

# OPTIČNA VLAKNA

## 1. Uvod

Z izumom laserja, po drugi svetovni vojni, so poizkušali usmerjati in s tem prenašati svetlobo. S pomočjo raziskav in poizkusov so prišli do odkritja optičnega vlakna. To je osnoven gradnik optičnega vodnika (tudi svetlobnega vodnika, svetlovoda, ipd.), s katerim lahko vodimo svetlobo po ukrivljenih poteh na velike razdalje. Vendar so imeli prvi optični vodniki veliko slabljenje signala 1 dB/km\*. Tako je konec 60-ih letih prejšnjega stoletja več znanstvenikov neodvisno zaključilo, da je to posledica nečistosti v steklu. V 70-ih so izdelali mnogorodovno optično vlakno s slabitvijo 20 dB/km, kmalu za tem pa še s slabitvijo 4 dB/km. (Danes je slabitev signala pri mnogorodovnih vlaknih okoli 0,5 dB/km, pri kasneje odkritih enorodovnih vlaknih po še nekajkrat manjše).

Številne izboljšave so pripeljale do široke uporabe optičnih vlaken predvsem v telekomunikacijah, medicini, računalniških omrežjih, tehniki, ipd. Z optičnimi prenosi s pomočjo optičnih vlaken lahko merimo tok in napetost na daljavo brez vpliva zunanjih motenj.

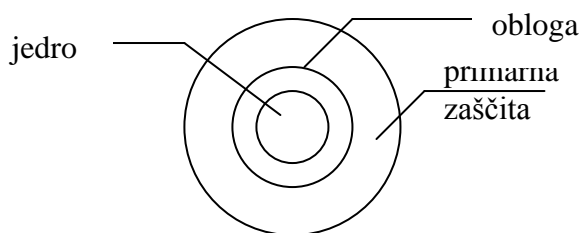
$$* \text{ dB} = 10 * \log_{10} \frac{P_{\text{vhodna}}}{P_{\text{izhodna}}}$$

## 2. Kaj so optična vlakna?

Optična vlakna so zelo tanke niti optično čistega materiala z nekaterimi dodatki. Ti dodatki morajo biti v zelo majhnih količinah, da ne vplivajo preveč na optične lastnosti stekla. Prevajajo tako vidno svetlobo, kot infrardečo (pri telekomunikacijah) in ultravijolično svetlobo.

Kot oprijemljiv model optičnih vlaken si lahko predstavljamo sistem ogledal na hodniku, ki so postavljena tako, da če posvetimo v prvo ogledalo se žarek odbije vse do zadnjega. Drugače bi lahko povedala, da: optično vlakno ujame svetlobo in jo prevaja vzdolž vlakna, ki se širi s pomočjo loma svetlobe in totalnega odboja. Tako se prenaša signal od izvora do sprejemnika; tudi koaksialni vodniki (bakrene žice) prevajajo signal, ki je v tem primeru električni impulz.

Optično vlakno je sestavljeno iz treh osnovnih gradnikov: jedra, obloge in primarne zaščite (Slika 1.)



Slika 1.  
Optično vlakno.

Obloga in jedro sta pred mehanskimi in nekaterimi drugimi zunanjimi vplivi zaščitena s primarno zaščito. Jedro je optično gostejše - ima večji lomni količnik od obloge, skupaj pa tvorita valovodno strukturo, katere osnoven princip je totalen odboj. Velikost jedra je odvisna od optičnega vlakna:

- Mnogorodovna vlakna imajo premer jedra bistveno večji od valovne dolžine svetlobe, večjo razliko lomnih količnikov jedra in ovoja. Po njih hkrati potuje več svetlobnih žarkov, nekoliko različnih valovnih dolžin. Zaradi slabših prenosnih sposobnosti mnogorodovnih vlaken se jih danes uporabljamo za povezave na krajše razdalje. Standardi danes določajo tako premer jedra kot premer obloge za posamezne tipe optičnih kablov. Tipične debeline za vodnike z mnogorodovnimi vlakni so: 50/125, 62,5/125, 100/140 ipd; premer jedra [ $\mu\text{m}$ ]/premer obloge [ $\mu\text{m}$ ]

- Enorodovna vlakna imajo premer jedra primerljiv z valovno dolžino svetlobe, po njih potuje en sam žarek – ne prihaja do zamikov posameznih delov spektra, zato omogočajo hitrejši prenos informacij. (V grobem) imajo lastnost linearnega medija zato se uporabljajo za dolge optične povezave. Standardizirana debelina enorodovnega optičnega vodnikov je npr.: 9/125.

\*Pojasnilo: Dejansko so optični vodniki sestavljeni iz snopa drobnih vlaken. Dosledna uporaba izrazov "optično vlakno" in "optični vodnik", bi pomenila, da le eno izmed vlaken v snopu imenujemo optično vlakno, celoten snop pa optični vodnik. V kolikor bi bilo jedro sestavljeno iz enega samega vlakna, torej enorodovno, bi lahko uporabili izraz optično vlakno tudi za take vrste optični vodnik. Vendar večinoma uporabljamo, tudi v nekateri strokovni literaturi, izraz optično vlakno tudi za optične vodnike.

### 3. Osnovni princip

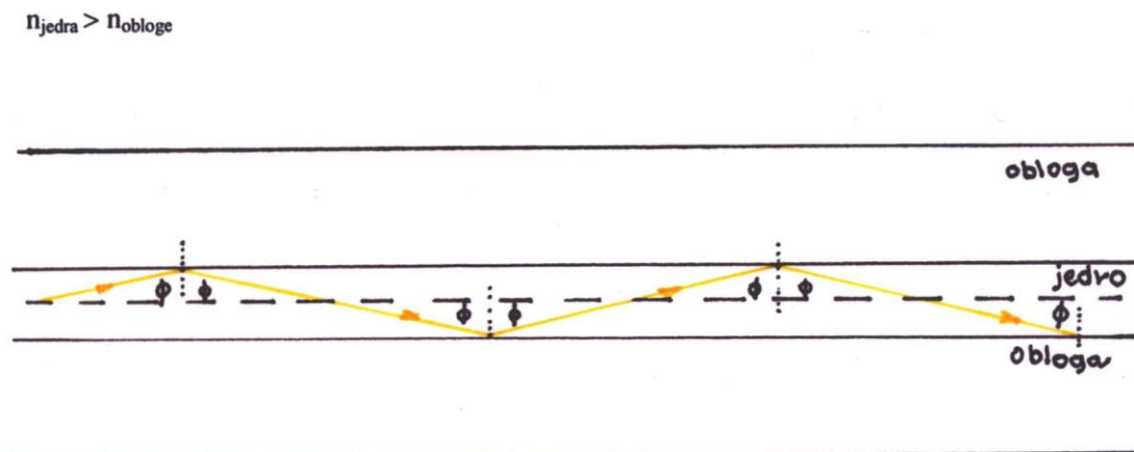
Model za razlago osnovnega principa delovanja optičnega vlakna, ki sem ga uporabila, je poenostavljen in temelji na geometrijski optiki. Torej širjenje svetlobe predstavimo z žarkom. Kljub poenostavitvi modela, pa se z njim da dobro pojasniti vlakna z debelim premerom, torej mnogorodovna vlakna. Za enorodovna vlakna, kjer je premer jedra primerljiv z valovno dolžino svetlob, ki jo vodnik prenaša, pa bi bilo potrebno uporabiti popolnejši model, ki bi temeljil na Maxwellovih enačbah.

Lomni zakon: 
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

*Totalni odboj:* Del vpadnega valovanja se lomi in preide v sredstvo z lomnim količnikom  $n_2$ , del se odbije nazaj v sredstvo z lomnim količnikom  $n_1$ . Če svetloba prehaja iz optično gostejšega v optično redkejši medij se lomi žarek od vpadne pravokotnice. S povečevanjem vpadnega kota se delež odbite svetlobe večja, vse dokler ni pri nekem kotu delež lomljene svetlobe enak nič. Vsa svetloba se torej odbije in pride do totalnega odboja; kot pri katerem se odbije vse valovanje imenujemo mejni kot  $\alpha_k$ , za katerega velja:

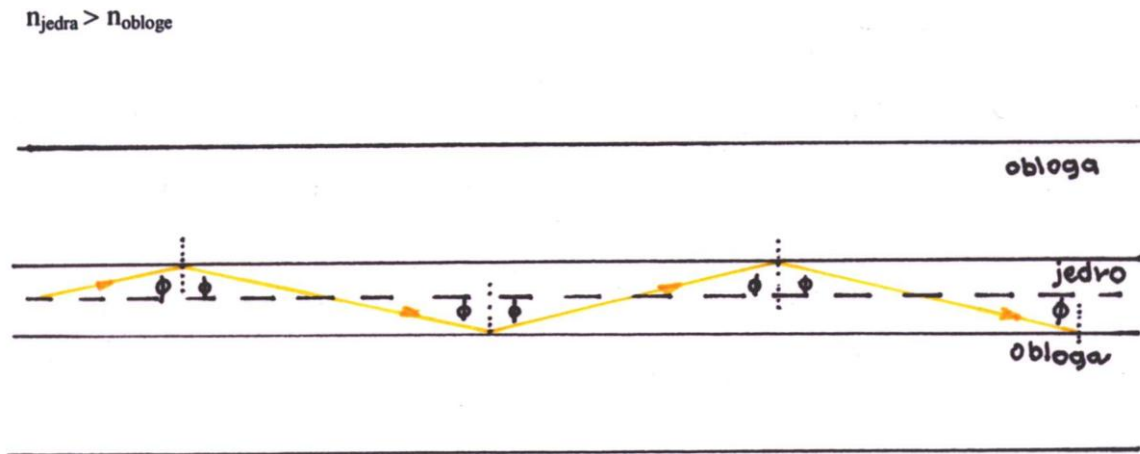
$$\sin \alpha_k = \frac{n_2}{n_1}$$

Optično vlakno je zgrajeno iz optično gostejšega jedra in optično redkejše obloge okoli jedra. Žarek, ki vstopi v jedro vlakna in izpolnjuje pogoje za popolni odboj ostane ujet v vlaknu. (Slika 2.)



Slika 2.  
Osnovi ali središčni žarek, ki se širi v optičnem vlaknu.

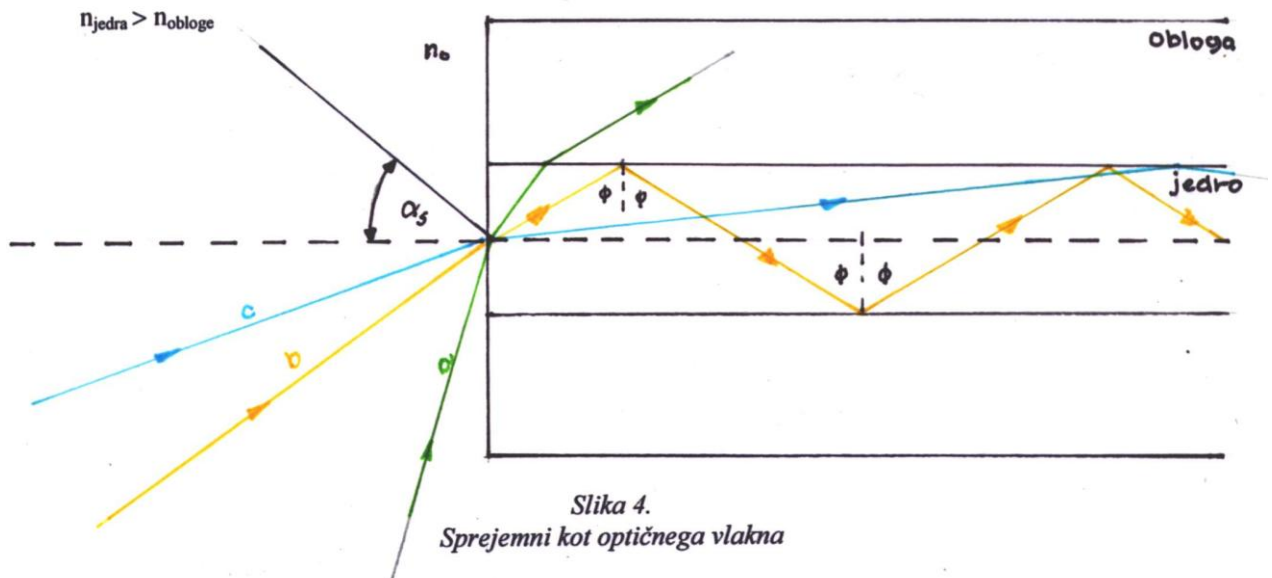
Poleg središčnih žarkov se v optičnem vlaknu širijo tudi bočni žarki po spiralnih poteh. (Slika 3.)



Slika 2.  
Osni ali središčni žarek, ki se širi v optičnem vlaknu.

Poleg širjenja svetlobe v vlaknu je pomemben tudi vstopni kot žarka v optično vlakno. Vlakno vodi le tiste vpadne žarke, ki oklepajo s stenami vodnika dovolj majhen kot, da žarek še izpolnjuje pogoje za totalni odboj. Sprejemni kot  $\alpha_s$  je največji kot, pod katerim žarek vstopi v vlakno, da ga to lahko še vodi. Glej sliko spodaj:

- žarek *a* vpada pod prevelikim kotom, zato na meji jedro-obloga ni izpolnjen pogoj za totalni odboj in ta žarek se izgubi skozi oblogo, saj ga vlakno ne more voditi.
- žarek *c* vodnik brez težav vodi
- žarek *b* vpada pod sprejemnim kotom  $\alpha_s$ , in vlakno ga še lahko vodi



Slika 4.  
Sprejemni kot optičnega vlakna

Zaključim, da vlakno ne more voditi svetlobe, ki vpadajo pod poljubnim kotom. Vsi žarki, ki vpadajo pod prevelikim kotom se na poti izgubijo skozi oblogo. Enako velja za izstopne žarke iz optičnega vlakna, saj je največji kot pod katerim lahko izstopijo enak sprejemnemu kotu  $\alpha_s$ .

#### 4. Sestava optičnega vodnika

Izbira materiala za optična vlakna je odvisna od svetlobnega vira (IR, UV, vidna svetloba), in pogojev v okolici. Za različna območja valovnih dolžin uporabljamo različne materiale:

- Silicijevo steklo ( $\text{SiO}_2$ ) z dodatki germanijevega oksida ( $\text{GeO}_2$ ) ali fosforjevega oksida ( $\text{P}_4\text{O}_{10}$ ) ali borovega oksida ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ). Steklana vlakna so odporna na kisline, imajo bistveno večji temperaturno območje, v katerem delujejo, vendar so bolj občutljiva na mehanske obremenitve. Primerna so predvsem za prenos IR svetlobe.
- Plastična vlakna so primernejša za vidno svetlobo. Propustnost se jim s časom manjša, občutljiva so na elektrostatični naboj, ožje temperaturno območje, dopuščajo manjše polmere krivin, hitrejše slabljenje signala od steklenih vlaken; vendar so prednosti: da so bolj odporna na mehanske obremenitve, znatno cenejša in lažje jih je odrezati na željeno dolžino.
- Tkočine, geli z določenimi optičnimi lastnostmi se tudi lahko uporabljajo za prenos svetlobe, vendar so manj pogosti.

#### 5. Nekatere lastnosti optičnih vlaken in primerjava optičnega vodnika z bakrenim

Steklen optičen vodnik ima pred "klasičnim" koaksilnim vodnikom iz bakra številne prednosti, zato se njegova uporaba hitro širi predvsem v komunikacijskih omrežjih.

