

## Měření optického výkonu pro optický svazek u bezvláknového optického pojítka

J. Látal<sup>1</sup>, T. David<sup>1</sup>, J. Vitásek<sup>1</sup>, P. Koudelka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra telekomunikační techniky, FEI, VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 17. listopadu 15,  
708 33, Ostrava-Poruba

E-mail : jan.latal@vsb.cz, tomas.david@vsb.cz, jan.vitasek@vsb.cz, petr.koudelka@vsb.cz

### Anotace:

V dnešní technicko-komunikační společnosti, ve které informace mají stále větší váhu, je přístup k nim velmi důležitý. Proto je nutné vyvíjet stále nové, rychlejší a lepší způsoby přenosu dat. K těmto rychlým přístupům můžeme řadit i bezvláknová optická pojítka (spoje). Jejich výhodou je bezpečnost, nepotřebují rádiové frekvenční pásmo, avšak nevýhodou je jejich závislost na atmosférických jevech. V tomto článku jsou shrnuty některé poznatky z měření rozložení optického výkonu po průřezu svazku u bezvláknových optických pojítek umístěných na rektorátu budovy A v Ostravě Porubě a na hvězdárně Johana Palisy.

### ÚVOD

Komunikační sítě se stále rozvíjí a snaží se vyhovět požadavkům telekomunikačních služeb od privátního až po komerční sektor. To způsobuje nebyvalou zátěž na telekomunikační sítě a na jejich provozovatele. Bez alternativních síťových technologických systémů by byla celková efektivní přenosová rychlost sítí malá. Alternativu přináší optický bezkabelový spoj, který vyniká vysokou přenosovou rychlostí a všestranným využitím. Optický bezkabelový spoj zahrnuje optické spoje mezi pozemními stanicemi (budovy, stožáry), satelity i platformami ve vysokých výškách. Šíření laserového svazku je ovlivněno celou řadou atmosférických činitelů. Jednotlivé činitele můžeme souhrnně pojmenovat jako meteorologické jevy, mezi které patří déšť, sníh, mlhy, bouřky, větry a také větrné víry a atmosférické turbulence.

Tento článek se primárně zaměřuje na popis Gaussovského svazku a proměření rozložení optického výkonu po průřezu svazku u bezvláknových optických pojítek umístěných na hlavní budově rektorátu A v Ostravě Porubě a hvězdárně Johana Palisy. Vzdálenost mezi těmito body je 1,47 km. Divergence optického svazku vysílaného optickou hlavicí na tuto vzdálenost je 2,7 metrů.

### LASEROVÝ SVAZEK

Vlnová povaha světla vylučuje idealizaci, ve které je světlo prostorově soustředěno a šíří se bez úhlové divergence. Pro maximální možný způsob prostorově lokalizovaných nedivergentních vln se světlo může šířit ve formě svazků. V optických bezkabelových komunikacích se nejčastěji využívá Gaussův svazek, popřípadě svazek top-hat, či „okrajové“ svazky [4][5].

### GAUSSŮV SVAZEK

Nejdůležitější ze všech druhů svazků je pro nás Gaussův svazek, protože právě tento druh svazku vystupuje z laserové diody nejčastěji. Rozložení intenzity je Gaussovského typu (viz obr. 1) v příčné rovině odpovídá kruhově symetrické Gaussově funkci, kde optická osa je také osou symetrie. Výkon Gaussova svazku je soustředěn do úzkého kužele. Šířka svazku je minimální v tzv. krčku a dále se zvětšuje na obě strany [6][7][8]. Poloměr Gaussova svazku  $w(z)$  lze vypočítat pomocí vztahu

$$w(z) = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}, \quad (1)$$

kde  $w_0$  je pološířka svazku v jeho nejužším místě,  $z$  je souřadnice optické osy,  $z_0$  je tzv. Rayleighova vzdálenost. Tu lze popsat jako vzdálenost podélného směru šíření vlny od krčku po bod, kde je příčná plocha průřezu dvojnásobná [6][7][8]. Platí, že

