

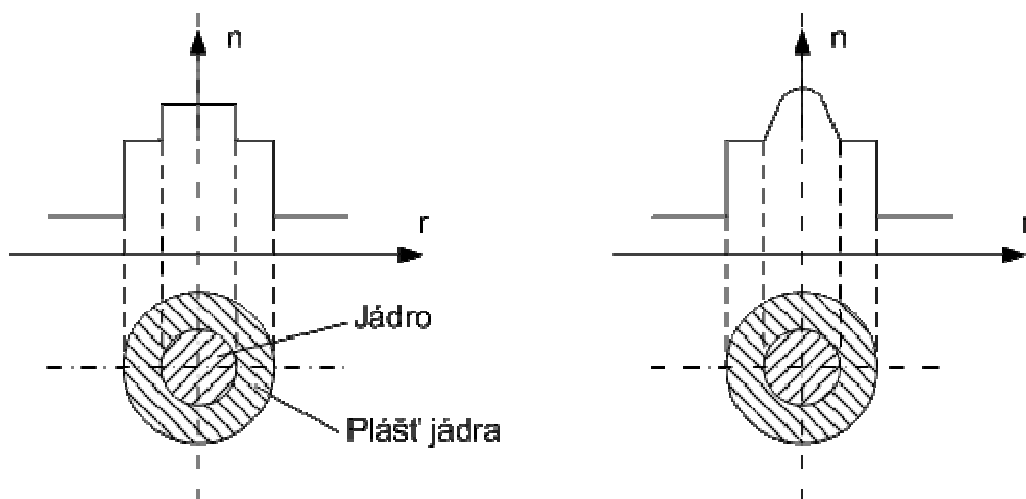
UKONČOVÁNÍ OPTICKÝCH VLÁKEN KONEKTORY

1. Rozdělení a provedení optických vláken (OV)

Prvořadým hlediskem, podle něhož jsou světlovodná vlákna rozdělena do třech skupin a které ovlivňuje jejich konstrukční provedení a předurčuje též vlastnosti i cenu, je materiál, z něhož jsou vyrobena.

1. Nejvíce rozšířenou skupinou jsou optická vlákna celokřemenná, mající jádro i plášť z ultračistého a maximálně čírého SiO_2 . Malé množství přesně definovaných nečistot je do skla přidáno za účelem dosažení požadované velikosti indexu lomu n . Tyto nečistoty, spolu s těmi, které zůstaly ve skle i po jeho náročném vyčištění, způsobují rozptyl a absorpci energie. Celokřemenná vlákna mají dominantní postavení v komunikačních a datových sítích. V rámci této laboratorní úlohy je náš zájem soustředěn jen na tento druh vláken.
2. Vlákna PCS (Plastic-Clad Silica) mají jádro křemenné, plášť je z plastu. Nemají kvalitu celokřemenných vláken, ale jejich použití v praxi není zanedbatelné.
3. Třetí skupinu tvoří plastová vlákna. Mají jádro i plášť z plastu a jsou používána tam, kde je výhodou jejich nízká cena a kde nevádí vysoký útlum a malá šířka kmitočtového pásma.

