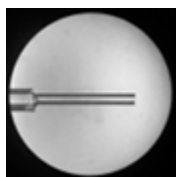


Spájanie optických vlákien

Tatarko Matúš · Elektrotechnika, Informačné technológie

25.03.2013



Tento príspevok je zameraný na opis jednotlivých druhov optických vlákien a možnostiach, ako ich spájať. Optické vlákna sa používajú na prenos širokopásmových signálov na dlhé vzdialenosti. Majú nízky útlm a výborné prenosové vlastnosti. Svetlo, teda informácia, sa šíri v jadre optického vlákna pomocou totálnych odrazov na rozhraní jadro plášť.

Optické vlákna, podobne ako ostatné prenosové média je potrebné spájať (spojky) respektíve ukončovať (konektory).

V úvode tohto článku budú podrobne popísané druhy jednotlivých optických vlákien a ich prenosové vlastnosti. Článok taktiež obsahuje informácie o možnostiach spájania optických vlákien s praktickými ukážkami. V závere sú spojené optické vlákna pripojené na optický reflektometer a zmerané útlmy jednotlivých spojov.

1. Úvod

Prenos informácie pomocou svetla je známy už veľmi dávno. Už v šiestom storočí p.n.l. existovali systémy, ktoré prenášali informácie pomocou ohňových (dymových) signálov. Výhodou takejto komunikácie už vtedy bola rýchlosť prenosu, ktorá je základom aj dnešných moderných systémov. Rýchlosť prenosu informácií v optickom prostredí je približne taká istá ako rýchlosť šírenia sa svetla vo voľnom prostredí. Rýchlosť svetla je závislá na indexe lomu prostredia v ktorom sa svetlo šíri. Vďaka týmto výhodám je využitie optických vlákien (OV) v telekomunikáciách najviac rozšírené. Obrovské výhody vláknovej optiky - kapacita, cena a bezpečnosť viedli k jej dramatickému rastu.

Optika bola rozmiestňovaná čoraz viac a viac v nových a rozmanitých prostrediach, zahŕňajúc chrbticové a nosné dátové prepravné siete, LAN siete, medzinárodnú podmorskú kabeláž, mestské prístupové body, distribučné siete a samotné ISP siete. Pôvodne boli optické siete navrhnuté iba pre siete poskytovateľov hlasových služieb, avšak dnes už optiku využívajú všetci poskytovatelia širokopásmových služieb [1,3]. Spájanie optických vlákien sa tak stalo nevyhnutnosťou. Existujú dva základné spôsoby spájania optických vlákien. Ide o jednorazový (nerozoberateľný) spoj, respektíve o rozoberateľný spoj pomocou konektorov. Každý spôsob má svoje výhody a nevýhody z hľadiska ich využitia [2,4].

Podľa využitia poznáme tri typy optických vlákien. Najčastejšie využívaným optickým vláknom v telekomunikáciách je jednojádrové optické vlákno so skokovým indexom

