

COUPLING OF LASER BEAM INTO OPTICAL FIBERS

Barbora Růžicková

Středoškolský studijní program na víceletém gymnáziu (4),
Gymnázium Moravská Třebová

E-mail: barbora.ruzickova@mensa.cz

Supervised by: Petr Drexler

E-mail: drexler@feec.vutbr.cz

Abstract: Our project deals with examination of coupling of laser beam into optical fibers. In the first part of our project theoretical knowledge essential to the practical part was gathered. Subsequently the effectiveness of 4 different manual coupling methods was measured. In addition, measurements to the numerical aperture in both single- and multi-mode fibers were completed. Finally, the obtained data were made into comparison of the efficiency and suitability of individual fibers and methods for manual coupling.

Keywords: laser beam, optical fiber, multi-mode fiber, single-mode fiber, numerical aperture, fiber coupling

1 ÚVOD

Cílem našeho projektu bylo porovnat čtyři způsoby vazby laserového paprsku do optického vlákna a dosáhnout co největší účinnosti u jednotlivých vazeb.

Při navazování paprsku do vlákna potřebujeme, aby čočka fokusovala (zaostřila) paprsek tak, aby dopadl přesně do jádra a nepřekročil mezní úhel navázání, což je při ruční vazbě velmi těžké, zvláště při malém průměru jádra, které má jednovidové vlákno [1]. Proto předpokládáme, že tovární vazba bude už díky přesnosti strojů účinnější než ruční vazba provedené s takřka obyčejnou čočkou. Použitím specializovaného optovláknového kolimátoru počítáme s lepším zaostřením paprsku a tudíž s větší účinností navázání, ale i tak nečekáme možnost, že by vazba s kolimátorem předčila vazbu tovární.

Jednovidová vlákna vykazují nejlepší parametry optické přenosové cesty. Mají nejmenší průměr jádra, do 10 mikrometrů. Takto malé jádro má za následek malý úhel odrazu ve vlákně a tím pádem dominantní existenci jednoho vidu záření, ale i ztížení navazování laserového paprsku do vlákna. Naproti tomu u mnohovidového vlákna s velkým průměrem jádra (desítky mikrometrů) by mělo být navazování lehčí, protože by se do většího jádra mělo navázat více z laserového paprsku ztenčeného kolimátorem či čočkou.

Mezi mikroskopickými objektivy očekáváme nejlepší účinnost u objektivu se zvětšením 45x, jelikož dokáže paprsek zmenšit nejvíce z námi zvolených objektivů [2].

2 POSTUP MĚŘENÍ

Při našem experimentu jsme porovnali 4 způsoby vazby laserového záření do optického vlákna.

K měření bylo použito mnohovidové vlákno s jádrem o průměru $105 \mu\text{m} \pm 2\%$ dlouhé 1 m a jednovidové vlákno s průměrem vidového pole 3,6 až 5,3 při 633 nm dlouhé taktéž 1 m.

1. ZPŮSOB – INTEGROVANÉ NAPOJENÍ VLÁKNA NA ČIP LASEROVÉ DIODY (PIGTAIL)

U tohoto způsobu jsme měli předem optické vlákno navázané a přitavené ke krystalu polovodičového laseru, což nám bránilo k změření výstupního výkonu laseru, proto jsme uvažovali výkon uvedený výrobcem laseru v jeho datovém listě.

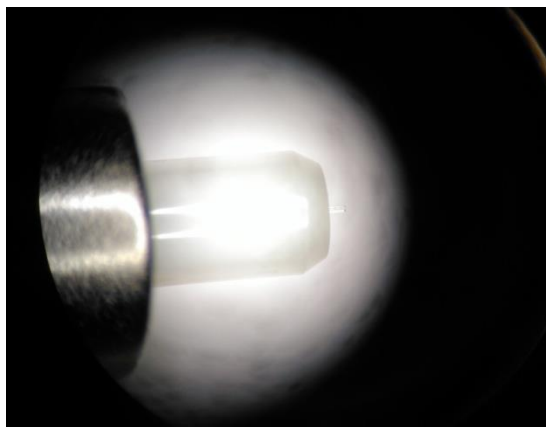
Napojením vlákna do měřiče optického výkonu jsme zjistili výstupní výkon záření z vlákna v dBm, který jsme následně přepočítali na mW. Poté jsme vypočítali účinnost vazby.

2. ZPŮSOB – VOLNOPROSTOROVÁ VAZBA FOKUSOVANÉHO ZÁŘENÍ DO APERTURY VLÁKNA POMOCÍ ASFÉRIKÉ ČOČKY A PĚTIOSEHO NANO/MIKRO – MANIPULÁTORU

Nejprve jsme z obou stran vláken odstranili primární ochranu a zalomili je ručním způsobem. Při zalamování se obnažené vlákno uchytí k podložce pomocí lepicí pásky. Následně provedeme velmi lehký přitlak ostří diamantového nástroje k povrchu obnaženého vlákna. Místo dotyku překryjeme kapkou destilované vody a zatáhneme za vlákno ve směru jeho podélné osy, čímž dojde k odlomení vlákna.