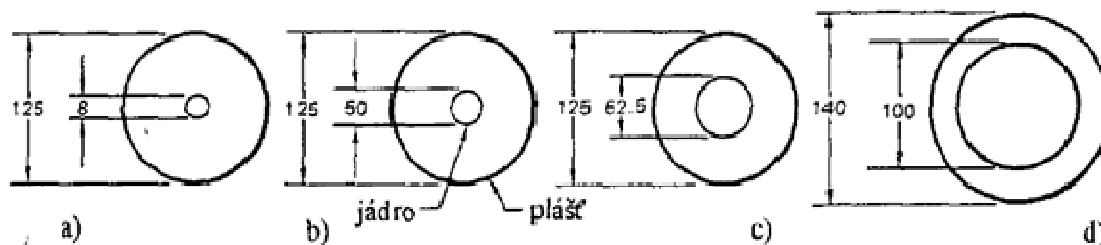
Druhým důležitým hlediskem, podle něhož se vlákna rozdělují, je průběh indexu lomu n v jádře vlákna. Rozhoduje především o přenosových vlastnostech vláken a tím o jejich praktickém využití. Nejjednodušší typ optického vlákna je znázorněn na obr. 1a. Má průměr jádra 50 až 100 μm a skokovou změnu indexu lomu n v radiálním směru svého průřezu. Jde o vlákno *vícevidové* (multimode step index fiber), jehož hlavní nevýhodou je velká disperze signálu. V současné době je používáno jen omezeně. Podstatného zlepšení přenosových vlastností se dosáhne úpravou velikosti n v oblasti jádra vlnovodu např. tak, jak je znázorněno na obr. 1b. Tím získáváme *gradientní vlákno* (multimode graded index fiber) s výrazně menší disperzí signálu. Pokud se dnes mluví o multimódovém vlákne (zkratka MM), bez dalšího upřesnění, míní se tím s velkou pravděpodobností právě tento typ vlákna.



Obr. 1 Průběh indexu lomu n u optického vlákna
a) s jednoduchou dvouvrstvou strukturou, b) gradientního

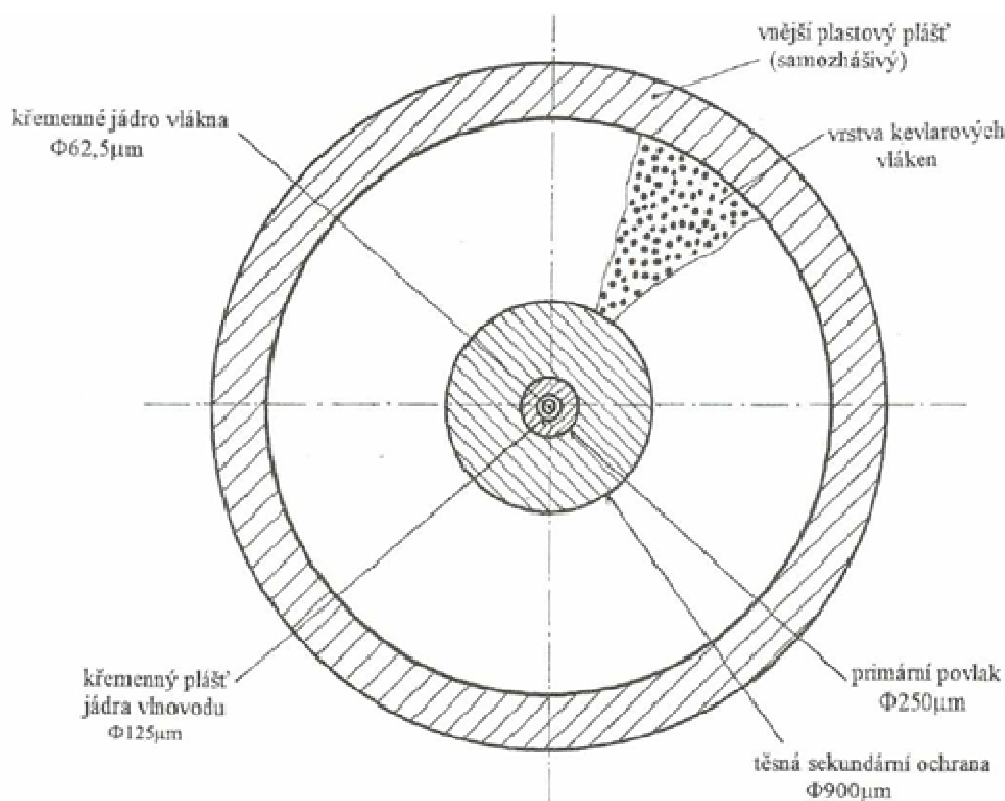
Jestliže průměr jádra světlovodu je menší než $10\text{ }\mu\text{m}$, je splněna kritická podmínka pro šíření jen jediného elektromagnetického vidu. Takové vlákno se nazývá *jednovidové* (single-mode) a jeho přenosové vlastnosti jsou vynikající (malý útlum, velká šíře pásma). Pro singlemodové vlákno se používá zkratka SM.

