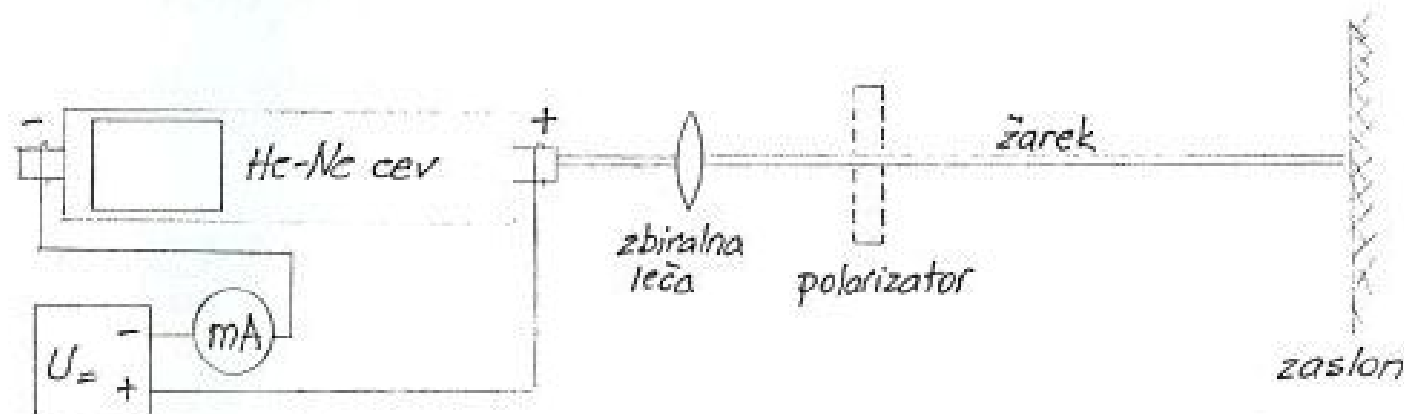


# VAJA 1: HELIJ - NEONSKI LASER

Potek vaje: Nameščeni nepolarizirani laserski cevi sva po priklopu na napetost 1200V izmerila delovni tok  $I = 3,9 \text{ mA}$  in izračunala moč  $P_{e_{\text{vH}}} = 4,56 \text{ W}$ . Pri izhodni optični moči  $P_{0,12\text{H}} = 2 \text{ mW}$  znaša izkoristek:

$$\eta = \frac{P_{0,12\text{H}}}{P_{e_{\text{vH}}}} = \frac{2 \text{ mW}}{4,56 \text{ W}} = 0,044\%$$

S pomočjo polarizatorja sva žarek zaprla, a se v naslednjem trenutku zopet pojavi, kar pa se ne zgodi pri polarizirani cevi. Za polarizirano cev sva uporabila drug predupor, izmerila  $I = 0,45 \text{ mA}$  in izračunala  $P_{e_{\text{vH}}} = 0,54 \text{ W}$ , ter  $\eta = 0,37\%$ .



visokonapetostni izvor

Ugotovitve: S pomočjo vertikalnega polarizatorja določimo (ne)polariziranost cevi. Razlika med uporabljenima laserskima cevema je v velikosti, zgradbi in izkoristku, ki je boljši pri polarizirani cevi. Velikost He-Ne laserja omogoča ogled sestavnih delov s prostim očesom, zgradbo rezonatorja pa vidno svetlobo. Pri dovolj velikem preduporu lasersko svetlobo izgine.

Laboratorijske vaje pri predmetu:

## OPTIČNE KOMUNIKACIJE

izdelal:

Datum:

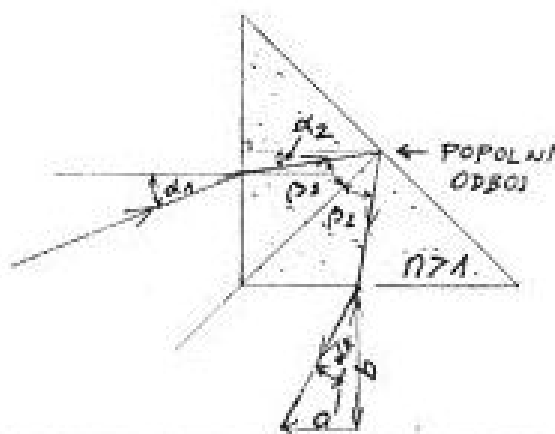
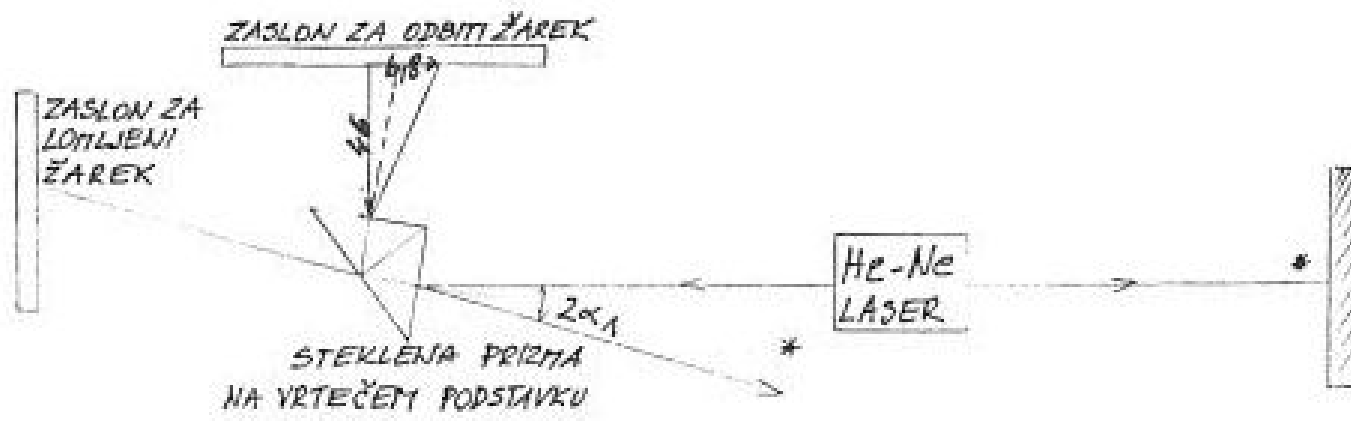
24. 10. 2001

Št. vaje / stran:

1 / 1

# VAJA 2: MERJENJE LOMNEGA KOLIČNIKA PREKO POPOLNEGA ODBOJA

Potek vaje: Pri dovolj velikem vpadnem kotu na pravokotnico na mejno ploskev pride do popolnega odboja. Prvo sva nastavila kotomer podstavka steklene prizme na  $0^\circ$  in to tako, da sva prekrila projekciji odbitega žarka od prizme in žarka iz laserja (glej sliko). Z vrtenjem steklene prizme sva opazovala lom in odboj valovanja He-Ne laserskega žarka. Pri popolnem odboju sva odčitala vrednost na kotomerju in izračunala lomni količnik. Dobljeno vrednost sva preverila z meritvijo razdalj prizma-zaslon in slika odbiti žarek pri  $0^\circ$  - slika pred popolnim odbojem, ter še enkrat izračunala  $n$ .



$$n = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = \frac{1}{\sin \beta_2}$$

$$\alpha_2 + \beta_2 = 45^\circ$$

## Rezultati

1. Vpadni kot pri popolnem odboju odčitani s kotomerja

$$2\alpha_1 = 6^\circ; \quad \alpha_2 + \beta_2 = 45^\circ; \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{1}{\sin \beta_2} = n$$

$$\frac{\sin 3^\circ}{\sin(45^\circ - \beta_2)} = \frac{1}{\sin \beta_2} \Rightarrow \frac{\sin \beta_2}{\cos \beta_2} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sin 3^\circ + \frac{\sqrt{2}}{2}} = \tan \beta_2 = 0,93$$

$$\beta_2 = 42,95^\circ \approx 43^\circ$$

$$n = \frac{1}{\sin \beta_2} = 1,467$$

2. Vpadni kot izmerjen

$$a = 6,8 \text{ cm}, \quad b = 46 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{a/2}{b} \Rightarrow \alpha_2 = 2,98^\circ$$

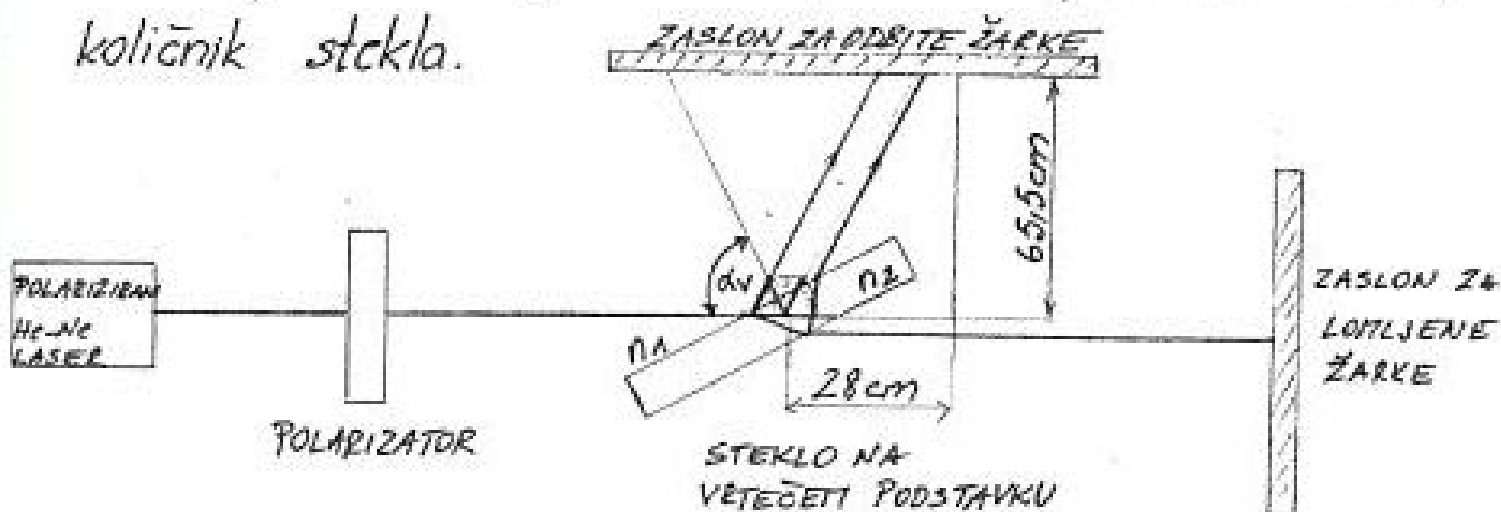
$$\tan \beta_2 = 0,93 \Rightarrow \beta_2 = 42,96^\circ$$

$$n = 1,467$$

Ugotovitve: Pri vrtenju steklene prizme se je slika na obeh zaslonih spreminjala od točke, ko sta lomljeni in odbiti žarek okrogle pike enake jakosti, do mesta, ko je lomljeni žarek ovalno šibka lisa in odbiti žarek močna pika. S pomočjo popolnega odboja in izmere Brewster-jevega kota lahko dovolj natančno določimo lomni količnik snovi. Do popolnega odboja pride le pri prehodu valovanja iz snovi z večjim v snov z manjšim lomnim količnikom.

## VAJA 3: MERJENJE LOMNEGA KOLIČNIKA IZ BREWSTER-JEVEGA KOTA

Potek vaje: Z vrtenjem zrcala in laserske cevi sva poskušala doseči minimum odbitih žarkov in nato s polarizatorjem čimboljšo linearno polarizacijo. Ko je žarek skoraj izginil sva iz izmerjenih razdalj izračunala Brewster-jev kot in lomni količnik stekla.



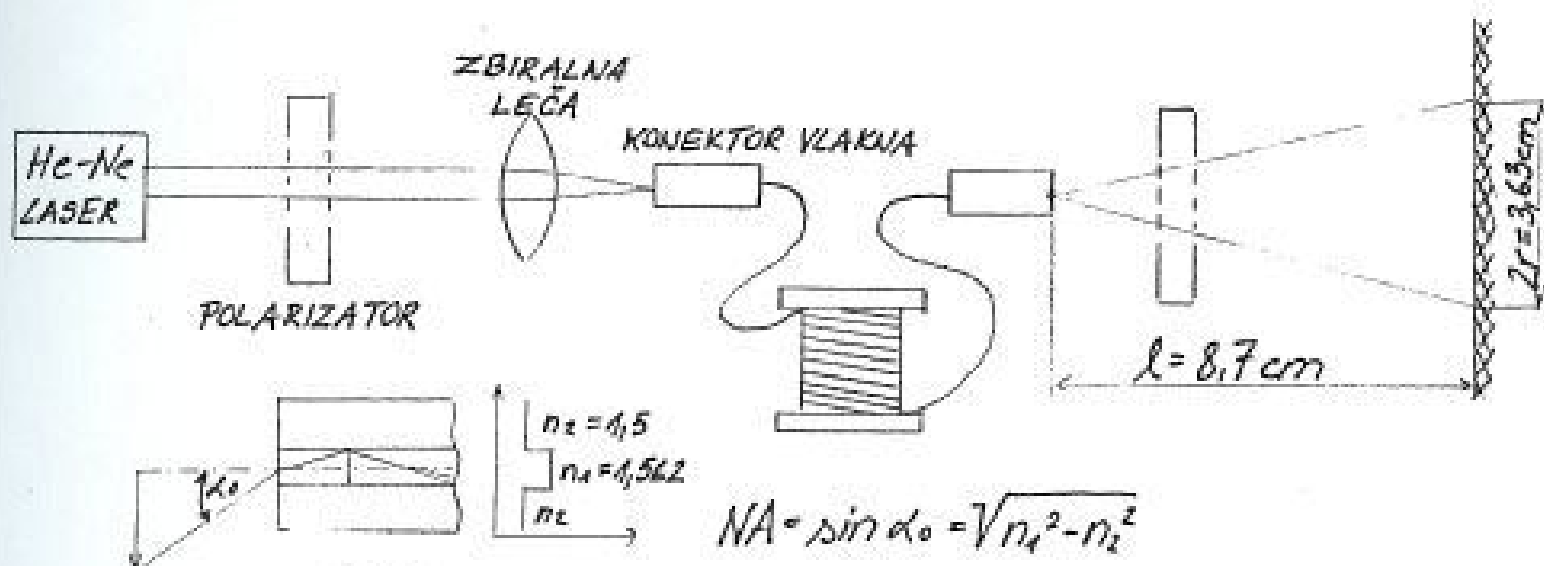
$$\tan \beta = \frac{65,5}{28} \Rightarrow \beta = 66,85^\circ \quad 180^\circ = 2\alpha_v + \beta \Rightarrow \alpha_v = 56,57^\circ = \theta_B$$

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = 1,515$$

Ugotovitve: Žarek nama ni uspelo povsem zadušiti. Polarizacija torej ni bila čisto linearna, ko naj bi bil H vzporeden z mejo snovi. Delitev moči, ki jo opisujeta Fresnelova izraza za odbojnost, je odvisna od polarizacije valovanja in od vrste snovi. Velja pri meji dveh dielektrikov z enakima magnetnima permeabilnostima.

## VAJA 4: POJAVI V MNOGORODOVNEM VLAKNU

Potek vaje: Na postavljeni voji sva s pomočjo polarizatorja pred zbiralno lečo in pozicioniranjem leče nastavila največjo moč žarka na zaslon. S spreminjanjem lege vlakna sva opazovala spreminjanje radov. Za izračun NA sva izmerila premer in oddaljenost slike na zaslonu od konca vlakna (konektor). Opazovala sva slike pri vlaknu s stopničastim in parabolničnim lomnim likom.

