

Multimediální průvodce laboratorními úlohami na komunikační sestavě Promax EF-970

Multimedia Guide to Tasks in the Lab – Promax EF-970
Communication System

Bc. Lubomír Mikmek

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lubomír MIKMEK**
Osobní číslo: **A09383**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Multimediální průvodce laboratorními úlohami na komunikační sestavě Promax EF-970**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s laboratorní komunikační sestavou Promax EF-970 a jejími anglickými manuály a pracemi, které se jí týkají.
2. Provedte všechna měření na sestavě, která jsou popsána v anglickém návodu.
3. Vytvořte multimediálního průvodce, studentský videomanuál, pro každou laboratorního úlohu na této sestavě (bude obsahovat všechna zapojení).
4. Vytvořte učitelský videomanuál (bude obsahovat všechna zapojení a výsledky).
5. V rámci elektronizace výuky umístěte multimediálního průvodce na DVD, kdy výstup bude sloužit jako opora výuky předmětu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SHARMA, K.K. Optics: principles and applications. 1. London, UK : Elsevier Inc., 2006. 638 s. ISBN 978-0-12-370611-9.
2. DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 3: Optoelektronika a optoelektronické prvky. 1. české. Praha : BEN – technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 80-7300-184-5.
3. FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
4. MARŠÁLEK, Leoš. VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Optická vlákna [online]. 2.1.3. Ostrava, 2006 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: <http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>
5. PETERKA, Pavel a Vlastimil MATĚJEC. Optická vlákna se dočkala Nobelovy ceny za fyziku. [online]. [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: http://www.ufe.cz/docs/articles/peterka_matejec_nobelova_cena_vlakna.pdf
6. PROMAX. FIBRE OPTIC COMMUNICATIONS TRAINING SYSTEM USERS MANUAL: EF-970B-E. Hertfordshire, UK, 2002.
7. PROMAX. FIBRE OPTIC COMMUNICATIONS TRAINING SYSTEM TRAINING MANUAL: EF-970B-E. Hertfordshire, UK, 2002.
8. NERO INC. Reviewers Guide NERO 11 [online]. 2011 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: http://nmf.nero.com/branding/Nero_11_Reviewers_Guide_ENG.pdf

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Karel Perůtka, Ph.D.

Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V diplomové práci jsou uvedeny teoretické základy pro měření v laboratořích na přístrojích Promax EF-970, vývoj optických vláken, vzorce pro výpočty fyzikálních dějů se kterými se můžeme setkat při měření. Praktická část se zaměřuje na seznámení s přístroji a cvičné úlohy demonstrující měření skutečného přenosu optického signálu. Výsledkem bude DVD disk s proměřenými úlohami ve dvou verzích a úvodním menu s výběrem úlohy.

Klíčová slova:

Optické vlákno, přenos signálu po optickém vlákně, útlum optického vlákna, měřicí soustava Promax EF-970.

ABSTRACT

In this thesis there are given the teoretical basis of measurement in the laboratory System Promax EF-970, along with the development of the optical fibers and equations for calculating the physical processes found in the measurement. The practical part is focused on acquaintance with the equipment and training tasks demonstrativ the practical measuring of an optical signal transmission. The result of that will be a DVD which includes 2 versions of tasks, introduction menu and a selection of task.

Keywords:

Optical fibre, fibre optic transmissions, attenuation of optical fibers, Optical Communications System Promax EF – 970.

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Perůtkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi v průběhu zpracování diplomové práce poskytl. V neposlední řadě také mé rodině a nejbližším přátelům za podporu a toleranci.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORIE OPTICKÝCH VLÁKEN	12
2 OPTICKÁ VLÁKNA	19
2.1 ÚVOD DO OPTIKY	19
2.2 OPTICKÁ VLÁKNA	20
2.2.1 Výroba optických vláken	20
2.3 VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKEN	21
2.3.1 Základní vztahy	21
2.3.1.1 Index lomu světla.....	21
2.3.1.2 Časová perioda.....	22
2.3.1.3 Vlnová délka	23
2.3.1.4 Fermatův princip.....	23
2.3.1.5 Numerická apertura.....	23
2.3.1.6 Normalizovaná frekvence	24
2.4 ROZDĚLENÍ OPTICKÝCH VLÁKEN	25
2.4.1 Mnohovidová optická vlákna.....	25
2.4.1.1 Se skokovým indexem lomu světla	25
2.4.1.2 Gradientní optická vlákna.....	25
2.5 ZTRÁTY V OPTICKÝCH VLÁKNECH	27
2.5.1 Základní rovnice útlumu	27
2.5.2 Ohybové ztráty	28
2.5.3 Rozptylové ztráty	30
2.5.4 Absorpce vláken.....	31
2.5.5 Disperzní ztráty	34
2.5.6 Disperze a přenosová rychlost	37
2.6 ZDROJE ZÁŘENÍ A FOTODETEKTORY	40
2.6.1 Zdroje	40
2.6.1.1 LED zdroje záření.....	40
2.6.1.2 Laserové zdroje záření (LD).....	41
2.6.2 Fotodetektory	41
2.7 OPTICKÉ KABELY	43
2.7.1 Technické požadavky na kabely	43
2.8 SPOJOVÁNÍ OPTICKÝCH VLÁKEN	44
2.8.1 Základní charakteristika spoje.....	45
2.8.2 Vnější ztráty spoje.....	47
2.8.3 Reflexní ztráty – Fresnelovy ztráty	49
2.8.4 Mechanické spoje.....	50
2.8.5 Svařované spoje	51
2.8.6 Optické konektory	51
2.9 ZÁVĚR.....	53
II PRAKTICKÁ ČÁST	55
3 SEZNÁMENÍ S MĚŘÍCÍ SESTAVOU PROMAX EF-970	56

3.1	EF-970 BASIC	56
3.1.1	Multifunkční vysílač	58
3.1.2	Multifunkční přijímač	59
3.2	EF 970-01 PLASTIC	61
3.3	CVIČNÉ ÚLOHY K MĚŘENÍ	61
3.3.1	Seznam měřicích úloh	62
3.4	OVLÁDACÍ PRVKY MĚŘICÍ SOUSTAVY	63
3.4.1	Vysílač (Transmitter module EF-970/E).....	63
3.4.2	Přijímač (Receiver module EF-970/R).....	65
4	TVORBA MULTIMEDIÁLNÍHO PRŮVODCE.....	67
4.1	POŽADAVKY NA SOFTWARE	67
4.2	STRUČNÝ POPIS VYBRANÉHO SOFTWARE.....	67
4.3	VYTVOŘENÍ DVD	68
4.3.1	Stručný úvod	68
4.3.2	Vytvoření DVD	69
4.3.3	Úlohy k proměření s uvedenými orientačními výsledky	69
4.3.4	Spuštění a editace videí v Nero	109
4.4	SPUŠTĚNÍ A OVLÁDÁNÍ DVD.....	117
4.4.1	Charakteristika přehrávaných úloh	118
4.5	ZÁVĚR.....	119
	ZÁVĚR	120
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	122
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	123
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	124
	SEZNAM OBRÁZKŮ	125
	SEZNAM TABULEK.....	127
	SEZNAM ROVNIC	128
	SEZNAM PŘÍLOH.....	130

ÚVOD

Komunikace mezi lidmi hraje významnou roli v životě člověka. Předávání informací všeobecně usnadňovalo důležitá rozhodnutí jak na poli válečném, tak vladařům v politických otázkách, nevyjímaje prostý lid v řešení každodenních situací. Není tedy divu, že v době technického pokroku 20. století (zejména vynálezem tranzistoru v Bellových laboratořích) se komunikace za pomoci elektronických prvků setkala s nebývalým rozvojem. Postupem času se alternativy v přenosu informací začaly více rozvíjet, a to tehdy kdy kapacity přenosu informací rádiových spojení i dálkových elektronických nepostačovaly. Jedním z odvětví, které se chtělo pokusit vyřešit situaci, byla optická komunikace, jenž v sobě skrývala velký potenciál v kapacitě přenosu informací. Využívala k přenosu informací nejrychlejšího média – optického záření – světla. Teoretický předpoklad byl jasný – světlo se šíří $300\,000 \frac{km}{s}$, ovšem ve vakuu, se ztrátami rychlosti v použitém materiálu by se rychlost snížila o $\frac{1}{3}$ – to by znamenalo právě dost na to, aby jeden světelný paprsek stihl za jednu sekundu 5 x oběhnout kolem rovníku. To byly ty pravé argumenty proč směřovat vývoj právě do optické komunikace.

S problematikou přenosu informací po optické trase se zabývá i měřicí soustava, jenž je předmětem této diplomové práce. Má pomoci lépe se orientovat ve fyzikálních principech takového přenosu, ať už se jedná o obtíže navázání optického paprsku do samotného vlákna, jeho průchodem a s ním spojené výkonové ztráty, či zpětným převodem na signál elektrický – dále využitelným. Ovšem pokud chceme něčemu opravdu porozumět, musíme mít teoretické znalosti o daném tématu a snad i jistou míru „know how“. Tyto věci chci dále v práci objasnit a poskytnout dalším čtenářům cenné informace, které jim pomohou problematiku zvládnout.

V teoretické části se budu zabývat nejen historií vývoje optické komunikace, ale také chci objasnit určité fyzikální zákony pomocí vzorců a další nezbytnosti jako například spojování optických vláken či druhy optických zdrojů záření a jiné.

V praktické části chci nejprve popsat konkrétní měřicí zařízení, jeho ovládání a technické parametry. Následně chci detailně nastudovat anglické manuály k měřeným úlohám a ty vyústí k vytvoření DVD nosiče, jenž bude obsahovat video-návody, jak danou úlohu změřit a zobrazení výsledků (pro učitele). Pro studenty bude obsahovat prázdné tabulky a grafy, které si po změření úloh zpracují sami.

Kompletní práce bude obsahovat teoretické znalosti z oboru optické komunikace, které si mohou uživatelé přímo vyzkoušet na měřených úlohách a ověřit či upevnit své znalosti z dané problematiky. Přiložené DVD s úlohami bude možno přehrát jak v domácích přehrávačích v pohodlí domova, tak v osobních počítačích a tím uživatelům zpříjemnit a usnadnit přípravu na následné měření v laboratořích. Samozřejmostí bude úvodní menu s výběrem konkrétní úlohy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE OPTICKÝCH VLÁKEN

Počátek historie optických vláken můžeme najít hluboko v 19. století, kdy Daniel Colladon, profesor na univerzitě v Ženevě, demonstroval z nádrže (1841). Sluneční světlo nechal procházet vodní nádrží a fokusoval ho na otvor svých přednáškách vedení světla v laminárním proudu vody vytékajícím, kterým vytékal proud vody. Světlo lapené v proudu vody totálními odrazy na rozhraní voda/vzduch opouštělo proud vody, jen pokud se laminární proud rozrušil na kapky nebo když narazil na pevnou překážku. V zatemnělém auditoriu to byl jev velmi působivý. Od vedení světla vodním proudem je krůček ke skleněným světlovodům. Však také po Colladonově článku v *Comptes Rendus* na tuto možnost poukázal francouzský optik Jacques Babinet a navrhl využít zahnutý skleněný světlovod pro osvětlování v zubním lékařství. Na přelomu padesátých a šedesátých let 20. století telekomunikační společnosti dychtivě prahly po metodě přenosu stále většího a většího množství informací, aby byly schopny uspokojit požadavky spojené s růstem využívání televize a telefonů. Jedna z možností, přenos informace atmosférou elektromagnetickými vlnami, je omezena na frekvence nižší než cca 10 GHz, resp. vlnové délky delší než 3 cm. Záření kratších vlnových délek již „vidí“ hydrometeory, jako jsou vodní kapky, mlha, sníh, a nelze je pro spolehlivý přenos atmosférou použít. Rozsvícení prvního laseru Theodorem Maimanem v roce 1960 stimulovalo myšlenky využít pro komunikace frekvence z optického spektra, u nichž by přínos pro šířku pásma byl enormní. Z prostého poměru frekvencí je zřejmé, že zatímco mikrovlny by přinesly jen malé zlepšení, vlnové délce světla kolem 1 μm odpovídá frekvence 300 THz. Světlo tedy nabízelo potenciálně více než 10 000× větší přenosovou kapacitu než stávající radioreléové spoje. Proběhla řada pokusů využít laserové světlo pro přenos informace atmosférou, ale bez valného úspěchu. Rozpracovávaly se pak různé metody optických vlnovodů, jako byly konfokální čočkové vlnovody, plynové čočky vzniklé zahříváním plynu v trubici, případně trubice s reflexním vnitřním povrchem. Optická vlákna byla rovněž na seznamu možných světlovodů, ale názor na jejich praktické využití byl značně skeptický. Ta skepse měla dva zjevné důvody: disperzi a útlum. Není divu, že když v optice vesměs málo zběhlí mikrovlnní inženýři poznali, jaké mají dostupná optická skla útlum a jak titěrné by byly jednomódové skleněné vlnovody, museli shledat ideu komunikací po optických vláknech vskutku pošetilou. Americká pracoviště včetně Bellových laboratoří nepovažovala optická vlákna jako přenosové médium pro komunikace za významné. Myšlenkou využít skleněná vlákna pro komunikace se začátkem 60. let zaobíraly navzájem nezávisle jen dva malé

týmy. Jedním byla skupina ve Standard Telecommunications Laboratory (STL) nedaleko Londýna vedená Tony Karbowiakem. Karbowiak na tento výzkum angažoval dva mladé doktorandy: Charlese Kuena Kao a George A. Hockhama. Druhou skupinou byl laboratorní tým francouzské firmy CSF (Compagnie générale de télégraphie Sans Fil) pod vedením Ericha Spitze, původem z Brna. V laboratořích CSF se zabývali především mikrovlnnými vlnovody, ale po vynálezu laseru hledali i cesty pro přenos světla. Inspirováni skleněnými vlákny s pláštěm pro optické endoskopy, které mají co největší jádro a tenký plášť, navrhli opak: tenké jádro, umožňující jednomódové šíření světla, a relativně silný plášť. Nejenže s takovým vláknem lze snáze pracovat, ale také velikost jádra může být při malém rozdílu indexu lomu jádra a pláště zhruba 10× větší, než když je jádro obklopeno vzduchem (samozřejmě při zachování jednomódového šíření světla) a lze do něj lépe navázat světlo. Jedná se o koncept tzv. slabého vedení vln, který později elegantně teoreticky rozpracoval pro optická vlákna v Bellových laboratořích německý výzkumný pracovník Detlef Gloge. Erich Spitz a jeho spolupracovníci si dobře uvědomovali, že nejnižší známý útlum mají křemenná skla. Ve filiálce skláren Saint-Gobain specializované na přípravu syntetického křemene nechali vyrobit z křemenného skla skleněnou tyčku – preformu. Křemenné sklo má proti jiným sklům vysokou teplotu zpracování, kolem 2000 °C, a bohužel se jim nepodařilo najít vhodnou pec schopnou zahřát křemennou preformu tak, aby z ní mohli táhnout vlákno. Spěchající připravit jednomódové vlákno obrátili se k multikomponentním sklům s nižší teplotou tání používaným pro vlákna pro endoskopy. Ve sklárnách Saint-Gobain si nechávali vyrobit preformy a sami si improvizovaným způsobem připravovali vzorky vláken. Na konec preformy připevnili závaží, preformu nahřáli letovací lampou a tak byli schopni vytáhnout vlákna dlouhá až několik metrů. Jádra vláken měla jen několik mikrometrů, takže po navázání červeného světla heliového-neonového laseru do vlákna mohli na výstupu sledovat stopu pole odpovídající pouze základnímu módu. Když v roce 1965 navštívil tuto laboratoř F. F. Roberts z British Post Office spolu s Kaem z STL, byli překvapeni, neboť ačkoliv také uvažovali o skleněném vlákně pokrytém pláštěm (např. z ledu, imerze apod.), celoskleněné jednomódové vlákno k dispozici neměli. Jednomódová optická vlákna byla na světě, zbývalo ovšem vyřešit zásadní problém útlumu, neboť vlákna z CSF měla útlum stovky dB/km . Kao a Hockham začali podrobně analyzovat možnosti optických vláken. Hockham prováděl výpočty tolerancí na fluktuace rozměrů jádra vlákna a své výpočty ověřil na modelovém vlnovodu z oblasti mikrovln. Kao se soustředil na otázku

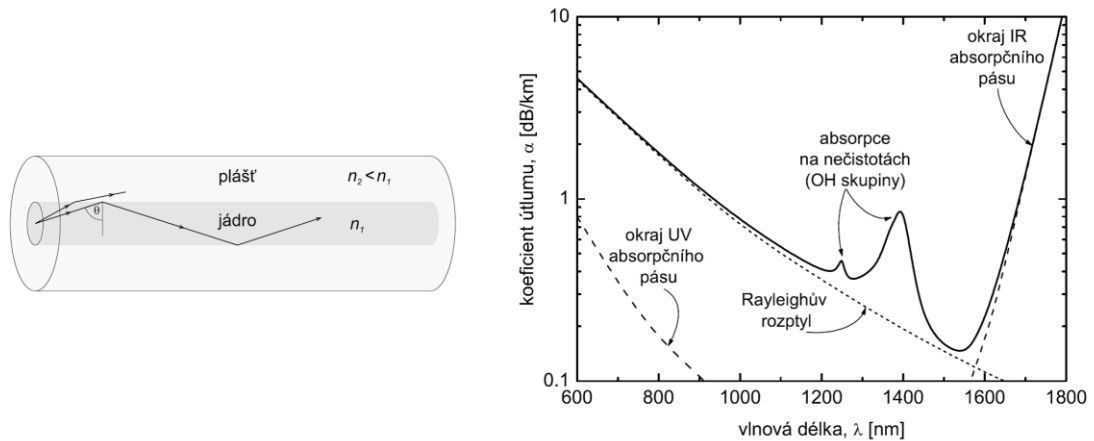
transparentnosti dostupných optických materiálů. Hledal ve vědecké literatuře, oslovoval experty, ale vesměs jen shledával, jak málo se o problému ví.



Obr. 1: Charles Kuen Kao při práci v optické laboratoři v 60. letech 20. století. (zdroj: TheChinese University of Hong Kong)

Kao se setkával jen s obecnou odpovědí, že za ztráty mohou nečistoty ve skle. Jeho však zajímalo více, hledal fundamentální omezení transparentnosti skel. Po výpočtech došel k závěru, že ztráty jsou dány absorpčními pásy čistého materiálu samotného (vibračními přechody molekul v infračerveném pásmu a elektronovými přechody v UV oblasti), Rayleighovým rozptylem na náhodně rozložených nehomogenitách struktury skla a absorpcí na příměsích, nečistotách ve skle. Tyto ztrátové mechanismy jsou naznačeny na Obr. 2. Zatímco firma CSF zastavila pokračování ve výzkumu optických vláken pro telekomunikace, Kao viděl budoucnost telekomunikací právě v jednoduché a elegantní myšlence optických vláken. Naštěstí našel pochopení u svých nadřízených a mohl ve výzkumu čistých skelných materiálů pokračovat. Aby mohl vůbec měřit nízký útlum čistých skel s přesností na jednotky dB/m , vyvinul nový, velmi citlivý spektrometr, schopný detekovat rozdíly v útlumu dvou skleněných tyček s rozdílem délek pouhých 20 cm . Byl též zapáleným šířitelem myšlenky vláknových optických komunikací. Na svých „misijních cestách“ po světě se často setkával s nepochopením a nezájmem, ale postupně další a další výzkumná pracoviště mu uvěřila a naskakovala na vlak jeho směru výzkumu.

Když v roce 1969 naměřil ztráty syntetického křemenného skla pouhých 5 dB/km , začaly se vážně zabývat vláknovými optickými komunikacemi i Bellovy laboratoře.



Obr. 2: Struktura optického vlákna (vlevo). Optické vlákno, které je jednomódové na vlnových délkách 1300 nm i 1550 nm , má typicky průměr jádra $8 \mu\text{m}$ a průměr křemenného pláště $125 \mu\text{m}$. Křemenné vlákno je ještě pokrýváno polymerní ochrannou vrstvou a má celkový průměr $0,25 \text{ mm}$. Spektrální závislost útlumu optického vlákna z křemenného skla (vpravo).

Jedním z pracovišť, kde se dozvěděli o Kaově návrhu, byly sklárny Corning ve stejnojmenném maloměstě na severozápadě státu New York. Výzkumem optických vláken se začal zabývat Robert D. Maurera pod jeho vedením zvláště dva čerství absolventi doktorského studia Peter Schultz a Donald Keck. Nejprve vytvářeli preformu metodou „tyčka v trubce“: ve válci z čistého křemene nechali vyvrtat díru, do které vložili tyčinku z křemenného skla dopovaného titanem. K zahřátí preformy na teplotu tažení použili jedinou pec dostupnou ve sklárnách Corning (a pravděpodobně unikátní i mezi jinými sklárnami) schopnou zahřát sklo na více než $2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Postupně se zde podařilo vytáhnout jednomódová vlákna, ale útlum byl dokonce větší než ve vláknech pro endoskopy. Schultz s Keckem usoudili, že útlum je způsoben bublinkami na rozhraní jádra a pláště a zbytky po mechanickém leštění povrchů. Po několika letech základního materiálového výzkumu přišel zlomový moment v roce 1970, kdy na cívce s 200 m jednomódového vlákna naměřili magický útlum 16 dB/km na červené vlnové délce heliového neonového laseru.

V roce 1971 John MacChesney s kolegy z Bellových laboratoří začali dopovat jádro pro zvýšení indexu lomu místo oxidu titaničitého oxidem germaničitým, který má lepší silotvorné vlastnosti než oxid titaničitý a nedochází u něho k tak vysoké tvorbě barevných

center. Používali tradiční metodu nanášení z plynné fáze. Podařilo se jim sice připravit nízkoztrátová vlákna, ale šlo o velmi zdoluhavý proces. Proto navrhli modifikovanou metodu nanášení z plynné fáze (MCVD – Modified Chemical Vapour Deposition). V této metodě jsou plynné chloridy zaváděny dovnitř rotující křemenné trubice upevněné v soustruhu. Trubice je zevnějšku zahřívána posuvným hořákem. V horké zóně dochází k chemické reakci a složky skla se usazují ve formě bílých sazí na vnitřních stěnách trubice. Saze jsou pak zprůhledněny slinutím při použití vyšší teploty hořáku. V posledním kroku se trubice zahřeje na teplotu asi 2000 °C, kdy se stává tvárnou a vlivem povrchového napětí trubice zkolabuje na tyčku – preformu. MCVD je jednou z nejvýznamnějších metod přípravy preforem optických vláken dodnes. S návazností na pokrok v oblasti přípravy optických vláken byla již v roce 1975 instalována první nevýzkumná optická přenosová trasa v Dorsetu v Anglii a za rok poté byla demonstrována japonskými firmami NTT a Fujikura Cables první optická vlákna s útlumem pouhých 0,47 dB/km na vlnových délkách minimální chromatické disperze v okolí 1,2–1,3 μm. Další revoluční událostí v oblasti vláknových optických komunikací bylo objevení vláknových zesilovačů dopovaných erbiem (EDFA, Erbium-Doped Fiber Amplifiers), jejichž nasazení umožnilo podstatně lépe využít enormní šířku pásma optických vláken a posílat po jednom vlákně několik signálů na různých vlnových délkách, tzv. vlnový multiplex (WDM, Wavelength Division Multiplexing). V bývalém Československu bylo první optické vlákno připraveno v roce 1980 v Československé akademii věd v laboratoři technologie optických vláken. Tato laboratoř je nyní součástí Ústavu fotoniky a elektroniky (ÚFE) AV ČR, v.v.i. V této laboratoři byla vyvinuta kompletní technologie přípravy optických vláken první a druhé generace, která byla pak předána do poloprovozu ve Sklounionu Teplice. Optická vlákna se v ČR nyní připravují pouze v ÚFE, a to za účelem výzkumu. Mezi aktuální řešené problematiky patří základní materiálový výzkum vláken, včetně přípravy nanostrukturovaných jader dopovaných prvky vzácných zemin, příp. prvky přechodových kovů pro vláknové lasery a zesilovače. Úzkým hrdlem optických komunikací je směrování a zpracování optických paketů v komunikačních uzlech, které jsou v současnosti elektronické. Řešením by bylo co nejvíce elektronických operací přesunout do optické oblasti. Jednou z takových komponent jsou vláknové filtry založené na mřížkách s dlouhou periodou, pro jejichž přípravu bylo v ÚFE postaveno unikátní zařízení, jež umožňuje implementaci těchto filtrů do všech typů optických vláken, nezávisle na jejich chemickém složení. Vláknové mřížky vyrobené na našem pracovišti byly testovány v mnoha náročných aplikacích (ultrarychlé zpracování signálu, telekomunikace s ultravysokou

přenosovou kapacitou atd.) na předních světových pracovištích. Spolu se sdružením CESNET, provozovatelem páteří akademické počítačové sítě České republiky, byl vyvinut vlastní, modulární EDFA, který nyní vyrábí jedna z předních firem v oblasti optických komunikací u nás, podnik Optokon v Jihlavě. Ve spolupráci s dalším významným českým výrobcem optovláknových komponent a subsystémů SQS-vláknová optika v Nové Pace jsou v ÚFE zkoumány a vyvíjeny součástky s fotonickými krystalovými vlákny připravenými z vysoce nelineárních materiálů (olovnatá a chalkogenní skla) s širokými možnostmi využití právě v transparentních optických sítích, např. pro konverzi vlnové délky optických signálů. Optická vlákna se dočkala nobelovy ceny za fyziku. Polovinu této ceny získal Charles Kuen Kao za výsledky, kterých dosáhl jak v teoretickém, tak experimentálním základním výzkumu v oblasti optických vláken, druhou polovinu pak George Smith a Willard Boyle za práce v oblasti digitálního snímání obrazu. Nobelova cena za fyziku tak poctila relativně staré objevy, vždyť práce oceněných sahají až do 60. let minulého století. Technologie vzniklé na základech těchto prací se již mezitím staly natolik součástí našeho každodenního života, že bychom si bez nich těžko dokázali náš svět představit. Optická vlákna fascinujícím způsobem změnila komunikaci mezi lidmi. Názornou ilustrací této změny je vývoj transatlantických kabelů. Zatímco koncem 50. let bylo dosaženo rekordních 36 simultánních hlasových hovorů, v roce 1978 pomocí podmořského kabelu s optickými vlákny již byla přenosová kapacita více než tisícinásobná. Když byl v roce 2000 uveden do provozu kabel TAT-14 s přenosovou kapacitou 1,87 terabitů za sekundu (viz Tab. 1: Vývoj transatlantických kabelů TAT.), stalo se poprvé, že byla k dispozici podstatně větší přenosová kapacita, než byly požadavky telekomunikačních operátorů. [1]

Tab. 1: Vývoj transatlantických kabelů TAT. [1]

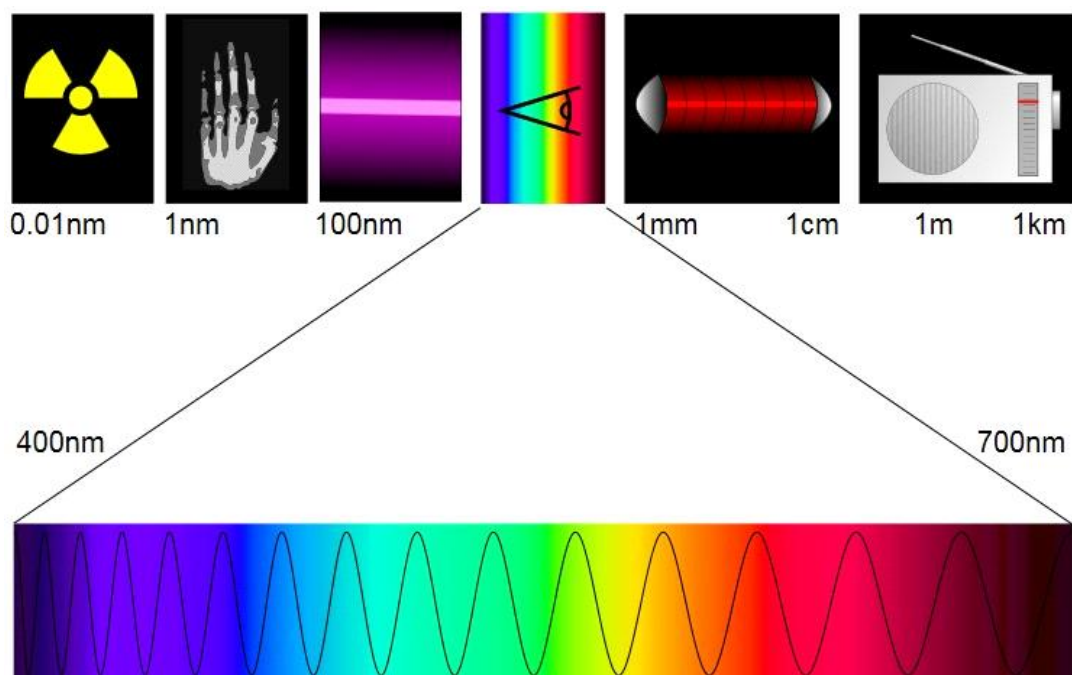
rok uvedení do provozu	název	šířka pásma, resp. přenosová kapacita	počet hlasových kanálů	klíčové použité technologie
1956	TAT-1	150 kHz	36	koaxiální kabel, elektronky, analogový přenos
1959	TAT-2	230 kHz	48	-"
1963	TAT-3	1,1 MHz	138	-"
1965	TAT-4	1,1 MHz	138	-"
1970	TAT-5	6 MHz	845	germaniové tranzistory
1976	TAT-6	30 MHz	4000	křemíkové tranzistory
1978	TAT-7	30 MHz	4000	-"
1988	TAT-8	280 Mb/s	40 000	optická vlákna, $\lambda=1,3 \mu\text{m}$, digitální přenos
1992	TAT-9	560 Mb/s	80 000	optická vlákna, $\lambda=1,5 \mu\text{m}$, digitální přenos
1992	TAT-10	1,1 Gb/s	120 000	-"
1993	TAT-11	1,1 Gb/s	120 000	-"
1996	TAT-12/13	30 Gb/s	614 400	optické zesilovače (EDFA)
2000	TAT-14	1,87 Tb/s	> 13 000 000	-"

2 OPTICKÁ VLÁKNA

2.1 Úvod do optiky

Na světlo se dá nahlížet jako na vlnění z pohledu vlnové optiky nebo jako na částice z pohledu kvantové fyziky. Tato dualita vychází z toho, že světlo má velmi rozsáhlé frekvenční spektrum a tím i má i různé energie. Například infračervené záření má daleko menší energii než záření gama (Pro představu elektromagnetického spektra slouží Obr. 3). A je to právě energie, která rozhoduje, zda-li má světlo blíže k vlnovému chování nebo k částicovému chování někdy taky označovanému korpuskulárnímu chování. Oba principy popisu se navzájem nevylučují, jen je někdy výhodnější využívat k popisu vlnového chování a někdy částicového chování pomocí fotonů. Světlo si lze představit jako paprskové šíření „částic“ – fotonů, které při svém letu ještě vykonávají kmitavý pohyb. Tento děj je však velice rychlý, protože se světlo ve vakuu šíří přibližně $300\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ a s frekvencí kmitání pro viditelné světlo je řádově v desítkách THz.[2]

U optických vláken se pro vedení informace využívá jen několik vlnových délek a to zejména 850 nm až 1600 nm pro křemíková vlákna a 520 nm až 650 nm u plastových vláken, tyto vlnové délky nejsou náhodné, ale vychází z měření, při kterých byl zjištěn nejmenší útlum.



Obr. 3: Znárodnění elektromagnetického spektra (Zdroj: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Spectre.svg>).

2.2 Optická vlákna

Optické vlákno je válcový dielektrický vlnovod z transparentního materiálu, tvořený jádrem a pláštěm, přičemž jádro má vyšší index lomu než plášť (viz Obr. 2 vlevo). Princip vedení světla optickým vláknem je překvapivě jednoduchý, jde v podstatě o využití jevu úplného odrazu paprsku. Paprsky, které dopadají na rozhraní jádra a pláště pod úhlem větším, než je mezní úhel, se úplně (totálně) odrážejí a jsou jádrem vedeny.[1]

2.2.1 Výroba optických vláken

Pro výrobu optických vláken musíme mít nejméně dva různé materiály s minimálním útlumem pro pracovní vlnovou délku λ . Pro dosažení minimálního rozptylu a útlumu jsme limitováni nečistotami a hraničními podmínkami krystalických struktur. Tyto podmínky omezují použití materiálů na sklovité struktury a na plastové monokrystalické struktury. Pro přípravu čistých sklovin se využívají dvě technologie:[2]

- **Klasické tavné technologie** – Připraví se ultračistý prášek skloviny ($SiO_2, GeO_2, B_2O_2, \dots$), dále se z tohoto prášku vytvoří tavenina bez bublin, v dalším kroku se tavenina zbavuje OH iontů probubláváním vysoušecího plynu. Ten většinou bývá přehříván a tím také ohřívá taveninu. Posledním krokem je odlití skloviny do tyčí tzv. preforem.
- **Depozitní technologie (depozice par)** - Jedná se o technologie, které využívají principu destilace. Sklo se odpaří a skelné páry se usazují na „kondenzační destičce“ v superčistém stavu. Tato technologie je velmi energeticky náročná, ale poskytuje nejčistší sklovinu vůbec. Navíc je docela propracovaná z výroby polovodičů.

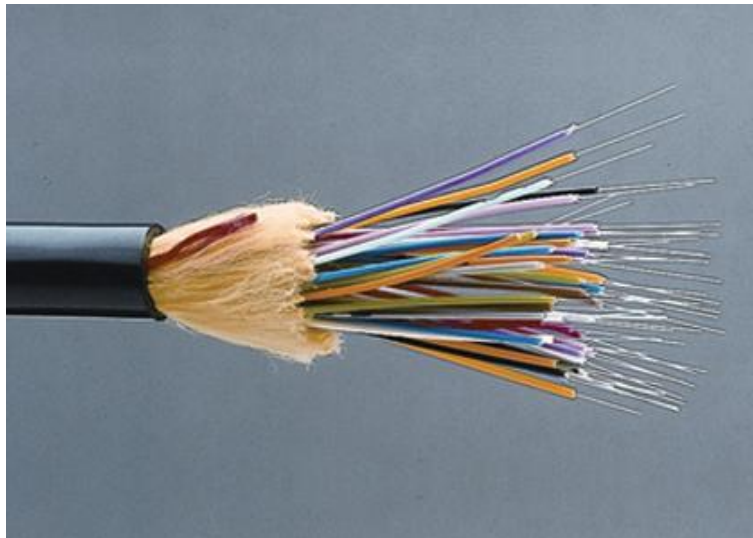
Tažení vláken

Tažení vláken klade extrémní nároky na přesnost mechanických částí, protože celá technologie se pohybuje v mikrometrové oblasti a navíc rychlost tažení vláken je 200-2000 metru za minutu. Při rychlosti tažení 2000 m za minutu se za hodinu vytáhne až 12 km vlákna.[2]

- **Klasická technologie** - Jedná se o relativně jednoduchou tažnou technologii, která je levná, ale nelze sní dosáhnout malých útlumů, protože nemá řízené rozhraní mezi jádrem a pláštěm. Touto technologií se dají vyrábět pouze SI

vlákna velkých rozměrů. Někdy se dá s touto technologií setkat pod názvem tyčka v trubce.

- **Metoda dvojitého kelímku** - Touto technologií se dají vyrábět i velmi dlouhá vlákna a dokonce i s gradientním průběhem indexu lomu. Princip spočívá ve dvou kelímcích, ve kterých je jádrový a plášťový materiál. Geometrické rozměry vlákna závisí na rychlosti tažení a na teplotě těsně za hrotem obou kelímků. Proto je do tohoto místa zaostřen *CO Laser*, který velmi rychle reaguje na změny teploty nebo na změny v rychlosti tažení.



Obr. 4: Optický kabel (Zdroj: http://www.exportvirginia.org/assets/uploads/calendar_winners/2007_2008/Optical%20Cable_1.jpg).

2.3 Vlastnosti optických vláken

Pro lepší pochopení problematiky optických vláken je zapotřebí znát základní termíny a vztahy se kterými se můžeme setkat. Jedná se hlavně o index lomu světla, vlnovou délku, numerickou aperturu, rovnice útlumu a další důležité.

2.3.1 Základní vztahy

2.3.1.1 Index lomu světla

Index lomu je poměr rychlosti světla ve vakuu s rychlostí světla v materiálu. Je to bezrozměrná veličina a je větší než 1.

Rovnice 1: Výpočet indexu lomu světla.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Kde:

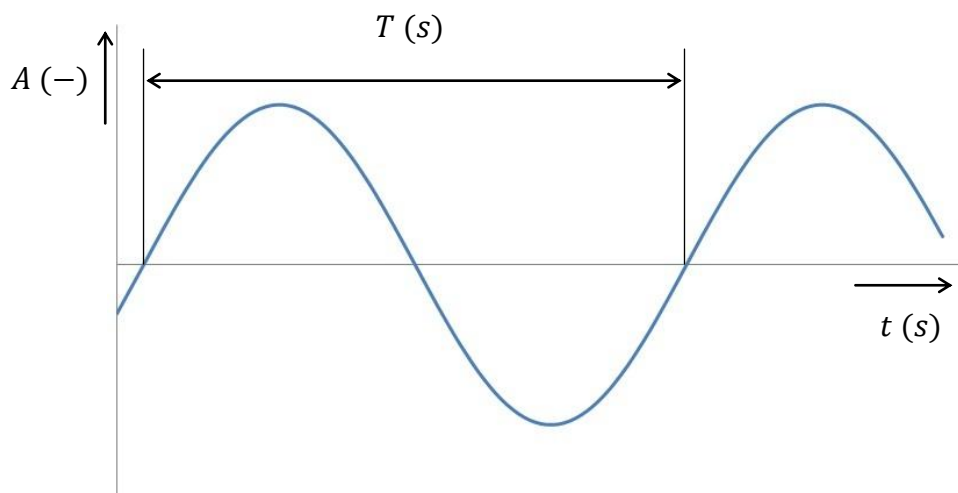
n	Index lomu světla	[-]
c	Rychlost světla ve vakuu	$[\frac{m}{s}]$; $[\frac{Km}{s}]$
v	Rychlost světla v daném prostředí	$[\frac{m}{s}]$; $[\frac{Km}{s}]$

Tab. 2: Index lomu světla vybraných materiálů.

Material	Index lomu [-]
Vzduch	1,003
Voda	1,330
Sklo	1,520 až 1,590
Diamant	2,420

2.3.1.2 Časová perioda

Časovou periodu si můžeme představit jako dobu jedné vlnové délky. Viz Obr. 5.



Obr. 5: Znáornění časové periody signálu.

Rovnice 2: Výpočet časové periody signálu.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2)$$

Kde:

T	Časová perioda signálu	[s]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ω	Úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]

2.3.1.3 Vlnová délka

Je to délka, kterou vlna “uběhne“ během jednoho kmitu. Vypočítá se ze vztahu:

Rovnice 3: Výpočet vlnové délky.

$$\lambda = c \cdot T \quad (3)$$

Kde:

λ	Vlnová délka	[m; μm]
-----------	--------------	---------------------

2.3.1.4 Fermatův princip

Světlo prochází prostředím z jednoho bodu do druhého tak, že k tomu potřebuje minimální dobu.

Rovnice 4: Fermatův přístup.

$$n_1 \cdot \sin \phi_1 = n_2 \cdot \sin \phi_2 \quad (4)$$

Kde:

$n_1; n_2$	Index lomu světla prvního prostředí; respektive druhého	[-]
$\phi_1; \phi_2$	Úhel dopadu, úhel odrazu	[°]

2.3.1.5 Numerická apertura

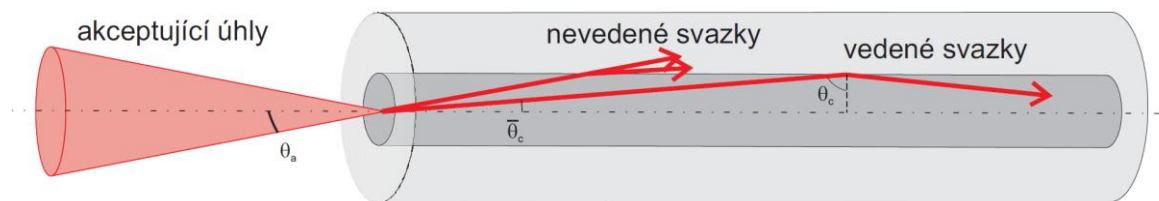
Numerickou aperturu si můžeme představit jako maximální úhel, který má vstupující paprsek a je dále veden jádrem optického vlákna. Pro znázornění slouží Obr. 6. Spočítá se jednoduše pomocí indexů lomů materiálů viz Rovnice 5.

Rovnice 5: Výpočet numerické apertury.

$$NA = n_a \cdot \sin \theta_a; NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5)$$

Kde:

NA	Numerická apertura	[-]
n_a	Index lomu světla prostředí, ze kterého se paprsek přichází	[-]
θ_a	Poloviční úhel dopadu paprsku na rozhraní	[°]
$n_1; n_2$	Index lomu světla v jádru; respektive v obalu	[-]



Obr. 6: Znázornění numerické apertury.

2.3.1.6 Normalizovaná frekvence

Normalizovaná frekvence zohledňuje kmitočet, velikost vlákna a materiál, který je na vlákno použit. Tato frekvence určuje zda-li je vlákno jednovidové nebo vícevidové. Pokud je vlákno jednomódové, tak musí platit $V \leq 2.405$ Normalizovaná frekvence je definována:

Rovnice 6: Výpočet normalizované frekvence.

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot NA}{\lambda} \quad (6)$$

Kde:

V	Normalizovaná frekvence	[-]
a	Průměr vlákna	[m]

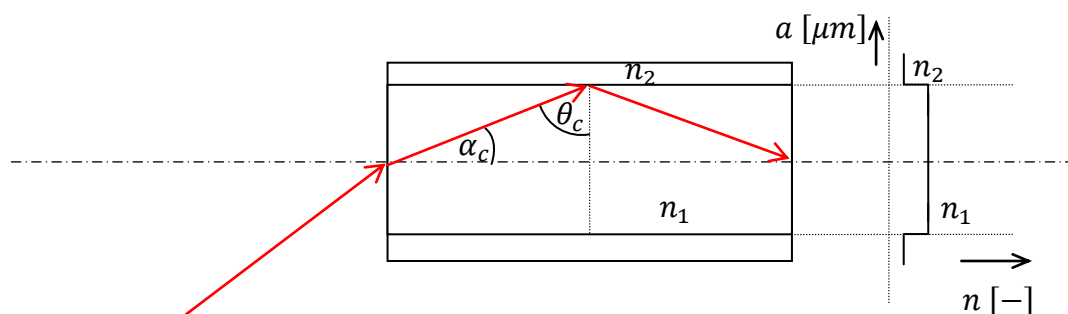
2.4 Rozdělení optických vláken

2.4.1 Mnohovidová optická vlákna

Mnohovidová vlákna se vyznačují větším průměrem jádra (desítky mikrometrů). V anglické literatuře se označují jako „multimode“ a mají zkratku „MM“. V praxi se používají na kratší vzdálenosti (stovky metrů). Informace v podobě paprsku světla je v jádru vlákna vedena za pomoci totální reflexe (úplného odrazu). Oproti jednovidovým vláknům se vyznačují menší ekonomickou náročností na výrobu. Mnohovidová vlákna se vyrábí buďto se skokovým indexem lomu či s gradientním indexem.

2.4.1.1 Se skokovým indexem lomu světla

Tyto vlákna jsou technologicky nejméně náročná na výrobu, což se příznivě promítá do jejich ceny. Tyto vlákna se vyrábějí z materiálů na bázi skla (SiO_2) nebo z průhledných polymerů.

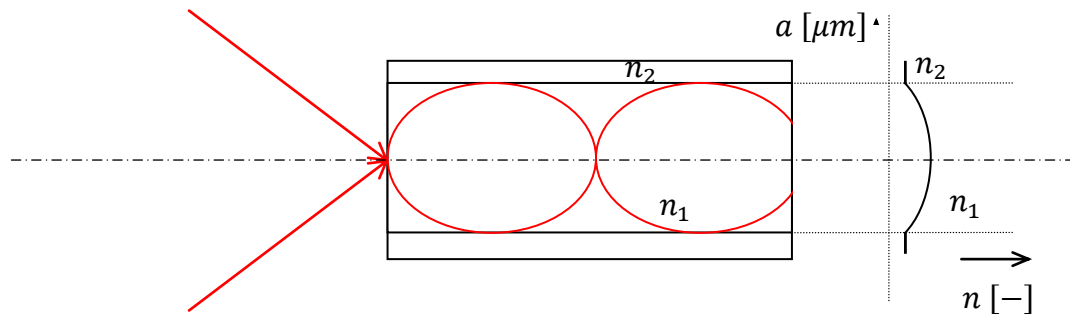


Obr. 7: Optické vlákno se skokovým indexem lomu.

2.4.1.2 Gradientní optická vlákna

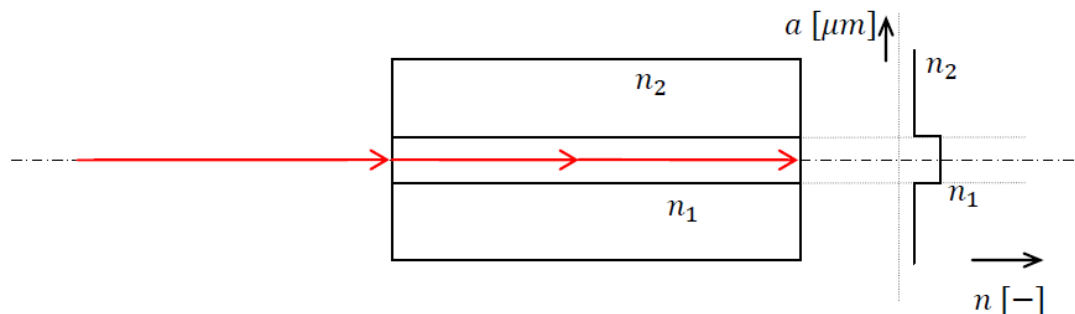
U gradientních vláken (anglicky graded-index) se index lomu zvyšuje se vzdáleností od středu vlákna (Obr. 8). Paprsek opisuje sinusovou křivku.

Tyto vlákna částečně eliminují módovou disperzi a proto mohou být nasazena na vyšší přenosové rychlosti. Tyto vlákna se používají zejména v datových sítích. Dovolují nižší přesnost při spojování vláken, než kdybychom spojovali jednomódovými vlákny.[2]



Obr. 8: Gradientní optické vlákno.

(Obr. 9). Především je to díky tomu, že se u tohoto typu vláken nevyskytuje módová disperze. S těmito vlákny lze dosáhnout podstatně vyšších přenosových rychlostí na delších trasách oproti mnohomódovým vláknům. Základní typ jednomódového vlákna se v podstatě neliší od mnohomódového vlákna, jen má menší průměr a proto se do něj „vejde“ pouze jeden mód.[2]



Obr. 9: Jednomódové optické vlákno.

Podmínka jednomódových vláken je určena prvním kořenem Besselovské funkce. Pro jednomódový režim vlákna musí platit tato relace (Rovnice 6):

$$V = \frac{2\pi \cdot a \cdot NA}{\lambda} \leq 2,405$$

Z tohoto vztahu je patrné, že jednomódový režim se dá ve vláknech ovládat vlnovou délkou λ , dále numerickou aperturou a hlavně průměrem vlákna. Ze strany vlnové délky a numerické apertury jsme docela hodně omezeni fyzikálními zákony, ale průměr jádra je čistě technologická záležitost, která je v dnešní době docela dobře zvládnutá.[2]

2.5 Ztráty v optických vláknech

Obecně by se daly ztráty (včetně disperze) v optických vláknech rozdělit asi takto:[2]

- **Ohybové ztráty** – jsou způsobeny přílišným ohybem vlákna \Rightarrow narušení podmínky totálního odrazu.
- **Rozptylové ztráty** – jsou dány výrobou. Vznikají na nečistotách a fluktuacích krystalické mřížky.
- **Absorpční ztráty** – tyto ztráty přeměňují světelnou energii na teplo.
- **Disperzní ztráty** – nejsou to ztráty v pravém slova smyslu, ale jsou to jevy, které znehodnocují vlastnosti optických vláken, proto jsou zařazeny zde.

2.5.1 Základní rovnice útlumu

Ztráty optického vlákna:

Rovnice 7: Výpočet ztráty optického vlákna.

$$A = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \quad (7)$$

Kde:

A	Ztráta vlákna	[-]
P_{OUT}	Výstupní výkon	[W]
P_{IN}	Vstupní výkon	[W]

Útlum optického vlákna:

Rovnice 8: Výpočet útlumu.

$$A_{(dB)} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \right) \quad (8)$$

Kde:

$A_{(dB)}$	Útlum opt. vlákna	[dB]
------------	-------------------	------

Měrný útlum (útlum vztažený na jednotku délky):

Rovnice 9: Výpočet měrného útlumu.

$$a(dB \cdot km^{-1}) = \frac{A(dB)}{L} \quad (9)$$

Kde:

$a(\text{dB} \cdot \text{km}^{-1})$	Měrný útlum	$[\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}]$
L	Délka	$[\text{m}]$

Určení výkonu na výstupu optického vlákna:

Rovnice 10: Výpočet výkonu na výstupu.

$$P_{OUT} = P_{IN} \cdot 10^{-a \cdot L} \quad (10)$$

2.5.2 Ohybové ztráty

Ztráty způsobené ohybem, jsou způsobeny porušením podmínky totálního odrazu. Tato podmínka je porušena změnou úhlu šíření ve vlákně. Paprsek dopadá pod větším úhlem a láme se do pláště. Další jev který k této ztrátě přispívá je fotoelastický jev. Tento jev je zajímavý tím, že index lomu není konstantní, ale je funkcí tlaku. Při ohybu vlákna vzniká na vnitřní straně ohybu tlak a na vnější straně ohybu vzniká tahové napětí. Tím dochází ke změně indexů lomu v jádře a plášti. Díky tomu se změní i mezní úhel šíření světla ve vlákně.[2]

Ohybové ztráty by se mohou rozdělit do dvou skupin:

- Makroohyb
- Mikroohyb

Mikroohyb má zakřivení menší než je průměr jádra vlákna. Ohybové ztráty se dají vyjádřit koeficientem ohybových ztrát α_r :

Rovnice 11: Výpočet koeficientu ohybových ztrát.

$$\alpha_r = c_1(R) \cdot e^{-(R) \cdot R} \quad (11)$$

Kde:

α_r	Koeficient ohybových ztrát	$[-]$
R	Poloměr zakřivení	$[\text{m}]$

Pro 100% ztrátu energie ve vlákně se zavádí výraz kritický poloměr zakřivení. Obecně se dá říci, že čím více je světlo vedeno jádrem optického vlákna tím je vlákno méně citlivé na ohyby.

Pro kritický poloměr vícemódových vláken platí:

Rovnice 12: Výpočet kritického poloměru u MM.

$$R_c \cong \frac{3 \cdot n_1^2 \cdot \lambda}{4 \cdot \pi \sqrt{(n_1^2 + n_2^2)^3}} \quad (12)$$

Kde:

R_c Kritický poloměr $[m]$

Pro tyto vlákna je kritický poloměr $R_c \cong 10^9 [\mu m]$, což je v praxi těžce dosažitelná hodnota. Vlákno by při tomto zakřivení s největší pravděpodobností prasklo.

Pro kritický poloměr pro jednomodová vlákna (SM):

Rovnice 13: Výpočet kritického poloměru u SM.

$$R_{cs} \cong \frac{20 \cdot \lambda}{\sqrt{(n_1^2 + n_2^2)^3}} \cdot \frac{1}{2,748 - 0,996 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_c}} \quad (13)$$

Kde:

R_c Kritický poloměr $[m]$

Kritický poloměr SM vláken bývá kolem $R_{cs} \cong 10^9 [mm]$. Tohoto poloměru se již dá dosáhnou, proto je zapotřebí u návrhu SM tras počítat s tímto typem ohybu.

Redukce ohybových ztrát

Jsou dva hlavní způsoby jak snížit ohybové ztráty. Prvním nejjednodušším způsobem je navrhnoutí trasy s velkými poloměry zakřivení, ale ne vždy je to možné. Druhým způsobem je zkrácení vlnové délky, ale zde se naráží na problém s Rayleiho rozptylem. Takže většinou se volí kompromis mezi těmito dvěma metodami.[2]

Výhody ohybových ztrát

Ohybové ztráty nejsou jen negativním jevem, ale dají se využít. Zejména se tohoto jevu využívá u módových filtrů, kdy potřebujeme „odfiltrovat“ vyšší energetické módy. Tyto módy se z vlákna vyváží a dále již neovlivňují přenos. Toho se využívá při měření, protože

jinak bychom vždy naměřili jiné výsledky. Takzvané tunelující módy se vyvazují hned z kraje vedení. Pokud bychom měřili na velmi krátkém vlákně, tyto tunelující módy by nám vnášely chybu do měření v podobě menšího útlumu. To by mohlo vést až k paradoxu při měření měrného útlumu. Pokud by nebyly tunelující módy odstraněny mohli bychom naměřit na krátké trase větší měrný útlum než na trase delší.[2]

2.5.3 Rozptylové ztráty

Tyto ztráty se dají rozdělit do třech skupin.

- **Rayleigho rozptyl**
- **Mieův rozpyl**
- **Rozptyl na nečistotách**

Rayleigho rozptyl

Je to dominující jev v oknech optické komunikace. Vzniká tepelnými kmity krystalické mřížky. Tento jev se nedá odstranit, dokonce ani podchlazením vlákna na absolutní nulu, protože při absolutní nule dojde k „zamrznutí“ jednotlivých pozic atomů v krystalické mřížce, ale světlo se kolem těchto útvarů ohýbá a vznikají ztráty rozptylem. Lze jej částečně eliminovat posunem pracovní frekvence do infračervené oblasti. Rayleigho rozptyl se dá popsat Rayleigho rozptylovým koeficientem.[2]

Rovnice 14: Výpočet Rayleigho rozptylového koeficientu.

$$\gamma_R = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} \cdot n^8 \cdot p^2 \cdot \beta_c \cdot kT_F \quad (14)$$

Kde:

γ_R Rayleigho rozptylový koeficient [-]

Propustnost po Rayleigho rozptylu:

Rovnice 15: Výpočet propustnosti Rayleigho rozptylu.

$$T_r = e^{-\gamma_r \cdot L} \quad (15)$$

Kde:

T_r Propustnosti Rayleigho rozptylu [-]

Mieův rozptyl

Vzniká na nehomogenitách srovnatelných s vlnovou délkou. Má velkou úhlovou závislost. Příčiny vzniku tohoto rozptylu jsou mikroskopické bublinky ve vlákne, napětí ve vlákne, kolísání průměru jádra, nedokonalá cylindrická struktura vlnovodu, nečistoty ve vlákne a další aspekty srovnatelné s vlnovou délkou.[2]

Rozptyl na nečistotách

Tento rozptyl je velmi podobný Mieůvu rozptylu, ale nehomogenity jsou větší než vlnová délka světla. Tento druh rozptylu lze úplně eliminovat správnou technologií výroby.[2]

2.5.4 Absorpce vláken

Absorpce je jev, kde se elektromagnetická energie mění v energii tepelnou. U optických vláken pro telekomunikační účely se oteplení vláken vlivem „provozu“ velice špatně měří, protože oteplení je velmi malé. U vláken, která neslouží k telekomunikačním účelům, ale například k přenosu velkých energií (např. laserové skalpely) se oteplení vláken projeví a je měřitelné.[2]

Absorpce se dá rozdělit do dvou skupin:

- Vlastní absorpce
- Příměsová absorpce

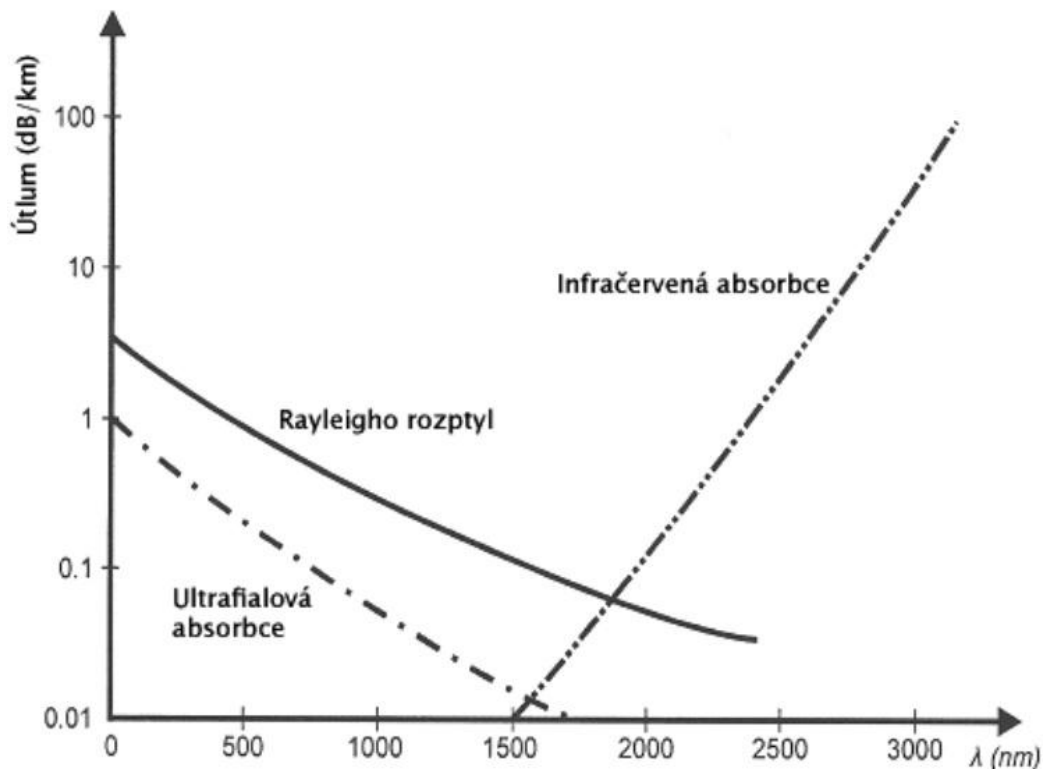
Vlastní absorpce

Do této skupiny by se daly zařadit absorpce v infračervené oblasti, ultrafialové oblasti a absorpce vlastním materiálem SiO_2 . Absorpce skleněným materiálem jsou velmi malé. Absorpce v ultrafialové oblasti je větší a je způsobena absorpcí valenčními elektrony a z technologického hlediska je to zatím neodstranitelný problém. Absorpci v infračervené oblasti způsobuje kmitání celých molekulových útvarů. S touto absorpcí se dá částečně manipulovat. Pokud jsou molekulové útvary těžší, světlo je nedokáže rozkmitat. Toho se využívá při posunutí IR absorpce k nižším vlnovým délkám. Musí se sice opustit velmi dobrý materiál SiO_2 , ale u nových materiálů je absorpce zase o něco nižší. Několik příkladů infračervené absorpce.[2]

Tab. 3: Příklady infračervené absorpce.

Materiál	Vlnová délka maxima absorpce [μm]

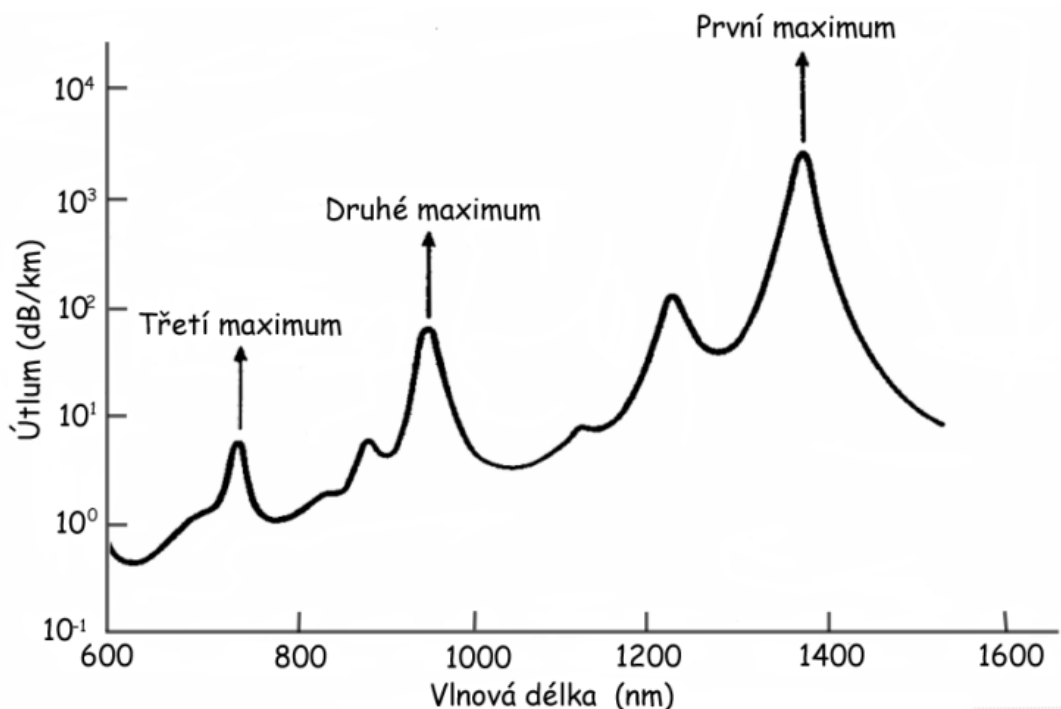
$Si - O$	9,2
$P - O$	8,1
$B - O$	7,2
$Ge - O$	11,0



Obr. 10: Rayleigho rozptyl a IR/UV absorpce.[2]

Příměsová absorpce

Asi největší příměsovou absorpci mají na svědomí vodní ionty (OH). Závislost útlumu vodních iontu na vlnové délce ukazuje Obr. 11: Závislost útlumu OH iontu na vlnové délce. Obr. 11. Průběh útlumu OH iontů je zajímavý tím, že má dva základní vibrační módy na $2,7 \mu m$ a $4,2 \mu m$. Od těchto základních vibračních módů vznikají vyšší harmonické na $1,38 \mu m$; $0,95 \mu m$; $0,72 \mu m$ a jejich kombinační složky na $1,24 \mu m$; $1,13 \mu m$ a $0,88 \mu m$. Příměs OH iontu ve skle vytváří mikrotrhliny. Díky těmto mikrotrhlinám jsou skleněné materiály náchylné na praskání.[2]



Obr. 11: Závislost útlumu OH iontu na vlnové délce.[2]

Další příměsi, které zvyšují útlum jsou ionty kovu. Tabulka uvádí vlnovou délku maxima absorpce a útlum v $dB \cdot km^{-1}$ při poměru nečistot $1 : 10^9$ což představuje na jeden atom příměsi miliardu atomů vlastního materiálu.[2]

Tab. 4: Vlnová délka maxima absorpce a útlum v $dB \cdot km^{-1}$ při poměru nečistot $1:10^9$.