Velikosti průměrů jádra a pláště nejčastějších typů optických vláken jsou zachycené na obr. 2.



Obr. 2 Typické rozměry optických vláken a) jednovidových, b) až d) vícevidových

Optické vlákno jako základní díl jednováknového kabelu s nímž budeme pracovat je na obr. 3.



Obr. 3

Z něj je zřejmé, že křemenné vlákno s vnějším průměrem $125\text{ }\mu\text{m}$ je ochráněno dvěma izolačními vrstvami - primární ($D = 250\text{ }\mu\text{m}$) a sekundární ($D = 900\text{ }\mu\text{m}$). Ty je třeba před zasunutím do konektoru odstranit.

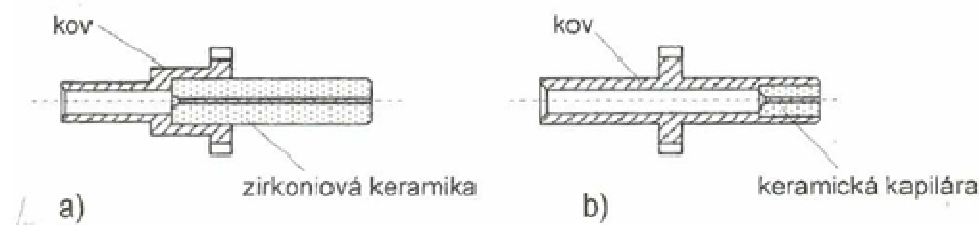
2. Optický konektor

je výrobek, který je nutno použít je-li třeba:

- konec OV zabrousit resp. zaleštit,
- spojit dvě vlákna mezi sebou rozpojitelným spojem ,
- připojit OV k přístroji

2.1 Základní díl optického konektoru

Nejdůležitější, výrobně nejnáročnější a též nejdražší, částí každého vláknového konektoru je jeho vnitřní válcovitý díl, zvaný *ferrule*. Úkolem ferrule je udržovat samotné optické vlákno, zbavené vnější izolace i ochranného povlaku, jednak přesně ve své ose, jednak v neměnné axiální poloze, kdy se konec vlákna nachází přesně v ploše jejího čela. Podélný osový otvor má přesně definovaný průměr, v rozmezí kolem 125 μm s malou kladnou tolerancí. Při výrobě, která je víceméně tajena, se dbá nejen na velikost průměru otvoru, ale také na jeho minimální excentricitu vůči vnější válcové ploše. Nejčastějším materiálem ferrule je zirkoniová keramika. Používají se též ferrule celokovové, kovové s vnitřním keramickým vyložení nebo plastové. Dva případy konstrukčního řešení jsou na obr. 4.

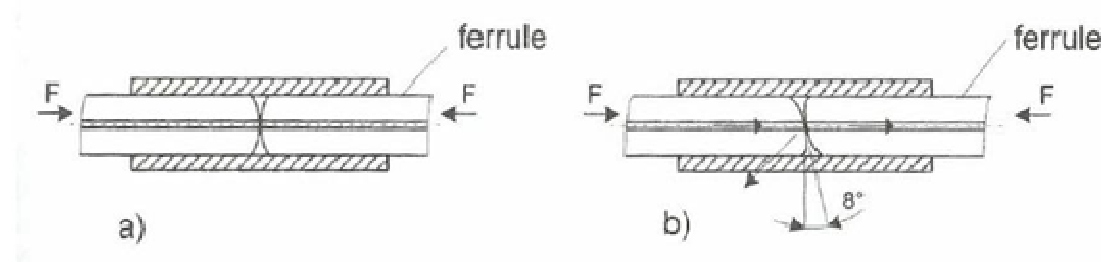


Obr. 4 Ferrule vláknového konektoru a) keramická, b) kombinovaná

Nejkvalitnějším a také nejčastějším způsobem upevnění optického vlákna v podélném osovém otvoru ferrule je jeho *zalepení* vhodnou *epoxidovou pryskyřicí*. Po jejím vytvrzení se musí čelní plocha ferrule vždy zabrousit a zaleštit. Vytvrzená epoxidová pryskyřice tento proces umožňuje.

Při spojování optických vláken, zakončených konektory, např. pomocí spojek, jsou čelní plochy ferrulí ve vzájemném mechanickém dotyku, který je udržován silou 8 až 12 N. Tuto sílu dodává vždy pružina, uložená mezi vnějším pouzdrem konektoru a jeho vnitřním dílem tj. ferrulí.

Za účelem dobrých přenosových vlastností vláknových spojů (malé ztráty v přímém i zpětném směru) je třeba koncové čelní plochy konektorových ferrulí dobře zabrousit a následně vyleštit. K tomu slouží jednoúčelová zařízení - leštičky, které umožňují upravovat současně i větší počet konektorů. Tato zařízení dokáží zabrousit čelní plochu ferrule konvexně (obr. 5a), což vede k lepším přenosovým vlastnostem než u běžného plochého zabroušení. Takto upravené konektory se označují PC (Physical Contact). Ještě dalšího zlepšení (např. snížení zpětných ztrát pod 60 dB) se dosahuje broušením pod úhlem 8° nebo 9° (obr. 5b). Tento způsob se uplatňuje u jednovídrových vláken a konektory takto upravené se označují APC (Angled Physical Contact).



Obr. 5 Úprava čela ferrule

a) technologie PC, b) technologie APC

K zabrušování konce ferrule bychom rádi uvedli ještě následující vysvětlení. Příčinou nežádoucí energie, šířící se ve zpětném směru, jsou Fresnelovy odrazy, vznikající na rozhraní sklo-vzduch a vzduch-sklo v případě, že je mezi konci vláken přítomná vzduchová štěrbina. Tato štěrbina vzniká téměř vždy u plochého ukončení vláken. Zaokrouhlením konců ferrulí a tím konců vláken, může být zpětná energie snížena z -11 dB až pod -30 dB. Podstatou této významné redukce úrovně zpětné energie jsou následující dva faktory:

- Fyzický kontakt vláken vylučuje základní předpoklad pro Fresnelův odraz, což je existence dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vznikají jen méně významné odrazy, způsobené rýhami ve skle a rozdílnými vlastnostmi vláken.
- U zaoblených konců vláken se nemůže světlo odrážet přímo zpět do osy vlákna, ale odráží se zpět pod určitým úhlem (dle Snellova zákona) a tedy většinou mimo jádro, které je spojené se zdrojem.

Zaoblením konců vláken (ferrulí) se tedy zpětné záření nejdříve omezí a pak se jeho nižší úroveň ještě rozptýlí. Tento druhý příspěvek ke snížení odražené energie do vlákna se dále sníží tím, že je zaoblení realizováno pod určitým malým úhlem (označení APC).

Ne vždy musí být konektorový spoj proveden technologií PC. Tak například u vícevidových vláken, která nejsou buzena laserovou diodou, můžeme dosáhnout poměrně dobrých přenosových vlastností i pomocí kolmého plošného zábrusu čela ferrule. K tomu není třeba drahá leštička, stačí jednoduchý pomocný přípravek, zabrušovací fólie a ruční postup. Tato možnost bude také v laboratoři katedry využita.

Do tohoto okamžiku jsme předpokládali, že vlákno bylo v osovém otvoru ferrule upevněno zalepením, pomocí epoxidové pryskyřice, a potom byl jeho konec, spolu s ferrulí, zabroušen a zaleštěn. Takový postup je pro trvalý a kvalitní spoj předpokládán téměř automaticky. V praxi však vznikají momentální situace, kdy není zalepování a zabrušování potřebné, protože je např. časově náročné a vadí skutečnost, že konektor nelze od zalepeného vlákna oddělit a znovu použít. Jedná se např. o krátkodobé vytvoření spoje u něhož nevadí i větší vložný útlum, důležitá je doba realizace a nedestruktivní rozpojitelnost. Taková situace může nastat např. v okamžiku, kdy bylo položeno vedení a je třeba jeho konce kvalitně ukončit. Před tím je ovšem třeba provést kontrolu, zda vedení nebylo při ukládání nějak porušeno např. zlomeno. Kontrolu lze provést vhodným přístrojem, který určí délku vedení (přibližně ji zpravidla známe) na základě odrazu vyslaného impulzu nebo na základě měření útlumu. Optické vlákno je však třeba s přístrojem propojit. Pro tyto případy jsou k dispozici tzv. *rychlókonektory*, u nichž se vlákno nelepí, ale upevňuje mechanicky různými způsoby. Jeho konec se také nezabrušuje, ale ukončuje se *zalomením*. K tomu je třeba použít safírový nebo alespoň tvrdokovový nástroj a mít s touto technologií určitou praktickou zkušenost. Zalomený konec vlákna však nikdy nedosáhne kvality zabroušeného a zaleštěného konce vlákna. Rychlókonektory se vyrábějí pro všechny typy konektorů a jsou oproti běžným konektorům opakovaně použitelné.

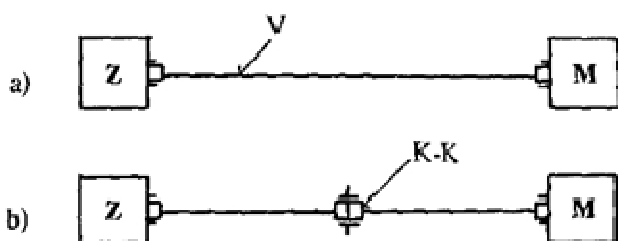
3. Vložný útlum konektoru a jeho měření

3.1 Význam vložného útlumu

Každý konektorový spoj, realizovaný u světlovodného vedení, způsobuje určitou ztrátu zářivé energie, která se šíří od zdroje k přijímači. Tato ztráta se označuje pojmem *vložný útlum* a je závislá na řadě faktorů. U konektorového spoje můžeme dosáhnout malého útlumu, jen při použití kvalitního vlákna i konektoru a také při zcela odborné a pečlivé aplikaci konektoru. Vložný útlum je kvalitativním parametrem konektorů a proto je v katalogích udávána jeho číselná velikost v dB pravidelně (pod označením Insertion loss nebo Connection loss).

