

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



Kvantová a laserová elektronika
2020/2021

1. Náhradné laboratórne cvičenie

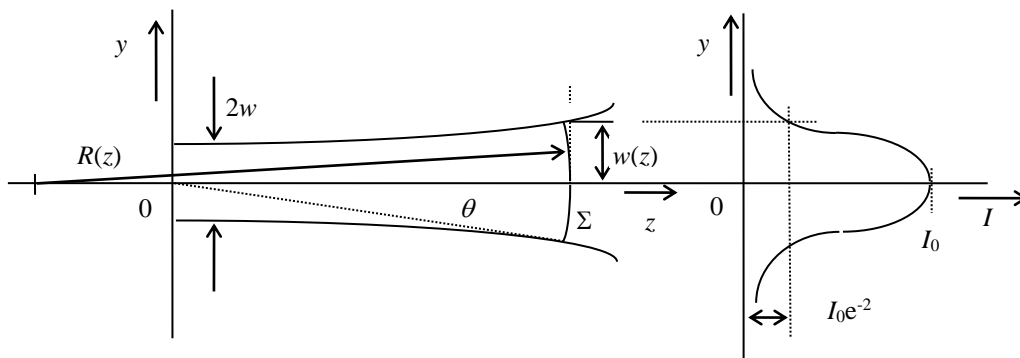
Obsah

1	Zadanie	1
2	Riešenie	1
2.1	Prvá úloha	1
2.2	Druhá úloha	2
2.3	Tretia úloha	3
2.4	Štvrtá úloha	3
3	Matlab - zdrojový kód	4

1 Zadanie

1. Predpokládejte, že optický výkon He-Ne laseru (632,8 nm) laseru je 1 mW. Ve vzdálenosti 1 m od laseru je pološířka svazku 520 μm . Ve vzdálenosti 3 m od laseru je pološířka svazku 980 μm . Pro obě vzdálenosti nakreslete (např. v MATLABu) profily svazků (závislost optické intenzity na vzdálenosti od osy svazku – viz obr. 1).
2. Pomocí získaných grafů určete pološířky svazků v jeho krčku. Potřebný parametr x_1 získate podle postupu z obrázku 2.
3. Z vypočítaných hodnot stanovte úhel divergence svazku θ a hranici blízke a vzdálené zóny záření z_0 .
4. Pro vzdálenosti $z = 0$ m až $z = 10$ m vykreslete závislost zakřivení vlnoplochy R na vzdálenosti z .

Obr. 1: Zadanie náhradnej laboratórnej úlohy



Obr. 2: Profil Gaussovho zväzku

2 Riešenie

V tejto sekcii bude vyriešené zadanie náhradnej laboratórnej úlohy č.1 [1]. V podsekcii 2.1 budú spočítané a vykreslené profily Gaussových zväzkov. V podsekcii 2.2 bude získaná pološířka zväzku v jeho krčku. V podsekcii 2.3 bude vypočítaný uhol divergence θ a Rayleighova vzdialenosť. V poslednej podsekcii 2.4 bude vypočítaná a vykreslená závislosť zakřivenia vlnoplochy R pre vzdialenosť $z = 0$ m až $z = 10$ m.

2.1 Prvá úloha

Na vykreslenie profilov zväzkov pre obe zadané vzdialenosti je potrebné použiť vzťah pre symetrický Gaussov zväzok, ktorý je možné vidieť na rovnici 1.

$$I(r, z) = I_{MAX}(z) * e^{-2 * \frac{r^2}{w^2(z)}} \quad (1)$$

Výkon symetrického Gaussovho zväzku vieme vyrátať ako:

$$P = \frac{1}{2} * I_0 * \pi * w_0^2 \quad (2)$$

Kde I_0 predstavuje intenzitu v strede zväzku (v kľčku w_0), rovnicu 2 je možné potom všeobecne zapísať ako:

$$P = \frac{1}{2} * I_{osa} * \pi * w^2 \quad (3)$$

Kde I_{osa} predstavuje intenzitu na ose, výhoda tohto vzťahu je tá, že je možné vypočítať výkon zväzku v ľubovolnej vzdialenosti na ose.

