

# Optički kabeli

## 1. Uvod u optičke kabele

Prijenos podataka pomoću svjetlosti kroz optička vlakna.

- Sadrži .
- Uloga: i zaštita od vanjskih utjecaja (svjetlost, temperatura, pritisak, kemikalije, radijacija).
- Temperaturni raspon: (ekstremi u zrakoplovstvu).
- Okolina: zrak, korozivne sredine, dno mora (2-4°C).
- Radni vijek: Ovisi o mehaničkim naprezanjima (pogotovo promjenjivim).
- Minimalni polumjer savijanja.
- Zahtjevi instalacije:
  - Ne smije degradirati prijenosne karakteristike.
  - Očuvana fizička cjelovitost vlakana tijekom ugradnje i uporabe.

## 2. Zaštita optičkog vlakna

### a) Potreba za zaštitom:

- Vlakna su krhka - zaštita ih čini otpornijima.
- Funkcije:
  - Daje mehaničku čvrstoću.
  - Sprječava oštećenja i lomove.
  - Omogućuje laganu instalaciju i održavanje.
  - Štiti od vlage i okolišnih uvjeta.

### b) Primarna zaštita:

- 250-300  $\mu\text{m}$ .
- Akrilati (telekomunikacije), silikon (druge primjene).
- Tijekom proizvodnje vlakna.
- Ne podnosi prekomjerno savijanje ili upredanje. ``

### c) Sekundarna zaštita:

- Do 1.2 mm.
- Debeli sloj plastične mase.
- Dodatna mehanička zaštita + zaštita od vlage i kemikalija.

## 3. Konstrukcija optičkog kabela

1. (u zaštitnom omotaču).
2. (npr. *kevlar*, staklena vlakna, čelik).
3. (gel ili punila).
4. (PVC, polietilen, najlon itd.).

### Vrste zaštitnog omotača:

Tip	Karakteristike	Prednosti/Nedostaci
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vlakna u gelom punjenoj cjevčici.</li> <li>- Unutarnji promjer veći od vlakna.</li> <li>- Vlakna su duža od kabela (<math>\sim 0.1\%</math>).</li> </ul>	Otporniji na pritisak. Veći polumjer savijanja.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plastika izravno nanесena na vlakno.</li> <li>- Vlakna fiksirana.</li> </ul>	Manji polumjer savijanja. Osjetljiv na temperaturne promjene.

- Labavi omotač apsorbira pritisak do određene granice bez djelovanja na vlakno.
- Čvrsti omotač prenosi pritisak direktno na vlakno.

## 4. Fizičko-mehanička svojstva kabela

- (noseći elementi: kevlar, čelik).
- (gel punila, bubreće trake).

- (rad u širokom temperaturnom rasponu).
- (mali polumjer savijanja za instalacijske kabele).
- (otpornost na ulja, kiseline).
- (dobro označeni kabele).

## 5. Klasifikacija kabela

### a) Prema primjeni:

Tip kabela	Karakteristike
	Za kanalizaciju; nemetalni, lagani.
	Višeslojna zaštita (armatura, PE omotač) od vlage i mehaničkih oštećenja.
	Slični uvlačnim + čelična armatura.
	Unutar objekata; nemetalni, ne gori, mali polumjer savijanja.
	Za zračne mreže; noseći element od sintetičkih vlakana.

### b) Prema materijalu:

- Bez metalnih dijelova; noseći element od kevlar.
- Stariji modeli ili podmorski kabele; čelična armatura/uze.

## 6. Označavanje kabela

- Naziv proizvođača, tip kabela, metarske oznake.
- Kodiranje bojama vlakana i cjevčica.

### Standardni redoslijed boja (DIN/VDE 0888-3):

Redni broj	Boja
1	Crvena
2	Zelena
3	Plava
4	Žuta
5	Bijela
...	... (do 12)

## 7. Mjerenja na optičkim vlaknima

### Zašto se mjeri?

- Proizvođačima: Poboljšanje proizvodnje.
- Korisnicima: Testiranje mreže, nadzor performansi.
- Projektantima: Optimizacija prijenosnih sustava.

### Grupe mjerenja:

1.
  - Prigušenje ( $\alpha$ ) =  $(P_{TX} - P_{RX})$ .
  - Disperzija, kritična valna duljina.
2.
  - Dimenzije jezgre i ovojnice, koncentričnost.
3.
  - Otpornost na istezanje, udar, savijanje.
4.
  - Utjecaj vlage, temperaturnih promjena.