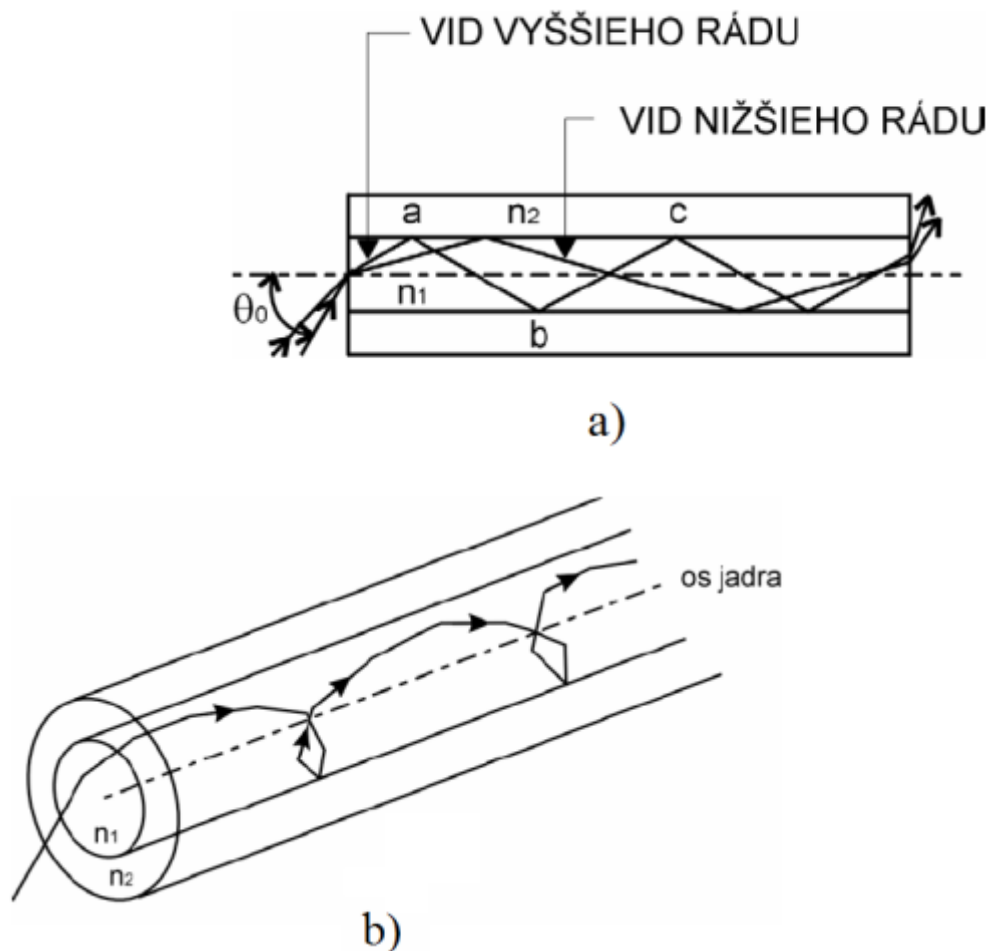
lomu. Ďalšími druhmi optických vlákien sú mnohovidové optické vlákna so skokovým a gradientným indexom lomu [3,4]. V kapitole 2 sú podrobne popísané jednotlivé typy optických vlákien. Tretia kapitola obsahuje informácie o možnostiach spájania jednotlivých optických vlákien s praktickými ukážkami. Štvrtá kapitola je venovaná kontrolným meraniam spájaných optických vlákien pomocou optického reflektometra. Závěry z meraní sú zahrnuté v piatej kapitole.

2. Optické vlákno

Optické vlákno je zložené z jadra a obalu. Jadro je valcového tvaru s priemerom niekoľko jednotiek až desiatok μm . Jadro je tvorené z materiálu, ktorého index lomu n_1 je väčší ako index lomu obalu optického vlákna označeného n_2 , ($n_1 > n_2$). Svetelné lúče šíriace sa v jadre môžu dopadať na rozhranie jadro - plášť pod rôznym uhlom. Vo vlákne sa môžu šíriť len také lúče, pre ktoré je uhol dopadu väčší ako kritický uhol. Kritický uhol Θ_c je daný vzťahom:

$$\Theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

Pri splnení podmienky totálneho odrazu na rozhraní jadro plášť sa tieto lúče môžu šíriť postupnými odrazmi. Lúče ktoré sa šíria v optickom vlákne môžeme rozdeliť do dvoch skupín: meridionálne a šikmé lúče. Meridionálne lúče sa šíria v rovinách, ktoré prechádzajú cez os vlákna dvakrát počas jednej periódy, Obr. 1a. Šikmé lúče neprechádzajú cez os vlákna ale šíria sa po špirálovej dráhe, Obr. 1b.



Obr. 1 Spôsob šírenia sa lúčov v optickom vlákne [1].

