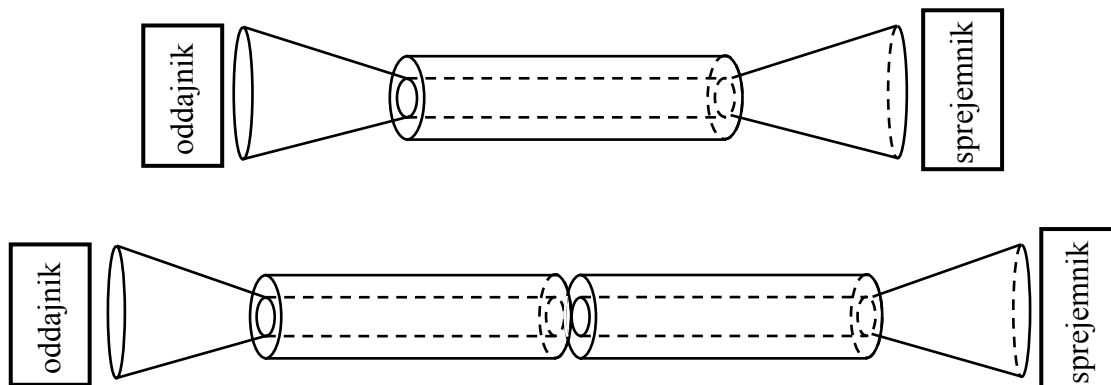


6. Svetlobni sklop

Optično vlakno, ki vodi svetlobo s pomočjo brezizgubnega pojava popolnega odboja ima majhno slabljenje. V primeru nepazljivosti pri izdelovanju svetlobnega sklopa pa je kaj hitro lahko zgodilo, da izgubimo mnogo svetlobnega signala. Iz tega razloga, je pomembno, da skrbno načrtujemo sklapljanje svetlobnega signala v vlakno iz svetlobnega oddajnika ter iz vlakna na svetlobni sprejemnik, kar prikazuje slika 1a. Tudi sklop med vlakni, ki ga prikazuje na sliki 1b, mora biti skrbno načrtovan.

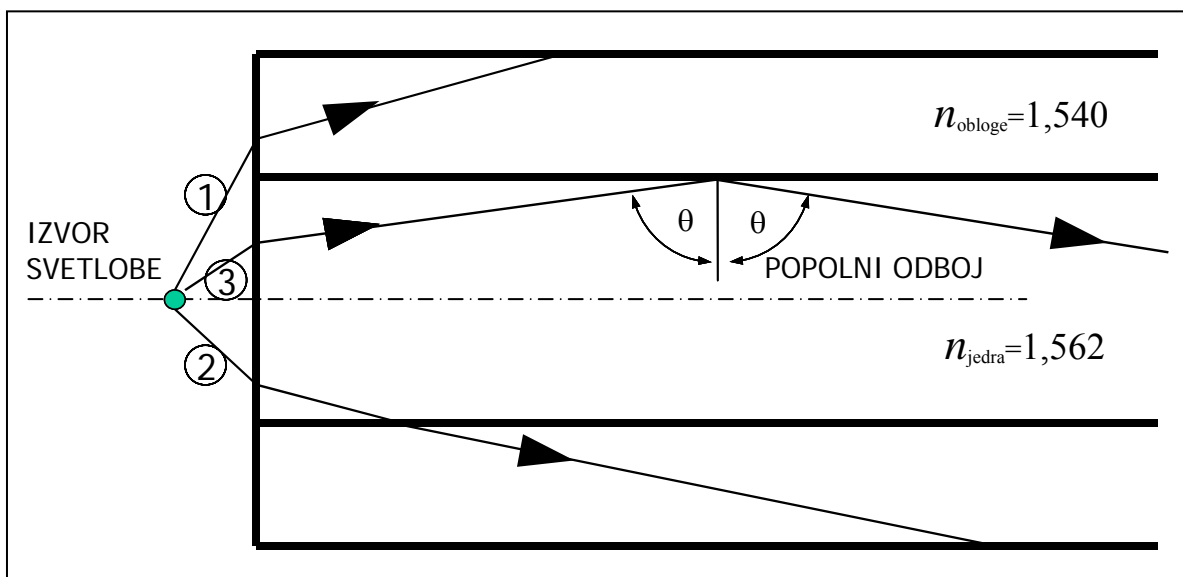


Slika 1: Različne vrste svetlobnega sklopa.

6.1. Sprejemni kot in numerična odprtina vlakna

Na sliki 2 je prikazan vstop svetlobnih žarkov v optično vlakno skozi čelni prečni prerez.

Žarek št. 1 prihaja iz svetlobnega izvora in vpade na oblogo optičnega vlakna. Valovanje vpade iz zraka z lomnim količnikom približno 1 na steklo, ki ima večji lomni količnik. Spodnji del valovanja prej zadene steklo. Ker se svetloba v steklu širi počasneje kot v zraku, spodnje valovne fronte zaostajajo in svetlobni žarek spremeni smer. Ta žarek zadene primarno zaščito in se v njej absorbira, torej je izgubljen.



Slika 2: Vstop žarkov v optično vlakno.

Žarek št. 2 sicer zadane jedro optičnega vlakna, vendar je njegov vstopni kot prevelik in konča podobno kot prejšnji žarek. Zaradi enakega razloga se na meji zrak-steklo lomi in potuje do obloge. Tu se ponovno lomi zaradi prevelikega vpadnega kota in ko preleti oblogo se absorbira.

Žarek št. 3. vpade v jedro pod manjšim vpadnim kotim. Potem, ko se lomi na meji zrak-steklo, prileti na mejo jedro-obloga. Ker je vpadni kot na mejo jedro-obloga (θ) precej velik, pride do totalnega odboja in žarek se v celoti odbije nazaj v jedro. Na ta način je žarek ujet v jedro vlakna in po »cik-cak« metodi potuje v smeri vlakna.