- + Optični vodniki imajo bistveno manjše slabenje signala, tudi zaradi optične čistosti stekla iz katere sledi majhna absorpcija, zato imajo lahko šibkejše ojačevalnike, le na vsakih 25-60 km
- + Svetlobni signal ima višjo nosilno frekvenco od električnih signalov, pri višji frekvenci lahko nosijo več informacij.
- + Večja hitrost prenosa.
- + Slabljenje signala je neodvisno od gostote prenesenih podatkov.
- + Masa optičnega vodnika je le cca. 10 kg/km, bakrenega pa 1550 kg/km.
- + Optično vlakno je dielektrična struktura.
- + V optičnih vodnikih ne nastane indukcija zaradi udara strele ali elektromagnetnega sevanja.
- + Optična vlakna so varna pred prisluškovanjem, saj vsak poseg v vlakno lahko zaznamo na več kilometrov daleč.
- + v optičnem kablju se signali med seboj ne motijo, zato ne pride do interference in ne do motenj signala
- + Optični vodniki ne korodirajo, ni nevarnosti požara.
- + Razpršitev signala ali disperzija je pojav, ki skrajšuje prenosno pot, ...

Vendar pa:

- ...razpršitev impulza omejuje hitrost prenosa informacij
- So zaenkrat še vedno cenejši bakreni vodniki, čeprav so se cene zaradi množične proizvodnje že skoraj izenačile. Vendar pa sta koder in dekoder iz električnega impulza v svetlobnega in obratno še vedno razmeroma draga.
- Omrežje optičnih komunikacij kljub sprejeti Strategiji razvoja komunikacij v Republiki Sloveniji še ni dovolj razširjena.
- Optične vodnike lahko krivimo le do določenega radija, saj se pri prevelikem radiju ukrivljanja svetlobni impulz v njih ne lomi več pravilno oz. ne pride več do totalnega odboja na čemer temelji prenos impulza po optičnem vodniku.

## 6. Zaključek

Po pričakovanjih in napovedih se je zelo razširila uporaba optičnih vodnikov. Republika Slovenija načrtuje izgradnjo omrežja optičnih komunikacij, vendar kot kaže bodo privatni investitorji prej dosegli male uporabnike z zmogljivimi optičnimi kabli, ki omogočajo hitrejši, kvalitetnejši prenos večjih kapacitet podatkov. Cene izgradnje omrežja in izdelave optičnih vlaken zaradi večjega povpraševanja še vedno padajo, tako da je pričakovati, da je tovrstno omrežje prihodnost za večino telekomunikacijskih omrežij. Pri seminarju me je presenetila predvsem širina teme, ki sem si jo izbrala in veliko število diplomskih nalog ter doktorskih disertacij, ki jo obravnavajo.

## 7. Literatura

*Donlagić D., Završnik M., Đdonlagić D.: Fotonika:uvodna poglavja*, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in infomatiko, Maribor, 1997

Koškin N. I., Širkevič M. G.: **Priročnik elementarne fizike**, Založniški zavod življenje in tehnika, Ljubljana, 1967

*Kladnik R.: Energija, toplota, zvok, svetloba*, fizika za srednješolce 2, DZS, Ljubljana 1998

### Spletne strani:

<http://www.panoptikum.si/optika/opzun.html>

[http://www1.fov.uni-mb.si/Studentske\\_strani/seminarske/opticni%20kabli/default.html](http://www1.fov.uni-mb.si/Studentske_strani/seminarske/opticni%20kabli/default.html)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_optic#Principle\\_of\\_operation](http://en.wikipedia.org/wiki/Fibre_optic#Principle_of_operation)

[http://www2.arnes.si/~bbatag/batagelj\\_dmrs2003.pdf](http://www2.arnes.si/~bbatag/batagelj_dmrs2003.pdf)

<http://www.fiz.uni-lj.si/~jaglicic/sola/seminarji/opticna-vlakna-2/opticna-vlakna.doc>

<http://www.fiz.uni-lj.si/~jaglicic/sola/seminarji/opticna-vlakna/opticna-vlakna.html>

<http://www.drustvo-dvs.si/revclanek.asp?clanekID=-322->

Sestavila: Janja Avbelj, Geodezija-uni1, maj 2006