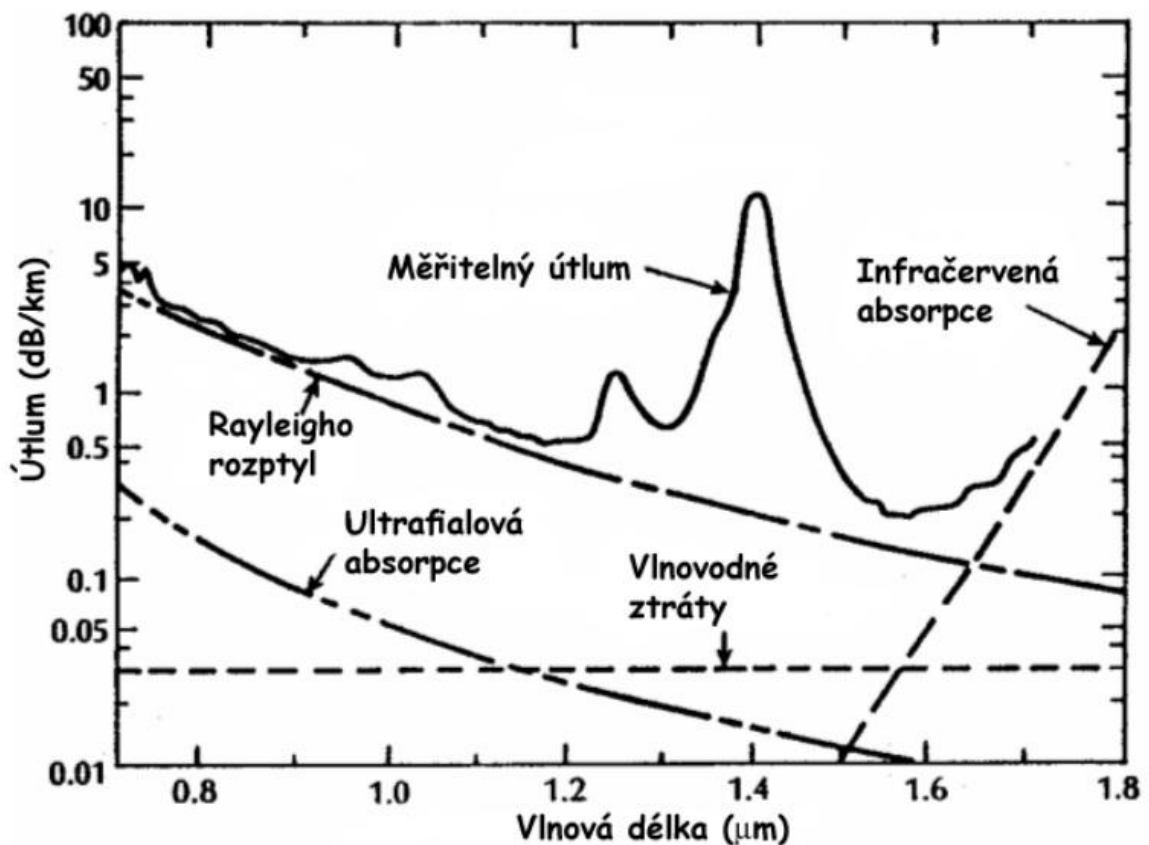
Ionty	Vlnová délka maxima absorpce (nm)	Útlum ($dB \cdot km^{-1}$)
Cr^{3+}	625	1.6
C^{2+}	685	0.1
Cu^{2+}	850	1.1
Fe^{2+}	1100	0.68
Fe^{3+}	400	0.15
Ni^{2+}	650	0.1
Mn^{3+}	460	0.2
V^{4+}	725	2.7

Celkovou absorpci pak ukazuje Obr. 12, kde jsou vidět jednotlivé rozptyly a absorpce přispívající k celkovému útlumu. Křivka Měřitelné ztráty ukazuje celkový útlum v závislosti na vlnové délce.

2.5.5 Disperzní ztráty

Disperzní ztráty nejsou ztrátami v pravém slova smyslu. Disperzní jevy totiž nezpůsobují úbytek energie, pouze energii navázanou do vlákna rozprostírají v čase. Obecně se dají disperzní jevy rozdělit na:[2]

- Módovou disperzi – Je dána tím, že jednotlivé módy se šíří po různých optických trasách a čas, který potřebují k šíření ve vlákne je různý. **Dochází k rozšíření vstupního pulzu.**
- Chromatickou disperzi – Za chromatickou disperzi může materiál ze kterého je vlákno vyrobeno (závislost $D(\lambda)$) a také spektrální šířka použitého světelného zdroje. Obecně se dá říci, že s LD¹ se dosahuje menší chromatické disperze než při použití LED² světelného zdroje.



Obr. 12: Celková závislost útlumu na vlnové délce.

¹ Laser diode – laserová dioda.

² Light emitting diode – polovodičová dioda emitující světlo.

Módová disperze

Výpočet rozšíření pulzu u jednovodových vláken:

Doba šíření osového módu (T_{MIN}) je nejmenší, protože světlo se šíří v ideálním případě po přímce nebo se k ní alespoň blíží. Doba šíření mezního módu (T_{MAX}) je pak druhým případem, kdy se mód ve vlákně šíří nejdelší dobu.[2]

Rovnice 16: Výpočet doby šíření osového a mezního módu.

$$T_{MIN} = \frac{L}{c} = \frac{L \cdot n_1}{c}; T_{MAX} = \frac{L \cdot n_1^2}{c \cdot n_2}; \quad (16)$$

Kde:

T_{MIN}	Doba šíření osového módu	[s]
T_{MAX}	Doba šíření mezního módu	[s]

Potom rozšíření pulzu je rozdíl T_{MAX} a T_{MIN} .

Rovnice 17: Výpočet doby rozšíření pulzu.

$$\Delta t_{SI} = T_{MAX} - T_{MIN} = \frac{L \cdot n_1^2}{c \cdot n_2} \cdot \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1} \right); \Delta t_{SI} = \frac{L \cdot NA^2}{2 \cdot n_1 \cdot c}; \quad (17)$$

Kde:

Δt_{SI}	Doba rozšíření pulzu	[s]
-----------------	----------------------	-----

Výpočet rozšíření pulzu pro gradientní vlákna:

Rovnice 18: Výpočet doby šíření pulzu.

$$\Delta t_{GI} \approx \frac{L \cdot NA^4}{8 \cdot n_1^3 \cdot c} \quad (18)$$

Kde:

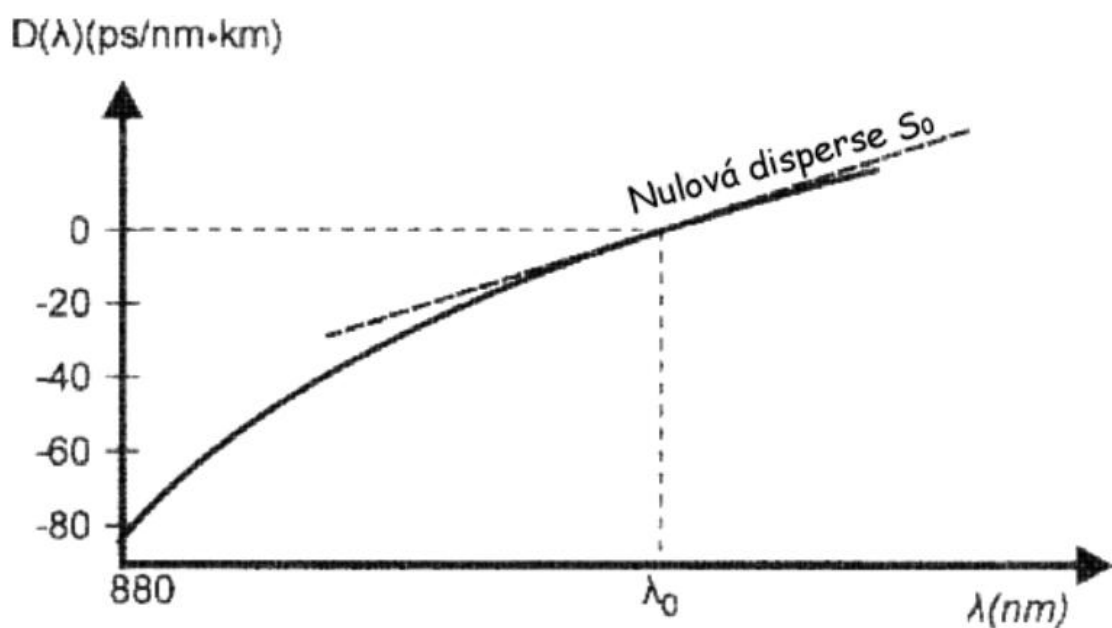
Δt_{GI}	Doba rozšíření pulzu	[s]
-----------------	----------------------	-----

Odstranění módové disperze

Módovou disperzi lze odstranit používáním jednomódových vláken. Ty ale sebou přinášejí některá omezení, a také vyšší finanční nároky. Módová disperze se dá částečně eliminovat používáním gradientních vláken, která mají lepší „disperzní“ parametry.[2]

Chromatická disperze

Chromatická disperze se projevuje u všech vláken. U mnohovidových vláken se tato disperze moc neprojeví, protože daleko dříve se začne projevovat disperze módová. Chromatická disperze je dána tím, že index lomu je kmitočtově závislý, což by se matematicky dalo zapsat jako $n = n(f)$. Index lomu je závislou funkcí na frekvenci. Díky tomu se jednotlivé frekvence šíří ve vláknech po různých optických trajektoriích, tudíž doba šíření jednotlivých kmitočtu není stejná. Odstranění této disperze je velice obtížné a zejména finančně náročné.[2]



Obr. 13: Závislost chromatické disperze na vlnové délce.

Rovnice 19: Výpočet chromatické disperze.

$$\Delta t_{chrom} = \frac{D(\lambda)}{L \cdot \Delta \lambda} \quad (19)$$

Kde:

Δt_{chrom}	Doba rozšíření pulzu	[s]
$D(\lambda)$	Chromatická disperze	$\left[\frac{ps}{nm} \cdot km\right]$

Rovnice 20: Výpočet celkové disperze.

$$\Delta t_{total} = \sqrt{\Delta t_{mod}^2 + \Delta t_{chrom}^2} \quad (20)$$

Kde:

Δt_{total} Doba rozšíření pulzu - celková [s]

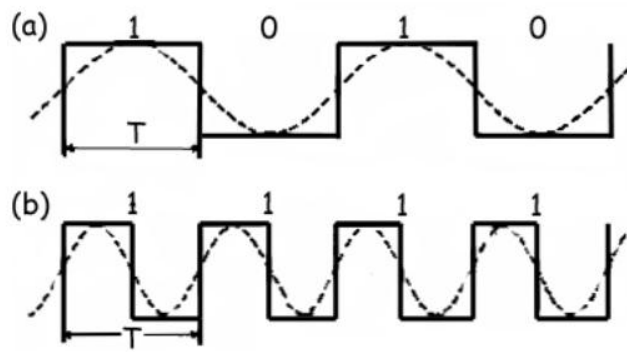
2.5.6 Disperze a přenosová rychlost

Přenosová rychlost

Nejprve by jsme si měli položit otázku co je to přenosová rychlost? Přenosová rychlost by se dala definovat jako počet znaku, symbolů, značek přenesených za jednu vteřinu. Pro telekomunikační techniku a vesměs pro celkový přenos dat se ujalo označování v bitech za vteřinu. Značí se jako $b \cdot s^{-1}$ nebo také *bps*. Není to nic jiného než že se za jednu vteřinu přenese určitý počet symbolů, značek. V praxi se občas také používá k označování přenosové rychlosti byte za sekundu. Tyto dva způsoby označování přenosové rychlosti jsou totožné a bez problému se dají mezi sebou převádět, protože 1 byte je 8 bitu. Označování v bitech za vteřinu vzniklo zejména kvůli marketingu, protože vyšší čísla se lépe prodávají, ale zároveň to v číslicové technice ilustruje počet impulsu, které vedení stihne přenést. Záleží však také na kódování.[2]

Šířka pásma a používané kódování

Existuje spousta linkových kódu, které se používají. Zde nastíním pouze dva nejpoužívanější. Kód s návratem k nule a kód bez návratu k nule. Pro kódy RZ je přenosová rychlost rovná maximálnímu kmitočtu na vedení. Kdežto kódy NZ mají přenosovou rychlost 2x větší než je maximální možná frekvence na vedení. Optické komunikace pracují s kódováním RZ, proto se dá přenosová rychlost popsat přímo šířkou pásma. NRZ se nepoužívá proto, že komunikace potřebují bezpečně rozlišit hranice impulsu, které přenášejí informaci a také vyšší kmitočty umožňují přesnější synchronizaci zařízení.[2]



Obr. 14: Kódy NRZ a RZ

Šířka pásma

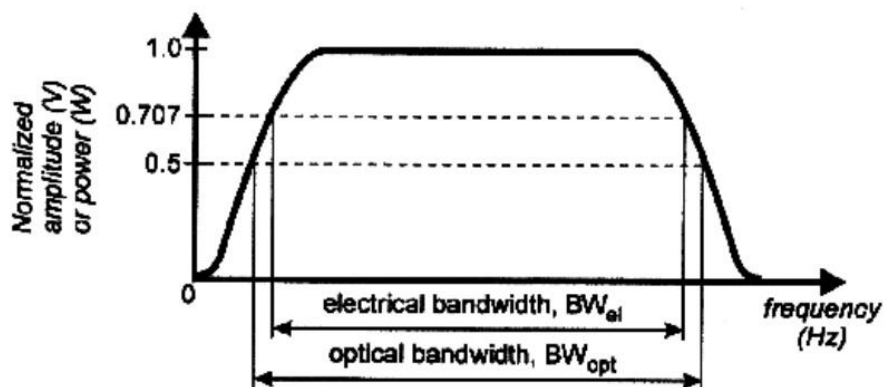
Pro elektrické obvody platí, že šířka pásma je tak velká kde pokles napětí je menší než 3 dB. U optických komunikací to platí také, ale protože jsme ve výkonové oblasti, tak 3 dB jsou polovina signálu. Podívejte se na malý výpočet.[2]

Rovnice 21: Výpočet šířky pásma.

$$-3dB = 10\log(P_x) \tag{21}$$

Kde:

P_x poměr výstupního výkonu ku vstupnímu. $P_x = 0,5011872$ $[W/(m^2.K)]$



Obr. 15: Rozdíl mezi šířkou elektrického a optického pásma.

Přenosová rychlost a disperze

Pokud máme zařízení, které komunikuje rychlosti $10 \frac{Gb}{s}$ potom jeden pulz bude:

$$\Delta t = \frac{1}{BR} = \frac{1}{10e^9} = 1e^{-10} = 100ps$$

Na jeden impulz přenášející energii máme 100 ps. Jenže vlivem disperze musíme tento čas ještě zkrátit, aby se impulz měl kam roztáhnout a nedocházelo tak k intersymbolové interferenci³. Proto se pro praxi počítá s časovými rezervami. Zjednodušená relace pro praxi je:[2]

Rovnice 22: Výpočet přenosové rychlosti.

$$BR \leq \frac{1}{4\Delta t} \quad (22)$$

Kde:

BR	Rychlost komunikace	$\left[\frac{b}{s}\right]$
Δt	Rozšíření pulzu vlivem disperze	$[s]$

Pro jednojádřová vlákna vlákno potom platí – módová disperze:

Rovnice 23: Výpočet přenosové rychlosti v jednojádřových vláknech.

$$BR_{SI} \leq \frac{c \cdot n_1}{2 \cdot L \cdot NA^2} \quad (23)$$

Kde:

BR_{SI}	Rychlost komunikace	$\left[\frac{b}{s}\right]$
-----------	---------------------	----------------------------

Pro gradientní vlákno potom platí – módová disperze

Rovnice 24: Výpočet přenosové rychlosti v gradientních vláknech.

$$BR_{GI} \leq \frac{2 \cdot c}{L \cdot n_1 \cdot \Delta^2} \quad (24)$$

Kde:

BR_{GI}	Rychlost komunikace	$\left[\frac{b}{s}\right]$
-----------	---------------------	----------------------------

³ Nerozlišitelnost impulsu, ztráta informace, přenosový řetězec nemusí vůbec pracovat.

Omezení chromatickou disperzí je:

Rovnice 25: Výpočet rychlosti komunikace při chromatické disperzi.

$$BR_{chrom} \leq \frac{1}{4 \cdot D(\lambda) \cdot L \cdot \Delta\lambda} \quad (25)$$

Kde:

$$BR_{chrom} \quad \text{Rychlost komunikace} \quad \left[\frac{b}{s}\right]$$

Potom ze vztahu (Rovnice 23) nebo (Rovnice 24 a Rovnice 25) se počítá vliv složené disperze:

Rovnice 26: Výpočet celkové rychlosti komunikace.

$$BR_{total} \leq \frac{1}{4\sqrt{\Delta t_{mod}^2 + \Delta t_{chrom}^2}} \quad (26)$$

Kde:

$$BR_{total} \quad \text{Rychlost komunikace celková} \quad \left[\frac{b}{s}\right]$$

2.6 Zdroje záření a fotodetektory

2.6.1 Zdroje

V dnešní době se nejvíce používají jako zdroje záření LED a Laserové diody. Proto se zaměřím na jednoduchý popis parametrů a možnosti využití v telekomunikační technice.

V měřicí soustavě Promax EF-970 se nachází zdroje LED vyzařující na vlnových délkách 526 nm, 590 nm, 660 nm, 850 nm a 1300 nm.

2.6.1.1 LED zdroje záření

Dioda na svém polovodičovém přechodu P-N (přechod elektron-díra) vytváří světlo určité vlnové délky. To jaké vlnové délky elektromagnetické záření bude, záleží na chemickém složení použitého polovodiče. Světlo z LED zdroje je nekoherentní. Tyto vlastnosti umožní LED zdrojům využití pouze na krátkých úsecích.[2]

Tvar zářivé stopy:

- **Povrchově (čelně) vyzařující LED (SLED)**- Polovina výkonu se nachází v kuželu o vrcholovém úhlu 120. SLED mají symetrickou stopu a používají se k buzení MM vláken $\lambda = 850 + 1300 \text{ nm}$.
- **Hranově (stranově) emitující LED (ELED)** – mají asymetrickou stopu. Používají se k buzení SM vláken $\lambda = 1310 + 1550 \text{ nm}$.

Šířka pásma LED

Mezní frekvence pro použití LED leží někde kolem 100 - 200 MHz.

2.6.1.2 Laserové zdroje záření (LD)

Používají se pro dálkové spoje, jsou dražší ale za to rychlejší koherentní zdroj záření.

V měřící soustavě Promax EF-970 nalezneme laserový zdroj vysílající elektromagnetické záření o vlnové délce 635 nm.

Princip činnosti

LD (Laser Diode) využívají stimulované emise. Stimulované znamená, že rekombinace světla probíhá na základě vnějšího popudu (stimulu). Vlastnosti stimulované emise:

Na počátku je emitován samovolný foton, který pro excitované elektrony představuje stimulující popud. Fotony se šíří ve stejném směru, důsledek je zvýšená účinnost přeměny I/P (LED pro $P = 1 \text{ mW}$ potřebuje proud 150 mA, LD pro stejný výkon kolem 10 mA).[2]

2.6.2 Fotodetektory

Základní vlastností fotodetektorů je přeměna elektromagnetického záření na elektrický proud. Kvalita fotodetektoru při navrhování telekomunikační trasy je stěžejní. Můžeme mít nejrychlejší zdroje záření, kvalitní SM vlákna, ale pokud budeme nedostatečně efektivně převádět signál zpět na elektrický, nevyužijeme plně potenciál trasy. Požadavky na detektory[2]:

- velká citlivost v oblasti pracovních vlnových délek
- vysoký stupeň věrnosti při konverzi signálu
- velká elektrická odezva na malý vstupní optický signál
- velmi krátká doba odezvy pro získání co největší šířky pásma
- minimální šum generovaný fotodetektorem

- časová, teplotní stabilita převodních charakteristik

Základní principy

V komunikačních systémech se setkáme s optickými detektory, které pracují na vlnových délkách 800 nm až 2000 nm. Kvůli rychlosti převodu a malému závěrnému napětí se výhradně využívá detektorů, pracujících s vnitřními fotoefekty.[2]

Používané materiály

Pro viditelnou oblast se používá (kolem 800 nm) : *Si, Ge, GaAs, InGaAs*. Pro blízkou infračervenou oblast se používá (1.3 μm - 1.6 μm) : *Ge, GaAs, InGaAs, InGaAsP*. [2]

Rozdělení fotodetektorů

Detektory mohou být rozděleny na PN, což jsou klasické nezakryté PN přechody, PIN, kde se mezi vrstvu P a N vkládá intrinzičtý polovodič. Dále jsou to fototranzistory a APD detektory. Oblast P je silně dotována. V oblasti N je slabá dotace. To má za následek vytvoření přepětí, jenž je dáno oblastí prostorového náboje, která je převážně ve vrstvě N.[2]

Rozlišovací schopnost fotodiody

Je určena minimální hodnotou výkonu, který je schopen detektor rozlišit. Nejvýznamnější limitující parametr v této oblasti je temný proud.

Signály ležící pod úrovní temného proudu jsou nerozlišitelné. Temný proud určuje prahový optický výkon. Typické hodnoty temných proudu leží řádově v jednotkách nA.[2]

Šířka pásma fotodetektoru

Je to maximální frekvence nebo přenosová rychlost, zpracovávána fotodetektorem bez vzniku podstatných chyb. Obvykle se měří jako pokles přijatého signálu o 3 dB oproti vysílacího.[2]

PIN fotodiody

fotodiody bez vnitřního zisku, do jejíž struktury je přidána speciální vrstva polovodiče I zvětšující její citlivost a účinnost.[2]

Lavinové diody APD

lavinová fotodiody s vnitřním ziskem - uvnitř této diody dochází vlivem silného elektrického pole (velké závěrné napětí) k lavinovému vzniku volných elektronů (primárně

uvolněné elektrony díky dopadu fotonů na přechod P-N se tím účinně násobí), čímž se zvětšuje citlivost v porovnání s diodou PIN.[2]

2.7 Optické kabely

2.7.1 Technické požadavky na kabely

Nároky na telekomunikační kabely by se daly rozdělit do těchto šesti skupin[2]:

- **Mechanické parametry** - Typické hodnoty pro tahové namáhání jsou krátkodobě kolem 6000 *N* a dlouhodobě kolem 4000 *N*. Typická hodnota pro namáhání v tlaku je 3000 *N* na 100 *mm*.
- **Teplotní podmínky činnosti:**
 - Instalace a montáž -10 až +50 stupňů Celsia
 - Provoz kabelu -20 až +60 stupňů Celsia
 - Skladování -20 až +70 stupňů Celsia
- **Odolnost proti vlhkosti** (vnitřní a venkovní použití)
- **Vliv prostředí** – největší problém je výskyt hlodavců a mravenců (jako ochrana se používá pancířové chránění či HDPE chráničky)
- **Odolnost proti chemikáliím a UV záření** – materiály pláštěů kabelů:
 - PVC – Polyvinylchlorid
 - HDPE - Hight Density PolyEtylen
 - Polyuretan
 - Nylon
 - Teflon
- **Ohnivzdornost a odolnost proti tvorbě zplodin**
 - Označení kabelů:

LSF – Low Smoke and Flume – nízká kouřivost a hořlavost.

LSF/0H – Low Smoke and Flume, zero halogen – nízká kouřivost a hořlavost, bez halogenů.

LSHF – Low Smoke Halogen Free – nízká kouřivost bez halogenů.

LSZH – Low Smoke Zero Halogen – nízká kouřivost bez halogenů.

LS0H – Low Smoke zero Halogen – nízká kouřivost bez halogenů.

Co by měl kabel určitě obsahovat:

- Tahový člen – má eliminovat tahové napětí, ale hlavní úlohou je držet kabel v montážní poloze.
- Tahová ochrana – většinou jsou to aramidová vlákna (kevlar). Mají vysokou pevnost v tahu a mají za úkol přenášet tahové namáhání tak, aby nebyly namáhána vlákna uvnitř kabelu.
- Vlhkostní ochrana – většinou to je pásek, který je ovinut kolem vnitřní struktury kabelu. Má zamezit vlhkosti, aby se dostala dovnitř kabelu.
- Ochranné trubičky – další prvek, který má zabránit namáhání vláken.
- Gel – hlavní funkcí je to, aby se nepřeneslo namáhání na vlákna. Jeho další funkcí je omezení lámání trubiček, které tvoří ochranu kolem vláken.
- Vlákna – vlastní komunikační prostředek, kvůli kterému se v kabelu nachází všechno ostatní.

2.8 Spojování optických vláken

Optická vlákna je potřeba spojovat, už kvůli tomu, že se vyrábějí v omezených výrobních délkách, ale také je to kvůli tomu, že jsme často nuceni spojit různé druhy resp. typy optických vláken a kabelů. Spojování optických vláken se dalo rozdělit na 3 skupiny[2]:

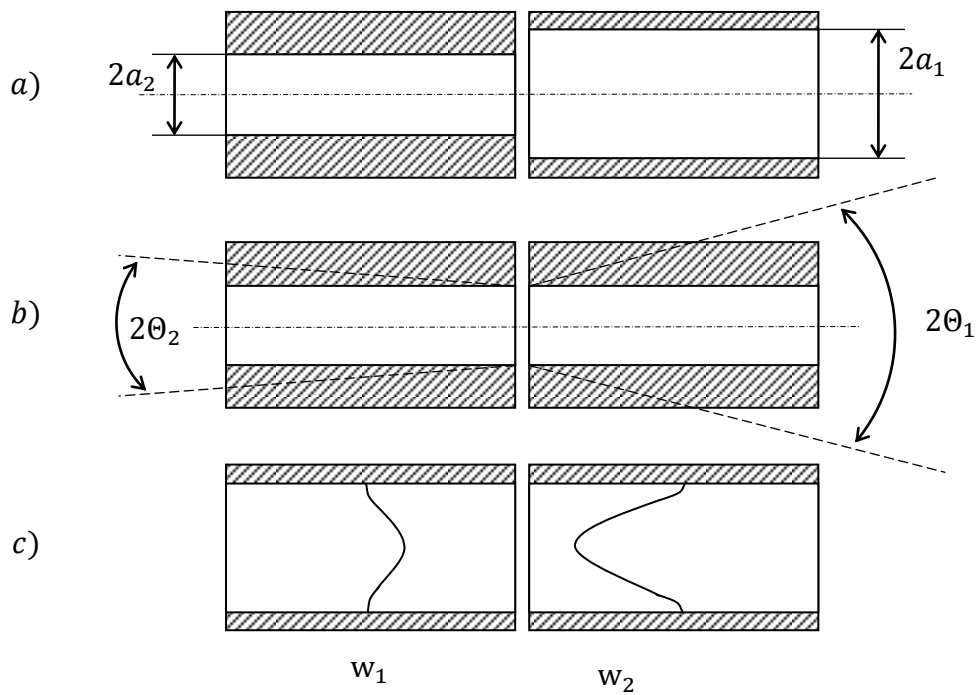
- **Rozebíratelné** – je to skupina spojů, která je tvořena konektory, které poskytují opakovatelné spojení a rozpojení spoje bez následků.
- **Podmínečně rozebíratelné** – je to takový typ spojů, které se sice dají rozebrat, ale nejsou určeny k rozebírání/rozpojování vlákna. Většinou takovéto spoje tvoří mechanické spojky.
- **Nerozebíratelné** – sem spadá svařování optických vláken, které je vůbec nejlepším spojem, ale takovéto spojování je poměrně drahé, protože pro svařování vláken musíme být vybaveni speciální svářečkou.

Požadavky na spojování vláken.

- Vysoký stupeň automatizace - zaručena co nejvyšší přesnost.
- Spolehlivost spoje.
- Malé nároky na kvalifikaci obsluhy.

2.8.1 Základní charakteristika spoje

Spoj je charakterizován většinou tím, kolik energie se na něm ztratí.



Obr. 16: Základní problémy při spojování vláken.

Obr. 16 ukazuje základní problémy při spojování vláken. Část a) ukazuje různé průměry jader vláken. Kvantifikovat se to dá takto:

Rovnice 27: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými poloměry.

$$A_{\text{jádra}} = -10 \log \frac{a_2^2}{a_1^2} \tag{27}$$

Kde:

- $A_{\text{jádra}}$ Útlum jádra [dB]
- $a_1 ; a_2$ Poloměr jádra [m]

Pro spojování vláken s různými numerickými aperturami platí (část b):

Rovnice 28: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými NA.

$$A_{NA} = -10 \log \frac{NA_2^2}{NA_1^2} \quad (28)$$

Kde:

A_{NA}	Útlum jádra	[dB]
$NA_1; NA_2$	Numerická apertura	[-]

A pro spojování vláken s různými průměry módového pole, na obrázku případ c), platí:

Rovnice 29: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými módovými poli.

$$A_{MFD} = -10 \log \frac{4}{\left(\frac{w_2}{w_1} + \frac{w_1}{w_2}\right)^2} \quad (29)$$

Kde:

A_{MFD}	Útlum jádra	[dB]
$w_1; w_2$	Průměr módového pole	[-]

Dalším zdrojem ztrát na spoji jsou Fresnelovy odrazy na rozhraní. Ty jsou popsány touto rovnicí:

Rovnice 30: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken – Fresnelovy odrazy.

$$A_{fresnel} = -10 \log(1 - R) = -10 \log \left[1 - \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \right] \quad (30)$$

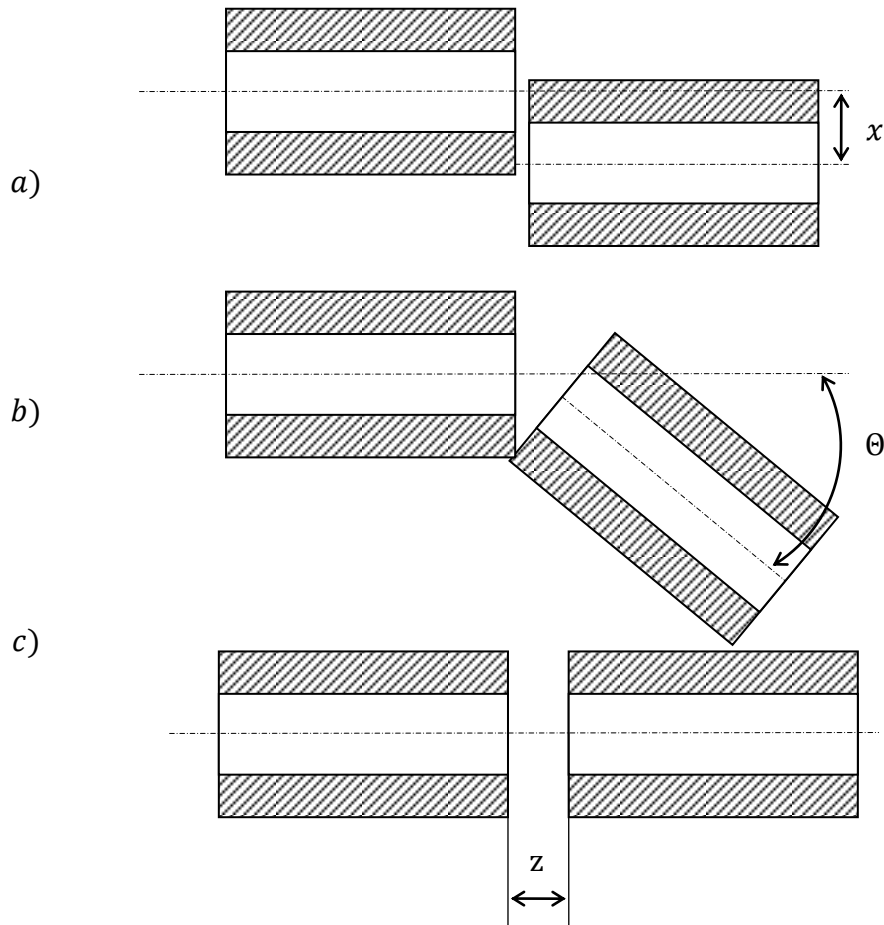
Kde:

$A_{fresnel}$	Útlum jádra	[dB]
$n_1; n_2$	Index lomu světla	[-]

Ty se však dají částečně eliminovat tím, že na čela spojovaných vláken nanese meimmerzní gel, který má index lomu velmi blízký jádru vlákna a nedovolí světlu opustit spoj. Díky tomu se více světla naváže do druhého vlákna a jsou nižší ztráty.[2]

2.8.2 Vnější ztráty spoje

Doposud probrané ztráty spojů byly spíše ukázkou toho, co se stane když se spojí různé druhy vláken ideálně po stránce mechanické. Jenže ideální věci neexistují, proto vznikají další ztráty, které se nazvaly jako vnější ztráty. Ty se už dají ovlivnit montáží.[2]



Obr. 17: Geometrické nepřizpůsobení spoje.

Obr. 17 ukazuje jednotlivé geometrické chyby v navádění vláken:

- a) radiální posuv – při spojování vlákna dojde k vyosení vlákna. Pro MM (mnohovidová) a GI (gradientní) vlákna je útlum popsán takto:

Rovnice 31: Výpočet útlumu jádra při radiálním posuvu pro MM a GI vlákna.

$$A_{rad} = -10 \log \left(1 - \frac{8 \cdot x}{3\pi \cdot a} \right) \quad (31)$$

Kde:

A_{rad} Útlum jádra při radiálním posuvu [dB]

A pro SI (jednovidová vlákna):

Rovnice 32: Výpočet útlumu jádra při radiálním posuvu pro SI vlákna.

$$A_{rad} = -10 \log \cdot e^{\left(\frac{-x}{w_0}\right)^2} \quad (32)$$

Kde:

A_{rad} Útlum jádra při radiálním posuvu [dB]

b) úhlový posuv – při spojování dojde k lomu osové roviny. Pro MM vlákna a GI vlákna je matematický popis následovný:

Rovnice 33: Výpočet útlumu jádra při úhlovém posuvu pro MM vlákna a GI vlákna.

$$A_{uhl} = -10 \log \cdot \left(1 - \frac{8n \cdot \sin(\theta)}{3\pi \cdot NA}\right) \quad (33)$$

Kde:

A_{uhl} Útlum jádra při úhlovém posuvu [dB]

a pro SM vlákna:

Rovnice 34: Výpočet útlumu jádra při úhlovém posuvu pro SM vlákna.

$$A_{uhl} = -10 \log(e^{T^2}) \quad (34)$$

Kde:

A_{uhl} Útlum jádra při úhlovém posuvu [dB]

$$T = \frac{n \cdot \pi \cdot \omega_0 \cdot \sin(\theta)}{\lambda} \quad [-]$$

c) axiální posuv – vlákna jsou daleko od sebe. Mezi čely vláken vzniká vzduchová mezera, a díky ztrátám na jednotlivých rozhraních můžeme pro MM a GI psát:

Rovnice 35: Výpočet útlumu jádra při axiálním posuvu pro MM a GI vlákna.

$$A_{axial} = -10 \log \cdot \left(1 - \frac{z \cdot NA}{2 \cdot a \cdot n} \right) \quad (35)$$

Kde:

A_{axial} Útlum jádra při axiálním posuvu [dB]

a pro SM vlákna:

Rovnice 36: Výpočet útlumu jádra při axiálním posuvu pro SM vlákna.

$$A_{axial} = -10 \log \cdot \left(\frac{1}{S^2 + 1} \right) \quad (36)$$

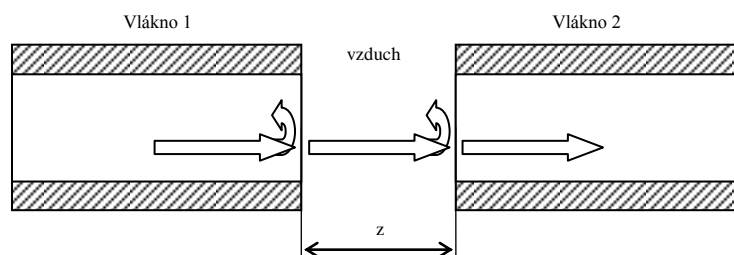
Kde:

A_{axial} Útlum jádra při axiálním posuvu [dB]

$$S = \frac{\lambda \cdot z}{2\pi \cdot n \cdot \omega^2} \quad [-]$$

2.8.3 Reflexní ztráty – Fresnelovy ztráty

Fresnelovy ztráty se zde pokusím vysvětlit na nejjednodušším příkladu, což je ideální případ vláken které nemají mechanický kontakt a odrazivost je počítána při kolmém dopadu. Pro odrazivost platí[2]:



Obrázek 9.5: Fresnelovy odrazy ve vlákně

Rovnice 37: Výpočet Fresnelových odrazů ve vlákně.

$$R = \frac{P_{odr}}{P_{dop}} = \frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \quad (37)$$

Kde:

R Fresnelovy odrazy ve vlákně [W/(m².K)]

potom pro ztráty odrazem platí:

Rovnice 38: Výpočet útlumu pro ztráty odrazem.

$$A_{odr} = 10 \log (R) \quad (38)$$

Kde:

A_{odr} Útlum při odrazu [dB]

Velmi často se tyto ztráty označují anglickými termíny : *return loss*, *backreflection loss*, *reflectance* atd. Pro představu jak jsou ztráty vlivem odrazivosti velké zde uvádím malý příklad: Pro rozhraní optické vlákno — vzduch je $n_1 = 1,46$ pro sklo a $n_0 = 1$ pro vzduch. Potom $R = 0,035$ a útlum $A_{odr} = -14,5 \text{ dB}$. [2]

Zde je dobré si uvědomit, že při mechanických spojkách vznikají ztráty hned na dvou rozhraních. První rozhraní je ze skla do vzduchu a druhé je naopak ze vzduchu do skla. Díky tomu jsou ztráty dvojnásobné. Naštěstí tento problém je velice snadno řešitelný. Při použití imerzního gelu se ztráty sníží tak, že současné spoje dosahují $A_{odr} = -45$ až -55 dB . Vložný útlum se vzduchovou mezerou se dá aproximovat tímto vzorcem [2]:

Rovnice 39: Výpočet vložného útlumu se vzduchovou mezerou.

$$A_{Fresnel} = -10 \log (1 - R) \quad (39)$$

Kde:

$A_{Fresnel}$ Vložný útlum se vzduchovou
mezerou [dB]

2.8.4 Mechanické spoje

Používají se dva druhy mechanických spojů [2]:

- **V - drážka** – v současnosti používanější, náhrada svárů, nejvíce ji propaguje firma 3M
- **Kalibrovaná kapilára**

Podmínky dobrého mechanického spoje jsou tyto: Velmi přesná geometrie vláken, přesné lomy, čistota. Pak dosažitelné útlumy jsou od 0,1 do 0,2 dB na spoj. Ztráty odrazem se pohybují mezi -45 až -55 dB. Vzhledem k jednoduchosti těchto spojů se montáž jednoho spoje počítá v desítkách sekund, pro méně zručné kolem minuty.

2.8.5 Svařované spoje

Je to nejlepší technologie spojování optických vláken. Při spojení dochází k natavení skleněných čel vláken. Natavení se většinou provádí elektrickým obloukem. Dosažitelné útlumy při svařování se pohybují kolem 0,01 dB. Pro svařování se musejí používat velmi přesné svářečky, které pracují s přesností pod 1 μm . Svářečky jsou dvojího druhu. Prvním starším druhem jsou svářečky s pasivním naváděním pomocí V-drážky. Druhá „generace“ svářeček pracuje s aktivním naváděním a to buď pomocí video kontroly nebo pomocí výkonové vazby. První princip aktivního navádění je jednodušší, protože video-navádění je v podstatě automatické podle vnějšího profilu vlákna. Navádění pomocí výkonové vazby je lepší, protože se do vlákna se díky ohybu naváže optický výkon a v poloze kdy z druhého ohnutého konce vychází nejvyšší výkon se vlákna svaří. Tato metoda dosahuje menších útlumů.[2]

2.8.6 Optické konektory

Konektory tvoří velmi podstatnou část spojování optických vláken. Jsou to totiž jediné spojovací systémy, které lze opakovaně rozpojit a spojit. Konektorování se podílí přibližně 30% na celkové ceně[2].

- Sledované vlastnosti a parametry u konektorů:
- Montážní metody
- Montážní hustota a slučitelnost
- Slučitelnost s kabelem
- Celkové instalační náklady
- Vložný útlum
- Útlum zpětného odrazu
- Křivka četnosti vložného útlumu
- Opakovatelnost spojení

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 14 až 75 dB což vyhovuje i velmi rychlým a analogovým systémům. Dalším velmi sledovaným parametrem je křivka četnosti vložného útlumu. Je to křivka, která popisuje rozložení útlumu vzhledem k počtu konektorů. Protože konektory nejde vyrobit absolutně přesně dostáváme závislost (většinou se jedná o gausovskou křivku) mezi počtem kusů konektoru a útlumem. Dalším velmi sledovaným parametrem je opakovatelnost spojení daného konektoru a změna vložného útlumu způsobená opakovaným rozpojením a spojením konektorů. V dnešní době se typické hodnoty vložného útlumu způsobeného spojováním a rozpojováním konektoru pohybují kolem 0,2 dB.[2]

Typy ferulí[2]

- **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.

Typy konektorů

- **Bionic** – Vyvinutý na počátku 1980, kuželovitá ferule s přesným zúžením, podporovaný firmou AT&T, Ferule je hliníková nebo epoxidová, dominantní v minulosti 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.

Nové typy konektorů

MT-RJ – Slučitelné s RJ45, podpora AMP, HP, Siecor, Fujikara, dvojitvláknový 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 – Nejvíce tento konektor prosazuje firma 3M. Tento konektor je v provedení push-pull a zajišťuje oboustraný přenos, což znamená, že naráz propojuje jak odchozí tak příchozí vlákno. Systém konektoru se velmi podobá metalickému konektoru RJ45.

2.9 Závěr

Optická vlákna se od zrodu nápadu přenášet informace právě po tomto médiu potýkala s řadou úskalí, zejména pak počáteční technologie na tažení miniaturních průřezů jader z preforem, tak i čistotou tohoto materiálu. Velký podíl na rozvoji optických vláken měl

Charles Kuen Kao. Od výroby vláken jsme v další etapě a to u vlastností. Měřením bylo prokázáno několik tzv. telekomunikačních oken (na dané vln. délce mají nízký útlum) a ty byly použity pro přenos informací. Optická vlákna dělíme na mnohovidová a jednovidová, záleží na tom, kolika vidy se signál ve vlákne šíří (Rozdělení optických vláken). Další problematikou neméně významnou jsou ztráty neboli útlum, které určují zda se vyslaný signál ze zdroje záření přenesení k fotodetektoru a zda bude rozpoznán. V praktické části se v některých úlohách setkáme s měření zdrojů optického záření a fotodetektorů. Věnoval jsem tedy jednu kapitolu právě na rozdělení a stručný popis (Zdroje záření a fotodetektory). V praktickém měření se soustavou Promax EF-970 se uživatel setká téměř v každé úloze se spojováním optické trasy, proto je kapitola „Spojování optických vláken“ určena k prostudování různých možností spojování ať už se jedná o spoje rozebíratelné či svařované. Snažil jsem se, aby teoretická část připravila čtenáře k měření jednotlivých úloh a ujasnila zákonitosti, na které může v laboratořích narazit.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 SEZNÁMENÍ S MĚŘÍCÍ SESTAVOU PROMAX EF-970

Výuková sestava EF-970 tvoří komplexní učební pomůcku zaměřenou na[11]:

- Přenos optického záření vláknem, fyzikální principy.
- Parametry optických vláken, měření.
- Zdroje záření a detektory, optický komunikační systém.
- Moderní optické součástky, jejich využití a parametry.
- Optické vlnové multiplexy WDM.
- Optické vláknové senzory.

Výukové soubory jsou založeny na plastových vláknech, optické prvky jsou jednoduché na manipulaci, odolné proti mechanickému namáhání. Přenosy ve viditelné oblasti spektra poskytují experimentům názornost. Soubory jsou velmi vhodné jako základní učební pomůcka pro úvod do problematiky vláknové optiky i jako učební pomůcka pro školy s vyšší odborností nebo specializací. Učební pomůcka je založena na základním výukovém souboru EF-970 a dvou doplňujících souborech EF-970-01 a EF-970-02.[11]

3.1 EF-970 BASIC

Soubor je souborem pro výuku optických komunikací a optoelektronických přenosů: Soubor obsahuje multifunkční optický vysílač a multifunkční optický přijímač, sadu optických modulů, optickou trasu, konektorové spojky a příslušenství pro čištění.



Obr. 18: Příslušenství pro měřicí soustavu EF-970 BASIC



Obr. 19: Multifunkční vysílač EF-970/E.



Obr. 20: Multifunkční přijímač EF-970/R.

Soubor umožňuje komplexní seznámení s optickým přenosovým systémem, pomocí souboru lze provádět měření útlumu optických vláken a tras, zjišťovat spektrální závislost útlumu, měřit parametry zdrojů optického záření (LED i laserové vysílače - převodní a voltampérovou charakteristiku, stabilitu či modulační vlastnosti). Vzhledem k tomu, že je soubor vybaven různými typy detektorů (PIN, APD) z různých detekčních materiálů (Si, Ge, InGaAs), lze také zkoumat parametry detektorů (citlivost, spektrální závislost, modulační vlastnosti atd). Kromě výše uvedených typů měření soubor EF-970 BASIC dále umožňuje experimenty s optickými vlnovými multiplexy WDM.[11]

- Analogové a digitální přenosy
- Přenosy audio signálu, video signálu
- Datové přenosy

- Vlnové multiplexy WDM
- LED i Laserové vysílače
- PIN i APD přijímače
- Simulace poruch vysílací a přijímací cesty

3.1.1 Multifunkční vysílač

- Dvě nezávislé signálové cesty CH1 a CH2: Umožňují přenos (vysílání) z libovolných dvou el. vstupů na dva libovolné opt. výstupy.
- Až osm možností modulace CH1 a CH2: ve vysílacím směru lze k modulaci optického záření využít:
 - signální generátor
 - externí analogový vstup DC
 - externí analogový vstup AC
 - externí mikrofon
 - externí digitální vstup
 - externí digitální vstup (invertovaný)
 - trvalá digitální „1“
 - klíčování „1“ nebo „0“ tlačítkem



Obr. 21: Vstupy multifunkčního vysílače.

- Vestavěný signální generátor
 - Sinus
 - Obdélníkový signál
 - Pilový signál
- Šest různých zdrojů záření
 - 1. LED 526 nm
 - 2. LED 590 nm

- 3. LED 660 nm
- 4. LED 850 nm
- 5. LED 1300 nm
- 6. LASER 635 nm



Obr. 22: Výstupy multifunkčního vysílače.

- Umožňuje experimenty s WDM optickým multiplexem
- Umožňuje experimenty vysílači LED i LASER diod
- Vestavěný miliampérmetr
 - měření převodních watt-ampérových charakteristik LED, LASERových diod
- Bezpečný laserový vysílač:
 - Bezpečné záření - vestavěná optická ochrana před laserovým zářením (útlumový filtr)
 - Stabilizace pracovního bodu laseru optickou zpětnou vazbou (monitorovací diodou)
 - Možnost odpojení zpětnovazební smyčky pro měření charakteristik laseru

3.1.2 Multifunkční přijímač

- Dvě nezávislé signálové cesty (analogová + digitální):
 - Umožňují optimální příjem analogových nebo digitálních signálů z opt. vstupů současný příjem analogového i digitálního signálu dvěma samostatnými kanály
- Vestavěné fotodetektory (umožňují demonstrovat různé spektrální citlivosti, různé rychlosti detekce, vícekanálové WDM přenosy atd.):
 - *Si detektor 1 mm*
 - *InGaAs detektor 1 mm*
 - *Ge lavinový APD detektor 0,1 mm*

- Si detektor 2,5 mm



Obr. 23: Vstupy multifunkčního přijímače.

- Vestavěný měřič optického výkonu (kalibrován pro měření na různých vlnových délkách) pro měření optických signálů v režimu:
 - Stejnoseměrné detekce (DC signál) dBm, W, dB
 - Střídavé detekce (1 kHz signál)
 - Analogovém
 - Digitálním
- Výstupy multifunkčního přijímače:
 - Digitální výstup (TTL signál)
 - Analogový
 - Externí sluchátka (reproduktor)



Obr. 24: Výstupy multifunkčního přijímače.

3.2 EF 970-01 PLASTIC

Soubor EF-970-01 PLASTIC navazuje na soubor EF-970 BASIC a rozšiřuje jej do oblastí vláknové optiky. Soubor rovněž obsahuje úlohy s optickými vláknovými senzory. Soubor obsahuje sadu kabelových a vláknových modulů, měřicí doplňky a přípravky, optický vláknový manipulátor, proměnný optický atenuátor, externí sondu s detektorem, vláknové odbočnice (pevné i proměnné), optické filtry, různé měřicí sondy apod.[11]



Obr. 25: Soubor EF-970-01 PLASTIC.

S tímto příslušenstvím je možné měřit parametry optických vláken jako je numerická apertura či citlivost útlumu vláken na ohyby, zjišťovat vlastnosti konektorového spojení optických vláken, nebo se seznámit s proměnným optickým atenuátorem, vláknovými odbočnicemi a optickými filtry a měřit jejich vlastnosti. S proměnným atenuátorem se měří překlenutelný útlum pro různé přenosové systémy a modulace. Z vláknových odbočnic a optických filtrů je možné sestavit kompletní přenosový systém WDM a měřit jeho vlastnosti.[11]

- Šíření světla ve vlákně
- Funkce a principy optických prvků
- Parametry optických vláken a součástek
- Měřicí metody, snímání veličin pomocí optických vláken

3.3 Cvičné úlohy k měření

K měřicí soustavě jsou dodány měřicí úlohy (v anglickém jazyce), k procvičení a pochopení základních vztahů a principů ve vláknové optice. Počáteční úlohy se zaměřují

na jednoduché měření např. měření optického výkonu, měření útlumu optických vláken apod. K měření je zapotřebí základních znalostí z elektrotechniky. Souvislosti mezi výkonem zdroje, útlumem a jiné. Znalosti s nastavováním hodnot na generátoru signálů, měření na osciloskopu.

3.3.1 Seznam měřících úloh

1. Měření optického výkonu
2. Měření útlumu optických vláken: Metoda vložných ztrát
3. Měření útlumu optických tras
4. Spektrální závislost útlumu optického vlákna
5. Vliv okolního optického záření
6. Spojení optických vláken použitím ST konektorových spojek: Měření opakovatelnosti spojení
7. Měření převodních W/A charakteristik zdrojů optického záření
8. Měření stability výkonu zdrojů optického záření
9. Měření V/A charakteristik zdrojů optického záření
10. Modulační vlastnosti zdrojů optického záření
11. Spektrální závislost fotodetektorů
12. Citlivost fotodetektorů: závěrné napětí na fotodetektorech
13. Šířka pásma fotodetektorů
14. Přenos analogového signálu
15. Přenos audio signálu
16. Přenos digitálního signálu
17. Vliv ohybu na útlum optického vlákna (makroohyb)
18. Vliv ohybu na útlum optického vlákna (mikroohyb)
19. Vyzařovací charakteristika optických vláken: Měření numerické apertury
20. Vliv neideálního konektorového spojení optických vláken na jeho útlum
21. Měření pevné optické rozbočnice
22. Měření proměnné optické rozbočnice
23. Měření neutrálních optických filtrů
24. Měření útlumu proměnného optického atenuátoru
25. Spektrální závislost útlumu proměnného optického atenuátoru
26. Porovnání šumových vlastností různých detektorů optického záření
27. WDM: Multiplexování a demultiplexování

28. WDM systém
29. WDM přenos
30. Transmisní senzor
31. Reflexní senzor
32. Senzor hladiny kapaliny
33. Transmisní senzor přítomnosti kapaliny

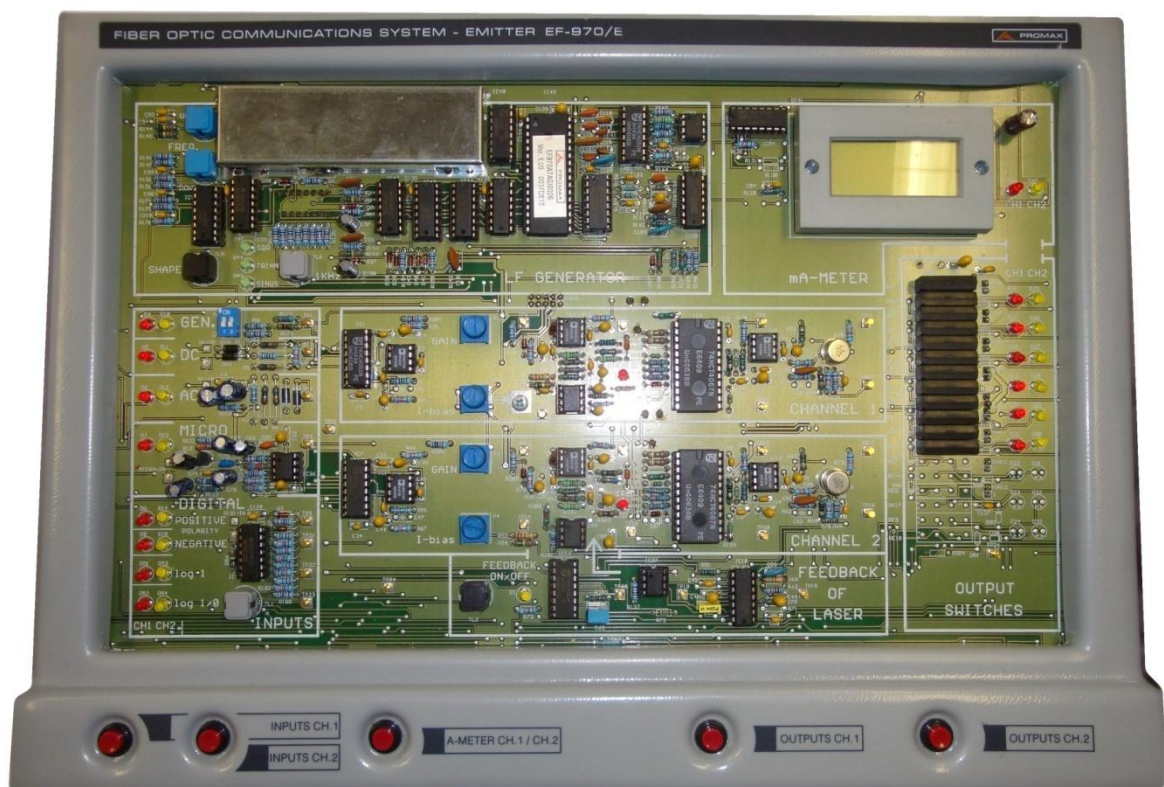
Měřicí úlohy jsou nastaveny tak, aby uživatel získal kompletní přehled o přenosu informací po optických vláknech, měřících metodách a principech přenosu informací.

3.4 Ovládací prvky měřící soustavy

Ovládání a obsluha měřící soustavy patří k prioritám celého výukového souboru. Bez jejich znalosti může dojít k nesprávnému nastavení či chybným výsledkům.

3.4.1 Vysílač (Transmitter module EF-970/E)

Multifunkční vysílač obsahuje 5 základních ovládacích tlačítek, několik dalších ovládacích prvků jako jsou potenciometry, mikropřepínače, mikrospínače, které jsou umístěny na desce plošných spojů chráněnou plexisklem. Na bočních stranách jsou umístěny externí vstupy různých signálů (BNC konektory - analogových, digitálních; vstup pro mikrofon – 3,5 mm JACK) a na opačné straně výstupy (ST konektory - LED a LASER diody).



Obr. 26: Transmitter module EF-970/E – přední strana.

Pomocí spodních červených tlačítek nastavujeme multifunkční vysílač k požadovaným měřením. Stisknutím tlačítka aktivujeme LED diodu, která nám svítem zobrazuje zvolený vstup, výstup, volbu zobrazení měřícího kanálu.

1. Tlačítko – Volba vstupu na kanálu 1 (signál z interního generátoru, externí analogový signál, vstup z externího mikrofону, externí analogový signál).
2. Tlačítko – Volba vstupu na kanálu 2 (signál z interního generátoru, externí analogový signál, vstup z externího mikrofону, externí analogový signál).
3. Tlačítko – Zobrazení proudu na výstupu zvoleného kanálu (kanál číslo 1 nebo kanál číslo 2).
4. Tlačítko – Volba výstupu na kanálu 1 (zdroje optického záření 1 až 6, LED či LASER diodové zdroje, od vlnových délek 526 nm až po 1300 nm).
5. Tlačítko – Volba výstupu na kanálu 2 (zdroje optického záření 1 až 6, LED či LASER diodové zdroje, od vlnových délek 526 nm až po 1300 nm).

Potenciometry P1 až P4

- P1 - Nastavení hodnoty zisku signálu – zesílení pro kanál číslo 1.

- P2 - Nastavení velikosti výstupního proudu [mA] – pro kanál číslo 1.
- P3 - Nastavení hodnoty zisku signálu – zesílení pro kanál číslo 1.
- P4 - Nastavení velikosti výstupního proudu [mA] – pro kanál číslo 1.

Mikrospínače

- **FREQ** - 2 mikrospínače umožňující změnu frekvence interního generátoru (0,3 Hz až 18 kHz).
- **SHAPE** - Volba tvaru signálu (Sinus, obdélník, pila)
- **INPUTS** – Volba digitálního signálu (pozitivní, negativní polarita, logická 1, klíčování 1/0)

3.4.2 Přijímač (Receiver module EF-970/R)

Multifunkční přijímač obsahuje taktéž 5 základních ovládacích tlačítek, několik dalších ovládacích prvků jako jsou potenciometry, mikrořepínače, mikrospínače, které jsou umístěny na desce plošných spojů chráněnou plexisklem. Na bočních stranách jsou umístěny vstupy pro fotodetektory (celkem 4 x ST konektor + 1 x externí vstup pro 3,5 mm JACK konektor) a na opačné straně výstupy (2 x BNC konektory – analogový a digitální signál + 1 x konektor pro vstup 3,5 mm JACK konektor – reproduktor nebo sluchátka).



Obr. 27: Receiver module EF-970/R – přední strana.

Pomocí spodních červených tlačítek nastavujeme multifunkční přijímač k požadovaným měřením. Stisknutím tlačítka aktivujeme LED diodu, která nám svitem zobrazuje zvolený vstup, funkci optického měřiče výkonu, volbu jednotek měřiče optického výkonu (W ; dBm), stanovení referenční hodnoty.

1. Tlačítko – Volba vstupu analogového kanálu (fotodetektor č. 1 až 4).
2. Tlačítko – Volba vstupu digitálního kanálu (fotodetektor č. 1 až 4).
3. Tlačítko – Nastavení funkce měřiče optického výkonu (analogové, digitální, 1 kHz , DC měření).
4. Tlačítko – Volba jednotek optického měřiče výkonu (W nebo dBm).
5. Tlačítko – Nastavení referenční hodnoty (0 dB).

Potenciometry P1 až P7

- P1 - Nastavení hodnoty zisku signálu – zesílení pro analogový kanál.
- P2 - Nastavení velikosti stejnosměrné složky analogového kanálu.
- P3 - Nastavení zesílení interního reproduktoru.
- P4 - „Hrubé“ doladění (nastavení) zesílení digitálního signálu.
- P6 - „Jemné“ doladění (nastavení) zesílení digitálního signálu.
- P5 - „Hrubé“ nastavení velikosti závěrného napětí na fotodetektorech.
- P7 - „Jemné“ nastavení velikosti závěrného napětí na fotodetektorech.

Mikrospínače

- WAVELENGTH – Měření na nastavené vlnové délce (dle zvoleného fotodetektoru hodnoty 526 nm až 1300 nm).

Mikropřepínače

- S1 – Aktivace a deaktivace 100 kHz a 1 MHz filtrů.
- S2 – Nastavení výstupní impedance analogového kanálu (75 Ω / HIGH); Nastavení výstupního digitálního signálu (TTL / RS 232).
- S3 - Aktivace a deaktivace stejnosměrné složky střídavého signálu.

4 TVORBA MULTIMEDIÁLNÍHO PŘŮVODCE

Výsledkem diplomové práce bude multimedialní průvodce vydaný na DVD, který provede učitele, resp. žáky doporučenými úlohami pro měření na systému Promax EF-970. Pro vytvoření takového průvodce jsem si zadal několik kritérií pro výběr softwaru, ve kterém budu zpracovávat a tvořit konečnou videosekvenci. Zejména jsem bral zřetel na ovládání samotného programu, možnosti vstupu a výstupu dat, komplexnost a dostupnost.

4.1 Požadavky na software

- Vstup dat (formáty videí, formáty obrázků, a jiné)
- Výstup dat (formát videa, možnost vypálení na disk)
- Stříh videosekvencí
- Komprese vložených dat
- Vkládání titulků
- Tvorba DVD menu (možnost výběru kapitoly)
- Jednoduché ovládání

4.2 Stručný popis vybraného software

Na trhu je celá řada programů na vytvoření kompletního DVD videa. Osobně jsem si stanovil pár požadavků a postupně vybíral nejvhodnější. Nakonec jsem dospěl k závěru, že pro mě bude vhodný Nero 11 (zdarma v dostupné verzi Shareware). Jedná se o software, který se od počátku svého vzniku zabývá vypalováním dat na CD či DVD nosiče. S další novou vydanou verzí přidával i ostatní programy pro usnadnění práci s multimédií.

V balíčku verzi Nero 11 jsou obsaženy:

- Nero BackItUp – Aplikace slouží k zálohování souborů a složek nebo i celého pevného disku. Uložení záloh na CD, DVD. Obnovování souborů a složek, plánování automatického zálohování.
- Nero Burning ROM – Umožňuje vypalovat a zálohovat hudební, datové a video disky.
- Nero ControlCenter – Aplikace, která umožňuje aktualizaci všech produktů a jejich nastavení.
- Nero CoverDesigner – Tvorba vlastních obalů a štítků disků CD a DVD.

- Nero Express – intuitivní aplikace ve stylu průvodce k vypalování hudebních, datových a video disků.
- Nero Recode – Video a mediální soubory nechráněné vůči kopírování můžete pomocí tohoto programu kopírovat, komprimovat a převádět.
- Nero RescueAgent – Obnova souborů z poškozených, smazaných nebo částečně nečitelných médií.
- Nero SoundTrax – míchání digitálních hudebních stop, převod vinylových desek a magnetonových kazet do MP3 formátu.
- Nero Video – Komplexní úpravy více stop, nástroje pro přechody a speciální efekty umožňují vytváření profesionálních filmů ve vysokém rozlišení.
- Nero WaveEditor je program pro úpravu a nahrávání zvukových souborů.

V podstatě jsem využil jen Nero Video na tvorbu DVD a na závěr jsem pomocí Nero Burning ROM vypálil disk.

4.3 Vytvoření DVD

4.3.1 Stručný úvod

Přehrávání videa na DVD nosičích je v dnešní době jeden z nejběžnějších typu interpretace videotvorby. Nahradila zastaralé VHS kazety a koncem 90. let 20. století se stala základním médiem pro uchovávání dat. Výhody oproti VHS kazetám jsou jednoznačné:

- Formát videa 4:3 i 16:9
- Ochrana proti kopírování
- Menu a kapitoly videí
- Prostorový zvuk 5+1
- Další

Video je uloženo na disku ve formátu MPEG-2, sice už existují kvalitnější algoritmy pro ukládání, ale v rámci kompatibility (přehrávání i na starších DVD – přehrávačích) je formát zachován.

Rozlišení videa je 720 x 576 bodů, tedy v normě PAL. Video se kóduje na disk s určitým datovým tokem. U formátu MPEG-2 je datový tok proměnlivý, to přináší jisté úspory dat při neakčních scénách. Max. datový tok, který DVD umožňuje přehrát je 9,8 Mb/s.

Struktura dat na DVD

DVD-Video disk musí povinně obsahovat adresář s názvem VIDEO_TS (Video Title Set), které obsahují soubory s příponou vob, ifo a bup. V těchto souborech jsou uloženy všechny potřebné složky video obsahu, jako je obraz, zvuk, hlavní nabídka, informace o kapitolách a titulky.

- vob (Video Objects) soubory obsahují video, zvuk a titulky a jejich maximální velikost na DVD-video disku nepřekračuje 1 GB.
- ifo soubory zase obsahují informace o tom, jaké zvukové stopy a titulky přísluší vob soubory obsahují, a další důležité informace potřebné pro správné fungování DVD-Video disku.
- bup soubory pak představují záložní kopie příslušných ifo souborů.

4.3.2 Vytvoření DVD

Před vytvořením DVD-video jsem musel strávit řadu hodin seznámením se s měřicí soustavou, prostudováním jednotlivých úloh, jejich naměřením, natáčením a kontrolou správnosti. Pak následovalo sestavení výsledné práce v softwarovém prostředí.

V otázce volby mluveného komentáře či přehledným titulům a popiskům, jsem se přiklonil k druhé volbě. A to zejména z toho důvodu vytvořit práci přehlednější a názorněji pochopitelnou.

4.3.3 Úlohy k proměření s uvedenými orientačními výsledky

Měřené úlohy jsou sestaveny v pořadí, které určují jejich obtížnost. První úlohy seznamují uživatele s možnostmi nastavení měřicí soustavy a jednotlivými prvky, následující již demonstrují možnosti měření útlumu tras, spektrální závislosti útlumu optického a mnohé další.

Výsledky v následujících úlohách jsou informativní, jelikož je možné si nastavit jiné přibližné hodnoty proudu optických zdrojů (přesnost nastavení potenciometrů P2 a P4 jsou z důvodu častého používání nepřesné), čistota optických pomůcek (ST konektorů, spojovacích optických vláken a dalších), různé světelné podmínky v laboratoři apod.

Seznam měřících úloh se stručným obsahem měřené úlohy, naznačeným postupem, chybami, kterých se lze dopustit a výsledky. Podrobný návod (video-manuál) pro změření konkrétní úlohy je uložen na DVD disku v příloze.

1. Měření optického výkonu

Zadání:

Změřte optický výkon pomocí fotodetektorů s rozdílnou fotosenzitivní plochou.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje změříme hodnotu přijatého optického výkonu ve W a dBm . Nejprve pro fotodetektor s větší fotosenzitivní plochou, následně menší. Po tomto měření porovnáme přijatý optický výkon i u ostatních fotodetektorů, vždy při dané vlnové délce. Výsledky porovnáme v tabulce. Z výsledků je zřejmé, že nejvíce optického záření zachytí fotodetektor s největší fotosenzitivní plochou.

Poznámka:

U jednotlivých měření nezapomenout nastavit vlnovou délku na přijímači.

Jednotky dBm neznamenaají útlum na metr, ale logaritmickou jednotku vyjadřující poměr přijatého optického výkonu ku měrnému výkonu $1 mW$.

Výsledky měření:

Tabulka 1: Velikost $I_{bias} = 11 mA$, zdroj záření č. 3 (LED 660 nm)

Fotodetektor číslo	Přijatý výkon [dBm]	Výkon změřen na vlnové délce [nm]
1	-13,06	660
4	-5,76	660

Tabulka 2: Velikost $I_{bias} = 5 mA$, zdroj záření č. 3 (LED 660 nm)

Fotodetektor číslo	Přijatý výkon [dBm]	Výkon změřen na vlnové délce [nm]
1	-16,48	660
4	-9,19	660

Tabulka 3: Velikost $I_{bias} = 17 mA$, zdroj záření č. 4 (LED 850 nm)

Fotodetektor číslo	Přijatý výkon [dBm]	Výkon změřen na vlnové délce [nm]
1	-13,94	850
2	-12,36	850

3	-19,81	850
4	-8,35	850

2. Měření útlumu optických vláken: Metoda vložných ztrát

Zadání:

Pomocí metody vložného útlumu změřte útlum optického vlákna. Analyzujte důsledky, které vytvářejí ohyby optických vláken.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu a vložíme mezi vysílač a přijímač delší optický kabel (50 m), měříme útlum v dB , postupně v obou směrech a to několikrát. Následuje proměření pro jiný zdroj optického záření. Z výsledků stanovíme útlum optického kabelu vztažený na délku jednoho metru tzn. dB/m .

Poznámka:

U jednotlivých měření nezapomenout nastavit vlnovou délku na přijímači.

Výsledky měření:

Tabulka 4: Velikost $I_{bias} = 11 \text{ mA}$ (resp. 17 mA), zdroj záření č. 3 LED 660 nm (resp. zdroj záření č. 4 LED 850 nm), fotodetektor č. 4 (vlnová délka 660 nm, resp. 850 nm)

Měření číslo (Zdroj č. 3 (LED 660 nm))	A [dB]			A [dB/m]
	A - B	B - A	Průměrný útlum	
1	-13,60	-13,62	-13,61	-0,2722
2	-13,59	-13,61	-13,60	-0,2720
3	-13,62	-13,62	-13,62	-0,2724
Měření číslo (Zdroj č.)	A [dB]			A [dB/m]
	A - B	B - A	Průměrný	

4 (LED 850 nm))			útlum	
1	-52,82	-52,18	-52,50	-1,0500
2	-52,80	-52,14	-52,47	-1,0494
3	-52,90	-52,06	-52,48	-1,0496

3. Měření útlumu optických tras

Zadání:

Určete útlum 50 m optického vlákna (trasy) pomocí 3 metod.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu a vložíme mezi vysílač a přijímač delší optický kabel (50 m) s dalšími prvky (dle měřené metody), měříme útlum v *dB*, postupně v obou směrech. V tabulce porovnáme jednotlivé metody.

Poznámka:

Dbáme na správné propojení všech prvků optické trasy.

Výsledky měření:

Tabulka 5: Velikost $I_{bias} = 11 \text{ mA}$, zdroj záření č. 3 (LED 660 nm), fotodetektor č. 4 (vlnová délka 660 nm)

Metoda číslo	A [dB]		
	A - B	B - A	Průměrná hodnota
1	-16,94	-16,92	-16,93
2	-15,39	-15,41	-15,40
3	-11,15	-11,13	-11,14

4. Spektrální závislost útlumu optického vlákna

Zadání:

Zadání:

Určete vliv frekvence (vlnové délky) na útlum optického vlákna.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu a vložíme mezi vysílač a přijímač delší optický kabel (50 m) a měříme hodnoty útlumu v *dB*, podle nastavené vlnové délky a zdroje záření. Takto postupně proměříme průchod optického záření optickým kabelem dlouhým 50 m a závislost útlumu na vlnové délce. Výsledky porovnáme v tabulce a grafu.

Poznámka:

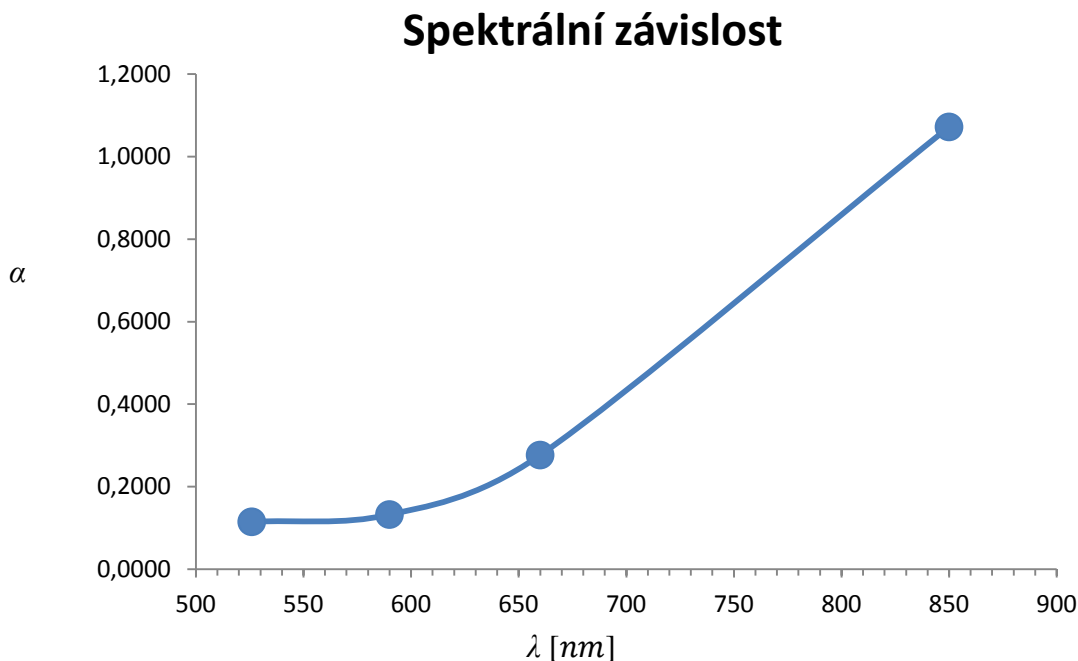
Nastavení hodnoty proudů pro optické zdroje záření provedeme dle přiložené tabulky.

Výsledky měření:

Tabulka 6: Spektrální závislost útlumu opt. vlákna, fotodetektor č. 4 (vlnová délka 526 až 850 nm)

Vlnová délka λ [nm]	Změřený útlum A [dB]	Vypočtený měrný útlum α [dB/m]
526	-5,75	-0,1150
590	-6,63	-0,1326
660	-13,84	-0,2768
850	-53,61	-1,0722

Graf č. 1: Spektrální závislost



5. Vliv okolního optického záření

Zadání:

Analyzujte vliv, který má okolní světlo na optická vlákna.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu měříme hodnotu optického výkonu, která se naváže do „průhledného“ optického vlákna. Úloha demonstruje možnost takového případu, ovšem výkon navázaného optického svazku je v jednotkách pW .

Výsledky měření:

Neobsahuje žádné tabulky ani grafy.

6. Spojení optických vláken použitím ST konektorových spojek: Měření opakovatelnosti spojení

Zadání:

Určete průměrnou hodnotu útlumu spojení optických vláken pomocí ST konektorových spojek.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu. Následně vkládáme mezi vysílač a přijímač ST konektorovou spojku č. 1 (respektive č. 2) v jednom i druhém směru a měříme útlum – opakovaně. Výsledky měření by se od sebe neměli příliš lišit.

Výsledky měření:

Tabulka 7: Měření opakovatelnosti spojení

Měření	A [dB]					
	ST konektorová spojka č. 1			ST konektorová spojka č. 2		
	A-B	B-A	Průměrná hodnota	A-B	B-A	Průměrná hodnota
č. 1	-1,320	-1,350	-1,335	-1,380	-1,400	-1,390
č. 2	-1,310	-1,330	-1,320	-1,390	-1,400	-1,395
č. 3	-1,320	-1,340	-1,330	-1,390	-1,390	-1,390
č. 4	-1,300	-1,350	-1,325	-1,380	-1,410	-1,395
č. 5	-1,330	-1,350	-1,340	-1,370	-1,410	-1,390
Celk. průměr			-1,330			-1,392
Max. hodnota	-1,330	-1,350		-1,390	-1,410	
Min. hodnota	-1,300	-1,330		-1,370	-1,390	
Max. odchylka	-0,050			-0,040		

7. Měření převodních W/A charakteristika zdrojů optického záření

Zadání:

Změřte typické W/A charakteristiky LED a LD zdrojů záření.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu postupně zvyšujeme hodnoty proudu optického zdroje záření a zapisujeme si odpovídající hodnoty výkonu na přijímači. Měření opakujeme pro zbylé zdroje optického záření.

Výsledky měření:

Tabulka 8, Tabulka 9, Tabulka 10, Tabulka 11, Tabulka 12 : W/A charakteristika zdrojů optického záření.

W/A char. zdroje č. 1									
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I [mA]	0,0	2,0	4,1	5,3	7,3	9,7	11,6	13,6	15,8

P [μW]	0,0	2,8	5,9	8,4	11,5	15,1	17,9	20,1	21,9
---------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------

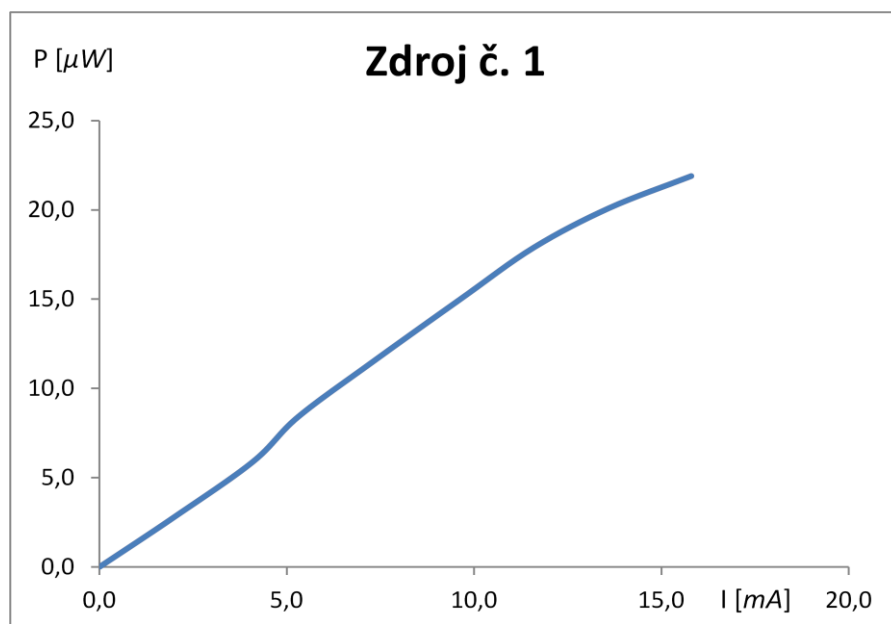
W/A char. zdroje č. 2										
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I [mA]	0,0	2,0	3,9	6,0	8,1	10,2	12,1	14,0	16,2	18,2
P [μW]	0,0	1,2	2,5	3,9	5,6	7,0	8,2	8,9	10,9	11,9

W/A char. zdroje č. 3							
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7
I [mA]	0,0	1,9	4,4	6,5	8,5	9,7	11,3
P [μW]	0,0	57,0	129,0	195,0	249,0	286,0	330,0

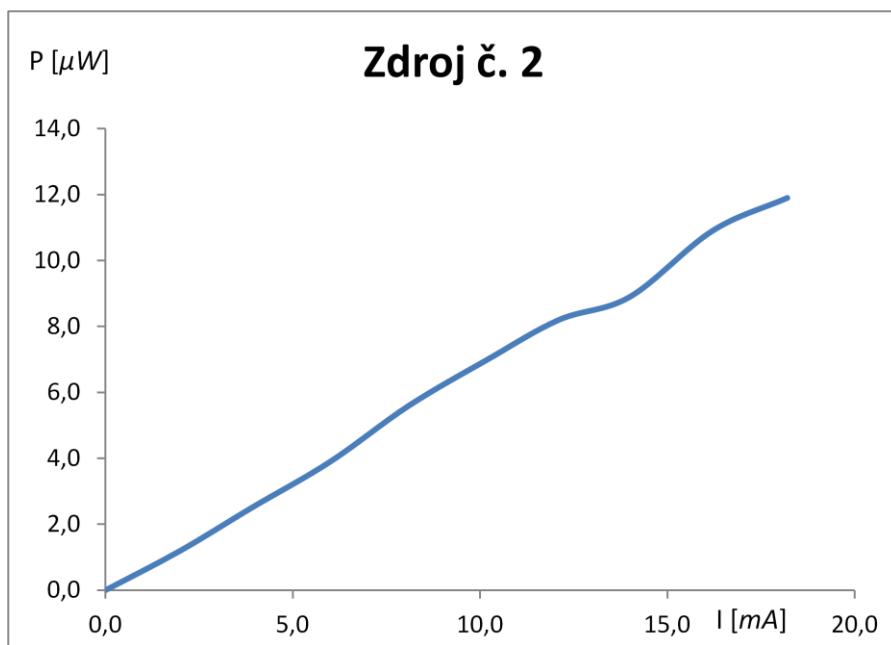
W/A char. zdroje č. 4								
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8
I [mA]	0,0	3,0	4,9	7,4	9,4	12,2	15,0	17,5
P [μW]	0,0	21,1	37,0	62,0	92,0	116,0	166,0	203,0

W/A char. zdroje č. 5											
Měření č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I [mA]	0,0	3,3	5,2	7,5	9,7	11,2	13,2	14,2	15,3	16,3	18,7
P [μW]	0,0	0,8	1,4	2,4	4,3	41,0	166,0	222,0	271,0	287,0	520,0

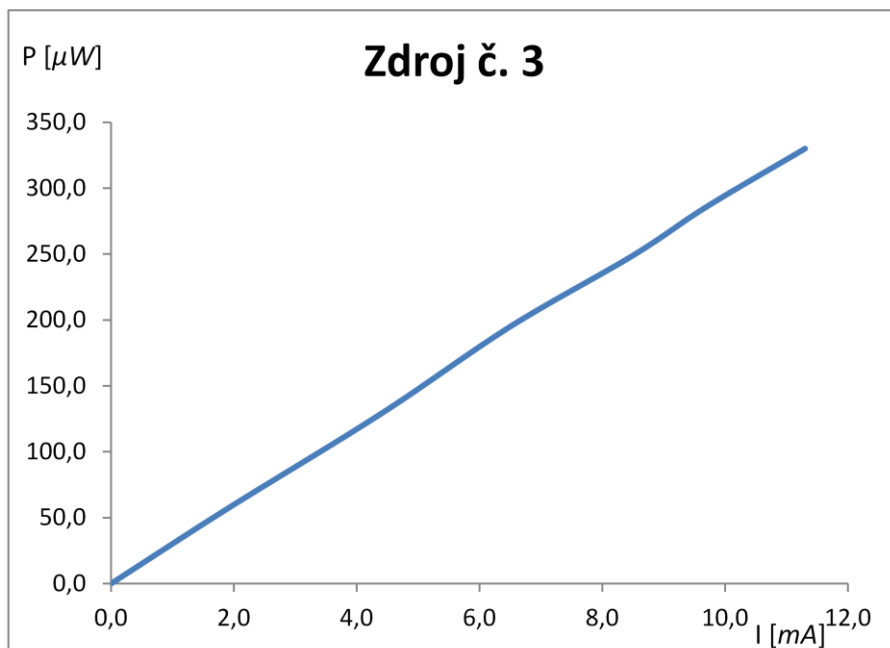
Graf č. 2: W/A char. zdroje č. 1



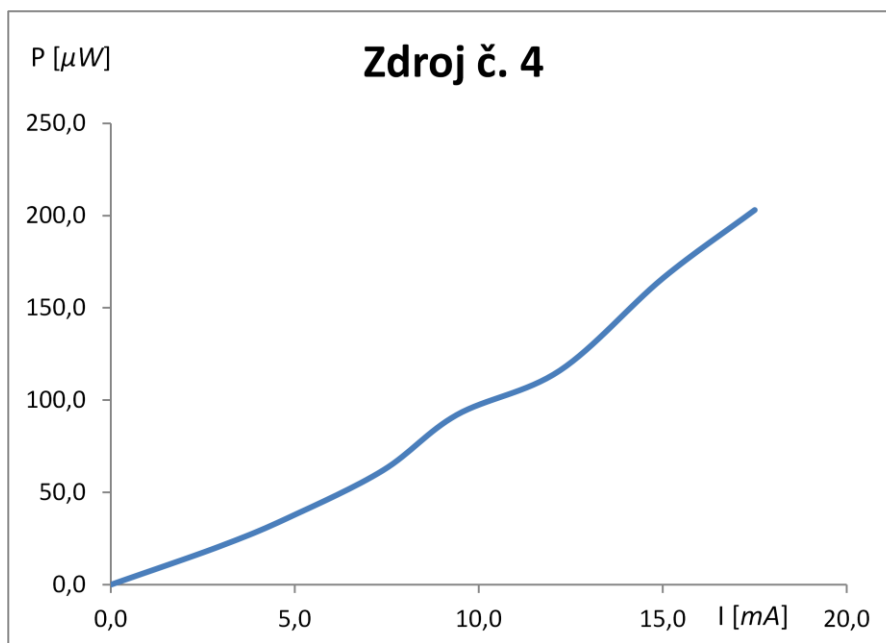
Graf č. 3: W/A char. zdroje č. 2



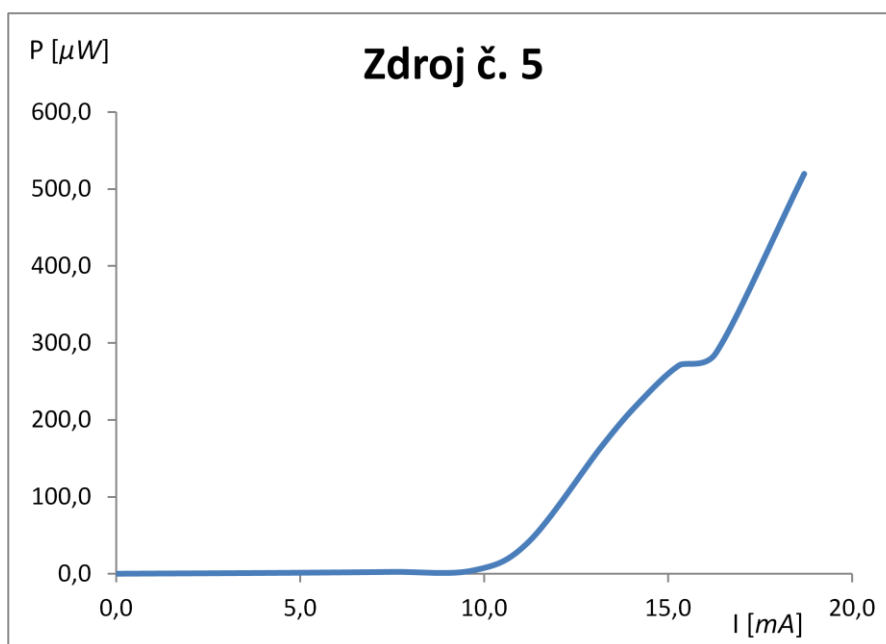
Graf č. 4: W/A char. zdroje č. 3



Graf č. 5: W/A char. zdroje č. 4



Graf č. 6: W/A char. zdroje č. 5



8. Měření stability výkonu zdrojů optického záření

Zadání:

Změřte stabilitu výstupního výkonu zdrojů optického záření.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje (dle tabulky) dle návodu postupně zapisujeme hodnoty odpovídajícího výkonu na přijímači po dobu 5 minut. Měření opakujeme pro zbylé zdroje optického záření. Výsledky porovnáme v tabulce a grafu.

Výsledky měření:

Tabulka 13, Tabulka 14, Tabulka 15, Tabulka 16, Tabulka 17, Tabulka 18: 8. Měření stability výkonu zdrojů optického záření

Zdroj č. 1 LED 526 nm

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-18,42	-18,42	-18,43	-18,45	-18,46	-18,46	-18,46	-18,46	-18,46	-18,46	-18,46	-18,46

Zdroj č. 2 LED 590 nm

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-19,32	-19,36	-19,42	-19,48	-19,50	-19,50	-19,52	-19,52	-19,52	-19,52	-19,53	-19,53

Zdroj č. 3 LED 660 nm

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-6,42	-6,42	-6,42	-6,43	-6,43	-6,43	-6,43	-6,43	-6,43	-6,44	-6,44	-6,44

Zdroj č. 4 LED 850 nm

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-8,59	-8,60	-8,61	-8,61	-8,61	-8,61	-8,62	-8,62	-8,62	-8,62	-8,62	-8,62

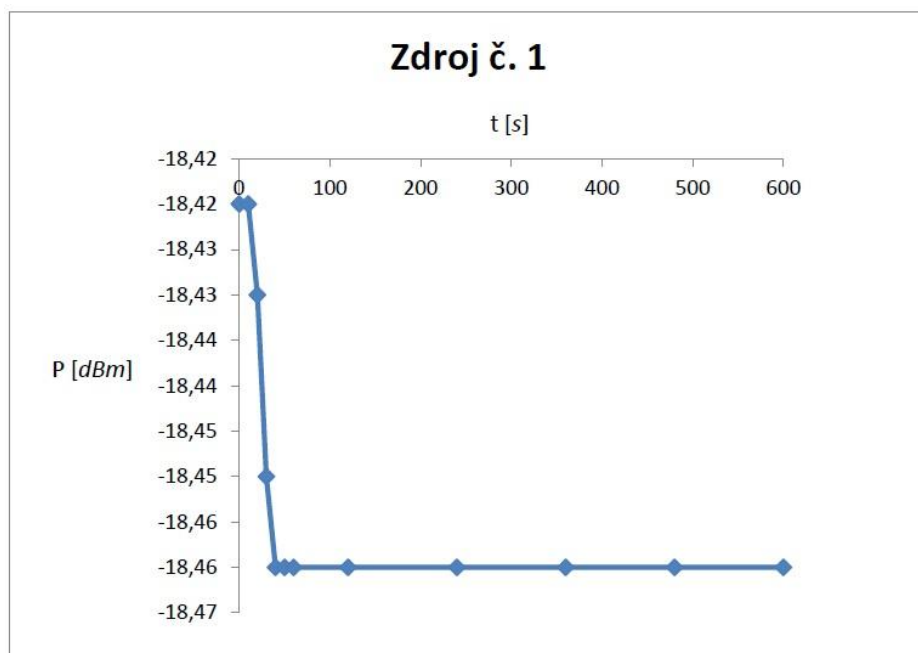
Zdroj č. 5 LASER 650 nm

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-4,84	-4,87	-4,87	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88	-4,88

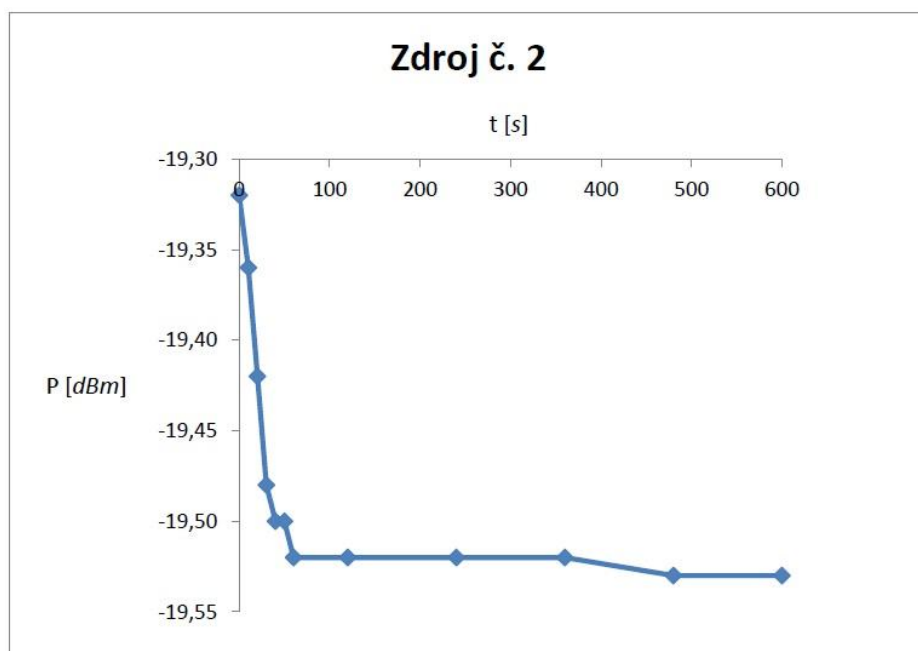
Zdroj č. 5 LASER 650 nm se zpětnou vazbou

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	120	240	360	480	600
P [dBm]	-6,52	-6,50	-6,49	-6,49	-6,49	-6,48	-6,48	-6,48	-6,46	-6,46	-6,45	-6,45

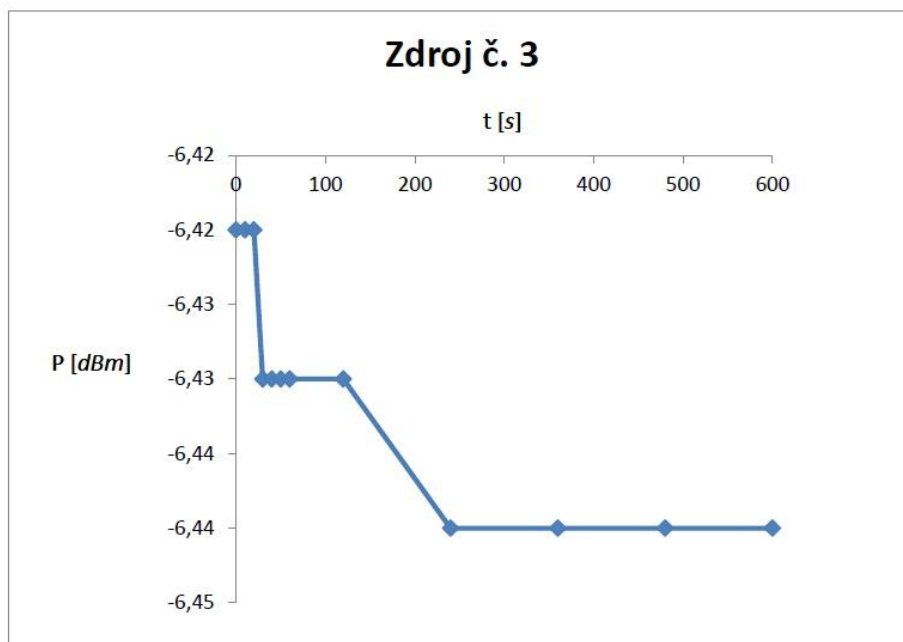
Graf č. 7 : Zdroj č. 1 LED 526 nm



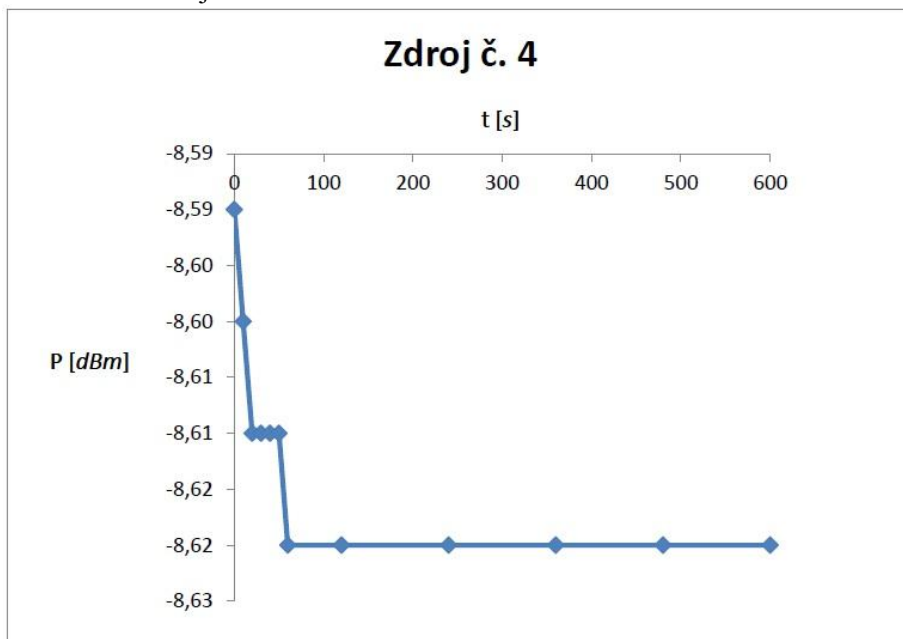
Graf č. 8: Zdroj č. 2 LED 590 nm



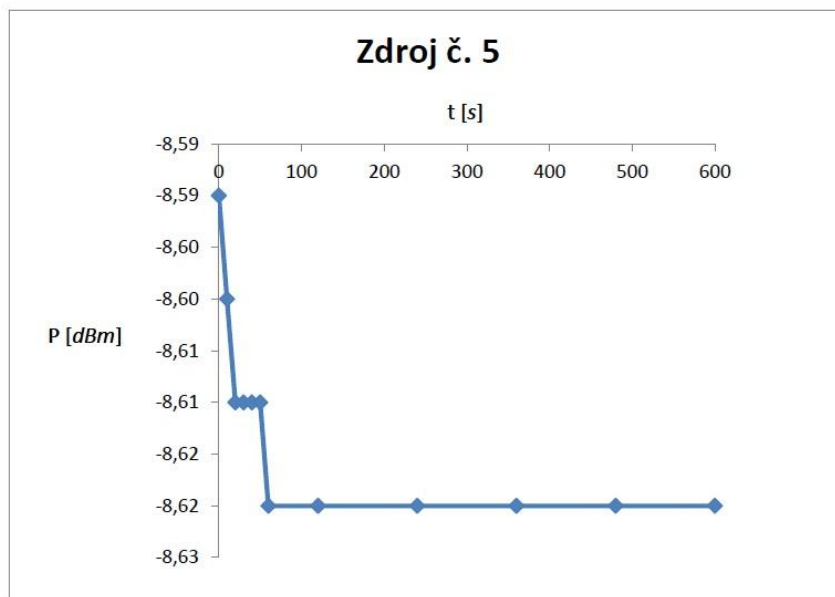
Graf č. 9: Zdroj č. 3 LED 660 nm



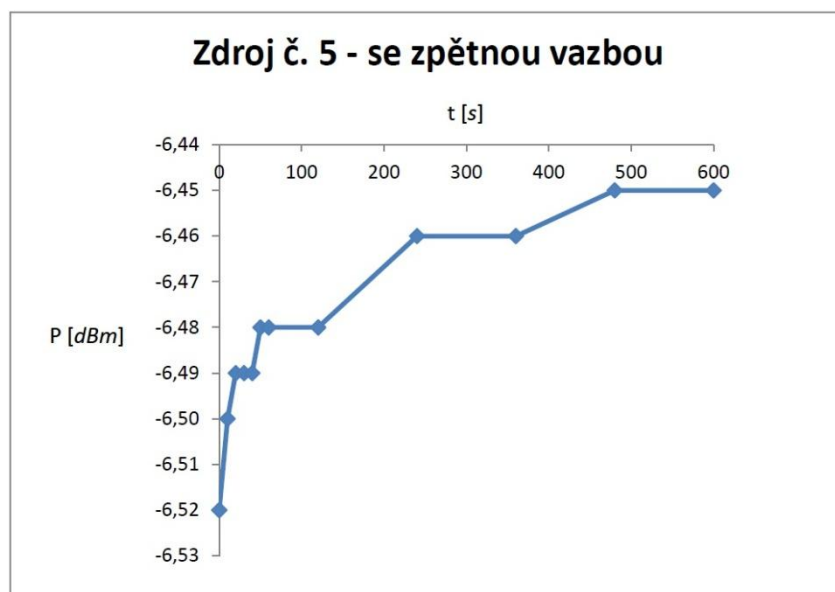
Graf č. 10: Zdroj č. 4 LED 850 nm



Graf č. 11: Zdroj č. 5 LASER 650 nm



Graf č. 12: Zdroj č. 5 LASER 650 nm se zpětnou vazbou



9. Měření V/A charakteristik zdrojů optického záření

Zadání:

Změřte V/A charakteristiky různých zdrojů optického záření.

Měření:

Po sestavení měřeného obvodu postupně zvyšujeme proud protékající zdrojem optického záření s krokem 1 mA a zapisujeme si hodnoty napětí na zdroji optického záření (pomocí

voltmetru) až do maxima. Toto měření opakujeme pro zbylé zdroje optického záření. Výsledky porovnáme v tabulce a grafu.

Poznámky:

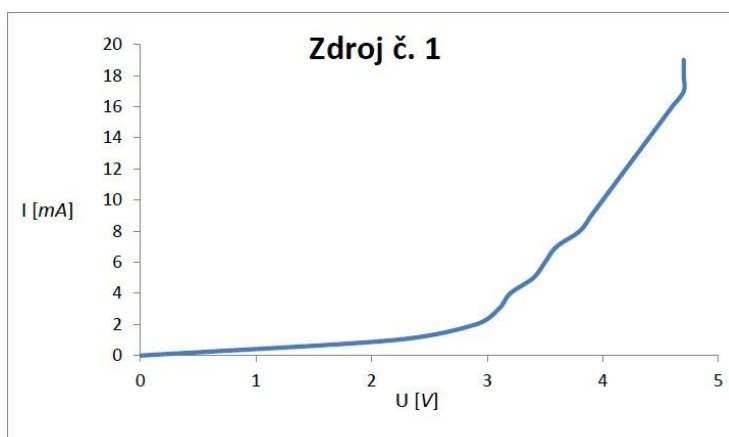
Pečlivě spojte konektory voltmetru s měřícími body vysílače.

Výsledky měření:

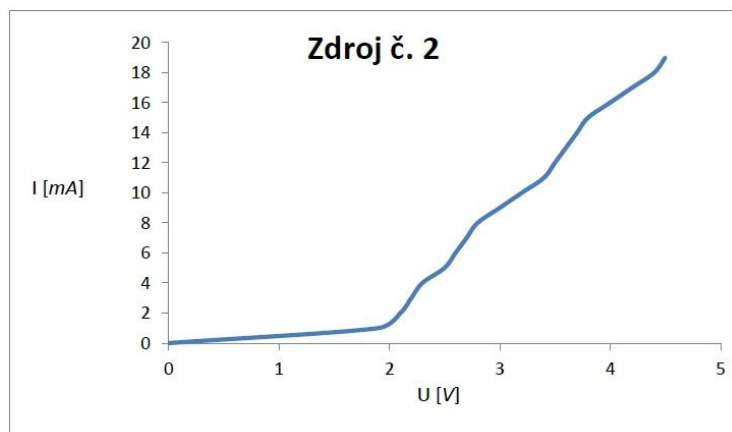
Tabulka 19, Tabulka 20, Tabulka 21, Tabulka 22, Tabulka 23: Měření V/A charakteristik zdrojů optického záření

Zdroj č. 1																				
I [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
U [V]	0	2,2	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,7
Zdroj č. 2																				
I [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
U [V]	0	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	3	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	4	4,2	4,4	4,5
Zdroj č. 3																				
I [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
U [V]	0	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,3	4,5	4,7								
Zdroj č. 4																				
I [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
U [V]	0	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,2	3,4	3,7	3,8	4	4,2	4,4		
Zdroj č. 5																				
I [mA]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
U [V]	0	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,2	3,3	

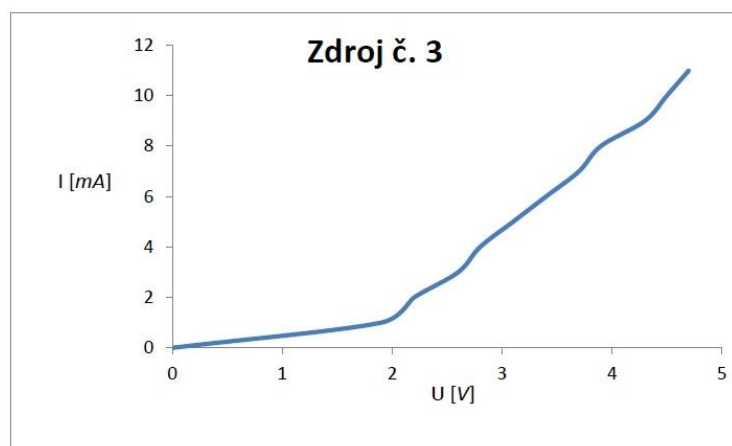
Graf č. 13: zdroj č. 1



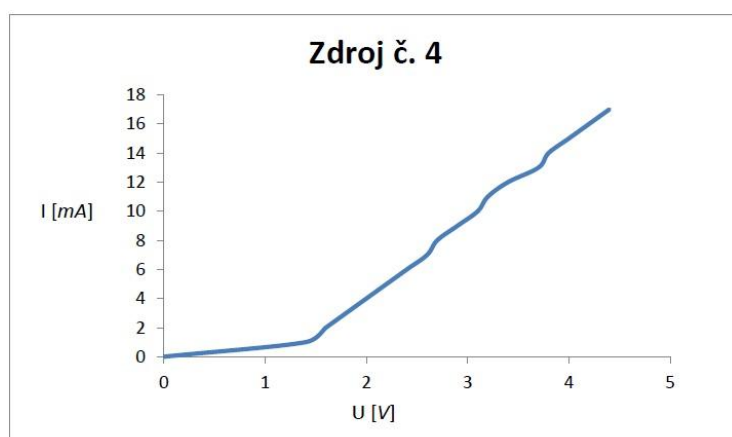
Graf č. 14: zdroj č. 2



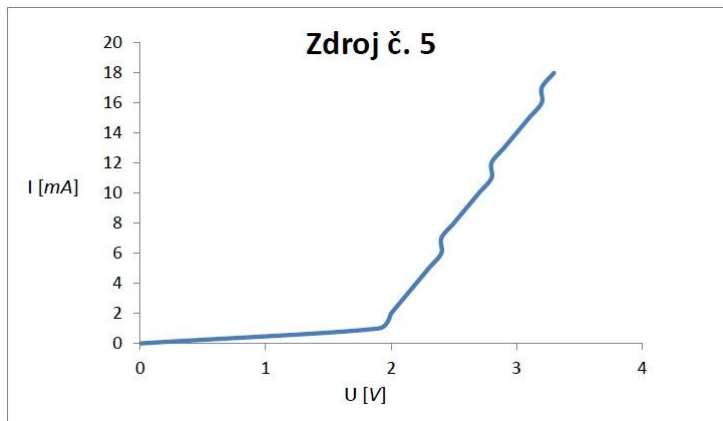
Graf č. 15: zdroj č. 3



Graf č. 16: zdroj č. 4



Graf č. 17: zdroj č. 5



10. Modulační vlastnosti zdrojů optického záření

Zadání:

Změřte frekvenční odezvu modulací zdrojů záření.

Měření:

Pro změření této úlohy je zapotřebí externí generátor signálů a osciloskop, po nastavení parametrů měření dle návodu postupně zvyšujeme frekvenci vstupního signálu pomocí externího generátoru (až do 10 MHz) a odečítáme z osciloskopu hodnoty napětí na vstupu a výstupu. Měření opakujeme i pro další zdroje opt. záření. Výsledky zobrazíme graficky a hodnoty v tabulkách. Nalezneme mezní frekvenci (pokles signálu o 3dB).

Poznámky:

Důležité je nastavení zesílení signálu u vysílače, kdy ještě nedochází k jeho zkreslení, následně nastavení zesílení analogového kanálu u přijímače tak, aby měl vstupní i výstupní signál stejnou amplitudu.

Oba frekvenční filtry u přijímače musí být vypnuty.

Výsledky měření:

Tabulka 24, Tabulka 25, Tabulka 26, Tabulka 27, Tabulka 28 :

Zdroj č. 1													
f [MHz]	0,001	0,01	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _{in} [mV]	1721	1721	1721	1721	1721	880	800	740	640	640	600	560	540
U _{out} [mV]	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1681	1521	1401	1321	1201	1081
a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,8	-6,7	-7,1	-7,5	-6,8	-6,9	-6,6	-6,0

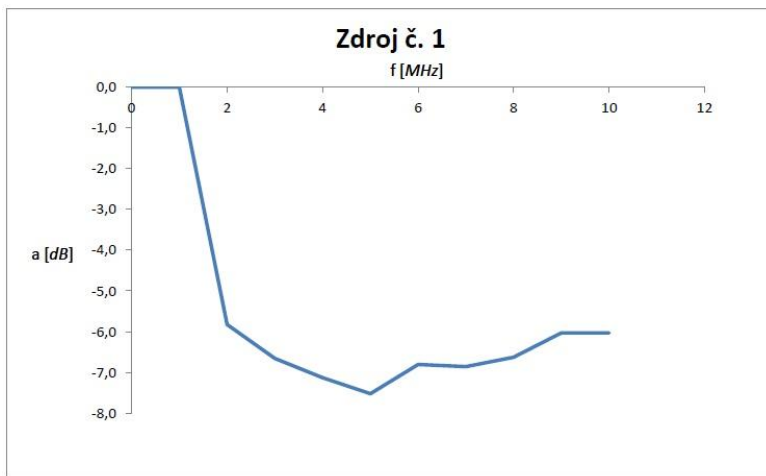
Zdroj č. 2													
f [MHz]	0,001	0,01	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _{in} [mV]	1841	1841	1841	1481	1461	1021	860	840	780	740	720	660	640
U _{out} [mV]	1841	1841	1841	1841	1841	1801	1761	1681	1601	1481	1401	1241	1081
a [dB]	0,0	0,0	0,0	-1,9	-2,0	-4,9	-6,2	-6,0	-6,2	-6,0	-5,8	-5,5	-4,6

Zdroj č. 3													
f [MHz]	0,001	0,01	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _{in} [mV]	2401	2401	2401	1481	900	560	408	312	200	172	152	148	116
U _{out} [mV]	2401	2401	2401	2401	2401	2321	2161	2041	1801	1561	1401	1241	1121
a [dB]	0,0	0,0	0,0	-4,2	-8,5	-12,3	-14,5	-16,3	-19,1	-19,2	-19,3	-18,5	-19,7

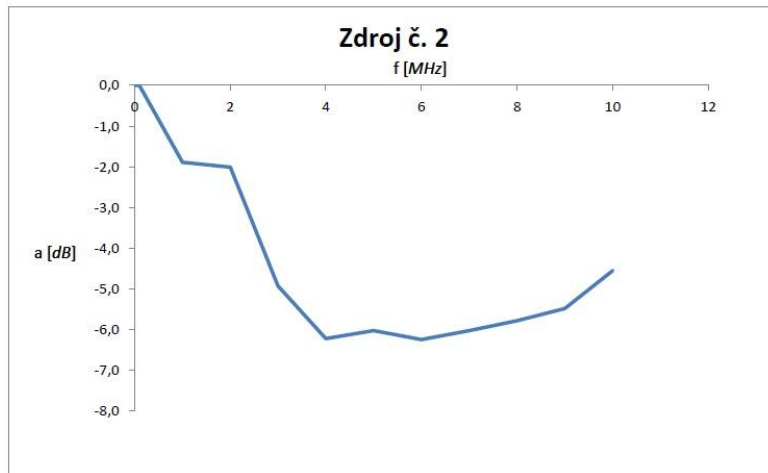
Zdroj č. 4													
f [MHz]	0,001	0,01	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _{in} [mV]	2321	2201	1921	980	584	400	320	256	208	180	156	144	132
U _{out} [mV]	2321	2321	2321	2321	2321	2321	2161	2041	1801	1561	1401	1241	1121
a [dB]	0,0	-0,5	-1,6	-7,5	-12,0	-15,3	-16,6	-18,0	-18,7	-18,8	-19,1	-18,7	-18,6

Mezní frekvence zdrojů záření				
Zdroj č.	1	2	3	4
f _c [MHz]	1,5	2,5	0,8	0,6

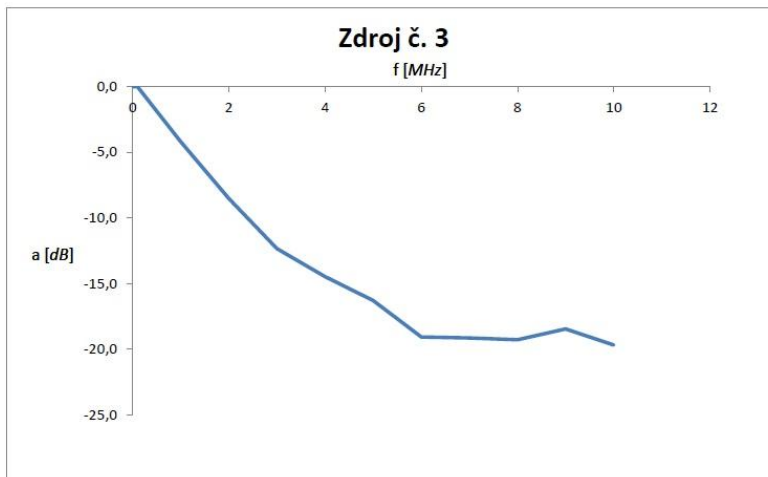
Graf č. 18: Modulační vlastnosti zdroje č. 1



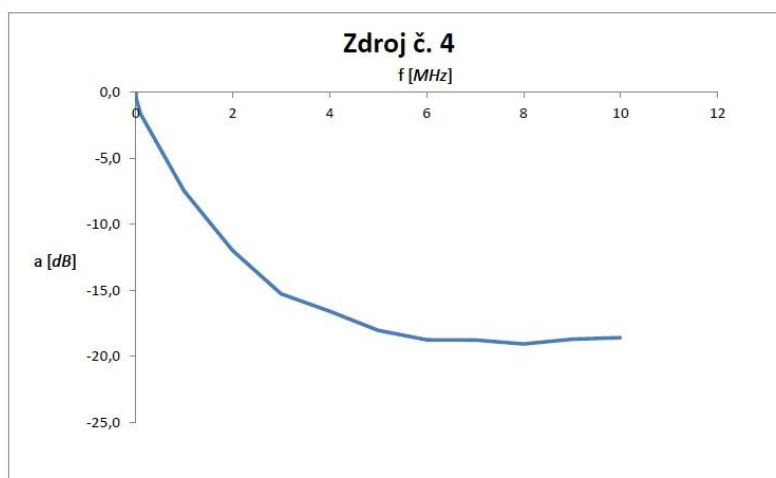
Graf č. 19: Modulační vlastnosti zdroje č. 2



Graf č. 20: Modulační vlastnosti zdroje č. 3



Graf č. 21: Modulační vlastnosti zdroje č. 4



11. Spektrální závislost fotodetektorů

Zadání:

Změřte spektrální závislost fotodetektorů.

Měření:

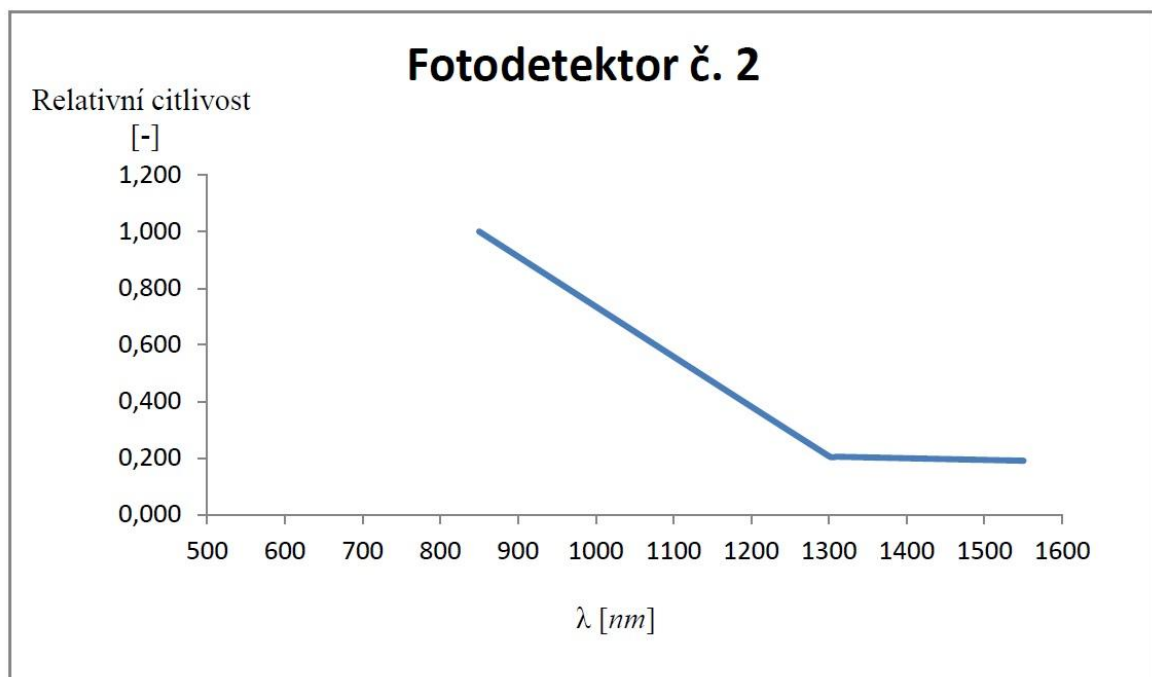
Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, změříme výkon ve W , který si zapíšeme. Je to výkon (LED zdroje 850 nm), který zachytí fotodetektor na vlnové délce 850 nm , dále změníme vlnovou délku fotodetektoru postupně na 660 nm až do 526 nm , přičemž si zapisujeme hodnoty výkonu. Naměřené hodnoty slouží pro porovnání spektrální závislosti daného fotodetektoru. Výsledky zobrazíme graficky a hodnoty v tabulce. Spektrální citlivost je zde vztažena vždy k určité vlnové délce (u této úlohy k 850 nm - jelikož máme zdroj záření LED 850 nm).

Výsledky měření:

Graf č. 22 a Tabulka 29 : Spektrální závislost fotodetektorů

Fotodetektor č. 2, vztaženo k výkonu na 850 nm , tj. $62\text{ }\mu\text{W}$

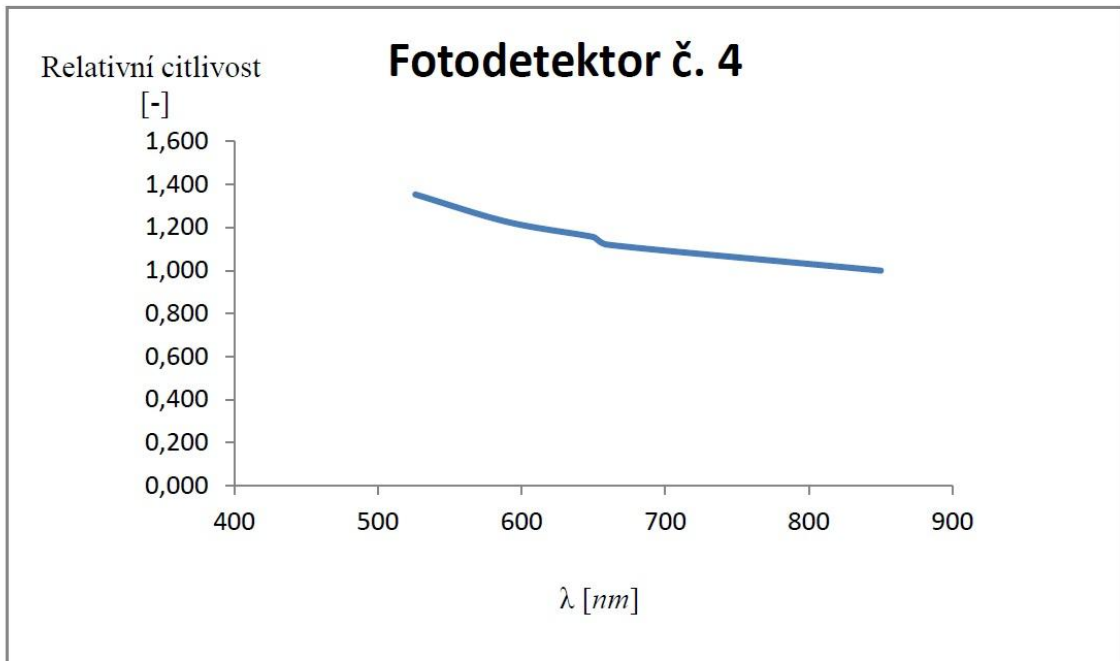
λ [nm]	850	1300	1310	1550
Relativní spektrální závislost [-]	1,000	0,206	0,205	0,190



Graf č. 23 a Tabulka 30: Spektrální závislost fotodetektorů

Fotodetektor č. 4, vztaženo k výkonu na 850 nm, tj. 142 μW

λ [nm]	526	590	650	660	850
Relativní spektrální závislost [-]	1,352	1,225	1,155	1,120	1,000



12. Citlivost fotodetektorů: závěrné napětí na fotodetektorech

Zadání:

Změřte vliv závěrného napětí na citlivost fotodetektorů.

Porovnejte fotodetektory PIN a APD.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu měříme, jaký vliv má závěrné napětí na fotodetektorech. U přijímače jsou použity dva typy detektorů a sice PIN a APD, ty postupně podrobíme nastavení závěrného napětí podle přiložené tabulky. Zvyšujeme závěrné napětí a zapisujeme si hodnoty změny útlumu (zisku). U PIN fotodetektoru jsou změny minimální v jednotkách setin dB . U APD fotodetektoru jsou změny zřetelnější a to z důvodu lavinového efektu, čím vyšší je závěrné napětí na fotodetektoru, tím zisk signálu větší a detektor citlivější. Výsledky zobrazíme graficky a hodnoty v tabulce.

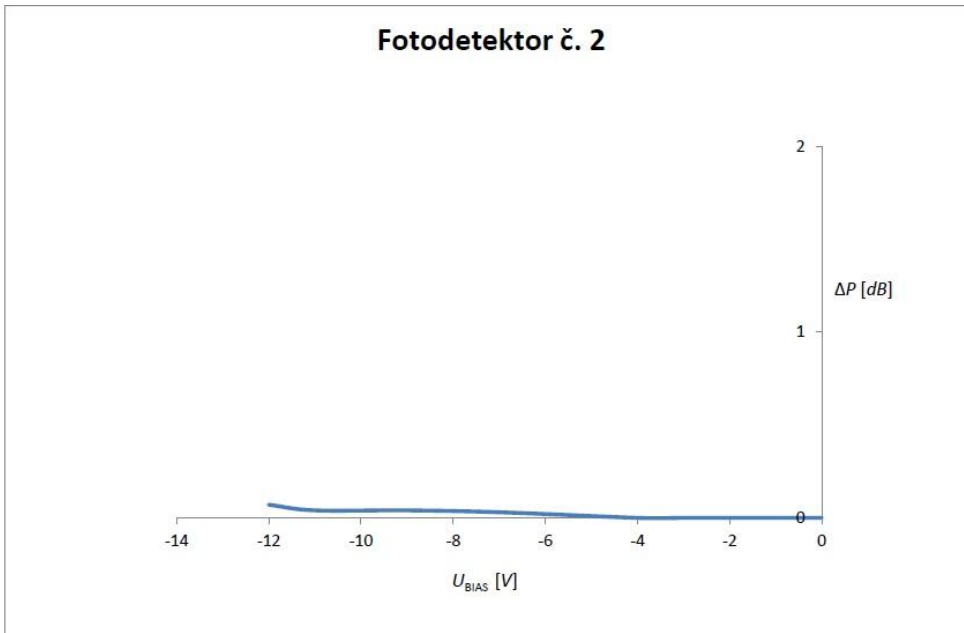
Výsledky měření:

Tabulka 31 a Tabulka 32: Citlivost fotodetektorů: závěrné napětí na fotodetektorech

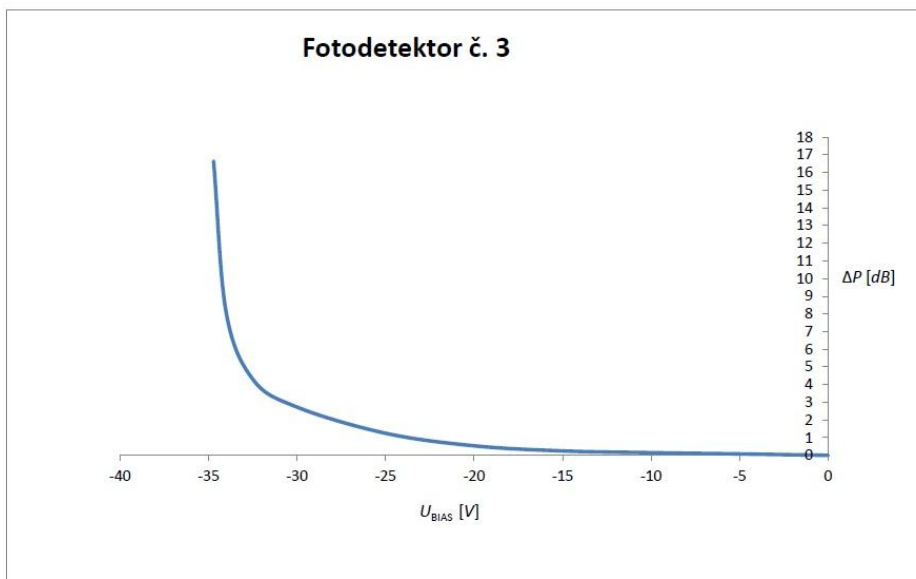
Fotodetektor č. 2 - PIN									
U_{BIAS} [V]	0	-1	-2	-3	-4	-7	-9	-11	-12
ΔP [dB]	0	0	0	0	0	0,03	0,04	0,04	0,07

Fotodetektor č. 3 - APD (lavinový)										
U_{BIAS} [V]	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-32,5	-34	-34,71
ΔP [dB]	0	0,08	0,15	0,25	0,54	1,25	2,73	4,31	8,08	16,64

Graf č. 24: Závěrné napětí na fotodetektorech



Graf č. 25: závěrné napětí na fotodetektorech



13. Šířka pásma fotodetektorů

Zadání:

Změřte šířku pásma fotodetektorů. Změřte vliv závěrného napětí na šířku pásma fotodetektorů.

Měření:

Pro změření této úlohy je zapotřebí externí generátor signálů a osciloskop, po nastavení parametrů měření dle návodu postupně zvyšujeme frekvenci vstupního signálu pomocí externího generátoru (až do 10 MHz) a odečítáme z osciloskopu hodnoty napětí na vstupu a výstupu. Měření opakujeme i pro další hodnoty závěrného napětí dle tabulky. Výsledky zobrazíme graficky a hodnoty v tabulkách. Nalezneme mezní frekvenci (pokles signálu o 3dB). Měření zjistíme, jaký vliv má velikost závěrného napětí na fotodetektoru na šířku pásma.

Poznámky:

Důležité je nastavení zesílení signálu u vysílače, kdy ještě nedochází k jeho zkreslení, následně nastavení zesílení analogového kanálu u přijímače tak, aby měl vstupní i výstupní signál stejnou amplitudu.

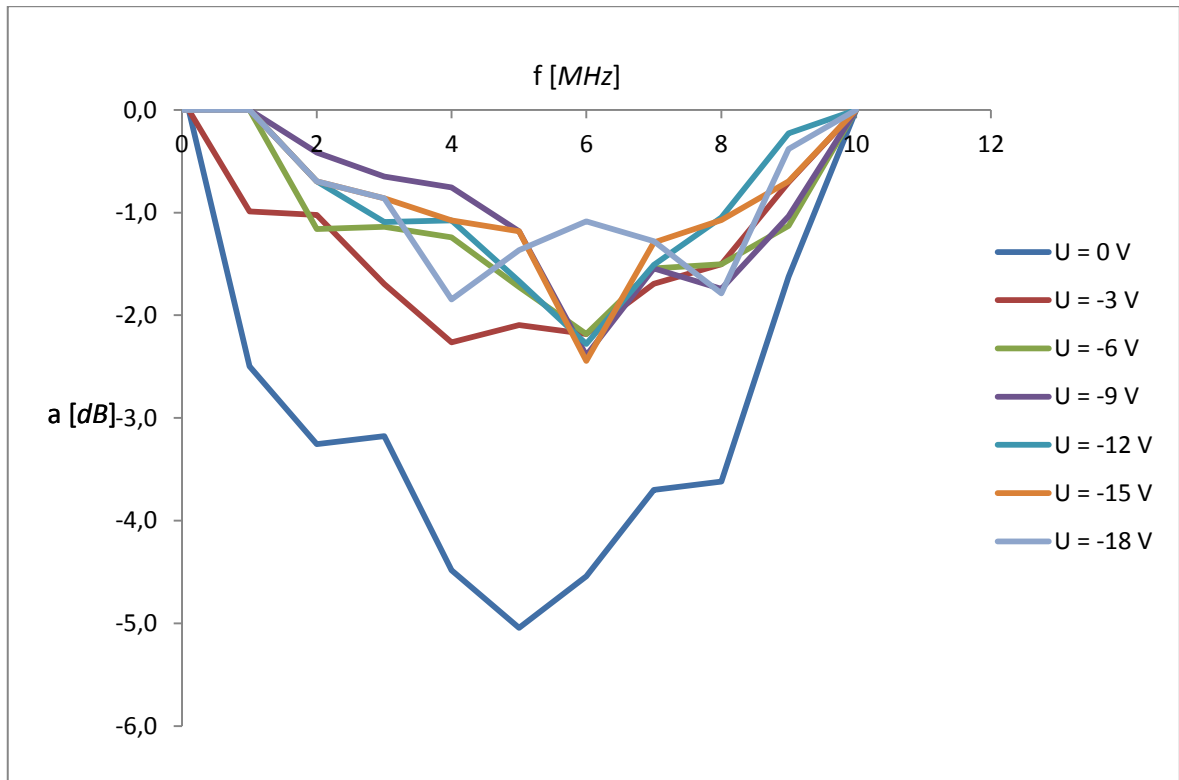
Oba frekvenční filtry u přijímače musí být vypnuty.

Výsledky měření:

Tabulka 33: Šířka pásma fotodetektorů

		Fotodetektor č. 1												
Uzavěrně [V]	f [MHz]	0,001	0,01	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	U _{out} [mV]	2561	2561	2561	1921	1761	1721	1481	1321	1281	1281	1161	1361	1401
	U _{in} [mV]	2561	2561	2561	2561	2561	2481	2481	2361	2161	1961	1761	1641	1401
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	-2,5	-3,3	-3,2	-4,5	-5,0	-4,5	-3,7	-3,6	-1,6	0,0
-3	U _{out} [mV]	2601	2601	2601	2321	2241	2041	1881	1761	1681	1581	1481	1421	1401
	U _{in} [mV]	2601	2601	2601	2601	2521	2481	2441	2241	2161	1921	1761	1541	1401
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,7	-2,3	-2,1	-2,2	-1,7	-1,5	-0,7	0,0
-6	U _{out} [mV]	2561	2561	2561	2561	2241	2141	2081	1821	1681	1541	1481	1441	1401
	U _{in} [mV]	2561	2561	2561	2561	2561	2441	2401	2221	2161	1841	1761	1641	1401
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,2	-1,1	-1,2	-1,7	-2,2	-1,5	-1,5	-1,1	0,0
-9	U _{out} [mV]	2561	2561	2561	2561	2441	2321	2201	1921	1641	1541	1441	1421	1401
	U _{in} [mV]	2561	2561	2561	2561	2561	2501	2401	2201	2161	1841	1761	1601	1401
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,6	-0,8	-1,2	-2,4	-1,5	-1,7	-1,0	0,0
-12	U _{out} [mV]	2601	2601	2601	2601	2401	2241	2121	1841	1601	1581	1561	1501	1321
	U _{in} [mV]	2601	2601	2601	2601	2601	2541	2401	2231	2081	1881	1761	1541	1321
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-1,1	-1,1	-1,7	-2,3	-1,5	-1,0	-0,2	0,0
-15	U _{out} [mV]	2601	2601	2601	2601	2401	2301	2121	1921	1601	1621	1521	1441	1321
	U _{in} [mV]	2601	2601	2601	2601	2601	2541	2401	2201	2121	1881	1721	1561	1321
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-2,4	-1,3	-1,1	-0,7	0,0
-18	U _{out} [mV]	2601	2601	2601	2601	2401	2301	1941	1881	1801	1641	1401	1341	1281
	U _{in} [mV]	2601	2601	2601	2601	2601	2541	2401	2201	2041	1901	1721	1401	1281
	a [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,9	-1,8	-1,4	-1,1	-1,3	-1,8	-0,4	0,0

Graf č. 26: Šířka pásma fotodetektorů



14. Přenos analogového signálu

Zadání:

Pozorujte proud a napětí zdroje záření při analogovém přenosu.

Měření:

Pro změření této úlohy je zapotřebí osciloskop, po nastavení parametrů měření dle návodu zobrazíme signál pomocí osciloskopu připojeného k měřícím bodům vysílače. Změnou hodnot interního generátoru signálu kontrolujeme tvar signálu na osciloskopu. Dalším bodem měření je zobrazení signálu na osciloskopu připojeného k přijímači. Zvyšujeme hodnoty proudu a pozorujeme, jak se mění tvar signálu. Dále postupujeme dle návodu a pozorujeme změny signálu na vstupu a výstupu na osciloskopu.

Poznámky:

Výsledky měření:

Úloha neobsahuje žádné tabulky ani grafy.

15. Přenos audio signálu

Zadání:

Realizujte přenos audio signálu optickým vláknem.

Měření:

Pro změření této úlohy je zapotřebí osciloskop, po nastavení parametrů měření dle návodu a propojení všech zařízení můžeme poslouchat přenášený audio signál optickou trasou.

Poznámky:

Důležité je nastavení zesílení signálu u vysílače i přijímače, kdy ještě nedochází k jeho zkreslení. Doporučuje se zapnout 100 kHz filtr na přijímači.

Výsledky měření:

Úloha neobsahuje žádné tabulky ani grafy.

16. Přenos digitálního signálu

Zadání:

Realizujte přenos digitálního signálu.

Měření:

Pro změření této úlohy je zapotřebí externí generátor signálů a osciloskop, po nastavení parametrů měření dle návodu a propojení všech přístrojů zobrazíme digitální signál TTL na vstupu i výstupu měřicí soustavy. Dle návodu přepínáme mezi hodnotami nastavení vstupního digitálního signálu (pozitivní, negativní logika) na vysílači. Nastavením digitálního kanálu na přijímači měníme rozhodovací úroveň komparátoru. Vše pozorujeme dvoukanálovým osciloskopem.

Výsledky měření:

Úloha neobsahuje žádné tabulky ani grafy.

17. Vliv ohybu na útlum optického vlákna (makroohyb)

Zadání:

Změřte vliv ohybu (makroohybu) na útlum optického vlákna.

Měření:

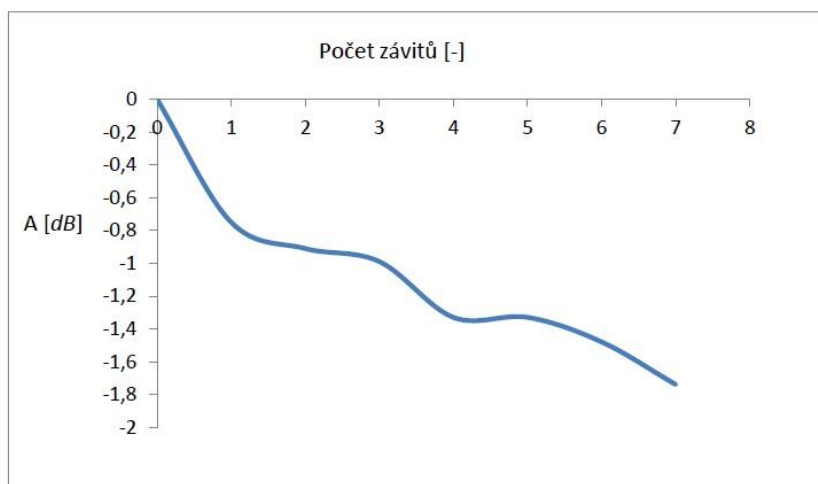
Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu.

Postupně ovineme optické vlákno na měřící válečky o daných průměrech a měříme hodnoty útlumů. Dalším bodem měření je vliv počtu závitů na hodnotu útlumu. Výsledky porovnáme v tabulce a grafu.

Výsledky měření:

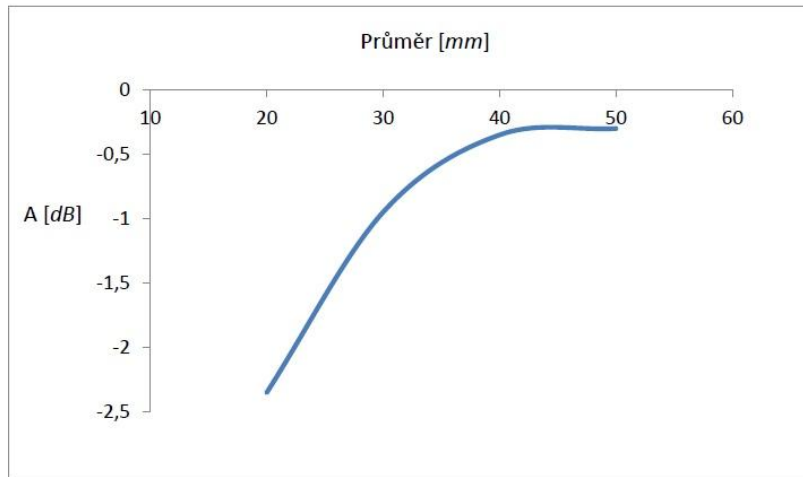
Graf č. 27 a Tabulka 34: Makroohyb

Počet závitů	0	1	2	3	4	5	6	7
Útlum [dB]	0	-0,75	-0,91	-0,99	-1,33	-1,33	-1,48	-1,74



Graf č. 28 a Tabulka 35: Makroohyb

Průměr [mm]	20	30	40	50
Útlum [dB]	-2,35	-0,95	-0,35	-0,3



18. Vliv ohybu na útlum optického vlákna (mikroohyb)

Zadání:

Změřte vliv ohybu (mikroohybu) na útlum optického vlákna.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu optického výkonu.

Na optické vlákno necháme působit mikroohybové destičky pod určitým tlakem (60 N) nejprve destičku s vyšším počtem ohybů, následně s nižším počtem ohybů. Naměřené hodnoty útlumu porovnáme.

Poznámky:

Před každým měřením je nutné stanovit si referenční hodnotu výkonu.

Výsledky měření:

Útlum při vyšší hustotě ohybů:

a = -0,11 dB.

Útlum při nižší hustotě ohybů:

a = -0,26 dB.

19. Vyzařovací charakteristika optických vláken: Měření numerické apertury

Zadání:

Změřte numerickou aperturu optického vlákna.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením externího fotodetektoru k manipulátoru a nastavením jeho polohy dle návodu postupujeme měřením navázání paprsku do fotodetektoru. A to sice postupným nastavením určitého úhlu (0 až 45 stupňů) otočného ramene manipulátoru a zapsáním příslušné hodnoty přijatého výkonu ve W . Totéž provedeme i pro druhou stranu manipulátoru (0 až -45 stupňů). Naměřené hodnoty výkonu porovnáme v tabulce a zobrazíme v grafu (hodnota výkonu při 0 stupních odpovídá 100 % výkonu). Z grafu odečteme hodnotu úhlu 2α , kterému odpovídá hodnota výkonu 5 % maximální hodnoty.

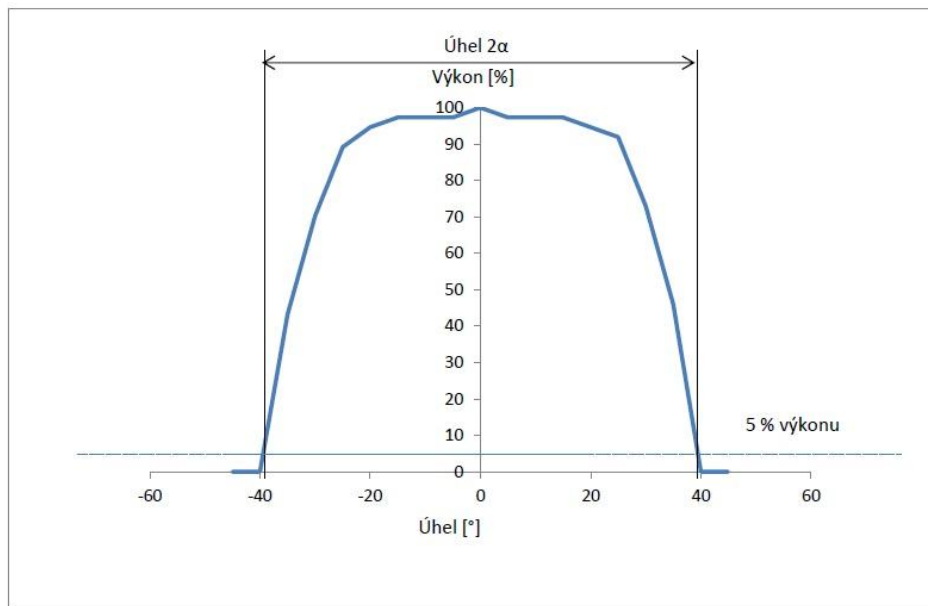
Poznámky:

Měření je pouze informativní, pro korektní měření numerické apertury plastových vláken je nutná vzdálenost přibližně 3 m.

Výsledky měření:

Graf č. 29 a Tabulka 36 : Měření numerické apertury

Úhel [°]	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
Výkon [mW]	0	0	17	27	34	35	36	36	36	37	36	36	36	35	33	26	16	0	0
Výkon [%]	0	0	46	73	92	95	97	97	97	100	97	97	97	95	89	70	43	0	0



20. Vliv neideálního konektorového spojení optických vláken na jeho útlum

Zadání:

Změřte vliv neideálního konektorového spojení optických vláken (podélné, příčné a úhlové odchyly).

Měření:

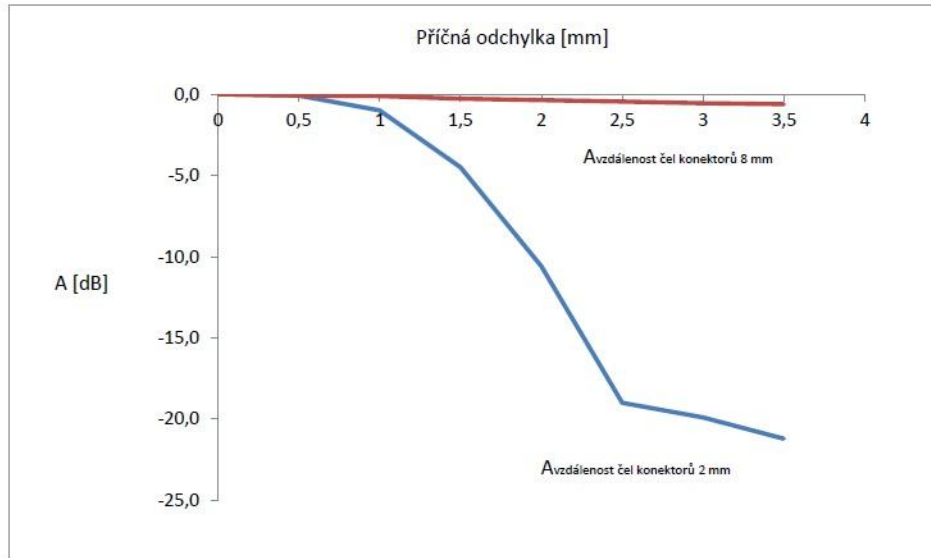
Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením manipulátoru a nastavením jeho polohy dle návodu postupujeme měřením podélné odchyly, úhlové odchyly a příčné odchyly. Úloha demonstruje vlivy, které mohou nastat při neideálním spojení optických vláken. Změřené hodnoty útlumu vychází z počáteční referenční hodnoty a zvyšují se postupně dle velikosti nastavené odchyly na manipulátoru. Naměřené hodnoty útlumu, závislé na odchylyce porovnáme v tabulce a zobrazíme v grafu.

Výsledky měření:

Graf č. 30 a Tabulka 37:

Měření příčné odchylky

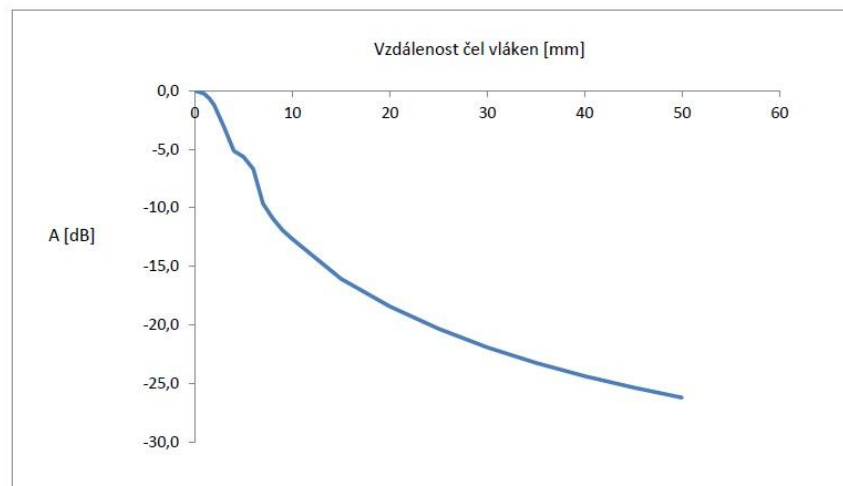
Příčná odchylka [mm]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
A _{vzdálenost čel konektorů 2 mm} [dB]	0,0	-0,1	-1,0	-4,5	-10,6	-19,0	-19,9	-21,2
A _{vzdálenost čel konektorů 8 mm} [dB]	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6



Graf č. 31 a Tabulka 38:

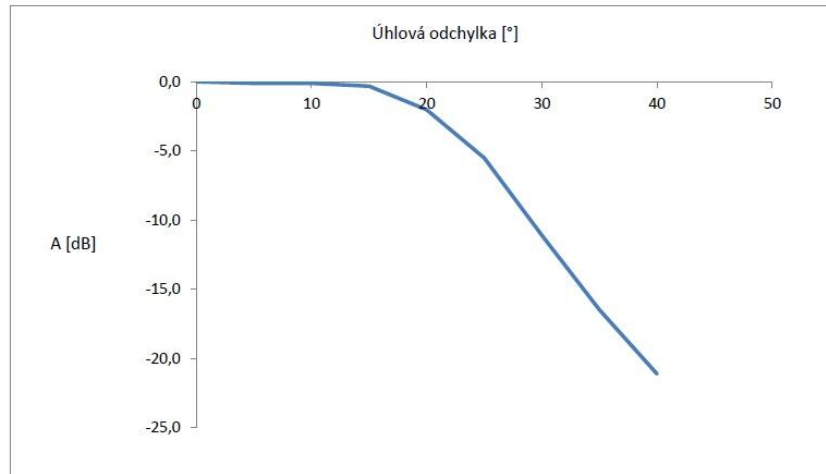
Měření podélné odchylky

Vzdálenost čel vláken [mm]	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50
A [dB]	0,0	-0,1	-0,3	-0,7	-1,2	-3,1	-5,2	-5,7	-6,7	-9,6	-10,9	-11,9	-12,7	-16,1	-18,4	-20,3	-21,9	-23,2	-24,4	-25,3	-26,2



Graf č. 32 a Tabulka 39:

Měření úhlové odchylky									
Úhlová odchylka [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
A [dB]	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-2,0	-5,5	-11,1	-16,5	-21,1



21. Měření pevné optické rozbočnice

Zadání:

Změřte útlum optické rozbočnice mezi jejími jednotlivými porty.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu výkonu. Poté vyměníme propojovací optický kabel za optickou rozbočnici a proměříme útlumy na jejich portech (i v opačném směru). To samé proměříme i u druhé optické rozbočnice. Měření opakujeme i pro jinou vlnovou délku. Naměřené hodnoty útlumu, závislé na připojených portech porovnáme v tabulce.

Poznámky:

Pro lepší orientaci je vhodné označit si porty optické rozbočnice čísly.

Výsledky měření:

Tabulka 40: Útlum mezi jednotlivými porty:

Rozbočnice	Útlum mezi porty A [dB]											
	Měření na vlnové délce 660 nm						Měření na vlnové délce 850 nm					
	1 - 2	1 - 3	2 - 1	2 - 3	3 - 1	3 - 2	1 - 2	1 - 3	2 - 1	2 - 3	3 - 1	3 - 2
č. 1	-5,19	-4,33	-5,07	-21,52	-4,07	-21,57	-6,03	-5,07	-5,86	-23,48	-5,15	-23,43
č. 2	-5,24	-5,19	-5,16	-25,26	-5,21	-25,31	-5,93	-6,14	-5,96	-24,39	-6,07	-26,16

22. Měření proměnné optické rozbočnice

Zadání:

Změřte útlum optické rozbočnice mezi jejími jednotlivými porty.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, nastavíme referenční hodnotu výkonu. Poté vyměníme propojovací optický kabel za proměnnou optickou rozbočnici a proměříme útlumy na jejich portech s postupným procentuálním nastavením optického záření do jednotlivých portů. Měření opakujeme i pro jinou vlnovou délku. Naměřené hodnoty útlumu, závislé na připojených portech porovnáme v tabulce.

Poznámky:

Výsledky měření:

Tabulka 41: Útlum mezi jednotlivými porty:

Proměnná optická rozbočnice	100 % záření do portu 2	0 % záření do portu 2	100 % záření do portu 3	0 % záření do portu 3	50 % na 50 %	50 % na 50 %
Zapojené porty	1 - 2	1 - 2	1 - 3	1 - 3	1 - 2	1 - 3
A [dB] Měření na vln. délce 660 nm	-5,34	-46,47	-6,92	-44,7	-9,87	-9,47
A [dB] Měření na vln. délce 850 nm	-5,18	-44,65	-7,22	-44,68	-9,75	-9,98

23. Měření neutrálních optických filtrů

Zadání:

Změřte útlum neutrálních optických filtrů.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením manipulátoru a nastavením jeho polohy dle návodu postupujeme měřením neutrálních optických filtrů. Nastavením prvního otvoru optického filtru stanovíme referenční hodnotu měření. Následně proměříme útlum optického záření i u zbylých otvorů (2 až 7). Měření opakujeme i pro jinou vlnovou délku. Naměřené hodnoty útlumu porovnáme v tabulce.

Výsledky měření:

Tabulka 42: Měření neutrálních optických filtrů:

Otvor číslo	1	2	3	4	5	6	7
A [dB] vln. délka 660 nm	0,00	-1,20	-3,02	-5,43	-9,98	-12,81	-12,15
A [dB] vln. délka 850 nm	0,00	-1,34	-3,76	-6,04	-12,12	-14,80	-15,21

24. Měření útlumu proměnného optického attenuátoru

Zadání:

Změřte útlum optického attenuátoru pro jeho jednotlivé nastavené nominální hodnoty útlumu.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením proměnného attenuátoru a nastavením jeho polohy dle návodu postupujeme měřením jeho skutečného útlumu. Nastavením hodnoty 0 dB na proměnném attenuátoru stanovíme novou referenční hodnotu. Dále postupujeme nastavováním hodnot útlumu dle tabulky a skutečné hodnoty útlumu (změřené) si zapisujeme. Naměřené hodnoty útlumu porovnáme v tabulce a zobrazíme graficky.

Poznámky:

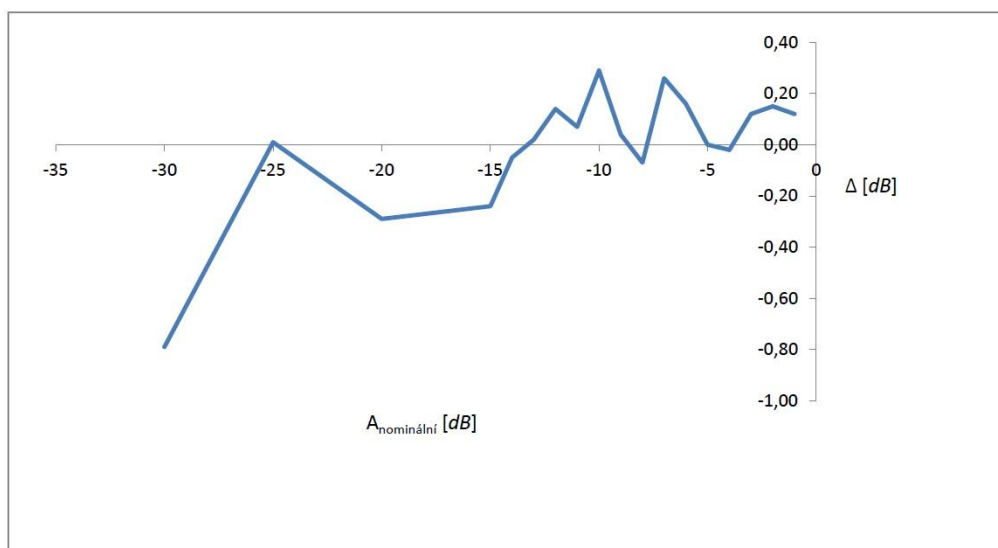
Před začátkem měření lze nastavit (či alespoň zaznamenat) skutečnou hodnotu útlumu (stanovenou pomocí ST konektorové spojky) proměnného attenuátoru a vztahovat výsledky měření k této hodnotě.

Výsledky měření:

Tabulka 43: Měření útlumu proměnného optického attenuátoru

Anomální [dB]	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-20	-25	-30
Askutečný [dB]	-0,88	-1,85	-2,88	-4,02	-5,00	-5,84	-6,74	-8,07	-8,96	-9,71	-10,93	-11,86	-12,98	-14,05	-15,24	-20,29	-24,99	-30,79
Δ [dB]	0,12	0,15	0,12	-0,02	0,00	0,16	0,26	-0,07	0,04	0,29	0,07	0,14	0,02	-0,05	-0,24	-0,29	0,01	-0,79

Graf č. 33: Měření útlumu proměnného optického attenuátoru

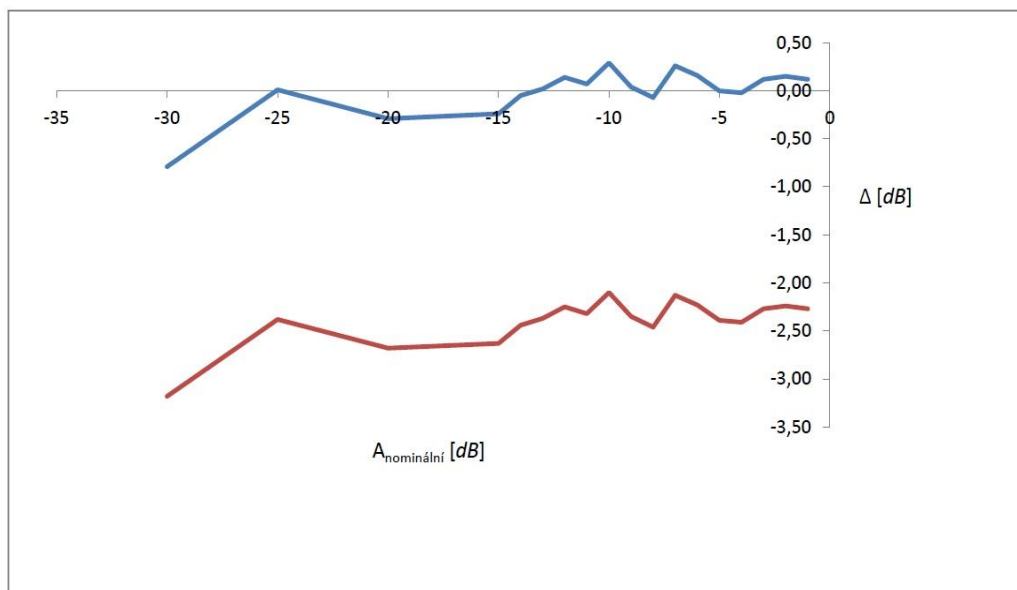


Tabulka 44: Měření útlumu proměnného optického attenuátoru s referenční hodnotou nastavenou s ST konektorovou spojkou

Anomální [dB]	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-20	-25	-30
A_{ST} [dB] *	-3,27	-4,24	-5,27	-6,41	-7,39	-8,23	-9,13	-10,46	-11,35	-12,10	-13,32	-14,25	-15,37	-16,44	-17,63	-22,68	-27,38	-33,18
Δ [dB]	-2,27	-2,24	-2,27	-2,41	-2,39	-2,23	-2,13	-2,46	-2,35	-2,10	-2,32	-2,25	-2,37	-2,44	-2,63	-2,68	-2,38	-3,18

* A_{ST} = útlum při nastavení refer. hodnoty s ST konektorovou spojkou

Graf č. 34: Měření útlumu proměnného optického attenuátoru s referenční hodnotou nastavenou s ST konektorovou spojkou



25. Spektrální závislost útlumu proměnného optického attenuátoru

Zadání:

Změřte spektrální závislost útlumu proměnného opt. attenuátoru pro jeho jednotlivé nastavené nominální hodnoty útlumu.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením proměnného attenuátoru a nastavením jeho polohy dle návodu postupujeme měřením jeho skutečného útlumu na různých vlnových délkách. Nastavením hodnoty 0 dB na proměnném attenuátoru stanovíme novou referenční hodnotu. Dále postupujeme nastavováním hodnot útlumu dle tabulky a skutečné hodnoty útlumu (změřené) si zapisujeme. Měření opakujeme i pro další vlnové délky. Naměřené hodnoty útlumu porovnáme v tabulce a zobrazíme graficky.

Poznámky:

Hodnotu proudu optického zdroje záření nastavujeme dle tabulky. Pro měření na vlnové délce 1300 nm použijeme fotodetektor č. 2 (PIN InGaAs).