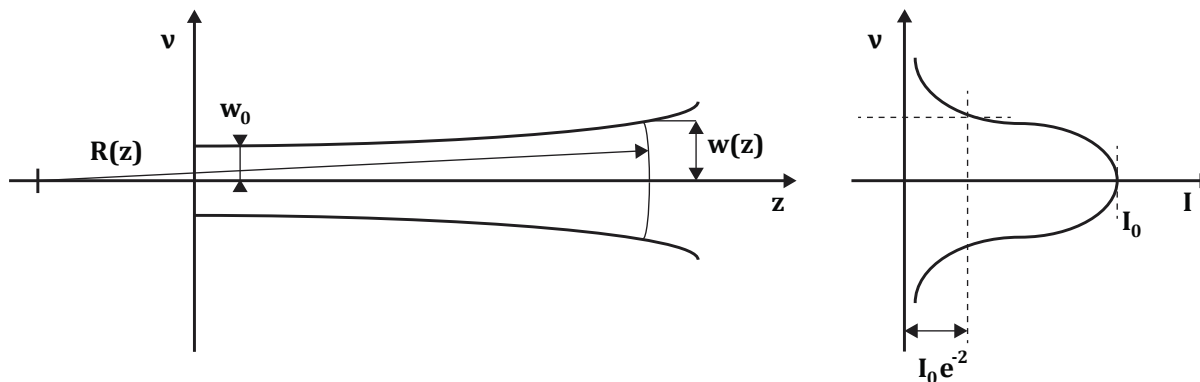
$$z_0 = \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda}, \quad (2)$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka záření. Úhel divergence  $\theta$  lze vyjádřit pomocí vztahu

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0}. \quad (3)$$

Pro poloměr křivosti Gaussova svazku  $R(z)$  platí, že

$$R(z) = z \cdot \left[ 1 + \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \right]. \quad (4)$$



Obr. 1: Profil Gaussova svazku

## OPTICKÁ INTENZITA GAUSSOVA SVAZKU

Intenzita optického záření je funkcí axiální (jdoucí ve směru osy) vzdálenosti  $z$  a radiální (jdoucí ve směru poloměru) vzdálenosti  $\rho$ . Radiální vzdálenost lze vyjádřit jako

$$\rho = \sqrt{(x^2 + y^2)}, \quad (5)$$

pak intenzita Gaussova svazku

$$I(\rho, z) = I_0 \left( \frac{w_0}{w(z)} \right)^2 \cdot e^{-\left( \frac{2 \cdot \rho^2}{w^2(z)} \right)}. \quad (6)$$

Intenzita Gaussova svazku je největší ve středu svazku (axiální vzdálenost  $z$  a radiální vzdálenost  $\rho$  je rovna 0). Poloměr Gaussova svazku  $w(z)$  s rostoucí axiální vzdáleností  $z$  vzrůstá. Intenzita Gaussova svazku se snižuje s rostoucí axiální vzdáleností  $z$  [6][7][8].

## OPTICKÝ VÝKON GAUSSOVA SVAZKU

Celkový výkon přenesený svazkem je určen integrálem ze součinu intenzity záření a plochy příčného průřezu optického svazku

$$P = \int_0^{\infty} I(\rho, z) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho, \quad (7)$$

z čehož dále odvodíme

$$P = \frac{1}{2} \cdot I_0 \cdot (\pi \cdot w_0^2). \quad (8)$$

Výkon svazku je tedy dán jako součin poloviny maximální intenzity a plochy kruhu o poloměru rovnající se středovému poloměru svazku [4][5][9].