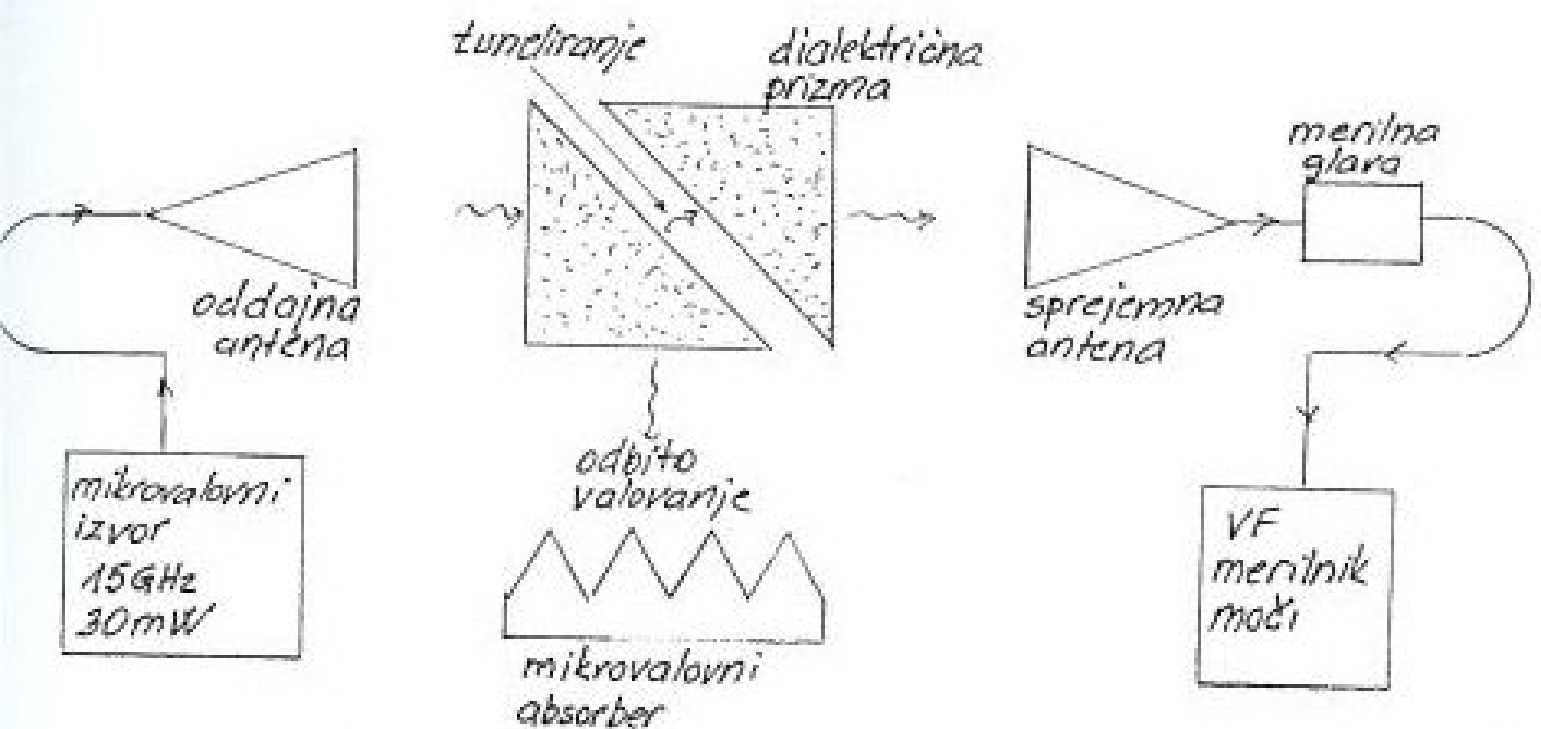


$$\tan \alpha_0 = \frac{1.815}{8.69} = 0.2 ; \alpha_0 = 11.79^\circ ; NA = \sin 11.79^\circ = 0.2$$

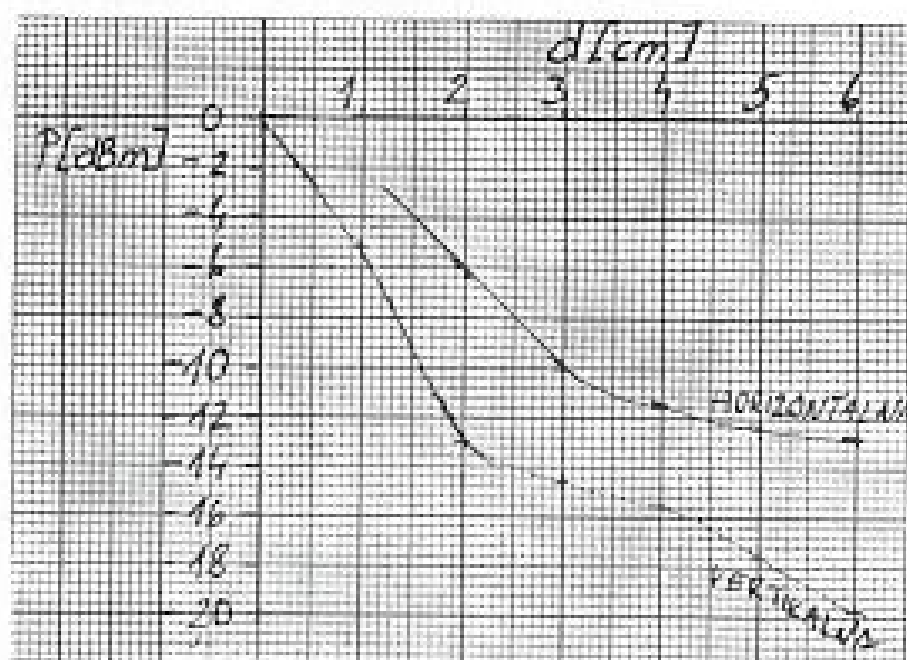
Ugotovitve: NA se je izračunala za vlakno s stopničastim lomnim količnikom. NA bi lahko izmerili tudi med laserjem in vlaknom, a je ta meritev težko izvedljiva. Pri sliki vlakna s parabolničnim lomnim količnikom je viden zrnast rob. NA na osi vlakna in premer sredice sta podatka po katerih lažje med enorodovnimi in mnogorodovnimi vlakni in sta pomembna pri spajanju vlaken.

# VAJA 5 : TUNELIRANJE ELEKTROMAGNETNEGA VALOVANJA

Potek vaje : Pri popolnem odboju gre razlika moči med vpadnim in odbitim žarkom, v primeru tuneliranja, v tunelirani žarek. Tuneliranje ima domet le nekaj valovnih dolžin, zato je poizkus lažje izvesti na večjih valovnih dolžinah. Pri uporabi generatorja  $f = 15\text{GHz}$ ,  $P = 30\text{mW}$  svo spreminjala razdaljo med voščenima prizmama in z inštrumentom odčitavala sprejemno moč. Z zasukom oddajne antene svo spreminjala polarizacijo.



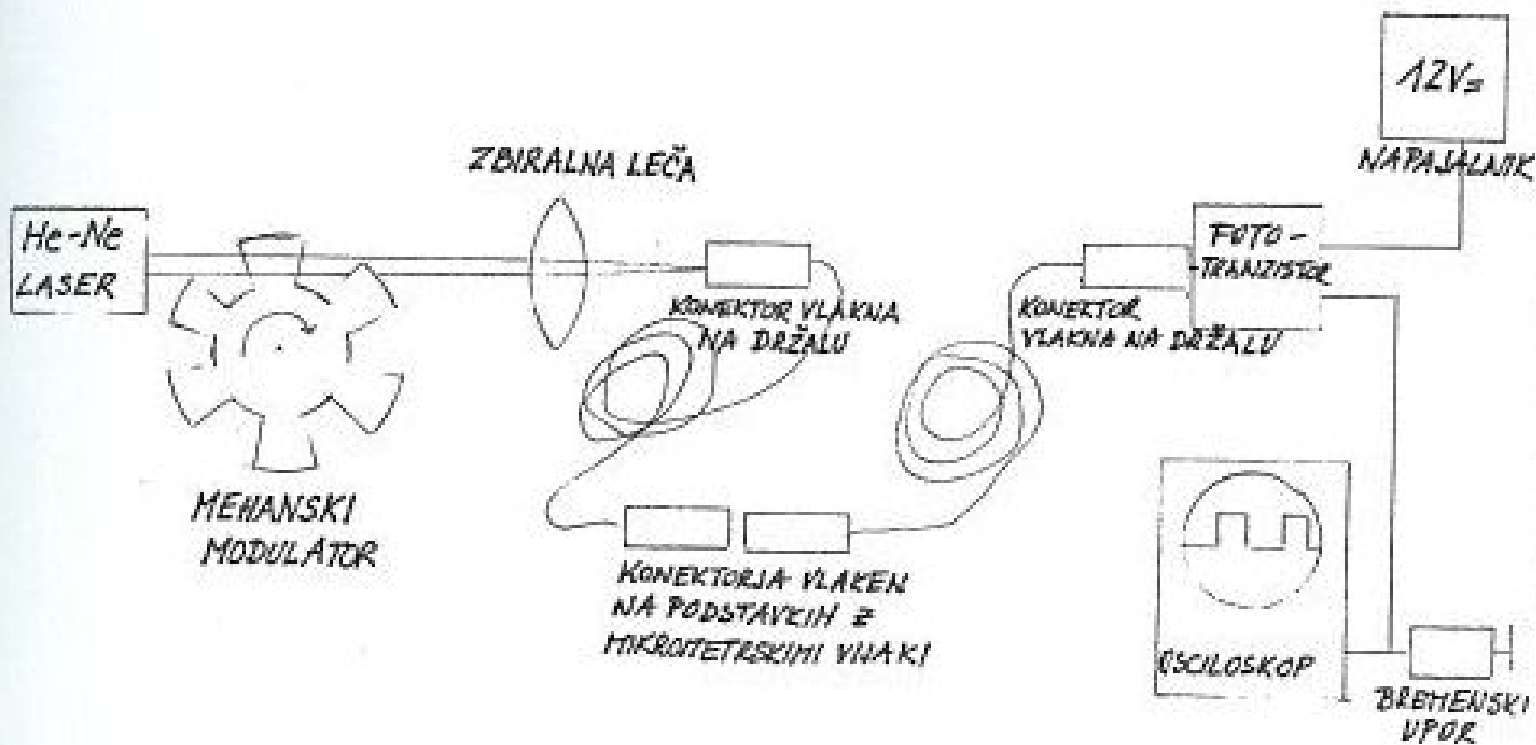
Razmik med prizmama $d$ [cm]	sprejemna moč $P$ [dBm]	
	vertikalna polarizacija	horizontalna polarizacija
0	-0,2	0
1	-5,8	-2
2	-13	-6
3	-14,5	-10
4	-15,6	-11,5
5	-17,5	-12,5
6	-19,8	-12,8



Sklepi: Iz rezultatov je razvidno, da moč tuneliranega valovanja z večanjem debeline  $d$  zelo hitro upada in je bolj izrazito pri TE polarizaciji. Pri nekajkratni valov. dolžini  $\lambda = 2$  cm dosežemo zadovoljivo slabljenje tuneliranega valovanja. Če preslikamo dogajanje v optiko, potem morajo proizvajalci pri izdelavi vlaken paziti na razmerje debelin jedra in obloge (standardizirano), ter lomnih količnikov.

## VAJA 6: STIČNO SLABLJENJE MED MNOGORODOVNIMA VLAKNIMA

Potek vaje: Prvo sva poskušala doseči čimboljša sklopa fokusiranega žarka v vlakno in konektor na konektor. Uspešnost nastavitvev je prikazoval osciloskop z meritvijo napetosti na fotodiodi. Izmerila sva vpliv dnevne svetlobe in vklopila modulator. Pričela sva z meritvijo slabljenja mnogorodovnega vlakna ob vzdolžnem premiku vlaken, nadaljevala s prečnim brez vzdolžnega premika vlaken in končala s prečnim premikom vlaken pri 200  $\mu\text{m}$  vzdolžnega premika.



### Ugotovitve :

Pri spajanju vlaken nastajajo hkrati napake vzdolžnega razmika, prečnega premika in nagiba. Iz rezultatov (Priloga 1) prvih dveh napak je vidno, da na relativno moč najbolj vpliva prečni premik vlaken, kar je pomembno pri izdelavi konektorskih spojev. Premer jedra je 50  $\mu\text{m}$ .

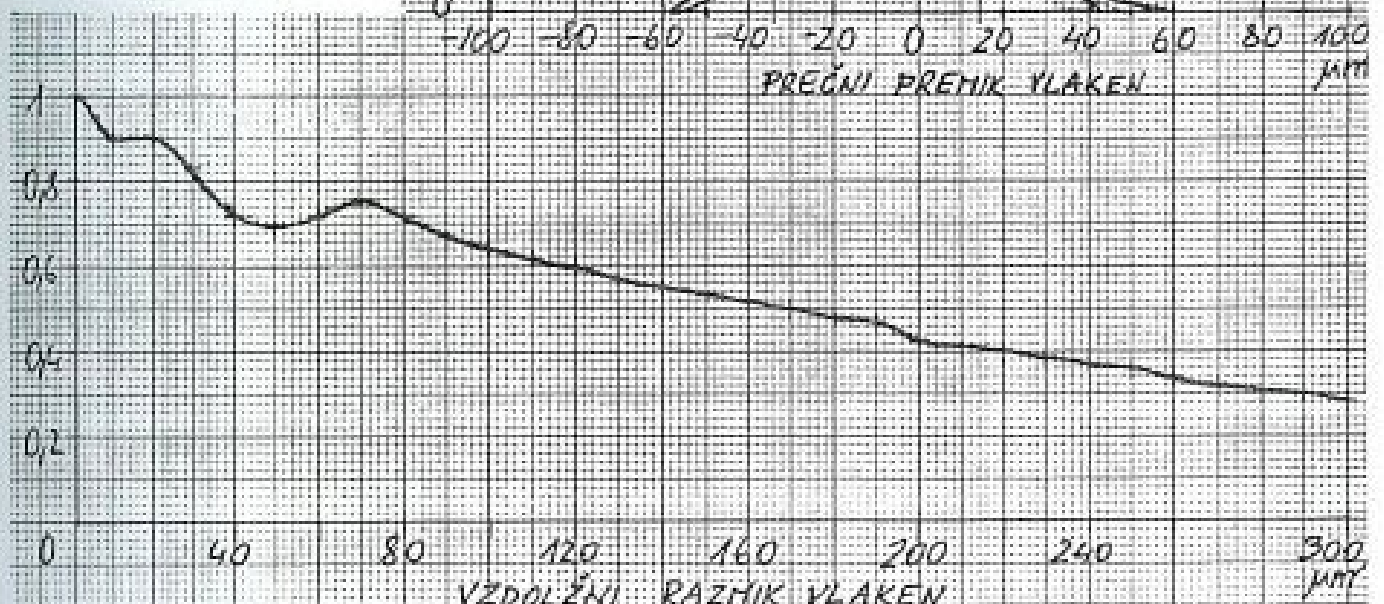
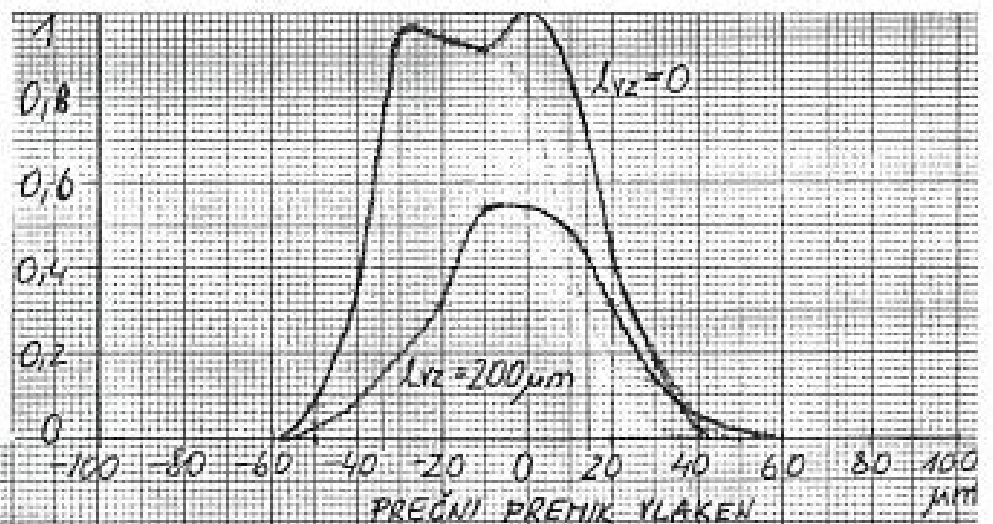


# VAJA 6. – Stično slabljenje med mnogorodovnimi vlaknoma

Vzdolžni premik		
$L_{vz}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Izhodna napetost [ $\mu\text{V}$ ]	
0	2,9 V	1 - relativno
10	2,6	0,90
20	2,6	0,90
30	2,4	0,83
40	2,1	0,72
50	2	0,69
60	2,1	0,72
70	2,2	0,76
80	2,1	0,72
90	1,95	0,67
100	1,85	0,64
110	1,8	0,62
120	1,75	0,60
130	1,65	0,57
140	1,6	0,55
150	1,55	0,53
160	1,5	0,52
170	1,45	0,50
180	1,4	0,48
190	1,35	0,47
200	1,25	0,43
210	1,2	0,41
220	1,15	0,40
230	1,13	0,39
240	1,08	0,37
250	1,04	0,36
260	1	0,34
270	0,94	0,32
280	0,9	0,31
290	0,87	0,30
300	0,8	0,28

Prečni premik pri $L_{vz}=0 \mu\text{m}$		
$L_{pr}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Izhodna napetost [ $\mu\text{V}$ ]	
-100		
-90		
-80	0,2 mV	
-70	0,2 mV	
-60	0,3 mV	
-50	190 mV	0,08
-40	0,88 V	0,35
-30	2,37	0,95
-20	2,35	0,94
-10	2,28	0,91
0	2,5	1 - relativno
10	2,1	0,84
20	1	0,40
30	0,45 V	0,18
40	43 mV	0,02
50	0,3 mV	
60	0,2 mV	
70	0,2 mV	
80		
90		
100		