A. Typy optických vlákien

1) Mnohovidové optické vlákno so stupňovitým profilom indexu lomu (SI-MM)

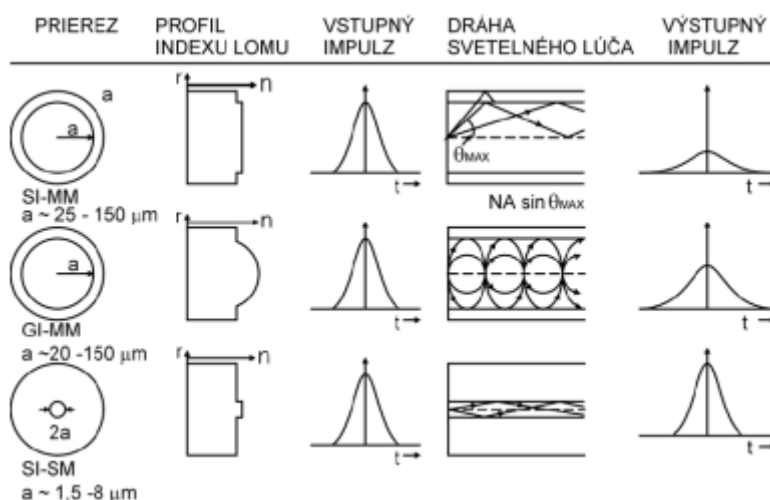
Tieto mnohovidové OV môžu byť vyrobené z mnoho zložkových skiel alebo z dopovaného kremenného skla. Tieto optické vlákna majú väčšie priemery jadra a tým umožňujú efektívne naviazanie aj nekoherentných zdrojov svetla, napríklad LED. Priemer jadra sa pohybuje v rozmedzí od 40- 400 μm . Priemer obalu môže byť 125- 500 μm a priemer ochranného obalu je rovnaký ako pre jednovidové vlákno.

2) Mnohovidové optické vlákno so spojitým profilom indexu lomu (GI-MM)

Mnohovidové OV so spojitým, teda gradientným, profilom indexu lomu môžu byť vyrobené z mnoho zložkových skiel alebo z dopovaného kremenného skla, podobne ako mnohovidové OV so stupňovitým profilom indexom lomu. Avšak sú vyrobené z čistejších materiálov a dokonalejšou technológiou ako mnohovidové stupňovité OV, a preto majú vo všeobecnosti lepšie vlastnosti. Tieto OV majú menší priemer jadra (30- 60 μm), hoci ich vonkajšie priemery sú rovnaké.

3) Jednovidové optické vlákno so stupňovitým profilom indexom lomu (SI-SM)

Jednovidové optické vlákna môžu byť stupňovité alebo gradientné. Vzhľadom na to, že prínos gradientného profilu indexu lomu nie je pre jednovidové optické vlákno tak význačný ako pre mnohovidové optické vlákno, sú súčasne komerčne dostupné jednovidové vlákna výhradne stupňovité. Sú to vysokokvalitné OV s veľkou šírkou pásma a sú vyrábané z dopovaného kremenného skla určené pre telekomunikačné účely. Aj keď priemer jadra je malý (3-10 μm), priemer obalu musí byť približne desaťnásobok priemeru jadra. Priemer ochranného obalu je porovnateľný s priemerom obalu mnohovidových vlákien (250 - 1000 μm). Spomínané OV a ich profily indexu lomu sú zobrazené na Obr. 2.



Obr. 2 Druhy optických vlákien [1].

