

Izvještaj s treće laboratorijske vježbe iz  
predmeta:

## **Optički komunikacijski sustavi**

**student: Jelena Mirošević  
0036414971**

## Uvod

Treća laboratorijska vježba služila je za upoznavanje sa parametrima svjetlovoda, te sa optičkim reflektometrom u vremenskoj domeni.

U prvom dijelu vježbe proučavali smo utjecaj savijanja na gušenje optičkog vlakna, te smo također uočili koje gušenje unose konektori.

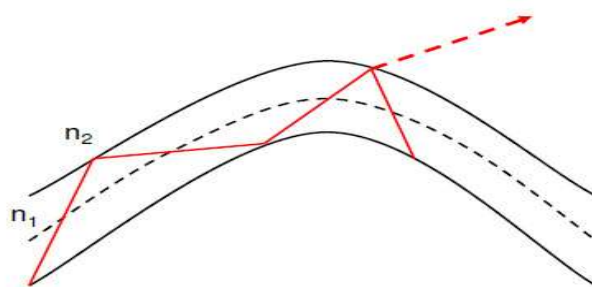
U drugoj vježbi upoznali smo se sa optičkim reflektometrom u vremenskoj domeni. Pomoću njega mogli smo uočavati različite "anomalije" duž svjetlovoda iako se prikopčava samo na jednu stranu svjetlovoda.

## 1. Parametri svjetlovoda

### Problemi gušenja svjetlovoda

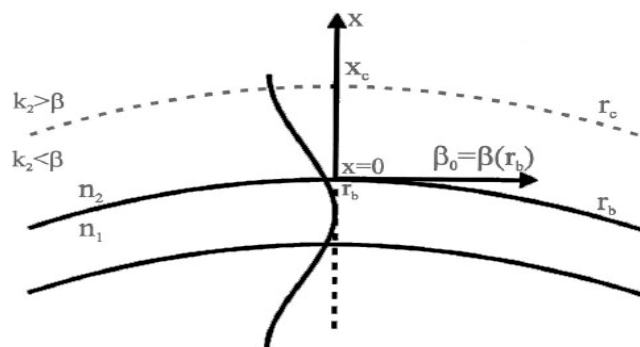
Na gušenje svjetlovoda utječu mnogi faktori. Ove faktore prilikom korištenja neke svjetlovodne trase potrebno je naravno uzeti u obzir kako bi se moglo provjeriti da li će biti prenesena dovoljna razina snage od odašiljača do prijamnika.

Promatrali smo utjecaj savijanja na gušenje svjetlovoda. Osim što u koliko stakleno vlakno previše savinemo, može doći do pucanja, uslijed prevelikog savijanja plastičnog svjetlovoda, dolazi do značajnih gubitaka. U koliko se svjetlovod previše savine, može se dogoditi da nisu ispunjeni uvjeti totalne refleksije na vanjskom obodu jezgre, zbog čega dolazi do tuneliranja, tj. dio zrake izlazi iz jezgre, te se zrači u okolinu, zbog čega slabi val u vlaknu.



Slika 1.: Tuneliranje uslijed savijanja svjetlovoda.

Ova pojava se može opisati i pomoću valne teorije. U vanjskom dijelu plašta, zbog dužeg puta je konstanta širenja manja, nego u unutarnjem dijelu. Kada je konstanta širenja veća od  $2\pi n_2/\lambda$ , nastaje radialno širenje elektromagnetske energije koja se gubi u prostoru tj. u plaštu. Iz spomenutog izraza očekujemo da ćemo imati veće gušenje na većim valnim duljinama.



Slika 2.: Promjena konstante širenja  $\beta$  uslijed savijanja.

Osim savijanja, gušenje unose i konektori, što je upravo i razlog zbog čega se duž trasa vlakna spajaju varenjem, a ne konektorima. Konektori se koriste samo u slučajevima kada je potrebno na nekom kraju vršiti neka prespajanja ili spajati neke uređaje.

### Ideja/zadatak

Prva vježba sastojala se od tri dijela.

U prvom dijelu smo savijali svjetlovod i pri tome mjerili prijamnu razinu snage. Gledali smo kako se prijamna razina snage mijenja s obzirom na povećanje broja zavoja svjetlovoda, te kako se ova pojava ponaša na različitim valnim duljinama.

Za drugi dio vježbe koristili smo *visible* laser, kako bismo promatrali njegovo širenje kroz jednomodni i višemodni optički kabel, te da bismo zaista uočili pojavu tuneliranja.

Zadnji dio prve vježbe služio nam je da "analogim" putem izračunamo gušenje konektora. Iako se ovakva gušenja mogu vrlo jednostavno dobiti uz pomoć uređaja korištenog u idućoj vježbi, ideja je bila da uz dostupnu opremu (bez optičkog reflektometra) izračunamo gušenja. Pri tome kombinirajući dostupne konektore, optička vlakna, te mjerač snage na prijemu, a da pri tome ne znamo snagu izvora.

### Korištena oprema

Za prvu vježbu koristili smo laserski izvor, kojeg smo koristili na  $\lambda=1300\text{nm}$ , i na  $\lambda=1550\text{nm}$ .



Slika 3.: Višemodni laser - Anritsu MS0909A.

Na njega smo spojili optičko vlakno, te ga namatali oko olovke i bilježili promjene prijamne razine snage.

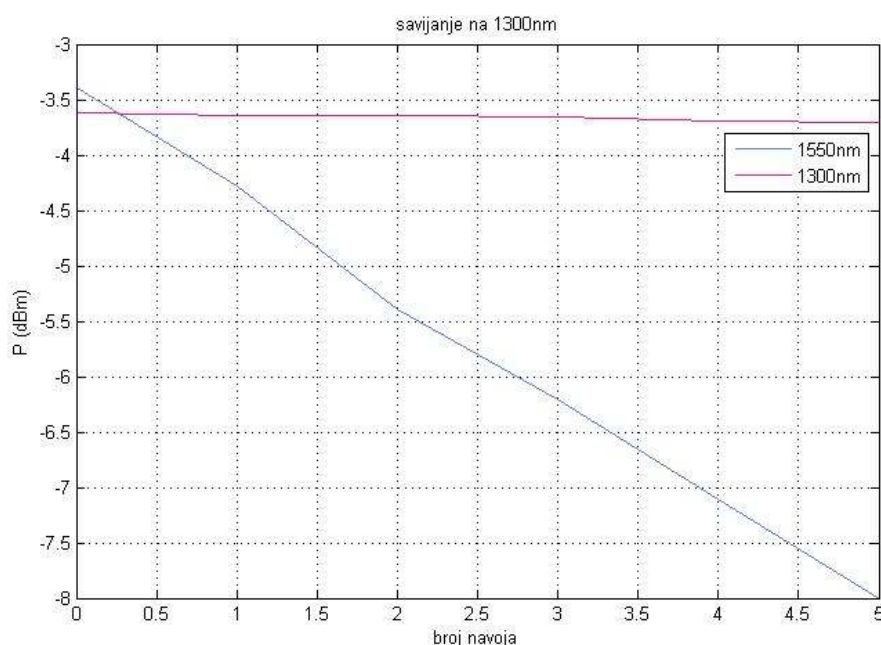
U zadnjem dijelu vježbe koristili smo isti višemodni laserski izvor, ali smo ga kombinirali sa više različitih optičkih vlakana kako bismo izračunali gušenje konektora. Kako smo koristili jednomodne svjetlovođe, njihova gušenja smo zanemarili.

### Mjerenja, rezultati i zaključci

Optičko vlakno priključili smo na laserski izvor na kojemu smo ujedno i mjerili prijamnu snagu na drugom kraju optičkog vlakna. Namatali smo vlakno i pri tome promatrali promjenu snage. Rezultati mjerenja na obje valne duljine prikazani su u tablici.

$\lambda=1300\text{nm}$		$\lambda=1550\text{nm}$	
br.zavoja	prijamna snaga	br.zavoja	prijamna snaga
0	-3.62 dBm	0	-3.39 dBm
1	-3.64 dBm	1	-4.28 dBm
2	-3.64 dBm	2	-5.39 dBm
3	-3.66 dBm	3	-6.20 dBm
4	-3.69 dBm	4	-7.10 dBm
5	-3.71 dBm	5	-8.00 dBm

Kako bi bolje uočili razlike između rada na 1300nm i 1550nm, podatci su prikazani i grafički na slici 3.

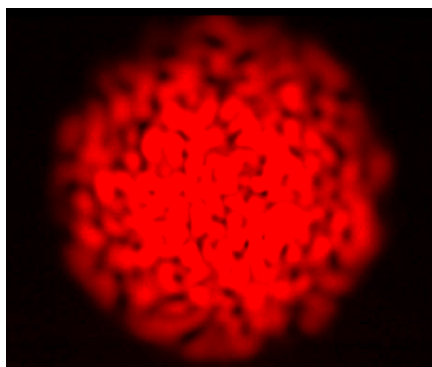


Slika 3.: Karakteristika savijanja svjetlovoda.

U uvodnom dijelu izvještaja, opisujući pojavu tuneliranja pomoću valne teorije, utvrđeno je da na većim valnim duljinama zbog veće konstante širenja imamo i veće gušenje. Graf na slici 3. nam upravo to i

potvrđuje. Ljubičasta karakteristika koja predstavlja rad na 1300nm, kroz pet navoja smanjila se za oko 0.1dB, dok se plava karakteristika smanjila za 4.5dB. U drugom slučaju nam je gušenje znatno poraslo sa povećanjem broja zavoja, kao što je i očekivano.

U drugom dijelu vježbe koristili smo *visible* laserski izvor. Na njega smo spojili višemodni optički kabel. Otvoreni kraj optičkog kabela usmjerili smo na zaslon i dobili nešto slično onome prikazanom na slici 4. Uočavamo da postoje tamna i svjetlija područja, gdje tamna predstavljaju destruktivnu interferenciju, a svjetlija mjesta konstruktivnu interferenciju. Očitanjem područja do kud se točke po zaslonu nalaze, može se izračunati konusni kut upada.



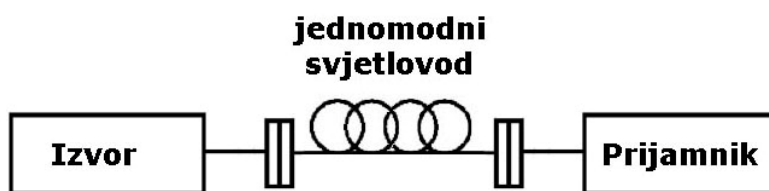
Slika 4.: Konstruktivna i destruktivna interferencija na izlazu iz optičkog kabela.

Višemodni svjetlovod smo zamijenili potom sa jednomodnim. Iako je bilo za očekivati da nećemo dobiti na zaslonu skup točaka kao u prvom slučaju, dobili smo sličnu sliku. Ponovno je došlo do pojave konstruktivne i destruktivne interferencije zbog rada na malim valnim duljinama, pa se u našem svjetlovodu (650nm) ipak pojavilo više modova, 3-4 moda. Bitno je naglasiti da ono što vidimo na zidu nije broj modova i ne može se iz toga izčitati.

Treći pokus prve vježbe tekao je u tri faze. Potrebno je bilo odrediti vrijednost gušenja jednog konektora. Pri tome smo na raspolaganju imali dva jednomodna svjetlovoda čija su gušenja zanemariva, jedan testni, četiri konektora i višemodni laser - Anritsu MS0909A. Problem prilikom određivanja gušenja konektora je u tome što nemamo odašiljačku snagu, već samo snagu na prijemu. Mjerenja smo radili za dvije valne duljine 1300nm te za 1550nm.

## 1. Mjerenje

Na izvor smo spojili jednomodni svjetlovod zanemarivog gušenja, te je spojen na izvor preko jednog i na prijam preko drugog konektora. Snagu koju očitavamo predstavlja snagu izvora umanjenu za gušenje dvaju konektora. Na slici 5. prikazana je shema opreme korištenje za prvo mjerenje s tim da su naš izvor i odašiljač isti uređaj.



Slika 5.: Shema za prvo mjerenje: jednomodni svjetlovod bez gubitaka i 2 konektora.

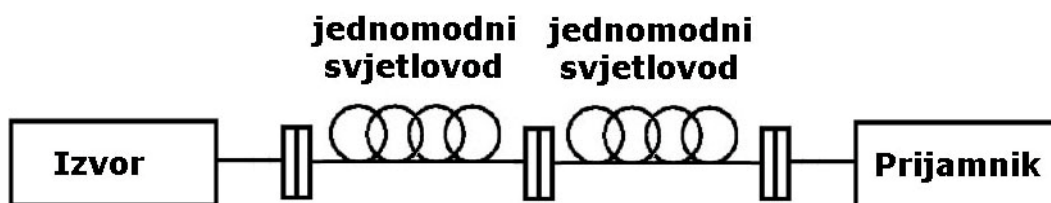
Snaga na prijemu iznosi:

za  $\lambda=1300\text{nm}$  -> -2.55 dBm,

za  $\lambda=1550\text{nm}$  -> -2.60 dBm.

## 2. Mjerenje

Spojili smo dva jednomodna kabela međusobno sa jednim konektorom, te s još jednim konektorom na odašiljač, te s još jednim na prijam. U ovom mjerenju dakle koristili smo dva jednomodna svjetlovoda i tri konektora.



Slika 6.: Shema za drugo mjerenje: dva jednomodna svjetlovoda bez gubitaka i tri konektora.

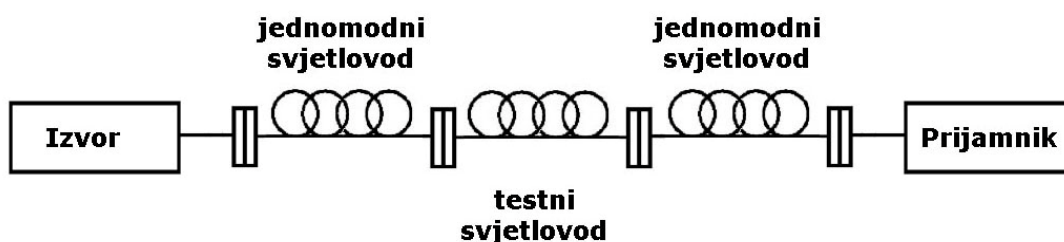
Snaga na prijemu iznosi:

za  $\lambda=1300\text{nm}$  -> -2.66 dBm,

za  $\lambda=1550\text{nm}$  -> -2.73 dBm.

## 3. Mjerenje

U zadnjem mjerenju spojili smo četiri konektora, jedan za spojiti zvor sa jednomodnim svjetlovodom, potom drugi za spajanje jednomodnog svjetlovoda sa testnim svjetlovodom, treći za spajanje drugog kraja testnog svjetlovoda i novog jednomodnog, te zadnji za spajanje jednomodnog svjetlovoda na prijamnik. Shema je prikazana na slici 7.



Slika 7.: 4 konektora, dva jednomodna i testni svjetlovod.

Snaga na prijamu iznosi:

za  $\lambda=1300\text{nm}$  -> -6.26 dBm,

za  $\lambda=1550\text{nm}$  -> -4.85dBm.

Iz 1. i 2. Mjerenja možemo dobiti iznos gušenja konektora, s obzirom da znamo da smo u prvom mjerenju dobili iznos snage izvora umanjen za gušenje dva konektora, a u drugom slučaju umanjen za gušenje triju konektora. S iznosom gušenja jednog konektora ulazimo u treće mjerenje, te konačno dobijamo iznos gušenja testnog svjetlovoda.

### **$\lambda=1300\text{nm}$**

1. mjerenje  $P_i - 2P_k = -2.55 \text{ dBm}$

2. mjerenje  $P_i - 3P_k = -2.66 \text{ dBm} / (-1)$  i zbrojimo te dvije jednačbe, pa dobijemo  $P_k = 0.11 \text{ dB}$ . Time smo dobili gušenje jednog konektora.

3. mjerenje  $P_i - 4P_k - P_t = -6.26 \text{ dBm}$ .

$$P_t = 6.26 \text{ dBm} + P_i - 4P_k$$

$P_t = 3.58 \text{ dBm}$ . Te je to gušenje našeg testnog optičkog kabela.

Isti postupak smo ponovili za drugu valnu duljinu.

### **$\lambda=1550\text{nm}$**

1. mjerenje  $P_i - 2P_k = -2.60 \text{ dBm}$

2. mjerenje  $P_i - 3P_k = -2.73 \text{ dBm} / (-1)$  i zbrojimo te dvije jednačbe, pa dobijemo  $P_k = 0.11 \text{ dB}$ . Time smo dobili gušenje jednog konektora.

3. mjerenje  $P_i - 4P_k - P_t = -4.85 \text{ dBm}$ .

$$P_t = 4.85\text{dBm} + P_i - 4P_k$$

$$P_t = 1.99 \text{ dBm}.$$

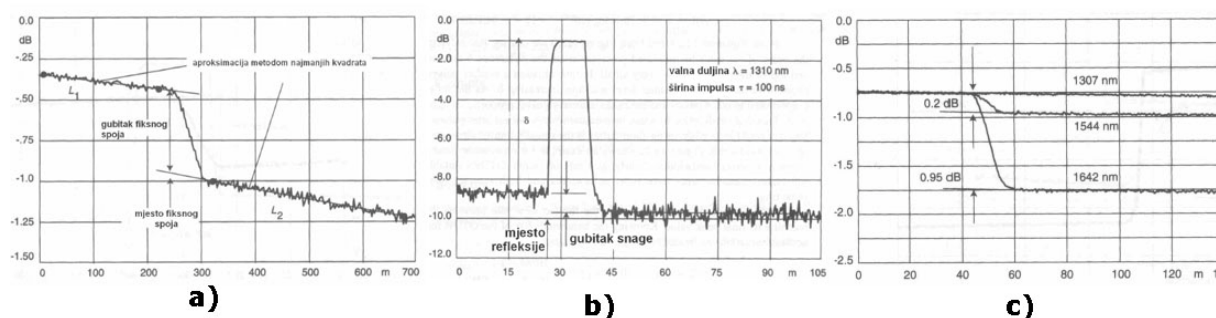
Ovime smo pokazali da je gušenje na većim valnim duljinama manje, uz korištenje istog optičkog kabela.

## 2. Optički reflektometar u vremenskoj domeni (OTDR)

### Princip rada optičkog reflektometra u vremenskoj domeni

Optički reflektometar u vremenskoj domeni ili kraće OTDR što dolazi od engleskog *Optical Time Domain Reflectometry* je zapravo 1D radar. OTDR emitira impulse u svjetlovod i promatra povratni signal. Na temelju analize amplitudne i vremenske ovisnosti raspršene svjetlosti dobivene mjerenjem, moguće je odrediti: gušenje između dvije točke, gubitke na fiksnim spojevima, gubitke na konektorima, gubitke uslijed nesavršenosti vlakna, udaljenost na kojoj se nalazi konektor, fiksni spoj ili nesavršenost, te mjesto prekida svjetlovoda. Ovo sve je moguće zahvaljujući Rayleighovom raspršenju unutar svjetlovoda do kojeg dolazi uslijed nehomogenosti materijala od kojeg je načinjen svjetlovod.

OTDR se priključuje samo na jednu stranu svjetlovodne trase i zahvaljujući spomenutom raspršenju prikuplja potrebne podatke. Na zaslonu uređaja se dobija karakteristika iz koje je moguće očitati o kakvoj se pojavi duž trase i na kojem mjestu radi. Tipične promjene duž karakteristike prikazane su na idućoj slici.



Slika 8.: Promjene u OTDR karakteristici uslijed:

- a) fiksnog spoja,
- b) konektorskog spoja,
- c) savijanja svjetlovoda.

### Ideja/zadatak

U drugoj vježbi smo pomoću OTDR-a snimali trase svjetlovoda i kombinacije svjetlovoda u II. i u III. komunikacijskom prozoru. Pomoću karakteristike koju smo snimili pokušali smo uočiti kakve anomalije duž naše trase imamo, te na kojim se udaljenostima nalaze, kao i same dužine optičkih vlakana.



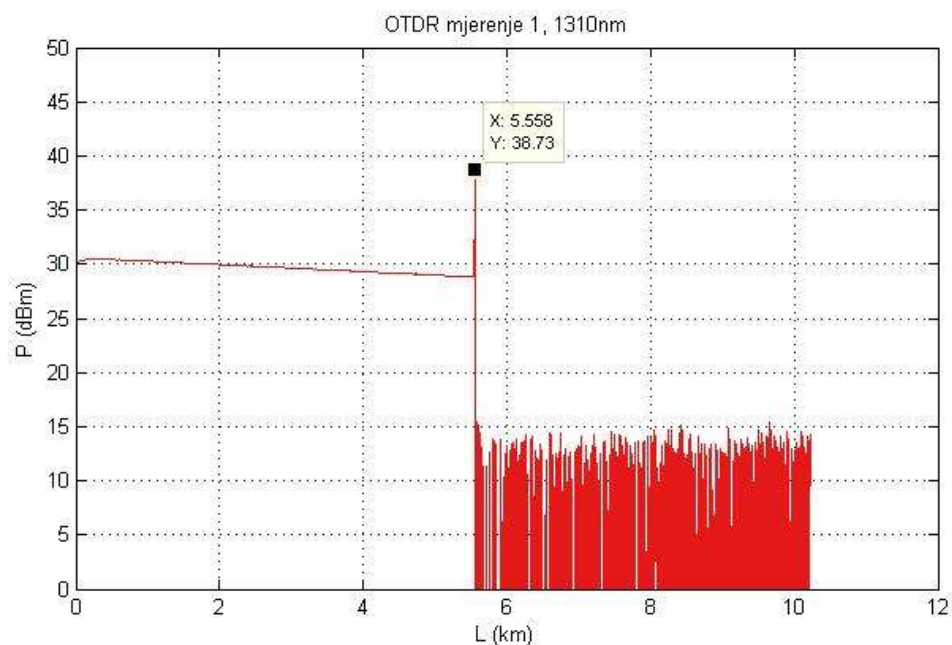
## Korištena oprema

Koristi smo OTDR, te nekoliko svjetlovoda koje smo međusobno kombinirali.

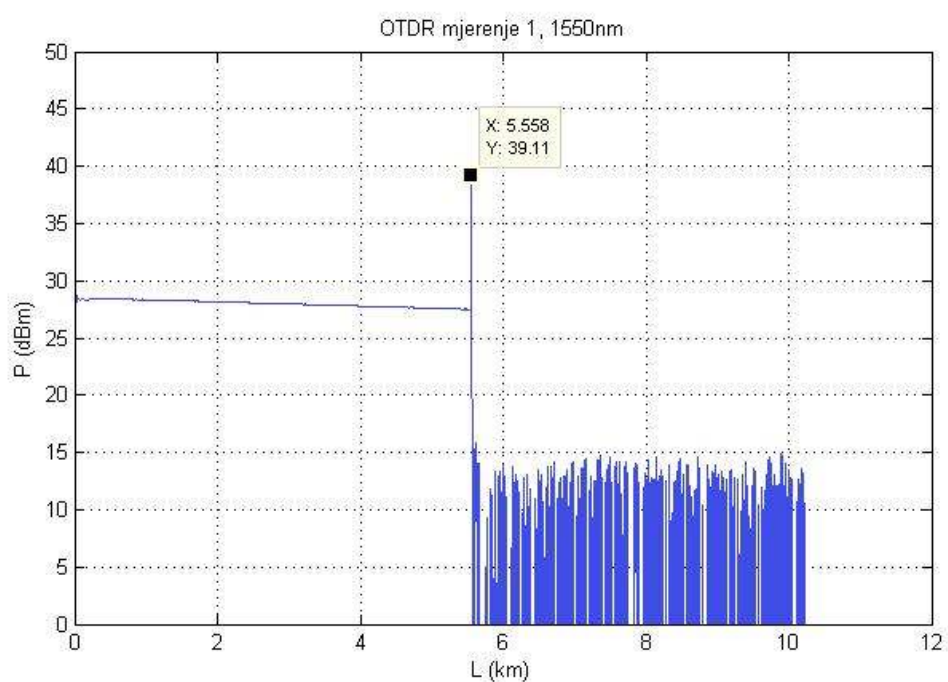
## Mjerenja, rezultati i zaključci

### 1. Mjerenje

U prvom mjerenju druge vježbe koristili smo *low water peak fiber*. Snimili smo karakteristike za dvije valne duljine, a one su prikazane na iduće dvije slike.



Slika 9.: OTDR mjerenje za low water peak fiber na valnoj duljini 1310nm.



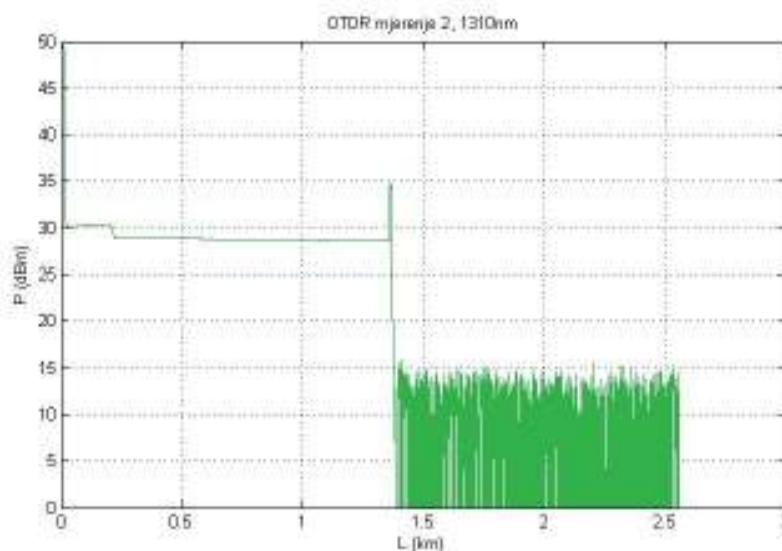
Slika 10.: OTDR mjerenje za low water peak fiber na 1550nm.

Koristeći isto optičko vlakno dobili smo karakteristike prikazane na slikama 9. i 10. Markeri iz *Matlaba* pokazuju da se skok pojavio na istome mjestu, međutim to je zbog nepreciznosti samog programa. Očitanje direktno sa OTDR-a pokazalo je da se mjerenja na dvije valne duljine ipak ponešto razlikuju. Na grafu smo detektirali kraj svjetlovoda, tada imamo skok, pa potom samo šum.

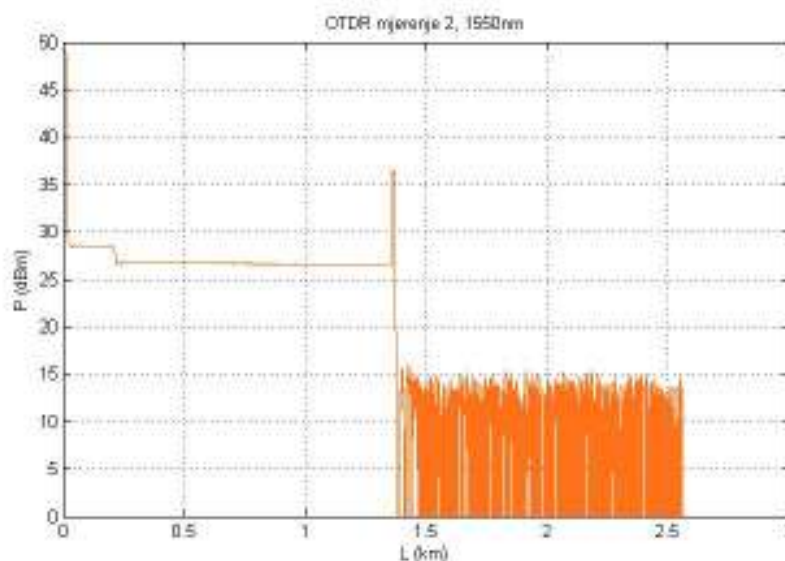
$\lambda$ [nm]	L [km]	fiber loss [dB/km]	spice loss [km]
1310	5.54759	0.326	25.643
1559	5.54788	0.184	22.381

## 2. Mjerenje

U drugom mjerenju spojili smo na OTDR narančasti i zeleni svjetlovod. Snimljene karakteristike prikazane su na iduće dvije slike.



Slika 11.: 2. Mjerenje na 1310nm.



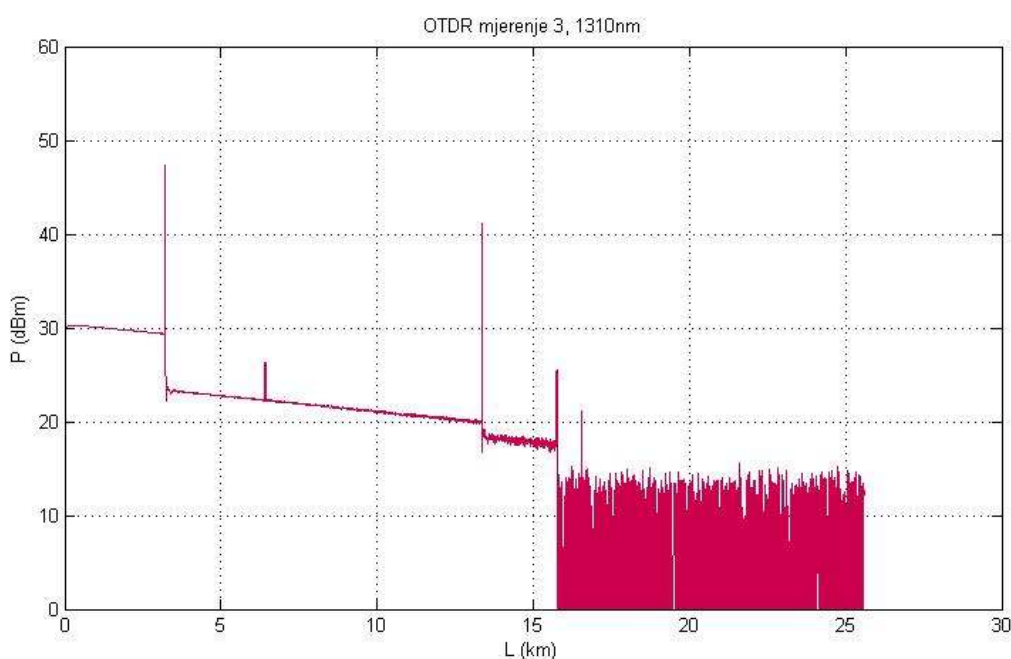
Slika 12.: 2. Mjerenje na 1550nm.

Na obje slike vidimo da osim kraja optičkog kabela imamo i još jednu anomaliju. Negdje na oko 0.25km vidimo da imamo nagli pad. Ovakav strmi pad, kao što je objašnjeno u teoretskom dijelu, tipična je pojava na mjestu fiksnog spoja. Kako fiksni spoj nikada ne može biti idealno spojen, te uvijek ima barem mali sračni jastuk, dolazi do refleksije, što uzrokuje pad razine snage.

Za prvu sliku OTDR je očitao fiksni spoj na 0.20778km, a kraj na 1.35844km. Gubitak na spoju iznosi 1.546dB.

### 3. Mjerenje

U posljednjem mjerenju koristili smo crveni, žuti i bijeli optički kabel. Snimljena karakteristika nalazi se na idućoj slici.



Slika 13.: 3. mjerenje, na 1310nm.

Na slici 13. vidimo da duž trase imamo različite anomalije. Zadnji zabilježen skok je refleksija o kraj optičkog kabela, a OTDR ju je zabilježio na 15.7511km, što predstavlja ukupnu duljinu naše trase.

Prvi skok OTDR je zabilježio na 3.20308km. Na toj udaljenost od našeg uređaja nalazi se prvi konektor, koji unosi gušenje od 5.591dB. Prvi dio karakteristike, do prvog skoka predstavlja karakteristiku crvenog kabela.

Koristili smo razdjelnik, dva konektora su u zraku, 1 na jedan svjetlovod, a drugi ide na drugi svjetlovod. Gubitci sklopa manifestiraju se kao propad, pa zatim reflektirano, skok, ali skok je prevelik za spoj, pa vidimo da se ne radi o običnom spoju. ¼ signala ide na žuti kabel, a isto toliko na kraći bijeli. Prvo dolazi do refleksije od kraj kraćeg svjetlovoda, a zadnji skok je od oba. U praksi kutija koju smo koristili spliter, je fiber od zgrade, a onda spliter koji razdvaja svakome korisniku svoj signal Mali skok koji imamo je tzv duh, zbog velike refleksije unutar kutije.

Mjerenja smo radili za 100ns. Pokušali smo povećati vrijeme na 500ns širine impulsa. Trasa nam izgleda ljepše. Snaga koji OTDR šalje ostaje ista, ali zbog veće širine impulsa šaljemo više energije, zahvaljujući većoj energiji digli smo se iznad šuma pa nam je karakteristika glađa, tj manje grbava. Prilikom odabira širine impulsa treba biti oprezan, u koliko je širina impulsa prevelika, dolazi do smanjenja optičke razlučivosti pa se može dogoditi da OTDR detektira jedan konektor, umjesto dva međusobno malo udaljena konektora.

### **Zadatak**

**U prvom mjerenju OTDR-om mjerena je trasa koja je sadržavala samo jedan jednomodni svjetlovod. Mjerenjem na obje valne duljine utvrđeno je da postoji razlika u očitavanju duljine svjetlovoda, tj. na 1310 nm OTDR je pokazao duljinu od 5.54811 km, a na 1550 nm duljinu od 5.54737 km. Ako pretpostavimo da je odabir efektivnih (grupnih) indeksa loma kod OTDR-a ( $n_{1310}=1.4655$  i  $n_{1550}=1.4611$ ) ispravan i ne unosi grešku u očitavanje duljine, možemo zaključiti da je za nesigurnost u određivanju duljine zaslužna disperzija u svjetlovodu. Koristeći ove podatke mjerenja sa 1310 nm i 1550 nm izračunajte približnu vrijednost disperzije za ovaj svjetlovod.**