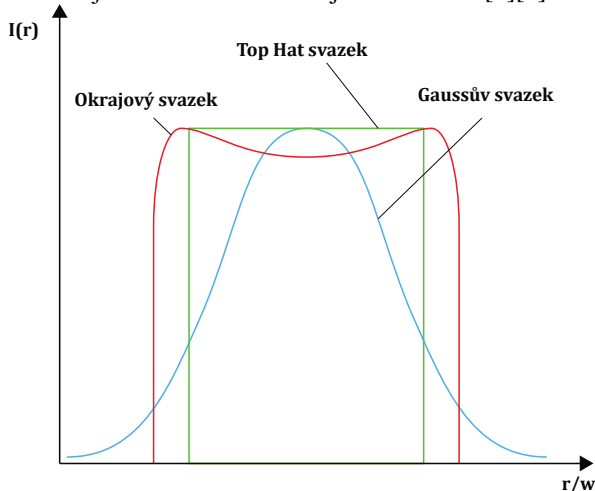
## SVAZEK TOP HAT

Dalším z používaných rozložení intenzity svazku je tzv. svazek Top hat, dle obr. 2. Ten se vyznačuje tím, že jeho průběh je téměř uniformní – jeho intenzita se nemění se zvětšující se radiální vzdáleností  $\rho$ . Tento svazek se dá zjednodušeně popsat tvarem cylindru

(anglický výraz pro cylindr „Top hat“). Vzhledem k tomu, že má svazek „tupější“ profil než Gaussov svazek, dochází k menším fluktuacím, avšak svazek má nevýhodu ve větším rozložení hustoty optického výkonu oproti Gaussovu svazku [5][9].

## OKRAJOVÝ SVAZEK

Dalším typem svazku používaným v optoelektronice je tzv. „okrajový svazek“. Ten se vyznačuje tím, že soustředí svou intenzitu na okraj vlny (viz obr. 2). Svým profilem redukuje sférickou (kulovou) vadu a umožňuje fokusaci svazku do jednoho bodu [4][5].



Obr. 2: Ekvivalentní Gaussov, Top hat a okrajový svazek

## ATMOSFÉRICKÉ PŘENOSOVÉ PROSTŘEDÍ

Optické bezvláknové systémy lze provozovat v uzavřených místnostech, ale jsou používány zejména v atmosférickém přenosovém prostředí (APP). To je úzce spojeno s pravděpodobně největší nevýhodou OBS (Optický bezvláknový spoj). V nepříznivých podmínkách může být totiž přenos dat obtížný, až nemožný. Jestliže se bavíme o OBS v oblastech mezi budovami, pohybujeme se v oblasti troposféry. Ta zasahuje do výšky okolo 10 km n.m., avšak tato výška závisí na mnoha dalších vlivech (roční období, aktuální počasí apod.). Pro tuto oblast je charakteristické, že zde vodní pára podléhá kondenzaci, vzniká mnoho různých vlivů ovlivňující

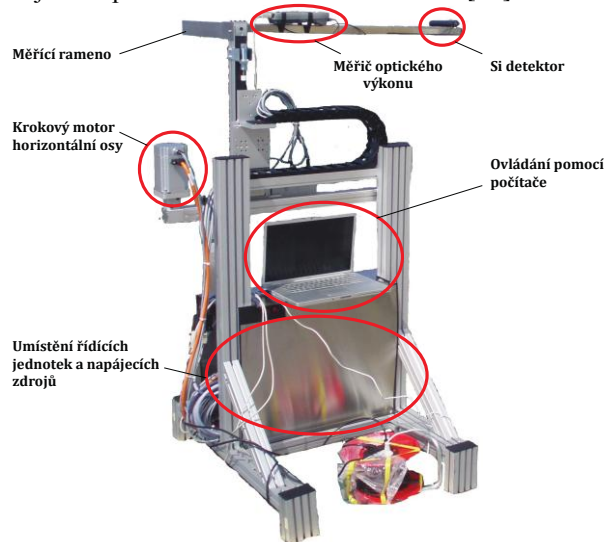
kvalitu spoje jako dešť, sněžení, větrné víry a především mlhy [1][2][3][4]. Také je nutné přihlídnout k výskytu ptactva v dané lokalitě. Tato oblast je obecně nestacionárním a nehomogenním prostředím (předpokládá se, že je prostředím dielektrickým, lineárním, nedisperzním, izotropním) a vliv tohoto prostředí na kvalitu přenosového kanálu má náhodný charakter [4]. Mezi hlavní jevy ovlivňující přenos optického signálu atmosférickým prostředím patří [3]:

- extinkce optické intenzity vlivem turbulencí v atmosférickém prostředí,
- extinkce vlivem rozptylu a absorpce na molekulách a aerosolech,
- fluktuace optické intenzity vlivem turbulencí v atmosférickém prostředí,
- fluktuace optické intenzity vlivem mlhy, deště, sněhu apod.,
- krátkodobé přerušování svazku přeletem ptáků.

## MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ROZLOŽENÍ OPTICKÉHO VÝKONU PO PRŮŘEZU SVAZKU U BEZVLÁKNOVÝCH OPTICKÝCH POJÍTEK

Pro tento účel bylo zapůjčeno zařízení z Vysokého učení technického v Brně - Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií (viz obr. 3), které bylo nutné dát do provozuschopného stavu. Jedná se o zařízení pro pohyb v horizontální a vertikální ose s krokovými motory. Prvním úkolem bylo správně zapojit a nastavit napětí a proud pro krokové motory. Poté byl problém s nedokonalými manuály, které neposkytovaly dostatečné informace o řízení krokových motorů prostřednictvím řídicí jednotky. Zařízení se dále skládá z křemíkového fotodetektoru (Si), který snímá optický výkon vyzářovaný optickým pojítkem z hvězdárny, měřičem optického výkonu, dvěma krokovými motory pro ovládání horizontální vertikální osy a řídicími jednotkami pro řízení velikosti a rychlosti kroku pro krokové motory u jednotlivých os. Pro ovládání řídicích jednotek byl v aplikaci Matlab naprogramován obslužný program. S jeho pomocí můžeme libovolně měnit měřenou vlnovou délku, rychlost kroku, velikost kroku, délku časové prodlevy mezi jednotlivými kroky atd.

Komunikace mezi řídicí jednotkou a počítačem byla zajištěna pomocí sériové sběrnice RS-232 [10].



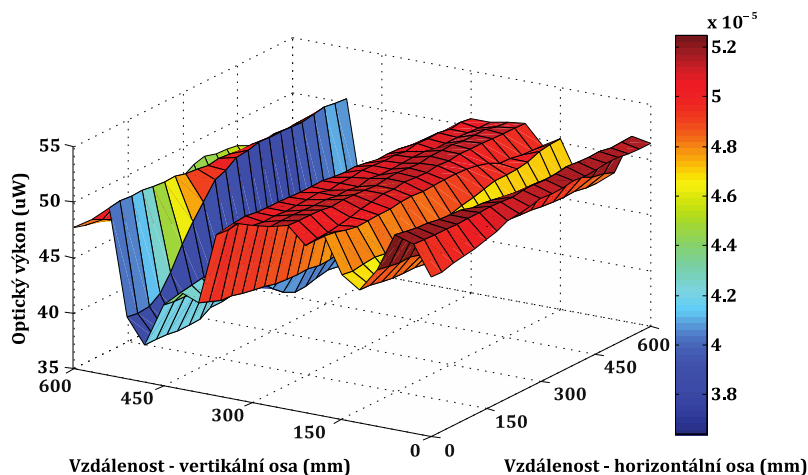
Obr. 3: Sestava měřicího zařízení

## MĚŘENÍ ROZLOŽENÍ OPTICKÉHO VÝKONU PO PRŮŘEZU SVAZKU U BEZVLÁKNOVÝCH OPTICKÝCH POJÍTEK

Profesionální bezvláknové optické pojítko TS5000G od firmy MRV obsahuje 3 výkonové lasery o optickém výkonu 60 mW, 40 mW a 40 mW s vysílaným vlnovým rozsahem 830 až 860 nm. Součástí profesionálních hlavice je kolimační optika pro úpravu vysílaného optického svazku.