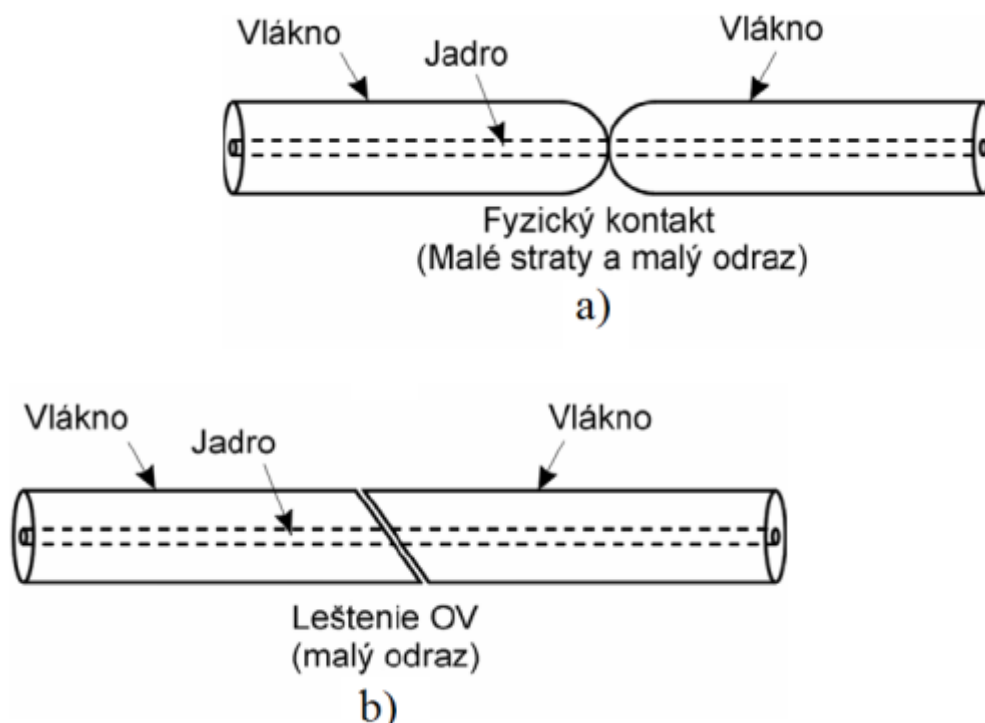
3. Spájanie optických vlákien

A. Konektory

Konektory sú ľahko ručne rozoberateľné spoje optického vlákna. Sú určené na vytvorenie dočasného spojenia vlákien. Optické konektory sa klasifikujú podľa počtu súčasne prepájaných OV. Zvyčajne sa používajú jednovláknové konektory. Mnohovláknové konektory sa používajú na prepojenie plochých (pásikových) optických káblov. V 2D konektoroch je možné polohovanie optického vlákna v dvoch smeroch. Z tohto hľadiska sú pre ploché optické káble určené 1D konektory. Používajú sa vo vnútri budov, ale aj v prepojovacích šachtách umiestnených vo vonkajšom prostredí.

Na konektory sú kladené tieto hlavné požiadavky: jednoduchá manipulácia, rozoberateľnosť, opakovateľnosť spojenia bez zníženia väzobnej účinnosti a odolnosť voči klimatickým vplyvom. Výroba konektorov je veľmi náročná, je potrebné dodržiavať veľmi malé tolerancie jednotlivých dielov, a preto sú vo všeobecnosti konektory veľmi drahé. Koncové plochy spájaných OV musia byť kvalitné [4].

Obyčajné konektory sú zvyčajne suché, čo znamená, že medzi spájané OV sa neumiestňuje žiadny iný materiál. Takýmto typom konektorov sú konektory so vzduchovou medzerou. Tieto konektory majú odraz v rozmedzí -15 až -30 dB, čo je pre niektoré aplikácie nedostatočné. Kontakt OV v konektore pri ktorom sú spájané OV bez vzniku štrbiny sa nazýva fyzický kontakt (Obr. 3a). Takýmto spôsobom je možné získať odraz -45 dB. Druhá technológia využíva šikmý leštený kontakt na spojenie OV čím sa dosahujú nízke odrazy (-60 dB), Obr. 3b. Takýto konektor má však vo všeobecnosti väčšie straty ako obyčajný konektor. Pri použití tzv. mokrých metód, t.j. s použitím imerzných gélov alebo olejov sa dosahujú nižšie odrazy (-45 až -70 dB). Ich použitie je však nepraktické [2,3].



Obr. 3 Typy kontaktov OV pri konektoroch [1].

Zástrčky konektorov môžu byť vyrobené z rôznych materiálov: z kovu, keramiky, plastu, kremeňa, skla alebo ich kompozitov. V súčasnosti je veľmi obľúbená metóda precízneho odlievania zástrčiek optických konektorov z plastu. Metóda je dostatočne presná, ekonomická a vhodná pre hromadnú výrobu [1].