Ena najpomembnejših lastnosti kakršnegakoli dielektričnega valovoda je **numerična odprtina** (angl. numerical aperture – NA). Pove nam, kolikšna je kotna odprtina α_{\max} , skozi katero morajo žarki vstopati v vlakno, da so v njem ujeti. To so tisti žarki, ki zadoščajo pogoju notranjega odboja na meji med jedrom in oblogo. Vlakno lahko sprejme le tiste žarke, ki vanj vstopajo pod dovolj majhnim vpadnim kotom. Žarki, ki vpadajo pod večjim vpadnim kotom, izstopajo iz jedra v oblogo.

Če je n_0 lomni količnik zunanje prostora, n_1 in n_2 pa sta lomna količnika jedra in obloge stopničastega vlakna, ki ga prikazuje slika 3, se Snellov lomni zakon za lom na čelni ploskvi vlakna glasi

$$n_0 \sin \alpha = n_1 \sin \beta . \quad (1)$$

Kot β je mogoče izraziti s kotom popolnega odboja θ , pri čemer dobimo za lomni zakon zapis

$$n_0 \sin \alpha = n_1 \sin \beta = n_1 \sin(\pi/2 - \theta) = n_1 \cos \theta . \quad (2)$$

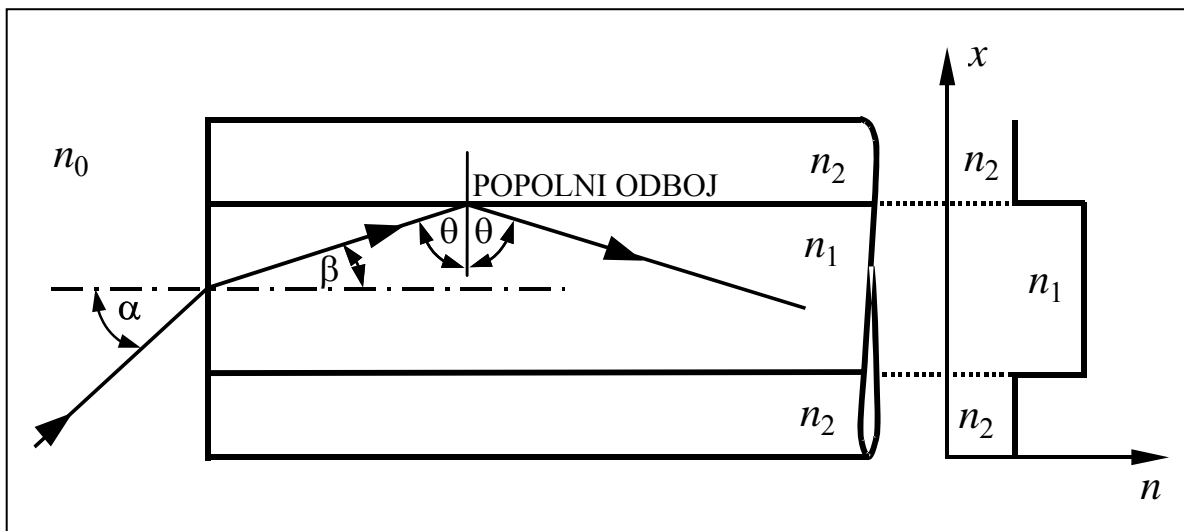
Žarek ostane v vlaknu ujet, če je vpadni kot θ večji od mejnega kota popolnega odboja θ_k , ki ga opredeljuje enačba popolnega notranjega odboja

$$\sin \theta_k = \frac{n_2}{n_1} . \quad (3)$$

Pišemo

$$\sin \alpha = \frac{n_1}{n_0} \cos \theta = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \sin^2 \theta} \leq \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \sin^2 \theta_k} = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} . \quad (4)$$

Enačba se nanaša na največji možni vršni kot α_{\max} stožca vpadnih žarkov.



Slika 3: Vstop žarkov v optično vlakno s stopničastim lomnim likom (angl. step index – SI).

Pri $n_0=1$ dobimo

$$NA = \sin \alpha_{\max} \approx \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} . \quad (5)$$

Izraz $\sin \alpha_{\max} \approx \alpha_{\max}$ imenujemo numerična odprtina (apertura) NA vlakna stopničastega lomnega lika.

Numerična apertura povezuje lomni količnik jedra in lomni količnik obloge v pomembno veličino, ki opisuje elektromagnetne lastnosti optičnega vlakna. V mnogorodovnih optičnih vlaknih, v katerih se lahko širi zelo veliko število rodov, je numerična apertura preprosto sinus največjega vstopnega kota svetlobe, ki še izpolnjuje pogoj popolnega odboja na meji med jedrom z lomnim količnikom n_1 in oblogo z lomnim količnikom n_2 .

Z relativno razliko lomnih količnikov Δ zapišemo numerično odprtino kot

$$NA = \sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(n_1 + n_2)(n_1 - n_2)} \approx \sqrt{2n_1(n_1 - n_2)} = n_1 \sqrt{2\Delta}. \quad (6)$$

Numerična apertura se vedno podaja kot sinus vpadnega kota svetlobe v praznem prostoru, kjer je lomni količnik enak enoti. Na ta način je numerična apertura enoveljavno podana za katerokoli optično vlakno.