### Oprema za mjerenje:

- LED, laser.
- Raspon -110 dBm do +10 dBm.
- - Mjeri prigušenje, gubitke na spojevima, duljinu vlakna, lokacije prekida.
  - Princip rada: Slanje svjetlosnih impulsa → detekcija povratnog raspršenog signala.
  -

$$D = \frac{c}{n_1} \cdot \frac{t}{2}$$

- $c$  = brzina svjetlosti
- $t$  = vrijeme odziva
- $n_1$  = indeks loma jezgre

### OTDR dijagram:

- Oštri skokovi (konektori, prekidi).
- Pad amplitude.
- Nagib krivulje (dB/km).

- Velika refleksija.

## 8. Sažetak ključnih pojmova

Pojam	Opis
	250-300 $\mu\text{m}$ sloj koji štiti jezgru; nanosi se pri proizvodnji.
	Apsorbira mehanička opterećenja; bolji za ekstremne uvjete.
	Omogućuje manji polumjer savijanja; osjetljiv na temperaturu.
	"Optički radar" - dijagnostika kabela s jednog kraja.
	Gubitak snage signala (dB); ključan parametar kvalitete prijenosa.

## Optički Predajnici (Laser i LED)

### 1. Uvod u Optičke Predajnike

:

- Pretvaraju električni signal u optički signal.
- Ubacuju optički signal u optičko vlakno.

:

- : Generira svjetlost (npr. laser ili LED).
- : Pretvara informaciju (električni signal) u oblik pogodan za prijenos kroz vlakno.

### 2. Kvantni Prijelazi

Svjetlost ima (fotoni). U atomima postoje diskretne energijske razine ( $E_1 =$  niža,  $E_2 =$  viša).

:

1. :

- Foton energije  $h\nu = E_2 - E_1$  apsorbira se, atom prelazi s  $E_1$  na  $E_2$ .
- $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$ .

2. :

- Atom na  $E_2$  spontano prelazi na  $E_1$ , emitira foton energije  $h\nu = E_2 - E_1$ .
- Emitirano zračenje je (nasumični smjerovi).

3. :
- Foton energije  $h\nu = E_2 - E_1$  "stimulira" atom na  $E_2$  da prijeđe na  $E_1$ , emitirajući (ista valna duljina, smjer, faza).
  - Osnova za .

### 3. Izvori Svjetlosti: Laser vs. LED

#### **LASER** *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

- : Stimulirana emisija.
- : ( $N_2 > N_1$ , gdje je  $N_2$  broj atoma na višoj razini).
- : "Pumpanje" (optičko, električno ili kemijsko).

:

1. : Materijal gdje se događa stimulirana emisija (npr. poluvodič, plin).
2. : Izvor energije za pobudu atoma (npr. svjetlost, električna struja).
3. : Dva zrcala (refleksivnost: 100% i 99-100%). Zarobljava fotone, pojačava stimuliranu emisiju.

:

- : 10 mW do 50 mW.
- :  $< 3$  nm (uži spektar).
- : Da (fotoni u fazi).
- : Jednomodna vlakna, veliki kapaciteti (DWDM sustavi).
- : Temperaturna osjetljivost, visoka cijena.

#### **LED** *Light-Emitting Diode*

- : Spontana emisija u .
- :
  - Propusna polarizacija  $\rightarrow$  rekombinacija elektrona i šupljina na p-n spoju.
  - Emisija fotona energije  $h\nu \approx E_g$  (širina zabranjenog pojasa).

:

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} \approx \frac{1.24}{E_g(\text{eV})} [\mu\text{m}]$$

- :
  - GaAsP ( $E_g = 1.9$  eV)  $\rightarrow \lambda_c = 654$  nm (crvena).

:

- : 10-100  $\mu$ W.
- : 30-150 nm (širok spektar).
- : Ne (neusmjereno zračenje).
- : Višemodna vlakna, LAN mreže (do 100 m).
- : Niska cijena, temperaturna stabilnost, robustnost.

## 4. Spektralna Širina i Dijagram Zračenja

- (Full Width at Half Maximum): Standardna mjera spektralne širine.
  - LED: 30 - 150 nm.
  - Laser: 0.08 - 0.8 pm (dinamički jednomodni laseri).
- :
  - : Kružno, neusmjereno (veliki gubici sprege s jednomodnim vlaknima).
  - : Usmjeren snop (mali gubici).