B. Spojky

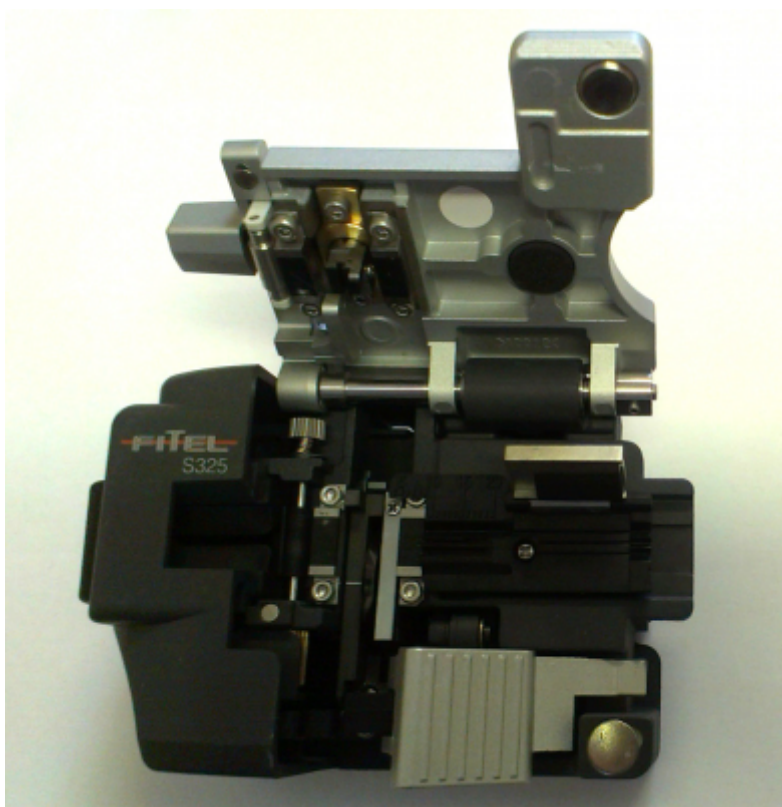
Optické vláknové spojky slúžia na vytvorenie trvalého, nerozoberateľného spojenia dvoch OV. Využívajú sa najmä na vytvorenie dlhších trás z kratších optických káblov. Tieto spoje OV zostávajú natrvalo počas života optického vláknového komunikačného systému a nevyžaduje sa ich opätovné rozpojenie. Spojky je možné rozdeliť do dvoch skupín: mechanické a zvárané spojky [1,2,3].