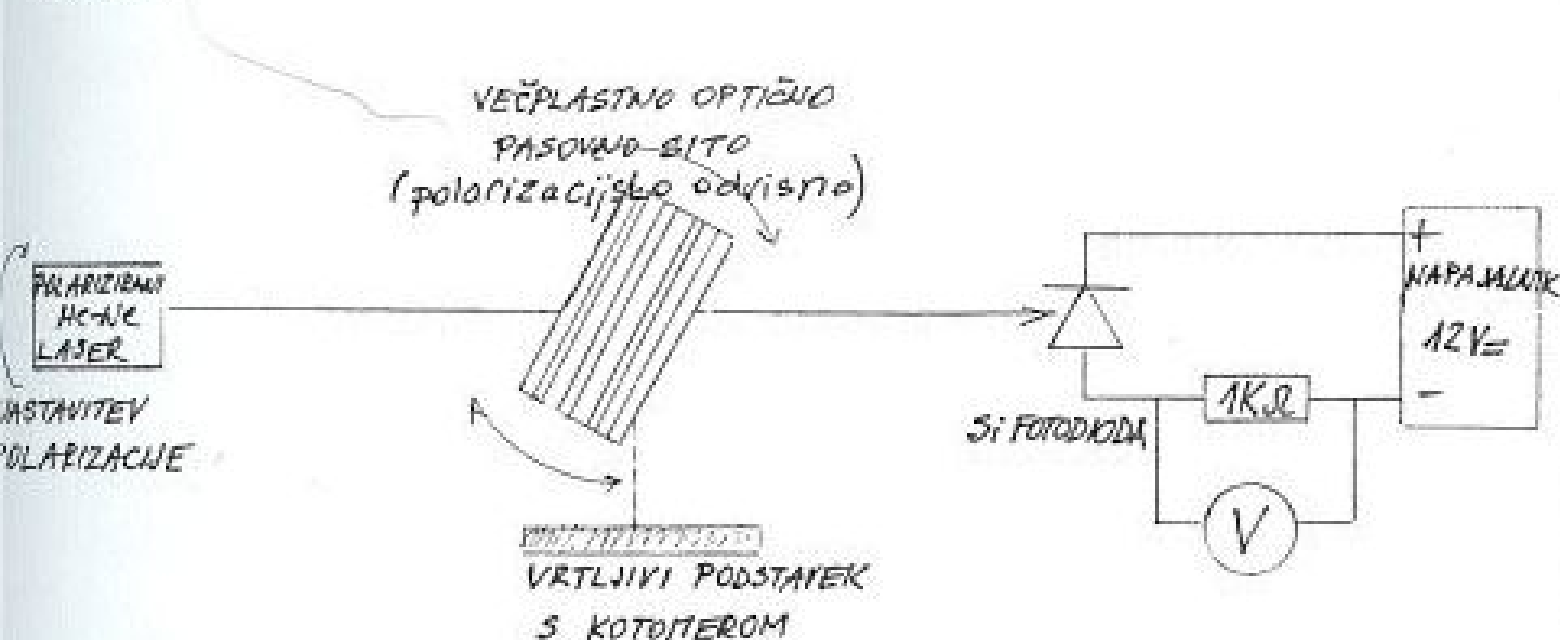
Prečni premik pri $L_{vz}=200 \mu\text{m}$		
$L_{pr}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Izhodna napetost [ $\mu\text{V}$ ]	
-100		
-90		
-80		
-70	1 mV	
-60	18 mV	
-50	65 mV	0,03
-40	0,2 V	0,08
-30	0,5	0,20
-20	0,77	0,31
-10	1,34	0,54
0	1,35	0,54
10	1,22	0,49
20	0,77	0,31
30	0,35	0,14
40	0,13 V	0,05
50	40 mV	0,02
60	3 mV	
70		
80		
90		
100		

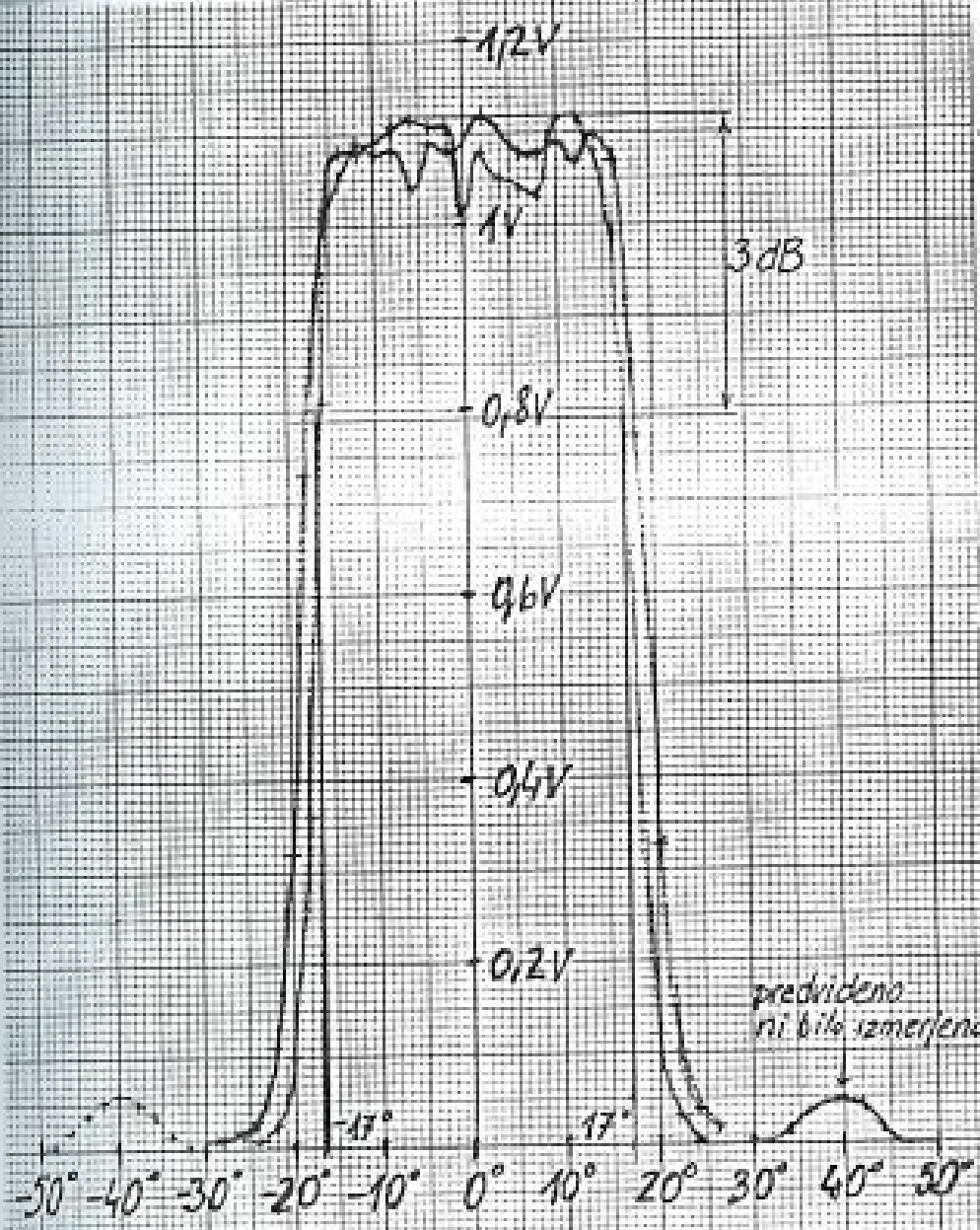


# VAJA 7: VEČSLOJNO OPTIČNO FREKVENČNO PASOVNO SITO

Potek vaje: Na že postavljeni vaji sva opazovanje frekvenčnega področja večslojnega optičnega sita pričela z izvorom bele svetlobe - žarnica z nitko. Na zaslonu se je s premikanjem sita, barva iz rdeče pri pravokotnem vpadu svetlobe, spremenila v rumeno in nato modrozeleno. Pri naslednjemu viru He-Ne laserju z rdečo svetlobo sva spreminjala kot sita in preko padca napetosti na uporu sledila spremembam jakosti optičnega signala na fotodiodi. Meritev sva izvedla pri horizontalni in vertikalni polarizaciji, ki ju dosežemo z obračanjem laserja. Iz grafa sva pri padcu napetosti za 3dB odčitala pasovno širino v stopinjah in izračunala pas valovnih dolžin, ki jih sito prepušča pri pravokotnem vpadu svetlobe.

Shema:





\* Tabela z rezultati v prilogi 1

Pogoj za rezonanca:

$$f_1 + f_2 + 2 \frac{n_1}{n_0} \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot d \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0} = 2\pi m$$

Pri pravokotnem vstopu žarka -  $\theta_0 = 0^\circ$

$$\sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\sqrt{1 - \frac{1}{(1.5)^2} \cdot 0}}{632,8 \cdot 10^{-9}} = 1,58 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$$

Horizontalna polarizacija

$$\theta_H = 18^\circ$$

$$\lambda_H = \frac{\sqrt{1 - \frac{1}{(1.5)^2} \cdot \sin^2 18^\circ}}{1,58 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}}$$

$$\lambda_H = 587,7 \text{ nm} \div 674,8 \text{ nm}$$

Vertikalna polarizacija

$$\theta_V = 17^\circ$$

$$\lambda_V = 590,2 \text{ nm} \div 672,6 \text{ nm}$$

Ugotovitve:

Vidna potrditev spreminjanja frekvence oz. valovne dolžine svetlobe pri spreminjanju kota optičnega sita je dal poskus z žarnico namitko. Z večanjem vpadnega kota se večja frekvenca in manjša valovna dolžina. Frekvenčno področje sita (padec napetosti za 3dB) je razvidno iz grafa. Valovna dolžina rumene svetlobe vpliva na manjšo sprejemno optično moč in napetost na fotodiadi. Z večanjem kota vpada svetlobe narašča polarizacijska odvisnost sita.

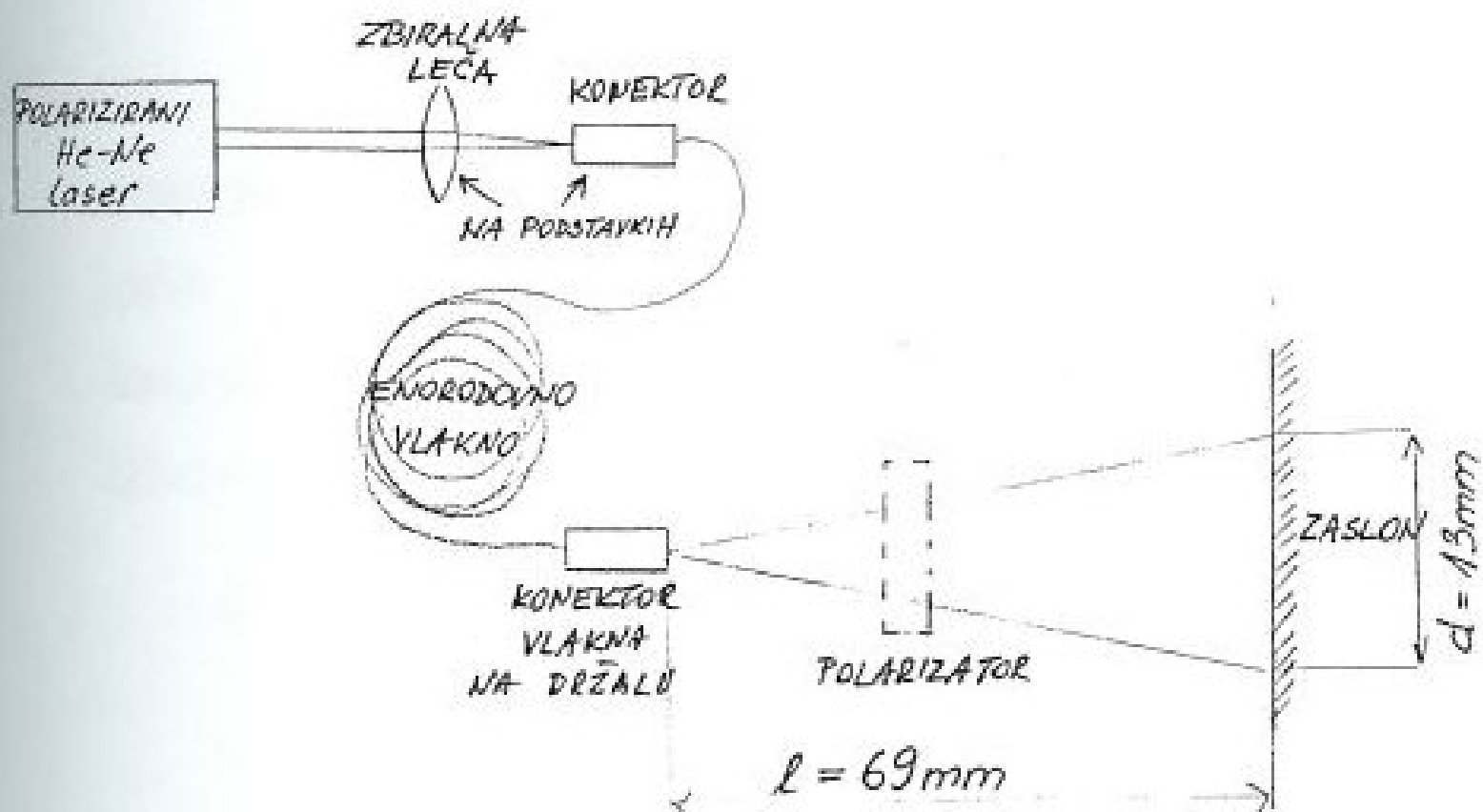
Kot zasuka [°]	Napetost na fotodiodi [V]			
	He-Ne laser RDECI		He-Ne laser RUMENI	
	Horizontalna polarizacija	Vertikalna polarizacija	Horizontalna polarizacija	Vertikalna polarizacija
-50				
-48			1mV	
-46			21mV	
-44			38mV	
-42			52mV	
-40			58mV	
-38			53mV	
-36			42mV	
-34			16mV	
-32			0,5mV	
-30	0,51mV			
-28	10,2mV			
-26	18mV	0,02mV		
-24	33mV	1mV		
-22	0,11V	25mV		
-20	0,32	0,1V		
-18	0,73	0,36		
-16	1,01	0,808		
-14	1,06	1,08		
-12	1,09	1,08		
-10	1,08	1,09		
-8	1,08	1,1		
-6	1,04	1,115		
-4	1,09	1,1		
-2	1,08	1,1		
0	1	1,01		
2	1,12	1,08		
4	1,04	1,05		
6	1,08	1,04		
8	1,08	1,03		
10	1,09	1,14		
12	1,07	1,12		
14	1,1	1,08		
16	1,07	0,98		
18	0,77	0,45		
20	0,33	0,12		
22	0,1V	0,03V		
24	37mV	1,2mV		
26	20mV	0,5mV		
28				
30				
32				
34				
36				
38				
40				
42				
44				
46				
48				
50				

-ni bila  
} izmerjena  
-drugi val

Priloga 1. vaja 7: Rezultati meritev napetosti na fotodiodi

## VAJA 8 : POJAVI V ENORODOVNEM OPTIČNEM VLAKNU

Potek vaje: Žarek He-Ne laserja sva preko zbiralne leče in s pomočjo mikrometrskih vijakov podstavka vlakna poskušala čimbolje sklopiti v vlakno. Izhodno svetlobo iz konca vlakna sva usmerila na zaslon in opazovala razširjanje rodov v vlaknu z in brez vmesnega polarizatorja. Za izračun NA sva izmerila velikost slike na zaslonu in oddaljenost konektorja od zaslona. Na koncu sva izračunala še normirano frekvenco  $V$  in iz grafa odčitala št. rodov, ter si pod mikroskopom ogledala konektor optičnega vlakna.



slike na zaslonu



izračuni:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{2 \cdot \lambda} = \frac{0,65}{6,9} = 0,0942$$

$$\alpha = 5,38^\circ$$

$$NA = \sin \alpha = 0,0937$$

$$V = k_0 \cdot a \cdot NA$$
$$= \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot NA$$

$d$  - debelina jedra  
vlakna =  $9 \mu\text{m}$   
 $d = 2a$

$$V = \frac{2\pi \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,0937}{632,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4,19$$

iz diagrama  $m = 6$

Izgotovitve: Valovna dolžina He-Ne laserja omogoča v enorodovnem vlaknu razširjanje več rodov, na katere vpliva tudi premikanje vlakna. Slike na zaslonu je težko izmeriti zato je vrednost  $NA$  in  $V$  le približna.

Valovna dolžina pri kateri se bi širil le osnovni rod:

$$\lambda_0 = \frac{2\pi \cdot a \cdot NA}{V_{\max}} \quad ; \quad V_{\max} = 2,405$$

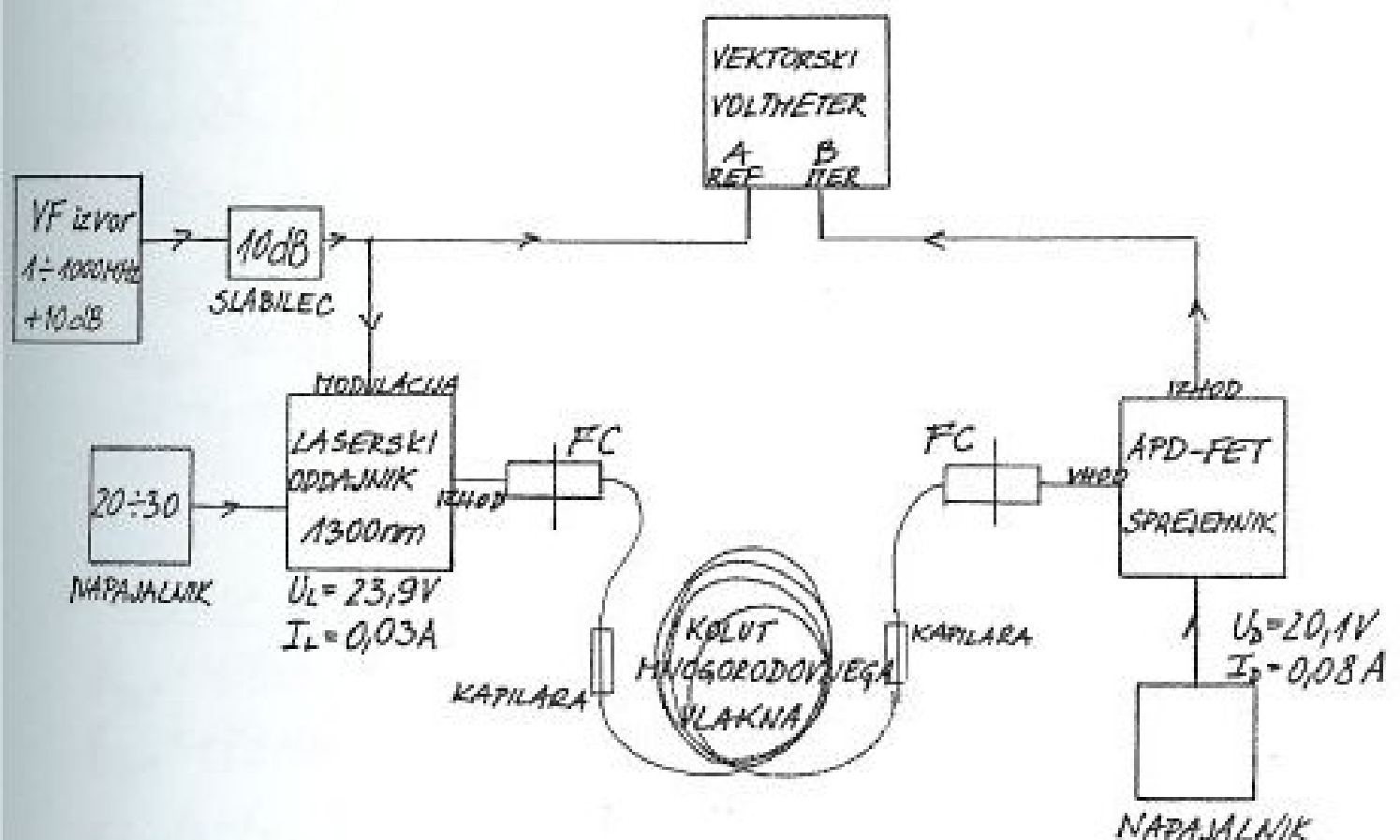
$$\lambda_0 = \frac{2\pi \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0937}{2,405} = 1,1 \mu\text{m} = 1100 \text{ nm}$$



# VAJA 9: FREKVENČNI PAS MNOGORODOVNEGA GRADIENTNEGA VLAKNA

Potek voje: Po shemi iz navodil voje sva se seznanila z uporabljenimi elementi in inštrumenti, izmerila nastavljene vrednosti napetosti in toka laserskega oddajnika in APD-FET sprejemnika in pričela z meritvijo frekvenčnega odziva pri direktni povezavi in nato pri vstavljenemu kolutu. Na koncu sva izračunala dolžino koluta (hitrost svetlobe v vlaknu deljeno z razliko frekvenc pri isti fazi) in koeficient pasovne širine mnogorodovne disperzije.

