

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

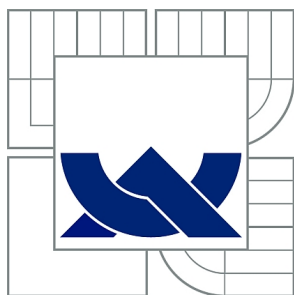
APLIKACE PRO VÝPOČET PŘENOSOVÝCH PARAMETRŮ
OPTICKÝCH SÍTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

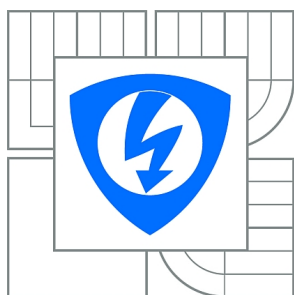
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ LAKOMÝ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

APLIKACE PRO VÝPOČET PŘENOSOVÝCH PARAMETRŮ OPTICKÝCH SÍTÍ

APPLICATION FOR TRANSMISSION PARAMATERS OF OPTICAL NETWORK CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

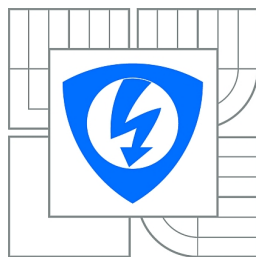
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ LAKOMÝ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VLADIMÍR TEJKAL

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Tomáš Lakomý

ID: 139285

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Aplikace pro výpočet přenosových parametrů optických sítí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem bakalářské práce je vytvoření aplikace pro výpočet základních parametrů optických sítí. Prostudujte používané typy optických vláken a jejich fyzikální parametry. Zaměřte se na disperze optických vláken. Uveďte matematické závislosti odchylek při spojování optických vláken a uveďte možnosti spojování vláken. Vytvořte ve vhodném programovacím prostředí aplikaci pro výpočet přenosových parametrů, disperzních vlivů a úhlových odchylek optických vláken. Výsledné hodnoty vhodně interpretnete formou grafů. Aplikace musí být samostatně spustitelná.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelectronics for telecommunications and informations. Texas: Inc., Publishers, 2009. ISBN 978-0-615-33185-0
- [2] FILKA, M.; TEJKAL, V.; MÜNSTER, P.; ŠIFTA, R. Trendy optických přenosů. Sdělovací technika, 2012, roč. 2012, č. 4, s. 5-9. ISSN: 0036- 9942.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 5.6.2013

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Tejkal

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Teoretická část této práce řeší přenosové parametry optických sítí a jejich vlastnosti. Práce zahrnuje hlavně optická vlákna a jejich dělení, disperzi a taky způsoby, jak se optická vlákna dají spojovat. Praktickou částí je program, který podle zadaných parametrů vypočítá přenosové parametry optických vláken.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optická vlákna, disperze, optické spoje.

ABSTRACT

The theoretical part of this thesis deals with the transmission characteristics of optical networks and their properties. The work mainly includes optical fibers and their division, dispersion and also ways how can optic fibers connect. The practical part is the program, which according to parameters calculated transmission characteristics of optical fibers.

KEYWORDS

Optical fibers, dispersion, optical couplings.

LAKOMÝ, Tomáš *Aplikace pro výpočet přenosových parametrů optických sítí*: bakalářská práce. v Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013. 39 s. Vedoucí práce byl Ing. Vladimír Tejkal,

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Aplikace pro výpočet přenosových parametrů optických sítí“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

v Brně

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Vladimíru Tejkalovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

v Brně

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Teoretická část	11
1.1 Optická vlákna	11
1.2 Dělení optických vláken	12
1.2.1 Jednovidová optická vlákna	12
1.2.2 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu	13
1.2.3 Mnohovidová vlákna s proměnným indexem lomu	14
1.2.4 Polymerová optická vlákna – POF	14
1.3 Dělení optických vláken podle ITU-T	15
1.3.1 Vláknó typu G.652	15
1.3.2 Vláknó typu G.652.C	15
1.3.3 Vláknó typu G.652.D	15
1.3.4 Vláknó typu G.653	15
1.3.5 Vláknó typu G.654	15
1.3.6 Vláknó typu G.655	16
1.3.7 Vláknó typu G.656	16
1.3.8 Vláknó typu G.657.A	16
1.3.9 Vláknó typu G.657.C	16
1.4 Disperze	16
1.4.1 Vidová disperze	17
1.4.2 Chromatická disperze	17
1.4.3 Polarizační vidová disperze	17
1.5 Spojování optických vláken	18
1.5.1 Nerozebíratelné spoje	18
1.5.2 Rozebíratelné spoje	20
1.6 Odchyly spojů	22
1.6.1 Odchylka průměrů dvou jader	22
1.6.2 Odchylka velikosti NA vysílaného a přijímaného vlákna	23
1.6.3 Příčný posuv os vláken	23
1.6.4 Podélný posuv vláken	24
1.6.5 Úhlová odchylka protilehlých os vláken	24
1.6.6 Kvalita koncových ploch vláken a Fresnelův odraz	25
2 Praktická část	26
2.1 Aplikace	26
2.2 Odchyly spojů vláken	27

2.3	Výpočet optické trasy	31
2.3.1	Jednovidová vlákna	31
2.3.2	Mnohovidová vlákna	33
3	Závěr	36
	Literatura	37
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	38

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Optické vlákno. [9]	11
1.2	Jednovidové optické vlákno. [4]	12
1.3	Závislost útlumu na vlnové délce pro standardní a All Wave optická vlákna. [7]	13
1.4	Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu. [4]	13
1.5	Mnohovidové optické vlákno s proměnným indexem lomu. [4]	14
1.6	Konektory SC, SMA, ST a MT-RJ. [8]	22
1.7	Odchylka rozdílů průměrů jader vláken. [4]	22
1.8	Odchylka velikosti NA. [4]	23
1.9	Příčný posuv vlákna. [4]	23
1.10	Podélný posuv vláken. [4]	24
1.11	Úhlová odchylka vlákna. [4]	25
2.1	Aplikace po spuštění.	26
2.2	Odchylka průměrů.	27
2.3	Odchylka NA.	27
2.4	Podélný posuv vláken.	28
2.5	Příčný posuv vláken.	28
2.6	Úhlová odchylka.	28
2.7	Příklad nápovědy.	28
2.8	Závislost rozdílů průměrů vláken na útlumu.	29
2.9	Závislost rozdílů numerických apertur na útlumu.	29
2.10	Závislost podélného posuvu vláken na útlumu.	30
2.11	Závislost příčného posuvu vláken na útlumu.	30
2.12	Závislost úhlu na útlumu.	31
2.13	Jednovidová vlákna.	32
2.14	Příklad upozornění.	32
2.15	Konektory, svary a mechanické spojky.	33
2.16	Mnohovidová vlákna.	33
2.17	Příklad nápovědy.	34
2.18	Příklad chyby.	35

SEZNAM TABULEK

1.1	Jednotlivá pásma vlnových délek jednovidových optických vláken. [1]	12
-----	---	----

ÚVOD

Myšlenka použití optického záření pro komunikační účely není až tak nová. První pokusy s použitím principů, na kterých je založeno optické vlákno provedl již John Tyndall kolem roku 1850, když předváděl vedení slunečního světla trubici s vodou prostrčenou skrz střechu domu. Skutečná optická vlákna ale začala vznikat až zhruba o sto let později.

První pokusy se skutečným optickým vláknem realizoval fyzik Narinder Singh Kapany v roce 1952. Vlákná podobající se dnešním se skleněným jádrem a pláštěm ovšem vznikla ještě o pár let později. Vyvinuli je Basil Hirschowitz, C. Wilbur Peters, a Lawrence E. Curtiss na Michiganské Univerzitě v roce 1956, když pomocí nich sestavili první gastroendoskop. Brzy potom již následovala celá řada dalších aplikací přenosu obrazu optickými vlákny.

V roce 1965 dokázali pracovníci britské firmy Standard Telephones and Cables, že útlum v do té doby používaných vláknech je zapříčiněn nečistotami, které je možné částečně odstranit. Tvrdili, že vlákno bude možné využít v telekomunikacích, pokud se podaří jeho útlum snížit na 20 dB/km. Toho se poprvé podařilo dosáhnout v roce 1970 americké firmě Corning Inc., když demonstrovali vlákno s útlumem 17 dB/km, které vzniklo dopováním křemenného skla titanem. O několik let později vyrobili vlákno s útlumem 4 dB/km, jehož jádro už bylo dopováno germánium, jako je tomu u většiny dnešních vláken. To byl zlomový okamžik, který umožnil obrovské rozšíření optických vláken v telekomunikační technice.