Kvalitně provedené zalomení zkontrolujeme např. pomocí mikroskopu, laboratorní lupy se zvětšením větším než 20x nebo i pomocí samotného mikroskopického objektivu. Kvalitně provedený lom se vyznačuje rovnou plochou konce vlákna, kolmou k jeho podélné ose a absencí prasklin a výčnělků zbytků skla.

Dále jsme na konce vlákna nasadili provizorní konektory (Obrázek 1) s jejichž pomocí jsme jeden konec uchytli na manipulátor a druhý jsme připojili do měřiče optického výkonu. Poté jsme mezi paprsek laseru a optické vlákno připevnili asférickou čočku s takovou ohniskovou vzdáleností (11 mm), která splňovala podmínku vazby v rámci akceptančního úhlu. Čočka pak soustředila paprsek do jádra vlákna. Následně jsme se snažili navázat do vlákna laserový paprsek pomocí pozicionování tak, aby bylo dosaženo maximálního výstupního výkonu záření z vlákna. Vzhledem k malému rozměru jádra vlákna bylo nutné provést pozicionování se značnou přesností. Byl proto použit pětiosý manipulátor, který umožňuje posuv objektu (konce vlákna) v osách x, y a z s teoretickým minimálním krokem 80 nanometrů nastavovaným pomocí krokových motorů, viz Obrázek 2. Další dvě osy umožňují náklon konce vlákna ve dvou směrech vůči směru laserového paprsku a ovládají se manuálně.

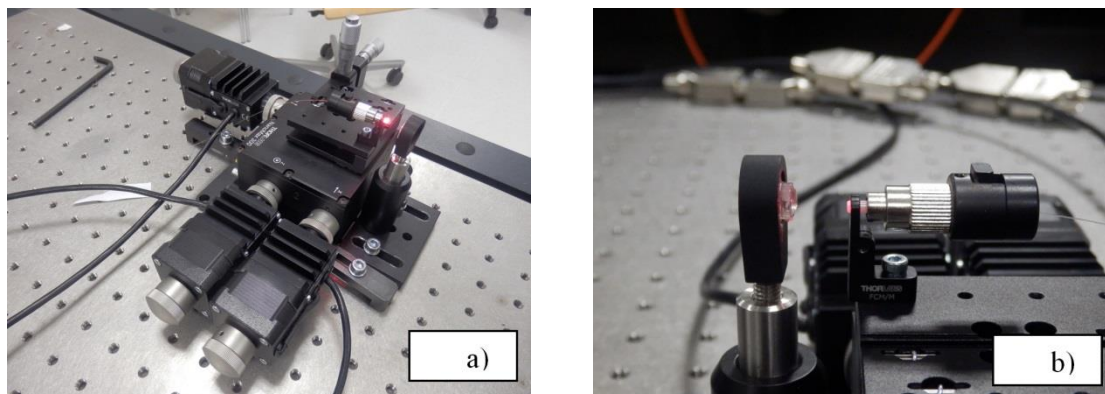


Obrázek 1: Zalomené vlákno procházející ferulí optovláknového FC konektoru.

Po navázání paprsku do vlákna a následném změření výstupního výkonu záření z vlákna jsme opět vypočítali účinnost každého z nich.

3. ZPŮSOB – VYUŽITÍ NASTAVITELNÉHO OPTOVLÁKNOVÉHO KOLIMÁTORU

Postup byl velmi podobný jako u předchozího způsobu. Jediným rozdílem bylo, že jsme namísto asférické čočky uchytili na montážní stojánek optovláknový kolimátor, který byl poté ručně pozicionován pro dosažení maximálního výstupního výkonu záření z vlákna. Nakonec jsme změřili výstupní výkon záření z vlákna a vypočítali účinnost u jednotlivých vláken.



Obrázek 2: Manipulátor použitý při experimentu a); detail asférické čočky a vlákna v konektoru b).

4.ZPŮSOB – VYUŽITÍ MIKROSKOPICKÝCH OBJEKTIVŮ

Počínali jsme si skoro stejně jako u předchozích dvou způsobů, místo asférické čočky či kolimátoru jsme však použili mikroskopické objektivy. Tento způsob jsme zkoušeli pouze u jednovidového optického vlákna. Použili jsme při něm tři objektivy s přiblíženími 10x, 20x, 45x a pětiosý nano/mikro-manipulátor. U každého objektivu jsme vždy změřili výstupní výkon z vlákna a vypočítali jeho účinnost.