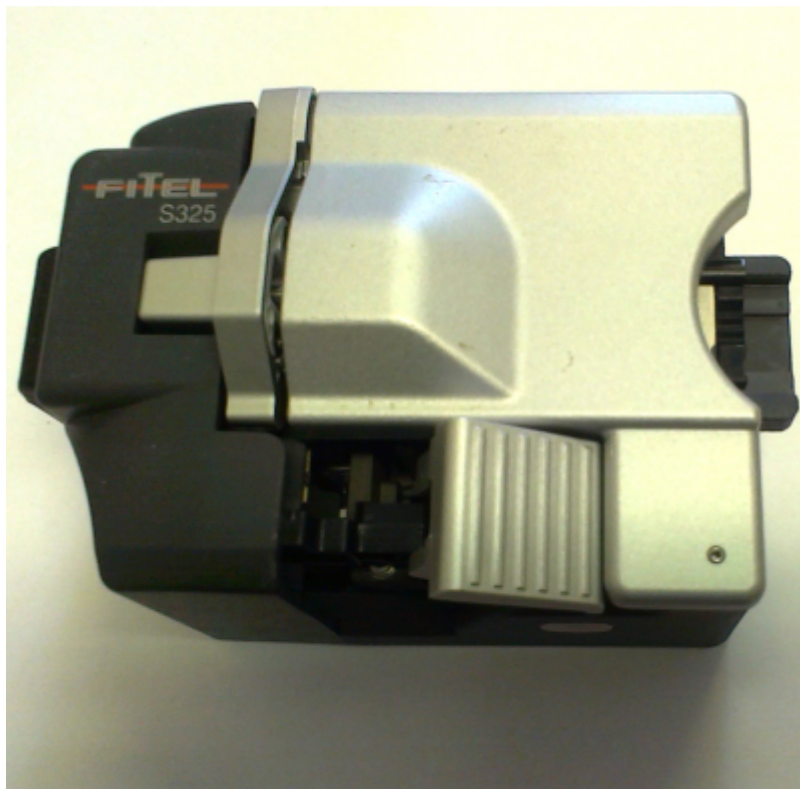
1) Mechanické spojky

Sú to nerozoberateľné spojenia OV vytvorené rôznymi metódami. Sendvičová spojka vzniká vložением OV do „V“ drážky vo vhodnej podložke, zaliatím epoxidovým lepidlom a prikrytím platničkou. Podložky sú väčšinou vyrábané zo silikónu, kovu, plastov, skla alebo keramiky. Dôležité je, aby koeficient teplotnej rozťažnosti optického vlákna a materiálu spojky boli podobné. Sendvičové spojky s „V“ drážkou sa často využívajú pre hromadné spájanie optických káblov. Spomínané spojky je možné rozdeliť na mechanické a lepené spojky. Súdržnosť mechanických spojok sa dosahuje mechanickou silou a použitím vhodnej pružiny. Súdržnosť lepených spojok sa dosahuje použitím vhodného lepidla [1,3].

2) Zvárané spojky

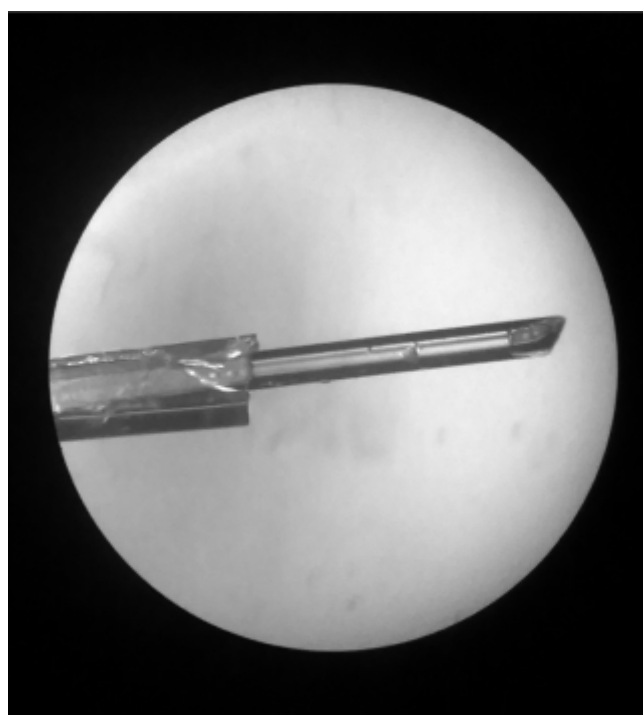
Zvárané spojky sú vytvárané ohriatím (elektrickým oblúkom, CO2 laserom, plameňom a podobne) vhodne opracovaných koncov optických vlákien. Optické vlákna musia byť očistené isopropyl alkoholom a konce OV zarovnané použitím špeciálnej rezačky na optické vlákna (Obr.4).