Při prvních měřeních bylo zjištěno, že okolní sluneční světlo velmi ovlivňuje měření, i když byl fotodetektor optického výkonu umístěn a zastíněn v černé trubce, proti přímému slunečnímu svitu. Bylo uskutečněno několik měření na pracovních vlnových délkách, avšak měření bylo vždy velmi ovlivněno parazitním světlem. Vliv parazitního světla se projevuje zvýšením přijatého optického výkonu v rozmezí 40 – 60  $\mu$ W (viz obr. 4). V noci, bez vlivu parazitního světla, byly naměřeny hodnoty okolo 1,5  $\mu$ W (viz obr. 5) [10].

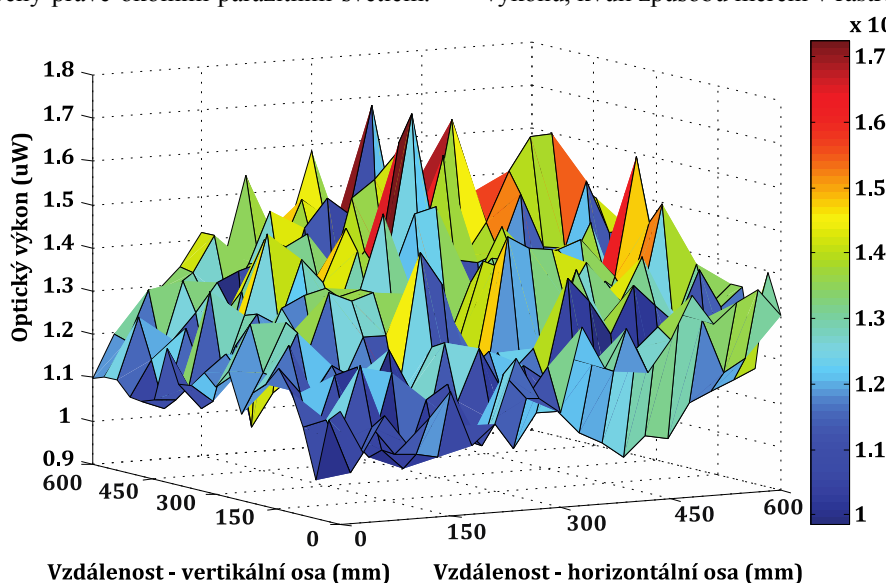
Detektor optického výkonu byl umístěn na měřicím rameni (viz. obr. 3), které umožňuje pohyb ve dvou osách, čímž je možno rastrově proměřit rozložení optického svazku s předem nastaveným krokem.



Obr. 4: Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 14:00 hod.

Obrázek 4 byl naměřen dne 16. 4. 2011 ve 14:00 hod. při teplotě 12,8 °C, vlhkosti vzduchu 46 %, severozápadním větru o rychlosti 2,2 m/s a tlaku 1022,5 hPa. Z obrázku lze pozorovat velký optický výkon způsobený právě okolním parazitním světlem.

„Vlny“, které jsou na grafu viditelné, jsou způsobené změnami okolního světla, které se na horizontální ose neprojeví tak mnoho, jako na ose vertikální. Tento jev vzniká při rychlých změnách přijímaného optického výkonu, kvůli způsobu měření v rastru [10].



Obr. 5. Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 22:00 hod.

Na obrázku 5 pro měření optického výkonu po průřezu svazku, který je ze stejného dne jako obrázek 4, ale naměřený v nočních hodinách, tj. ve 22:00 hodin, je vidět změna přijímaného optického výkonu pomocí detektoru. Podmínky při měření byly následující: nastavená vlnová délka pro snímání optického výkonu  $\lambda = 840$  nm, teplota okolí 9,4 °C, vlhkost vzduchu 58 %, severozápadní vítr o rychlosti 2,2 m/s, tlak 1022,7 hPa. Přijímaný optický výkon je, oproti hodnotám naměřeným ve dne, velmi nízký a pohybuje se okolo 1  $\mu$ W. Při měření byla poloha zařízení nastavena tak, aby místo, kde se nachází přijímací hlavice, korespondovalo se středem měřicího rastru, viz. obr. 5. Na něm je přijatý optický

