

# THE DISTRIBUTION OF RELATIVE VARIANCE OF OPTICAL INTENSITY IN LASER BEAM PROFILE

**Peter Barcák**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xbarci00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Lucie Hudcová

E-mail: hudcova@feec.vutbr.cz

**Abstract:** There are a lot of issues with designing reliable free space optical communication link. Beam wander and fluctuation of optical intensity, that are caused due to atmospheric turbulence, have to be taken into account. This paper discuss distribution of optical intensity in laser beam profile. The dependency of relative variance of optical intensity on Gaussian and Top-hat beam is shown.

**Keywords:** Atmospheric turbulence, scintillation, relative variance of optical intensity

## 1 ÚVOD

Neustále zvyšovanie kapacity a prenosových rýchlostí si vyžiadalo budovanie stále efektívnejších prenosových sietí. Optické bezkáblové siete používajú na prenos informácie optickú nosnú vlnu s jedným alebo viacerými vlnovo delenými kanálmi. Ich optický výkon je sústredený do jedného alebo viac úzkych optických zväzkov. Medzi základné výhody optického bezkáblového spoja patrí rýchlosť prenosu informácií a bezlicenčné pásmo. Kvalita prenosu je pri tomto spoji veľmi závislá na meteorologických podmienkach, pretože prenosovým médium je atmosféra. Výsledkom pôsobenia atmosférických turbulencií na optický zväzok je rozptyl, putovanie zväzku a scintilácia [1].

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR

Atmosférické turbulencie je možné charakterizovať štruktúrnou funkciou [2],

$$D_n(r_1, r_2) = \langle [n(r_1) - n(r_2)]^2 \rangle, \quad (1)$$

kde  $n(r_1)$  je index lomu v bode  $r_1$ ,  $n(r_2)$  je index lomu v bode  $r_2$  a ostré zátvorky znamenajú strednú hodnotu. Pre homogénne a izotropné turbulencie, ktoré sú závislé iba na vzdialenosti  $r$  medzi dvoma bodmi, je možné napísať, že

$$D_n(r) = \begin{cases} C_n^2 r^{\frac{2}{3}}, & l_0 \ll r \ll L_0 \\ C_n^2 l_0^{-\frac{4}{3}} r^2, & r \ll l_0 \end{cases} \quad (2)$$

kde  $C_n^2$  je štruktúrny parameter indexu lomu, ktorým je udávaná aj miera turbulencií,  $l_0$  je minimálny rozmer turbulentnej cely a  $L_0$  je maximálny rozmer turbulentnej cely [2].

Pri silných turbulenciách dochádza k ovplyvňovaniu optického zväzku. Prvým javom je tzv. putovanie zväzku. Na turbulentných celách dochádza k ohybu optického zväzku, čo má za následok, že spot v rovine prijímača nedopadá v sledovanom časovom intervale do jedného miesta. Atmosferické turbulencie majú vplyv aj na rozloženie optickej intenzity v optickom zväzku. Pri prechode optického zväzku takýmto prostredím dochádza k fluktuácii optickej intenzity. Tento jav sa nazýva scintilácia. Scintilácia spôsobuje znižovanie pomeru signál/šum a strmé poklesy úrovne prijímaného signálu,

ktoré sa nazývajú hlboký únik [3]. Fluktuácia optickej intenzity je závislá na štruktúrnom parametri indexu lomu  $C_n^2$ . Miera scintilácií môže byť zmeraná varianciou amplitúdy optickej intenzity. Relatívnu varianciu optickej intenzity v optickom zväzku je možné vypočítať podľa nasledovného vzťahu [1]

$$\sigma_{I,rel}^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} = \frac{\langle I^2 \rangle}{\langle I \rangle^2} - 1, \quad (3)$$

kde  $I$  je optická intenzita optického zväzku. Ak je použitý model optickej vlny s nekonečnou rovinou plochou alebo model sférickej vlny (bodový zdroj), je možné tento atmosférický jav približne definovať Rytovou aproximáciou [1]