Zo vzorca na výpočet výkonu zväzku 3 je možné si vyjadriť I_{osa} , pomocou ktorej je možné vypočítať intenzitu na ose, ktorá je potrebná na vykreslenie Gaussovho zväzku.

$$I_{osa} = \frac{2 * P}{\pi * w^2} \quad [W/m^2] \quad (4)$$

Na základe rovnice 4 je možné spočítať intenzitu na ose pre obe pološírky zväzkov.

$$I_{osa}A = \frac{2 * 1 * 10^{-3}}{\pi * (520 * 10^{-6})^2} = 2.3544 * 10^3 \text{ W/m}^2$$

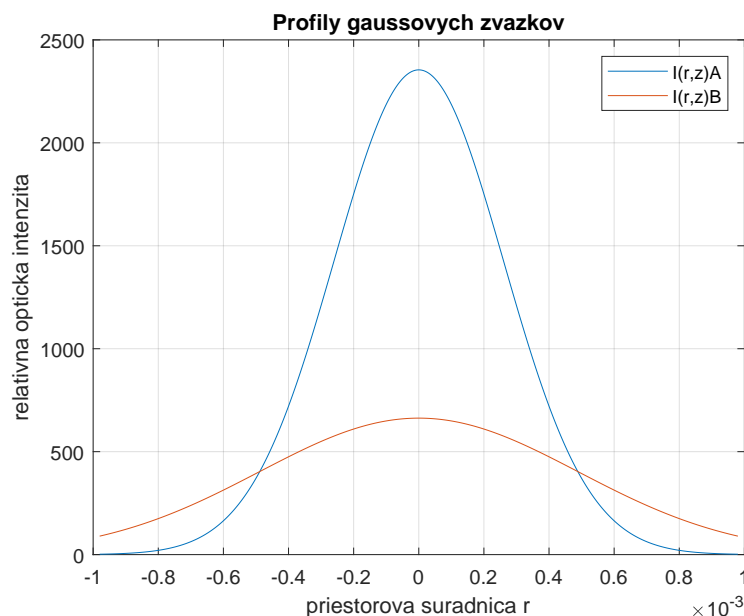
$$I_{osa}B = \frac{2 * 1 * 10^{-3}}{\pi * (980 * 10^{-6})^2} = 662.8694 \text{ W/m}^2$$

Následne je možné vypočítané hodnoty dosadiť do vzorca 1 za účelom vykreslenia profilov gaussových zväzkov.

$$I(r, z)_A = 2.3544 * 10^3 * e^{-2 * \frac{r^2}{(520 * 10^{-6})^2}}$$

$$I(r, z)_B = 662.8694 * e^{-2 * \frac{r^2}{(980 * 10^{-6})^2}}$$

Na základe vzťahov $I(r, z)_A, I(r, z)_B$ sú vykreslené v programe **MATLAB** Gaussove zväzky, ktoré je možné vidieť na obrázku grafu 3.



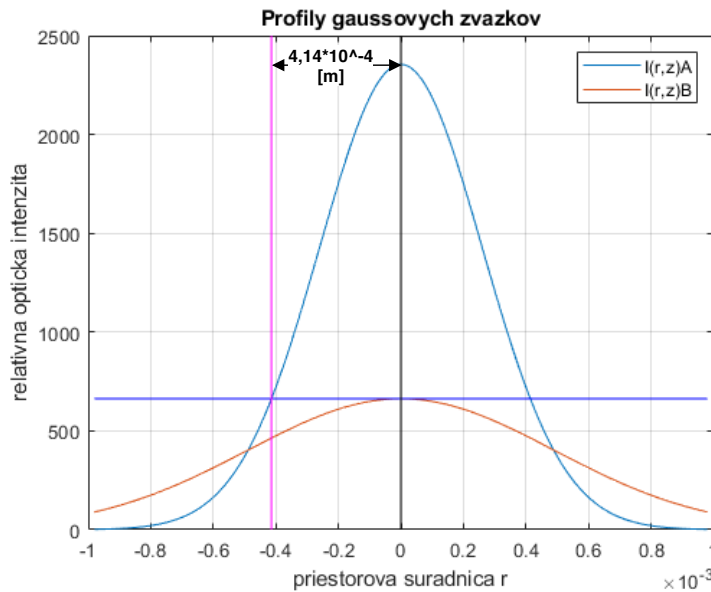
Obr. 3: Vykreslenie profilov gaussových zväzkov v programe MATLAB

2.2 Druhá úloha

Pološírku zväzku v kľčku je možné vyrátať pomocou vzťahu:

$$w_0 = \frac{\lambda}{\pi} * \left(\frac{z_1}{x_1} \right) * \sqrt{\log \frac{z_2}{z_1}} \quad [m], \quad (5)$$

kde x_1 je možné určiť zmeraním grafu priebehov intenzít, ako je možné vidieť na obrázku grafu 4.



