

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija

SUSTAVI ZA PRAĆENJE I VOĐENJE PROCESA

SEMINARSKI RAD  
**SVJETLOVODI**

Joško Marasović  
0036387903  
INDUSTRIJSKA ELEKTRONIKA

Zagreb, lipanj 2005

# 1 Sadržaj

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>SADRŽAJ</b> .....                         | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>POVIJESNI RAZVOJ</b> .....                | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>FIZIKA U SVJETLOVODU</b> .....            | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>SVJETLOVODI</b> .....                     | <b>9</b>  |
| 4.1      | PODJELA PREMA MODU RADA I INDEXU LOMA .....  | 10        |
| 4.2      | JEZGRA, PLAŠT I ZAŠTITNI PLAŠT .....         | 13        |
| <b>5</b> | <b>KARAKTERISTIKE SVJETLOVODA</b> .....      | <b>15</b> |
| 5.1      | INTERFERENCIJA .....                         | 15        |
| 5.2      | PRIGUŠENJE .....                             | 15        |
| 5.3      | DISPERZIJA .....                             | 18        |
| 5.4      | OPTIČKI ODNOS SIGNAL – ŠUM: OSNR .....       | 19        |
| 5.5      | ŠIRINA PROPUSNOG OPSEGA .....                | 20        |
| 5.6      | NELINARNI OPTIČKI EFEKTI .....               | 20        |
| <b>6</b> | <b>ITU-T STANDARDI - PREPORUKE</b> .....     | <b>21</b> |
| <b>7</b> | <b>KONSTRUKCIJA KABELA I KONEKTORI</b> ..... | <b>22</b> |
| 7.1      | SVJETLOVODNI (OPTIČKI) KABEL .....           | 23        |
| 7.2      | KONEKTORI .....                              | 25        |
| <b>8</b> | <b>ZAKLJUČAK</b> .....                       | <b>27</b> |
| <b>9</b> | <b>LITERATURA</b> .....                      | <b>28</b> |

## 2 Povijesni razvoj

Pojava prvih optičkih vlakna nastupa u drugoj polovici prošlog stoljeća s pojavom lasera. Međutim ljudi su još prije nekoliko stotina godina imali ideje o prijenosu informacija putem svjetlosti. Godine 1790. francuski izumitelj Claude Chappe napravio je „optički telegraf“ koji se sastojao od niza semafora postavljenih na tornjeve gdje su stajali ljudi i putem tih semafora odašiljali poruke od jednog tornja do drugog. Sustav je ubrzo postao kulturna baština jer ga sredinom 19-tog stoljeća zamijenjuje električni telegraf. Alexander Graham Bell, 1880. godine patentira optički telefonski sustav i naziva ga „Photophone“. Bell ima ideju o prijenosu signala pomoću svjetlosti kroz atmosferu kao u slučaju bakrene žice i električnog signala. Međutim stvar je bila neostvariva zbog raspršenja svjetlosti i nepouzdanosti. Njegovo ranije otkriće – telefon, bio je mnogo praktičnije rješenje tako da je „Photophone“ ostao samo eksperimentalni izum.

Otkrivanje dualne prirode svjetlosti, početkom prošlog stoljeća, omogućilo je šezdesetih godina nastanak prvih lasera. Pojavom lasera povećala su se istraživanja u području optičkih vlakna jer se došlo do spoznaje da se optičkom komunikacijom može prenijeti znatno veća količina podataka u odnosu na radio i telefonsku komunikaciju. Prvi problem je bio što su prvi laseri napravljeni od jednog poluvodiča GaAs bili ne efikasni. Nisu zadovoljavali u smislu disipirane snage, pregrijavanja, kratkog vijeka trajanja svega nekoliko sati i velike potrošnje struje za ostvarenje laserske reakcije koja nije bila moguća na sobnoj temperaturi. Drugi problem je bio da lasersko svjetlo nije moglo putovati kroz slobodan prostor zbog raspršenja i potpunog gušenja.

Korištenjem modificiranih GaAs spojeva i epitaksijalnim rastom kristala s obje strane, laserska akcija u AlGaAs ograničena je samo unutar tankog sloja GaAs. To je otvorilo put nastanku lasera "čvrstog stanja", tj. poluvodičke naprave koja radi na sobnoj temperaturi odnosno napravljena je prva LED dioda. Sad kad je napravljen pouzdan izvor svjetlosti, za razvoj komunikacija preostala je jedna važna prepreka: kako prenositi svjetlosne signale na velike udaljenosti. Radio valovi velikih valnih duljina putuju slobodno zrakom, prodirući s lakoćom kroz maglu i veliku kišu.

Kratkovalno lasersko svjetlo odbija se od kapljica vodene pare i drugih čestica koje se nalaze u atmosferi, do takvog stupnja da to uzrokuje njegovo raspršenje ili potpuno gušenje. Znači, magloviti bi dan mogao uzrokovati prekid komunikacijskih veza ostvarenih putem lasera. Zbog toga je za prijenos informacija putem svjetlosti na velike udaljenosti trebalo napraviti vodič analogan telefonskim linijama.

Optička vlakna su bila jedno od mogućih rješenja problema prijenosa svjetlosti iako sredinom 1960. uopće nije bilo izvjesno da odgovor leži u tom smjeru pa su ozbiljno su razmatrane i ostale mogućnosti. Eksperimentima je utvrđeno da staklena vlakna debljine vlasi kose najbolje prenose svjetlost na male udaljenosti. Ona su bila korištena u industriji i medicini za dovođenje svjetlosti na inače nedostupna mjesta. Međutim problem je bio što je svjetlost gubila do 99% svoje snage pri prolasku kroz optičko vlakno ne duže od 100 metara. 1966. godine Charles Kao i George Hockham iz Telecommunications Laboratories u Engleskoj izjavili su da imaju na dohvata ruke vlakna puno veće prozirnosti od već postojećih. U njihovom članku, u kojem razrađuju tu ideju, prikazali su kako visoki gubici koji karakteriziraju postojeća optička vlakna teoretski nastaju zbog malih nečistoća unutar stakla, a ne zbog unutrašnjih ograničenja samoga stakla. Predvidjeli su da se gubici svjetlosti koja putuje vlaknom mogu drastično smanjiti sa 1000 dB/km na manje od 20 dB/km. Članak Kao-Hockham inspirirao je veliki broj istraživača da počnu tražiti optička vlakna malih gubitaka. 1970. godine na Corning Glass Works su Donald Keck, Peter Schultz i Robert Maurer uspješno napravili prvo optičko vlakno dužine stotinu metara s niskim gubitcima, manje od 20 dB/km i kristalne čistoće kakvu su predložili Kao i Hockham. Kako je čistoća vlakna od metala bio glavni uvjet za smanjenje gubitaka, optička vlakna tako visokog stupnja prozirnosti nisu se mogla izrađivati uobičajenim metodama nego kemijskim putem realizacijom čistog silicijevog stakla  $\text{SiO}_2$  u svrhu korištenja u komercijalne svrhe izvan laboratorija.

U početku znanstvenici nisu bili zadovoljni jednomodnim svjetlovodima koji su imali jezgru promjera svega nekoliko mikrometara, uski frekvencijski pojas te stepeničasti indeks loma. Također problem je bio kako postići dovoljne tolerancije na ulaznom konektoru da prilikom uguravanja svjetla u svjetlovod ne dođe do raspršenja zrake. Zbog toga su se okrenuli razvoju više modnih svjetlovoda kod kojih se zraka rastavlja u više zraka unutar svjetlovoda i prenosi informaciju. Prvi komercijalni

višemodni svjetlovodi koristili su jezgru promjera  $50\mu\text{m}$  i  $62,5\mu\text{m}$  te valnu duljinu svjetlosti od  $850\text{nm}$ . Svjetlost je emitirala laserska galij-aluminij-arsenid dioda, ali je takav optički komunikacijski sistem bio ograničen gušenjem od  $2\text{dB/km}$ , pa je prijenos bio omogućen do cca.  $10\text{km}$ . (Prvi test postavljanja svjetlovoda napravila je 1976. godine AT&T kompanija u Atlanti. Postavljena su dva optička kabela, svaki sa 144 optička vlakna ukupne duljine gotovo 7 kilometara.) Druga generacija svjetlovoda kao izvore svjetlosti koristi indij – galij – arsenid – fosfid laserske diode koje emitiraju svjetlo valne duljine  $1,3\mu\text{m}$  i gradijentni indeks loma. U ovim svjetlovodima ostvarena su gušenja manja od  $0,5\text{ dB/km}$  i nešto manje raspršenje spektra nego kod prve generacije. Na projektu postavljanja prvog prekoatlanskog svjetlovoda 1988. godine koji je imao pojačala za regeneriranje slabih signala na međusobnoj udaljenosti većoj od  $60\text{ km}$ , ustvrđeno je da jednomodni svjetlovodi imaju bolja svojstva što se tiče disperzije i gušenja. Nova generacija jednomodnih svjetlovoda koristi zraku valne duljine  $1,55\mu\text{m}$  s gušenjem od  $0,2\text{-}0,3\text{dB/km}$  te dopušta još veće udaljenosti između pojačala za regeneraciju signala.

U samom začetku razvoja tehnologije optičkih vlakna, usko grlo cijelog sistema bila su pojačala za regeneriranje oslabljenih signala. Iako se, pred samim pojačalima, optičkim napravama moglo detektirati i vrlo slabo ulazno lasersko svjetlo, samo pojačalo je moralo biti neke vrste elektroničke naprave koja je detektirani svjetlosni pretvarala u električni signal. Naprava bi tada pojačala električni signal koji se vodio na novu lasersku diodu koja bi odašiljala novi, pojačani optički signal. Ovaj sistem je bio bitno ograničen kapacitetom elektroničkih pojačala, koji je bio znatno manji od raspoloživog kapaciteta lasera i svjetlovoda. 1985. godine na engleskom Sveučilištu u Southampton, fizičar S.B. Poole otkriva da dodavanjem male količine elementa - erbij u staklo od kojeg se izrađuju optička vlakna moguće će je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Kratki, stakleni pramen dopiran erbijem ugrađen u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, pojačavajući na takav način optički signal bez korištenja elektronike. Pooleove kolege u Southamptonu, David Payne, P.J. Mears i Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories počeli su primjenjivati otkriće na praktična pojačala signala u optičkim vlaknima. 1991. godine istraživači iz Bell laboratorija pokazali su da potpuno optički sistemi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima. U

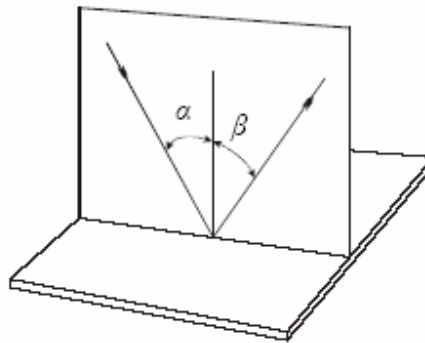
kratkim su roku evropske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlanskog i Pacifičkog oceana, te ih pustili u rad 1996. godine.

### 3 Fizika u svjetlovodu

Putovanje svjetlosti kroz optička vlakna, temelji se na dva od četiri zakona geometrijske optike.

#### ***zakon odbijanja (refleksije) svjetlosti $\alpha = \beta$***

Kut upadanja zrake svjetlosti jednak je kutu odbijanja (refleksije), a zraka koja upada i koja se odbija leže u istoj ravnini koja je okomita na površinu odbijanja. To prikazuje slika 1. U svjetlovodima inače koristimo totalnu refleksiju.



Slika 1. Zakon refleksije svjetlosti

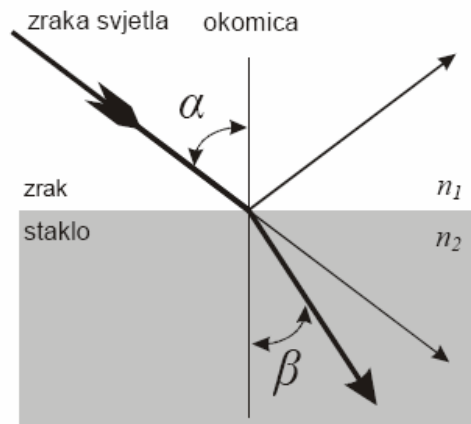
#### ***Snelliusov zakon loma (refrakcije) svjetlosti***

Brzina svjetlosti u vakumu iznosi  $c = 299\,792\,458$  m/s. Budući da se svjetlost smatra elektromagnetskim valom, prolaskom svjetlosti kroz drugi medij, njena brzina je manja od one u vakuumu i određena je dielektričnim i magnetskim svojstvima medija kroz koji putuje.

$$c_v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \epsilon_0 \mu_0}}$$

Kod optičkih medija brzina svjetlosti uglavnom je određena dielektričnim svojstvima budući da optička sredstva imaju  $\mu_r \sim 1$ . Optički rjeđe sredstvo ima veću brzinu svjetlosti od optički gušćeg sredstva. Prilikom prelaska svjetlosne zrake iz vakuma u optički vodljivo sredstvo, dolazi do loma svjetlosti pri čemu definiramo indeks loma  $n$  za to sredstvo:

$$n = \frac{c}{c_v}$$

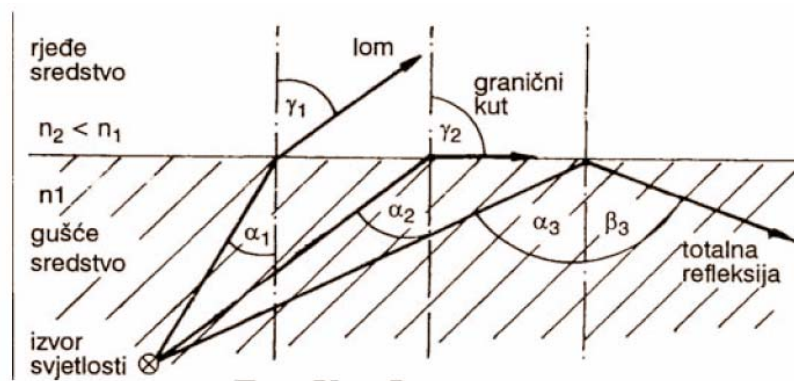


Slika 2. Zakon loma svjetlosti

Lom svjetlosti prilikom prolaska iz jednog sredstva u drugo opisuje Snelliusov zakon i vrijedi:

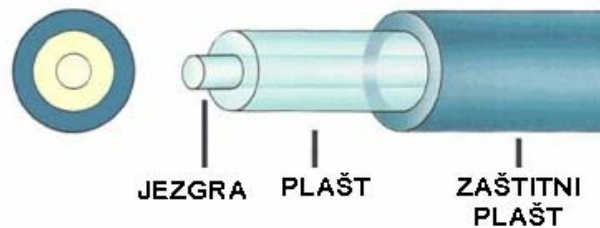
$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

Zraka koja upada i zraka koja se lomi leže u ravnini okomitoj na granicu sredstva, a omjer sinusa kuta upada i sinusa kuta loma za dva određena prozirna sredstva konstantan je broj i naziva se relativni indeks loma  $n_{12}$ . Kada zraka svjetlosti upada na graničnu plohu iz optički gušćeg sredstva u optički rjeđe ona se lomi od okomice na graničnu plohu. Ako se upadni kut povećava dolazimo do graničnog(kritičnog) kuta upada koji iznosi  $90^\circ$ . Iz Snelliusovog zakona dobiva se  $\sin \alpha_g = n_{12}$ . Ako se upadni kut još više povećava dolazi do potpune refleksije koja se koristi u svjetlovodima.

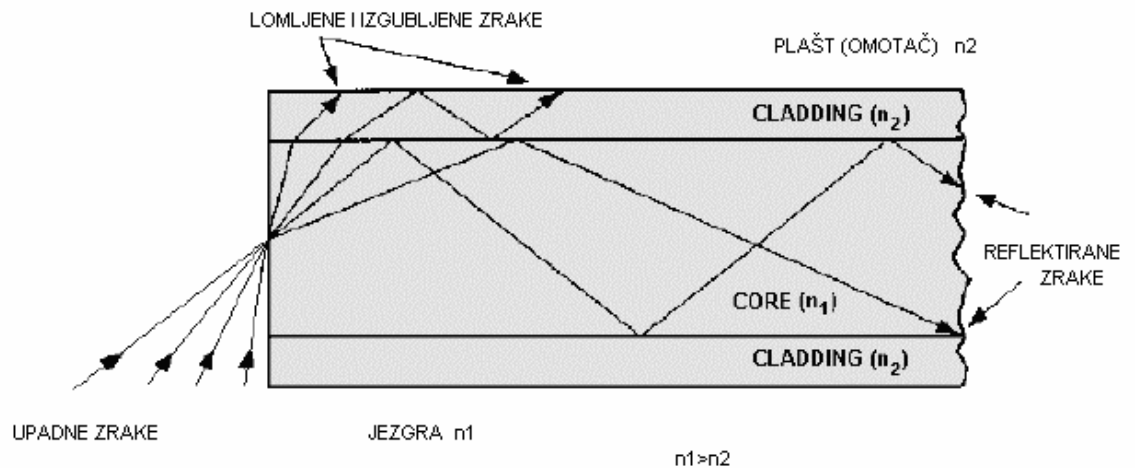


Slika 3. Totalna refleksija svjetlosti

Izgled svjetlovoda prikazuje slika 4, a kako su ova dva zakona fizike primjenjena u njemu prikazuje slika 5.



Slika 4. Izgled svjetlovoda



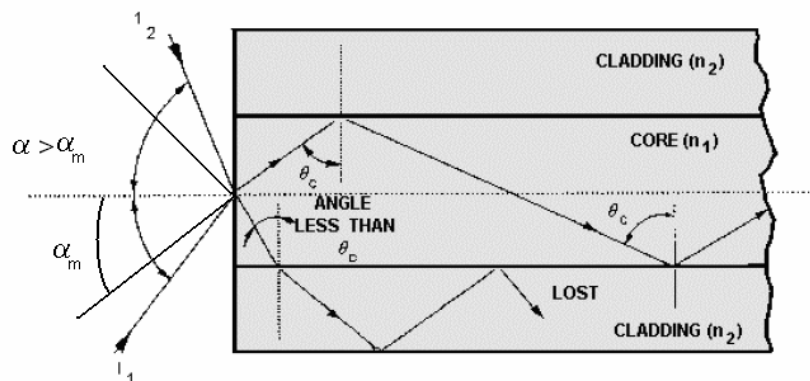
Slika 5. Prolazak zrake kroz svjetlovod

Svjetlovod se sastoji od jezgre i omotača. Jezgra ima veći indeks loma svjetlosti od omotača. Prilikom upada zrake na jezgru dolazi do prvog lomljenja zrake, a kad zraka stigne na granicu jezgra-omotač ona se reflektira zbog Snellovog zakona, pri tome je kut upada jednak kutu odbijanja zbog zakona refleksije. Pri tome je važno da je kut upada na granicu dvaju sredstava veći od kritičnog. Na taj način svjetlost nastavlja putovati kroz svjetlovod. U slučaju idealnog svjetlovoda, zraka bi nastavila beskonačno dugo putovati kroz, međutim zbog nečistoća koje postoje u svjetlovodu dolazi do loma zrake i dio zrake se gubi u omotaču kao što prikazuje slika 5. Zraka se prigušuje i nakon nekog vremena potpuno gubi. Zbog toga je neophodno postavljanje optičkih pojačala koja će obnoviti(pojačati) oslabljenu zraku da bi ona mogla dalje putovati svjetlovodom. Još jedno fizikalno ograničenje postoji na svjetlovodu, a to je



veličina numeričkog otvora ( $NA$  – *Numerical Aperature*). Numerički otvor također određuje i maksimalni kut upada koji je određen kritičnim kutem refleksije. Numerički otvor je mjera koliko svjetlosti možemo spregnuti u svjetlovod, a izravno utječe na broj modova koje možemo koristiti u radu. Numerički otvor određuje sljedeća relacija :

$$NA = n_0 \cdot \sin \alpha_m = (2n \Delta n)^{1/2} \quad n = \frac{n_1 + n_2}{2}, \quad \Delta n = n_1 - n_2, \quad n_0 = \text{vanjski medij}$$



Slika 6. Kritični, maksimalni kut upada - numerički otvor

Slikom 6 prikazan je maksimalni kut pod kojim može svjetlost upadati u svjetlovod koji definira veličinu numeričkog otvora te što se dogodi kad je upadni kut veći od maksimalnog. Tipične vrijednosti  $NA$  za staklena optička vlakna iznosi od 0,20 do 0,29, dok za optička vlakna od platične mase može biti i veći od 0,5.

Relacije kojima je opisano zarobljavanje svjetlosti unutar ravne staklene plohe izveo je Augustine-Jean Fresnel još 1820. godine.

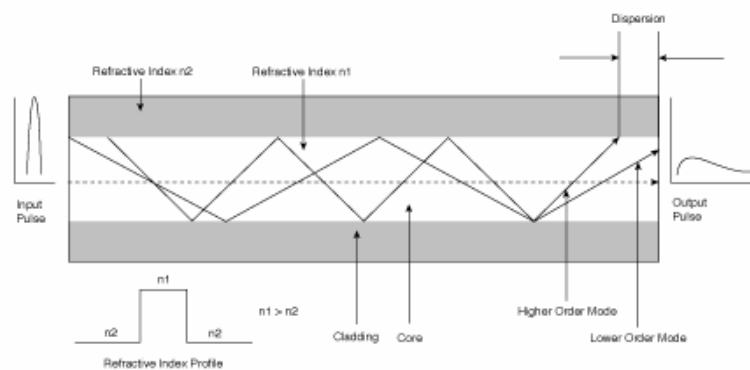
## 4 Svjetlovodi

Podjelu svjetlovoda možemo vršiti s obzirom na različite aspekte. Svjetlovodi se međusobno razlikuju prema vrsti materijala od kojih je izrađena jezgra i omotač (plašt). Prema promjeni indeksa loma te broju modova koji koristi svjetlovede djelimo na jednomodne i višmodene koji mogu biti sa stepeničastim ili gradijentnim indeksom loma. Također vršimo podjelu prema optičkom prozoru koji koriste svjetlovodi s obzirom na gušenje i valnu duljinu koju koriste za prijenos.

## 4.1 Podjela prema modu rada i indexu loma

Budući da svjetlo vodi koriste refleksiju za prijenos svjetlosti, prilikom refleksije zrake i vraćanja natrag kroz centar svjetlovoda javljaju se polja različitih energija koja se mogu opisati diskretnim skupom elektromagnetskih valova. Ta diskretna polja predstavljaju modove rada. Broj modova rada optičkog vlakana ovisi o numeričkom otvoru, valnoj dužini na kojoj rade i promjeru jezgre svjetlovoda. Njihov odnos daje sljedeća relacija  $V = (2\pi \cdot NA \cdot a) / \lambda$ , gdje je  $NA$  - numerički otvor,  $a$  – promjer jezgre i  $\lambda$  - valna duljina zrake. Broje  $V$  naziva se normalizirani frekvencijski parametar. Odnosno ta formula može se zapisati i drugačije:  $V = 2,405(1 + 2/\alpha)^{1/2}$  gdje je  $\alpha$  profil indeksa loma. S obzirom na  $\alpha$  koji može biti beskonačan – stepeničasti index loma ili 2 – gradijentni index loma,  $V$  može biti veći od 2,045 pa govorimo o višemodnom svjetlovodu ili manji od 2,405 pa govorimo od jednomodnom svjetlovodu. Pojam stepeničasti i gradijentni indeks loma odnosi se na to kako mijenja indeks loma svjetlosti od centra jezgre svjetlovoda do omotača(plašta).

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



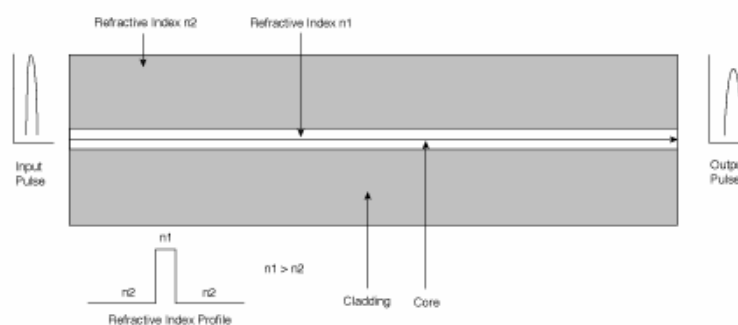
**Slika 7. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma**

Svjetlovod je karakteriziran promjerom jezgre koja je usporediva s promjerom omotača te je promjer jezgre puno veći od valne duljine zrake koju prenosi svjetlovod. Također imamo diskontinuitet(stepenicu) u prijelazu indeksa loma na granici jezgra omotač. Posljedica toga je što ulaskom zrake u svjetlovod, svjetlost se rasipa u više zraka tj. modova koje propagiraju s jednog kraja kabela na drugi. Najniži modovi putuju uzduž osi optičkog kabela. Viši modovi vide se kao zrake koje se reflektiraju pri

čemu porastom moda rada raste i razmak između točaka u kojima se dogodila refleksija. Na slici 7 je prikazan i ulazni i izlazni impuls. Vidimo da je izlazni signal različit u odnosu na ulazni. Izlazni signal je prigušen (atenuiran) te je proširen odnosno dogodilo se raspršenje. Razlog prigušenju što je polje na granici gdje se događa refleksija eksponencijalno opadajuće te zrake imaju tendenciju prolaska u plašt prilikom refleksije. Pri tome se disipira toplina i snaga zake opada pa je izlazni signal atenuiran. Razlog u kromatskom rasipanju impulsa leži u tome da svi modovi ne prolaze isti put prilikom refleksije. Najniži mod prolazi nakraći put, a najviši najduži put. To ima za posljedicu da sve zrake ne stignu u isto vrijeme na kraj svjetlovoda pa kada se spoje u jednu dobijemo vremensku disperziju.

Svjetlovodni kabeli koji rade u višem modu i imaju stepeničasti indeks loma karakterizira veće gušenje (ovisi o vrsti optičkog prozora koji koriste) te vremenska disperzija pa se koriste za povezivanje do 5 km. Može biti napravljen od stakla, plastične mase ili PSC (eng. plastic-clad silica) – plastična masa pojačana s silicijem. Jezgra svjetlovoda je dimenzija 50/125  $\mu\text{m}$  ili 62,5/125  $\mu\text{m}$  pri čemu jezgra promjera 50  $\mu\text{m}$  može propagirati samo 300 modova dok jezgra promjera 62,5  $\mu\text{m}$  propagira i do 1100 modova. Svjetlovod od 50  $\mu\text{m}$  sa optičkim prozorom, tj. valnom duljinom zrake od 850 nm podržava brzinu prijenosa do 1 Gbps na udaljenosti do 1 km, a 62,5  $\mu\text{m}$  samo 275 m. Nadalje MMF 50  $\mu\text{m}$  podržava 10 Gbps do 300 m nasuprot 62,5  $\mu\text{m}$  koji podržava istu brzinu samo na 33 m. MMF svjetlovođe karakterizira još i niska cijena.

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



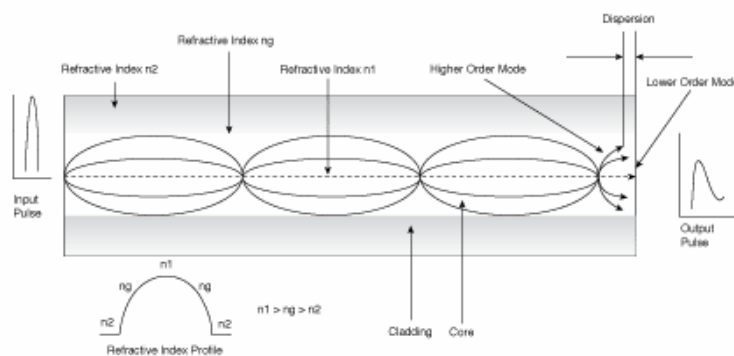
**Slika 8. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma**

Karakteristika SMF svjetlovoda je da ima jezgru promjera puno manjeg nego što je omotač te je valna duljina zrake usporediva s promjerom jezgre. Zbog tako

malog projera jezgre, ulaskom zrake u svjetlovod ne dolazi razdvajanja zraka. Svjetlost se propagira s jednog kraja svjetlovoda na drugi samo putem jedne zrake koja se giba centralnom osi. Kažemo da svjetlovod radi u najnižem modu. Zbog toga se i zove jednomodni svjetlovod. Viši modovi se ne pojavljuju pa ova vrsta svjetlovoda pa nema gubitaka zbog zagrijavanja i nema rasipanja u vremenu zbog različitog prolaska puta zrake. Međutim za SMF svjetlovođe karakterističan je pojam „cutoff wavelength“- kritična valna dužina. Kritična valna dužina je najmanja valna dužina koja se generira prilikom propagacije u osnovnom modu. Na toj kritičnoj valnoj duljini javlja se drugi mod rada koji se propagira kroz plašt i uzrokuje gubitke. Kako se valna duljina rada svjetlovoda povećava u odnosu na kritičnu počinju se javljati gubitci osnovnog moda i sve se više energije prenosi kroz plašt. Posljedica tom je malo prigušenje izlaznog impulsa i vremensko rasipanje. Zbog malog rasipanja impulsa u vremenskoj domeni, u frekvencijskoj domeni imamo veću širinu pojasa.

SMF svjetlo vodi imaju jezgru promjera od 8 do 10 $\mu\text{m}$  i promjer plašta 125 $\mu\text{m}$ . Izrađuju se samo od silicijskog stakla jer plastika ne dolazi u obzir zbog malog promjera jezgre. Pri izradi se koristi vanjska depozicija napačavanja (OVD – outside vapor deposition). SMF su skupi te se koriste za povezivanje globalnih mreža gdje je potrebna velika brzina i kapacitet prijenosa podataka. Također jednomodni svjetlovod može biti i sa gradijentnim indeksom loma ili dvostrukim indeksom loma, tj. ima još jedan plašt oko prvog pašta. Bez obzira na indeks loma SMF svjetlo vodi imaju brzinu prijenosa podataka i do 50 puta veću od MMF svjetlovoda te su najkvalitetnija!

### ***Višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma***



**Slika 9. Višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma**

Ovaj tip svjetlovoda ima indeks loma koji se mijenja po paraboli ako idemo od centra jezgre prema njenom kraju, tj. prema plaštu. Viši modovi kod ovog svjetlovoda su ograničeni, pa je ograničeno i prigušenje. Modovi se mijenjaju kako se mijenja gradijent indeksa loma. Vremenska disperzija također postoji, ali kako su viši modovi ograničeni tako su gušenje i disperzija ograničeni. Prema svom iznosu padaju između prva dva svjetlovoda. Izlazni impuls je prigušeni vremenski razvučen, ali ne kao kod stepeničastog indeksa loma višemodnog svjetlovoda. Po cijeni je također negdje između cijene prva dva svjetlovoda.

Promjer jezgre može biti 50, 62,5 i 85 $\mu\text{m}$  uz plašt od 125 $\mu\text{m}$ . Najčešće se koristi i najrašireniji je 62,5/125 $\mu\text{m}$ . Obaj tip svjetlovoda se pretežno izađuje od stakla.

## 4.2 Jezgra, plašt i zaštitni plašt

U procesu izrade jezgra i plašt se izrađuju kao jedno tijelo s tim da postoje razlike u sastavu i indeksu loma. Proces izrade je kemijski kontroliran proces i jezgra se obično izrađuje s 0,5 – 2% većim indeksom loma od omotača. Treći sloj je drugi omotač koji ne smije biti optički vodljiv. Zaštitni omotač obično se izrađuje od visoko-performirane plastike(PVC), višeslojnih polimera, i tvrdih neporoznih elastomera. Prilikom spajanja na konektore odnosno terminale taj dio se uklanja. Promjer vanjskog zaštitnog plašta je tipično 250 $\mu\text{m}$  i 900 $\mu\text{m}$ . Zaštitni plašt se naziva još i primarnim i nanosi se ekstruzijom nakon izvlačnja svjetlovoda. Postoji još i sekundarni plašt koji služi za dodatnu mehaničku zaštitu optičkog vlakna te za zaštitu od vlage i raznih kemikalija. Sastoji se od relativno debelog sloja neke plastične mase, koji se nanosi navlakno s primarnom zaštitom tijesno (TIGHT) ili labavo (LOOS), s punjenjem posebnom masom ili bez punjenja. Biti će prikazan kod same izvedbe kabela.

Jezgra i plašt mogu biti izrađeni tako da su oboje od silicijskog, kvarcnog stakla ( $\text{SiO}_2$ ), oboje od višekomponentnog stakla koji je smjesa  $\text{SiO}_2$  s kovinskim, alkalnim i zemnoalkalnim oksidima, onda jezgra može biti napravljena od kvarcnog stakla, a odrazni plašt od PSC – plastična masa ojačana silicijem. Također oboje mogu biti izrađeni od plastičnih masa – polimera. O materijalima od kojih su izrađeni plašt i jezgra ovisi koliko će biti raspršenje koje ovisi o plaštu i absorpcija koja ovisi o čistoći

jezgre i utječe na atenuaciju jer se prilikom putovanja fotoni svjetlosti sudaraju s molekulama nečistoća.



Slika 10. Silicijev dioksid - kvarc

Najrašireniji svjetlo vodi su s jezgrom od stakla. Odlikuje ga mala atenuacija je toultra čisto i ultra prozirni silicijski dioksid  $\text{SiO}_2$  ili lijevani kvarc. Ponekad se u kemijskom procesu dodaju bor i fluor da se smanji stupanj lomljenja zrake, ili germanij, titan ili fosfor da se poveća stupanj refrakcije. Naravno da se njihovim dodavanjem poveća atenuacija, asorpcija ili raspršenje. Ovi svjetlo vodi imaju višu cijenu.

Svjetlo vodi od plastičnih masa imaju najveću atenuaciju i dosta su većih dimenzija. Budući da su jeftiniji obično se koriste u industrijskim postrojenjima, ali imaju negativno svojstvo da su zapaljivi pa se provlače kroz temperaturno izolirane cijevi. Tipičnih dimenzija su od 480/500, 735/750, and 980/1000 $\mu\text{m}$ . Jezgra obično ima materijal „PMMA – polymethylmethacrylate“ poli-metil-meta-akril, dok plašt ima fluoropolimer.

Zadnji materijal je PSC koji je smjesa plastike i silicija, tj. može se reći da je to poboljšani svjetlo vodi od plastične mase. Po svojstvima koji karakteriziraju svjetlo vodi spada između prve dvije skupine. Obično je jezgra staklena, a plašt od polimera. Budući da je plašt od polimera stvaraju se problemi oko spajanja na konektore, nije moguće varenje na klasičan način kako se inače spajaju stakleni svjetlo vodi i nije topiv u organskim otapalima.

## 5 Karakteristike svjetlovoda

Sustavi temeljeni na svjetlovodima imaju mnoge prednosti u odnosu na sustave bazirane na bakrenom vodiču. Te prednosti su interferencija, prigušenje i širina pojasa. Osim toga zbog malog presjeka jezgre javlja se stanoviti kapacitet svjetlovoda. Karakteristike svjetlovoda možemo podijeliti na nelinearne i linearne. U linearne spadaju: prigušenje(atenuacija), kromatska disperzija(CD), polarizacijski mod disperzije (PMD), optički odnos signal - šum. Nelinearne pojave na svjetlovodu su sljedeće: vlastita modulacija faze(SPM – self – phase modulation ), križna modulacija faze(XPM – cross – phase modulation), mješanje 4 vala(FWM – four – wave mixing), Ramanovo raspršenje (SRS – stimulated Raman scattering), Brillouinovo(SBS - stimulated Brillouin scattering) i Kerrov efekt.

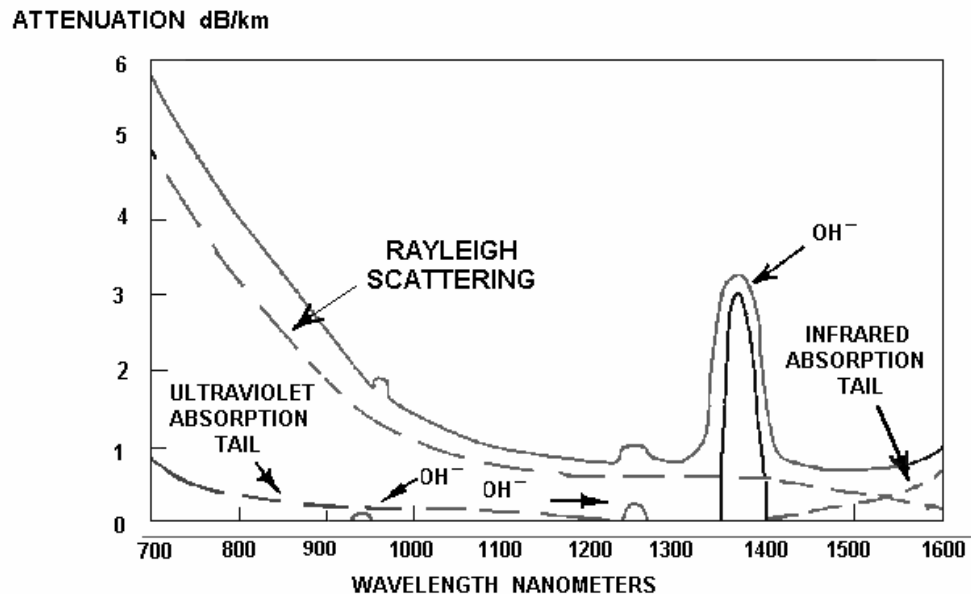
### 5.1 Interferencija

Svjetlo vodi su neosjetljivi na elektromagnetsku interferenciju(EMI) i radio – frekvencijsku interferenciju(RFI). Utjecaj svjetlosne interferencije i interferencije zbog visokog napona je također eliminirana. Pogodni su na mjestima gdje se javljaju smetnje zbog naponskih udara i smetnje generirane zbog elektrostatskog pražnjenja. Zbog toga se koriste u industriji i u mrežama biomedicine.

### 5.2 Prigušenje

Optička snaga u svjetlovoda se transmisijom u svjetlovodnoj niti prigušuje eksponencijalno:  $P(x)=P_0 \exp(-\alpha x)$ , gdje je  $\alpha$  koeficijent prigušenja i izražava se u dB/km i pokazuje gubitke u dB po jednom kilometru.

Prigušenje u svjetlovodima nastaje zbog gubitaka, koji opet nastaju zbog raznih uzroka, a možemo ih podijeliti na vanjske i unutrašnje. Unutrašnji uzrok je postojanje inherentnih nečistoća koje onda uzrokuju apsorpciju svjetlosti u materijalu zbog interakcije fotona s molekularnim nečistoćama u staklu, premještanja elektrona, te prijelaza elektrona između energetskih razina. Kada foton udari o nečistoću on će se raspršiti ili apsorbirati. Vanjski utjecaji su posljedica savijanja svjetlovoda pa se mijenja put koji zrake prolaze, što je naročito izraženo kod višemodnog svjetlovoda.



Slika 11. Prigušenje u ovisnosti o valnoj dužini

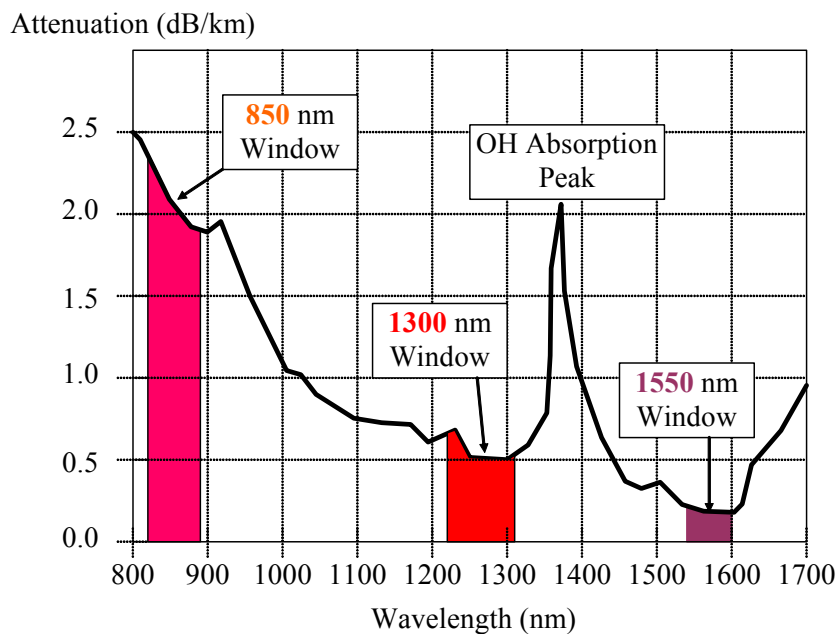
Na slici su prikazani svi faktori koji se zbrajaju i određuju ukupni faktor prigušenja. Gušenje kojem je uzrok raspršenje svjetlosti na nehomogenostima i nečistoćama u materijalu (scattering) koje postoje otprije ili nastaju za vrijeme proizvodnje svjetlovoda, kao pojava naziva se Rayleighovo raspršenje, a emitirana svjetlost Tyndallova svjetlost. To raspršenje proporcionalno je sa  $\lambda^{-4}$ . Faktoru prigušenja najviše doprinosi koeficijent prigušenja zbog Rayleighovog raspršenja čak 96%. Ono je posebno izraženo od 700nm do 1000nm s tim da prema većim valnim duljinama opada. Međutim na većim valnim duljinama smo ograničeni s infracrvenom svjetlošću, tj. imamo infracrvenu apsorpciju. Nadalje ispod 800nm počinje rasti utjecaj ultraljubičastog zračenja. Ekstremi koji su dobiveni na rezultanoj krivulji posljedica su postojanja hidroksilnih molekula  $\text{OH}^-$  koje su posljedica vlage. Uzrokuju jako rezonantno gušenje, a ne mogu se u potpunosti izbjeći proizvodnim procesom. Osnovni mod im je na  $2,73\mu\text{m}$ , a viši harmonici su na 950nm, 1250nm, 1380nm, Postojanje vlage kritično je na spojevima i konektorima te kod upotrebe svjetlovoda potrebno je paziti da ne dođe vlaga u optičaj s vlaknom, jer ako vlaga uđe, poveća se gušenje. Na temelju slike 11 također se može zaključiti da valovi veće valne duljine imaju manje gušenje od kratkih valova. Sve ispod 800nm postaje neupotrebljivo. Isto



tako vidimo na slici najpovoljnije valne duljine na kojima je ukupno gušenje najmanje.

Zbog toga su konstruirana tri optička prozora koja se koriste u svjetlovodima:

- na oko 850 nm (I. prozor)
- na oko 1300 nm (II. prozor)
- na oko 1550 nm (III. prozor).



Slika 12. Optički prozori

Minimum prigušenja za prvi prozor iznosi oko 2 dB/km, za drugi 0,5 dB/km, i za treći 0,2dB/km. Danas su već proizvedena vlakna s prigušenjem koje se bliži teoretskom, pa se danas pojavljuju nova optička vlakna koja mogu imati i više od 3 prozora jer je smanjeno prigušenje. U praksi je u početku najviše korišten I. prozor, iako to nije optimalno rješenje, ali je bilo uvjetovano početnim teškoćama u realizaciji izvora svjetlosti, a danas se koristi prvenstveno zbog jeftine realizacije izvora svjetlosti iako je na 1. prozoru najveće gušenje. Danas se koriste uglavnom II. i III. prozor.

Raspršenje svjetlosti zbog nepravilnosti u geometriji (npr. promjer jezgre) (Radiation) i raspršenje svjetlosti na zakrivljenjima (obično zanemarivo, ali pri malim polumjerima zakrivljenja naglo raste) (Microbends, Macrobends) također utječu na gušenje svjetlosti u svjetlovodu. Gušenju još doprinosi i raspršenje svjetlosti na

spojevima pri nastavljanju svjetlovoda, odnosno njihovog priključka na izvor ili detektor svjetlosti. Pritom izravno utječu razlike u numeričkim otvorima i promjerima vlakana, udaljenosti vlakana te pomaku osi, bočnom i kutnom.

Prigušenje svjetlovoda ovisi u prvom redu o vrsti materijala. Najmanje prigušenje ima kvarcno staklo (0,5-2 dB/km), nešto lošije je silikatno staklo (5-10 dB/km), dok su plastične mase znatno lošije. Dalje prigušenje svjetlovoda ovisi o vrsti tih vlakana. Monomodna vlakna imaju najmanje prigušenje (0,3-1 dB/km), nešto su lošija multimodna vlakna s gradijentnom promjenom indeksa loma (1-5 dB/km), a najlošija su multimodna vlakna sa skokovitom promjenom indeksa loma (5-10 dB/km). Na kraju, prigušenje ovisi i o valnoj dužini svjetlosti koja se koristi za prijenos.

### 5.3 Disperzija

Disperzija je pojava, da se impulsi svjetlosti pri prijenosu po svjetlovodu proširuju, pa na taj način ograničuju širinu propusnog opsega. Ukupna disperzija posljedica je dvije vrste disperzija, i to kromatske koja ne ovisi o  $\lambda$ , a može biti materijalna i valovodna, te nekromatske koja je ovisna o  $\lambda$ , a može biti međumodna i polarizacijska.

1. Disperzija materijala je kromatska disperzija koja nastaje zato što indeks loma materijala zavisi od frekvencije (valne dužine), zbog čega pojedini elementarni pojasevi prenašanog spektra stižu na kraj linije s različitim vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

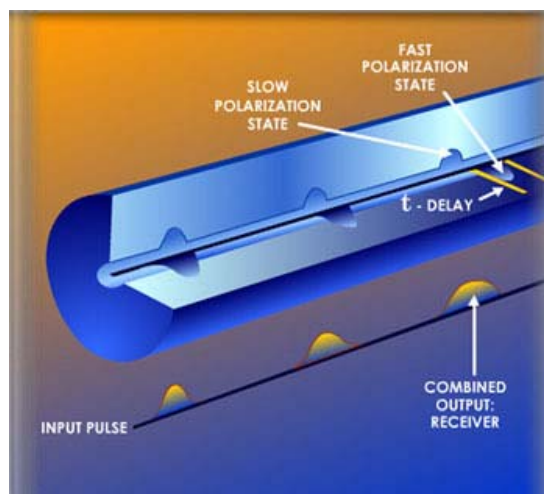
– za svjetlovođe sa skokovitom promjenom indeksa loma (multimodne i monomodne): 2-5 ns/km

– za svjetlovođe s kontinuiranom promjenom indeksa loma (multimodni - gradijentni): 0,1-2 ns/km.

2. Multimodna ili intermodna disperzija (nekromatska) koja nastaje zato što različiti modovi imaju različite grupne fazne brzine i zato dolaze na kraj linije s različitim vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

- za multimodne svjetlovođe sa skokovitim promjenom indeksa loma  $< 20$  ns/km
- za multimodne svjetlovođe s kontinuiranom promjenom indeksa loma (gradijentne)  $< 50$  ps/km
- za monomodne svjetlovođe sa skokovitim promjenom indeksa loma  $\approx 0$  (međusobna kompenzacija).

3. Polarizacijska disperzija nekromatska koja nastaje zbog toga što jezgra svjetlovoda nije idealni valjak nego je malo eliptičan. To je posebno karakteristično za jednomodne svjetlovođe čija se zraka širi središtem vlakna s dvija ortogonalna polarizacijska moda x i y. Zbog toga se javljaju promjene u indeksu loma za ta dva stanja polarizacije. To uzrokuje pomak u vremenu te dvije osi odnosno javlja se diferencijalan grupna brzina (DGV) što uzrokuje proširenje impulsa. Obično se DGV izražava u ps. Polarizacijska disperzija (PDM) nije značajna kod niskog BER-a, ali postaje utjecajna kod visokog BER-a, iznad 5 Gbps.



Slika 13. Polarizacijska disperzija

Zbog efekta polarizacijske disperzija obično se za rezervu uzima 0.5dB snage više od planirane.

## 5.4 Optički odnos signal – šum: OSNR

Optički odnos signala i šuma također je bitan jer o njemu ovisi kvaliteta prijenosa signala. Izražava se u decibelima, a vezan je uz BER i faktor dobrote Q. Q

definira minimalni OSNR da bi se ostvarili potrebni BER za dani signal. Primjerice za komunikacijski standard OC-192 OSNR je od 27-31dB, a za OC-48 od 18-21dB.

## 5.5 Širina propusnog opsega

Širina propusnog opsega svjetlovoda određena je područjem frekvencija, u kome se amplituda impulsa ne smanji više od polovine. To odgovara sniženju razine optičke snage signala za 3 dB ili smanjenju razine električnog signala na izlazu detektora za 6dB. Širina propusnog opsega je usko povezana s disperzijom i za pojedine vrste svjetlovoda iznosi:

- multimodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma - desetine MHz · km
- multimodni, s kontinuiranom promjenom indeksa loma - stotine MHz · km
- monomodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma - tisuće MHz · km.

Taj produkt definira moguće duljine kvalitetnog prijenosa po svjetlovodu. Primjerice, svjetlovod s produktom 200 MHz · km dopušta korištenje signala 200 MHz - 1 km ili 400 MHz - 0,5 km ili 100 MHz - 2 km.

## 5.6 Nelinarni optički efekti

Kod vlastite modulacije faze imamo promjenu faze usljed puta signala svjetlovodom i nelinearno širenje impulsa. Ovaj efekt raste s porastom snage signala. Križna modulacija je posljedica zbirnog efekta koji se javlja u sustavima s više valnih duljina u jednom svjetlovodu. Svaka pojedina valna duljina ne uzrokuje modulaciju faze jer im je mala snaga, ali ako se one pribroje jedna drugoj onda efekt postaje značajan. Mješanje 4 vala nastaje zbog toga što je efekt nelinearan pa ne vrijedi princip superpozicije. Posljedica je generiranje novih nosioca. Karakteristično je kod WDM sustava tj sustav s multipleksiranjem valne duljine – više valnih duljina u svjetlovodu. Efekt se javlja smanjenjem razmaka između pojedinih kanala i podizanjem snage. Ramannovo raspršenje je nelastično raspršenje kod kojeg se dio optičke energije pretvara u druge oblike energije. To možemo promatrati kao jednu vrstu Dopplerovog efekta. Nelinearna raspršenja su puno slabija od linearnih, npr.

Rayleighovog. Ovaj efekt povećava amplitudu zraka manjih valnih duljina, dok veće valne duljine slabe. Brillouinovo raspršenje je pojava akustičke interakcije fotona i medija. U prvom koraku prisutno električno polje će uzrokovati pomicanje molekula, mjenjanje indeksa loma i generiranje akustičkog vala. U drugom koraku događa se raspršenje an periodičkoj rešetki (primamo periodičku varijaciju loma). Kerov efekt ima za posljedicu izobličenja atoma i molekula pod utjecajem električnog polja. Prvi nelinearni efekti javljaju se pri snagama manjim od 20 mW.

## 6 ITU-T standardi - preporuke

Budući da je primjena svjetlovoda dana dosta raširena onda je internacionalna telekomunikacijska udruga (ITU - International Telecommunication Union) koja je globalno standardizacijsko tijelo za telekomunikacijske sisteme i opremu odlučila izdati norme kojih se moraju održati proizvođači i korisnici svjetlovoda. Norme se dijele prema vrsti vlakna.

1. ITU-T G.651 – definira višemodni svjetlovod s gradijentnim indeksom loma promjera jezgre  $50\mu\text{m}$  i plašta  $125\mu\text{m}$ . Tipično prigušenje iznosi  $0,8\text{dB/km}$  na  $1310\text{nm}$ . Kabel je optimiziran da radi na frekvencijski pojasu  $1310\text{nm}$  s tim da može raditi i na  $850\text{nm}$ .
2. ITU-T G.652 – to je standard za monomodni svjetlovod  $9/125\mu\text{m}$  sa stepeničastim indeksom loma koji radi na 2. i 3. prozoru. Danas se u praksi najviše koristi, a ova je norma i najprimjenjivija kod nas. Optimizirano je za valnu duljinu od  $1310\text{nm}$  i na njoj ima nultu disperziju. Može raditi i na  $1550\text{nm}$ , ali nije optimizirano. Tipična kromatska disperzija na  $1550\text{nm}$  iznosi oko  $17\text{ps/nm-km}$ . Mora se kompenzirati za aplikacije koje koriste veće brzine prijenosa. Prigušenje je manje od  $0,5\text{dB/km}$  na  $1310\text{nm}$  i manje od  $0,4\text{dB/km}$  na  $1550$ . Danas je postignuto prigušenje od  $0,3 - 0,4\text{dB/km}$  na  $1310\text{nm}$  i od  $0,17 - 0,25\text{dB/km}$  na  $1550\text{nm}$ . Polarizacijska disperzija manja od  $0,1\text{ps/km}$ . Primjer oznake jezgre je SMF-28.
3. ITU-T G.653 – to je optičko vlakno s pomaknutom disperzijom. Namijenjeno je za 3. optički prozor. Također je monomodno sa stepeničastim indeksom loma. Namijenjeno je za valnu dužinu od

1500 – 1600nm. Danas se povećava trend komunikacije na 3. prozoru pa je nulta disperzija s 2. prozora pomaknuta na 3. prozor. Gušenje ispod 0,35dB/km, a postignuto je od 0,19 – 0,25dB/km. Ovo vlakno je loše za WDM sustave jer za njih ne smije u području od interesa biti točka nulte disperzije.

4. ITU-T G.654 – to je monomodno optičko vlakno s pomaknutom cutoff vrijednošću. Imaju male gubitke u području od 1550nm jer koriste čisti silicij u jezgri. Međutim imaju veliku kromatsku disperziju na 1550nm.
5. ITU-T G.655 – vlakno s pomaknutom non-zero disperzijom. Mogu umanjiti nelinearna izobličenja tako da izbacuju nultu disperziju izvan trećeg optičkog prozora. Imamo dvije familije NZD+ i NZD- ovisno da li nulta disperzija upad aprije 1550nm ili poslije te valne dužine. Gušenje oko 0,2dB/km i polarizacijska disperzija 0,1ps/km.

## 7 Konstrukcija kabela i konektori

Optički modul je skup optičkih vlakana, koja su na određen način složena zajedno. Danas se najviše koriste tri osnovna tipa modula:

1. klasični - u kojemu su vlakna složena u skupinu koncentričnim

použanjem, slično kao kod simetričnih kabela

2. žljebasti - u kojemu su vlakna slobodno uložena u žljebove (utore) na periferiji cilindričnoga nosivog elementa od plastične mase. Oblik žljebova može biti pravokutan, trokutast ili polukružan. Obično je u os nosivog elementa ukomponiran i element za mehaničko rasterećenje (npr. čelična žica)

3. trakasti - u kojemu su pojedinačna nezaštićena ili zaštićena vlakna uložena uposebne vrpce od plastificiranog aluminijskog ili poliestera.

a – klasični optički modul

b – žljebasti optički modul

## 7.1 Svjetlovodni (optički) kabel

Optički kabel je skup više optičkih modula, koji su na određeni način složeni zajedno. Klasični i žljebasti moduli slažu se koncentričnim použenjem, slično kao kod imetričnih kabela

Trakasti moduli slažu se u redove tako da se dva krajnja ostavljaju prazna radi zaštite. Osim optičkih vlakana, u jezgri kabela ukomponirani su i elementi za pojačanje, koji štite optička vlakna od rastegnuća, odnosno u kritičnom slučaju od prekida. U tu svrhu se obično koriste:

- kovinske žice (čelik, aluminij, bakar);
- pojedinačna vlakna od poliestera, stakla ili ugljika;
- više upredenih ili upletenih vlakana od plastičnih masa (poliamid - najlon, dralon, polietilen tereftalat - terilen, poliaramid-kevlar i dr.).

Elementi za pojačanje mogu biti raspoređeni u jezgri kabela na sljedeće načine:

- u središtu jezgre (najveća fleksibilnost);
- više pojedinačnih vlakana na periferiji jezgre (moguća kombinacija s optičkim vlaknima);
- opleat preko jezgre (ujedno štiti od radijalnih sila).

Ostali elementi u jezgri kabela mogu biti:

- izolirani provodnici od bakra ili aluminijski;
- razne ispune, obično od plastičnih masa.

Vrsta zaštite jezgre optičkoga kabela ovisi o njegovoj namjeni, odnosno o predviđenom načinu polaganja, koje može biti:

- unutar zgrada (instalacijski);
- iznad zemlje (zračni);
- kroz kabelsku kanalizaciju (uvlačni);

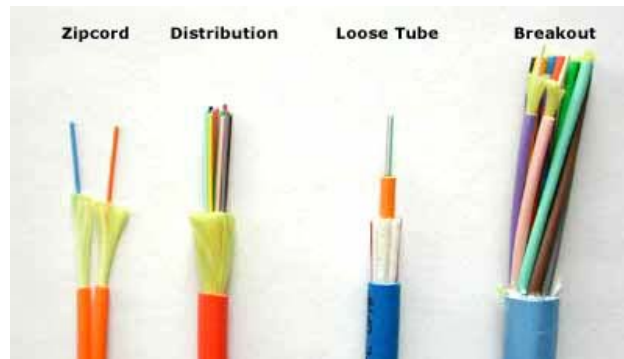
- ispod zemlje (podzemni);
- ispod vode (podvodni).

Zaštita jezgre može biti različita:

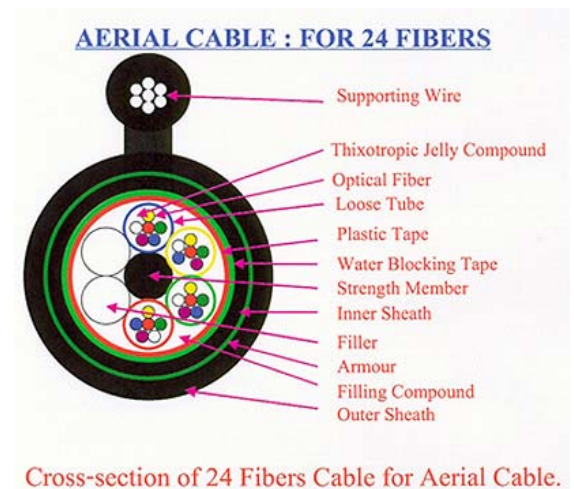
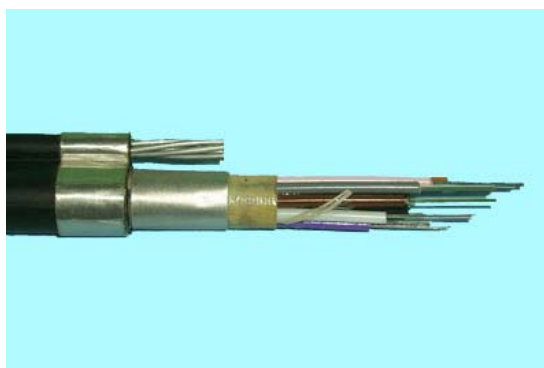
- punjenje jezgre masom;
- amortizirajući sloj između jezgre i plašta, koji služi za smanjenje kontaktnog pritiska između jezgre kabela i plašta. Obično se izrađuje od mekih, pjenastih odnosno spužvastih plastičnih masa, kao što je PVC, poliuretan i sl.;

Plašt, koji služi kao zaštita jezgre kabela od prodora vlage. Obično se izrađuje od polietilena (slojeviti), poliuretana, PVC i dr.

U nastavku su dani neki od tipova kabela:



Slika 14. Optička vlakna s obzirom na raspored modula unutar kabela



Cross-section of 24 Fibers Cable for Aerial Cable.

Slika 15. Svjetlovodni kabel s žlejbastim pakiranjem i čeličnim užetom



## 7.2 Konektori


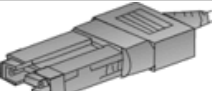
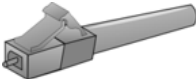
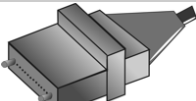
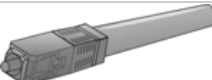
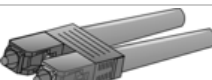

| Konektor   | Gušenje                                      | Ponovljivost                                 | Tip vlakna | Aplikacije                               |
|--|--|--|------------|--|
| <br>FC          | 0.50-1.00 dB                                 | 0.20 dB                                      | SM, MM     | Datacom,<br>Telecommunications           |
| <br>FDDI        | 0.20-0.70 dB                                 | 0.20 dB                                      | SM, MM     | Fiber Optic Network                      |
| <br>LC          | 0.15 dB (SM)<br>0.10 dB (MM)                 | 0.2 dB                                       | SM, MM     | High Density<br>Interconnection          |
| <br>MT Array    | 0.30-1.00 dB                                 | 0.25 dB                                      | SM, MM     | High Density<br>Interconnection          |
| <br>SC         | 0.20-0.45 dB                                 | 0.10 dB                                      | SM, MM     | Datacom                                  |
| <br>SC Duplex | 0.20-0.45 dB                                 | 0.10 dB                                      | SM, MM     | Datacom                                  |
| <br>ST        | Typ. 0.40 dB<br>(SM)<br>Typ. 0.50 dB<br>(MM) | Typ. 0.40 dB<br>(SM)<br>Typ. 0.20 dB<br>(MM) | SM, MM     | Inter-/Intra-Building,<br>Security, Navy |

Tabela 1. Konektori za svjetlo vode

U tablici 1 dan je skup najčešće korištenih konektora u svjetlovodima. Može se reći da je konektor najkritičnije mjesto u jednoj svjetlovodnoj aplikaciji. Osim što treba osigurati jednostavnost upotrebe, on predstavlja potencijalno mjesto gušenja signala i gubljenja kvalitete BER-a.

### *FC konektor*

- upotrebljava se za monomodne i višemodne svjetlo vode. Osigurava visoku preciznost prilikom spajanja na predajnik i prijamnik. Izađuju se u metalnom kućištu koje može biti

niklovano. Imaju unutar kućišta keramički plašt a konstruirani su za oko 500 prekapčanja. Gušenje ima je oko 0,25dB, ali se preporučuju za aplikacije u kojim je donja granica gušenja 0,5dB ili prema preporukama proizvođača.

### ***SC konektor***

- također se primjenjuju za monomodne i višemodne svjetlovode. Omogućavaju jednostavnost, nisku cijenu i trajnost. Još se zovu i „push-on, pull-off“ konektori. Imaju oko 1000 prekapčanja i gušenje oko 0,25dB.

### ***ST konektor***

- ima sličnu konstrukciju BNC konektoru što se tiče mehaničkog spoja. Također se koriste za oba tipa svjetlovoda. Ima prednost postavljanja na sam svjetlovod, izrađuju se također u metalnom niklovanom kućištu kao i FC tip. Imaju keramički plašt unutar kućišta i broj prekapčanja im je oko 500. Tipično gušenje 0,4dB za SM i 0,5dB za MM svjetlovode.

### ***LC konektor***

- izrađuju se u platičnom kućišu i podržavaju oba tipa svjetlovoda. Gušenje im je oko 0,15dB za SM i 0,1dB za MM svjetlovode. Upotreba u aplikacijama gdje imamo veliki broj priključaka.

## 8 Zaključak

Svjetlo vodi su danas postali industrijski standard za zemaljske telekomunikacijske sisteme. Današnjim tehnološkim razvojem svetlovodnih vlakna dovelo je do njihove velike raširenosti. Danas je 80% globalnih računalnih mreža, tj. mreža gdje se promet odvija na velike udaljenosti povezano svjetlovodima.

Primjerice za proizvodnju 100 km vlakna potrebno je samo 2,7 kg stakla dok prijenosni sustav od 2,5 Gbit/s = 31.000 istovremenih tel. razgovora ili kao digitalizirani tekst oko 100.000 A4 stranica u sekundi. Iz ovog vidimo njihovu veliku mogućnost u prijenosu velike količine podataka i velikog kapaciteta. Osim u telekomunikacijama široku primjenu imaju u avioindustriji, kabelskoj televiziji za prijenos video signala i zvuka, podmornicama,....

## 9 Literatura

1. <http://www.ciscopress.com>
2. <http://eskola.hfd.hr/laseri/paper1/b-d6.htm>
3. Navy Electricity and Electronics Training Series, *Module 24 - Introduction to Fiber Optics*, NAVEDTRA 14196
4. Jim Hayes, *Fiber Optics – Technician's Manual*, 2th edition
5. <http://dar.ju.edu.jo/mansour/optical/>