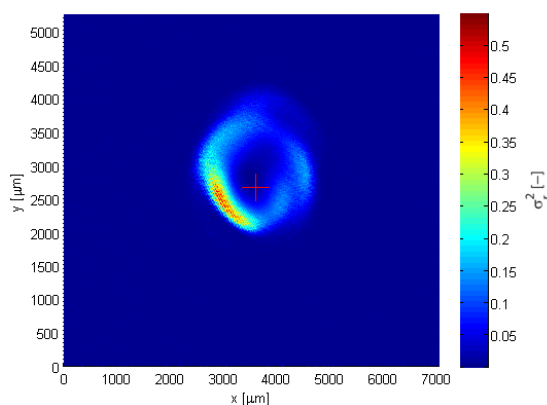
$$\sigma_I^2 = KC_n^2 k^7 L^{\frac{11}{6}}, \quad (4)$$

kde  $K$  je konštanta pre rovinnú vlnu 1,23 a pre vlnu sféricкую 0,5,  $k$  je vlnové číslo,  $\lambda$  je vlnová dĺžka a  $L$  je vzdialenosť medzi prijímačom a vysielačom. Rytovova variancia reprezentuje index scintilácie nekonečnej rovinatej vlny počas slabých fluktuácií. Slabé fluktuácie optickej intenzity splňujú podmienku  $\sigma_I^2 < 1$ , ak je  $\sigma_I^2 \geq 1$  ide o silné fluktuácie.

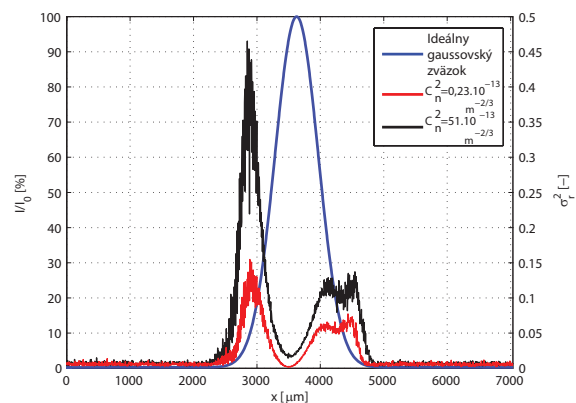
### 3 EXPERIMENTÁLNE MERANIE

Preskúmanie rozloženia optickej intenzity v optickom zväzku, si vyžadovalo zostaviť pracovisko, ktoré predstavuje bezdrôtovú optickú linku s krátkym dosahom. Zdrojom optického žiarenia bol He-Ne laser (Melles Griot LHP991) s vlnovou dĺžkou 632,8 nm a s výstupným výkonom 1 mW. Aby bolo možné preskúmať profil optického zväzku, bola vo vzdialenosti 0,9 m od zdroja optického žiarenia umiestnená CCD kamera (Ophir Photonics Group SP620). Atmosférické turbulencie boli generované tepelnými žiaričmi a ventilátorom. Pomocou žiaričov bolo možné vytvoriť turbulentné prostredie s rôznymi stupňami štruktúrneho parametra indexu lomu.

Rytovova aproximácia predpokladá rovnomerné rozloženie variancie optickej intenzity vo zväzku. Výsledky experimentálneho merania (Obr. 1.-4.) dokazujú, že rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity vo zväzku nie je rovnomerné. Z profilu na Obr.2 je zrejmé, že relatívna variancia optickej intenzity dosahuje svoje maximá na okraji Gaussovského zväzku, kde dochádza k nárastu alebo poklesu optickej intenzity meraného zväzku. V strede zväzku je hodnota relatívnej variancie minimálna.