Obr. 4: Odmeranie vzdialenosti x_1 z priebehov intenzít

Na základe nameranej hodnoty x_1 je možné pomocou vzorca 5 dopočítať pološíрку zväzku v krčku.

$$w_0 = \frac{632,8 \cdot 10^{-9}}{\pi} * \left(\frac{1}{4,14 \cdot 10^{-4}} \right) * \sqrt{\log \frac{3}{1}} = 5,0996 * 10^{-4} \text{ m}$$

2.3 Tretia úloha

V tejto sekcii bude stanovený uhol divergencie zväzku θ , ktorý predstavuje **divergenciu** (rozbíhavosť) zväzku, ktorá je priamo úmerná vlnovej dĺžke a nepriamo úmerná pološíрке zväzku pre $z = 0$ a dá sa ju vyjadriť pomocou vzťahu:

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi * w_0} \quad [rad] \quad (6)$$

Po dosadení číselných hodnôt do vzťahu 6 dostaneme:

$$\theta = \frac{632,8 \cdot 10^{-9}}{\pi * 5,0996 \cdot 10^{-4}} = 3,9498 * 10^{-4} \text{ rad}$$

Rovnako je potrebné zistiť **Rayleighovu vzdialenosť**. Táto vzdialenosť predstavuje hranicu blízkeho a vzdialeného bodu žiarenia zóny z_0 . Rayleighovu vzdialenosť z_0 je možné vypočítať zo vzťahu:

$$z_0 = \frac{\pi * w_0^2}{\lambda} \quad [m] \quad (7)$$

kde w_0 predstavuje pološíрку zväzku v krčku (najužšom mieste). Po dosadení číselných hodnôt do vzťahu 7 dostaneme:

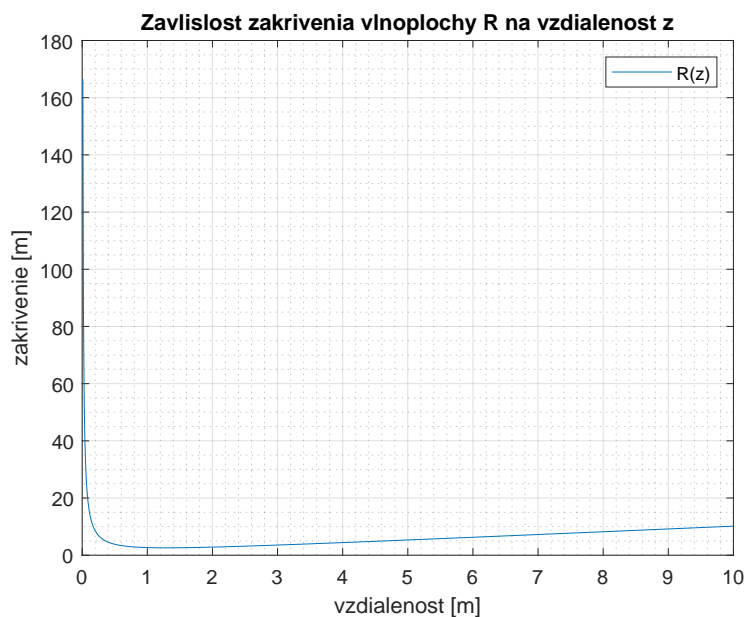
$$z_0 = \frac{\pi * (5,0996 \cdot 10^{-4})^2}{632,8 \cdot 10^{-9}} = 1,2911 \text{ m}$$