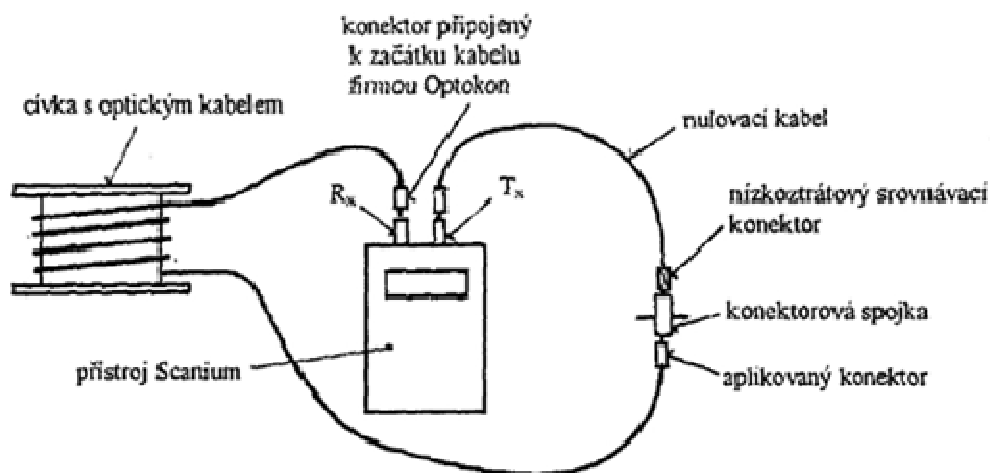
3.2 Přímé měření vložného útlumu

Vložný útlum je úbytek zářivého výkonu, který nastává na konektorovém spoji. Nejjednodušším způsobem ho můžeme stanovit ze dvou měření tohoto výkonu, jak nabízí obr. 6. V prvním kroku měření (obr. 6a) je zdroj záření Z propojen s měřičem zářivého výkonu M optickým vláknem V a je naměřen výkon P_o . Nyní přerušíme vlákno a vytvoříme konektorový spoj K-K (obr. 6b). Při stejných podmínkách na vysílací straně je pak, v druhém kroku měření, změřen na přijímací straně výkon P_k . Vložný útlum konektorového spoje je dán rozdílem $P_o - P_k$.



Obr. 6 Princip stanovení útlumu konektorového spoje z dvojího měření prošlého výkonu

I když uvedený popis vystihuje dobře podstatu měření i fyzikální význam vložného útlumu, není návodem k přesnému kopírování. Tak např. nelze předpokládat, že by v běžné praxi bylo možné, pro každý měřený konektor, „obětovat“ spojovací kabel mezi Z a M. Naopak je třeba ohodnotit konektor, připojený ke kabelu již uloženému nebo připravenému k instalaci. Také je vhodnější použít přístroj, který sám vyhodnocuje rozdíl výkonů a poskytuje již přímo číselný údaj útlumu. Takovým přístrojem je přístroj Scanium, české firmy Dator 3. Je ovládán mikroprocesorem a obsahuje v jednom pouzdře jak zdroj záření (vysílač) tak měřič výkonu (přijímač). Postup měření je jednoduchý a pozůstává v zásadě ze třech následujících bodů.



Obr. 7 Znáznornění postupu měření vložného útlumu konektoru přístrojem Scanium

1. Nulování

U přístroje propojíme pomocným (nulovacím) kablíkem výstup vysílače T_x se vstupem přijímače R_x a údaj přístroje vynulujeme.

2. Zapojení vlákna s přilepeným konektorem

Na přijímací straně přístroje (konektor R_x) odpojíme nulovací kablík a pomocí optické spojky k němu do serie připojíme, (podle obr. 7), přilepený a zabroušený konektor, včetně světlovodného vlákna, navinutého na cívce. (Útlum vlákna zanedbáváme).

3. Odečtení útlumu

Po vyvolení položky "Měření útlumu", získáme číselný údaj v dB, který přísluší konektorovému spoji. Ten pozůstává z konektoru nulovacího kabelu, konektorové spojky a konektoru měřeného.

Vložný útlum aplikovaného konektoru stanovíme za předpokladu, že konektor nulovacího kabelu i konektorová spojka mají vyšší kvalitativní třídu (tzv. master plug, resp. master adapter). Tak např. u tohoto konektoru musí být vyosení jádra u ferrule pod $0,5 \mu\text{m}$, vnější průměr ferrule je $\phi = 2499 \pm 0,5 \mu\text{m}$ atd. Konektor je zvláště pečlivě zabroušen a zaleštěn ve specializovaném podniku, je interferometricky proměřen a průběžně je jeho kvalita kontrolována. Jedná se o srovnávací standard. Jeho vložný útlum je, vůči měřenému konektoru, zanedbatelný.