Primer:

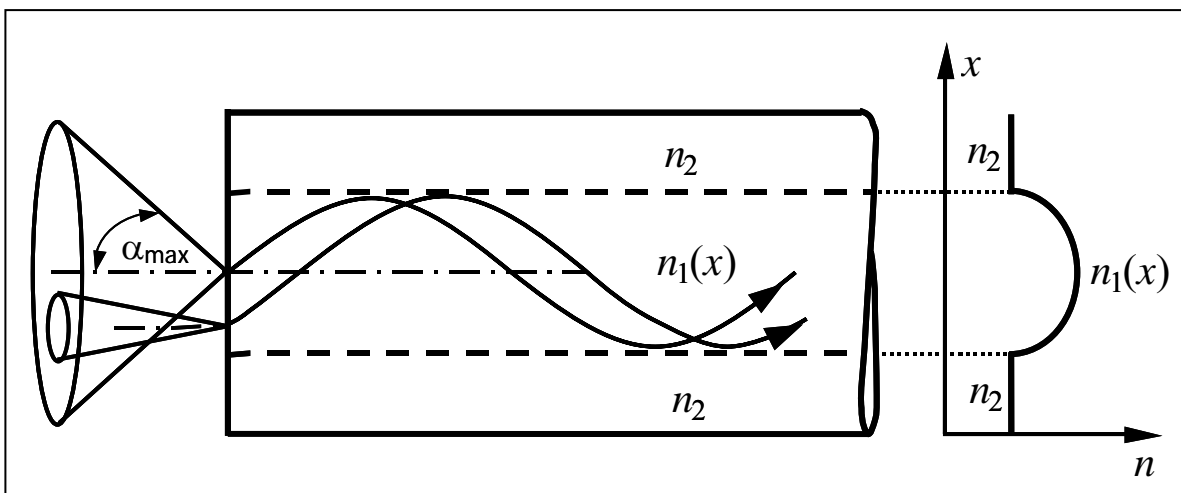
Koliko znaša numerična apertura vlakna katerega lomni količnik jedra je $n_1=1,46$ in je relativna razlika lomnih količnikov $\Delta=0,01$?

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} = 1,46 \sqrt{2 \cdot 0,01} = \underline{\underline{0,206}}$$

Šibkolomna vlakna imajo pri $n_1 \approx 1,45$ in Δ je od 0,001 do 0,01 kotno odprtino od približno 4 do 12 stopinj in numerično odprtino od 0,065 do 0,21. Numerična odprtina je torej majhno število.

Vlakno stopničastega lomnega lika ima numerično odprtino, ki se po prerezu jedra ne spreminja. Pri gradientnem optičnem vlaknu se lomni lik po prerezu spreminja. Numerična odprtina je odvisna od lege vstopne točke žarka na sprednjem prečnem prerezu jedra, kot prikazuje slika 4. V tem primeru je numerična odprtina funkcija razdalje od osi vlakna in doseže največjo vrednost na sami osi vlakna. Kot podatek gradientnega vlakna se zato navaja premer jedra in maksimalna numerična apertura na osi vlakna.

$$NA = \sin \alpha_{\max} = \sqrt{n_1(x)_{\max}^2 - n_2^2} \quad (7)$$



Slika 4: Vstop žarkov v optično vlakno z zveznim lomnim likom (angl. gradient index – GI).

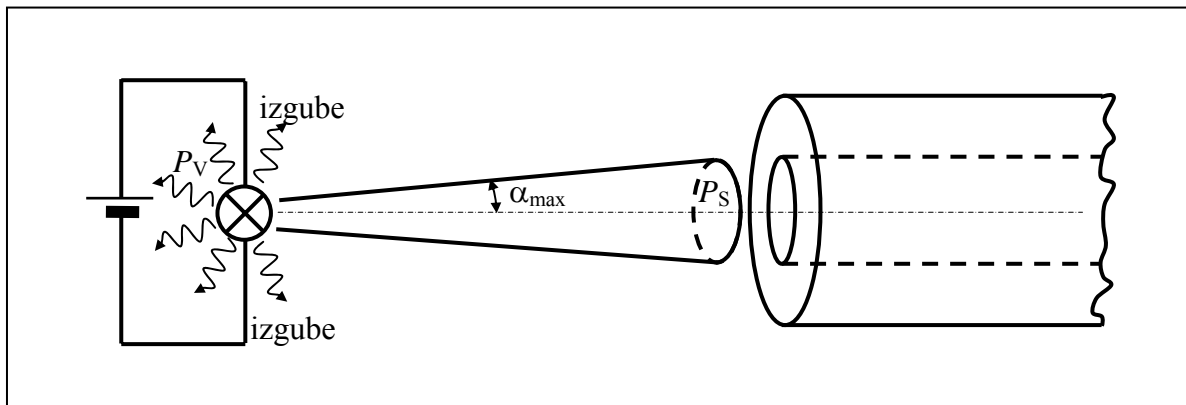
6.2. Sklopni izkoristek iz svetila na vlakno

Sklopni izkoristek pri sklopu iz svetlobnega izvora na optično vlakno, ki ga simbolično prikazuje slika 5, opredeljuje razmerje

$$\eta = \frac{P_S}{P_V}. \quad (8)$$

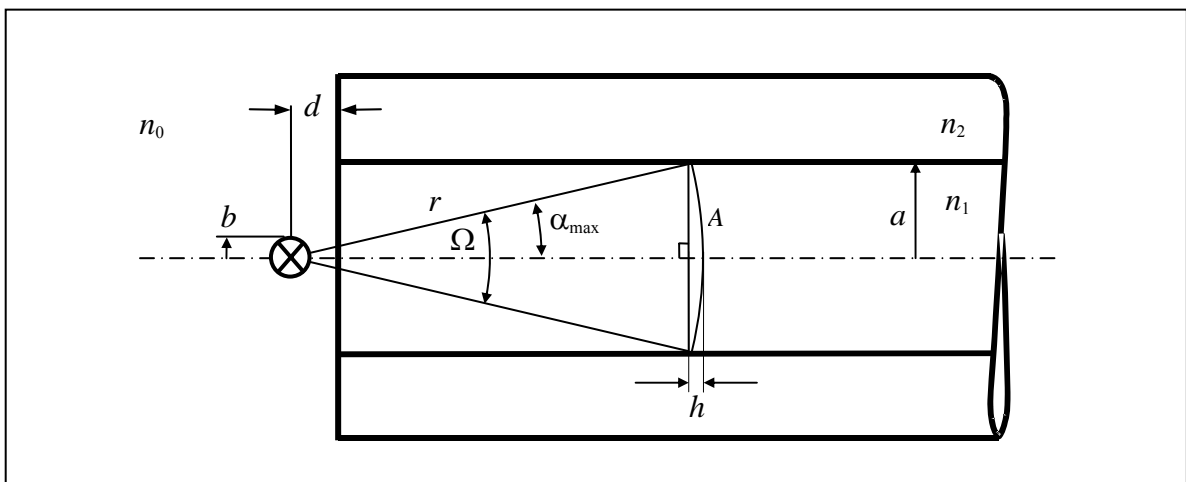
P_S je moč, ki se sklaplja v vlakno in se v njem porazdeli med valovodnimi rodovi, in P_V je celotna sevana moč vira. V P_S uvrščamo po geometrijski in optični predstavi sprejemno kotno odprtino vlakna, v P_V pa uvrščamo celotni prostorski kot.