2.4 Štvrtá úloha

V tejto sekcii je pre vzdialenosť $z = 0 \text{ m}$ až $z = 10 \text{ m}$ vykreslená závislosť zakrivenia vlnoplochy R na vzdialenosť z . Na daný výpočet je použitý vzťah:

$$R(z) = z * \left[1 + \left(\frac{z_0}{z} \right)^2 \right] \quad [m] \quad (8)$$

Po dosadení číselných hodnôt do vzťahu 8 $R(z) = z * \left[1 + \left(\frac{1.2911}{z} \right)^2 \right]$, kde z je vektor $[0,1,2,\dots,10]$ sa vykreslí graf v programe **MATLAB** nasledovne:



Obr. 5: Vykreslenie závislosti zakrivenia vlnoplochy R na vzdialenosť z

3 Matlab - zdrojový kód

```

1 % Zadanie: Nahradna uloha c1 | urcenie sirky laseroveho zväzku a meranie
  polomeru krivosti vlnoplochy laseroveho zväzku
2 % Autor: Alex Sporni VUT FEKT | MPC-TIT
3 % Datum: 14.10.2020
4
5 clear all; %vymaze vsetky premenne
6 close all; %zavrie vsetky okna
7 clc; %vymaze prikazove okno
8
9 % Inicializacia premennych
10 w_A = 520*10^-6; %m
11 w_B = 980*10^-6; %m
12 P = 1*10^-3; %W
13 lambda = 632.8e-9; %m
14 z1 = 1; %m
15 z2 = 3; %m
16 x1 = 4.14*10^-4; %m
17
18 %-----> 1 <-----%
19 I_osa_A = (2*P)/(pi*w_A^2); %2.3544e+03 W/m^2
20 I_osa_B = (2*P)/(pi*w_B^2); %662.8694 W/m^2
21
22 r = linspace(-980e-6,980e-6,100000);

```

```

23
24 I_A = I_osa_A * exp(-2*((r.^2)/w_A.^2));
25 I_B = I_osa_B * exp(-2*((r.^2)/w_B.^2));
26
27 figure
28 set(gcf,'color','w')
29 plot(r,I_A, r, I_B)
30
31 title('Profily gaussovych zvezkov');
32 xlabel('priestorova suradnica r');
33 ylabel('relativna opticka intenzita');
34 legend('I(r,z)A','I(r,z)B')
35 grid on;
36
37 %-----> 2 <-----%
38 % Z grafu vypliva ze ze potrebny parameter x_1,
39 % ktory je potrebny k vypoctu polosirky zvezku
40 % je x_1 = 4.14*10^-4
41 v = linspace(-980e-6,980e-6,100);
42 k = 662.8694*ones(1,100);
43
44 x=[0,0];
45 y=[0,2.500e+03];
46
47 t=[-4.14e-4,-4.14e-4];
48 u=[0,2.500e+03];
49 figure
50 set(gcf,'color','w')
51 plot(r,I_A, r, I_B)
52 plot(r,I_A, r, I_B,v, k, '-b', x,y, '-k', t, u, '-m')
53 title('Profily gaussovych zvezkov');
54 xlabel('priestorova suradnica r');
55 ylabel('relativna opticka intenzita');
56 legend('I(r,z)A','I(r,z)B')
57 grid on;
58 w_0 = (lambda/pi) * (z1/x1) * sqrt(log(z2/z1))
59
60 %-----> 3 <-----%
61 z_0 = (pi * (w_0)^2)/(lambda)
62
63 %-----> 4 <-----%
64 theta = (lambda)/(pi*w_0)
65
66 %-----> 5 <-----%
67 z = linspace(0,10,1000);
68 R = z .* ( 1 + (z_0./z).^2 );
69
70 figure
71 set(gcf,'color','w')
72 plot(z,R)

```

```
73 title('Zavlislost zakrivenia vlnoplochy R na vzdialenost z');
74 xlabel('vzdialenost [m]');
75 ylabel('zakrivenie [m]')
76 legend('R(z)')
77 grid minor
78 grid on
```


Použitá literatura

- [1] Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně: URČENÍ ŠÍŘKY LASEROVÉHO SVAZKU A MĚŘENÍ POLOMĚRU KŘIVOSTI VLNOPLOCHY LASEROVÉHO SVAZKU. [online], 2020. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/mod/assign/view.php?id=162846>