4. Postup při aplikaci konektoru

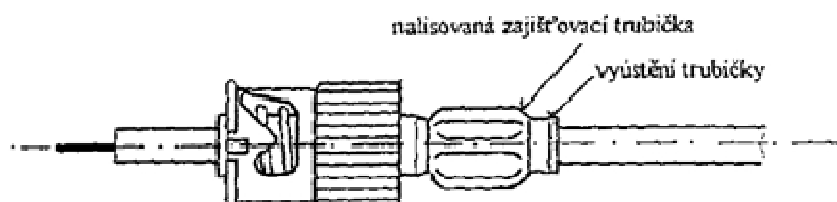
4.1 Technologie zalepení a zabroušení vlákna

Popíšeme si způsob kvalitního ukončení světlovodného kabelu $\phi 3 \text{ mm}$ optickým konektorem typu ST, který budeme realizovat v laboratoři katedry. Popisovaný způsob bere v úvahu zkušenosti z praxe a dodržuje posloupnost technologických kroků, zavedenou v profesionální výrobě. Rozdíl bude jen v tom, že pro zabroušení a zaleštění konektoru nebude použita speciální strojní leštička, ale konektor se zalepeným vláknem bude zabroušen ručně tak, jak to realizují profesionálové v individuálních případech pomocí montážní soupravy. Proto si také nemůžeme klást za úkol, ukončit konektor konvexně (způsob PC). Použit bude optický kabel s jedním MM vláknem $62,5/125 \mu\text{m}$, jehož řez je uveden na obr. 3.

Hlavní kroky postupu jsou:

1. Nasunutí gumové vývodky a kovové zajišťovací trubičky na neodizolovaný kabel.
2. Odstranění vnějšího plastového pláště a zachycení kevlarových vláken

3. Odstranění obou ochranných vrstev optického vlákna - vrchního ochranného (buffer) pláště a primárního ochranného povlaku.
4. Naplnění zahřátého konektoru lepidlem. (Před začátkem práce byl konektor vložen do pícky s teplotou cca 80 C).
5. Vsunutí vlákna do konektoru
6. Převlečení zajišťovací kovové trubičky a její zamáčknutí (obr.8) na válcové vyústění konektoru zamačkávacími (krimpovacími) kleštěmi. Tím jsou kevlarová vlákna pevně spojena s konektorem.



Obr. 8

7. Vložení konektoru do pícky (80° C) na 20 min. za účelem urychlení vytvrzovacího procesu lepidla.
8. Broušení a leštění konce vlákna (čela ferrule) na třech brusných fóliích s různou (zmenšující se) velikostí brusného zrna.
9. Kontrola zaleštěného čela ferrule pod mikroskopem.
10. Měření vložného útlumu (viz Obr.7)

4.2 Technologie zalomení konce vlákna

V tomto případě použijeme jen samotné optické vlákno s nezbytnou mechanickou ochranou, prostředkovanou primárním povlakem a sekundárním ochranným (buffer) pláštěm. Jinak se jedná o stejný typ vlákna jako v předcházejícím případě, tzn. vícevidové gradientní vlákno s průměrem 62,5/125 μm .

Pro zajištění vláknového spoje bude použit rychlokonektor, který fixuje vlákno pomocí V-drážky. Postup lze rozdělit do pěti následujících kroků:

1. Odizolování vlákna
2. Zalomení vlákna tak, aby délka holého konce zůstala min. 12 mm. Použijme nůž se safírovým břitem.
3. Vsunutí vlákna do rychlokonektoru a jeho upevnění v drážce. Konec vlákna se musí dotýkat kovového dna pomocné čepičky, nasunuté na čelo ferrulky.
4. Kontrola pod mikroskopem. Konec vlákna musí být v rovině čela konektorové ferrule.
5. Případné měření vložného útlumu stejným způsobem jako u konektoru zabrušovaného.

5 Zadání úkolu

- a) Realizujte zakončení optického kabelu, jehož opticky vodivým prostředím je křemenné vícevidové vlákno 62,5/125 μm , pomocí konektoru typu ST a techniky zabrušování. Po zabroušení vlákna změřte vložný útlum konektoru.
- b) Zakončete světlovodné vlákno 62,5/125 μm technikou zalomení a po vsunutí do rychlokonektoru prohlédněte čelo vlákna pod mikroskopem.