## 5. Primjene

### Laser

- : Prijenos podataka kroz optička vlakna.
- : Operacije očiju, zuba, kože.
- : Rezanje, varenje, fotolitografija.
- : CD/DVD, laserski printeri, bar-code čitači.

### LED

- : Kratke udaljenosti (Gigabit Ethernet).
- : Statusne svjetlice u uređajima.

## 6. Usporedba Laser vs. LED

Parametar	Laser	LED
	Stimulirana emisija	Spontana emisija
	10-50 mW	10-100 $\mu$ W
	< 3 nm	30-150 nm
	Da	Ne
	Mala	Velika

Parametar	Laser	LED
	Jednomodna	Višemodna
	Visoka	Niska
	Visoka	Niska (stabilna)

## 7. Sigurnosne Napomene

- : Nikad ne gledati izravno u snop! Može oštetiti mrežnicu.
- : Bez opasnosti po vid.

## 8. Zaključak

- je idealan za i (uska spektralna širina, koherentnost).
- se koristi za i (robustnost, stabilnost).
- Izbor izvora ovisi o zahtjevima mreže: kapacitet, udaljenost, cijena.

---

# Optički prijemnici

## 1. Uvod u optičke prijemnike

- Pretvaraju oslabljen i izobličen optički signal iz vlakna u iskoristivi .

Prednji dio	Linearni kanal	Ekstrakcija podataka
Fotodioda	Pojačalo	Obnova podataka → podaci
Pred-pojačalo	Filtar	Obnova takta

## 2. Fotodetektor - ključni element

- Prvi element prijemnika; kvaliteta prijemnika ovisi o njemu.



- Temelji se na (fotoionizacija, lavinski efekt).
- Pretvara tok fotona u električnu struju.

1. na 1,3  $\mu\text{m}$  i 1,5  $\mu\text{m}$ :  
Termički šum (kaotično gibanje naboja).  
Šum tame (reverzna struja bez svjetlosti).
2. :  
Učinkovita pretvorba optičke snage u struju.  
Minimalna struja tame (bez signala).
3. (GHz područje).
4. (brza reakcija na promjene svjetlosti).
5. , pouzdanost, dug vijek trajanja, pristupačna cijena.

### 3. Značajke fotodetektora

- Vjerojatnost da foton generira par elektron-šupljina.
- $\approx 1$  (gotovo savršena pretvorba u aktivnom području).
- $< 100\%$  (gubici zbog refleksije ili neapsorbiranih fotona):

$$\eta_e = \frac{\text{broj generiranih fotoelektrona}}{\text{broj upadnih fotona}}$$

- - Si: do 100% (0,8-0,9  $\mu\text{m}$ ),
  - Ge/InGaAs/InGaAsP: visoka  $\eta$  u 1-1,6  $\mu\text{m}$ .
- Omjer izlazne struje i ulazne optičke snage (A/W):
 
$$R = \frac{I_{ph}}{P_0}, \quad I_{ph} = R \cdot P_0$$
- - Linearno raste s  $\lambda$  (iznimka: nelinearnosti zbog topline kod nižih  $\lambda$ ).
  - Proporcionalan  $\eta$ .
- - Si: 0,5-0,7 A/W (vidljivo i blisko IR),
  - InGaAs: do 0,95 A/W (1,55  $\mu\text{m}$ ).

- Odabir materijala prekomunikacijskim prozorima (0,85  $\mu\text{m}$ , 1,3  $\mu\text{m}$ , 1,55  $\mu\text{m}$ ).
- Frekvencijski raspon u kojem detektor reagira (npr. GHz).
- Vrijeme porasta  $t_r$  (vrijeme promjene struje s 10% na 90% nakon skoka svjetlosti).

## 4. Šum i BER (Bit Error Rate)

Šum	Uzrok	Utjecaj
	Kaptilčno gibanje naboja ( $T > 0 \text{ K}$ )	Dominantan u elektroničkim krugovima
	Fluktuacije broja fotona/fotoelektrona	Proporcionalan optičkoj snazi
	Reverzna struja bez svjetlosti	Ograničava osjetljivost

$$S/N = \frac{S}{N} \quad [\text{dB}] = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right)$$

- Vjerojatnost pogrešnog detektiranja bita:

$$\text{BER} = \frac{\text{broj pogrešnih bitova}}{\text{ukupno bitova}} < 10^{-9} \quad (\text{zadovoljavaju a performansa})$$

- $I_{th}$   
 $I \geq I_{th} \rightarrow \text{bit} = 1,$   
 $I < I_{th} \rightarrow \text{bit} = 0.$

- Poslan 0, a  $I \geq I_{th}$  (lažna jedinica),  
 Poslan 1, a  $I < I_{th}$  (lažna nula).