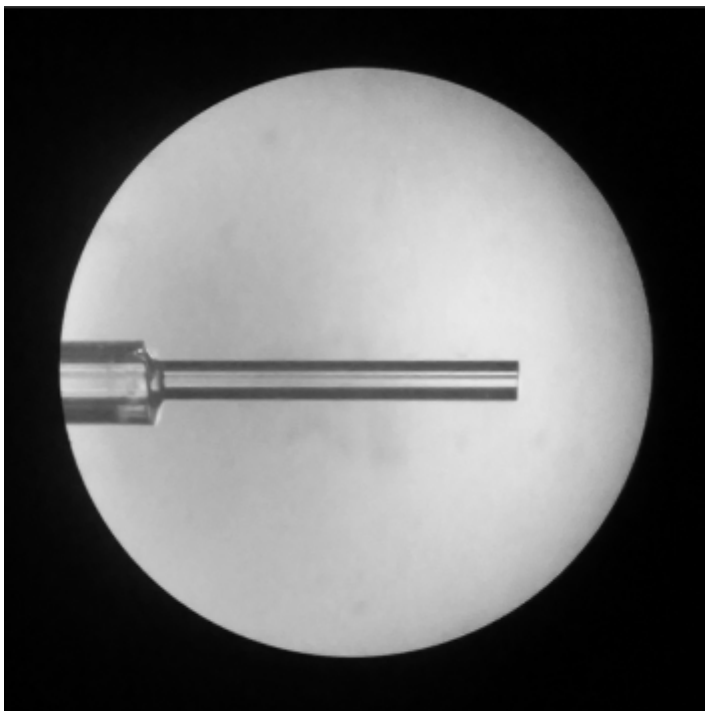


Obr. 4 Rezačka na OV.

Na Obr. 5a je znázornené zalomené OV v rukách a na Obr. 5b pomocou spomínanej rezačky.



a)



b)

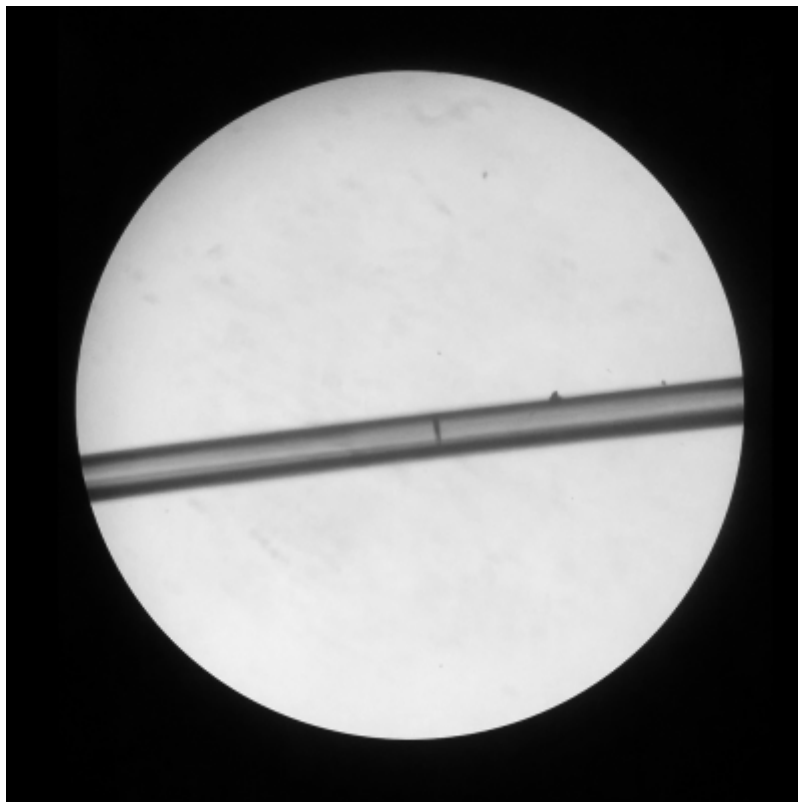
Obr. 5 Zalomené OV v rukách a pomocou rezačky

Najčastejšie sa zvárané spojky vytvárajú použitím elektrického oblúku. Existujú zváracie prístroje, ktoré dokážu automaticky zmerať parametre realizovného zvaru (napr. vložené tlmenie) Obr. 6.



Obr. 6 Zvárací prístroj FITEL S 178.

Na Obr. 7 je zobrazený zvar optických vlákien pod mikroskopom. Tento zvar je možné vidieť len pri určitom nasmerovaní svetla, pretože kolmo na zvar nie je vidieť žiadne zmeny na vlákne.



Obr. 7 Zvar optického vlákna.