Typ navázání	Výkon na vstupu v mW	Výkon na výstupu v dBm	Výkon na výstupu v mW	Účinnost v %
Optovláknový kolimátor (MMF)	6,37	- 2,25	2,09	32,7
Asférická čočka (MMF)	6,37	- 4,9	1,13	17,74
Pigtail (SMF)	10	1,4	4,83	48,3
Optovláknový kolimátor (SMF)	6,37	- 34,4	0,00622	0,1
Asférická čočka (SMF)	6,37	- 27,5	0,00127	0,02
Mikroskopický objektiv se zvětšením 10x (SMF)	6,37	- 31,75	0,00235	0,04
Mikroskopický objektiv se zvětšením 20x (SMF)	6,37	- 24,2	0,0133	0,2
Mikroskopický objektiv se zvětšením 45x (SMF)	6,37	- 30,5	0,0031	0,05

Tabulka 1: Porovnání vazeb; (MMF - Multi-Mode Fiber/mnohavidové vlákno, SMF - Single-Mode Fiber/jednovidové vlákno)

3 POSTUP VÝPOČTŮ

Vlnová délka záření laseru použitého při experimentech byla 633 nanometrů u helium-neonového laseru, respektive 635 nanometrů u polovodičového laseru. Použitý měřič optického výkonu byl ale kalibrován pro nejbližší vlnovou délku 780 nanometrů. Germaniový detektor použitý v měřiči má na 633 (635) nanometrech 3,5krát nižší citlivost než na 780 nanometrech. Pro dorovnání citlivosti měřiče optického výkonu budeme výsledek vždy násobit 3,5krát.

Jelikož měřič udává výkon v jiných jednotkách (dBm) než ve kterých jsou uvedeny výkony v tabulkách (mW), musíme je přepočítat pomocí vzorce

$$P(\text{mW}) = 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}, \quad (1)$$

jímž převedeme dBm na mW.

Účinnost poté vypočítáme vzorcem

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

kde P_1 je výkon na vstupu optického vlákna a P_2 je výkon na výstupu optického vlákna.

4 ZÁVĚR

Výsledky našeho projektu potvrdily, že je výrazně složitější navázat paprsek do jádra jednovidového vlákna, než je tomu u mnohavidového vlákna s širším jádrem.

Jak jsme předpokládali, tovární výroba u vlákna s pigtailem vyšla z měření nejlépe, ani u ní však nedosáhlo navázání účinnosti blížící se stu procentům. Z ručně navázaných vláken vyšla nejlépe vazba s kolimátorem u mnohavidového optického vlákna s účinností 32,7 %.

Nejhůře v našem pokusu dopadly vazby do jednovidových vláken, které jsme si představovali lepší.

Kvůli neúspěchu při navazování paprsku do jednovidového vlákna jsme se pokusili dosavadní výsledky vylepšit pomocí mikroskopických objektivů. U nich jsme sice dosáhli velkého zmenšení fokusovaného bodu záření, i přesto se však výsledky účinnosti neblížily výsledkům dosaženým u mnohavidového vlákna. Vzhledem k velmi malému průměru jádra jednovidového vlákna je nutné provést velmi přesné nastavení fokusovaného bodu vůči jádru. Dále je očividně rovněž nutné zajistit přesnou paralelní orientaci osy vlákna a osy svazku. Přesnost nastavení paralelní orientace byla ale v našem případě omezená, protože pro osy náklonu vlákna bylo použito manuální nastavení manipulátoru. Nikoli mnohem přesnější motorové jak pro osy x,y a z. Tato nepřesnost byla zřejmě důvodem dosažené nízké účinnosti. Pro její zlepšení je žádoucí osazení manipulátoru přesným motorizovaným nastavením náklonů manipulovaného objektu.

Nad rámec vytyčených cílů jsme změřili numerickou aperturu (dále NA) optických vláken, a ověřili jsme si tak parametry vláken uvedené výrobcem. NA jsme měřili u jednovidového i mnohavidového vlákna. Obě měření dopadla podle našich představ, i když u mnohavidového vlákna s větším počtem vidů nastaly menší problémy s interferenčním obrazcem, ve kterém měl každý vid jinou intenzitu, a nebylo tedy jednoduché docílit přesných výsledků. U jednovidového vlákna byla námi naměřená NA zhruba 0,13, přičemž výrobcem udaná hodnota byla v rozmezí 0,10 – 0,14, a u mnohavidového vlákna jsme naměřili 0,23, zatímco výrobce uvedl NA v rozmezí $0,22 \pm 0,02$.

REFERENCE

- [1] SENIOR, J. M.; JAMRO, M. Yousif. *Optical fiber communications: principles and practice*. Pearson Education, 2009.
- [2] Fiber Optic Coupling, Newport Corp Technical Note, dostupné online: <https://www.newport.com/resourceListing/technical-notes?facetName=ProductSection&q=%3Arelevance%3Aresourcecategory%3AOptics>, 11.3.2019.