Shema:



back to back				b-b + koluta				
$a_1$				$a_2$				
f [MHz]	A [dBm]	B [dBm]	B-A [dB]	f [MHz]	A [dBm]	B [dBm]	B-A [dB]	$a_2 - a_1$ [dB]
1	-2	-13	-11	1	-2	-14	-12	-1
10	-1	-12,6	-11,6	10	-1	-13,4	-12,4	-0,8
20	0	-13	-13	20	0	-13,7	-13,7	-0,7
30	1	-12,9	-13,9	30	1	-14	-15	-1,1
40	1,3	-12,8	-14,1	40	1,3	-14	-15,3	-1,2
50	1	-12,8	-13,8	50	1	-14,3	-15,3	-1,5
60	0	-13	-13	60	0	-14,6	-14,6	-1,6
70	-1,4	-13	-11,6	70	-1,4	-15	-13,6	-2
80	-2	-13	-11	80	-2	-15,2	-13,2	-2,2
90	-1,2	-13	-11,8	90	-1,2	-15,5	-14,3	-2,5
100	0	-13	-13	100	0	-15,8	-15,8	-2,8
200	1,9	-11,8	-13,7	200	1,9	-17,4	-19,3	-5,6
300	2,2	-3,6	-5,8	300	2,2	-9,2	-11,4	-5,6
400	0,6	-6	-6,6	400	0,6	-16,3	-16,9	-10,3
500	-3	-16,2	-13,2	500	-3	-28	-25	-11,8
600	-4,6	-23,2	-18,6	600	-4,6	-35	-30,4	-11,8
700	-0,6	-27,4	-26,8	700	-0,6	-41,5	-40,9	-14,1
800	1,9	-30,6	-32,5	800	1,9	-45	-46,9	-14,4
900	3	-32,4	-35,4	900	3	-50	-53	-17,6
1000	0,8	-33,6	-34,4	1000	0,8	-51	-51,8	-17,4

\* dolžina koluta + priključne vrvice

$$f_{1,100^\circ} = 100,4005 \text{ MHz}$$

$$f_{2,100^\circ} = 100,801 \text{ MHz}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 400 \text{ kHz}$$

$$n = 1,5$$

$$l = \frac{c}{\Delta f} \quad ; \quad c = \frac{c_0}{n}$$

$$l_1 = \frac{c_0}{n \cdot \Delta f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,5 \cdot 400,5 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}} = \underline{499,3 \text{ m}}$$

\* dolžina priključnih vrvic

$$f_{1,120^\circ} = 100 \text{ MHz}$$

$$f_{2,120^\circ} = 175 \text{ MHz (drugič ista faza)}$$

$$\frac{\Delta f}{2} = \frac{f_2 - f_1}{2} = 37,5 \text{ MHz}$$

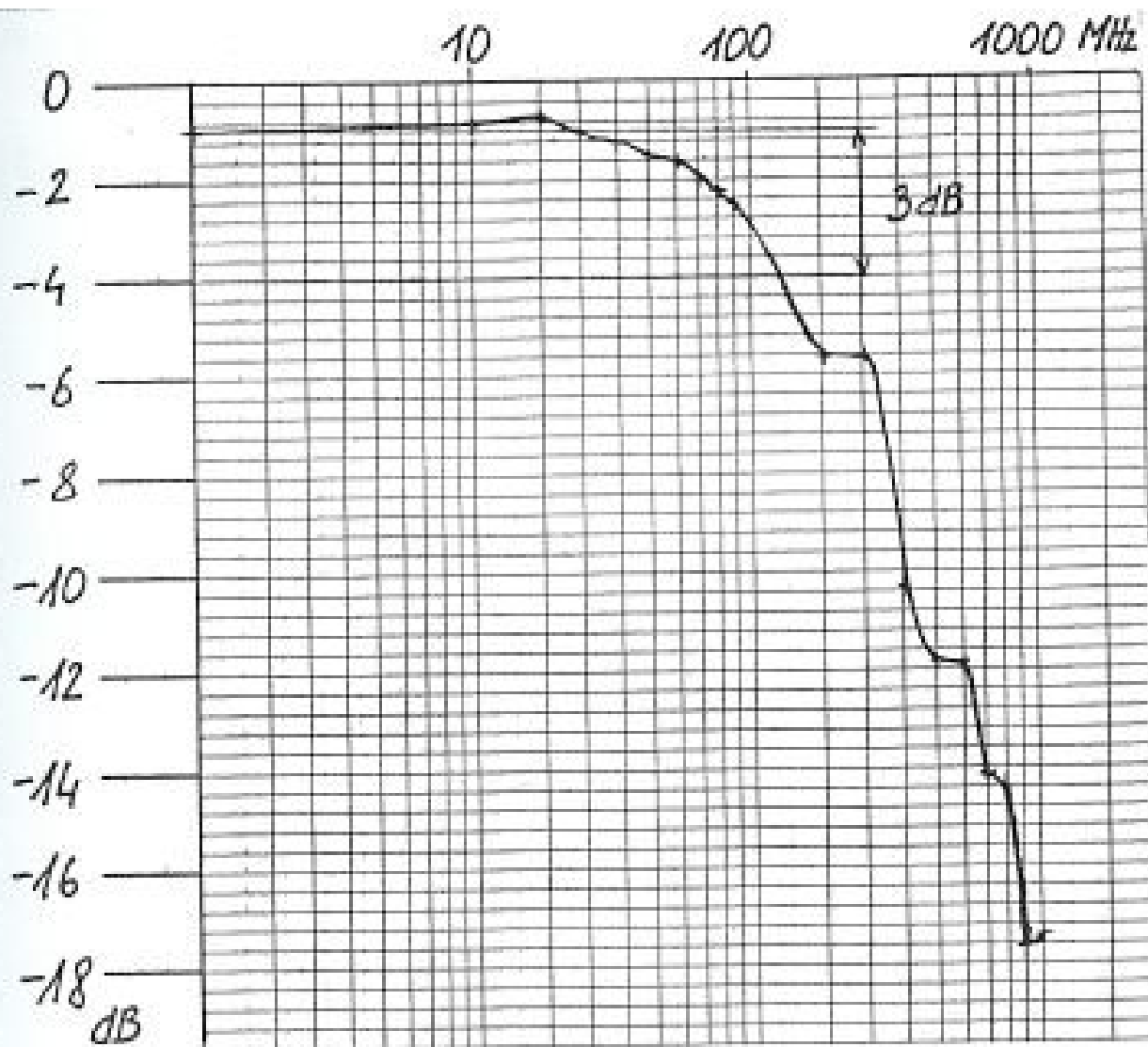
$$n = 1,5$$

$$l_2 = \underline{5,3 \text{ m}}$$

\* dolžina koluta

$$l = l_1 - l_2 = \underline{494 \text{ m}}$$





Izračun koeficienta pasovne širine mnogorodovne disperzije

$$B_m = 130 \text{ MHz}$$

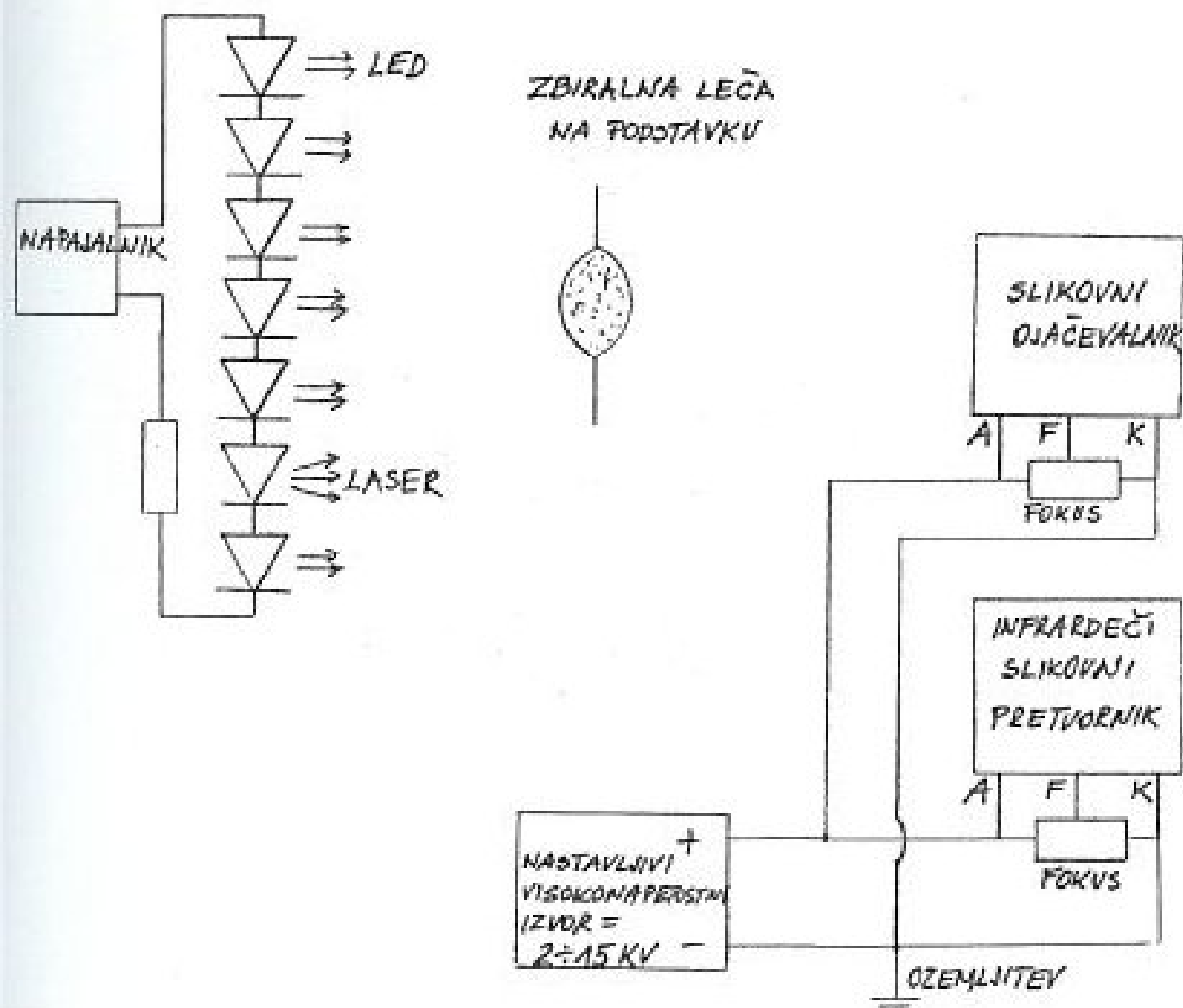
$$l = 494 \text{ m}$$



















$$D = B_m \cdot l = 130 \text{ MHz} \cdot 0,494 \text{ km} \\ = 64,22 \text{ MHz} \cdot \text{km}$$

Ugotovitve: V vaji smo uporabili SI (stopničasti lomni količnik) vlakno 50/125 pri katerem se rodovi valovanja širijo z različnimi hitrostmi, kar omejuje pasovno širino. Boljše lastnosti ima gradientno vlakno (parabolični lomni količnik). V praksi se uporablja do zmogljivosti  $C \sim 140 \text{ Mbit/s}$ .

# VAJA 10: INFRARDEČI SLIKOVNI PRETVORNIK

Potek vaje: Jasnost slike na slikovnem pretvorniku - ojačevalniku, ki jih ustvarijo različni izvori vidni in nevidni očesu, sva nastavljala s premikanjem zbiralne leče in oddaljenostjo izvorov od pretvornika. Slike sva opazovala na treh različnih pretvornikih. Izmerila sva tudi padec napetosti vsakega izvora in izračunala pripadajoče valovne dolžine.



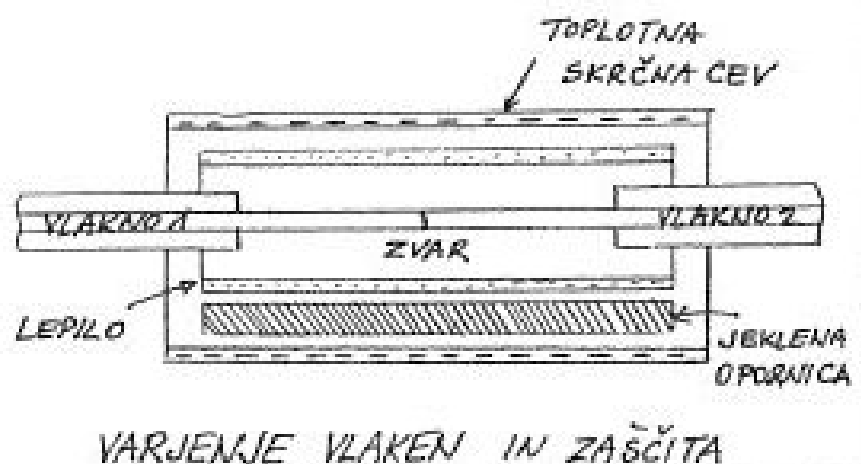
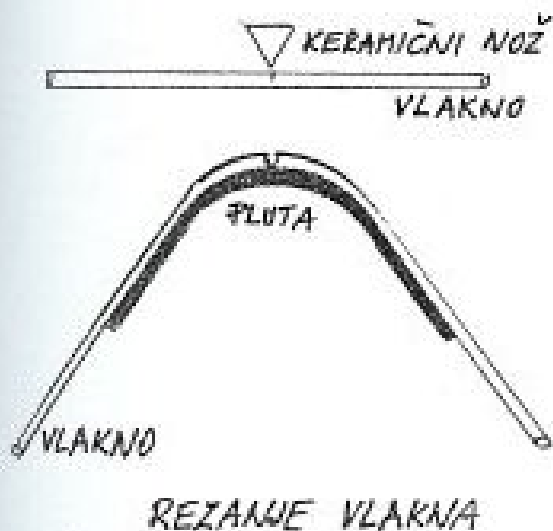
	SIVA 	LASER KOVINSKO ODSIJE 	PROZORNA 	PROZORNA 	TEMNO TODRA 	RUMENA 	RDEČA 
ČLOVEŠKO OKO	NE SVETI	NE SVETI	VIDNA RDEČA	VIDNA ZELENA	NE SVETI	VIDNA RUMENA	VIDNA RDEČA
PRETVORNIK 1							
JAKOST 1-7	2	1	5	6	3	1	4
PRETVORNIK 2	ISTO KOT PRETVORNIK 1						
JAKOST 1-7	ISTO KOT PRETVORNIK 1						
PRETVORNIK 3	/				/	/	
JAKOST 1-7	/	1	2	4	/	/	3
U [V]	1,09	1,4	1,6	1,92	1,1	1,84	1,91
$\lambda$ [nm]	$\approx 1140$	$\approx 890$	$\approx 780$	$\approx 645$	$\approx 1130$	$\approx 670$	$\approx 650$

$$U = \frac{\Delta W}{|Q_{el}|} ; \quad \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta W} , \quad \lambda = \frac{h \cdot c}{U \cdot |Q_{el}|}$$

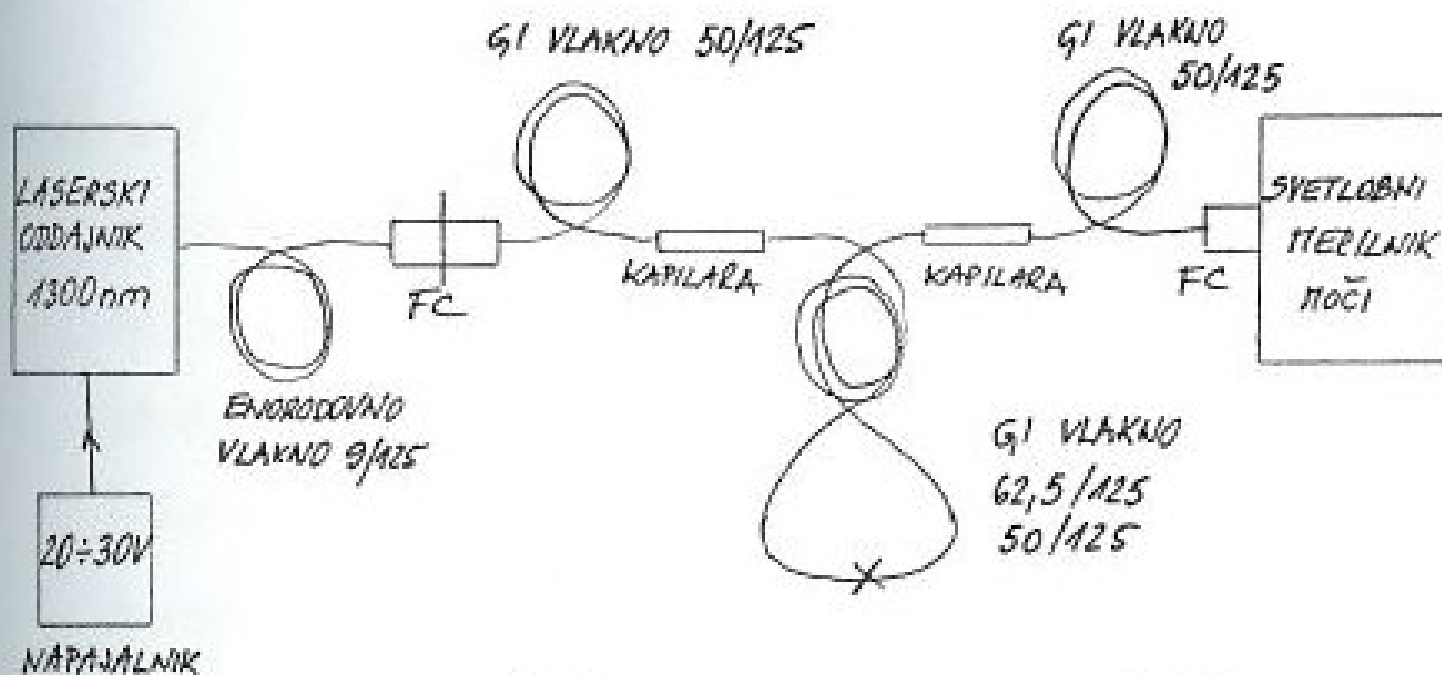
Ugotovitve: Na osnovi rezultatov lahko potrdimo uporabnost infra-rdečih slikovnih pretvornikov pri opazovanju valovnih dolžin, ki jih človeško oko ne zazna. Vsak pretvornik prikazuje določeno območje valovnih dolžin, odvisno od vrste in materiala fotokatode. Približno valovno dolžino pasameznega izvora lahko izračunamo iz padca napetosti, ki pa je odvisna od valovne dolžine fotonov v prepovedanem pasu.

# VAJA 11: REZANJE IN SPAJANJE OPTIČNIH VLAKEN

Potek vaje: Na postavljeni vaji v zaporedju laserski oddajnik, vlakna s kapilarnimi spoji in svetlobni merilnik moči sva prvo izmerila izhodno moč laserskega odd. in izhodno moč iz zaporedja vlaken. Nato sva vlakno zlomila in odrezala predhodno narejeni spoj-zvar. Dobljena konca vlakna sva očistila, s kleščami odstranila zaščitni sloj (250  $\mu\text{m}$ ), s keramičnim nožem naredila zarezo in poskušala z ukrivljanjem plute in vlakna doseči pravokotni lom. (Ne)uspeh sva preverila pod mikroskopom. Po uspešni pripravi sva konca vlakna pod mikroskopom z milimetrskimi vijaki približala in zvarila. Intenziteto varjenja sva nastavila na 45 v času trajanja 3,1 s. Sledila je še meritev slabljenja vlakna z novim zvarom in izračun slabljenja novega zvara glede na predhodnega.



# Shema: Merjenje slabljenja



## Ugotovitve:

\* moč laserskega oddajnika  
-1 dBm

\* slabljenje novega zvara  
glede na predhodni zvar

$$a = -2,42 + 8,8 = \underline{\underline{6,38 \text{ dBm}}}$$

\* izhodna moč zaporedja  
vlaknen s predhodnimi  
zvarom

- 9,8 dBm

\* izhodna moč z  
novim zvarom

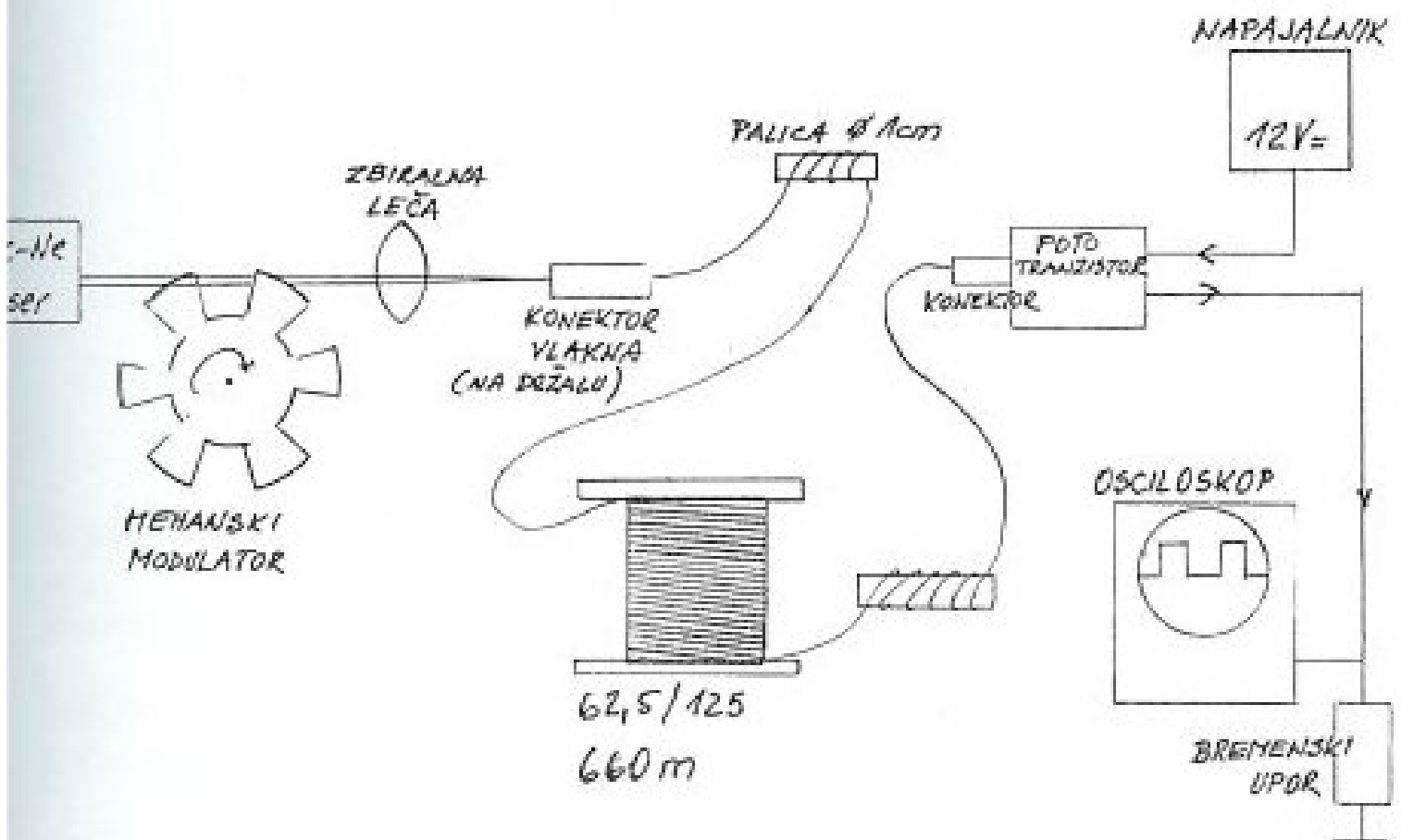
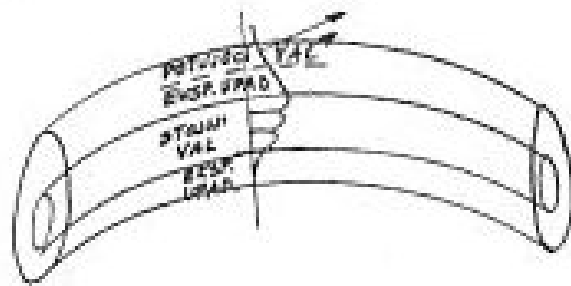
- 3,42 dBm

Kvaliteta zvara je v glavnem odvisna od priprave vlakna. Rezultat slabljenja zvara je včasih možno popraviti z dodatnim impulzom varilnega toka.

Spajamo lahko vlakna če velja  $d_1 \leq d_2$  in  $NA_1 \leq NA_2$ .

# VAJA 12: KRIVINSKO SLABLJENJE V MNOGORODOVNEM VLAKNU

Potek vaje: Fokusirani iz leče sva usmerila na jedro vlakna, pomerila enosmerni vpliv luči v prostoru in vključila mehanski modulator. Pojav tuneliranja na krivinah sva ob ovijanju vlakna okoli palčke ( $\varnothing 1\text{cm}$ ) pred in za kolutom merila na izhodu fototranzistorja. Ker smo uporabili He-Ne laser je pojav uhajanja svetlobe na krivinah in spojih lepo viden s prostim očesom.



SLABLJENJE NA KRIVNAH PRED KOLUTOM

SLABLJENJE ZA KOLUTOM

OVOJST	SLABLJENJE NA KRIVNAH PRED KOLUTOM			SLABLJENJE ZA KOLUTOM		
	U[mV] a[dB]	U[mV] b[dB]	U[mV] a[dB]	U[mV] a[dB]	U[mV] a[dB]	U[mV] a[dB]
0	45 -26,9	49 -26,2	90 -20,9	50 -26	45 -26,9	95 -20,4
2	38 -28,4	45 -26,9	82 -21,7	36,3 -28,8	35 -29,1	70 -23,1
4	37 -28,6	43 -27,3	80 -21,9	32 -29,9	32 -29,9	70 -23,1
6	35 -29,1	40 -27,9	79 -22	31 -30,2	30 -30,5	65 -23,7
8	34 -29,4	35 -29,1	75 -22,5	29 -30,7	28,5 -30,9	60 -24,4
10	31 -30,2	34 -29,4	80 -21,9	29 -30,7	28 -31,1	61 -24,3
12	34 -29,4	36 -28,9	78 -22,1	29 -30,7	26,5 -31,5	60 -24,4
14	32 -29,9	36 -28,9	74 -22,6	26 -31,7	16,5 -35,6	63 -24
16	33 -29,6	34 -29,4	75 -22,5	30 -30,5	16,5 -35,6	63 -24
18	33 -29,6	36 -28,9	74 -22,6	27,6 -31,2	16 -35,9	61 -24,3
20	36 -28,9			28 -30,9		
22	35 -29,1			28,5 -31,1		
24	36 -28,9			28 -31,1		
26				28 -31,1		
28						
30						

1. meritev    2. meritev    3. meritev    1. meritev    2. meritev    3. meritev



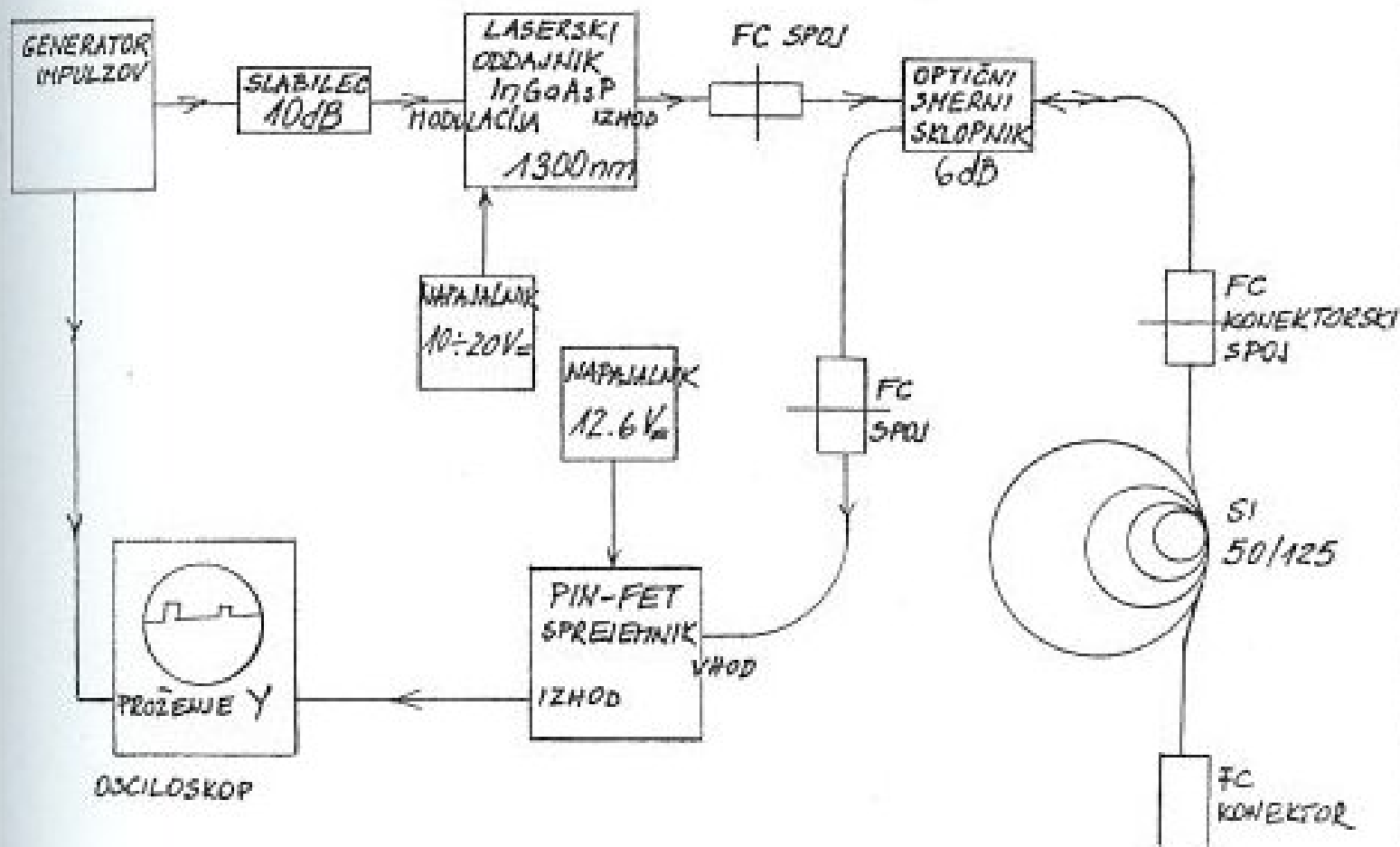
Ovijanje vlakna okoli palčke pred kolutom naj bi prineslo hitrejšo upadanje moči, kot ovijanje za kolutom. Meritev je bilo težko izvesti saj se je vrednost na merilniku vseskozi spreminjala.

Dobljeni rezultati, kljub večkratni ponovitvi meritve niso potrdili pričakovanja. Vzrok je lahko iskati

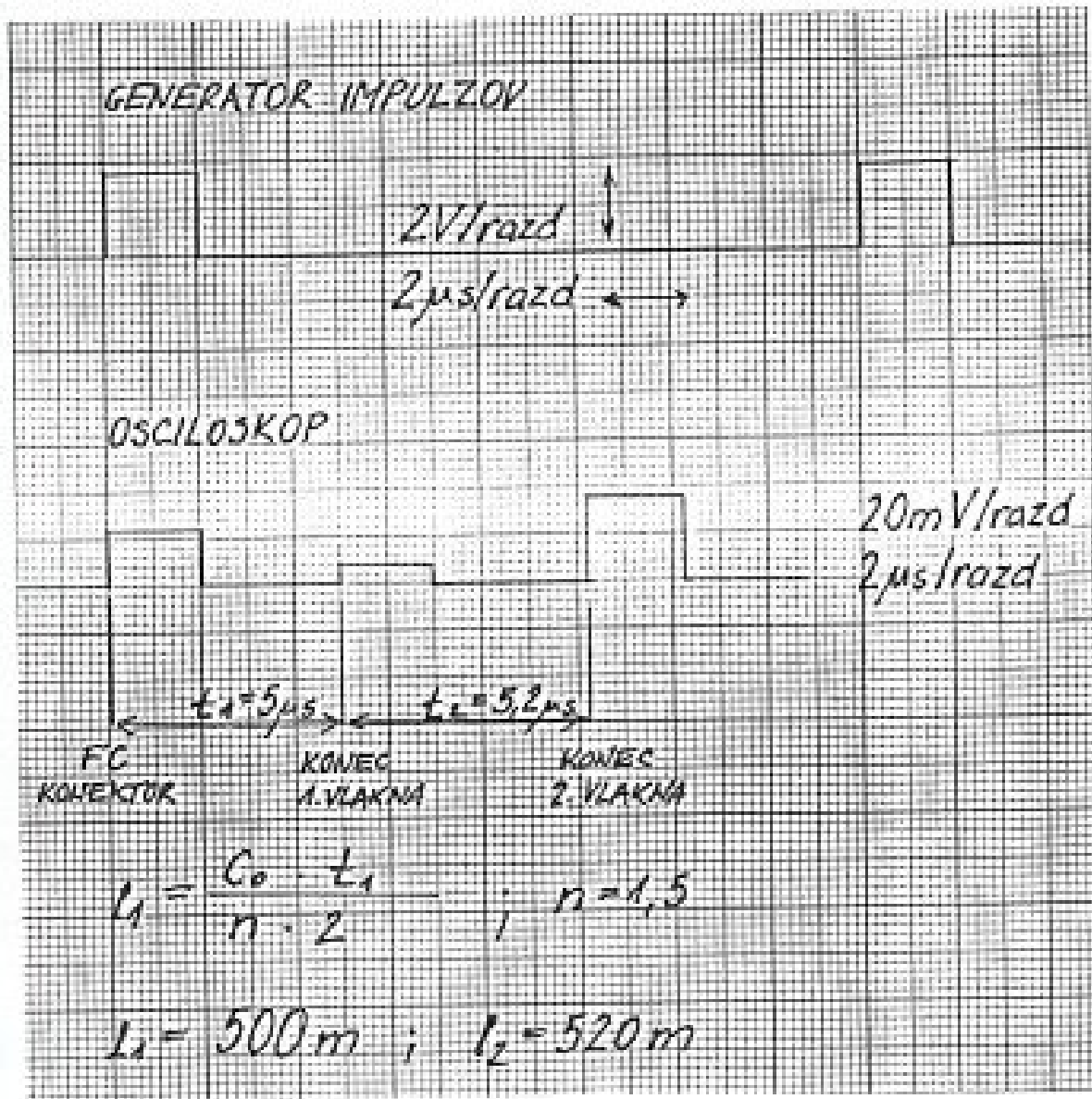
# VAJA 13: OPTIČNI REFLEKTOMETER V ČASOVNEM PROSTORU (OTDR)

Potek voje: Po vklopu oddajnika, sprejemnika in instrumentov sva na generatorju impulzov nastavila ločljivost - resolucijo našega OTDR-a, izmerila čas med odboji in izračunala dolžino merjenih vlaken.

Shema:







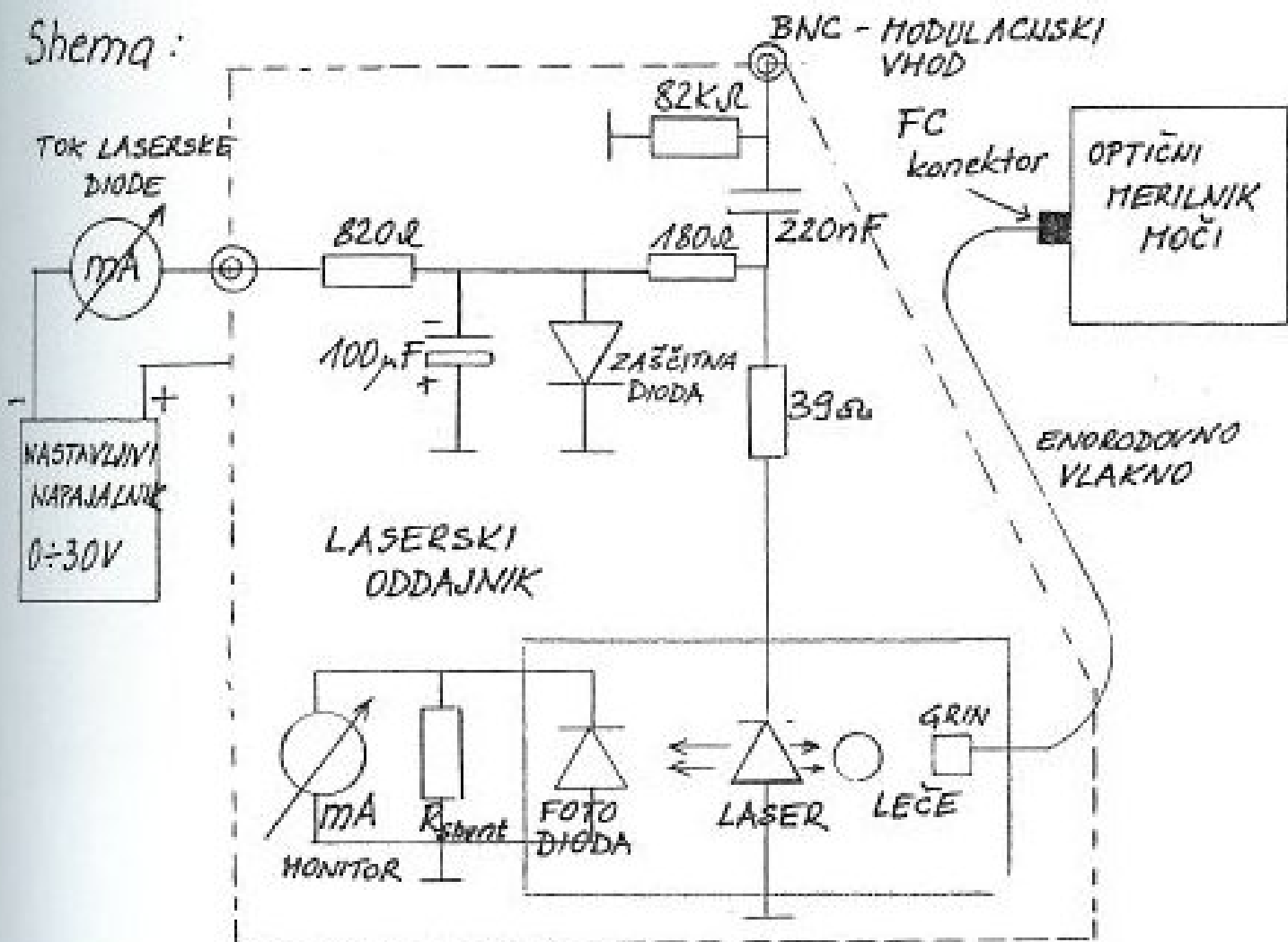
gotovitve: Za reflektometer smo uporabili InGaAsP laser z majhno izhodno močjo tako, da smo lahko opazovali le odboje na konektorjih in koncu vlakna. Z merjenjem Rayleigh-ovega sipanja dobimo podatek o slabljenju vlakna.

Notančnost mesta odboja in domet določa dolžina uporabljenega impulza. V našem primeru pri resoluciji 2μs zaznamo odboja, ki sta med seboj oddaljena 200m.

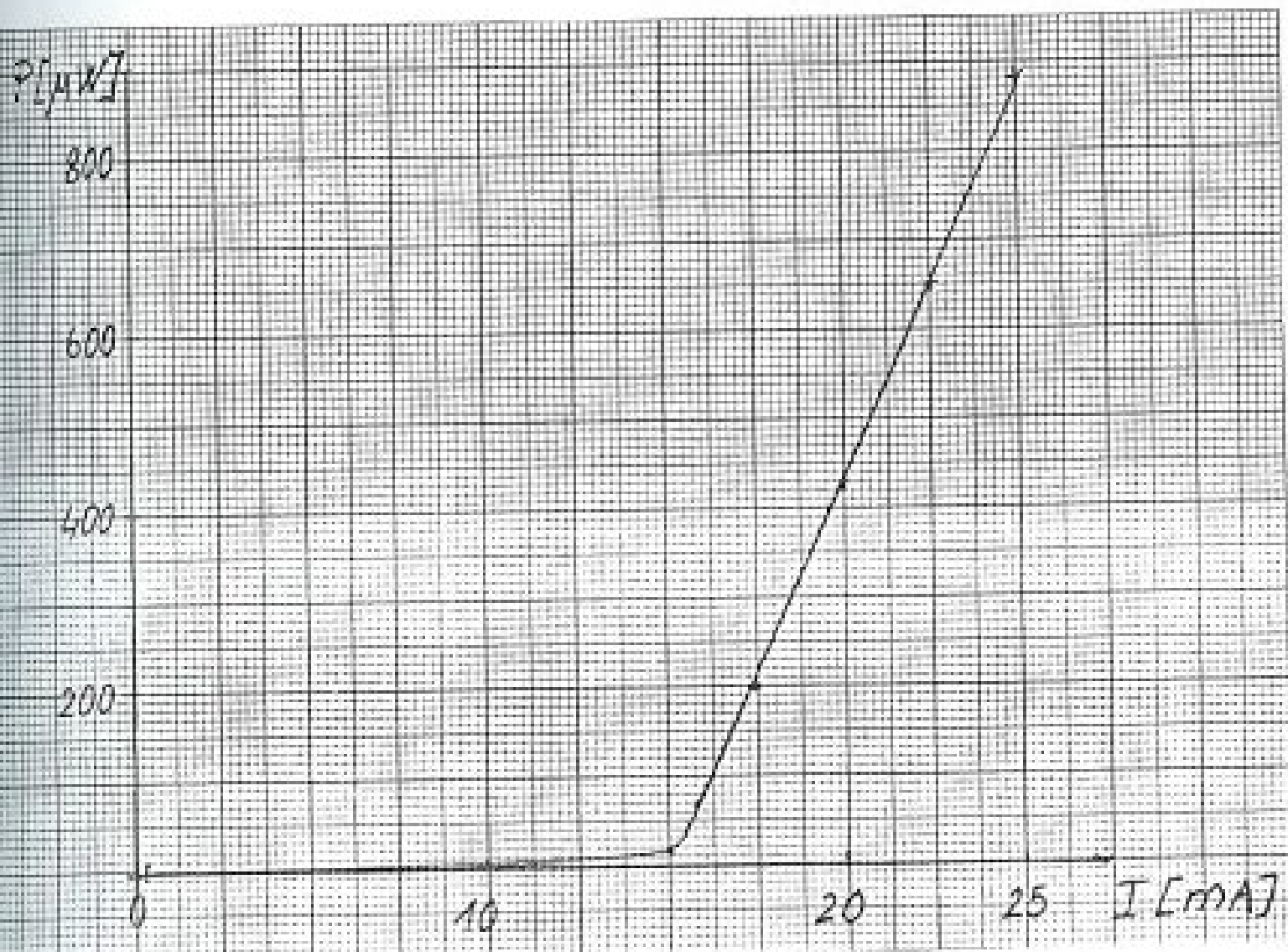
# VAJA 14: MODULACIJSKA KRIVULJA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA

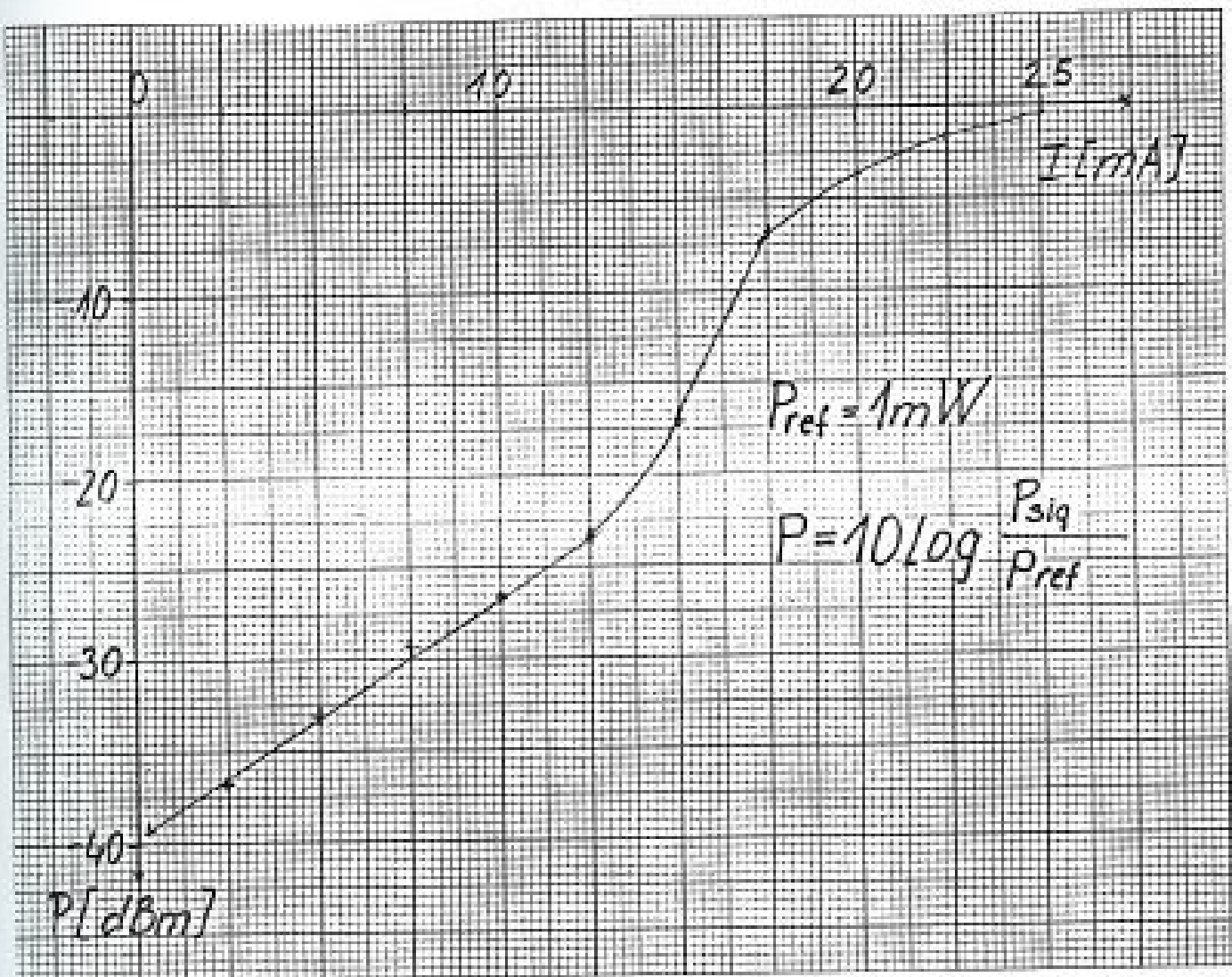
Potek vaje: Po shemi iz navodil za vajo sva si ogledala postavitev elementov. Po vključitvi laserskega oddajnika (InGaAsP) in optičnega merilnika moči (HP 8153A), na katerem sva nastavila valovno dolžino na 1300nm, sva povečevala tok in odčitavala moč (mW) na izhodu oddajnika. Rezultate sva preračunala v dBm in predstavila v linearnem in logaritemskem merilu. Na koncu sva si pod mikroskopom ogledala različne izvedbe polprevodniških laserjev.

Shema:



tok [mA]	P [ $\mu$ W]	P [dBm]
0,3	0,1	-39,3
2,5	0,2	-36,7
5,0	0,5	-33
7,5	1,3	-29,3
10,0	2,1	-26,6
12,5	4,8	-23,3
15,0	14	-17
17,5	205	-6,8
20,0	430	-3,7
22,5	650	-1,85
25,0	886	-0,5
35,0	napajalnik ne doseže vznojja	/

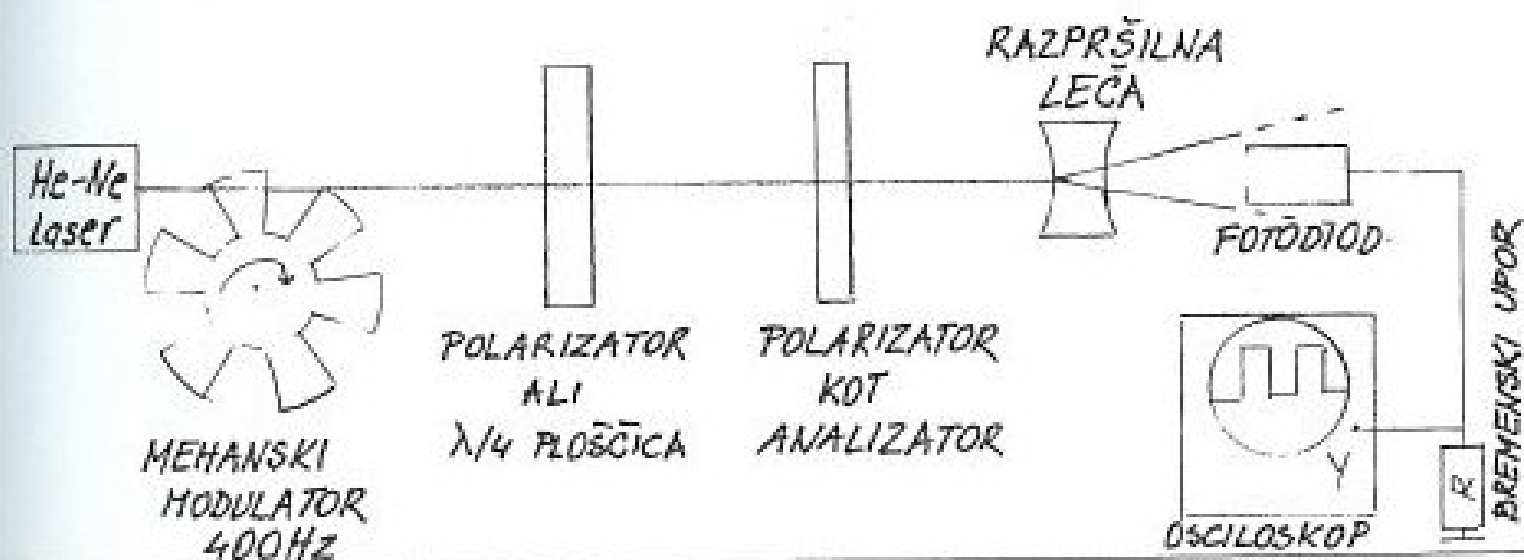




Ugotovitve: Iz diagramov je razviden prag, ko delovanje polprevodniškega laserja preide iz svetleče diode v lasersko nihanje. Od praga naprej je krivulja ravna in strmo naraščajoča, kar kaže na linearnost modulacije izhodne moči laserja. Merjena krivulja ne prikaže preskakovanja med različnimi načini nihanja, ki so posledica amplitudne modulacije in nihanja laserja na več rezonančnih črtah.

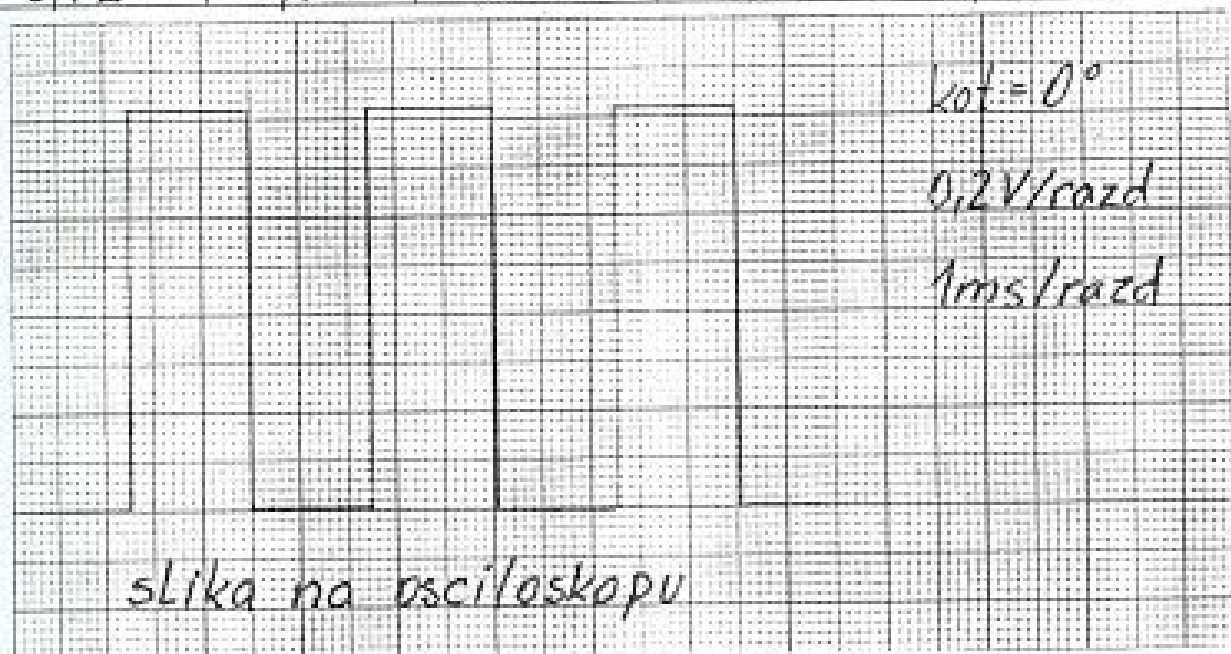
# VAJA 15: MERITVE POLARIZACIJE SVETLOBE

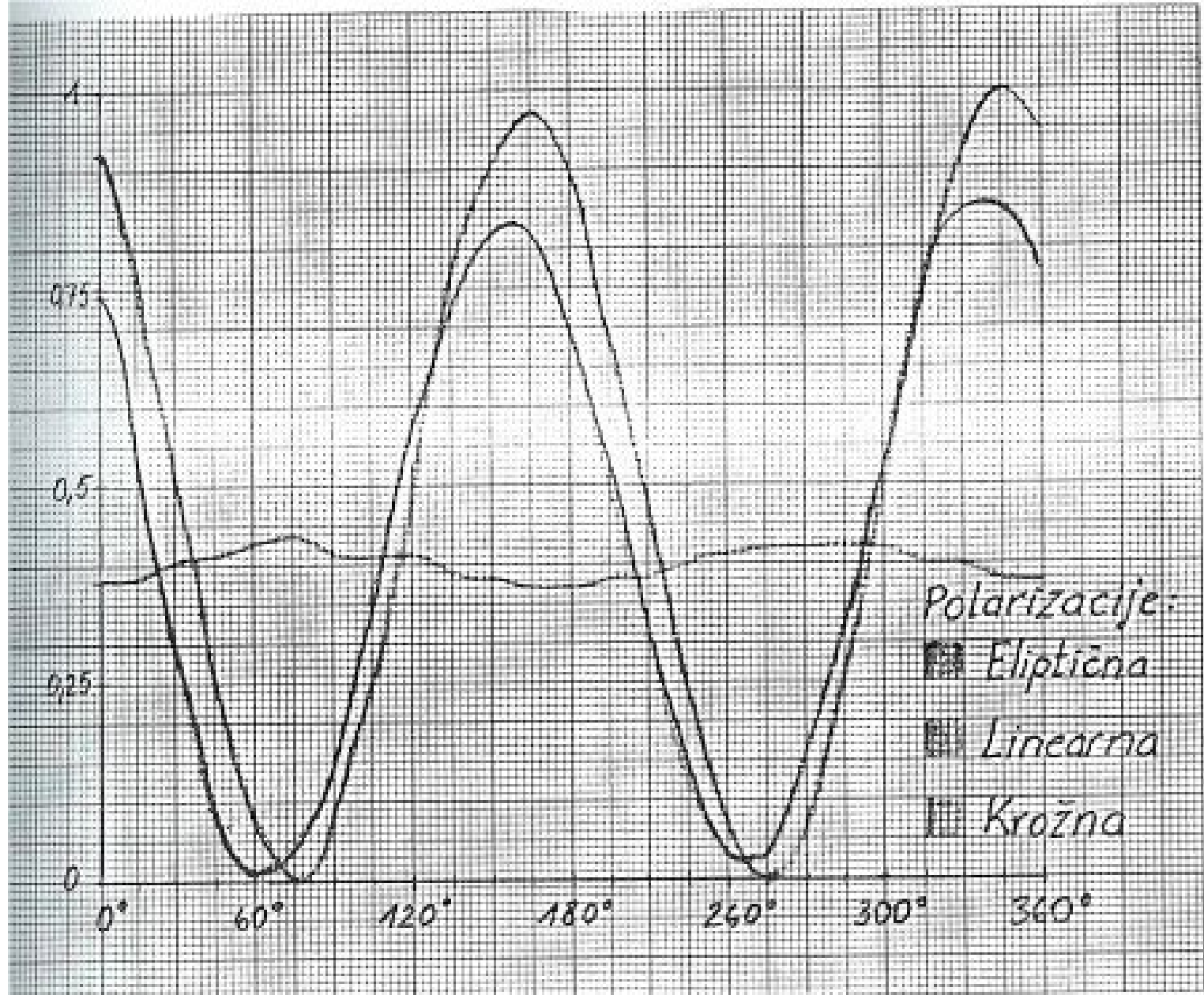
Potek vaje: Med izvor svetlobe He-Ne laser in fotodiodo sva postavila polarizator, spreminjala kot od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  in na osciloskopu odčitovala napetost pravokotnih impulzov s frekvenco 400Hz - linearna polarizacija. Nato sva vstavila dodatni polarizator in ob spreminjanju kotov opazovala min. in max. napetosti na fotodiodi, ki (okoli 0,6V na bremenskem upor) je linearno odvisna od svetlobne moči. Za meritev krožne polarizacije sva na mesto prvega polarizatorja postavila  $\lambda/4$  ploščico in zasukala kot tako ( $302^\circ$ ), da se je vrednost izh. napetosti ob spreminjanju kota na polarizatorju (2) čimmanj spreminjala. Z nastavitvijo  $\lambda/4$  ploščice na poljuben kot ( $83^\circ$ ) sva izvedla meritev eliptične polariz.



## VAJA 15. – Meritve polarizacije svetlobe

Kot	[V]	relativno	[V]	relativno	[V]	relativno
	Linearna polarizacija		Krožna polarizacija		Elipsna polarizacija	
0°	3,6raz × 0,2V	0,92	3raz × 0,1V	0,38	2,9raz × 0,2V	0,74
15°	0,6	0,77	0,3	0,38	0,42	0,54
30°	0,4	0,51	0,31	0,4	0,24	0,31
45°	0,2	0,26	0,32	0,41	0,065	0,08
60°	0,06	0,08	0,33	0,42	0,01	0,01
75°	0	0	0,34	0,44	0,045	0,06
90°	0,06	0,08	0,32	0,41	0,1	0,13
105°	0,2	0,26	0,32	0,41	0,27	0,35
120°	0,4	0,51	0,32	0,41	0,44	0,56
135°	0,6	0,77	0,3	0,38	0,56	0,72
150°	0,72	0,92	0,3	0,38	0,64	0,82
165°	0,76	0,97	0,29	0,37	0,64	0,82
180°	0,7	0,9	0,29	0,37	0,56	0,72
195°	0,54	0,69	0,3	0,38	0,4	0,51
210°	0,36	0,46	0,3	0,38	0,24	0,31
225°	0,18	0,23	0,31	0,4	0,1	0,13
240°	0,05	0,06	0,32	0,41	0,02	0,03
255°	0	0	0,33	0,42	0,025	0,03
270°	0,05	0,07	0,33	0,42	0,115	0,15
285°	0,21	0,27	0,33	0,42	0,26	0,33
300°	0,31	0,49	0,33	0,42	0,44	0,56
315°	0,6	0,77	0,31	0,4	0,58	0,74
330°	0,72	0,92	0,31	0,4	0,66	0,85
345°	0,78	1	0,3	0,38	0,66	0,85
360°	0,72	0,92	0,3	0,38	0,6	0,77





Ugotovitve: Pri uporabi dveh polarizatorjev na polarizacijo vpliva le prvi polarizator.

Krožna polarizacija, ko je ploščica  $\lambda/4$  zasukana za kot  $\pi/4$  od ničelne vrednosti (napetost na fotodiodi) linearne polarizacije, bi bila vidna tudi pri kotih  $210^\circ$ ,  $120^\circ$  in  $30^\circ$ .

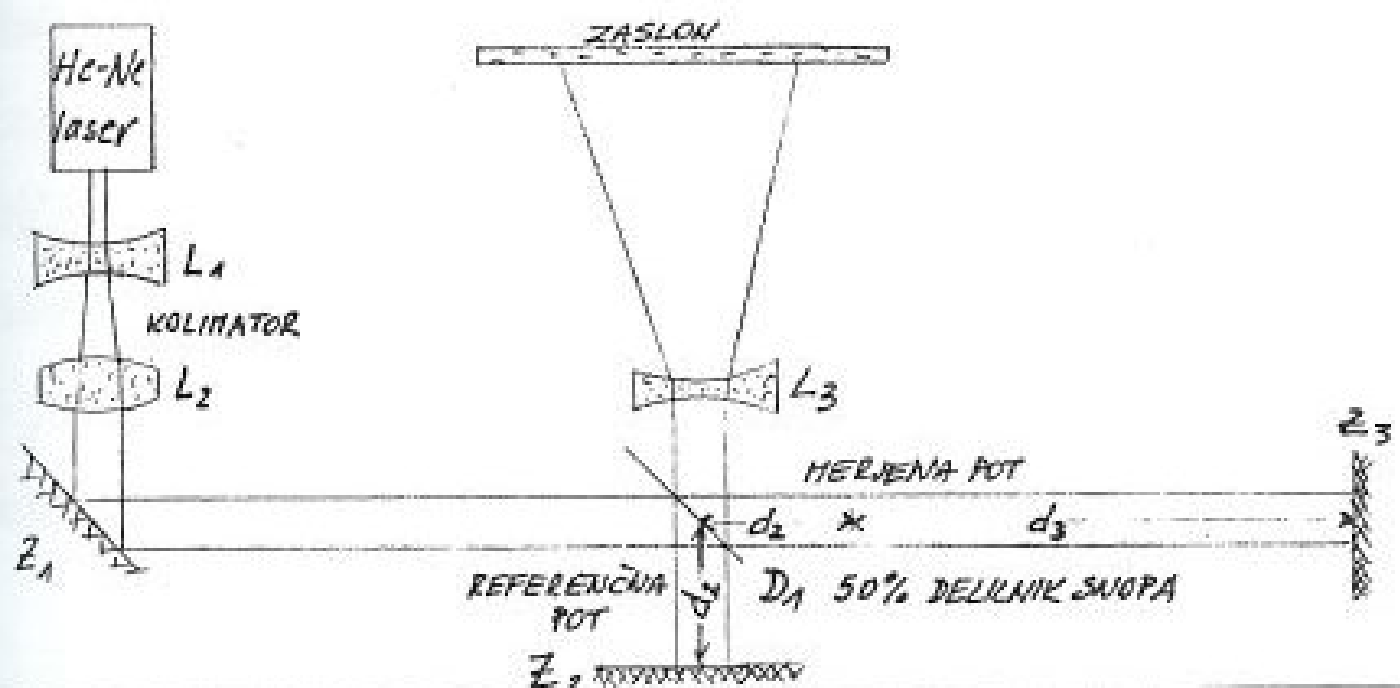
Lepše vidno razliko min. in max. napetosti na fotodiodi med linearno in eliptično polarizacijo bi videli pri večjem zasuku kota na  $\lambda/4$  ploščici.

# VAJA 16: MERJENJE KOHERENČNE DOLŽINE Z INTERFEROMETROM

Potek vaje: Vajo sva pričela z izvorom - He-Ne laser.

Laserski žarek sva usmerila na kolimator, ki z razpršilno lečo žarek razdruži in z zbiralno lečo ustvari dva vzporedna žarka (snop). Pri pravilni nastavitvi leč kolimatorja se presek snopa z oddaljenostjo ne spreminja. Prvo sva izmerila razdaljo med delilnikom snopa in referenčnim zrcalom  $d_2 = 13,5$  cm, ter na enako razdaljo od delilnika postavila premično zrcalo.

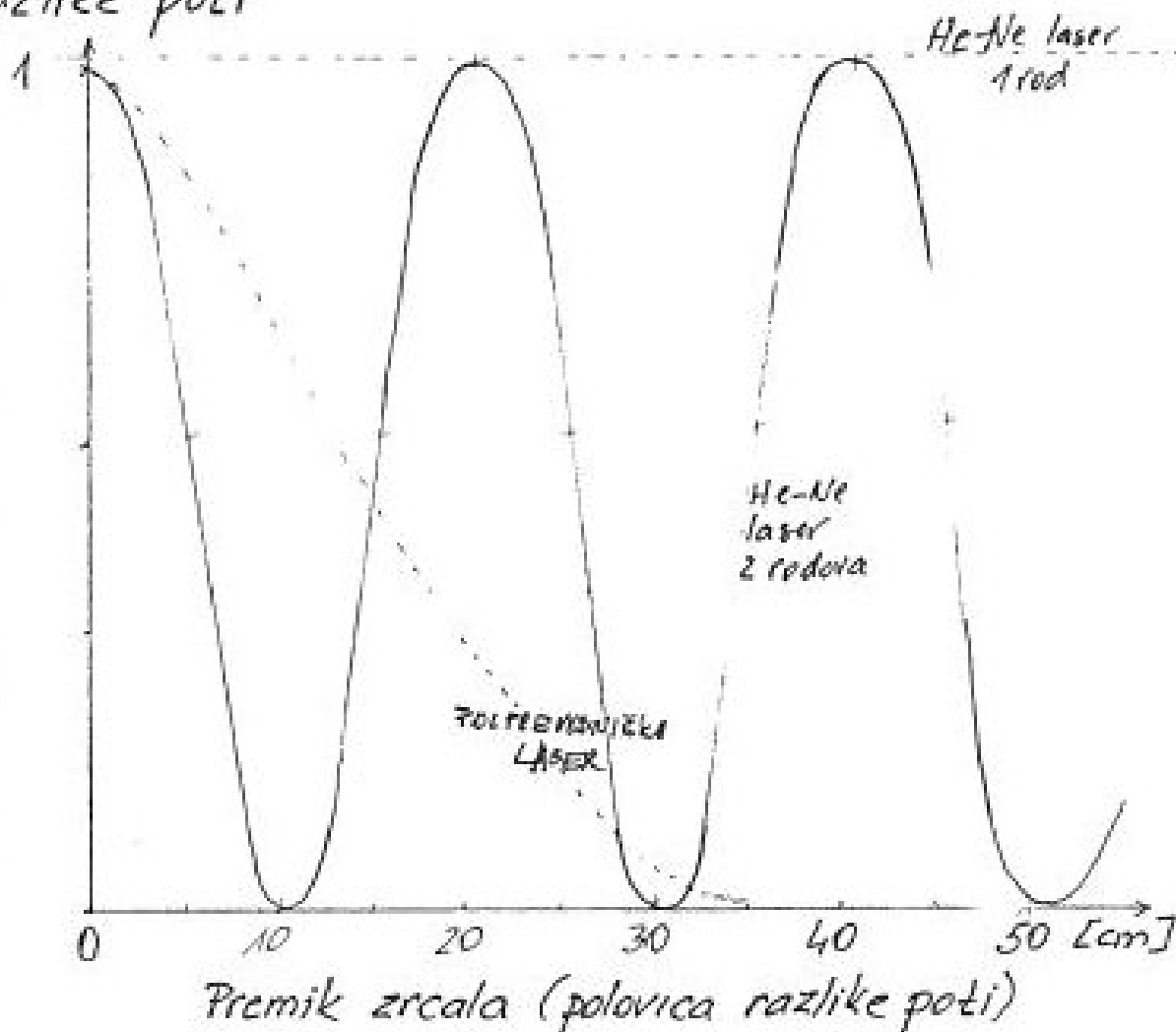
Z nastavljanjem zrcal in delilnika sva poskušala na zaslon dobiti interferenčni vzorec. Z odmikanjem premičnega zrcala sva opazovala vidnost interferenčnih prag, dobljene rezultate pa vrisala v graf. Enak postopek sva pričela tudi pri polprevodniškem laserju, a se je zataknilo že na samem začetku, ko nikakor nisva uspela dobiti interferenčni vzorec.





## $d_3$ - polovica razlike poti

$d_3$ [cm]	vidnost interferenčnega pojavi
0	močna
5	dobra
10	nejasna
15	dobra
20	močna
25	dobra
30	nejasna
35	dobra
40	močna
45	dobra
50	nejasna



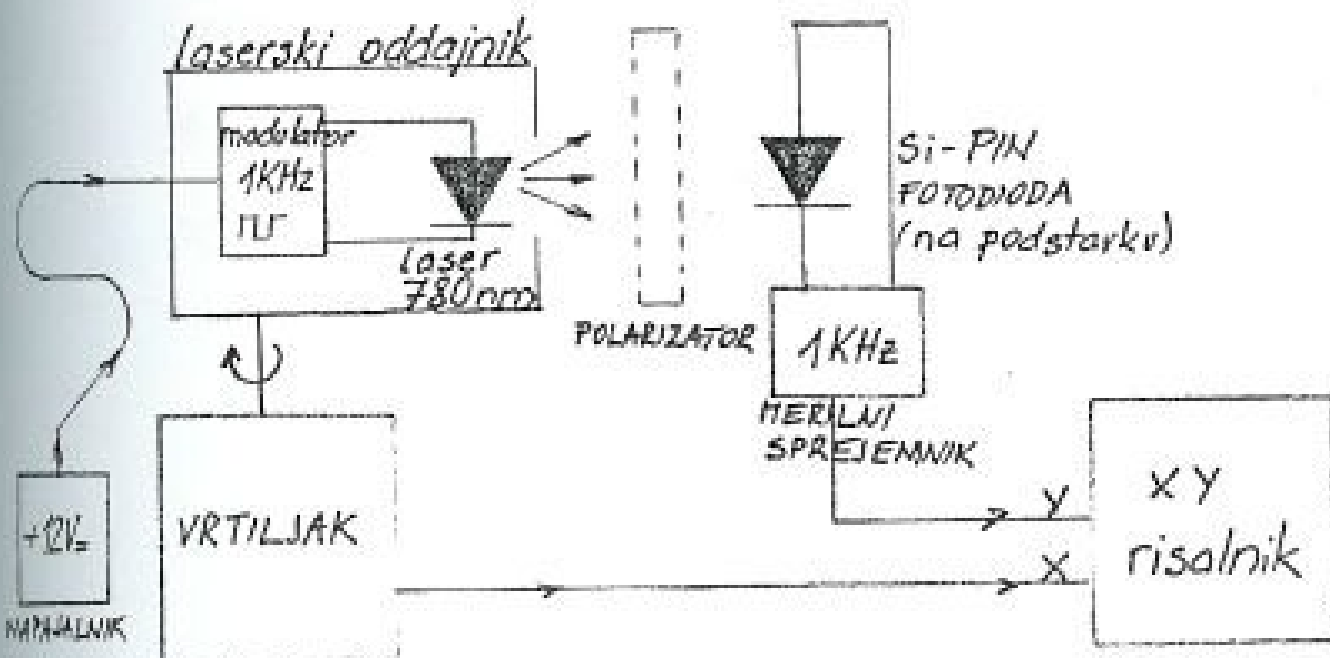
Ugotovitve: Vaja zahteva veliko natančnosti pri nastavljanju interferometra. Približna dolžina rezonatorja He-Ne laserja je 20 cm in je sorazmerna s koherenčno dolžino. Spreminjanje interference, ki se pojavi pri lihem mnogokratniku dolžine rezonatorja, je posledica preskakovanja He-Ne laserja med različnimi rodovi nihanja.

Močna interferenca se pojavi pri celoštevilčnem mnogokratniku dolžine laserskega rezonatorja.

Spekter polprevodniškega laserja (670 nm) je sestavljen iz ene močne črte, ki je vzrok interferenci in več šibkejših črt. Koherenčna dolžina polprevodniškega laserja je manjša, spektralna črta pa širša.

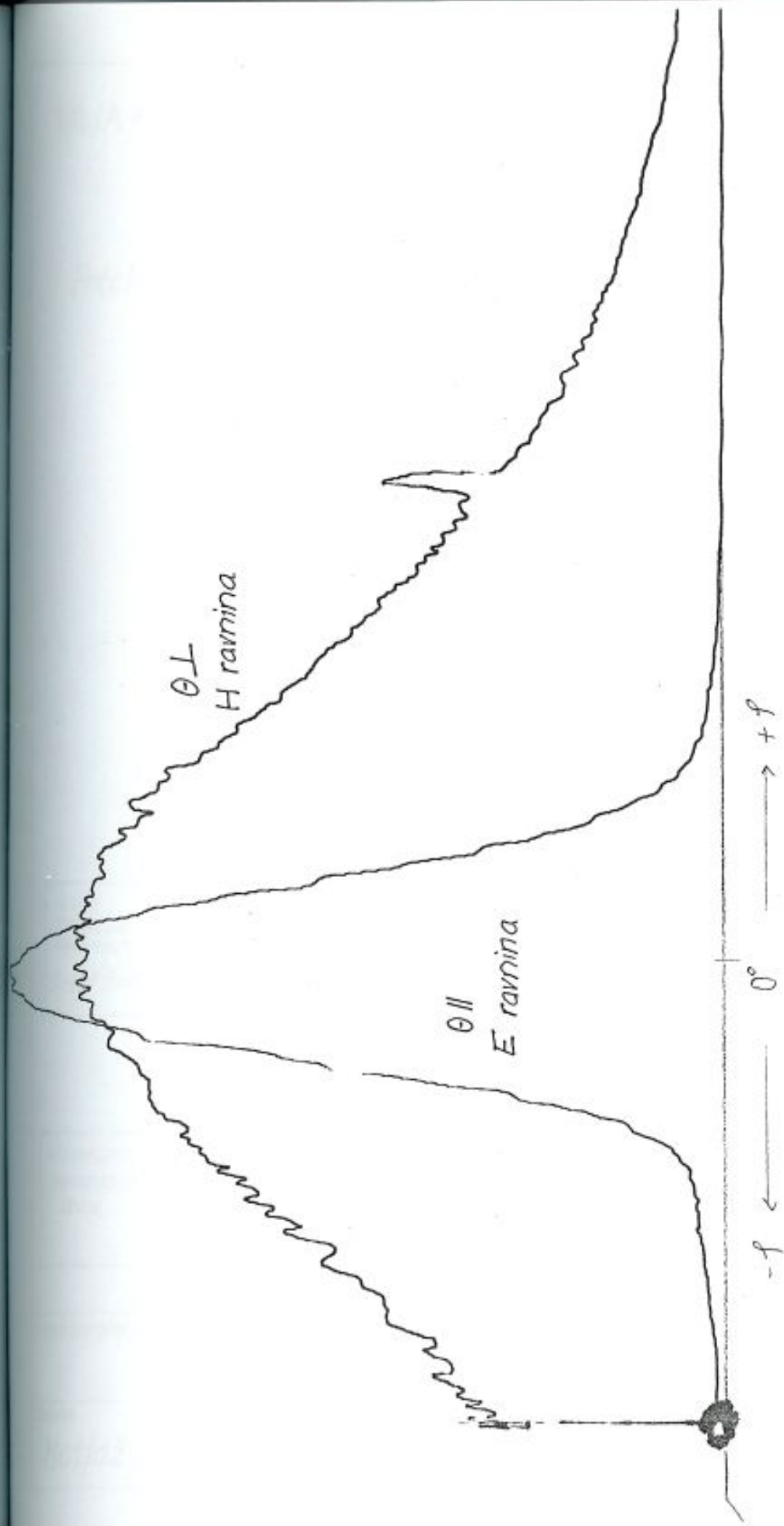
# VAJA 17: SMERNI DIAGRAM SEVANJA POLPREVODNIŠKEGA LASERJA

Potek vaje: Po pritrditvi laserskega oddajnika v en položaj sva nastavila višino in oddaljenost sprejemne diode tako, da je risalnik lahko na A4 papir zabeležil maksimum. Vključilo sva meritev in vrtiljak, ki krmili os X na risalniku se je pričel vrteti v področju  $\pi/2$ , medtem pa je sprejemnik krmilil odklon osi Y. Po izrisu grafo sva obrnila položaj laserskega oddajnika, ... ponovno nastavila sprejemno diodo in ponovila postopek meritve. S pomočjo grafa iz navodil vaje sva določila polarizacijo izmerjenih smernih diagramov.



Rezultati: Priloga 1

Ugotovitve: Smerni diagram v ravnini H je veliko širši, kot pri ravnini E, ki je vzporedna z ravninami plasti čipa. Zaradi prestavljanja sprejemne diode je relativna moč izmerjenih diagramov različna. Na nagrbančenost diagramov vplivajo odboji v notranjosti in okolici laserskega čipa. Pri vseh laserjih sta valovod sam oziroma dovod enosmern. toka načrtovana tako, da laser niha samo na osnovnem prečnem rodu s polarizacijo TE (električno polje vzporedno s sloji polprevodnika). Ojačanje za TM rodove je nižje, zato laser na tej polarizaciji običajno ne niha.

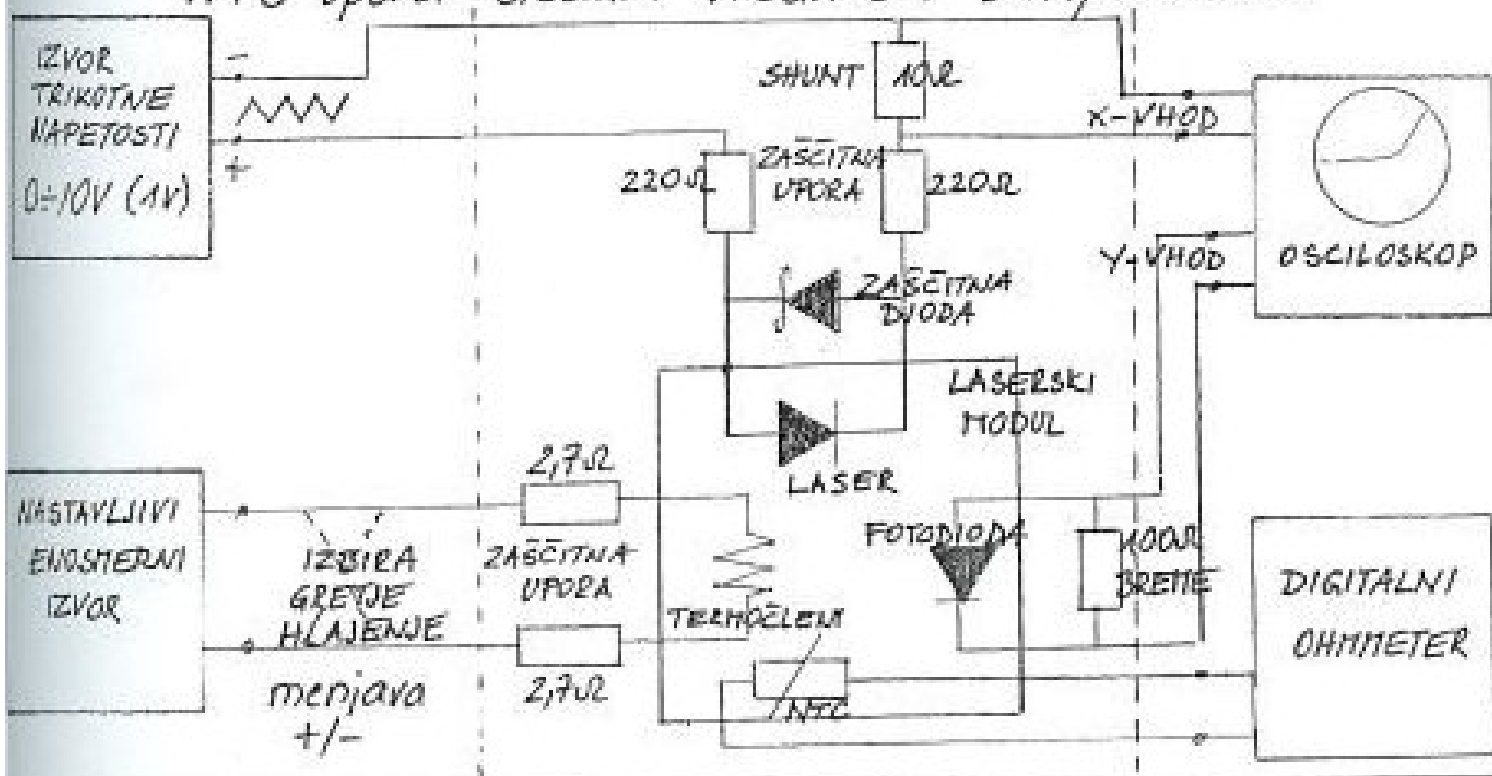


Priloga 1 / vaja 17 : Značilna prereza smernega diagrama sevanja

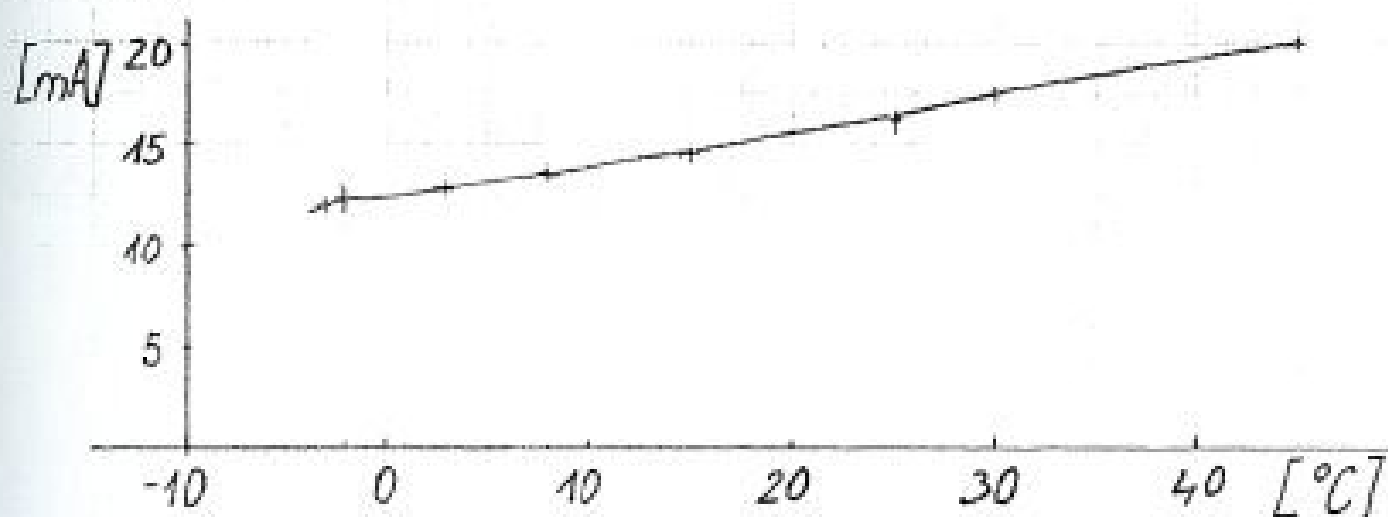
# VAJA 18: TEMPERATURNA ODVISNOST PRAGOVNEGA TOKA LASERJA

Potek vaje: Po napotkih sva za lasersko diodo (1300 nm) na osciloskopu nastavila skalo na 20mV/razd pri  $R_{SHUNT} = 10\Omega$ . Izvor trikotne napetosti je bil že nastavljen in zato na osciloskopu lepo viden prag laserja.

S spreminjanjem napajanja sva segrela oz. ohlajala laserski čip in spremljala vrednosti upora NTC, ki zaznava temp. spremembe Peltier-ove toplotne črpalke. Pri zahtevanih vrednostih sva z osc. odčitala napetost in ga ob upoštevanju  $R_{SHUNT}$  pretvarjala v kolenski tok. Preko grafa sva odčitanim vrednostim NTC upora dodala vrednosti temperature.



Rezultati :



Upornost NTC [kΩ]	Temperatura [°C]	Kolenski tok [mA]
5	45	20
8	30	17,5
10	25	16,2
15	15	14,5
20	8	13,5
25	3	12,7
30	-2	12,2
32	-3	12

Ugotovitve: Ker visoka temperatura škodljivo deluje na elemente laserskega modula, na njihovo življenjsko dobo, pri meritvah nisva presegla temp. +50°C. Visoka temperatura povzroči dvig pragovnega toka in posledično: preveliko optično gostoto moči, uničenje zrcal rezonatorja, spreminjanje dimenzij rezonatorja, spremembo valovne dolžine. Morebitnim težavam se lahko izognemo ob uporabi Peltier-ove toplotne črpalke in termistorja za merjenje temperature NTC.

# VAJA 19: RODOVI NIHANJA He-Ne LASERJA

Potek vaje: Izvedla sva meritev interferenčnega pojava, ki nastane zaradi nihanja laserske cevi na več rodovih. S pomočjo podatkov izmerjene frekv. sva izračunala dolžino merjenih He-Ne laserskih cevi. Dolžina je razdalja med zrcali laserskega rezonatorja.

Shema vezave:

