa se svjetlovodom širi samo jedan mod (slika 4.10).



*Slika 4.10 Prikaz jednomodnog svjetlovoda sa stepeničastim indeksom loma [2].*

Kabeli sa jednomodnim nitima se koriste za prijenos signala na najveće udaljenosti te za najveće brzine. Razlog tomu je što spomenuti kabeli ne stvaraju gubitke uslijed zagrijavanja te također nema vremenske disperzije. Krična valna duljina gdje se pojavljuje drugi mod rada koji se propagira kroz plašt te zbog toga stvara gubitke nazivamo "*cutoff wavelength*". Valna duljina se povećava u odnosu na kritičnu te kao rezultat toga je početak javljanja gubitaka osnovnog moda te sve više energije prelazi u plašt. Posljedica toga je prigušenje i vremenska disperzija izlaznog signala. Za slučaju malog prigušenja dobijemo rezultat prenošenja signala na velike udaljenosti, a uslijed malog rasipanja dolazi do veće širine prijenosnog pojasa. U odnosu na ranije spomenute multimodne svjetlovođe, ovaj tip svjetlovoda sadrži mnogo bolje karakteristike te zbog toga dovodi do smanjena cijena takvih kabela koji se danas sve češće ugrađuju [7].

#### **4.5. Karakteristike svjetlovodnih prijenosnika**

Prednosti svjetlovodnih prijenosnika u usporedbi s prijenosnicima na bazi bakrenog vodiča, uključuju gotovo potpuni izostanak interferencije, zanemarivo prigušenje i velika širina pojasa. Zbog malog poprečnog presjeka jezgre svjetlovoda se ostvaruje značajni kapacitet prijenosa informacija. Karakteristike svjetlovoda se mogu podijeliti na nelinearne i linearne. Na nelinearne karakteristike utječu parametri, kao što su brzine prijenosa i razina snage.

### **4.5.1. Prigušenje**

Optička snaga svjetlosti unutar svjetlovoda se prigušuje putem transmisije. Prigušenje je uzrokovan gubitkom svjetlosti, a dijele se na unutrašnje izvore prigušenja (koji se najčešće javljaju zbog nečistoća u materijalu čime dolazi do apsorpcije svjetlosti unutar niti) i na vanjske izvore prigušenja (javljaju se primjerice pri fizičkom savijanju svjetlovoda, čim se mijenja mijenja put zrake).

Prigušenje, iskazano u dB/km, se može mjeriti upotrebom lasera, svjetleće diode ili kalibriranog svjetlosnog izvora. Prigušenje odgovara jediničnoj valnoj duljini za odgovarajuću boju, što znači da mogu postojati različite vrijednosti prigušenja za različite spektre. Za bijelu svjetlost se određuje prosječna vrijednost, jer na promjenu boje svjetla utječu tip žarulje koja se upotrebljava kao izvor, uz njezinu kalendarsku starost, te konstrukcijskog materijala svjetlovoda. Prosječno prigušenje bijele svjetlosti je bezvrijedan podatak jer se ne može točno odrediti prigušenje određene boje unutar spektra koristeći isključivo tu informaciju. Gubici najčešće iznose od 3% do 10% po metru svjetlovoda. Za smanjivanje prigušenja se koristi pojačala svjetlosnog signala postavljena na svakih 10 km, ili više, duljine svjetlovoda [5].

Prigušenje unutar svjetlovoda ovisi i o vrsti materijala. Najmanje prigušenje će imati svjetlovodi od kvarcnog stakla (0,5-2 dB/km), veći iznos prigušenja će imati silikatno staklo (5-10 dB/km), plastične mase posjeduju znatno veće iznose prigušenja. Vrsta vlakana unutar svjetlovoda je također povezana s iznosom prigušenja, Najmanje iznose prigušenja imaju jednomodna vlakna s tipičnim iznosima prigušenja u rasponu od 0,3 do 1 dB/km, višemodna vlakna s gradijentnom promjenom indeksa loma imaju veće iznose prigušenja tipično od 1 do 5 dB/km, a najveći iznosi prigušenja, od 5 do 10 dB/km, su karakteristična multimodnim vlaknima sa stepeničastom promjenom indeksa loma. U konačnici prigušenje će inherentno ovisiti o upotrijebljenoj valnoj duljini svjetlosti [2].

### **4.5.2. Interferencija**

Svjetlovodi imaju intrinzično svojstvo neosjetljivosti na elektromagnetske interferencije (EMI) i radio-frekvencijske interferencije (RFI). Svjetlosne i visokonaponske interferencije su također

zanemarive. Upotreba svjetlovoda je stoga pogodna na lokacijama čestih smetnji uzrokovanih naponskim udarima i smetnji generirane elektrostatskim pražnjenjima; česta primjena svjetlovoda je upravo u industriji i u područjima biomedicine [1].

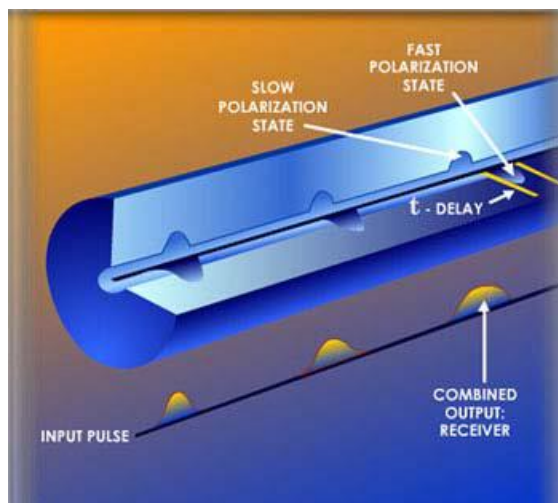
### 4.5.3. Disperzija

Disperzija, ili raspršenje, je pojava proširenja svjetlosnih impulsa pri prijenosu čime se ograničuje širinu propusnog pojasa svjetlovoda. Ukupna disperzija u svjetlovodu je uzrokovana dvjema vrstama disperzije: kromatska koja može biti materijalna i valovodna, te nekromatska koja može biti međumodna i polarizacijska.

Kromatska disperzija unutar materijala nastaje zbog toga što je indeks loma materijala ovisan o frekvenciji, odnosno valnoj duljini, svjetlosne zrake koja prolazi kroz njega. Posljedica toga je da pojedine svjetlosne zrake pristižu na kraj svjetlovoda s različitim vremenskim odmacima, odnosno događa se disperzija svjetlosti. U svjetlovodima koji imaju skokovitu promjenu indeksa loma, disperzija iznosi od 2 do 5 ns/km. Svjetlovodi čija jezgra ima gradijentnu promjenu indeksa loma, disperzija je u rasponu od 0,1 do 2 ns/km [8].

Međumodna disperzija je nekromatska disperzija koja je uzrokovana različitim grupnim faznim brzinama pojedinih modova čime pristižu na kraj svjetlovoda s različitim vremenskim zakašnjenjima. Međumodna disperzija za multimodne svjetlovođe sa skokovitom promjenom indeksa loma iznosi manje od 20 ns/km, a za multimodne svjetlovođe s gradijentnom promjenom indeksa loma disperzija tipično iznosi ispod 50 ps/km [8].

Polarizacijska disperzija je nekromatska disperzija uzrokovana nesavršenom geometrijskom konstrukcijom jezgre svjetlovoda; presjek jezgre nije idealan krug, nego je elipsoid. Karakteristična je pojava za jednomodne svjetlovođe unutar kojih se zrake svjetlosti šire kroz središte vlakna s dva ortogonalna polarizacijska moda, gdje nastaju promjene u indeksu loma zbog polarizacije [8]. Posljedično se javlja različita grupna brzina koja proširuje originalni impuls, slika 4.11.



*Slika 4.11. Polarizacijska disperzija [8]*

Zbog polarizacijske disperzije se za rezervu uzima 0,5 dB snage više od planirane [8].

#### **4.5.4. Širina propusnog pojasa**

Definicija širine propusnog pojasa svjetlovoda je spektar frekvencija unutar kojeg se amplitude impulsa ne smanjuju ispod polovice početnog iznosa. Analogno je smanjenju amplitude električnog signala na izlazu za 6 dB , tj. smanjenju razine optičke snage signala za 3dB. Ova karakteristika svjetlovoda je povezana s ranije navedenom disperzijom te ovisno o tipu svjetlovoda tipično iznosi:

- tisuće MHz za monomodni sa skokovitom promjenom indeksa loma,
- stotine MHz za multimodni s kontinuiranom promjenom indeksa loma,
- desetine MHz za multimodni sa skokovitom promjenom indeksa loma [8].

#### **4.5.5. Optički odnos signal – šum**

Odnos signal-šum je odraz kvalitete prijenosa signala, a vezan je uz BER (učestalost pogrešnih bitova, eng. *Bit error rate*) i faktor dobrote Q koji definira minimalni OSNR (*Optical Signal to NoiseRatio*) kojim se ostvaruje željeni BER za određeni signal [8].

#### **4.5.6. Vrijeme porasta**

Vrijeme porasta je parametar koji omogućuje procjenu funkcioniranja dijelova sustava potrebnom brzinom. Vrijeme porasta omogućuje obilježja disperzije svjetlovodne niti, uzrokovane međumodnom disperzijom i/ili kromatskom disperzijom. Ukupno vrijeme porasta sustava je u praksi jednako 1,1 puta euklidska norma vremena porasta svih elemenata sustava (višemodno, kromatsko i vrijeme porasta ostalih utjecajnih veličina) [2].



## 5. PRIMJENA I POLAGANJE SVJETLOVODNIH MATERIJALA

Dugo godina bakrene žice bile su najčešće korišteni materijal za mrežnu komunikaciju u cijelom svijetu, sve dok se nisu pojavila optička vlakna. Optička vlakna koriste se za mnoge primjene u gotovo svakoj industriji. Najčešća primjena je u kabelskim strukturama koje se koriste za prijenos svjetlosti ili podataka.

Danas su ti kabeli gotovo izbrisali tradicionalne metode umrežavanja, koje koriste metalne žice pružajući veću propusnost i prenoseći podatke na veće udaljenosti.

### 5.1. Proces proizvodnje svjetlovodnog kabela

Standardna optička vlakna izrađuju se tako da se prvo izgradi "predforma", promjera 2 do 4 cm, s pažljivo kontroliranim profilom indeksa loma, a zatim "povuku" predformu kako bi oblikovale dugo, tanko optičko vlakno. Za dobivanje predforme koriste se postupci kemijske depozicije: vanjska, unutarnja i aksijalna [2].

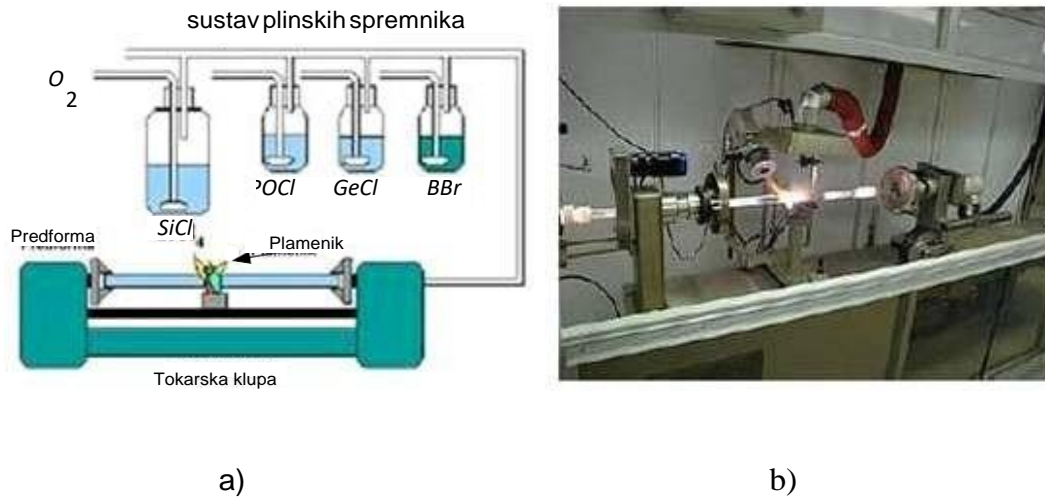
Prvi korak u proizvodnji staklenih optičkih vlakana je izrada čvrste staklene šipke, poznate kao predoblik. Izuzetno čiste supstance - prvenstveno silicijev tetraklorid ( $\text{SiCl}_4$ ) i germanij tetraklorid ( $\text{GeCl}_4$ ) - pretvaraju se u staklo tijekom proizvodnje predforme.

Postupkom *vanjske depozicije* (slika 5.1) kisik se propušta kroz otopine silicijevog klorida ( $\text{SiCl}_4$ ), germanijevog klorida ( $\text{GeCl}_4$ ) i drugih kemikalija. Pare plina usmjeravaju se u unutrašnjost sintetičke kvarcne cijevi od silicijevog dioksida u posebnoj tokarilici kako bi oblikovale oblogu. Dok se tokarski stroj okreće, plamen se pomiče naprijed-natrag s vanjske strane cijevi.

Visoka toplina plamenika uzrokuje sljedeće:

- Silicij i germanij reagiraju s kisikom stvarajući silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) i germanijev dioksid ( $\text{GeO}_2$ ).

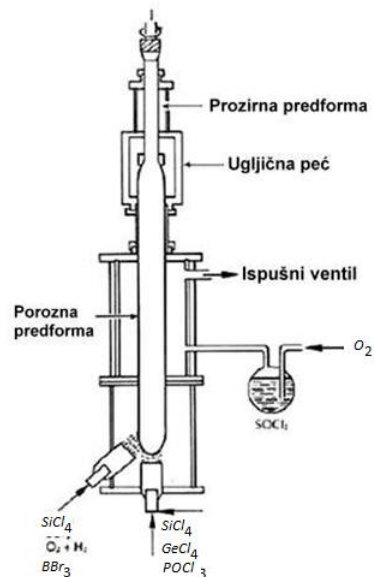
- Silicijev dioksid i germanijev dioksid talože se na unutarnjoj strani cijevi i oni se stapaju stvarajući staklo.



*Slika 5.1. a) Prikaz proizvodnje i b) stvarni prikaz vanjskog kemijskog depozicijskog sustava za proizvodnju svjetlovodnih vlakana [2].*

Postupkom unutarnje depozicije svjetlovodna vlakna se proizvode na način da je gubitak signala koji se prenosi minimalan. Pri ovom postupku cijev će se zagrijati na temperaturi između 1400°C i 1700°C dok kroz nju prolazi smjesa plinova. U cijevi će se stvoriti porozni sloj koji formira porozno staklo. Smjesa plinova se regulira u ovisnosti koje su željene karakteristike stakla.

Aksijalna depozicija je vrlo važan proces i čini velik dio svjetske proizvodnje vlakana. Prvotno je zamišljen kao postupak koji će imati puno niže troškove. Proizvodi velike predforme koje se mogu izvući na duljinu do 250 km vlakana. Stroj za proizvodnju predforme prikazan je na slici 5.3.

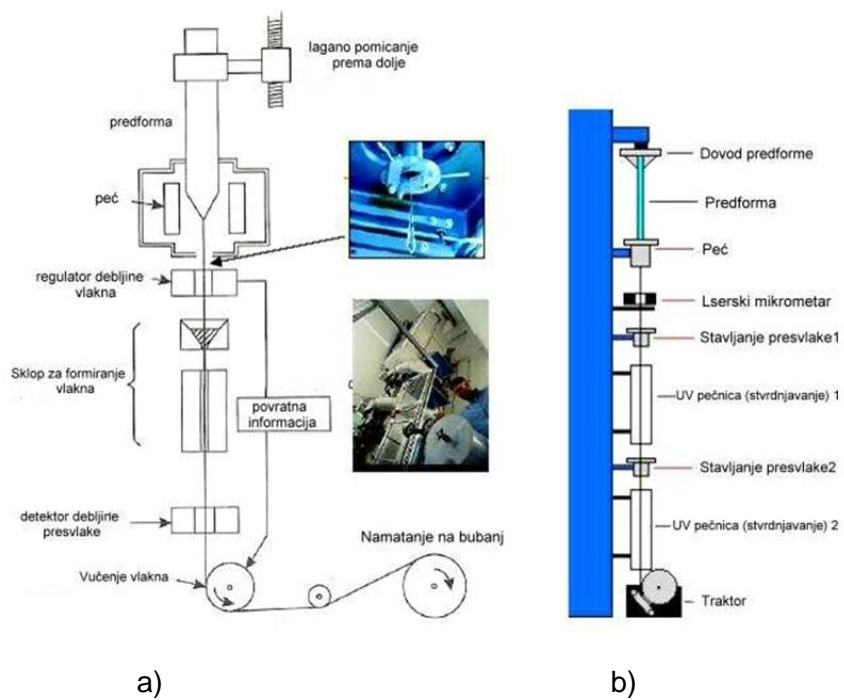


VAD  
proces sinteriranja predforme



Slika 5.3. Postupak aksijalne depozicije [2].

Sljedeći korak u procesu proizvodnje optičkih vlakana je pretvaranje proizvedene predforme u vlakno u stroju za izvlačenje, što se može vidjeti na slici 5.4.



Slika 5.4. Dobivanje vlakna iz predforme a) shematski prikaz b) stvarni izgled u proizvodnji [2].

Predforma prvo prolazi kroz elektrootpornu peć, gdje se zagrijava na oko 2000 °C. Slijedi spuštanje štapa u peć, a jednom kada se dosegne točka omekšavanja predforme, izvlači se na donjem kraju.

Ovaj se postupak precizno kontrolira laserskim mikrometrom za mjerenje debljine vlakna. Te se informacije zatim vraćaju natrag u mehanizam traktora. Traktorski mehanizam vuče vlakna brzinom od 10 do 20 m/s, a gotov proizvod se namotava na bubanj. Bubanj može sadržavati više od 2,2 km optičkih vlakana.

Nakon toga se vlakno kontrolira kako bi se osiguralo da proizvod održava zadana optička i mehanička svojstva i udovoljava zahtjevima kupca.

## **5.2. Postavljanje svjetlovodnih kabela u kanalizacijskim cijevima**

Kanalizacijski sustavi u gradovima osmišljeni su i izgrađeni kao mreža. Obzirom na veliku potražnju za podatkovnom komunikacijom velike brzine i pružanjem optičke mreže u gradovima idealno rješenje je postavljanje svjetlovodnih kablova na gornji zid kanalizacijske cijevi.

Prednosti polaganja svjetlovodnih kabela na ovaj način su sljedeće:

- tvornička duljina (1000 - 2000 m);
- najmanji dopušteni polumjer savijanja (normalno 15 puta veći od vanjskog promjera kabela);
- najveća dopuštena vučna sila (za nearmirani kabel oko 1 KN, a za armirani kabel oko 4 KN) [9].

Ovo je postala poželjna metoda instalacija za gradove koji žele iskoristiti postojeću infrastrukturu.

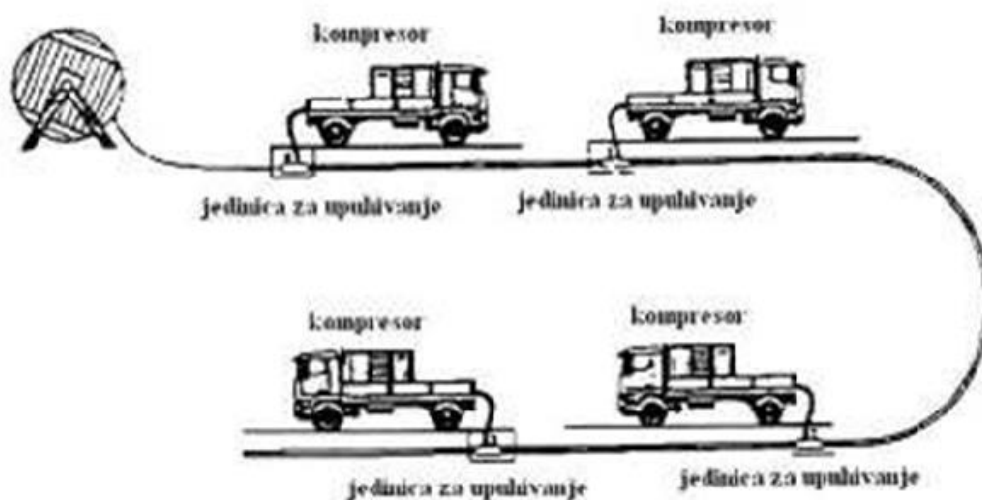
### 5.2.1. Ručno postavljanje svjetlovodnog kabela

Ručno postavljanje svjetlovodnih kabela idealno je za postavljanje na manjim dionicama, kod nemogućnosti spajanja cijevi, za postavljanje kroz određne profile cijevi, i slično. Takav način postavljanja je vrlo težak posao i vrlo spor.

Ručno postavljanje se radi na način da se kabeli sa bubnjeva na koji su namotani ugravaju u cijev. Međutim, kako udaljenost na koju se oni trebaju postaviti postaje veća tako se javlja i potreba da se više radnika rasporedi kako bi vukli kabel u isto vrijeme.

### 5.2.2. Upuhivanje svjetlovodnog kabela u cijev

Upuhivanje svjetlovodnog kabela u cijev idealno je za kabele manjeg promjera i manje mase jer omogućuju veću udaljenost puhanja. Maksimalna sila potiskivanja kabela smanjit će se s povećanjem unutarnjeg promjera kanala, smanjujući dostižnu udaljenost puhanja. Udaljenost puhanja izravno je povezana s masom kabela, primjenjenim tlakom i trenjem s unutarnje strane cijevi. Kabel se može uspješno puhati i više od 2 km kada se koristi kaskadni spoj jedinica, a upuhivanje se događa istovremeno. Dva su oblika upuhivanja: upuhivanje s raketom na početku kabela i upuhivanje bez rakete na početku kabela. Slika 5.5. prikazuje upuhivanje bez rakete.



*Slika 5.5. Upuhivanje svjetlovodnog kabela u cijev(bez rakete)[2]*

Upuhivanje bez rakete se sastoji od potiskivanja kabela traktorskim mehanizmom tijekom upuhivanja komprimiranog zraka u unaprijed instalirani kanal kako bi kabel plutao u kanalu i smanjio trenje. Protok zraka pomaže "plutanju" kabela unutar kanala i smanjuje trenje između kabela i kanala, što omogućuje guranje kabela na velike udaljenosti u kanalu. Kod upuhivanja s raketom na početku diferencijalni tlak na raketi stvara vučnu silu na kablju [2].

### 5.2.3. Postavljanje svjetlovodnih kabela pomoću robota

Za postavljanje svjetlovodnih kabela pomoću robota bitno je poznavati infrastrukturu mjesta na kojemu će se vršiti postavljanje svjetlovodnih kabela. Položaj i ostale vrlo bitne informacije o stanju kanalizacijskog sustava, položaj cijevi, veličina te je također bitno koliko je kanalizacijski sustav održavan odnosno očišćen. Slika 5.6 prikazuje postavljanje svjetlovoda uz pomoć robota.



*Slika 5.6. Postavljanje kabela pomoću robota*

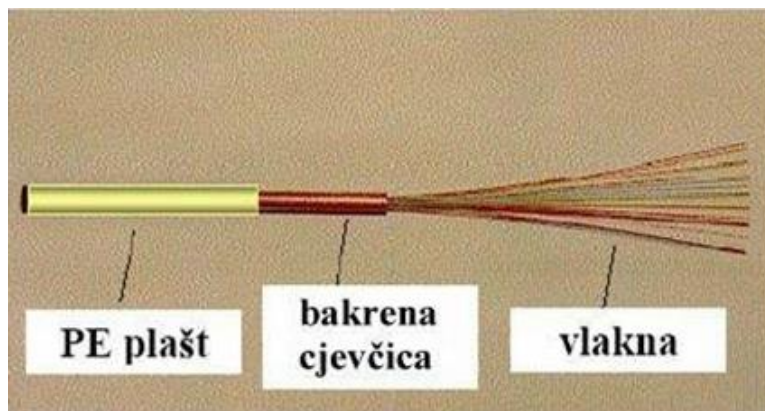
Uz sve navedene informacije vrlo je bitno znati položaj građevina koje se povezuju, te na osnovu nacрта, skica i dogovora odabiremo zadovoljavajuću rutu. Kanalizacijske cijevi prije postavljanja svjetlovoda potrebno je očistiti vodom, nakon toga puštamo robota koji je opremljen adekvatnim video prijenosom koji nam prenosi uživo sliku iz cijevi. Prije postavljanja svjetlovoda ukoliko se pronade oštećena cijev potrebno je oštećenje sanirati kako bi se uspješno postavio svjetlovod. Kabel se postavlja unutar najbližih kanalizacijskih otvora. Nakon puštanja robota u kanalizaciju s

njime se upravlja preko daljinskog upravljača. Svjetlovod je potrebno postaviti tako da ne ometa protok kanalizacije [2].

#### 5.2.4. Postavljanje svjetlovodnih kabela u nogostupe i kolnike

Ponekad kanalizacijski sustav nije pogodan za postavljanje svjetlovodnih kabela ponajviše zbog svoje starosti gdje postavljanje kabela nije sigurno. Tada se prvenstveno mora postaviti cijev koja će ojačati strukturu, a u nju se ugrađuje svjetlovodni kabel. Ovaj način se pokazuje neisplativim zbog čega se predlaže ugradnja svjetlovodnih kabela u kolnike i nogostupe. Nakon što se u nogostup usiječe mjesto za kabel, kabel se treba umetnuti te se obnavlja iskorištena površina. Iako se ovaj način pokazuje najjeftinijim zbog tragova koje ostavlja na kolniku ili nogostupu neki gradovi zabranjuju njegovu implementaciju na područjima s kvalitetnom podlogom.

Svjetlovodni kabel koji se koristi u MCS-Road sustavu (slika 5.7.) sastoji se od najviše 144 vlakna.



*Slika 5.7. Izgled MCS – road svjetlovodnog kabela[2].*

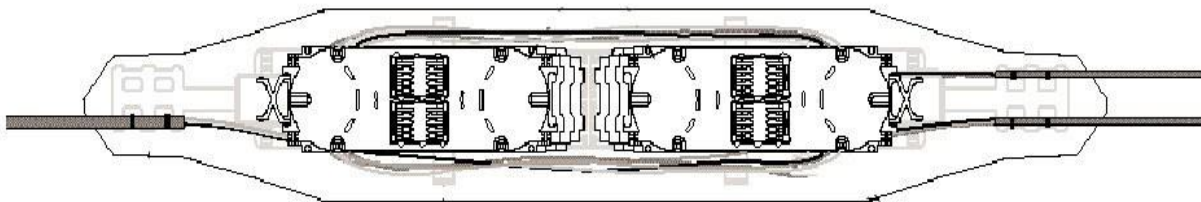
Središnja cjevčica sekundarne zaštite izrađena je od bakra, a oko cjevčice je površinski sloj izrađen od polietilena velike gustoće. Klasična metoda ugradnje kabela u gradsku mrežu, zamjenjena je boljim i jeftinijim načinom. Moderniji načini obilježeni su manjom potrebom za radnom snagom što rezultira manjom cijenom, ali i većom brzinom postavljanja. Iz tog razloga gradovi su podložniji odabiru upravo ovakvih načina ugradnje [2].

### 5.3. Spajanje optičkih kabela

Prije povezivanja potrebno je obraditi krajeve kabela, odnosno otkloniti slojeve i zasijeći. Nastavljanje se obavlja u spojnicama koje po tipu se razlikuju na ravne i račvaste.

Spojnice se montiraju na kabel na dva načina, hladnim postupkom ili toplim postupkom. Hladni postupak podrazumijeva mehaničko stezanje gumenih brtvila i plastične ljepljive vrpce. Dok se pod toplim postupkom podrazumijeva ulijevanje rastvorene mase u kalup i termoskupljajući materijali [9].

Na slici 5.8 je prikazan uložak spojnice.



*Slika 5.8. Uložak spojnice za svjetlovodne kabele[9]*

Spojene svjetlovodne niti postavljaju se na poseban uložak u spojnici za svjetlovodne kabele.

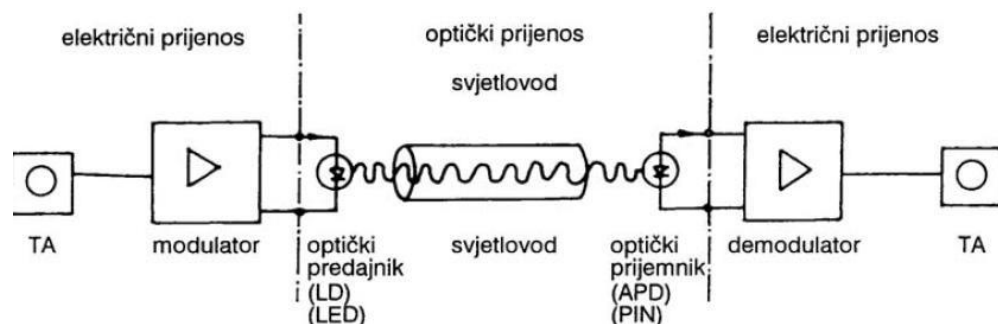


## **5.4. Primjena svjetlovodnih materijala**

Optička vlakna koriste se u mnogim telekomunikacijskim tvrtkama za prijenos telefonskih signala, internetskih komunikacija i signala kableske televizije. Također se koristi u mnoštvu drugih industrija, uključujući medicinsku. Osim što služi telekomunikacijama, koristi se kao svjetlosni vodič, za alate za snimanje, lasere i kao senzori za mjerenje tlaka i temperature.

### **5.4.1. Komunikacija**

Napretkom tehnologije iz dana u dan, dolazi se do novih otkrića i spoznaja koje nakon manjih ili većih modifikacija počnemo koristiti svakodnevno. Jedno od značajnih otkrića su svjetlovodni kabeli koji se odlikuju sa iznimni svojstvima, na primjer signal možemo prenositi na velike udaljenosti bez gubitaka. Predajnik, prijenosni medij i prijammnik su osnovne komponente komunikacijskog sustava. U današnje vrijeme koriste se većinom digitalni komunikacijski sustavi, na način da podatak odnosno informaciju kodiramo u binarne brojeve nakon kojih je pretvaramo u električki signal iz kojih pretvaranjem kao konačni rezultat dobijemo svjetlosni signal. Svjetlosni signal je skup bljeskova koji putuju od medija sve do prijammnika signala gdje svjetlosni signal ponovno pretvaramo u električni signal. Kako bih postigli da se signal pretvori iz električnih pulseva u svjetlosne bljeskove vršimo cijeli proces preko lasera. Način prijenosa signala pomoću svjetlosti možemo vidjeti na slici 5.9.



*Slika 5.9. Način prijenosa signala pomoću svjetlosti[5]*

Optički predajnik je izvor koncentrirane svjetlosti, čiju je jačinu moguće izmjeniti. Današnji predajnici su kohorentne svjetlosti odnosno sastoje se od LD (laser diode) i nekohorentne svjetlosti koji se sastoje od LED (Light emitting diode). Usporedimo li LED i LD, krajnji rezultat upućuje da je LED pouzdaniji ali slabiji i jeftiniji od LD. Kako bi se smanjili gubici medija unutar cijevi kroz kojega signal putuje od optičkog predajnika pa sve do prijamnika signala, treba biti što je više moguće prozirniji. Većinom su izrađeni od stakla ili polimernih materijala. Prednost svjetlovoda je što nisu osjetljivi na elektromagnetski utjecaj, te to daje sigurnost da ne može doći do prekida, ometanja ili prislušivanja podataka koji prolaze kabelom. Količina prijenosnih podataka ovisi o frekvenciji signala, odnosno svjetlosne frekvencije su znatno veće od radiovalova i mikrovalova, te je to jedan od razloga što svjetlosni komunikacijski sustavi mogu prenositi više digitalnih podataka i informacija. Svjetlovodna nit ima odprilike 100 puta veće brzine prijenosa u usporedbi sa sadašnjim bakrenim mrežama (ADSL).

#### **5.4.2. Računalne mreže**

Umrežavanje između računala u jednoj zgradi ili preko obližnjih građevina olakšava se i puno je brže pomoću svjetlovodnih kabela, slika 5.10 prikazuje umrežavanje računala u jednoj zgradi. Korisnici mogu primijetiti značajno smanjenje vremena potrebnog za prijenos datoteka i informacija preko mreža. Omogućava se upotreba više različitih aplikacija preko iste svjetlovodne niti.



*Slika 5.10. Umrežavanje računala u jednoj zgradi [15]*

Upotrebom svjetlovodnih niti u računalnim mrežama omogućen je razvoj novih aplikacija za rad ili zabavu (rad na daljinu, e – učenje, e – uprava i sl.). Svjetlovodima prenosimo televizijski signal u HD kvaliteti, a možemo omogućiti prijenos 3D televizijskog signala [5].

### **5.4.3. Medicina**

Endoskopija je samo primarni primjer optičke veze koja se primjenjuje u području medicine, ali novi se oblici danas razvijaju. Pomoću endoskopa može se promatrati unutarnje organe koji nisu dostupni oku. Endoskop sadrži više snopova svjetlovodnih vlakana pri kojem jedan snop vlakana prenosi svjetlost iz vanjskog izvora u unutrašnjost organa, a drugi snop prenosi sliku liječniku, koji promatra na okularu. Na slici 5.11 prikazan je primjer endoskopa koji se koristi u medicini.



*Slika 5.11 Medicinski endoskop [16]*

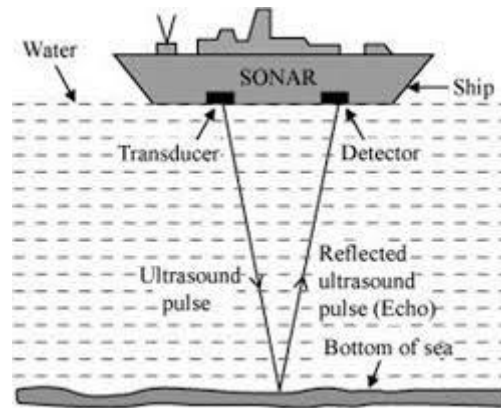
Medicina bilježi veliki napredak primjenom svjetlovoda, zbog toga što je omogućena brža i lakša analiza unutar ljudskog tijela. Optička vlakna također se koriste u bronhoskopima i laparoskopima.

#### **5.4.4. Vojna primjena**

Magnetske smetnje omogućuju propuštanje informacija u koaksijalnim kabelima. Optička vlakna nisu osjetljiva na električne smetnje; stoga su optička vlakna pogodna za vojnu primjenu i komunikaciju, gdje su kvaliteta signala i sigurnost prijenosa podataka važni.

Povećani interes vojske za ovu tehnologiju uzrokovao je razvoj jačih vlakana, taktičkih kabela i visokokvalitetnih komponenata. Također se primjenjivao u raznovrsnijim područjima poput

hidrofona za seizmičke, SONAR, zrakoplove, podmornice i druge podvodne primjene. Slika 5.12 prikazuje SONAR za mjerenje dubine i otkrivanje pojedinih neravnina i predmeta u vodi.

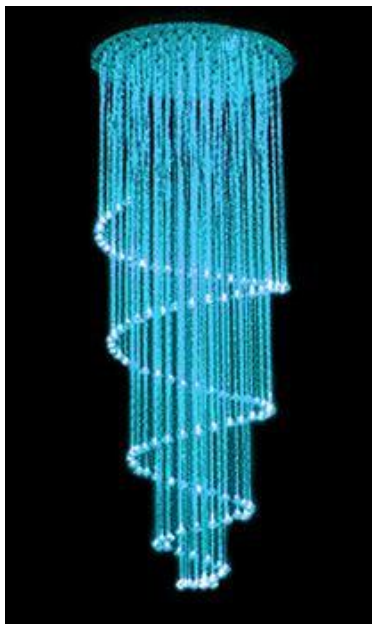


*Slika 5.12 Sonar [17]*

Optički kabeli su jeftini, tanki, lagani, velikog kapaciteta i izuzetno sigurni, tako da nude savršene načine povezivanja vojnih baza i drugih instalacija, poput mjesta za lansiranje projektila i radarskih stanica za praćenje. Ova tehnologija ne sadrži elektromagnetsko polje, pa se podaci ne mogu presretati, usporavati ili miješati s drugim signalima.

#### **5.4.5. Rasvjeta**

Svjetlovodi nisu pogodni za osvjetljenje prostora u kojemu živimo, radimo, putujemo i slično. Nisu pogodni zbog toga što nam ne reflektiraju potrebnu količinu svjetla u prostoru, ali se mogu koristiti u druge svrhe u kojima klasična rasvjeta ne zadovoljava tražene uvijete. Slika 5.13 prikazuje kućnu rasvjetu izrađenu od snopova svjetlovoda.