Sklopni izkoristek bo največji, ko bo najmanj izgub. To se zgodi, če je svetlobni vir čim bližje jedru in manjši od jedra.



Slika 5: Sklop iz svetila na vlakno.

Tik pred čelni prečni prerez mnogorodovnega vlakna ($d \rightarrow 0$) s polmerom jedra a postavimo nekoherentni optični vir majhnega aktivnega polmera $b < a$, kot prikazuje slika 6. Izračunajmo, kakšen del virove sevane moči se sklaplja z vlaknom. Upoštevajmo, da seva vir nekoherentno svetlobo v vse smeri enakomerno. Stranske pojave, kot je na primer Fresnelov odboj na meji dveh snovi, zanemarimo.



Slika 6: Sklop vira majhne aktivne površine z vlaknom.

Moč sklapanja P_S je odvisna od razmerja prostorskih (zornih) kotov

$$P_S = P_V \frac{\Omega_V}{\Omega_S}. \quad (9)$$

Mera za prostorski kot je površina ploskve krogelnega odseka, ki je osvetljen. Prostorski kot neusmerjenega vira, ki osvetljuje enakomerno celotno površino krogle, znaša

$$\Omega_V = \frac{A_{\text{krogle}}}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi. \quad (10)$$

Prostorski kot vstopa žarka v vlakno se izračuna s pomočjo površine kapice krogelnega odseka (Matematični priročnik, str. 131) in znaša

$$\Omega_S = \frac{A}{r^2} = \frac{2\pi r h}{r^2} = \frac{2\pi r(r - r \cos \alpha_{\max})}{r^2} = 2\pi(1 - \cos \alpha_{\max}). \quad (11)$$

Kosinus lahko zamenjamo s sinusom in le-tega z numerično aperturo

$$\Omega_S = 2\pi(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{\max}}) = 2\pi(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{\max}}) = 2\pi(1 - \sqrt{1 - NA^2}). \quad (12)$$

Ker je numerična apertura majhno število, lahko uporabimo približek

$$\sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2} \quad \text{pri } x \ll 1. \quad (13)$$

Prostorski kot vstopa žarka v vlakno lahko sedaj zapišemo s približkom

$$\Omega_S \approx 2\pi \left(1 - 1 + \frac{NA^2}{2} \right) \approx \pi \cdot NA^2. \quad (14)$$

Iz razmerja prostorskih kotov zapišemo sklopni izkoristek

$$\eta = \frac{P_S}{P_V} = \frac{\Omega_S}{\Omega_V} = \frac{2\pi(1 - \sqrt{1 - NA^2})}{4\pi} = \frac{1}{2}(1 - \sqrt{1 - NA^2}) \approx \frac{1}{2} \left(1 - \left(1 - \frac{NA^2}{2} \right) \right) = \frac{NA^2}{4}. \quad (15)$$

Enačba nas pouči, da je sklopni izkoristek sorazmeren kvadratu numerične odprtine vlakna.

Za sklopni izkoristek je ugodno, če ima vir izraziteje usmerjeno karakteristiko in tudi če je vlakno stopničasto.

Šibkolomna mnogorodovna in zlasti enorodovna vlakna, ki so z vidika disperzije ugodna, kot bomo videli v poglavju o disperziji, imajo soglasno z zgornjimi enačbami neugoden sklopni izkoristek in to tem bolj, čim manjšo vrednost ima parameter Δ in čim manjša je hkrati s tem numerična odprtina.

Sklopni izkoristek iz svetila na vlakno izboljšamo tako, da:

- izberemo večje vrednosti parametra Δ ,
- z lečo prilagodimo sevalni kot vira na numerično odprtino vlakna ali
- uporabimo znatno bolj usmerjene vire (laserska dioda namesto svetleče diode).

Primer:

Na voljo imamo dve optični vlakni z numeričnima odprtinama $NA_1=0,1$ in $NA_2=0,2$. Pri katerem vlaknu dobimo večji izkoristek sklopa neusmerjenega svetila?

$$\eta_1 = \frac{NA_1^2}{4} = \frac{0,1^2}{4} = \frac{0,01}{4} = \underline{\underline{0,25\%}}$$

$$\eta_2 = \frac{NA_2^2}{4} = \frac{0,2^2}{4} = \frac{0,04}{4} = \underline{\underline{1\%}}$$

Primer:

Koliko znaša izkoristek sklopa neusmerjenega svetila pri plastičnem optičnem vlaknu z numerično odprtino $NA=0,5$?

