

5. SVJETLOVODI

Uvod

Svjetlovodi su u pravom smislu riječi TK vodovi sadašnjosti i budućnosti. Naime, oni su s jedne strane širokopojasni vodovi jer rade s frekvencijama 10^{14} do 10^{15} Hz (300 nm do 3 mm), pa im je prijenosni kapacitet veoma velik i od njega se danas koristi veći dio, a s druge strane, osnovna je sirovina za te vodove kvarc (silicijev dioksid), kojega u prirodi ima u golemim količinama (2/3 zemljine kore) i nije skup.

Ti vodovi također prenose elektromagnetne valove ali tako visoke frekvencije da oni već predstavljaju vidljivu svjetlost. Sastoje se od prozirne staklene ili plastične tzv. optičke niti (optičkog vlakna), kroz koju se prenosi svjetlost. Svjetlovod može prenositi veliki broj modova, ali se danas to još ne koristi.

Osnovni zakoni optike

Kako se kod svjetlovoda prenosi svjetlost, vrlo je korisno podsjetiti na osnovne zakone optike, koji svi vrijede i u ovom slučaju.

Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti

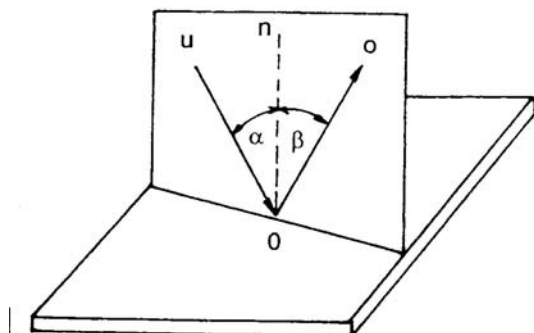
U homogenom sredstvu svjetlost se širi po pravcu.

Zakon odbijanja svjetlosti (refleksije)

Kut upada zrake svjetlosti α jednak je kutu odboja (refleksije) svjetlosti β .

$$\alpha = \beta$$

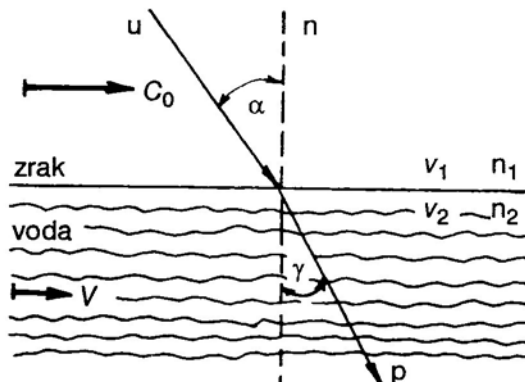
Zraka koja upada i zraka koja se odbija leže u istoj ravnini, koja je okomita na površinu (sl. 5.1.).



Slika 5.1. Zakon refleksije svjetlosti

Snelliusov zakon loma svjetlosti (refrakcije)

Brzina svjetlosti kroz optički gušće sredstvo manja je nego kroz optički rjeđe sredstvo. Ako zraka svjetlosti pada koso na graničnu plohu između dvaju sredstava različite gustoće, ona će promijeniti smjer odnosno lomit će se (sl. 5.2.).



Slika 5.2. Zakon refrakcije svjetlosti

Prema tomu, lom svjetlosti nastaje zbog različitih brzina širenja svjetlosti u raznim sredstvima. 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 prozirnna sredstva konstantan je broj, koji se naziva relativni indeks loma n_{21} .

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$$

Relativni indeks loma je ujedno omjer brzine širenja svjetlosti u tim sredstvima:

$$n_{21} = \frac{V_1}{V_2}$$

Ako zraka svjetlosti dolazi iz vakuuma u neko sredstvo, onda se stalni omjer sinusa kuta upada i sinusa kuta loma naziva apsolutni indeks loma sredstva i on je uvijek veći od 1.

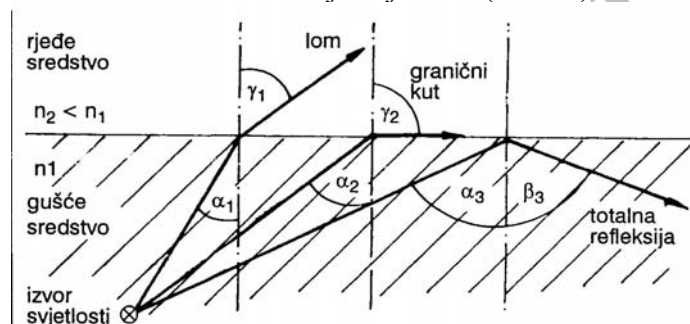
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{C_0}{V} = n$$

Indeks loma nekog materijala određen je njegovim kemijskim sastavom. Rijetka sredstva, npr. vakuum, imaju $n = 1$, a gušća sredstva, npr. većina krutina i tekućina $\sim 1,5$.