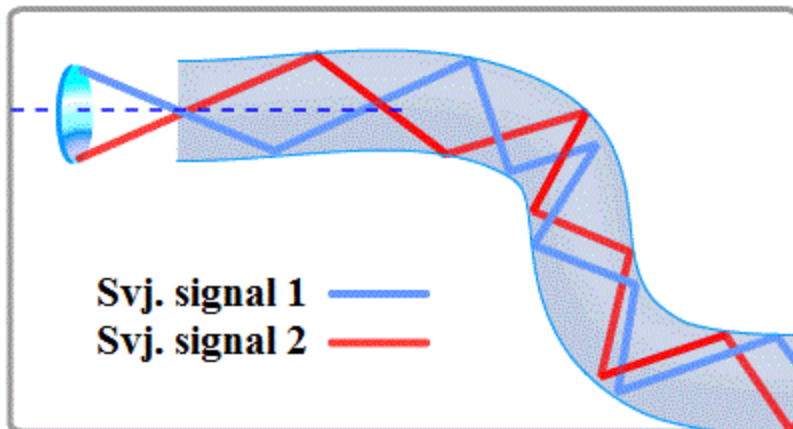


*Slika 5.13 Kućna rasvjeta [18]*

Svjetlovod za rasvjetu koristi se na način da zbog svoje fleksibilnosti se osvijetli točno određen prostor koji može biti nedostupan klasičnoj rasvjeti. Svjetlovodna rasvjeta se također koristi i u dekorativne svrhe zbog svoje specifičnosti često ju možemo vidjeti u muzejima, kućama, stazama, mostovima, odnosno gdje se je potrebno izjasniti posebni zahtjevani dio [5].

#### **5.4.6. Telekomunikacijski sustavi**

Početak korištenja svjetlovodnih sustava u telekomunikaciji započet je 1977. godine. Razlog početka korištenja svjetlovoda je bilo znatno unaprjeđenje komunikacije, dobili smo mogućnost odvijanja više poziva istovremeno bez ikakvih smetnji između istih. Ranije korištenjem električnih vodiča prenosilo se do 32 poziva odjednom a primjenom svjetlovoda dolazi do povećanja odnosno moguće je prenijeti milijune poziva odjednom. Slikom 5.14 prikazani su razgovori (svjetlosni signali) koji infracrvenim zrakama prolaze ne smetano jedan pored drugoga [5].



*Slika 5.14 Emitiranje dva poziva infracrvenim zrakama [19]*

Poziv se odvija na način da tokom razgovora u svjetlovodu se emitiraju infracrveni bljeskovi koji ne smetano prolaze sustavom, kod starih sustava bio je problem miješanja signala tako da je većinom dolazilo do smetnji i prekida.

## 5.5. Budućnost svjetlovodnih materijala

Trenutno silicijska stakla s visokim sadržajem fluorida najviše obećavaju optičkim vlaknima, s gubicima u slabljenju čak nižim od današnjih visoko učinkovitih vlakana. Eksperimentalna vlakna izvučena iz stakla koje sadrži 50% do 60 % cirkonijevog fluorida ( $ZrF_4$ ) sada pokazuju gubitke u rasponu od 0,005 do 0,008 decibela po kilometru, dok su ranija vlakna često imala gubitke od 0,2 decibela po kilometru.

Uz upotrebu suvremenih materijala, proizvođači optičkih kabela eksperimentiraju s poboljšanjem procesa. Trenutno se u najsofisticiranijim proizvodnim procesima koriste visokoenergetski laseri za topljenje predforme za izvlačenje vlakana.

Jedan od razloga poboljšanja optičke tehnologije jednostavno je zato što i vlasnici tvrtki i pojedine osobe očekuju veću brzinu i kvalitetu prijenosa svakim danom. Tijekom sljedećih pet godina građani svih zemalja širom svijeta trošit će više društvenih medija, streaming videa, mrežnih igara i drugih usluga koje se oslanjaju na brz i čist internet.

Časopis Government Technology naziva tehnologiju optičkih vlakana "dokazom budućnosti", budući da telekomunikacijski divovi poput Comcast-a prelaze s bakrenog koaksijalnog kabela na hibridne ili kompletne optičkih kabela. Stručnjaci vjeruju da bi se optička vlakna mogla pokazati korisnijom od bežičnog prijenosa podataka [20].

Novi uređaji zvani optički spojnici i optički prekidači podržavaju novi komunikacijski trend nazvan *AON* (Active Optical Networks). Ova tehnologija omogućuje prijenos podataka bez ikakve električne obrade, što zauzvrat može rezultirati većim udaljenostima prijenosa.

Još jedno nedavno poboljšanje u optičkim kabelima poznato je kao *WDM* ili multipleksiranje s valnom duljinom. Ovo je postupak koji dodatno povećava kapacitet propusnosti dopuštajući različitim nosačima prijenos optičkih signala.



## 6. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme svjetlovodni sustavi su postali osnova svakog telekomunikacijskog sustava. Prijenos svjetlosnog signala se temelji na zakonima optike. Uz pomoć njih moguće je prenijeti izrazito velike količine podataka pri vrlo velikim brzinama. Najistaknutija značajka svjetlovodnih prijenosnih sustava je prigušenje svjetlosnog signala. Ostale značajke nemaju toliki ujecaj na njegovo djelovanje. Zbog nečistoća u materijalima za izradu svjetlovoda, dolazi do prigušenja svjetlosnog signala. Analiziranjem svih tipova svjetlovoda ustanovljeno je da jednomodni svjetlovodi imaju najmanje prigušenje. Veće prigušenje imaju višemodni svjetlovodi. Svjetlovodi izrađeni od stakla se najčešće koriste, dok oni od plastičnih masa se upotrebljavaju u industriji zbog niske cijene. Najraširenija primjena svjetlovoda se upravo korisiti za izradu računalnih mreža koje omogućavaju prijenos podataka na sve veće udaljenosti. Ne primjećujemo koliko su optički kabeli postali uobičajeni jer laserski napajani signali trepere daleko ispod naših nogu, duboko ispod podova ureda i gradskih ulica. Tehnologije koje ga koriste - računalno umrežavanje, emitiranje, medicinsko skeniranje i vojna oprema; čine to potpuno neprimjetno. Sve više su zastupljeni upravo zbog ekonomičnosti, naime, bakra je sve manje i njegova cijena je u stalnom porastu, dok je kvarca u prirodi vrlo mnogo, njegova je cijena u stalnom padu.