- $$\text{BER} = \frac{1}{2} [P(0|1) + P(1|0)] \quad (\text{za } P(0) = P(1) = 0.5)$$

## 5. Vrste poluvodičkih fotodioda

- $p$ -sloj /  $i$  /  $n$ -sloj.
- Foton apsorbiran u  $i$ -sloju generira par e<sup>-</sup> -šupljina.
- Električno polje razdvaja naboje → struja  $I_{ph}$ .
- Jednostavnost, niska cijena, mali reverzni napon (50-100 V).
- Nema interno pojačanje, niska osjetljivost (-21 dBm za 10 Gb/s), odziv 0,5-0,7 A/W.
- Kratki komunikacijski razmaci.
- Dodatno  $p$ -područje s jakim električnim poljem.
- Primarni par e<sup>-</sup> -šupljina stvara (ubrzani elektroni generiraju sekundarne parove).
- $I_{ph} = M \cdot I_p$  ( $M$  = faktor multiplikacije).
- Interno pojačanje ( $M = 10^2$  do  $10^3$ ), visoka osjetljivost (-27 dBm za 10 Gb/s), velik odziv.
- Visok reverzni napon (50 - 400 V), sklonost šumu, visoka cijena.
- Dugi komunikacijski razmaci, sustavi s malom snagom.

## 6. Osjetljivost prijemnika

- Minimalna srednja optička snaga  $\frac{P_1+P_0}{2}$  za BER <  $10^{-9}$  pri zadanoj brzini prijenosa.
- -  $P_0, P_1$ : snaga za logičku 0 i 1.
- Maksimalna ulazna snaga koju prijemnik podnosi.

## 7. Zaključak

- Idealne za jednostavne, jeftine sustave (kratki razmaci).
- Ključne za osjetljive sustave (dugi razmaci, niska snaga).
- Odabir fotodetektora ovisi o zahtjevima za osjetljivost, šumom, brzinom i cijenom.

---

# Optička pojačala u komunikacijskim sustavima

## 1. Potreba za pojačanjem signala

- :
  - : Signal slabi s udaljenošću.
  - : Impulsi se šire, otežavajući detekciju.
- :
  - Pri prijenos ograničava *prigušenje*.
  - Pri prijenos ograničava *dispersija*.
- : Za duge udaljenosti potrebno je i .

## 2. Parametri optičkih pojačala

- :
  - Definicija: Omjer izlazne i ulazne snage.
  - Formule:

$$G = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} \quad ; \quad G[\text{dB}] = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{iz}}{P_{ul}} \right)$$

$$P_{iz}(\text{dBm}) = P_{ul}(\text{dBm}) + G(\text{dB})$$

- :
$$NF = \frac{\text{SNR}_{ul}}{\text{SNR}_{iz}}$$
- : Raspon valnih duljina koje pojačalo može pojačati.

## 3. Primjer proračuna pojačanja

- :
  - Ulazna snaga:  $P_{ul} = 2 \text{ mW} = 3 \text{ dBm}$
  - Gubici u vlaknu:  $20 \text{ dB (na } 100 \text{ km)} \times 2 = 40 \text{ dB}$
  - Pojačanje pojačala:  $36 \text{ dB}$
- :

$$P_{iz} = 3 - 20 + 36 - 20 = -1 \text{ dBm} = 0.1 \text{ mW}$$

## 4. Načini obnavljanja signala

## a) Regeneratori

- : Optičko-električko-optička pretvorba ( ).
- :
  1. : Pojačanje snage.
  2. : Obnavljanje oblika signala.
  3. : Resinhronizacija s taktom.
- :
  - Ograničena brzina (do 40 Gb/s).
  - Rade samo na .
  - Skupi i energetski zahtjevni.

## b) Optička pojačala

- : Pojačanje u (bez O-E-O).
- : (pumpanje energije u medij za pojačanje).
- :
  - : Podržavaju bilo koji format signala i brzinu.
  - : Mogu pojačati .
  - Širok propusni pojas (do 4 THz).
  - Veći dobitak (do 50 dB).

## 5. Tipovi optičkih pojačala

### a) Poluvodička optička pojačala (SOA)

- : p-n spoj s anti-refleksivnim slojem.
- : Stimulirana emisija u poluvodičkom aktivnom području.
- :
  - Širok spektar (1310 nm i 1550 nm).
  - Mogućnost integracije s elektronikom.
- :
  - Niska izlazna snaga (nekoliko mW).
  - Visoki spojni gubici.
  - Problemi s preslušavanjem i šumom.

### b) Optička pojačala bazirana na vlaknima (OFA)

- :
  - : Staklena vlakna dopirana erbijem ( $\text{Er}^{3+}$ ).

- : Pojačanje na 1550 nm (C-pojas).
- : Ključno za WDM sustave.
- :
  - : Nelinearni efekt u vlaknu (Ramanovo raspršenje).
  - : Fleksibilnost u odabiru valne duljine.

## 6. Primjena optičkih pojačala u mrežama

- :
  - Smještaj: .
  - Svrha: Povećanje snage signala pri ulasku u vlakno.
- :
  - Smještaj: .
  - Svrha: Kompenzacija gubitaka pri prijenosu.
- :
  - Smještaj: .
  - Svrha: Povećanje osjetljivosti prijemnika.

## 7. Usporedba regeneratora i optičkih pojačala

Parametar	Regeneratori	Optička pojačala
	O-E-O pretvorba	Isključivo optička domena
	Do 40 Gb/s	Neograničena (transparentna)
	Jedna	Više (WDM/DWDM)
	Da	2R (Re-amplify + Re-shape)
	SDH sustavi	DWDM sustavi
	Niska	Visoka

## 8. Zaključak

Optička pojačala (npr. EDFA) revolucionirala su optičke komunikacije omogućujući:

- bez O-E-O pretvorbe.
- (istovremeni prijenos više valnih duljina).
- i brže mreže.
- Glavni izazovi ostaju upravljanje disperzijom i nelinearnim efektima u vlaknima.

# Projektiranje Optičkih Komunikacija (Točka-to-Točka)

## 1. Osnove Optičke Veze Točka-to-Točka

- **Snaga prijenosa** : Osigurati da optički signal stigne do prijemnika s dovoljnom snagom za ispravan rad.
- **Tipovi optičkih veza** :
  - **Veza s regeneracijom** (Laser ili LED) → **Optički pojačalo** → **Prijemnik** (PIN ili APD fotodioda).
  - **Veza bez regeneracije** (BOA, LOA, POA) za duge veze s regeneracijom signala.
- **Parametri veze** : Razmak, brzina prijenosa, vjerojatnost greške (BER), gubici snage.

## 2. Parametri Projektiranja

Kategorija	Parametri
	- Razmak (s/bez regeneracije) - Brzina prijenosa uz BER (npr. $10^{-12}$ )
	- <b>Snaga izlaza</b> : Laser (velika snaga) ili LED (jeftiniji, za kraće veze) - <b>Modovost</b> : Jednomodno (duge veze) ili višemodno (kraće veze) - <b>Prijemnik</b> : PIN (jednostavan) ili APD (osjetljiviji)
	- <b>Optički gubici</b> (glavni fokus) -

## 3. Odabir Valne Duljine

Razmak	Valna duljina	Karakteristike
	800-900 nm	- Višemodna vlakna - LED izvori - Veća tolerancija na gubitke - Jeftinija izvedba
	1300 nm ili 1550 nm	- <b>Disperzija</b> : Minimalna disperzija - <b>Prigušenje</b> : Minimalno prigušenje (0.2 dB/km) - Jednomodna vlakna - Kompatibilnost s EDFA pojačalima

## 4. Prijenosni Sustavi

- **Tipovi prijenosnih sustava** (npr. direktna veza):
  - **Veza s regeneracijom** : Do 60 km (0.35 dB/km)

## 5. Odabir Komponenti

Tip	Spektralna širina	Primjena
Jednomodni laser	< 1 pm	Duge veze, velike brzine (>10 Gbit/s)
Fabry-Perot laser	1-5 nm	Srednje veze
LED	50-100 nm	Kraće veze, niske brzine

Tip	Disperzija	Brzina	Cijena	Izvor
Višemodno	Srednja (manje kod postepenog profila indeksa loma nego kod skokovitog)	≤ 1 Gbit/s	Niska	LED (često) ili LASER (rjeđe)
Jednomodno	Nema međumodne disperzije	> 1 Tbit/s (WDM)	Visoka (precizni konektori)	LASER

Tip	Osjetljivost	Primjena
PIN	Niska	Kraće veze, 800-900 nm
APD	Visoka	Duge veze, 1300/1550 nm

## 6. Proračun Snage (Kriterij Snage)

Napomena:     )



$$P_{TX} - \left[ (\alpha_i L_i) + A_{konektori} + A_{spojevi} + R \right] \geq P_{Rmin}$$

$P_{TX}$ : Snaga predajnika [dBm]

$P_{Rmin}$ : Minimalna osjetljivost prijemnika [dBm]

$\alpha$ : Koeficijent prigušenja određenog segmenta vlakna unutar nekog optičkog linka [dB/km]

-  $L_i$ : Duljina veze određenog segmenta vlakna unutar nekog optičkog linka [km]

-  $A_{konektori}$ : Ukupni gubici svih konektora diljem linka (tipično 0.5-1 dB) =  $m \cdot A_{kon}$

-  $A_{spojevi}$ : Ukupni gubici svih fiksnih spojeva diljem linka (tipično 0.02-0.1 dB) =  $n \cdot A_{spoj}$

-  $R$ : Sigurnosna zaliha (5-8 dB)

$$A_{OL} = \alpha \cdot L + n \cdot A_{spoj} + m \cdot A_{kon}$$

$A_{OL}$  - gubici optičkog linka

$n, m$  - broj fiksnih spojeva i konektora

$$L_{max} \leq \frac{1}{\alpha} (P_{TX} - A_{spojevi} - A_{konektori} - R - P_{Rmin})$$

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{OL}$$

$$R = P_{RX} - P_{Rmin} \quad (\text{mora biti} \geq 0)$$

## 7. Primjeri Proračuna

-  $P_{TX} = 3 \text{ dBm}$

$P_{Rmin} = -40 \text{ dBm}$

$\alpha = 0.5 \text{ dB/km}$

$L = 70 \text{ km}$

$A_{kon} = 1 \text{ dB}$  (2 konektora - uvijek 2 ako nije drukčije navedeno u zadatku)

Nijedan spoj (jer nije navedeno)

$$A_{OL} = 0.5 \times 70 + 2 \times 1 = 37 \text{ dB} \implies P_{RX} = 3 - 37 = -34 \text{ dBm}$$

$$R = -34 - (-40) = 6 \text{ dB}$$

(jer je  $P_{RX} > P_{Rmin}$  i jer je sigurnosna zaliha  $R = 6 \text{ dB} > 0$ )

•                   :

-  $P_{TX} = -6 \text{ dBm}$

$P_{Rmin} = -33 \text{ dBm}$

$\alpha = 0.35 \text{ dB/km}$

$L = 40 \text{ km}$

$A_{\text{spoj}} = 0.1 \text{ dB}$  (9 spojeva)

$A_{\text{kon}} = 1 \text{ dB}$  (2 konektora - uvijek 2 ako nije drukčije navedeno u zadatku).

-                   :

$$A_{OL} = 0.35 \times 40 + 9 \times 0.1 + 2 \times 1 = 16.9 \text{ dB} \implies P_{RX} = -6 - 16.9 = -22.9 \text{ dBm}$$

$$R = -22.9 - (-33) = 10.1 \text{ dB}$$

(jer je  $P_{RX} > P_{Rmin}$  i jer je sigurnosna zaliha  $R = 10.1 \text{ dB} > 0$ )

-                   ( $L = 80 \text{ km}$ ):

$$P_{RX} = -37.9 \text{ dBm} < P_{Rmin} \implies \text{sustav ne radi!}$$

## 8. Ključni Savjeti za Projektiranje

1.                   ( $\leq 10 \text{ km}$ ):

Valna duljina: 850 nm.

Komponente: LED + višemodno vlakno + PIN dioda.

2.                   ( $> 50 \text{ km}$ ):

Valna duljina: 1550 nm.

Komponente: Laser + jednomodno vlakno + APD dioda + EDFA pojačala.

3.                   : Uvijek uključiti 5-8 dB za starjenje komponenti, temperaturne promjene i popravke.

4.                   : Korigirati je kod brzina  $> 10 \text{ Gbit/s}$  (npr. pomaknuta disperzijska vlakna za 1550 nm).

                                  : Svi proračuni temelje se na dB/dBm jedinicama. Za praktičnu primjenu koristite logaritamske formule za pretvorbu iz mW u dBm:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{\text{mW}}}{1 \text{ mW}} \right)$$