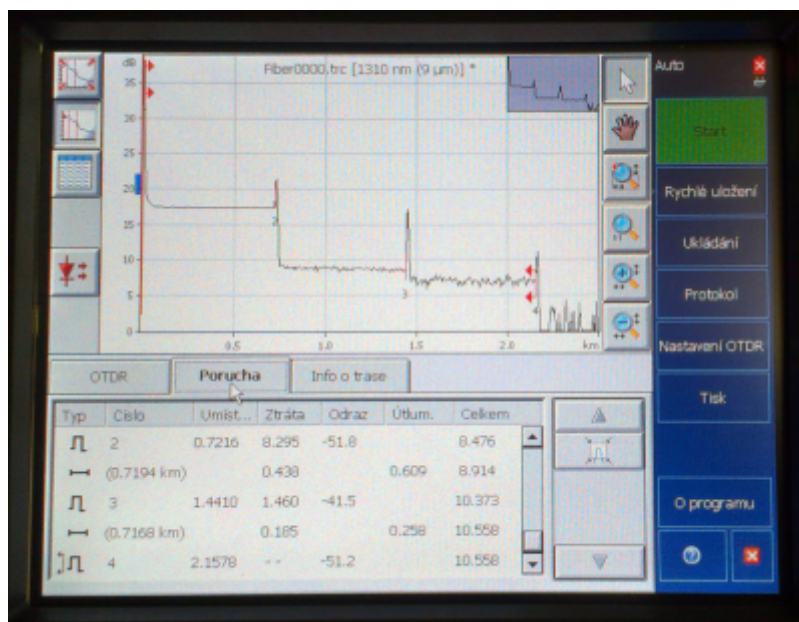
4. Meranie tlmenia optického vlákna

Na meranie tlmenia optického vlákna pomocou optického reflektometra bol použitý optický kábel značky Siemens o dĺžke cca 700m. Optické vlákna v tomto kábli sú v corning kazete spojené tak, aby tvorili celkovú dĺžku trasy cca 2100 metrov. Optické vlákna boli spojené zváraním pomocou elektrického oblúku a pomocou optického reflektometra vieme zistiť presné vzdialenosti jednotlivých zvarov od začiatku optického vlákna. Taktiež nám vyhodnotí veľkosť vloženého tlmenia spôsobeného zvarom. Na Obr. 8 je znázornené meranie pomocou optického reflektometra.



Obr. 8 Meranie OV pomocou optického reflektometra.

Z Obr. 9 vieme presné zistiť vzdialenosti, v ktorých došlo k spojeniu jednotlivých optických vlákien. Na prvom metri je vidieť najväčší útlm spôsobený pripojením reflektometra k meranému OV pomocou konektora. Ďalej je možné vyčítať, že vlákno bolo zvarené vo vzdialenosti 721,6 m, 1441 m. Vo vzdialenosti 2157,8 m je koniec meraného optického vlákna.



Obr. 9 Výstup merania.

Záver

Tento článok obsahuje základné informácie o optických vláknach, ich spájaní a meraní vloženého tlmenia. V úvode sú popísané základné informácie a delenie optických

vlákien ako aj možnosti ich spájania. Článok sa venuje praktickým ukážkam ako spájať optické vlákna zvaraním pomocou elektrického oblúku. Taktiež obsahuje obrazovú dokumentáciu, ktorá prispieva k lepšiemu pochopeniu jednotlivých krokov. Spájanie optických vlákien zvaraním, je jedna z najčastejšie využívaných metód v súčasnosti. Keďže je v praxi možné vyrábať OV len v určitej dĺžke, je spájanie týchto optických vlákien nevyhnutné. Pomocou optického reflektometra je možné zistiť akékoľvek nehomogenity na OV, a teda okrem zvarov aj iné poškodenie resp. prerušenia.

Použitá literatúra

1. J. Turán: Optoelektronika, Harlequin, ISBN: 80-89082-01-7, 2002.
2. D. Pribišan: Základy vláknovej optiky, marec 2011, Dostupné na internete: www.pribisan.sk
3. G.P. Agrawal: Fiber-Optic communication systems, John Wiley&sons, inc. ISBN: 0-47-22114-7, 2002
4. M. Dado, I. Turek, J. Štelina, L. Bitterer, S. Turek, E. Grolmus a P. Stibor: Kapitola z optiky pre technikov, EDIS, ISBN: 80-7100-390-5, Žilina, 1998

Spoluautorom článku je Tomáš Harasthy, Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