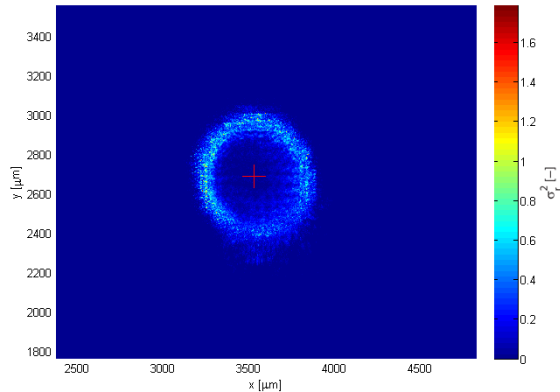


**Obrázek 1:** Rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity v Gaussovskom zväzku pre  $C_n^2 = 51.10^{-13} m^{-2/3}$ . Červená značka označuje stred ideálneho Gaussovského zväzku.

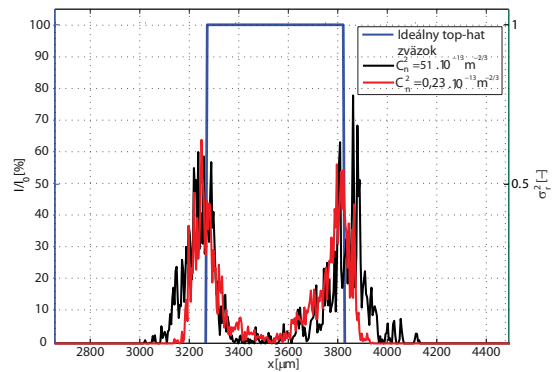


**Obrázek 2:** Rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity v Gaussovskom zväzku zobrazené v rovine osi  $x$ , ktorá prechádza stredom optického zväzku pre dva rôzne štruktúrne parametre indexu lomu.

Pre overenie závislosti relatívnej variancie optickej intenzity na tvare intenzitného profilu zväzku, bol skúmaný optický zväzok tvarovaný na zväzok s rovnomerným rozložením optickej intenzity tzv. Top-hat zväzok. Pri porovnaní profilu relatívnej variancie optickej intenzity s ideálnym Top-hat zväzkom je viditeľné, že relatívna variancia nadobúda maximálne hodnoty na ramenách zväzku, to znamená v miestach s najväčšou zmenou optickej intenzity.



**Obrázek 3:** Rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity v Top-hat zväzku pre  $C_n^2 = 51 \cdot 10^{-13} \text{ m}^{-2/3}$ . Červená značka označuje stred ideálneho Top-hat zväzku.



**Obrázek 4:** Rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity v Top-hat zväzku zobrazené v rovine osi  $x$ , ktorá prechádza stredom optického zväzku pre dva rôzne štruktúrne parametre indexu lomu.

#### 4 ZÁVER

Experimentálnym meraním bolo dokázané, že rozloženie relatívnej variancie optickej intenzity nie je v optickom zväzku rovnomerné, ako predpokladá Rytovova aproximácia. Ďalej bola skúmaná závislosť relatívnej variancie optickej intenzity na tvare intenzitného profilu optického zväzku. Zo zmeraného rozloženia relatívnej variancie optickej intenzity je možné navrhnuť optimálny profil optického zväzku pre bezdrôtový optický spoj, prípadne zvoliť apertúru na prijímacom snímači s vhodným priemerom tak, aby bola vybratá časť zväzku, kde je relatívna variancia optickej intenzity minimálna.

#### POĎAKOVANIE

Research published in this submission was financially supported by the project CZ.1.07/2.3.00/20.0007 WICOMT of the operational program Education for competitiveness.

#### REFERENCE

- [1] Wilfert, O.: Fotonika a Optické Komunikace. Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií, Vysoké učení technické, Brno
- [2] Bass, M.: Handbook of Optics, Volume V. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010. ISBN 978-0-07-163314-6
- [3] Latsa Babu P., Balaji Srinivasan: Characterizing The Atmospheric Effects On Laser Beam Propagation For Free Space Optical Communication. Department Of Electrical Engineering Indian Institute Of Technology Madras, Chennai 600036, India