Dodavanjem nekih tvari, tzv. dopanata može se indeks loma povećati ili smanjiti.

Totalna refleksija

Kad zraka svjetlosti upada na graničnu plohu iz optički gušćeg sredstva (n_1) u optički rjeđe sredstvo ($n_2 < n_1$), ona se lomi i ako se povećava upadni kut α , kut loma γ se povećava i uskoro postaje 90° . Ako se a povećava i dalje, preko toga graničnoga kuta, dolazi do totalne refleksije svjetlosti (sl. 5.3.).



Slika 5.3. Totalna refleksija svjetlosti

Granični kut upada svjetlosti

To je kut upada, kod kojega se svjetlosna zraka lomi pod kutom od 90° . Određuje se pomoću Snelliusovog zakona refrakcije:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin \alpha}{1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1}$$

Npr.

$$n_1 = 1,5$$

$$n_2 = 1$$

$$\alpha = ?$$

$$\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,5} = 0,67$$

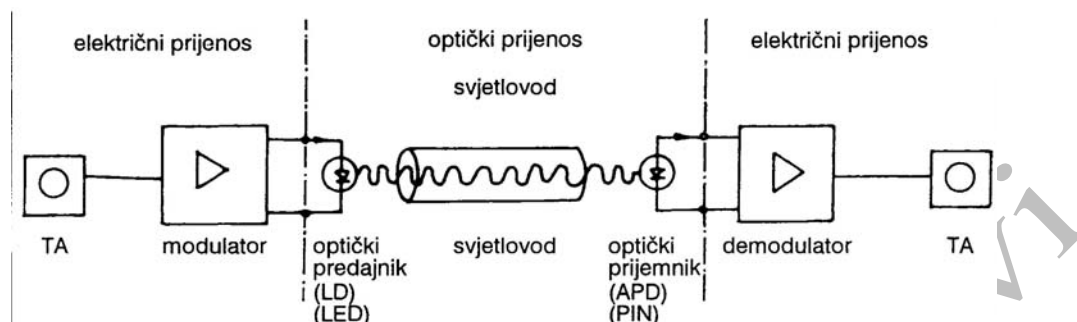
$$\alpha_g = 42^\circ$$

Ako je optički rijetko sredstvo zrak $n_2 = 1$, onda je sinus graničnoga kuta jednak recipročnoj vrijednosti indeksa loma:

$$\sin \alpha_g = \frac{1}{n}$$

Princip prijenosa signala pomoću svjetlosti

Za prijenos signala pomoću svjetlosti potrebna su tri osnovna dijela (sl. 5.4):



Slika 5.4. Princip prijenosa signala pomoću svjetlosti

Elektrooptički pretvarač (optički predajnik) sa što jačim izvorom koncentrirane svjetlosti - svjetlosnog signala, koji se može modulirati u ritmu promjena električnog signala.

Danas se najviše upotrebljavaju dvije vrste optičkih predajnika:

- LD (Laser dioda) - izvor koherentne svjetlosti, jači, manje pouzdan, skuplji;
- LED (Light emitting dioda) - izvor nekoherentne (luminiscentne) svjetlosti, slabiji, više pouzdan, jeftiniji.

Pri analognoj modulaciji obavlja se promjena intenziteta svjetlosti, a pri digitalnoj impulsi svjetlosti promjenjive duljine, slijeda ili položaja.

Optoelektrički pretvarač (optički prijamnik) sa što osjetljivijim detektorom svjetlosti, u kojemu se može obaviti konverzija svjetlosnog signala u električni. Danas se najviše upotrebljavaju dvije vrste optičkih prijamnika:

- PIN fotodioda (P – jako dotiran poluvodič,
I – intrinzičan, nedotiran poluvodič,
N – jako dotiran poluvodič)

ima uži propusni opseg;

- APD fotodioda (Avalansh photo diode, lavinska)

ima širi propusni opseg.

Svjetlovod (od optičkog predajnika do prijamnika) koji treba biti dovoljno proziran kako bi prenosio svjetlosne signale sa što manje gubitaka. Najčešće je od stakla, ali može biti i od plastične mase. U oba slučaja sastoji se od dva dijela:

- jezgre (nešto gušća, veći indeks loma) i
- odraznog plašta (nešto rjeđa, manji indeks loma).

Svjetlosni signal prenosi se samo po jezgri svjetlovoda, dok odrazni plašt oko jezgre služi jedino za vraćanje svjetlosnog signala natrag u jezgru (totalnom refleksijom).

Dobre značajke ovih vodova su

- veliki propusni frekventni opseg (mogućnost prijenosa velikog broja kanala, odnosno prijenos velikim brzinama);
- niska cijena materijala;
- nije vodljiv, pa nema problema ni s uzdužnim ni s poprečnim potencijalom;
- neosjetljivost na elektromagnetske utjecaje (nema ni preslušavanja ni ometanja);

- malo prigušenje (mogući veliki razmaci između regeneratora);
- male dimenzije (dobitak na prostoru);
- male težine (važno za zrakoplove i svemirske letjelice);
- velika savitljivost (lakša manipulacija);
- otporan na visoke temperature;
- otporan na utjecaj agresivne sredine;
- nije zapaljiv.

Loše značajke ovih vodova su

- mala mehanička čvrstoća (krtoš, osjetljivost na udar);
- osjetljivost na ionozantna zračenja (gubitak svojstva prijenosa najveći je odmah nakon ozračivanja, a nakon nekog vremena svojstvo se donekle povraća);
- složeno nastavljanje.

Vrste svjetlovoda

Svjetlovodi se mogu dijeliti s obzirom na različite aspekte.

S obzirom na vrstu materijala za jezgru odnosno odrazni plašt svjetlovod može biti:

- oboje od kvarcnog stakla (SiO_2)
- oboje od višekomponentnog stakla (smjesa SiO_2 s alkalnim, zemnoalkalnim i kovinskim oksidima Na_2O , SiO_2 i dr.)
- jezgra od kvarcnog stakla, a odrazni plašt od plastične mase (PCS - Plastic Clad Silica)
- oboje od plastičnih masa (polimeri)

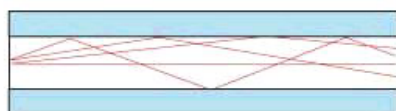
S obzirom na promjenu indeksa loma

Odrazni plašt ima nešto manji indeks loma (0,5 - 2%) od jezgre, što se postiže miješanjem s odgovarajućim dopantima. Prijelaz s većeg indeksa loma jezgre n_1 na manji indeks loma odraznog plašta n_2 može biti:

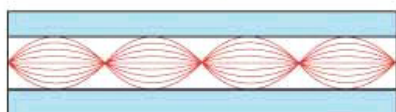
- skokovit
- kontinuiran - gradijentni

S obzirom na broj modova koji se mogu prenositi (sl. 5.5.) svjetlovodi mogu biti:

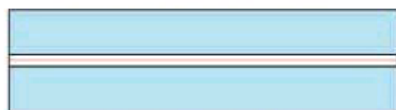
- jedno(mono)modni
- više(modni)



višemodna stepenasta nit



višemodna gradijentna nit



jednomodna nit

Slika 5.5. Vrste svjetlovoda s obzirom na broj modova koje mogu prenositi

S obzirom na prozor (Window) na valnoj karakteristici prigušenja koji koristi:

- prvi (first FW) na 850 nm
- drugi (second SW) na 1300 nm
- treći (third TW) na 1500 nm
- dvojni (double DW) na dva prozora.

5.1. Osnovne konstruktivne značajke

5.1.1. Svjetlovod (optičko vlakno)

Osnovni dijelovi svjetlovoda su:

Jezgra

je dio svjetlovoda, koji služi za prijenos svjetlosnog signala. Može biti od kvarcnog stakla, višekomponentnog stakla ili plastične mase. Promjer jezgre može biti od nekoliko mm (monomodna vlakna) do nekoliko stotina mm (multimodna vlakna). Indeks loma jezgre veći je od indeksa loma odraznog plašta za 0,5-2%.

Odradni plašt

služi za odbijanje svjetlosnog signala natrag u jezgru. Također može biti od kvarcnog stakla, višekomponentnog stakla ili plastične mase. Indeks loma odraznog plašta manji je od indeksa loma jezgre za 0,5-2%.

Primarna zaštita

služi za mehaničku zaštitu jezgre i odraznog plašta. Sastoji se od tankog sloja neke plastične mase, koji se nanosi na golo vlakno (jezgru i odrazni plašt) ekstruzijom, neposredno nakon izvlačenja.

Sekundarna zaštita

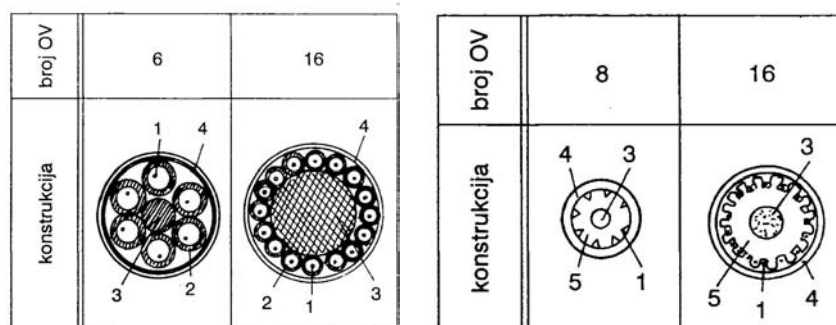
služi za dodatnu mehaničku zaštitu optičkog vlakna te za zaštitu od vlage i raznih kemikalija. Sastoji se od relativno debelog sloja neke plastične mase, koji se nanosi na vlakno s primarnom zaštitom tijesno (TIGHT) ili labavo (LOOS), s punjenjem posebnom masom ili bez punjenja.

5.1.2. Svjetlovodni (optički) modul

Optički modul je skup optičkih vlakana, koja su na određen način složena zajedno.

Danas se najviše koriste tri osnovna tipa modula:

- klasični (sl. 5.6,a) - u kojemu su vlakna složena u skupinu koncentričnim použenjem, slično kao kod simetričnih kabela;
- žljebasti (sl. 5.6,b) - 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);
- trakasti - u kojemu su pojedinačna nezaštićena ili zaštićena vlakna uložena u posebne vrpce od plastificiranog aluminijskog ili poliestera.



a – klasični optički modul

b – žljebasti optički modul

Slika 5.6. Vrste optičkih modula

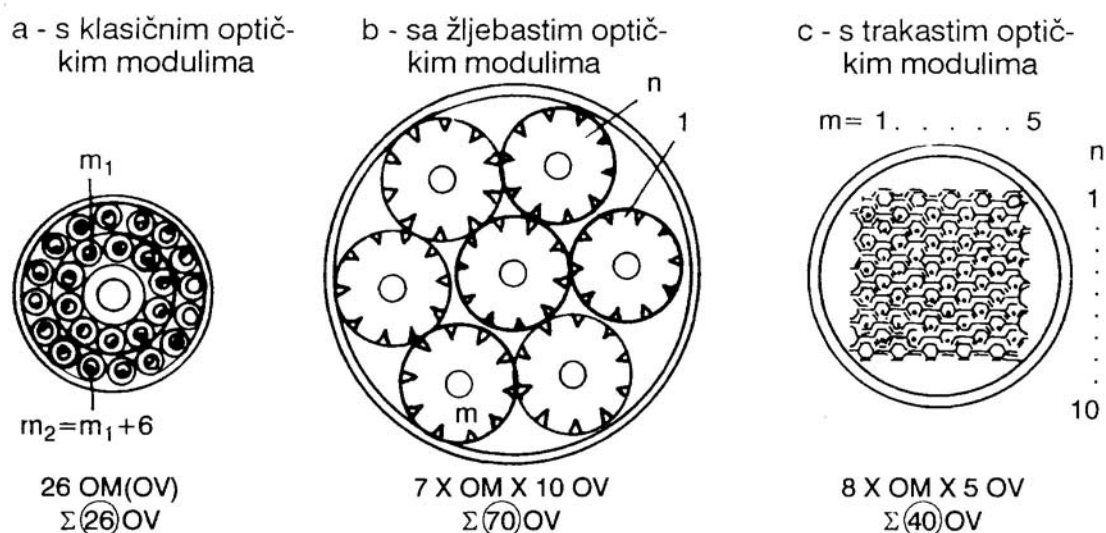
5.1.3. Svjetlovodni (optički) kabel

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 simetričnih kabela (sl. 5.7,a i b).

Trakasti moduli slažu se u redove tako da se dva krajnja ostavljaju prazna radi zaštite (sl. 5.7,c).

Osim optičkih vlakana, u jezgru 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, poliamid-kevlar i dr.).



Slika 5.7. Formiranje jezgre optičkih kabela

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);
- opletko preko jezgre (ujedno štiti od radijalnih sila).

Ostali elementi u jezgri kabela mogu biti:

- izolirani provodnici od bakra ili aluminija;
- 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, poliuretana i sl.;
- plašt, koji služi kao zaštita jezgre kabela od prodora vlage. Obično se izrađuje od polietilena (slojeviti), poliuretana, PVC i dr.;

- armatura, koja služi kao zaštita plašta kabela od mehaničkih oštećenja. Obično se izrađuje od čeličnih žica ili vrpca;
- zaštitni slojevi, koji služe kao zaštita armature od korozije. Obično se izrađuju od polietilena.