Sama tehnologija optičkih vlakana nastavlja se razvijati zajedno s povećanom potražnjom za većom brzinom i učinkovitošću. Studija istraživanja i tržišta utvrdila je da bi složena godišnja stopa rasta za tržište optičkih vlakana mogla doseći 8,5 % do 2025. godine, što znači da će više industrija tražiti rješenja koja predstavlja ova tehnologija. Od zdravstvenih sustava do morskog okoliša, optički kabel pokazuje se ključnom komponentom industrijske infrastrukture. Optički kabeli ne propadaju poput druge infrastrukture. Vjerojatno je da će budućnost optičkih vlakana nadživjeti sljedeću generaciju uređaja i industrijske zahtjeve.

Sve raširenija upotreba optičkih vlakana u komunikacijama potaknuta je sve većom potražnjom za većim performansama i brzinom. Stoga se predviđa svijetla budućnost optičke tehnologije. Medicinska industrija tradicionalno koristi optička vlakna za osvjetljenje, prijenos slike i isporuku laserskog signala. Gledajući u budućnost, sve veći broj primjena može postati dostupan - na primjer, nova tehnologija koja bi mogla ubrzati zacjeljivanje rana i liječenje tumora. U

zrakoplovnom sektoru sve se više nameću optička vlakna kao rješenje za povećanje povezanosti na komercijalnim letovima. Korištenje optičkih vlakana omogućit će poboljšanja zabave u letu i Wi-Fi-ja za putnike bez ometanja ili ugrožavanja složenih električnih podatkovnih sustava koji postoje u zrakoplovima.

## LITERATURA

- [1] J. Marasović, Seminarski rad, "Svjetlovodi", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva, Zagreb 2005, [02.07.2020.]
- [2] P. Krčum, Materijali u elektrotehnici, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni studijski centar za stručne studije, Split, 2007. [02.07.2020.]
- [3] Seminarski rad iz fizike, Zakoni optike, dostupno na: <http://www.seminarski-rad.co.rs/FIZIKA/Zakoni-optike.html> [02.07.2020.]
- [4] Fizika 4, Element, dostupno na : <https://element.hr/artikli/file/2283/fizika-4-pojmovi-i-koncepti-udzbenik/52171%20-4> [02.07.2020]
- [5] M. Mikulić, Završni rad, "Svjetlovodi", Osijek 2014, [02.07.2020]
- [6] Eos, Fiber optic cables, dostupno na: <https://eos.org/research-spotlights/fiber-optic-networks-can-be-used-as-seismic-arrays> [01.09.2020]
- [7] K. Miljan, Diplomski rad, "Projekt planiranja i izvedbe pasivne optičke mreže", Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Zagreb 2009, [02.07.2020]
- [8] B. Perić, Završni rad, "Karakteristike svjetlovodnih prijenosnih sustava i njihova primjena", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Prometnih Znanosti, Zagreb 2016 , [02.07.2020]
- [9] Repozitorij, Svjetlovodi, dostupno na: <https://www.fpz.unizg.hr/ztos/prsus/svjetlovodi.pdf> [09.09.2020]
- [10] The Fiber Optic Association - Tech Topics, Making optical fiber, dostupno na: <https://www.thefoa.org/tech/fibrmfg.htm#:~:text=The%20first%20layers%20are%20the,way%20to%20the%20MCVD%20process.&text=The%20next%20step%20in%20the,into%20a%20hair%2Dthin%20fiber> [09.09.2020]
- [11] How products are made, Optical fiber, dostupno na: <http://www.madehow.com/Volume-1/Optical-Fiber.html> [09.09.2020]

[12] UK essays, Fiber optics and its applications, dostupno na :

<https://www.ukessays.com/essays/physics/fiber-optics-and-its-applications.php> [09.09.2020]

[13] Google, Fiber optics, dostupno na: <https://www.explainthatstuff.com/fiberoptics.html> [09.09.2020]

[14] Google, Plexiglas, dostupno na: <https://plasticwarehouse.com.au/product/plexiglas-clear-acrylic-tube/> [15.09.2020]

[15] Socored, IT Solutions, dostupno na: <https://www.socored.es/infraestructuras-telecomunicaciones-conectividad-y-networking> [15.09.2020]

[16] Winmedic, Video endoskop fleksibilni MDH, dostupno na: [http://www.winmedic.rs/index.php?id\\_product=46&controller=product](http://www.winmedic.rs/index.php?id_product=46&controller=product) [15.09.2020]

[17] Google, Sonari, dostupno na: <https://fishingandoutdoor.eu/hr/sonari/> [15.09.2020]

[18] Led rasvjeta Lux, optička vlakna i pribor, dostupno na: <http://www.ledrasvjeta.hr/zvezdano-nebo/1084-opticka-vlakna-i-pribor---diy-sistemi.html> [15.09.2020]

[19] Seminarski rad iz fizike, Totalna refleksija, dostupno na: <http://www.maturski.org/FIZIKA/Totalna-refleksija-novo.html> [15.09.2020]

[20] NAI, Future of fiber optic technology , dostupno na: <https://www.nai-group.com/future-of-fiber-optic-technology/> [17.09.2020]

[21] Engineering and Technology History Wiki, Fiber optics, dostupno na: [https://ethw.org/Fiber\\_Optics](https://ethw.org/Fiber_Optics) [17.09.2020]

## **SAŽETAK**

U prošlosti pa i danas svijet se uvelike oslanjao na bakrene kabele. Međutim, neke od dosadašnjih prednosti bakra se više ne mogu usporediti s tehnologijama optičkih vlakana. U ovom radu opisana su svojstva svjetlovodnih materijala koja su temelj njihove primjene u svijetu. Prikazana je podjela svjetlovoda te su detaljnije opisane karakteristike. Na više primjera je prikazana primjena svjetlovoda.

**Ključne riječi:** svjetlovodni materijali, svojstva, primjena.

## **ABSTRACT**

In the past and even today, the world relied heavily on copper cables. However, some of the current advantages of copper can no longer be compared to fiber optic technologies. This paper describes the properties of fiber optic materials that are the basis of their application in the world. The division of the optical fiber is shown and the characteristics are described in more detail. The application of fiber optics is shown in several examples.

**Keywords:** fiber optic materials, properties, application.