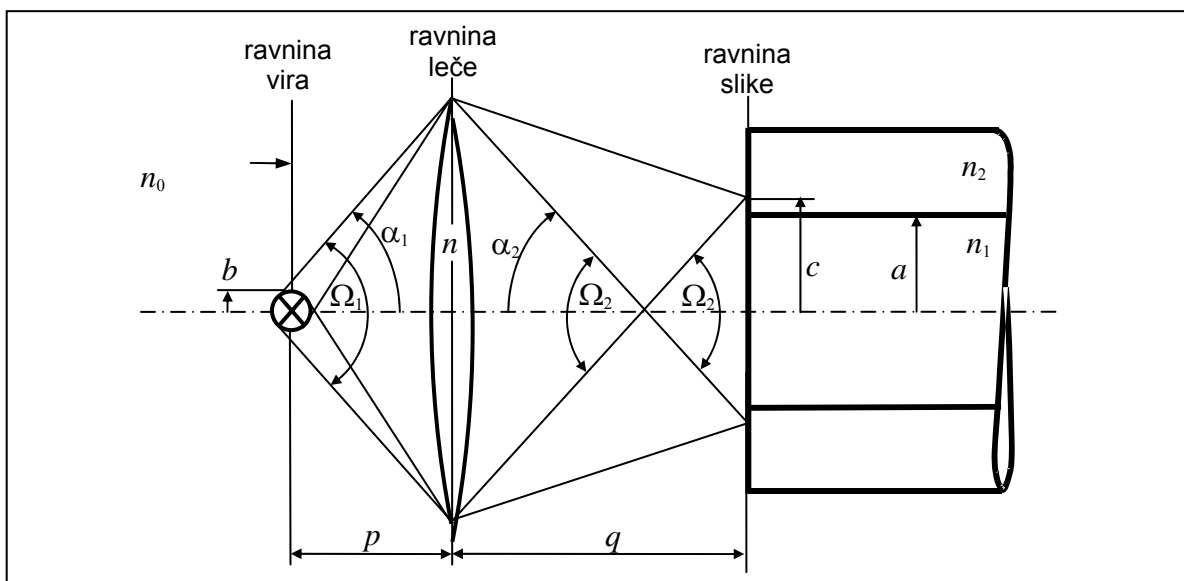
$$\eta = \frac{NA^2}{4} = \frac{0,5^2}{4} = \frac{0,25}{4} = \underline{\underline{6,25\%}}$$

6.3. Prilagajanje vira na vlakno z lečo

Tanka bikonveksna leča, ki je izdelana iz stekla lomnega količnika n in ima krogelno oblikovani lomni ploskvi krivinskega polmera r , ima enačbo

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{f} = (n-1)\frac{2}{r}, \quad (16)$$

kjer je f goriščna razdalja leče, p in q pa sta razdalji vira in vlakna od leče. Lečo postavimo med vir polmera b in vlakno polmera a , kot prikazuje slika 7.



Slika 7: Prilagajanje vira na vlakno z lečo.

Sklopni izkoristek izboljšamo z lečo tako, da odstranimo oba glavna vzroka zaradi katerih je izkoristek pri direktnem sklopu majhen:

1. Z lečo lahko zbiramo velik del sevane moči vira.
2. V ravnini slike usmerjamo delno kolimirane žarke v jedro pod zadosti položnim kotom, velikost slike pa uravnamo tako, da se približno sklada s prečno površino jedra.

Nalogo si nekoliko poenostavimo, če predpostavimo izotropni vir z enakomerno svetlobno porazdelitvijo v sprednjem polprostoru. Leča preseže moč v prostorskem kotu $\Omega_1 = 2\pi(1 - \cos \alpha_1)$

$$P_L = P_V \frac{\Omega_1}{4\pi} = \frac{P_V}{2} (1 - \cos \alpha_1). \quad (17)$$

Ta moč se usmerja proti vlaknu v stožcu prostorskega kota $\Omega_2 = 2\pi(1 - \cos \alpha_2)$. Vlakno lahko sprejme le del žarkov, ki na čelno ploskev jedra vpadajo položno pod kotom $\alpha < \alpha_{\max}$, kjer α_{\max} določa kotno odprtino vlakna. Delež moči na ravnini slike, ki pripada tem žarkom, je v primeru $\alpha_{\max} < \alpha_2$ tolikšen

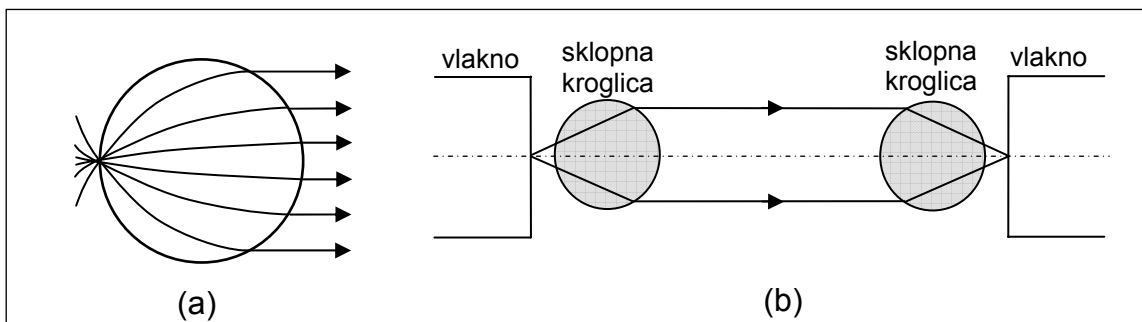
$$P_S = P_L \frac{\Omega_{\max}}{\Omega_2} = \frac{P_V}{2} (1 - \cos \alpha_1) \frac{(1 - \cos \alpha_{\max})}{(1 - \cos \alpha_2)}. \quad (18)$$

Če je svetlobna ploskvica v ravnini slike večja od ploskvice jedra ($c > a$), dobimo končno

$$P_S = \frac{P_V}{2} (1 - \cos \alpha_1) \frac{(1 - \cos \alpha_{\max})}{(1 - \cos \alpha_2)} \left(\frac{a}{c}\right)^2. \quad (19)$$

Sklopno lečo najpreprosteje izdelamo v obliki steklene kroglice majhnega polmera, ki je nekaj večji od polmera jedra. Gradientna kroglica spremenljivega lomnega količnika, znana pod imenom Lunebergova leča, ima to odliko, da pretvarja krogelni val, ki izhaja iz prvega gorišča, v ravninski val (drugo gorišče je v neskončnosti). Na sliki 8a je skicirana pot žarkov v Lunebergovi leči od levega gorišča do desne izstopne površine. Če prislonimo majhno aktivno površino vira na levi strani, zberemo z lečo žarke, ki v širokem kotu izhajajo iz vira, v (približno) kolimiran snop, primeren za vstop v vlakno.