výkon, ve středu rastru je s největší hodnotou výkonu. Změřené rozložení optického výkonu obsahuje velké množství výkonových špiček. Tyto výkonové špičky jsou způsobeny fluktuacemi svazku při průchodu atmosférickým prostředím [10]. Na výsledné rozložení optického výkonu mělo vliv hned několik faktorů, které se vyskytují v atmosféře. Jednotlivé faktory nelze od sebe eliminovat. Největší destruktivní vliv měly větrné turbulence.

## ZÁVĚR

Měření, která byla provedena, ukázala, že tvar Gaussovského svazku vyzařovaného z optického pojítka umístěného na rektorátu budovy A, který dále byl posílán na optické pojítka umístěné na hvězdárně, kde došlo k jeho zpětnému vysílání zpět na pojítka umístěné na rektorátu budovy A, byl silně deformován průchodem atmosférou. To je způsobeno několika jevy, které jsou popsány v předcházejících řádcích. V budoucnu se chceme zaměřit na testování zdrojů záření – laseru, použitých pro vyzařování optického světla a potlačení parazitního světla při použití filtru, který bude umístěn před detektor. Díky tomu dojde k potlačení parazitního světla.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl podpořen v rámci grantu GAČR GA102/09/0550 - Studium optických svazků pro atmosférické statické a mobilní komunikace a SP2011/47, FR CESNET 429/2011.

## LITERATURA

- [1] KULHAVÝ, K. Root.cz [online]. [cit. 2011-02-18]. *Bezvláknová optika*. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/bezvlaknova-optika/>>.
- [2] CÍSAŘ, D. *Vliv atmosférických turbulencí na intenzitní profil laserového svazku*. Brno, 2009. 42 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [3] LÁTAL, J; KOUDELKA, P; VITÁSEK, J. *Měření vlivu velikosti překážek na přenos optickým pojítkem*. *Elektrorevue* [online]. 6.6.2010, 2010/39, [cit. 2011-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://elektrorevue.cz/cz/download/mereni-vlivu-velikosti-prekazek-na-prenos-optickym-pojitkem/>>.
- [4] BÁRTA, M. *Vliv atmosférických turbulencí na optický svazek*. Brno, 2009. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [5] SALEH, B. E. A., TEICH, M. C. *Fundamentals of Photonics*. New York: John Wiley, 1991, ISBN 0-471-83965-5 1991
- [6] WILFERT, O. *Fotonika a optické komunikace: přednášky*. Skripta VUT v Brně. Brno: MJ Servis, 2007. ISBN: 978-80-214-3537-7
- [7] WILFERT, O. *Optoelektronika*. UREL, VUT v Brně, Brno: UREL FEKT VUT v Brně, 2002. ISBN: 80-214-2264-5
- [8] WILFERT, O., FILKA, Z. Optické (laserové) bezdrátové spoje. [online]. 2009, [cit. 2009-12-20]. Dostupné z WWW: <[www.urel.feec.vutbr.cz/web/Wilfert\\_Kolka\\_opticke\\_spoje.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/web/Wilfert_Kolka_opticke_spoje.pdf)>
- [9] GARLINGTON, T., BABBITT, J., LONG, G. Analysis of free space optics as a transmission technology [online]. 2005 [cit. 2009-04-12]. Dostupný z WWW:<[http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis\\_of\\_Free\\_Space\\_Optics\\_as\\_a\\_Transmission\\_Technology\\_Mar05.pdf](http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis_of_Free_Space_Optics_as_a_Transmission_Technology_Mar05.pdf)>.
- [10] DAVID, T. *Testovací měření na profesionálním atmosférickém optickém spoji*. Ostrava, 2010. 97 s. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky.