

Martin Hájek, Maciej Kucharski



Anotace: Článek se zabývá citlivostí jednovidových optických vláken na ohyby a přínosem měření na vlnové délce 1625 nm k možnostem jejich diagnostiky a lokalizace na optických trasách.

Klíčová slova: OHYB JEDNOVIDOVÉHO VLÁKNA, PRŮMĚR VIDOVÉHO POLE, VLNOVÁ DÉLKA, CITLIVOST NA OHYBY

1) Ohyb a jeho vliv na útlum optického vlákna

Jednou z důležitých vlastností optických vláken je jejich citlivost na ohyby, která se projevuje nárůstem útlumu vlákna. Tato vlastnost je důležitá jednak z hlediska zvýšení vlastního útlumu optické trasy, ale ještě důležitější je tento jev z hlediska detekce a lokalizace potenciálních poruch na vlákně - jelikož v místě ohybu je optické vlákno daleko náchylnější na poškození.

Ohyby můžeme rozdělit na mikro- a makro- ohyby. Mikroohyby, které mají poloměr křivosti srovnatelný s vlnovou délkou optického záření, jsou poruchy přímočarosti osy světlovodu a vznikají již při výrobě vlákna a pak dále také v optickém kabelu působením okolních elementů na vlákno. Amplituda mikroohybů bývá okolo 1 mm a opakovací perioda délky jednotek a desítek mm. Jelikož se mikroohyby vyskytují po celé délce optického vlákna, mohou výrazně ovlivnit jeho útlum. Jejich výskyt je náhodný a zkoumáme je statistickými metodami.

Makroohyby s průměrem ohybu větším (mm, cm) vznikají běžně při práci s optickými vlákny např. v optických rozvaděcích a spojkách, kde je třeba dbát na průměr ohybu vláknových rezerv. Vlákno optické trasy by nemělo být nikde vystaveno ohybu o menším průměru než 60 mm. Jedním z důvodů měření optických tras je právě nalezení takovýchto nadměrných ohybů vzniklých při montáži trasy a právě touto problematikou bychom se chtěli zabývat.

Velikost útlumu optického vlákna způsobeného ohybem závisí obecně v první řadě na velikosti průměru ohybu, kterému je vlákno vystaveno. U jednovidových vláken (SM) se ale zásadním způsobem uplatňuje také konstrukce optického vlákna: zejména průměr vidového pole vlákna, a dále rozdíly indexů lomu jádra a pláště vlákna a profil indexu lomu ve vlákně [1].

Průměr vidového pole klíčovým způsobem ovlivňuje ohybovou citlivost vlákna. V zásadě platí, že čím je průměr vidového pole větší, tím je vlákno na ohyby citlivější - vid se šíří ve vlákně více „roztážen“ a snadněji se jeho energie v místě ohybu vyvazuje z vlákna ven.

Velikost průměru vidového pole vychází z konstrukce optického vlákna (průměr jádra vlákna, rozdíly indexů lomu jádra a pláště) a také - což je z hlediska měření optických tras zvláště významné - je jeho velikost výrazně závislá na vlnové délce signálu.

Lze říci, že průměr vidového pole (MFD) roste při zvětšování poměru mezi vlnovou délkou signálu (λ) a mezní vlnovou délkou použitého vlákna (λ_c). $\lambda / \lambda_c \uparrow \Rightarrow \text{MFD} \uparrow$

Jelikož útlum vlákna způsobený ohybem roste s velikostí průměru vidového pole, citlivost na ohyby se zvyšuje s rostoucí vlnovou délkou. Např. jednovidové vlákno s přizpůsobeným profilem indexu lomu (MC) firmy Lucent Technologies s mezní vlnovou délkou kabelovaného vlákna λ_c 1260 nm má průměr vidového pole na vlnové délce 1310 nm $9,3 \pm 0,5 \mu\text{m}$, kdežto na vlnové délce 1550 nm $10,5 \pm 1 \mu\text{m}$ [2].

Vliv ohybů na útlum vlákna bude tedy nejmenší v oblasti vlnových délek blízkých mezní vlnové délce, která bývá pro kabelovaná jednovidová vlákna v oblasti 1250 nm. Čím bude vlnová délka signálu vyšší resp. vzdálenější od mezní vlnové délky, tím bude útlum vlákna vlivem ohybu výraznější.

Z hlediska dosažení co nejnižšího útlumu ohybů optické trasy je tedy vhodné používat pro přenos signálů s vlnovou délkou relativně co nejbližší mezní vlnové délce. Naopak při měření tras, při kterém potřebujeme místa s ohyby vyhledávat, je vhodné použít pro tento účel signál s co nejvyšší vlnovou délkou.

Význam ohybů optických vláken ještě podtrhuje jejich nedávno prakticky zjištěný vliv také na velikost chromatické disperze u vláken kompenzujících disperzi (DCF) [3].

Tento jev je také obdobně jako v případě útlumu silně spektrálně závislý a v oblasti 1500 - 1600 nm velmi výrazný (byla pozorována změna disperze až o 20 % po navinutí na disk o průměru 20 cm).

Zvláště aktuálně se tento vliv může projevit u systémů s vlnovým multiplexem (DWDM), kde je třeba kompenzovat a řídit velikost chromatické disperze pro řadu přenosových spektrálních kanálů. Tato vlákna se zapojují do trasy zpravidla již namotaná ve zvláštních modulech, což znamená že ohyby vzniklé při montáži by těmto vláknům hrozit neměly, nicméně považujeme za vhodné i na tento jev způsobený ohyby optického vlákna zde upozornit.

2) Srovnání různých vlnových délek

Pro měření optických tras s jednovidovými vlákny se dnes standardně používají vlnové délky 1310 nm a 1550 nm.

Vlnová délka 1310 nm se používá proto, že se s ní často počítá jako s přenosovou vlnovou délkou systému, který bude na trase nasazen a také se na ní výrazněji projevují nekvalitně provedené svary nebo konektorová spojení. U nich je situace opačná než u ohybů, neboť čím bude průměr vidového pole ve vlákně větší, tím méně se bude projevovat případná nedokonalost v sousostí takového spojení a jeho útlum bude nižší. Z dříve uvedené závislosti průměru vidového pole na vlnové délce vyplývá, že útlum svarů a konektorových spojení bude se zvyšující se vlnovou délkou klesat.

I v případě, že předpokládaná vlnová délka přenosového systému je 1310 nm, měří se zpravidla optická trasa také na vlnové délce 1550 nm a to právě z důvodu lepší diagnostiky a lokalizace ohybů - a tedy potenciálních poruch na trase. Dalším důvodem je nižší měrný útlum samotných optických vláken v této spektrální oblasti, což umožňuje měřit delší optické trasy.

Jak bylo uvedeno v předchozím oddíle, dalšího zlepšení v oblasti diagnostiky a lokalizace ohybů dosáhneme při použití měřicího signálu s ještě vyšší vlnovou délkou. Zde jsme omezeni měrným útlumem samotného optického vlákna, který roste s vlnovou délkou v této spektrální oblasti v důsledku infračervené absorpce tak, že by nebylo vhodné používat signály na příliš vysokých vlnových délkách. Jako velmi vhodná pro měření optických tras se jeví vlnová délka 1625 nm, která se postupně stává standardní měřicí vlnovou délkou. Měrný útlum optických vláken na této vlnové délce je prakticky stejný jako na vlnové délce 1550 nm, oproti tomu citlivost na ohyby je výrazně vyšší.

V následující tabulce (Tabulka č.1) je pro ilustraci uvedeno porovnání nárůstu útlumu [dB] způsobené ohybem s různým průměrem ohybu pro vlnové délky 1310, 1550, 1625 nm. Orientační hodnoty byly naměřeny na jednovláknovém patchcordu s jednovidovým vláknem (9/125/250 μm) v těsné sekundární ochraně (výrobce Alcatel).

Tabulka č. 1

průměr závitů [mm]	počet závitů	nárůst útlumu [dB] na dané vlnové délce		
		1310 nm	1550 nm	1625 nm
35	1	--*	--	--
	2	--	--	--
	3	--	--	0,06
30	1	--	--	0,06
	2	--	0,05	0,09
	3	--	0,08	0,15
25	1	--	0,10	0,21
	2	--	0,17	0,46
	3	--	0,28	0,72
20	1	--	0,38	0,83
	2	--	0,89	2,07
	3	--	1,31	2,77
15	1	--	1,08	2,68
	2	0,07	2,70	5,41
	3	0,11	4,88	8,91

* -- znamená hodnotu útlumu < 0,05 dB

Naměřené hodnoty uvedené v tabulce potvrzují výraznou závislost ohybové citlivosti optického vlákna na použité vlnové délce. Zatímco na vlnové délce 1310 nm je nárůst útlumu způsobený ohybem i pro nejmenší použitý průměr jen nepatrný, na vlnové délce 1550 nm je již útlum ohybu výrazný a při použití vlnové délky 1625 nm ohybová citlivost ještě dále výrazně vzroste. Měření na této vlnové délce nám umožní při praktickém měření optických tras snadněji identifikovat ohyby na trase jak uvidíme v další tabulce (Tabulka č. 2). Zde jsou uvedeny hodnoty zdánlivého útlumu bodových nehomogenit (optických spojek) získané z jednostranného měření metodou zpětného rozptylu skutečných kabelových optických tras.

Tabulka č. 2

číslo nehomogenity	zdánlivý útlum nehomogenity [dB] na dané vlnové délce		
	1310 nm	1550 nm	1625 nm
1	0,072	0,190	0,237
2	0,010	0,275	0,473
3	0,137	0,094	0,078
4	0,058	0,345	0,647
5	0,228	0,233	0,379
6	0,100	0,075	0,070
7	0,430	0,346	0,339
8	0,045	0,324	0,452
9	0,222	0,185	0,169
10	0,080	0,997	1,700

Podíváme-li se na jednotlivé poruchy, zjistíme z porovnání hodnot zdánlivého útlumu na jednotlivých vlnových délkách, že u poruch č. 3, 6, 7 a 9 se jedná patrně o nepřilíš kvalitně provedené svary případně o konektorová spojení (porucha č. 7 jím skutečně je) - útlum klesá s vlnovou délkou. Z hlediska útlumu svarů a konektorových spojení jsou výsledky měření na vlnové délce 1625 nm velmi podobné měření s vlnovou délkou 1550 nm.

U ostatních nehomogenit je patrný naopak nárůst útlumu s vlnovou délkou, z čehož vyplývá, že ve spojce na trase došlo při montáži k ohybu vlákna. Porucha č. 5 je pravděpodobně kombinací jak nekvalitního svaru (vysoký útlum na 1310 nm), tak také ohybu vlákna (růst útlumu s vlnovou délkou). Oproti tomu porucha č. 2 se jeví jako velmi dobrý svar, ale ve spojce je výrazný ohyb. Porucha č. 10 představuje již takřka extrémní příklad ohybu na optické trase. Z uvedených hodnot opět vyplývá přednost vlnové délky 1625 nm v možnosti výrazně lepší identifikace ohybů na optických trasách i v porovnání s vlnovou délkou 1550 nm.

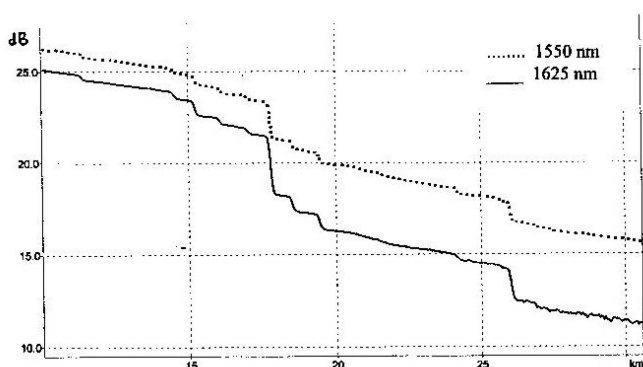
Na obrázku (Obr. 1) je příklad reflektogramu s několika bodovými nehomogenitami na optické trase obsahujícími více či méně výrazné ohyby. Měření bylo pro porovnání provedeno na vlnových délkách 1550 a 1625 nm.

3) Význam vlnové délky 1625 nm

Praktická měření potvrdila předpoklad, že použití vlnové délky 1625 nm dále výrazně zvyšuje možnosti detekce a lokalizace ohybů na optických trasách. V důsledku toho jsme schopni pomocí měření na této vlnové délce lépe odhalovat potenciální poruchová místa trasy a poruchám předcházet.

S rostoucím objemem přenášených dat roste význam pravidelného monitorování optické trasy pomocí signálu, který bude vlákem vyslán zároveň s přenosovým signálem. Pokud bude přenosový systém pracovat v pásmu 1310 nebo 1550 nm, bylo by velmi vhodné použít pro monitorování signál o vlnové délce 1625 nm.

Obr. 1



Neustále rostoucí nároky na přenosovou kapacitu přenosových sítí vedou v celosvětovém měřítku k zavádění metody přenosu pomocí vlnového multiplexu DWDM, který bude používat k přenosu široké spektrální pásmo v oblasti třetího přenosového okna (1525 - 1565 nm), případně ještě širší až do 1620 nm. Monitorování vláken za provozu s takovýmto přenosovým systémem bude vyžadovat signál na vlnové délce ležící mimo spektrum přenosového okna. K zajištění co nejvyšší citlivosti tohoto monitorovacího systému se jeví optimální použití právě vlnové délky 1625 nm. Navíc dnes už jsou k dispozici také vlákna (vlákno All Wave firmy Lucent Technologies [2]), která v budoucnu umožní přenosové využití celé široké spektrální oblasti shora od 1620 nm až do oblasti druhého přenosového okna okolo 1300 nm. Zde se užití vlnové délky 1625 nm pro potřeby monitorování signálem mimo přenosovou spektrální oblast stane již takřka nezbytností.

Literatura:

- [1] Jeunhomme L. B.: Single-mode fiber optics, Marcel Dekker, New York 1983
- [2] Profil produktů firmy Lucent Technologies pro optické sítě
- [3] Electron. Lett. Vol. 35, No. 8, 15th April 1999; FibreSystems July 1999 str. 14