Na sliki 8b je prikazan sklop vlakna na vlakno z dvema kroglicama konstantnega lomnega količnika približno 2. V grobem približku je ta sklop podoben sklopu z Lunebergovo lečo, je pa mnogo preprostejši. Lunebergova leča ima natančno določen radialni lik lomnega količnika od 2 v središču do 1 na robu.



Slika 8: Sklop z lečo: (a) Gradientna krogelna leča in njena zbiralna sposobnost; (b) Sklop s krogelnima lečama lomnega količnika 2.

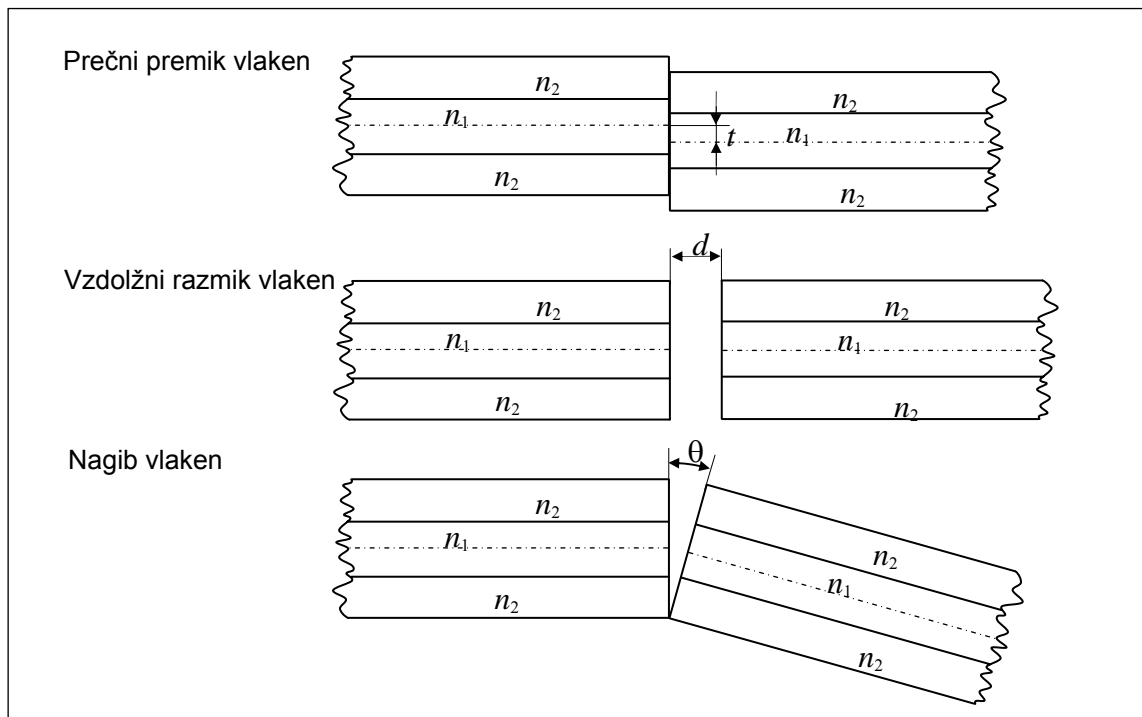
6.4. Sklopni izkoristek med dvema vlaknoma

6.4.1 Sklopni izkoristek med dvema enakima vlaknoma

Vlakna povezujemo med seboj s spojkami. Razlikujemo med trdimi (varjenimi) in razstavljivimi spojkami (konektorji). Ne glede na vrsto spoja morata biti konca vlaken skrbno pripravljena za spoj.

Pri medsebojnem spajanju enakih optičnih vlaken pride do slabljenja iz različnih vzrokov. Glavni izvor stičnega slabljenja so razne mehanske netočnosti nastavitve obeh koncev vlaken, kot je to prikazano na sliki 9. Netočnosti pri spajanju dveh vlaken lahko opišemo kot prečni premik vlaken, vzdolžni razmik vlaken in nagib vlaken. V resničnem slučaju imamo sicer vedno opraviti z vsemi tremi napakami hkrati, vendar je dobro poznati vpliv vsake od teh treh napak.

Za prakso je posebej pomembno, da je slabljenje varjenih spojk dovolj nizko zaradi velikega števila letih na dolžini vlakna. S sodobnimi varilnimi in merilnimi pripravami, ki omogočajo nanometrsko nastavitve lege vlakna je mogoče dobiti razmeroma nizko slabljenje spoja, manjše od 0,01 dB. Ker si spoji sledijo na odsekih, ki imajo tipično dolžino nekaj kilometrov, je dodatno slabljenje spojev, preračunano na kilometer dolžine, skoraj že nepomembno.



Slika 9: Vzroki stičnega slabljenja optičnih vlaken.

Primer:

Izračunaj sklopni izkoristek med dvema enakima mnogorodovnimi optičnima vlaknoma s premerom jedra $2r=50 \mu\text{m}$! Pri spajanju vlaken pride do prečnega premika $t=20 \mu\text{m}$, prispevek slabljenja ostalih pojavov pa je zanemarljiv. Pri izračunu sklopnega izkoristka upoštevamo, da se po vlaknu širi množica rodov in je svetlobna moč enakomerno porazdeljena med posameznimi rodovi.

$$\eta = \frac{A_2}{A_1}$$

Površina, iz katere izhaja svetloba, znaša

$$A_1 = \pi r^2 = \pi \cdot (25 \mu\text{m})^2 = \underline{1963,5 \mu\text{m}^2}.$$

Polovica središčnega kota krožnega izseka znaša

$$\alpha = \arccos \frac{t/2}{r} = 66,422^\circ = \underline{1,159 \text{ rd}}.$$