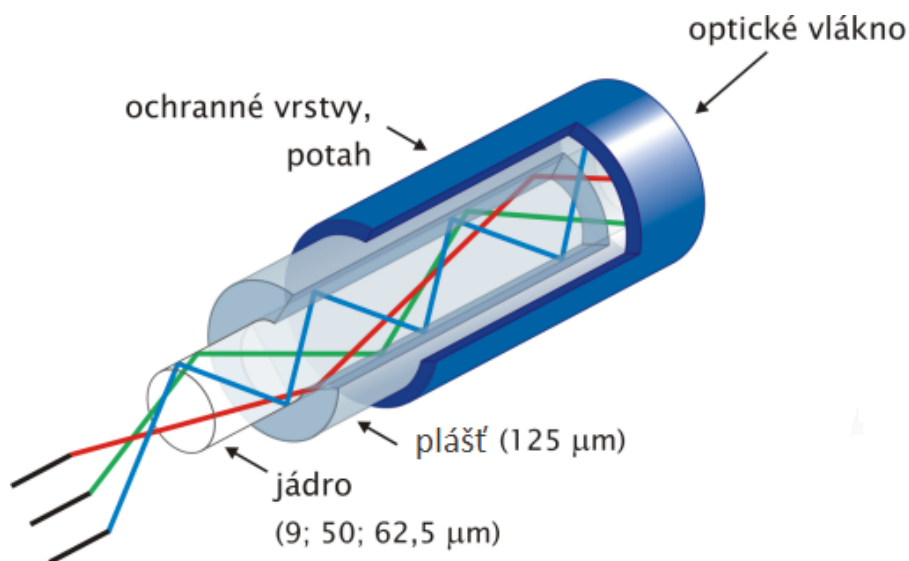
Dnešní optická vlákna dosahují parametrů, které nejsou s těmito historickými vůbec porovnatelná. Jejich útlum se pohybuje běžně i pod 0,2 dB/km, mají téměř nulovou disperzi a dokáží překlenovat vzdálenosti do 200 km, ve speciálních případech ovšem i daleko větší.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Optická vlákna

Optická vlákna jsou skleněná nebo plastová vlákna, která přenáší signály prostřednictvím světla. Jsou využívána hlavně při komunikacích na delší vzdálenosti s vyššími přenosovými rychlostmi dat. Na rozdíl od kovových vodičů jsou optická vlákna imunní vůči elektromagnetickému rušení a přenáší signály s menší ztrátou.

Optické vlákno je válečkový dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny (zpravidla světlo či infračervené záření) ve směru osy vlákna s využitím principu totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vnitřní část vlákna se nazývá jádro, okolo jádra je plášť a primární ochrana. K vazbě optického signálu na jádro musí být index lomu jádra vyšší, než má plášť. U optických vláken používaných v datových sítích se udává průměr jádra a pláště v mikrometrech, a používají se mnohovidová vlákna MMF (Multi Mode Fiber) o průměrech 50/125 μm (G.651) nebo 62,5/125 μm (používají se především v USA). V telekomunikacích se dnes výhradně používají jednovidová vlákna (SMF) o průměru 9/125 μm . Jedná se především o vlákna dle doporučení ITU-T G.652, G.653, G.655 a G.657.

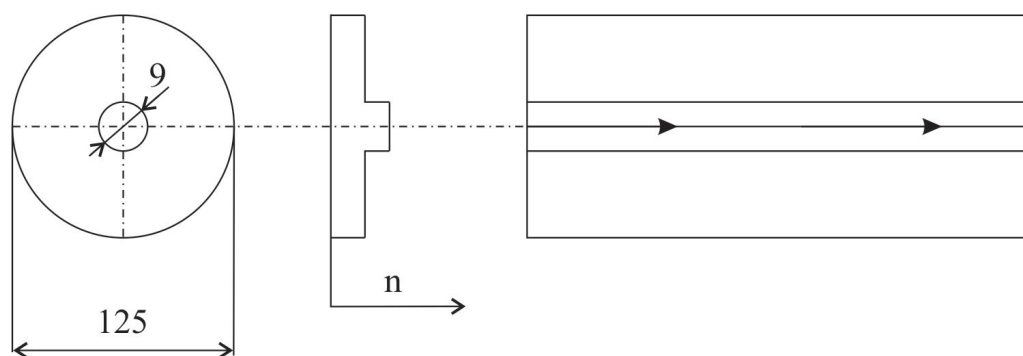


Obr. 1.1: Optické vlákno. [9]

1.2 Dělení optických vláken

1.2.1 Jednovidová optická vlákna

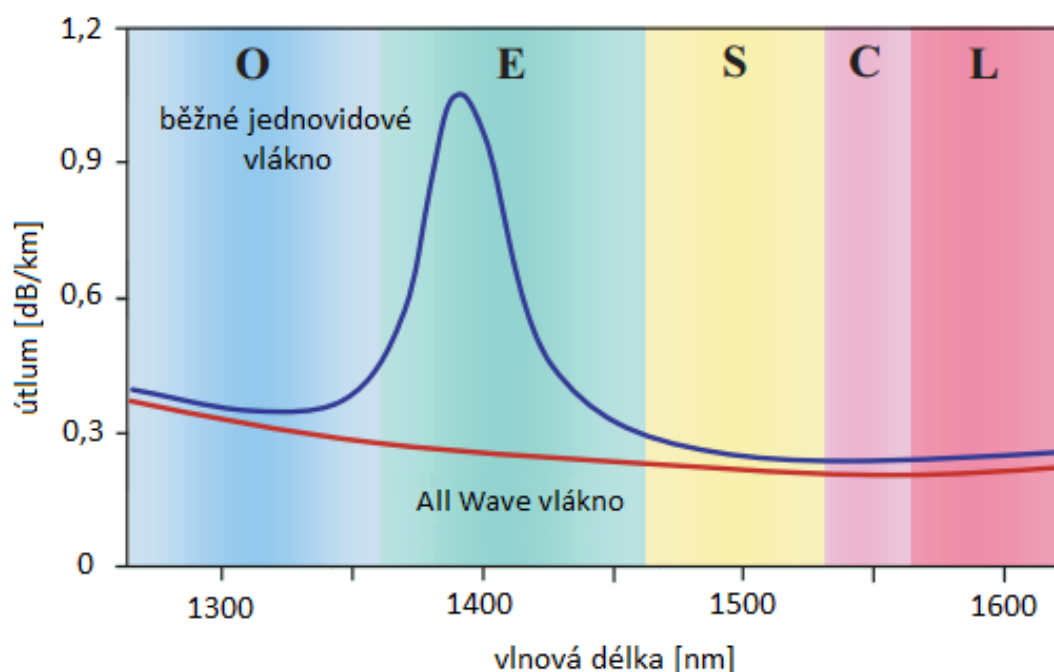
Jednovidová optická vlákna mají malý průměr jádra a při dané číselné aparatuře a vlnové délce světla umožňují přenos pouze jediného, tj. základního vidu elektromagnetické vlny. Průměry se pohybují $D_j = 7\text{--}9\text{ }\mu\text{m}$, $D_p = 125\text{ }\mu\text{m}$ (kde D_j je průměr jádra a D_p je průměr pláště). U těchto vláken lze dosáhnout nižších hodnot útlumů, ale současně malý průměr jádra ztěžuje navázání světla do vlákna (obr. 1.2). Tato vlákna mají větší přenosovou šířku pásma. Pro jejich buzení je zapotřebí použít zdroje světla s nízkou spektrální čarou (lasery). V současné době jsou nejpoužívanějšími vlákny v dálkových přenosových aplikacích. [4]



Obr. 1.2: Jednovidové optické vlákno. [4]

Tab. 1.1: Jednotlivá pásma vlnových délek jednovidových optických vláken. [1]

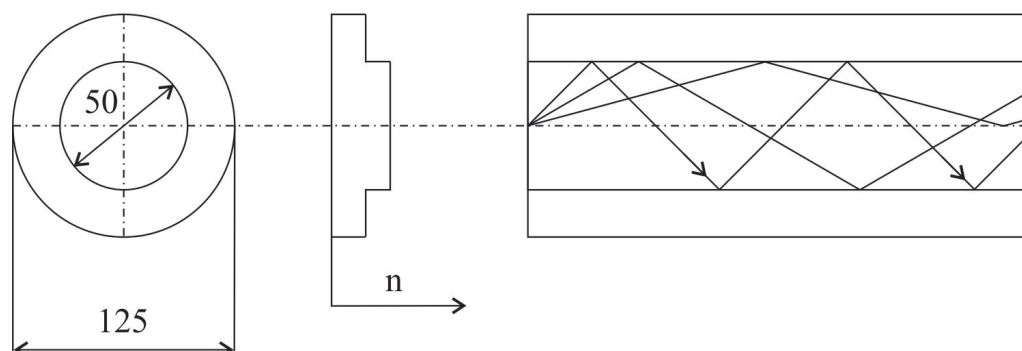
Pásma	Název	Rozsah [nm]
O	Original	1260–1360
E	Extended	1360–1460
S	Short	1460–1530
C	Conventional	1530–1565
L	Long	1565–1625
U	Ultra-long	1625–1675



Obr. 1.3: Závislost útlumu na vlnové délce pro standardní a All Wave optická vlákna. [7]

1.2.2 Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu

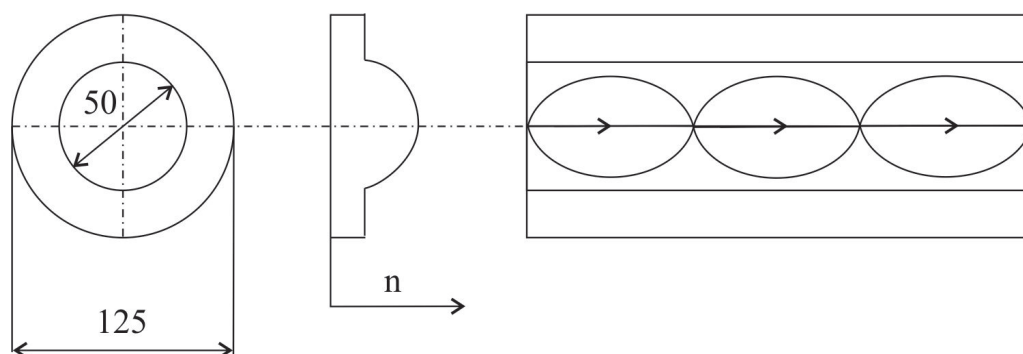
Vyznačují se jednoduchou výrobou, manipulací a poměrně jednoduchým konstruováním. Zvětšováním průměru jádra roste počet vidů, které se mohou šířit vláknem. U používaných vláken s průměry jader 50 až 100 μm , se na vlnové délce 850 nm šíří řádově tisíce vidů (obr. 1.4). Vznikající vidová disperze u tohoto typu vlákna omezuje šířku pásma na hodnotu asi 50 MHz/km. Použití je pro přenosy na krátké vzdálenosti.



Obr. 1.4: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu. [4]

1.2.3 Mnohovidová vlákna s proměnným indexem lomu

Vlákno je tvořeno tisíci tenkými vrstvami, které se liší indexem lomu. Čím je paprsek dál od osy jádra, tím je index lomu menší, až paprsek přejde do kolmice a nakonec se vrátí k ose jádra (obr. 1.5). Vyznačují se menší vidovou disperzí, menším útlumem, částečně složitější výrobou a tím i složitějším konstruováním a spojováním vláken. Vlákno je normalizováno podle doporučení ITU-T pro G.651 $D_j = 50 \mu\text{m}$, $D_p = 125 \mu\text{m}$, disperze při $0,85 \mu\text{m}$ cca $1 \text{ ns} \cdot \text{km}^{-1}$, útlum $2,5 - 5 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$, šířka přenášeného pásma 600 MHz. Tento typ vlákna je vhodný pro telekomunikační účely. [1]



Obr. 1.5: Mnohovidové optické vlákno s proměnným indexem lomu. [4]

1.2.4 Polymerová optická vlákna – POF

Současně s rozvojem přenosu po skleněném vláknu, byla snaha uskutečnit i přenosy po vláknech z umělých hmot. Problémem těchto vláken byl a je velký útlum. Původně se pohyboval ve stovkách dB/km, v posledních letech se dostáváme k hodnotám až 10 dB/km. Tato hodnota je už akceptovatelná pro síť typu „vlákno do domu“. Velkou předností těchto vláken je jednoduchá a snadná montáž. Snadná a rychlá příprava konektorů přímo v terénu. Pokud by se dařilo dále snižovat hodnoty útlumu těchto vláken, mohl by jejich nástup být „revolucí“ v optických přenosech. [1]

1.3 Dělení optických vláken podle ITU-T

1.3.1 Vláknó typu G.652

Doporučení ITU-T G.652 popisuje geometrické, mechanické a přenosové vlastnosti jednovidového optického vlákna, které má nulovou chromatickou disperzi kolem vlnové délky 1310 nm. ITU-T G.652 vlákna byla původně optimalizována pro použití v oblasti vlnové délky 1310 nm, ale může být také použita ve vlnové délce 1550 nm. Toto je poslední revize doporučení, které bylo poprvé vytvořeno v roce 1984 a které se zabývá některými relativně malými úpravami. Tato revize je určena pro trvalé obchodní úspěchy tohoto vlákna v měnícím se světě vysoce výkonných optických přenosových systémů. [2]

1.3.2 Vláknó typu G.652.C

Vláknó typu G.652.C, na rozdíl od vlákna G.652, lze provozovat na celém rozsahu vlnových délek a využít všechna dostupná přenosová pásma včetně pásma E (1360–1460 nm). To dříve nebylo možné využít, protože klasická optická vlákna mají v této oblasti zvýšený vložný útlum vlivem rezonancí na absorbovaných iontech vody OH^- , které se do vlákna dostaly při výrobě. [1]

1.3.3 Vláknó typu G.652.D

All Wave vláknó, které je kompatibilní se všemi vlákny G.652. [1]

1.3.4 Vláknó typu G.653

Bylo vyvinuto s cílem potlačení chromatické disperze pro vlnovou délku 1550 nm. Tato vlákna jsou označována jako DSF (Dispersion Shifted Fiber). Používají se pro vyšší přenosové rychlosti na velké vzdálenosti s jedinou provozovanou vlnovou délkou. Tato vlákna mají ovšem i vedlejší efekt, který spočívá v překrývání jednotlivých vlnových délek a vytváří vedlejší parazitní kanály a přeslechy. [1]

1.3.5 Vláknó typu G.654

Bylo vyvinuto jako speciální varianta vlákna G.652. Jsou optimalizována pro co nejnižší vložný útlum v pásmu 1550 nm a mají posunutou mezní vlnovou délku. Jsou nákladná, používají se téměř výhradně k extrémním dálkovým přenosům pro podmořské kabely bez zesilovače na trase. [1]

1.3.6 Vlákno typu G.655

Vlákna s posunutou nenulovou disperzí (NZ-DSF, Non Zero – Dispersion Shifted Fiber). Jsou optimalizována pro přenosovou oblast v pásmu 1550 nm. Tato vlákna jsou používána především v dálkových optických sítích a na rozdíl od vlákna typu G.653 nemají nulovou disperzi pro vlnovou délku 1550 nm. Malá nenulová disperze je nutná, aby se zde příliš neprojevovaly vedlejší nelineární efekty. Tento typ vlákna je určen k provozu technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) a pro vysoké přenosové rychlosti. [1]

1.3.7 Vlákno typu G.656

Vlákna s posunutou nenulovou disperzí (NZ-DSF). Jsou optimalizována pro přenosovou oblast v pásmu 1460–1625 nm. Tato vlákna jsou určena pro systémy vlnového multiplexu DWDM a CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex). V pásmu S umožňují u systému DWDM až 40 kanálů. [1]

1.3.8 Vlákno typu G.657.A

Vlákno pro vnitřní kabeláže a pro optické přístupové sítě. [1]

1.3.9 Vlákno typu G.657.C

Nový typ vlákna, které je odolné na mikroohyby do poloměru 5 mm. [1]

1.4 Disperze

Disperze vln v optických vláknech je hlavní příčinou zkreslení přenášeného signálu a definuje se jako rozdíl šířky impulsu v polovině výšky na konci a na začátku vlákna.

Ve světlovodu se materiálová disperze vidu kombinuje s disperzí vlnovodovou, způsobenou změnami geometrie vidu a tím i změnami podélné skupinové i fázové rychlosti šíření při změně kmitočtu. Výsledný účinek materiálové a vlnovodové disperze bývá označován jako disperze chromatická.

Je-li šířící se energie rozdělena do více vidů, přistupuje k chromatické disperzi ještě disperze vidová, způsobená rozdílnou rychlostí šíření jednotlivých vidů. Zkreslení přenášeného signálu způsobené chromatickou disperzí, lze zmenšit zúžením jeho kmitočtového spektra, vliv vidové disperze můžeme redukovat zmenšením počtu vidů účastnících se přenosu vhodnou volbou konstrukčních parametrů světlovodu, v mezním případě až na jeden vid - jednovidový světlovod. Jednovidový světlovod

má pouze chromatickou disperzi. Disperze se řadí k nejdůležitějším parametrům optických světlovodů, určuje šíři přenášeného pásma a tím i přenosovou rychlost. [1]

1.4.1 Vidová disperze

Vidová disperze spočívá v tom, že každý paprsek se vláknem šíří různou dráhou a tím vzniká různá délka dráhy jednotlivých paprsků. Ty dorazí na konec vlákna s různým zpožděním a tím je impuls obsahující velké množství vidů na konci vlákna časově roztažen. Vidová disperze se projevuje pouze u mnohovidových vláken, u jednovidových optických vláken neexistuje.

$$\sigma_v = \frac{l \cdot (NA)^2}{2 \cdot n_1 \cdot c} \left[\frac{ps}{km} \right]. \quad (1.1)$$

l - délka vlákna

NA - numerická apertura

n_1 - index lomu jádra

c - rychlost světla

1.4.2 Chromatická disperze

Příčina vzniku chromatické disperze je, že různé spektrální složky signálu se šíří v optickém vlákne různou rychlostí. Když tedy vyšleme do vlákna impuls signálu, který nutně tvoří více spektrálních složek, některé spektrální složky se oproti jiným budou zpožďovat. Tím se přenášený impuls začne roztahovat v čase a může zasahovat do sousedních impulsů a zkreslovat tím přenášenou informaci. Chromatická disperze se uplatňuje i u jednovidových vláken.

Velikost chromatické disperze optického vlákna charakterizuje tzv. koeficient chromatické disperze:

$$D(\lambda) = \frac{dt_g(\lambda)}{d(\lambda)} \left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right]. \quad (1.2)$$

t_g - rozšíření impulsu

1.4.3 Polarizační vidová disperze

Tento jev je ve srovnání s chromatickou disperzí výrazně slabší, ale ve skutečnosti představuje daleko větší problém. Je způsoben anizotropními vlastnostmi materiálu optického vlákna. Je to náhodná veličina závislá na čase, vlnové délce, deformaci vlákna, ohybech podél trasy, atd. [6]

Polarizační vidová disperze je vyjádřena koeficientem PMD . Na krátkých vzdálenostech přibližně do 10 km je PMD lineární a je vyjádřena [1]

$$PMD = \frac{\Delta\tau}{l} \left[\frac{ps}{km} \right] \quad (1.3)$$

a pro velké vzdálenosti se nešíří lineárně, ale s druhou odmocninou vzdálenosti

$$PMD = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{l}} \left[\frac{ps}{\sqrt{km}} \right]. \quad (1.4)$$

$\Delta\tau$ - zpoždění signálu

l - délka trasy

1.5 Spojování optických vláken

1.5.1 Nerozebíratelné spoje

Tavné svařování

Tavné svařování je nejlepší technologie spojování optických vláken. Při spojení se čela vláken nataví a k tomuto natavení se nejčastěji používá elektrický oblouk. Dosažitelné útlumy při svařování se pohybují kolem 0,01 dB. Používají se velmi přesné svářečky, které pracují s přesností pod 1 μm . Svářečky jsou dvojího druhu. Prvním starším typem jsou svářečky s pasivním naváděním pomocí V-drážky. Druhý typ svářeček pracuje s aktivním naváděním pomocí video kontroly nebo pomocí výkonové vazby. [3]

Pro kvalitní svar musíme znát i bod tavení skla. Podle typu skla musí být nastaveny časy natavení konce vlákna a vlastního sváření. Následuje zalomení vlákna a odstranění primární ochrany. Pro axiální usměrnění vláken před svařováním se používá klínových drážek, které zajistí požadovanou geometrii vláken při svařování. Vlastní svařování nastává v okamžiku, kdy jsou vlákna od sebe vzdálena cca 20 μm . Za dobu asi 0,2 s, během které dojde k natavení konců vláken, se začnou vlákna pohybovat k sobě a jsou přitlačena na sebe s přesahem asi 15 μm . Celková doba tažení oblouku je asi 2,5 s. Po provedení svaru se většinou provádí zkouška pevnosti spoje a provádí se kontrola spojky na útlum měřením. V případě, že svařené vlákno vykazuje nedostatky, a to ať již po stránce vizuální, při mechanické kontrole, případně kontrole na útlum, je nezbytné spoj zlomit a celý proces svařování opakovat. Moderní svařovací aparáty jsou vybaveny počítačem, včetně programovatelného vybavení. Pro kvalitní svar je pak zapotřebí vybrat z nabídky, o jaký druh optického vlákna se jedná, případně nejkvalitnější svářečky určí samy, o jaké vlákno se jedná. [1]

Slepované spoje

U těchto spojů se používají lepidla k přilepení vláken k podkladu a ke spojení vláken dohromady. Lepidlo plní následující funkce:

- Má velmi podobný index lomu jako vlákno.
- Zajišťuje ochranu spoje před prostředím.
- Trvale zajišťuje vlákna v patřičné poloze.
- Zabráňuje deformacím spoje a zajišťuje pevnost v tahu.

Nejčastěji používaný typ spojky sestává z trubičky s vnitřním otvorem, jehož světlost odpovídá vnějšímu průměru spojovaných vláken a v níž se dotýkající konce vláken zalepí. Technika vytvrditelného spoje je založena na zavedení ultrafialového světla do vlákna po nastavení geometrie spoje. Vlivem světla lepidlo polymerizuje a zajišťuje všechny uvedené požadavky. Ztráty těchto spojů jsou kolem 0,1 dB, případně i méně. Spoje jsou citlivé na změnu teploty. [1]

Mechanické spoje

Osové vyrovnaní vlákna se provádí pomocí různých mechanických struktur, jako jsou V drážky, tunely vytvořené mezi bloky tyček, válečků a rohů čtvercových profilů. Je důležité, aby takto připravená vlákna byla pevně přichycena k vyrovnávacímu povrchu, neboť musí odolávat manipulaci a vlivu prostředí.

Pro trvalé dosažení optické ztráty menší než 0,3 dB je zapotřebí použití optického sdužovacího materiálu mezi konci vláken. Materiál je vybírán podle optických vlastností skla (silikonové gely, epoxidové pryskyřice, optické tuky a ultrafialová lepidla). Sdužovací materiály musí zůstat v kontaktu s oběma vlákny i při změně mezery. Tyto materiály slouží zároveň jako primární ochrana holého jádra.

Optická ztrata mechanického spoje bývá závislá na teplotě. Při pokojové teplotě je charakteristická hodnota 0,1 až 0,15 dB.

Zamačkávací pevné metalické rychlospojky jsou nejnovější novinkou pro spojování jednovidových i mnohovidových vláken. Bylo vytvořeno zařízení, které je levné, na obsluhu jednoduché a provádí velmi kvalitní spoje s útlumem pod 0,1 dB, které jsou zaručeny pro každou spojku, přičemž až 30 % spojek dosahuje hodnot pod 0,02 dB. Toto zařízení nevyžaduje napájení, pracuje zcela na mechanickém principu, tedy je možné je s výhodou použít v prostředích s nebezpečím výbuchu.

Práce na spojce probíhá v samostatných sekcích. První operace je odizolování a odstranění primární ochrany, následuje nařiznutí vlákna a zalomení, dále následuje potření konců vláken gelem, zasunutí konců vláken do zamačkávací spojky. Takto realizované spojky jsou vysoce kvalitní, přesné, rychlé a nenáročné na zaškolení personálu. Cena zařízení je přibližně desetina pořizovací hodnoty svařovacího zařízení. [1]

1.5.2 Rozebíratelné spoje

Spoje rozebíratelné, tzv. konektorované spoje se většinou používají v ústřednách, případně v místech opakovacích zesilovačů, v menší míře i v kabelových trasách při použití kabelů s páskovou strukturou. [1]

Jsou to systémy, které lze opakovaně spojovat a rozpojovat, a proto jsou velmi podstatnou částí ve spojování optických vláken. Konektorování se podílí přibližně 30 % na celkové ceně. [3]

Skládají se z konektorové ferule, mechanického upevnění konektoru, protiprachové krytky ferule a pryžové ochrany. Ferule je nejpřesnější část konektoru s nejprísnejšími tolerancemi.

U dnešních konektorů se hodnota vložného útlumu pohybuje kolem 0,15–1,5 dB. Celkový vložný útlum vždy záleží na vlastním provedení spoje, protože při nekvalitně provedeném konektorování kabelu se útlum může dostat přes hranici 10 dB. Dále se dnes velmi sleduje útlum zpětného odrazu. U dnešních konektorů se útlum zpětného odrazu pohybuje někde kolem 40–75 dB, což vyhovuje i velmi rychlým systémům. [3]

Typy ferulí:

- Aluminiové ferule – Obtížné leštění, křehký materiál, velká tepelná roztažnost.
- Zirkoniové ferule – Dnes nejčastěji používaný materiál, 4x větší pevnost v ohybu vzhledem k hliníkové feruli, velmi dobré leštění, malé rozměry zrna keramiky, malé opotřebení otěrem.
- Kompozitní ferule – Nejpřesnější, nejdražší, zatím nejlepší ferule, velmi malé opotřebení otěrem, díky tomu velmi malé ztráty vložným útlumem.
- ARCAP ferule – Levné, snadné leštění, malé opotřebení otěrem, vysoká životnost, přizpůsobení vláknům s velkými průměry.
- Plastové ferule – Nejlevnější, snadné leštění, větší vložný útlum, nižší životnost.

Pro zlepšení některých parametrů se používají úhlové ferule (ACP). Díky nim se zvyšuje útlum zpětného odrazu na 65 až 75 dB. Vložný útlum se u těchto ferulí pohybuje kolem 0,2 až 0,5 dB. Tyto ferule se používají jen u SM vláken. [3]

Typy konektorů:

- Bionic – Vyvinutý na počátku 1980, kuželovitá ferule, s přesným zúžením, podporovaný firmou AT&T, ferule je hliníková nebo epoxidová, v minulosti dominantní v USA, nelze zlepšit vlastnosti, dnes nepoužívaný, vložný útlum 0,5–0,6 dB, útlum zpětného odrazu 20–27 dB.
- SMA – Vývoj před 20 lety, průmyslové aplikace v Evropě, nezajištěná ferule proti pootočení, aluminiová nebo ARCAP ferule, šroubovací převlečná matice,

vložný útlum 1 dB.

- FC/FC – Telekomunikační standard, keramická nebo kompozitní ferule, 2,5 mm průměr ferule, šroubovací převlečná matice s polohovacímnosem, vložný útlum 0,2–0,3 dB, útlum zpětného odrazu 20–30 dB.
- FC/PC – Vlastnosti stejné jako konektor FC/FC jen vložný útlum je 0,2 dB a útlum zpětného odrazu je 50 dB.
- ST – Podporovaný AT&T, datový a telekomunikační standard, aretace proti pootočení vodícím kolíkem, odpružená ferule, bajonetový spoj, průměr ferule 2,5 mm, rozpojení vlivem tahové síly, vložný útlum 0,2–0,3 dB, útlum zpětného odrazu 20–30 dB.
- SC – Podporovaný NTT, průměr ferule 2,5 mm, push-pull provedení, keramické a kompozitní ferule, provedení pro jedno vlákno nebo soubor vláken, vložný útlum 0,2–0,3 dB, útlum zpětného odrazu 50 dB.
- FDDI – Párový konektor, push-pull provedení, 4 možnosti zapojení, velký, malá montážní hustota, keramické ferule, průměr ferule 2,5 mm, vložný útlum 0,2 dB, útlum zpětného odrazu 20 dB.
- ESCON – podobný FDDI, podporovaný IBM.
- E2000 – Vyvinutý firmou Diamond, provedení push-pull, napružený kryt překrývající feruli, evropský standard v telekomunikacích, vložný útlum 0,2 dB útlum zpětného odrazu 55 dB. [3]

Nové typy konektorů:

- MT-RJ – Slučitelné s RJ45, podpora AMP, HP, Siecor, Fujikara, dvojvláknový konektor.
- MTP – Pro páskové kabely, spojuje současně 4–12 vláken.
- MU – Podporovaný NTT, průměr ferule 1,25 mm, push-pull provedení, miniaturní konektor pro jedno nebo více vláken (stohovatelné konektory).
- MiniMAC – Spojuje současně 4–32 vláken, push-pull provedení, vedení vláken Si Chip ve kterém jsou vyleptané drážky.
- VF45 – Tento konektor je v provedení push-pull a zajišťuje oboustranný přenos, což znamená, že naráz propojuje jak odchozí tak příchozí vlákno. Systém konektoru se velmi podobá metalickému konektoru RJ45. [3]



Obr. 1.6: Konektory SC, SMA, ST a MT-RJ. [8]

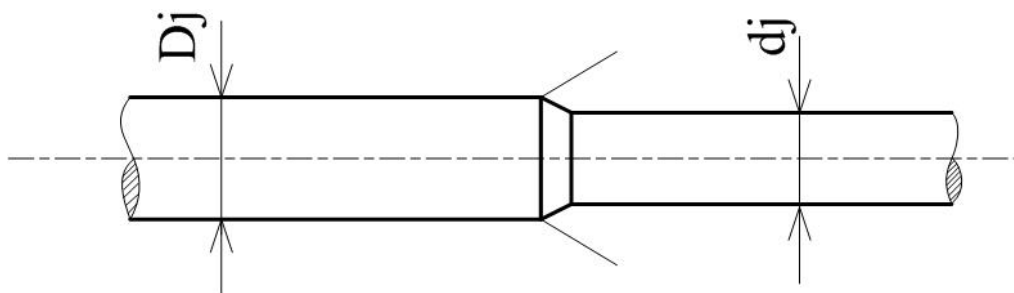
1.6 Odchyly spojů

1.6.1 Odchylna průměrů dvou jader

$$a_d = -10 \log \left(\frac{d_j}{D_j} \right)^2 [dB] \quad (1.5)$$

D_j - průměr zdrojového vlákna

d_j - průměr přijímacího vlákna



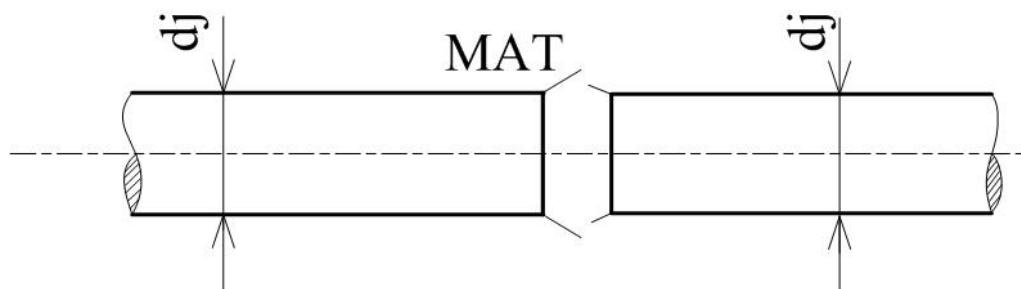
Obr. 1.7: Odchylna rozdílů průměrů jader vláken. [4]

1.6.2 Odchylka velikosti NA vysílaného a přijímaného vlákna

$$a_{\text{NA}} = -10 \log \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 [dB] \quad (1.6)$$

NA_1 - numerická apertura zdrojového vlákna

NA_2 - numerická apertura přijímacího vlákna



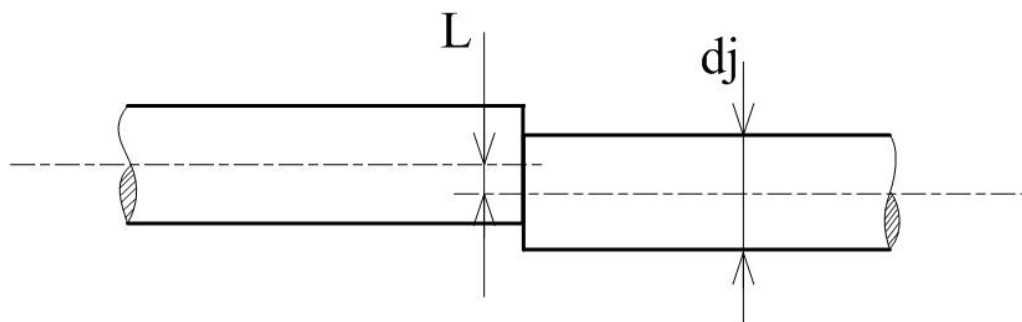
Obr. 1.8: Odchylka velikosti NA. [4]

1.6.3 Příčný posuv os vláken

$$a_L = -10 \log \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{L}{d_j} \right) [dB] \quad (1.7)$$

L - vzájemné příčné posunutí

d_j - průměr přijímacího vlákna



Obr. 1.9: Příčný posuv vlákna. [4]

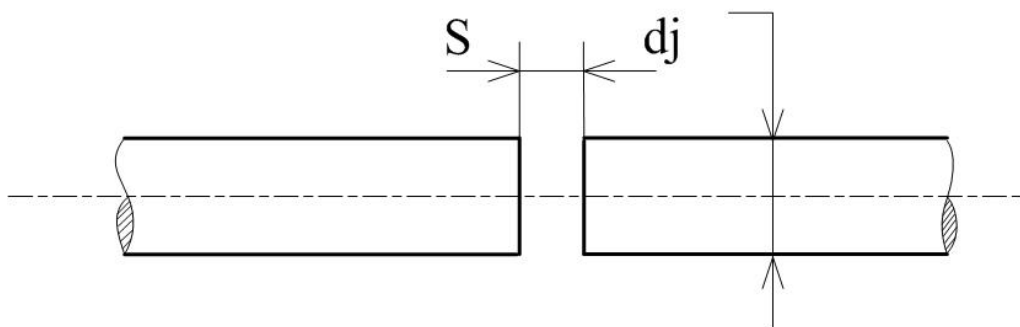
1.6.4 Podélný posuv vláken

$$a_s = -10 \log \left(1 - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{S}{d_j} \cdot NA \right) [dB] \quad (1.8)$$

S - vzájemné příčné posunutí

d_j - průměr vláken

NA - numerická apertura vláken



Obr. 1.10: Podélný posuv vláken. [4]

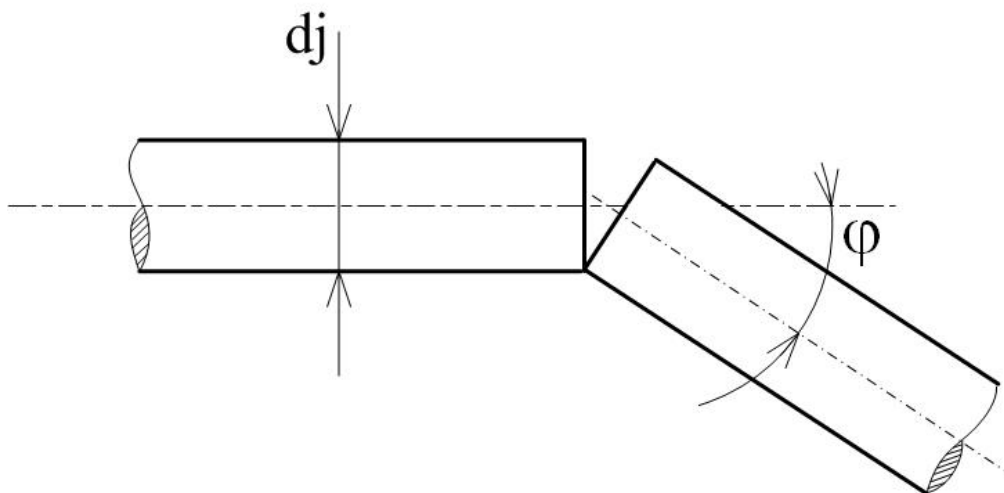
1.6.5 Úhlová odchylka protilehlých os vláken

$$a = -10 \log \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\varphi}{\delta} \right) [dB] \quad (1.9)$$

$$\delta = \arcsin NA$$

φ - úhel posunutí

NA - numerická apertura vláken



Obr. 1.11: Úhlová odchylka vlákna. [4]

1.6.6 Kvalita koncových ploch vláken a Fresnelův odraz

$$a_F = -10 \log \left[1 - 2 \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2 \right] [dB] \quad (1.10)$$

n_0 - index lomu jádra 1. vlákna

n_1 - index lomu jádra 2. vlákna

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Aplikace

Tento program slouží pro výpočet přenosových parametrů optických sítí. Je napsán v jazyce C ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio. Aplikace je spustitelná na jakémkoliv počítači a nepotřebuje k provozu žádný jiný program. Pro spuštění aplikace stačí 2x kliknout na soubor „Program.exe“. Aplikace je rozdělená na 2 části a máme možnost si vybrat, se kterou budeme chtít pracovat. První umožňuje vypočítat útlum jednotlivých odchylek spojů optických vláken, ve druhé lze vypočítat útlum a disperzi námi definovaných jednotlivých optických tras. Na obr. 2.1 je vidět, jak aplikace vypadá hned po spuštění.

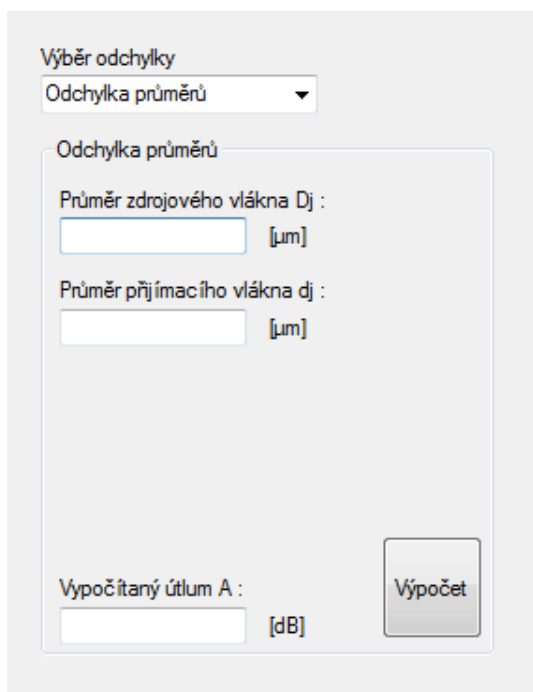
The screenshot displays the application's main interface, which is divided into two primary calculation sections. The left section, titled 'Výpočet útlumu odchylek spojů', includes a dropdown for 'Výběr odchylky' (set to 'Odchylka průměrů') and input fields for 'Průměr zdrojového vlákna D_j' and 'Průměr přijímacího vlákna d_j', both in micrometers. The right section, titled 'Výpočet útlumu optické trasy', features a 'Výběr vlákna' dropdown (set to 'Mnohovidová') and a 'Mnohovidová vlákna' panel with inputs for 'Délka vlákna l' (km), 'Numerická apertura NA', and 'Index lomu jádra n'. It also has radio buttons for 'Typ vlákna' (Gradientní změna indexu lomu or Skoková změna indexu lomu) and 'Vlnová délka λ' (850 nm or 1300 nm). Both sections include input fields for 'Počet konektorů', 'Počet svarů', and 'Počet mechanických spojek' with associated dB values, and a 'Výpočet' button. The bottom of each section shows the calculated 'Útlum A' in dB.

Obr. 2.1: Aplikace po spuštění.

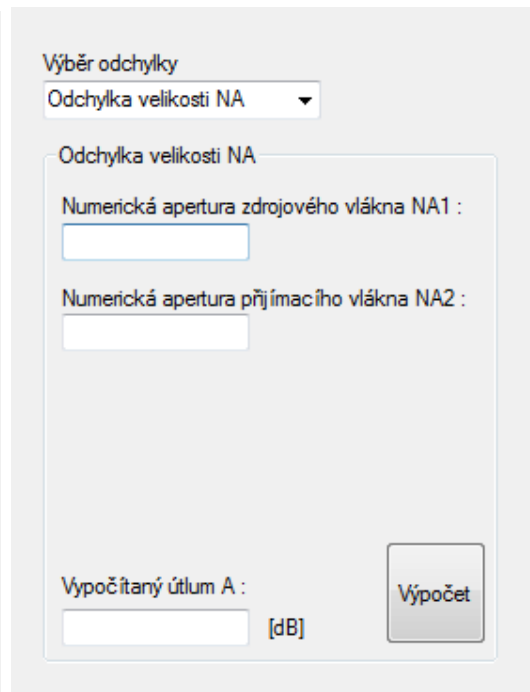
2.2 Odchyly spojů vláken

V levé části okna programu se nachází výpočet útlumu různých odchylek při optických spojkách (obr. 2.1). Jsou to: odchylka průměrů, odchylka velikosti numerické apertury, příčný posuv vláken, podélný posuv vláken a úhlová odchylka vláken. Po vybrání některé z nich se nám zobrazí okna, kde je potřeba pro výpočet útlumu zadat potřebné hodnoty a kliknout na tlačítko „Výpočet“. Pro odchylku průměrů je nutné zadat průměr zdrojového vlákna D_j a průměr přijímacího vlákna d_j v μm (obr. 2.2). Poté se provede výpočet podle vzorce (1.5). Pro odchylku numerických apertur je zapotřebí zadat numerickou aperturu zdrojového vlákna NA_1 a numerickou aperturu přijímacího vlákna NA_2 (obr. 2.3). Výpočet se provede podle vzorce (1.6). Další možnou odchylkou je podélný posuv vláken, kde se zadává vzájemné podélné posunutí S v μm , numerická apertura NA a průměr vláken d_j v μm , (obr. 2.4). Výpočet se provede podle vzorce (1.8). K výpočtu příčného posuvu vláken potřebujeme znát vzájemné příčné posunutí L v μm a průměr vláken d_j v μm , (obr. 2.5). Výpočet se provede pomocí vzorce (1.7). Poslední z možností je úhlová odchylka. Je potřeba zadat úhel posunutí vláken φ ve $^\circ$ a numerickou aperturu NA , (obr. 2.6). Výpočet se provede pomocí vzorce (1.9).

Při zadávání hodnot nám může pomoci i vyskakovací nápověda s hodnotami maximálními, nebo s těmi, které se používají nejčastěji (obr. 2.7).



Obr. 2.2: Odchyly průměrů.



Obr. 2.3: Odchyly NA.

Výběr odchylky
Podélný posuv

Podélný posuv

Vzájemné podélné posunutí S :
 [μm]

Numerická apertura NA :

Průměr vláken d_j :
 [μm]

Vypočítaný útlum A :
 [dB]

Výpočet

Obr. 2.4: Podélný posuv vláken.

Výběr odchylky
Příčný posuv

Příčný posuv

Vzájemné příčné posunutí L :
 [μm]

Průměr vláken d_j :
 [μm]

Vypočítaný útlum A :
 [dB]

Výpočet

Obr. 2.5: Příčný posuv vláken.

Výběr odchylky
Úhlová odchylka

Úhlová odchylka

Úhel posunutí φ :
 [°]

Numerická apertura NA :

Vypočítaný útlum A :
 [dB]

Výpočet

Obr. 2.6: Úhlová odchylka.

Výběr odchylky
Odchylka průměrů

Odchylka průměrů

Průměr zdrojového vlákna D_j :
 [μm]

Průměr vlákna d_j :
 [μm]

Vypočítaný útlum A :
 [dB]

Výpočet

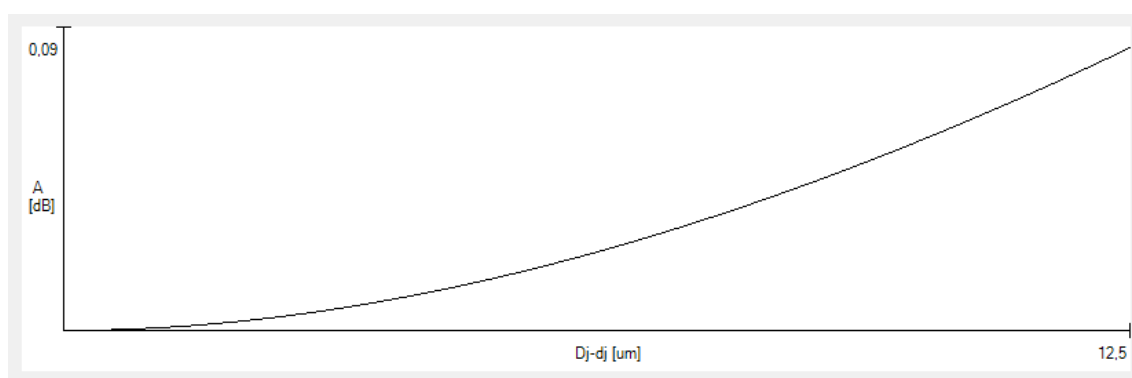
Jednovidová: 4 - 10 μm
Mnohovidová: 50 μm, 62,5 μm

Obr. 2.7: Příklad nápovědy.

Pokud jsou splněny všechny podmínky pro výpočet útlumu, tak po kliknutí na tlačítko „Výpočet“ se kromě vypočteného útlumu zobrazí i graf dané odchylky v závislosti na tomto útlumu. Hodnoty grafu jsou vypočítány od 0 do námi zadané maximální hodnoty. V případě odchylek průměrů vláken a odchylek velikosti NA to je závislost rozdílu průměrů na útlumu, případně rozdílu NA na útlumu A .

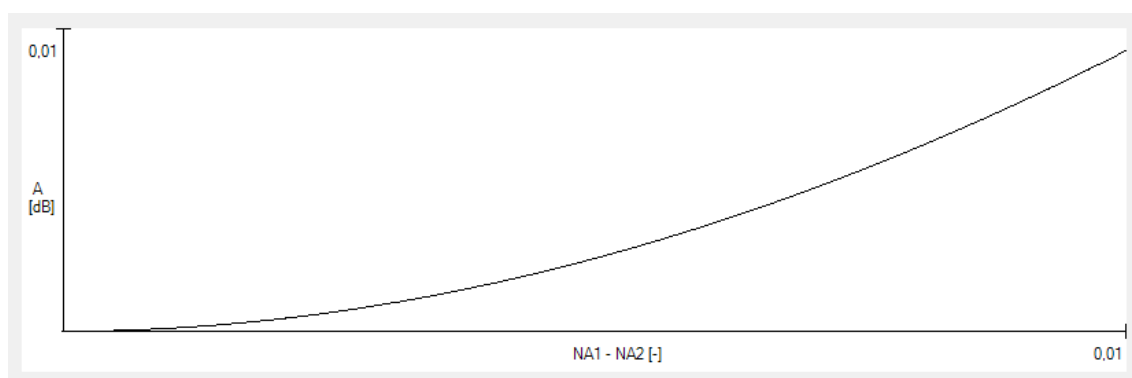
Příklady grafů závislostí při určitých zadaných hodnotách:

- Závislost rozdílu průměrů vláken na útlumu, při zadaných hodnotách: průměr zdrojového vlákna $D_j = 50 \mu\text{m}$, průměr přijímacího vlákna $d_j = 62,5 \mu\text{m}$.



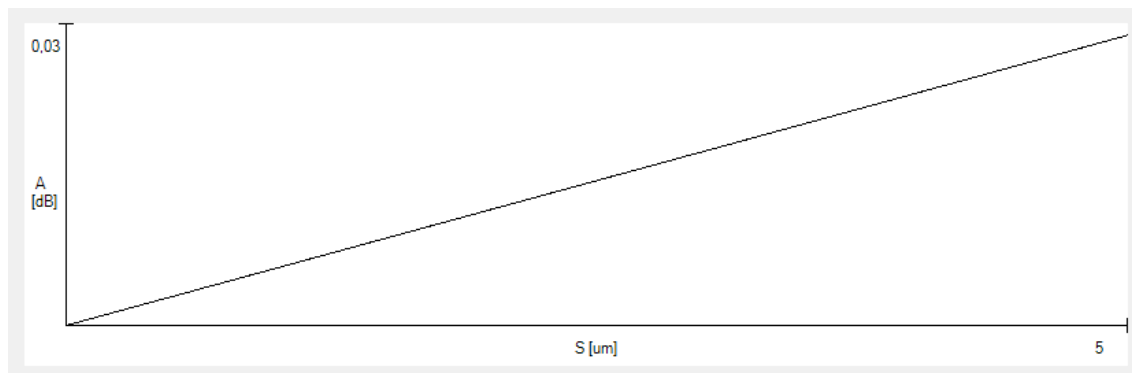
Obr. 2.8: Závislost rozdílu průměrů vláken na útlumu.

- Závislost rozdílu numerických apertur na útlumu, při zadaných hodnotách: numerická apertura zdrojového vlákna $NA_1 = 0,12$, numerická apertura přijímacího vlákna $NA_2 = 0,13$.



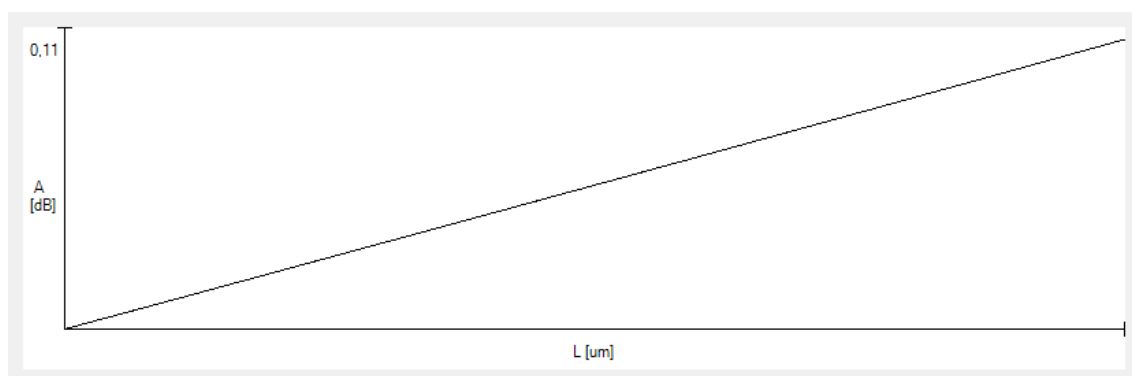
Obr. 2.9: Závislost rozdílu numerických apertur na útlumu.

- Závislost podélného posuvu vláken na útlumu, při zadaných hodnotách: vzájemné podélné posunutí $S = 5 \mu\text{m}$, numerická apertura $NA = 0,2$, průměr vláken $d_j = 50 \mu\text{m}$.



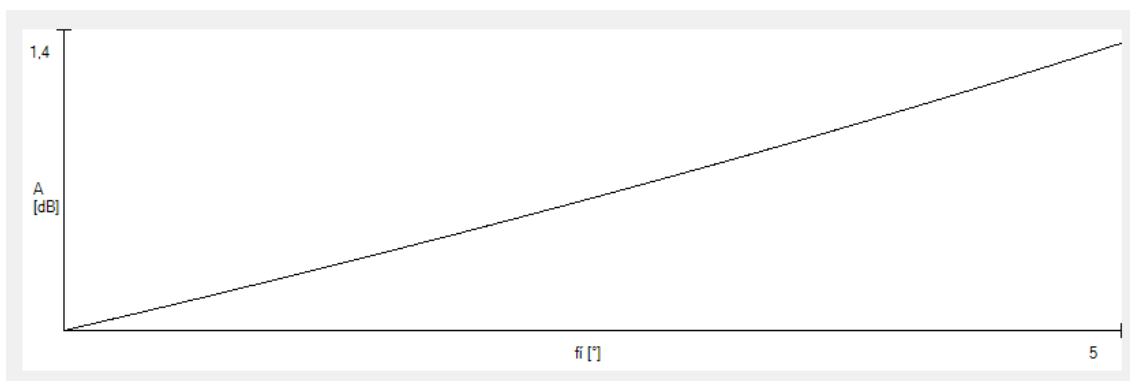
Obr. 2.10: Závislost podélného posuvu vláken na útlumu.

- Závislost příčného posuvu vláken na útlumu, při zadaných hodnotách: vzájemné příčné posunutí $L = 2 \mu\text{m}$, průměr vláken $d_j = 50 \mu\text{m}$.



Obr. 2.11: Závislost příčného posuvu vláken na útlumu.

- Závislost úhlové odchylky na útlumu, při zadaných hodnotách: úhel $\varphi = 5^\circ$, numerická apertura $NA = 0,2$.



Obr. 2.12: Závislost úhlu na útlumu.

2.3 Výpočet optické trasy

Druhou částí této aplikace je výpočet optické trasy, který se po spuštění programu nachází v pravé části (obr. 2.1). Je zde možnost vybrat si mezi jednovidovým nebo mnohovidovým vláknem, pro které budeme dále počítat. Grafy závislostí jsou jen pro výpočty odchylek spojů, a proto už se pro tyto výpočty optických tras nezobrazují.

2.3.1 Jednovidová vlákna

Při výpočtech s jednovidovým vláknem je nutné zadat jednu ze dvou vlnových délek, které máme na výběr. Jsou to 1310 nm a 1550 nm, pro které jsou podle doporučení ITU-T dané hodnoty měrného útlumu. Dále je potřeba zadat délku vlákna v km a zpoždění signálu v ps. Nakonec stačí kliknout na tlačítko „Výpočet“ a provede se výpočet chromatické disperze a útlumu. Při nesplnění některé z této podmínky vyskočí informační zpráva, která nás upozorní na chybu (obr. 2.14). Dále je možnost připočítat i určitý počet konektorů, svarů nebo mechanických spojek na optické trase (obr. 2.15). Jednotlivým prvkům jsou přiřazeny hodnoty útlumu, které je možno editovat. Tyto útlumy se poté započítají do útlumu výsledného. Výsledný útlum je daný měrným útlumem vybrané vlnové délky, vynásobený délkou optického vlákna a dále jsou přičteny útlumy přidaných konektorů, svarů a spojek. Chromatická disperze je vypočítána podle vzorce (1.2).

Výpočet útlumu optické trasy:

Výběr vlákna
Jednovidová ▼

Jednovidová vlákna

Délka vlákna l : [km]
Vlnová délka λ
☐ 1310 [nm]
☐ 1550 [nm]

Zpoždění signálu $\Delta\tau$: [ps]

Počet konektorů : 0 0,4 [dB]
Počet svarů : 0 0,05 [dB]
Počet mechanických spojek : 0 0,1 [dB]

Chromatická disperze D : [ps / nm * km]
Útlum A : [dB]

Výpočet

Obr. 2.13: Jednovidová vlákna.

Výpočet útlumu optické trasy:

Výběr vlákna
Jednovidová ▼

Jednovidová vlákna

Délka vlákna l : 50 [km]
Vlnová délka λ
☒ 1310 [nm]
☐ 1550 [nm]

Zpoždění signálu $\Delta\tau$:

Počet konektorů : [dB]
Počet svarů : [dB]
Počet mechanických spojek : 0 0,1 [dB]

Chromatická disperze D : [ps / nm * km]
Útlum A : [dB]

Výpočet

Zadejte zpoždění signálu.

OK

Obr. 2.14: Příklad upozornění.

Počet konektorů :	0	0,4	[dB]
Počet svarů :	0	0,05	[dB]
Počet mechanických spojek :	0	0,1	[dB]

Obr. 2.15: Konektory, svary a mechanické spojky.

2.3.2 Mnohovidová vlákna

Po výběru mnohovidového vlákna se nám zobrazí více hodnot, než u vlákna jednoví-
dového. Musíme zadat jednu z nabízených vlnových délek a to 850 nm nebo 1300 nm
a k tomu musíme ještě doplnit typ vlákna, tedy jestli se jedná o vlákno s gradientní
změnou indexu lomu nebo vlákno se skokovou změnou indexu lomu. Poté se musí
opět zadat délka vlákna l v km, numerická apertura NA a index lomu jádra n .
Také zde můžeme přidat libovolný počet konektorů, svarů nebo mechanických spo-
jek. Tlačítkem „Výpočet“ tentokrát vypočteme vidovou disperzi a útlum vlákna.
Výsledný útlum se vypočítá stejně jako u jednovídkového vlákna a vidová disperze se
spočítá pomocí vzorce (1.1).

Výpočet útlumu optické trasy:

Výběr vlákna
Mnohovidová ▼

Mnohovidová vlákna

Délka vlákna l :		[km]	Typ vlákna
Numerická apertura NA :			☐ Gradientní změna indexu lomu ☐ Skoková změna indexu lomu
Index lomu jádra n :			Vlnová délka λ
			☐ 850 [nm] ☐ 1300 [nm]

Počet konektorů :	0	0,4	[dB]	Vidová disperze σ_v :		[ps / km]
Počet svarů :	0	0,05	[dB]	Výpočet	Útlum A :	
Počet mechanických spojek :	0	0,1	[dB]			[dB]

Obr. 2.16: Mnohavidová vlákna.

I v této části aplikace jsou u zadávajících hodnot připraveny nápovědy s maximálními nebo používanými hodnotami (obr. 2.17). Také je zde ošetřeno nezadání některé povinné hodnoty potřebné pro výpočet (obr. 2.18).

Výpočet útlumu optické trasy:

Výběr vlákna
Mnohovidová ▼

Mnohovidová vlákna

Délka vlákna l : [km]

Numerická apertura NA :

Index lomu jádra 0,2 pro 50 μm , 0,275 pro 62,5 μm

Typ vlákna
☐ Gradientní změna indexu lomu
☐ Skoková změna indexu lomu

☐ 850 [nm]
☐ 1300 [nm]

Počet konektorů : 0 0,4 [dB]

Počet svarů : 0 0,05 [dB]

Počet mechanických spojek : 0 0,1 [dB]

Vidová disperze σ_v : [ps / km]

Útlum A : [dB]

Výpočet

Obr. 2.17: Příklad nápovědy.

Výpočet útlumu optické trasy:

Výběr vlákna
Mnohovidová

Mnohovidová vlákna

Délka vlákna l :
50 [km]

Numerická apertura NA :
0,2

Index lomu jádra n :
1,5

Typ vlákna
☐ Gradientní změna indexu lomu
☐ Skoková změna indexu lomu

Vlnová délka
☐ 850
☒ 1300

Počet konektorů : 0 0,0

Počet svarů : 0 0,0

Počet mechanických spojek : 0 0,0

perze α : [ps / km]

[dB]

Zadejte typ vlákna.

OK

Obr. 2.18: Příklad chyby.

3 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá přenosovými parametry optických sítí a skládá se ze dvou částí. První část práce je věnována teorii o této problematice. Nejprve se zabývá optickými vlákny, jejich složením a jejich základními vlastnostmi. Poté je zde rozdělení optických vláken na jednovidová, mnohavidová se skokovou změnou indexu lomu a mnohavidová s gradientní změnou indexu lomu. Všechny typy jsou popsány, uvedeny jejich základní charakteristiky a použití. Také je zde i rozdělení optických vláken podle doporučení ITU-T. Hlavní typy jsou vypsány a doplněny o základní informace.

Další větší kapitolou je disperze. Tato se věnuje třem různým druhům disperze. Vidové, chromatické a polarizační vidové disperzi.

Následuje spojování optických vláken a jsou zde uvedeny i všechny jeho metody. Ty se dělí na rozebíratelné, které zastupuje např. spojování vláken pomocí konektorů. Zároveň jsou zde vypsány nejpoužívanější typy konektorů. A dále jsou to nerozebíratelné spoje, které se dělí na svařované, slepované nebo mechanické spoje optických vláken.

Poslední teoretickou kapitolou jsou odchylky spojů, které vznikají při spojování vláken. Je to např. odchylka průměrů dvou jader, odchylka úhlová nebo odchylka v příčném nebo podélném posunutí. U každé odchylky je vzorec pro výpočet, který se poté uplatňuje i ve vytvořené aplikaci.

Druhou částí této práce je samotný program pro výpočet přenosových parametrů optických sítí. Aplikace je rozdělena do dvou částí. První z nich se věnuje výpočtu útlumu pro různé odchylky spojů optických vláken. Na výběr je zde 5 druhů odchylek. Kromě výpočtu útlumu je zde ke každé odchylce graf závislosti dané odchylky na vypočítaném útlumu. Druhá část aplikace se věnuje návrhu optických tras. Na výběr máme mezi jednovidovým nebo mnohavidovým vláknem. Každé z těchto vláken má své parametry, které je nutno zadat. Pomocí těchto parametrů je poté možno vypočítat chromatickou nebo vidovou disperzi a celkový útlum.

LITERATURA

- [1] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION [online]. 2009 [cit. 2012-11-27]. Dostupné z URL: <<http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=10389&lang=en>>.
- [3] MARŠÁLEK, L. *Optická vlákna*. [PDF] Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006 Dostupné z URL: <<http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>.
- [4] FILKA, M. *Optické sítě*. [PDF] Brno: FFAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2006 Dostupné z URL: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/studijni_materialy/ing/Opticke_site_L.pdf>.
- [5] HÁJEK, M., HOLOMEČEK, P. *Chromatická disperze jednovlákenných optických vláken a její měření*. [PDF] Dostupné z URL: <<http://www.mikrokom.eu/sk/pdf/chrom-disperze.pdf>>.
- [6] BOHÁČ, L. *Disperze optických vláken*. [PDF] Praha: ČVUT v Praze, Dostupné z URL: <http://students.math.slu.cz/jakubchovanec/skola/PCsit/Dalsi/5_prednaska.pdf>.
- [7] OFS [online] 2012 [cit. 2012-12-6] Dostupné z URL: <<http://www.ofsoptics.com/resources/AllWave-FLEX-136-web.pdf>>
- [8] OPTICON [online] 2012 [cit. 2012-12-6] Dostupné z URL: <http://opticon.edituj.cz/index.php?id_document=41910>
- [9] GREPA NETWORKS s.r.o. [online] 2012 [cit. 2012-12-6] Dostupné z URL: <<http://www.grepnet.cz/cs/sluzby/internet/opticky/>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

SMF	– Single Mode Fiber – Jednovídná vlákna
MMF	– Multi Mode Fiber – Mnohovidová vlákna
ITU-T	– International Telecommunication Union for Telecommunications – Mezinárodní telekomunikační unie pro telekomunikace
POF	– Plastic Optical Fiber – Plastová optická vlákna
DSF	– Dispersion Shifted Fiber – Vlákno s posunutou chromatickou disperzí
NZ-DSF	– Non Zero - Dispersion Shifted Fiber – Vlákno s posunutou nenulovou chromatickou disperzí
DWDM	– Dense Wavelength Division Multiplex – Hustý vlnový multiplex
CWDM	– Coarse Wavelength Division Multiplex – Hrubý vlnový multiplex
PMD	– Polarization Mode Dispersion — Polarizační vidová disperze
ACP	– Angled Physical Contact – Úhlové sférické zabroušení
FDDI	– Fiber Distributed Data Interface — Rozhraní pro distribuci dat vlákem
NA	– Numerical Aperture – Numerická apertura

σ_v	– vidová disperze [ps/km]
l	– délka vlákna [km]
n_1	– index lomu jádra [-]
c	– rychlost světla [m/s]
t_g	– rozšíření impulsu [s]
$D(\lambda)$	– koeficient chromatické disperze $\left[\frac{ps}{nm \cdot km}\right]$
λ	– vlnová délka [nm]
$\Delta\tau$	– zpoždění signálu [ps]
d_j	– průměr přijímacího vlákna [m]
D_j	– průměr zdrojového vlákna [m]
NA_1	– numerická apertura zdrojového vlákna [-]
NA_2	– numerická apertura přijímacího vlákna [-]
L	– vzájemné příčné posunutí [m]
S	– vzdálenost mezi konci vlákna [m]
φ	– úhel posunutí [°]
n_0	– index lomu jádra 1. vlákna [-]
n_1	– index lomu jádra 2. vlákna [-]