Primjeri konstrukcija optičkih kabela s obzirom na način polaganja nalaze se na slici 5.8.

Označivanje konstrukcija optičkih kabela obavlja se skupinom bročanih ili slovnih simbola, koji imaju sljedeća značenja:

TO – osnovna oznaka za TK kabel sa svjetlovodnim vlaknima.

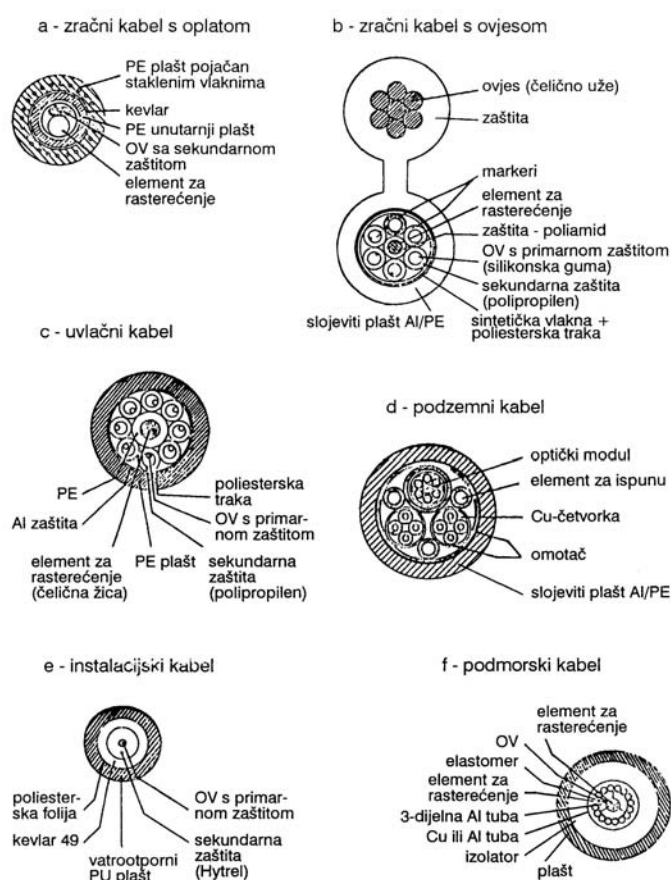
Optički kabeli s višesmodnim vlaknima imaju sljedeću oznaku:

TO MM ab n x A x N x B xS

gdje su:

MM – oznaka za višesmodna vlakna (MULTI MODE)

ab – bročana oznaka za vrstu plašta i armature, kao kod plastičnih kabela



Slika 5.8. Konstrukcije optičkih kabela s obzirom na način polaganja

Dopunska oznaka za zaštitu kovinskog plašta kabela od korozije:

- P – ekstrudirani plašt od PET
- V – ekstrudirani plašt od PVC
- n – broj svjetlovodnih vlakana u kabelu
- A – bročana oznaka za prigušenje kabela [dB/km]
- N – oznaka rimskim brojevima za valno područje:
- I – 850 nm
- II – 1300 nm
- B – bročana oznaka za širinu pojasa propuštanja [MHz T km]
- S – dopunska oznaka za konstrukciju kabela:
- C – kabel s vlaknima u cijevima

- V – kabel s vlaknima u žljebovima
- M – punjeni kabel
- A – kabel s aramidnim vlaknima
- N – kabel s nemetalnim elementima.

Optički kabeli s jednomodnim vlaknima imaju sljedeću oznaku:

TO SM ab n x A x D

gdje su:

- SM – oznaka za jednomodno vlakno (SINGLE MODE)
- D – disperzija vlakna u kabelu [ps/nm T km]

Ostale su oznake kao kod optičkih kabela s višemodnim vlaknima, a za valno područje prijenosa podrazumijeva se 1300 nm.

5.2. Prijenosna svojstva

Općenito

Numerički otvor (Numerical aperture, NA)

Definiran je kao sinus maksimalnoga kuta prihvata, a ovisi o indeksu loma materijala.

$$NA = \sin \Theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Vrijednost numeričkog otvora NA kreće se od 0 do 1 i izravno utječe na broj modova koji se mogu koristiti u svjetlovodu.

Prigušenje

Prigušenje u svjetlovodima nastaje zbog gubitaka, koji opet nastaju zbog raznih uzroka, kao što su:

- apsorpcija svjetlosti u materijalu zbog interakcije fotona s molekularnim vibracijama u staklu, premještanja elektrona, te prijelaza elektrona između energetske razine;
- raspršenje svjetlosti na nehomogenostima i nečistoćama u materijalu (scattering) koje postoje otprije ili nastaju za vrijeme proizvodnje svjetlovoda. Ta se pojava naziva Rayleighovo raspršenje, a emitirana svjetlost Tyndallova svjetlost. To raspršenje proporcionalno je sa λ^{-4} ;
- raspršenje svjetlosti zbog nepravilnosti u geometriji (npr. promjer jezgre) (Radiation);
- raspršenje svjetlosti na zakrivljenjima (obično zanemarivo, ali pri malim polumjerima zakrivljenja naglo raste) (Microbends, Macrobends);
- 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. Na valnoj karakteristici prigušenja svjetlovoda od kvarca nastaju tri minimuma (prozora):

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

Minimum prigušenja za prvi prozor iznosi oko 2 dB/km, za drugi 0,5 dB/km, i za treći 0,2 dB/km. Danas su već proizvedena vlakna s prigušenjem koje se bliži teoretskom. U praksi je najviše korišten I. prozor, iako to nije optimalno rješenje, ali je bilo uvjetovano početnim teškoćama u realizaciji izvora svjetlosti. Danas se koriste uglavnom II. i III. prozor.

Disperzija

je pojava, da se impulsi svjetlosti pri prijenosu po svjetlovodu proširuju, pa na taj način ograničuju širinu propusnog opsega.

Ukupna disperzija posljedica je dviju vrsta disperzija, i to:

1. Disperzija materijala ili intramodna (kromatska)

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 skokovitim 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 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 ≈ 0 (međusobna kompenzacija).

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 6 dB. Širina propusnog opsega je usko povezana s disperzijom i za pojedine vrste svjetlovoda iznosi:

- multimodni, sa skokovitim promjenom indeksa loma - desetine MHz \cdot km
- multimodni, s kontinuiranom promjenom indeksa loma - stotine MHz \cdot km
- monomodni, sa skokovitim promjenom indeksa loma - tisuće MHz \cdot km.

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

Broj modova

Broj vođenih modova u svjetlovodu ovisi o promjeru jezgre, valnoj dužini i numeričkom otvoru.

5.3. Međusobni utjecaj

Po svjetlovodima se prenose svjetlosni signali isključivo kroz njihove jezgre tako da ne može doći do međusobnog ometanja.

5.4. Polaganje i montaža

Polaganje

Općenito se za optičke kabele može reći da imaju manje dimenzije i težinu, te veću savitljivost od konvencionalnih kabela sa simetričnim ili nesimetričnim žičnim vodovima, što omogućuje lakše rukovanje i brže polaganje.

Za polaganje optičkih kabela relevantne su sljedeće značajke:

- 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).

Uskladištenje i transport optičkih kabela slični su kao i onih konvencionalnih, s tim da moraju biti prilagođeni za svjetlovodnu tehniku (posebne mjere).

Polaganje optičkih kabela u zemlju

Pri polaganju optičkih kabela u zemlju nema bitnih razlika u odnosu na konvencionalnu tehniku, samo što se obavlja posebna zaštita od udara, opterećenja i glodavaca. Inače se izvodi pomoću kablenskog pluga ili vitla, iz vozila ili ručno.

Uvlačenje optičkih kabela u kablensku kanalizaciju

Opet nema bitnih razlika u odnosu na konvencionalnu tehniku, samo što se obavlja posebna zaštita pri skretanju u kablenskoj kanalizaciji (dvostruki koloturnici i zaštitna zakrivljenja). Izvodi se pomoću vitla ili ručno. Ako se proračunom dokaže da se u kanalizaciju ne može uvući kabel tvorničke duljine, jer dolazi do prekoračenja vučnog opterećenja kabela, primjenjuje se metoda raspodijeljene vučne sile pomoću specijalnih strojeva s dvostrukim katepilarskim gusjenicama.

Danas se optički kabele najčešće uvlače u kablensku kanalizaciju upuhivanjem pomoću mlaza komprimiranog zraka.

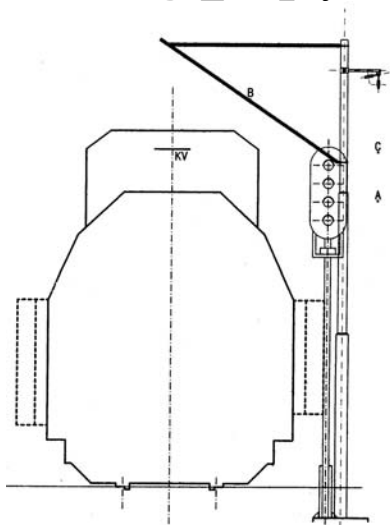
Radi boljeg iskorištenja kablenske kanalizacije mogu se u jednu kanalizacijsku cijev promjera 100 mm prethodno uvući tri ili četiri pomoćne plastične cijevi vanjskog promjera 35 do 40 mm.

U te cijevi mogu se potom uvlačiti optički kabele promjera do 23 mm.

Postavljanje zračnih optičkih kabela

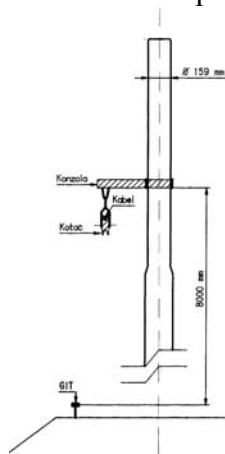
Slično je kao i u konvencionalnoj tehnici samo što je oprema prilagođena za svjetlovodnu tehniku (posebne mjere).

Na Hrvatskim željeznicama optički se kabel postavlja na stupove kontaktne mreže. Na slici 5.9. vidi se način ovjesa optičkog kabela.



Slika 5.9. Montaža optičkog kabela na stupu kontaktne mreže

Prilikom postavljanja optičkog kabela na stupove kontaktne mreže treba naročitu pažnju posvetiti provjesu kabela (točka C na slici 5.9.), utjecaju skupljenog leda na kabele (točka A na slici 5.9.) i utjecaju bočnog vjetra (točka B na slici 5.9.). Detalj nosača kabela prikazan je slikom 5.10.



Slika 5.10. Detalj nosača optičkog kabela na stupu kontaktne mreže

Polaganje svjetlovodnih kabela u zgradama

I ono je slično kao i u konvencionalnoj tehnici, s tim da se pričvršćenje kabela obavlja pomoću obujmica na razmacima od 1 m. Do visine 1,5 m od poda kabel treba posebno zaštititi.

Nastavljanje

Pri nastavljanju optičkih kabela treba razlikovati spajanje optičkih vlakana i spajanje optičkih kabela.

Spajanje optičkih vlakana

Prije spajanja optičkih vlakana potrebno je da se ona pripreme za tu radnju, a to se obavlja u tri faze:

- otklanjanje primarne i sekundarne zaštite;
- rezanje;
- obrada reznih površina (brušenje, poliranje i sl.).

Spojevi optičkih vlakana mogu biti nerastavljivi i rastavljivi.

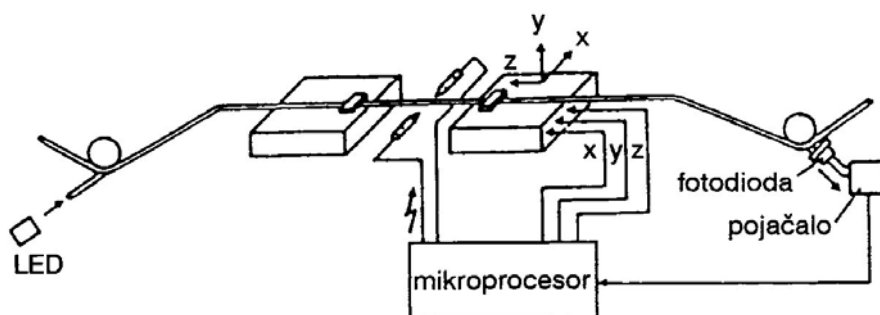
Nerastavljivi spojevi izvode se najviše na dva načina:

- toplinski (termički) (sl. 5.11) (taljenje, varenje), prigušenje 0,1 dB;
- mehanički (fiksiranje, lijepljenje), prigušenje 0,2-0,3 dB.

Rastavljivi spojevi izvode se najviše na dva načina:

- uvođenjem optičkih vlakana u kovinske ili keramičke cjevčice (ferule);
- uklještenjem optičkog vlakna u žlijebu, odnosno između valjkastih elemenata.

Pritom mogu imati kontaktni čelni spoj ili nekontaktni čelni spoj. Prigušenje je 0,2-1 dB.



Slika 5.11. Izrada nerastavljivog spoja optičkih vlakana varenjem

Spajanje optičkih kabela

Prije spajanja optičkih kabela potrebna je također njihova priprema, koja se sastoji u obradi krajeva kabela (zasijecanje, otklanjanje slojeva i sl.).

Nastavljanje optičkih kabela obavlja se u spojnicama ili kućištima za regeneratore.

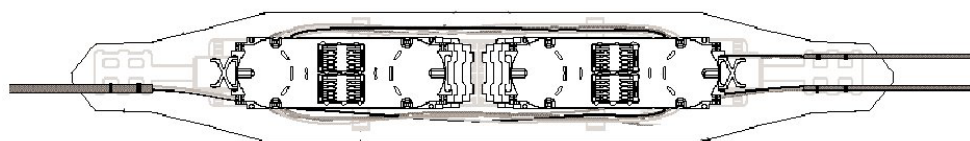
Spojnice za optičke kabele po tipu mogu biti:

- ravne (produžne)
- račvaste (razdijelne).

Montiraju se na kabel uglavnom na dva načina:

- hladnim postupcima (mehaničko stezanje gumenih brtvila, plastične ljepljive vrpce, te posebna smjesa za hermetizaciju i sl.), ili
- toplim postupcima (termoskupljajući materijali, ulijevanje rastvorene mase u kalup i sl.).

Spojene svjetlovodne niti postavljaju se na poseban uložak u spojnici za svjetlovodne kabele kako je to prikazano slikom 5.12.



Slika 5.12. Uložak spojnice za svjetlovodne kabele

Kućišta za regeneratore mogu biti:

- čelična (za veći broj te za smještaj u zemlju)
- plastična (za manji broj te za smještaj u zdence kabelske kanalizacije).

Završavanje

Optički kabele mogu biti završeni na različite načine. Ako se radi o jednom optičkom kabele, odnosno ako se mjerenje kabela predviđa izravno s uređaja, završavanje kabela može biti bez posebne opreme.

Ako se radi o više optičkih kabela, završavanje se obavlja najčešće završnim kutijama, a u nekim slučajevima na optičkom razdjelniku, na kojemu su osim završnih kutija montirane i posebne konektorske reglete. U završnoj kutiji obavlja se prijelaz s linijskoga kabela na završne, i ti su spojevi obično nerastavljivi. Reglete u optičkim razdjelnicima omogućuju prekid veze, pa su tu spojevi rastavljivi s konektorima. Završni kabele uvijek završavaju s konektorima radi priključka na uređaje.

5.5. Održavanje

Održavanje optičkih kabela dosta je komplicirano, ali s obzirom na njihovu malu osjetljivost na utjecaje elektromagnetskih polja i pražnjenja atmosferskog elektriciteta, kvarovi su na njima rijetki, pa je održavanje ipak jeftino. Optički kabele su osjetljivi na pojavu vode u njima (kada se smrzne, može prouzročiti pucanje svjetlovoda), pa su zato pod plinskom kontrolom, odnosno pune se posebnim masama.

U okviru održavanja optičkih kabela obavljaju se mjerenja, koja se mogu podijeliti u dvije skupine:

- mjerenja radi provjere pojedinih značajki (geometrijskih, mehaničkih, prijenosnih, optičkih, te otpornosti na razne utjecaje)
- mjerenja radi utvrđivanja mjesta greške.

5.6. **Mogućnosti iskorištenja, te primjena danas i u budućnosti**

Prijenosni kapacitet svjetlovoda je golem, ali se danas koristi samo njegov neznatan dio.

U prvo vrijeme svjetlo vodi su se koristili za analogni prijenos, a danas se koriste gotovo isključivo za digitalni prijenos. Nije ekonomično koristiti svjetlovod za male brzine prijenosa, a najveća brzina za koju se danas komercijalno koristi je preko 13 Gb/s (preko 120 000 analognih telefonskih kanala).

Razmak između regeneratora ovisi i o vrsti optičkih vlakana i o vrsti elektrooptičkih pretvarača. Grubo se može uzeti da najlošija vlakna (višemodna sa skokovitom promjenom indeksa loma) s najslabijim pretvaračima (LED, PIN) imaju za brzinu 2 Mb/s razmak regeneratora oko 10 km, a najbolja vlakna (monomodna) s najjačim pretvaračima (LD, APD) za brzinu preko 13 Gb/s uz isti razmak regeneratora.

Već danas su svjetlo vodi najekonomičniji ako je potreban velik broj veza, i to i na duljim i na kraćim relacijama ako postoje posebni zahtjevi.

Prijenosni sustavi po svjetlovodima sve se više rabe iz više razloga, od kojih su osobito važni ekonomski:

- bakra je sve manje i njegova cijena je u stalnom porastu;
- kvarca je u prirodi vrlo mnogo i njegova cijena je u stalnom padu