Ploščina enega krožnega odseka znaša

$$A_{\text{odseka}} = \alpha r^2 - \frac{t}{2} \sqrt{r^2 - \left(\frac{t}{2}\right)^2}.$$

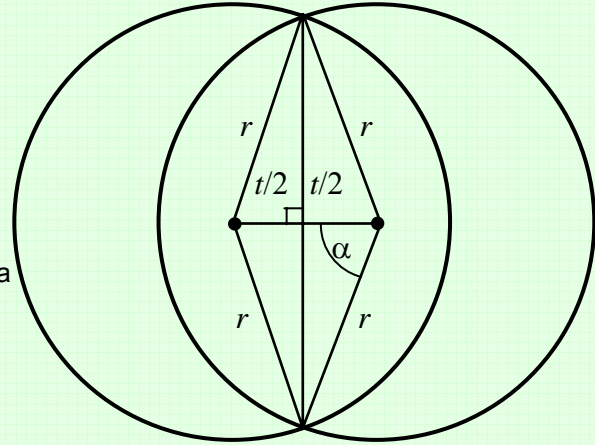
Površina v katero se sklaplja svetloba, je presek krožnic oziroma ploščina dveh krožnih odsekov.

$$A_2 = 2A_{\text{odseka}} = 2(724,5 \mu\text{m}^2 - 229 \mu\text{m}^2) = \underline{991 \mu\text{m}^2}$$

$$\eta = \frac{A_2}{A_1} = \frac{991 \mu\text{m}^2}{1963,5 \mu\text{m}^2} = \underline{50\%}$$

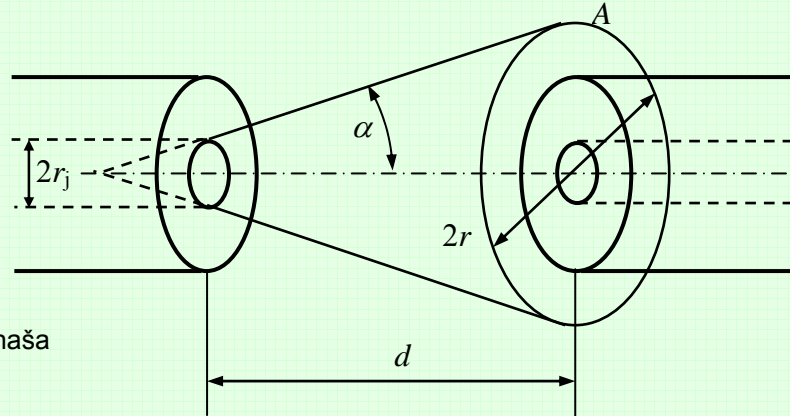
Za majhne zamike $t < r$ je kot krožnega izseka približno $\pi/2$ in izkoristek postane

$$\eta \approx \frac{2 \cdot \left(\alpha r^2 - \frac{tr}{2} \right)}{\pi r^2} \approx \frac{2 \cdot \left(\frac{\pi}{2} r^2 - \frac{tr}{2} \right)}{\pi r^2} = \frac{r^2 - tr}{r^2} = 1 - \frac{t}{\pi r}$$



Primer:

Izračunaj sklopni izkoristek spoja med dvema enakima mnogorodovnimi optičnima vlaknoma s premerom sredice $2r_j=50\ \mu\text{m}$ in numerično aperturo $NA=0,2$. Osi vlaken sta poravnani, konca vlaken pa sta vzdolžno razmaknjena za $d=200\ \mu\text{m}$. Odboj svetlobe na izstopni in vstopni površini vlaken zanemarimo ter upoštevamo, da je svetlobna moč enakomerno razporejena med množico rodov.



Polmer osvetljene površine znaša

$$r = r_j + d \operatorname{tg} \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \frac{NA}{\sqrt{1 - NA^2}} \approx NA$$

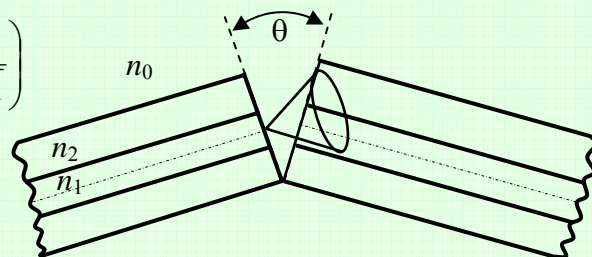
$$r \approx r_j + dNA$$

$$\eta = \frac{A_j}{A} = \frac{\pi r_j^2}{\pi r^2} = \left(\frac{r_j}{r} \right)^2 \approx \left(1 + \frac{dNA}{r_j} \right)^{-2} = \left(1 + \frac{200\ \mu\text{m} \cdot 0,2}{25\ \mu\text{m}} \right)^{-2} = \underline{\underline{14,8\%}}$$

Primer:

Pri spajanju enakih mnogorodovnih vlaken s polmerom sredice $2a=50\ \mu\text{m}$ vnaša velike izgube nagib osi enega vlakna glede na nagib osi drugega vlakna. Izračunajte kot nagiba θ , ko zaradi nagiba izgubimo polovico svetlobne moči! Lomni količnik jedra vlakna znaša $n_1=1,47$, lomni količnik obloge $n_2=1,46$ in lomni količnik medija med vlakni $n_0=1$. Vse ostale izvore izgub zanemarimo, svetlobna moč v prvem vlaknu je dobro porazdeljena med rodovi.

$$\eta = \frac{16 \cdot \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2}{\left(1 + \frac{n_1}{n_0} \right)^4} \left(1 - \frac{n_0 \theta}{\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \right) \approx \left(1 - \frac{n_0 \theta}{\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \right)$$



$$\theta \approx \arcsin NA = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \arcsin 0,171 \approx \underline{\underline{10^\circ}}$$

(Točen račun → prekrivanje krogelnih kopic)

6.4.2 Sklopni izkoristek med dvema različnima vlaknoma

Pri spajanju dveh mnogorodovnih vlaken s stopničastim lomnim likom so izgube spoja majhne, ko sta premer jedra in numerična apertura vstopnega vlakna večja ali enaka premeru jedra in numerični aperturi izstopnega vlakna. Tudi pri spajanju gradientnih vlaken so izgube majhne, ko sta premer jedra in maksimalna numerična apertura vstopnega vlakna večja ali enaka premeru jedra in maksimalni numerični aperturi izstopnega vlakna. Poskušajmo opredeliti sklopne izgube oziroma izkoristek med mnogorodovnima vlaknoma na spodnjih primerih.

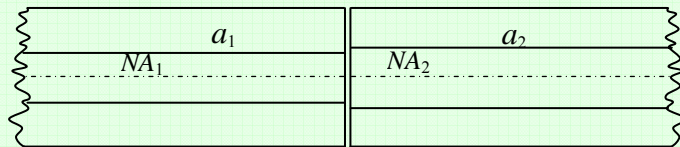
Primer:

Izračunaj sklopno slabljenje dveh mnogorodovnih vlaken, pri čemer ima drugo vlakno večjo numerično aperturo in večji polmer jedra kot prvo vlakno.

$$NA_2 > NA_1$$

$$a_2 > a_1$$

Ni slabljenja!



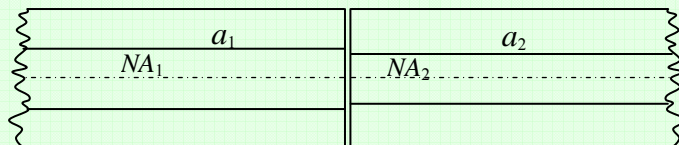
Primer:

Izračunaj sklopno slabljenje dveh mnogorodovnih vlaken, pri čemer ima drugo vlakno manjšo numerično aperturo in manjši polmer jedra kot prvo vlakno.

$$NA_2 < NA_1$$

$$a_2 < a_1$$

$$a_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2$$

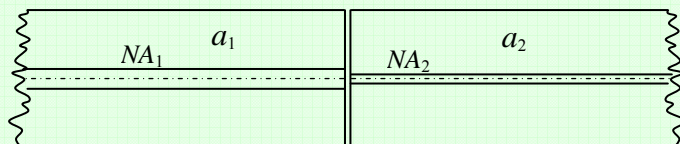


Slabljenje med dvema različnima enorodovnima vlaknoma je običajno zanemarljivo zaradi zelo majhne razlike med numeričnima aperturama.

Primer:

Oceni sklopno slabljenje dveh različnih enorodovnih vlaken.

Slabljenje znaša od 0 do 1 dB!



Pri sklopu iz enorodovnega optičnega vlakna na mnogorodovno optično vlakno ne nastajajo nikakršne izgube, saj je sprejemno optično vlakno precej večje dimenzije, kot prikazuje spodnji primer. V praksi se tovrstni sklop mnogokrat uporablja med optično vrstico iz laserskega oddajnika, ki je enorodovna, na prenosno pot, ki je zgrajena iz mnogorodovnega optičnega vlakna. Sprejemniške fotodiode so največkrat opremljene z mnogorodovnim vlaknom, zato da na njih lahko pripeljemo signal iz enorodovne ali mnogorodovne prenosne poti.

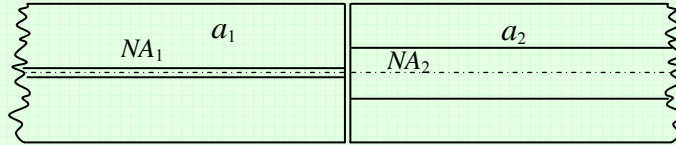
Primer:

Izračunaj sklopno slabljenje med enorodovnim optičnim vlaknom z numerično aperturo $NA_1=0,1$ in mnogorodovnim optičnim vlaknom z numerično aperturo $NA_2=0,2$.

$$NA_2 > NA_1$$

$$a_2 > a_1$$

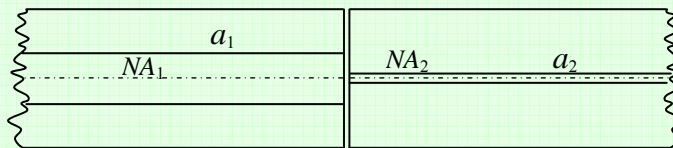
Ni slabljenja!



Najbolj nemogoč je sklop svetlobnega signala iz mnogorodovnega optičnega vlakna na enorodovno optično vlakno. Pri tem so slabljenja optične moči velika (20 dB in več) in s časom spreminjajoča, zaradi spreminjanja porazdelitve moči na preseku mnogorodovnega vlakna.

Primer:

Izračunaj sklopno slabljenje v decibelih (dB) iz mnogorodovnega (MM) optičnega vlakna s premerom jedra $2r_{MM}=62,5 \mu\text{m}$ in numerično odprtino $NA_{MM}=0,2$ na enorodovno (SM) optično vlakno s premerom jedra $2r_{SM}=8 \mu\text{m}$ in numerično odprtino $NA_{SM}=0,1$, pri zanemarljivo majhnem vzdolžnem razmiku. Vlakni sta poravnani. Pri računanju zanemari 4% odboj na meji steklo-zrak in zrak-steklo.



$$\eta = \frac{A_{SM}}{A_{MM}} = \frac{\pi \cdot (r_{SM})^2}{\pi \cdot (r_{MM})^2} = \left(\frac{2r_{SM}}{2r_{MM}} \right)^2 = \left(\frac{8 \mu\text{m}}{62,5 \mu\text{m}} \right)^2 = 0,128^2 = 0,0164 = \underline{\underline{1,64\%}}$$

$$a = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{A_{SM}}{A_{MM}} \right) = 10 \cdot \log_{10}(0,0164) = \underline{\underline{-17,9 \text{ dB}}}$$

Veliko slabljenje! Zelo nezanesljiv sklop.