Výsledky měření:

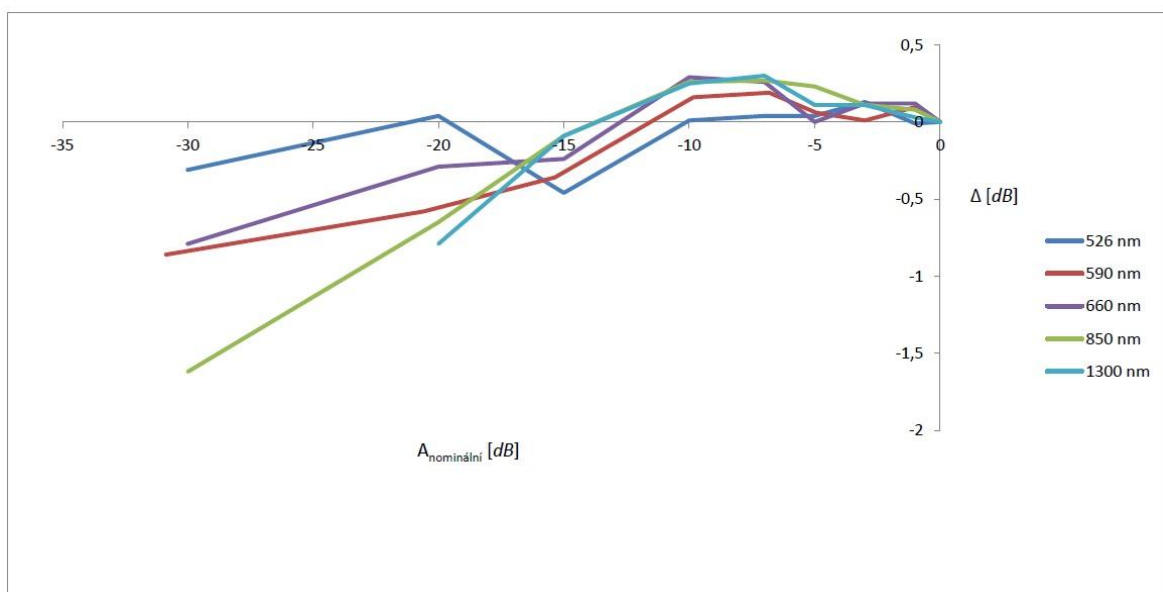
Tabulka 45: Spektrální závislost útlumu proměnného optického atenuátoru

λ [nm]	$A_{\text{nominální}}$ [dB]	0	-1	-3	-5	-7	-10	-15	-20	-30
526	$A_{\text{skutečný}}$ [dB]	0	-1,01	-2,87	-4,96	-6,96	-9,99	-15,46	-19,96	-30,31
	Δ [dB]	0	-0,01	0,13	0,04	0,04	0,01	-0,46	0,04	-0,31
590	$A_{\text{skutečný}}$ [dB]	0	-0,9	-2,99	-4,94	-6,81	-9,84	-15,36	-20,58	-30,86
	Δ [dB]	0	0,1	0,01	0,06	0,19	0,16	-0,36	-0,58	-0,86
660	$A_{\text{skutečný}}$ [dB]	0	-0,88	-2,88	-5	-6,74	-9,71	-15,24	-20,29	-30,79
	Δ [dB]	0	0,12	0,12	0	0,26	0,29	-0,24	-0,29	-0,79
850	$A_{\text{skutečný}}$ [dB]	0	-0,92	-2,89	-4,77	-6,73	-9,74	-15,09	-20,65	-31,62
	Δ [dB]	0	0,08	0,11	0,23	0,27	0,26	-0,09	-0,65	-1,62
1300	$A_{\text{skutečný}}$ [dB]	0	-0,97	-2,89	-4,89	-6,7	-9,75	-15,09	-20,79	-
	Δ [dB]	0	0,03	0,11	0,11	0,3	0,25	-0,09	-0,79	-

Poznámka:

Odchylka Δ [dB] = $A_{\text{skutečný}}$ [dB] - $A_{\text{nominální}}$ [dB]

Graf č. 35: Spektrální závislost útlumu proměnného optického atenuátoru



26. Porovnání šumových vlastností různých detektorů optického záření

Zadání:

Změřte a porovnejte šumové vlastnosti PIN a APD fotodiód.

Měření:

Úloha srovnává APD a PIN fotodetektory podle jejich šumových vlastností (SNR), pro korektní srovnávání obou detektorů je nutné zajistit stejný detekovaný výkon. Fotodetektory v měřící mají různou fotosenzitivní plochu (APD – průměr fotosenzitivní

plochy 0,1 mm a PIN - průměr fotosenzitivní plochy 1 mm), proto je nutné pomocí proměnného atenuátoru zajistit takové zmenšení přijímaného výkonu u PIN diody, aby bylo možno oba fotodetektory porovnat.

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojení osciloskopu a nastavení zesílení analogového kanálu na přijímači na maximum měříme nejprve signálové napětí na APD fotodetektoru, následně zaslepením vstupu fotodetektoru šumové napětí. Obdobně si počínáme i u měření PIN diody s tím rozdílem, že mezi vysílač a přijímač vložíme proměnný atenuátor, abychom snížili hodnotu optického výkonu na stejnou úroveň jako u APD fotodetektoru.

Výsledné hodnoty porovnáme.

Poznámky:

Výsledky měření:

$$U_{APD-signal} = 36 \text{ V}$$

$$U_{APD-noise} = 3,54 \text{ V}$$

$$SNR_{APD} = 20 \cdot \log \left(\frac{36}{3,54} \right) = \boxed{20,15 \text{ dB}}$$

$$U_{PIN-signal} = 524 \text{ mV}$$

$$U_{PIN-noise} = 172 \text{ mV}$$

$$SNR_{PIN} = 20 \cdot \log \left(\frac{524}{172} \right) = \boxed{9,7 \text{ dB}}$$

27. WDM: Multiplexování a demultiplexování

Zadání:

Demonstrujte vlnový multiplex a demultiplex. Změřte útlum nemultiplexních filtrů.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu pozorujeme na konci reflexní sondy optické záření. Jedná se o jednoduchou demonstraci multiplexování signálů. Po připojení ST konektorové spojky a propojovacího kabelu se obě vlnové délky „spojily“. Postupně pozorujeme vycházející optické záření z pevné optické rozbočnice i proměnné optické rozbočnice. Dalším bodem měření je demultiplexování

signálů. Kdy po nastavení a propojení všech příslušenství dle návodu měříme útlumy různých vlnových délek průchodem optických filtrů (650 nm a 850 nm). Výsledky porovnáme v tabulce.

Výsledky měření:

Tabulka 46: Hodnoty útlumu při různých filtrech optického záření

Filtr	A [dB]	
	měřeno na vln. délce 660 nm	měřeno na vln. délce 850 nm
650 nm	-5,85	-14,75
850 nm	-18,46	-0,12

28. WDM systém

Zadání:

Změřte výkon užitečného a infiltrovaného signálu WDM systému.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače, vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu měříme hodnoty přijatého optického výkonu s různými optickými filtry na různých vlnových délkách a to po průchodu dvěma optickými rozbočnicemi a ST konektorovou spojkou, vždy dle nastavení v návodu.

Poznámky:

Dělicí poměr optických rozbojnic není ideální 50 % na 50 %, mohou se naměřené výsledky pro jinou kombinaci zapojení portů lišit.

Výsledky měření:

Tabulka 47: Hodnoty naměřeného přijatého výkonu

Vlnová délka	660 nm	850 nm
$P_{\text{referenční}} [dBm]$	-9,33	-11,68
$P_{\text{užitečný signál}} [dBm]$	-23,57	-26,73
$A_{\text{užitečný signál}} [dB]$	-14,24	-15,05
$P_{\text{infiltrovaný signál}} [dBm]$	-36,58	-41,49
$A_{\text{infiltrovaný signál}} [dB]$	-27,25	-29,81

29. WDM přenos

Zadání:

Demonstrujte přenos dvou různých signálů pomocí WDM systému.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače, vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu demonstrujeme přenos dvou signálů (signál z externího mikrofónu a z interního generátoru signálů). Pomocí dvou pevných optických rozbočnic, kde se signál multiplexuje a následně pomocí různých optických filtrů na vstupu přijímače demultiplexuje posloucháme respektive pozorujeme na osciloskopu průběhy přijatých signálů.

Výsledky měření:

Úloha neobsahuje žádné tabulky ani grafy.

30. Transmisní senzor

Zadání:

Změřte závislost útlumu na velikosti zastínění optického svazku (senzor polohy v příčném směru).

Měření:

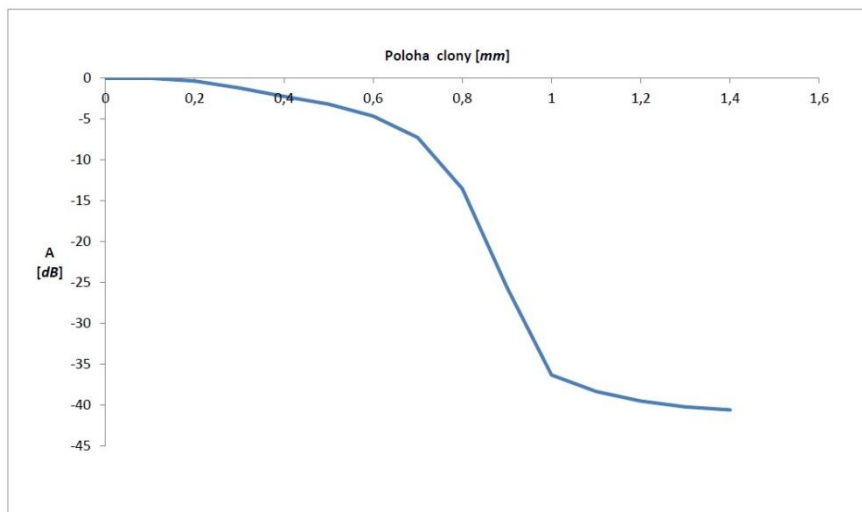
Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením manipulátoru s clonou a nastavením její polohy dle návodu postupujeme měřením útlumu v závislosti na poloze clony. Výsledky zobrazíme graficky a porovnáme v tabulce.

Výsledky měření:

Tabulka 48: Závislost útlumu na poloze clony

Poloha clony [mm]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
A [dB]	0	-0,02	-0,35	-1,2	-2,24	-3,19
Poloha clony [mm]	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
A [dB]	-4,66	-7,26	-13,53	-25,62	-36,32	-38,36
Poloha clony [mm]	1,2	1,3	1,4			
A [dB]	-39,52	-40,24	-40,6			

Graf č. 36: Závislost útlumu na poloze clony



31. Reflexní sonda

Zadání:

Demonstrujte použití optického vlákna (reflexní sondy) jako senzoru polohy v podélném směru.

Měření:

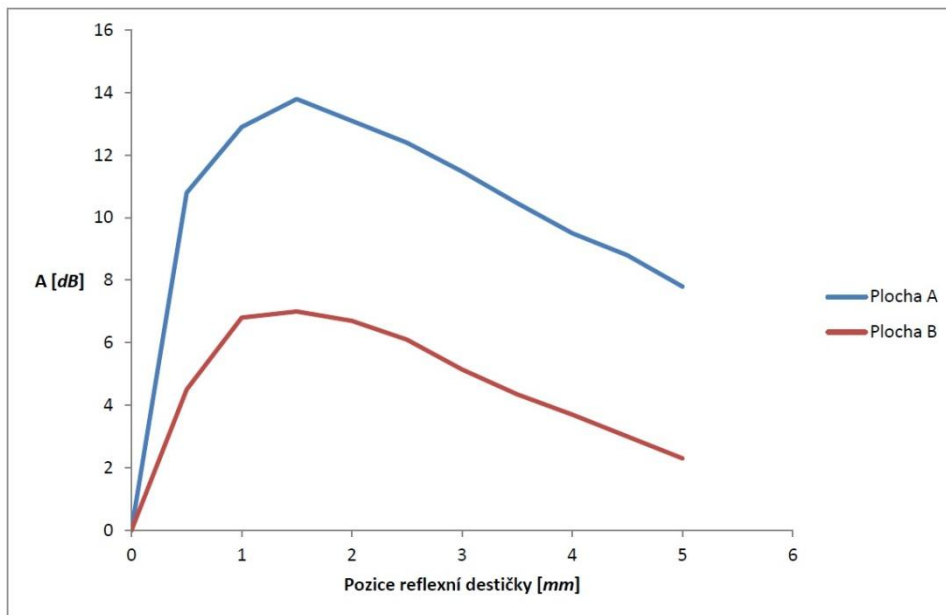
Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu, připojením manipulátoru s reflexní destičkou a nastavením její polohy dle návodu postupujeme v měření závislosti útlumu na pozici reflexní destičky. Teoreticky bychom měli naměřit sestupné hodnoty útlumu, měřením se ukázalo, že se odraz paprsků od nastavené referenční hodnoty zvyšoval (zisk z opt. záření) do cca 2 mm vzdálenosti, následně se s rostoucí vzdáleností zvyšoval útlum dle předpokladu. Výsledky zobrazíme graficky a porovnáme v tabulce.

Výsledky měření:

Tabulka 49: Závislost útlumu na pozici reflexní destičky

Pozice reflexní destičky [mm]		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
A [dB]	Plocha A (kov)	0	10,80	12,90	13,80	13,10	12,40	11,48	10,47	9,50	8,80	7,80
	Plocha B (plast)	0	4,50	6,80	7,00	6,70	6,10	5,14	4,35	3,70	3,00	2,30

Graf č. 37: Závislost útlumu na pozici reflexní destičky



32. Senzor hladiny kapaliny

Zadání:

Změřte vliv indexu lomu okolního prostředí v místě ohybu optického vlákna na jeho útlum.

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu pokračujeme nastavením referenční hodnoty přijatého výkonu po průchodu optického svazku tzv. U-sondou. Následně měříme útlumy optického záření po ponoření U-sondy do různých kapalin. Výsledky porovnáme v tabulce.

Výsledky měření:

Tabulka 50: Závislost útlumu na indexu lomu prostředí

Prostředí	n	A [dB]
Vzduch	1	0
Voda	1,33	-1,91
Láh	1,36	-3,38

33. Transmisní senzor přítomnosti kapaliny

Zadání:

Změřte útlum způsobený průchodem optického záření různými kapalinami (různé indexy lomu).

Měření:

Po propojení výstupů vysílače a vstupů přijímače, nastavení hodnot proudu optického zdroje dle návodu pokračujeme nastavením referenční hodnoty přijatého výkonu po průchodu optického svazku prázdnou kyvetou (průhledná nádoba na kapaliny) připevněnou k manipulátoru. Následně měříme útlumy (zisky) optického záření průchodem přes různé kapaliny. Výsledky porovnáme v tabulce.

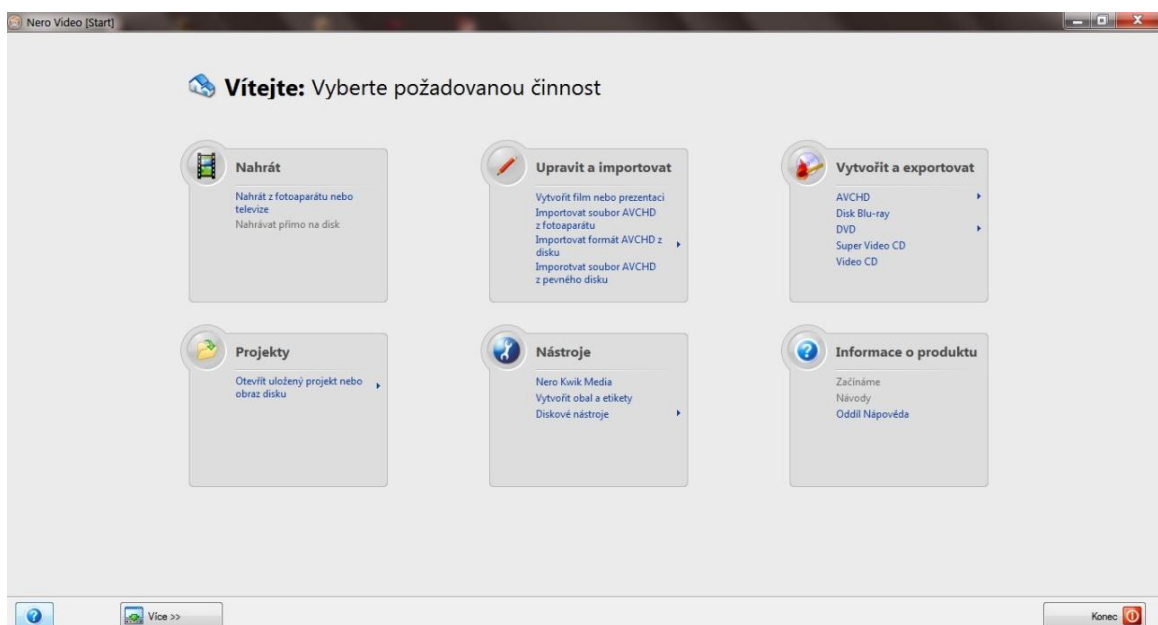
Výsledky měření:

Tabulka 51: Závislost útlumu na průchodu prostředím

Prostředí	n	A [dB]
Vzduch	1	0
Voda	1,33	1,98
Líh	1,36	2,51

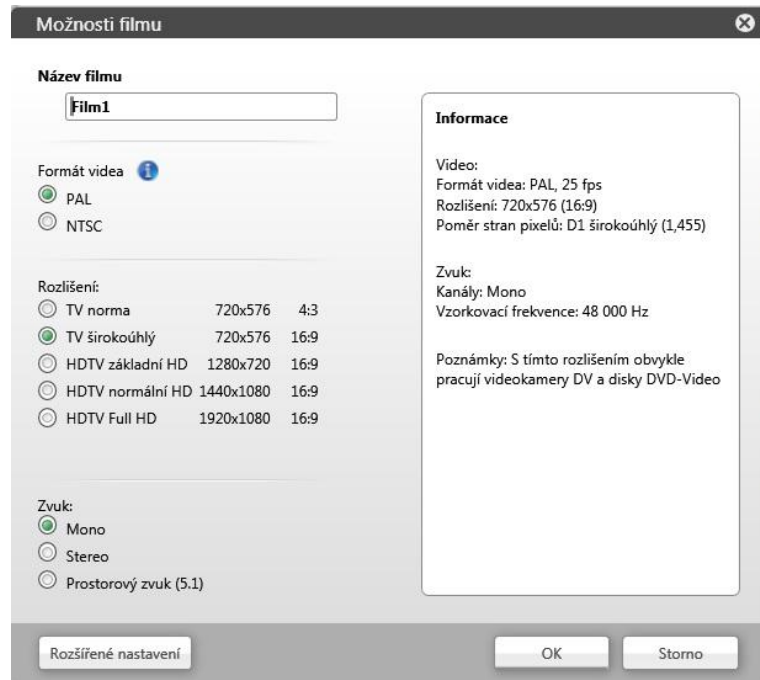
4.3.4 Spuštění a editace videí v Nero

Po spuštění programu *Nero Video* následuje úvodní obrazovka s volbou konkrétní činnosti.



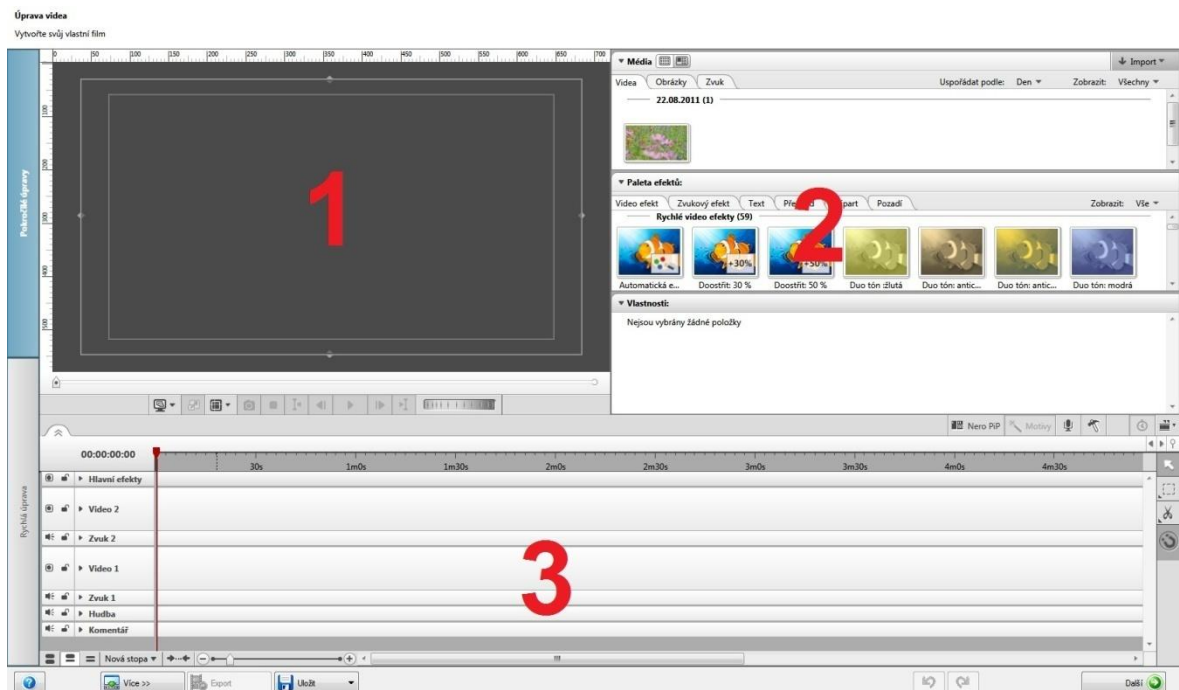
Obr. 28: Úvodní obrazovka Nero Video

Výběrem *Vytvořit film nebo prezentaci* se přepneme editační části programu, ve které můžeme vkládat videa, obrázky, titulky a jiné. Ještě před tímto krokem máme možnost nastavení formátu videa, rozlišení a nastavení zvuku.



Obr. 29: Možnosti filmu v programu Nero Video.

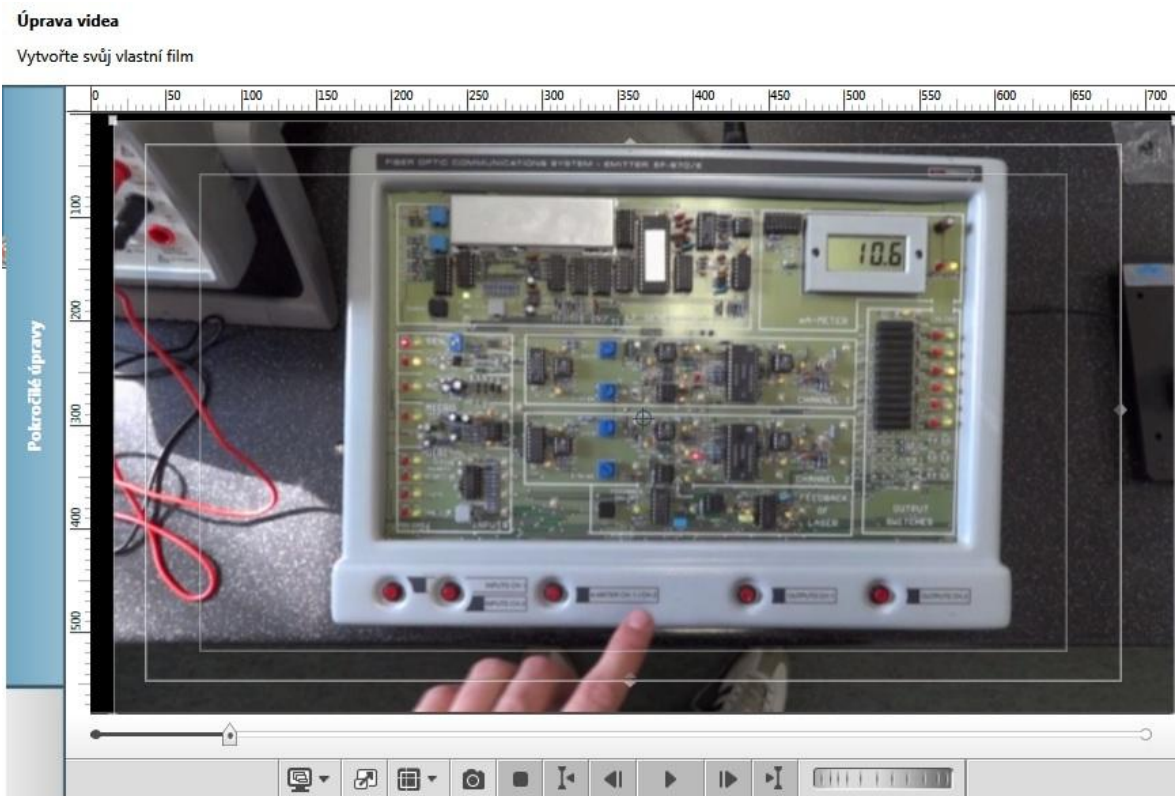
Hodnoty zvolené na Obr. 29 odpovídají nastavení mého projektu. Nyní se přepneme do editační části programu. V levé části máme na výběr *Rychlé úpravy* (méně nastavení a možnosti efektů a jiné) a *Pokročilé úpravy* (plnohodnotné úpravy, vkládání více stop, efekty a jiné).



Obr. 30: Úprava videa v Nero video.

Pracovní plocha (Obr. 30) je rozdělena do tří hlavních částí.

1. Zobrazovací část – Dle nastaveného kurzoru časové osy vykreslí konečný obraz.
2. Média – Vkládání a úpravy videí, obrázků, zvuku.
3. Časová osa s jednotlivými stopami (video, zvuk, hudba) – Zapnutí/vypnutí konkrétních stop, posun po časové ose, výběr stop a následné úpravy (stříh, vymazání, a jiné).

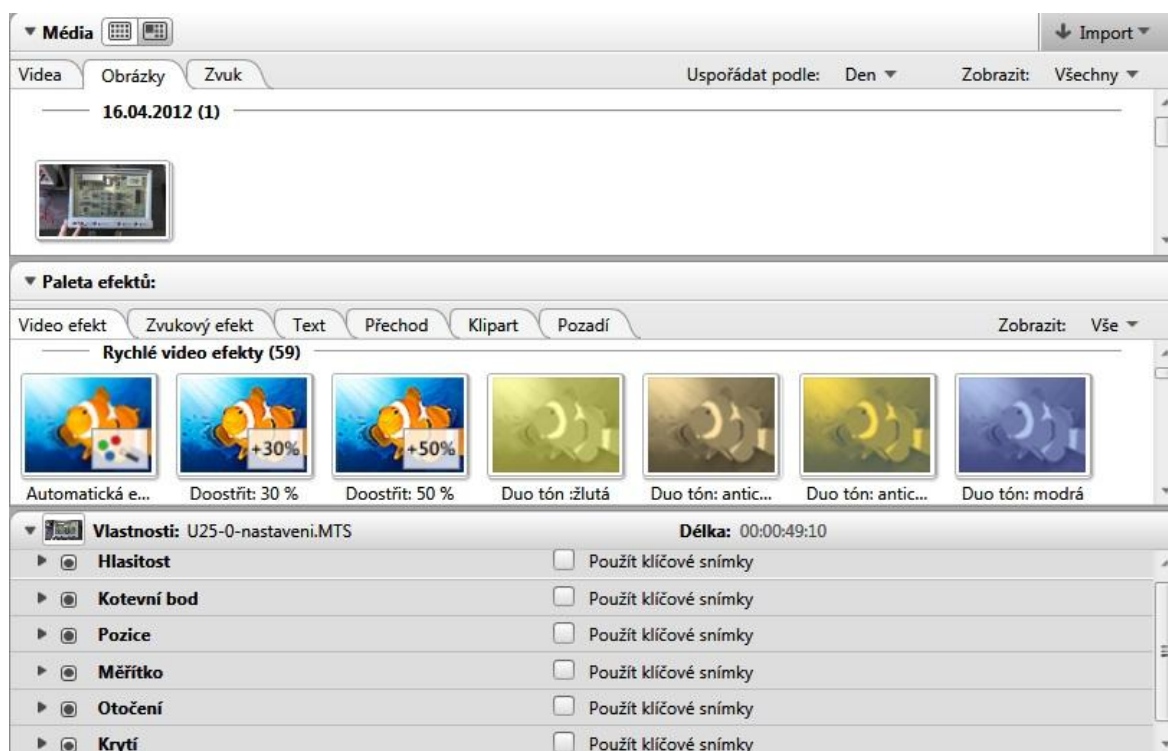


Obr. 31: Zobrazovací část pracovní plochy programu Nero 11.

V zobrazovací části (Obr. 31) máme na výběr:

- Kvalita zobrazení (nízká, střední, vysoká).
- Přepnutí do režimu „Celá obrazovka“.
- Volby zobrazení (pravítko, vodítko, bezpečná oblast, přichytit k vodítkům, přichytit k objektu).
- „Momentka“ – Vytvoří fotografii aktuální vyobrazené části.
- Možnosti přehrávání:
 - Stop
 - Přejít na předchozí úpravu (myšleno stopu)
 - Přejít na předchozí snímek
 - Přehrát
 - Přejít na následující snímek

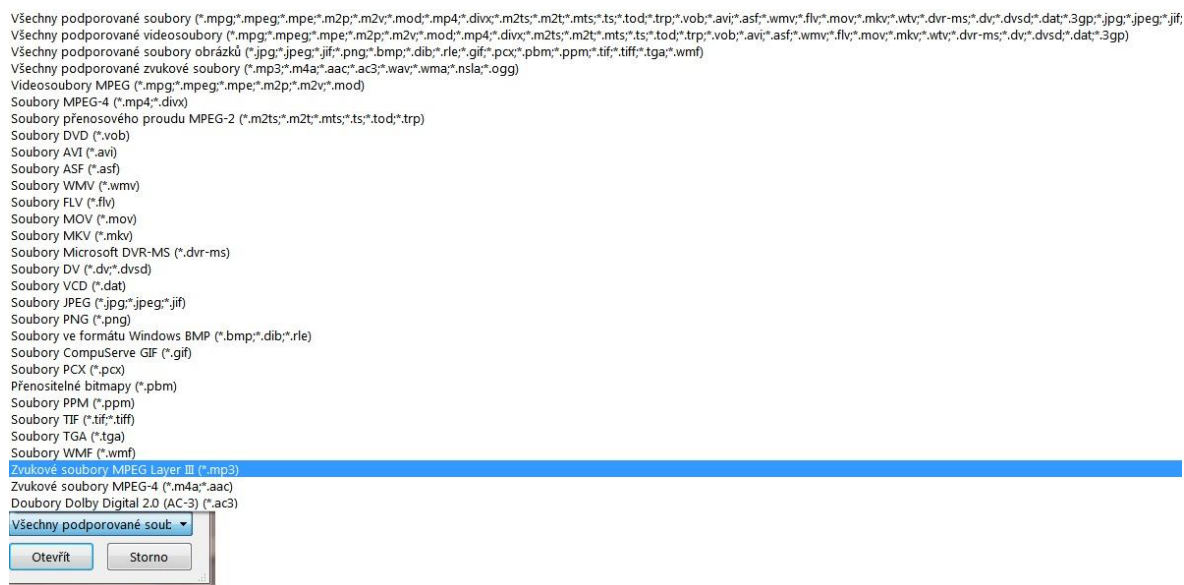
- Přejít na následující úpravu (myšleno stopu)
- Krokovač



Obr. 32: Část pro vkládání a nastavení médií pracovní plochy programu Nero 11.

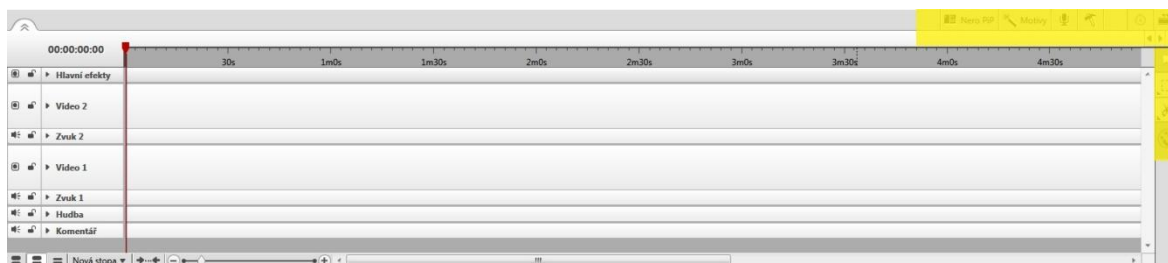
V části média můžeme importovat obrázky, videa, zvuky různých formátů tlačítkem *Import*. Podporované formáty jsou téměř všechny obrázkové, zvukové a filmové objekty (Obr. 33). Následně na *Paletě efektů* doladit požadovaný efekt a úpravou *Vlastností* (hlasitost, kotevní bod, pozice, měřítko, otočení, krytí) upravit vkládaný objekt.

Následně „*přetáhnutím*“ objektu do prostoru časové osy a zvolené části stopy vložit objekt.



Obr. 33: Ukázka podporovaných formátů.

V části časové osy (Obr. 34) se můžeme přesouvat do jakékoliv části projektu a tu následně zobrazit. V levé části měnit názvy stop, přidávat stopy, skrýt stopy, zamknout stopy. Možnosti zobrazení časové osy, zobrazení všech objektů v časové ose. Objekty umístěné v časové ose můžeme libovolně přesouvat. Objekty umístěné výše, mají vyšší prioritu zobrazení a překryjí objekty níže vložených (pokud je u nich neupravíme překrytí).

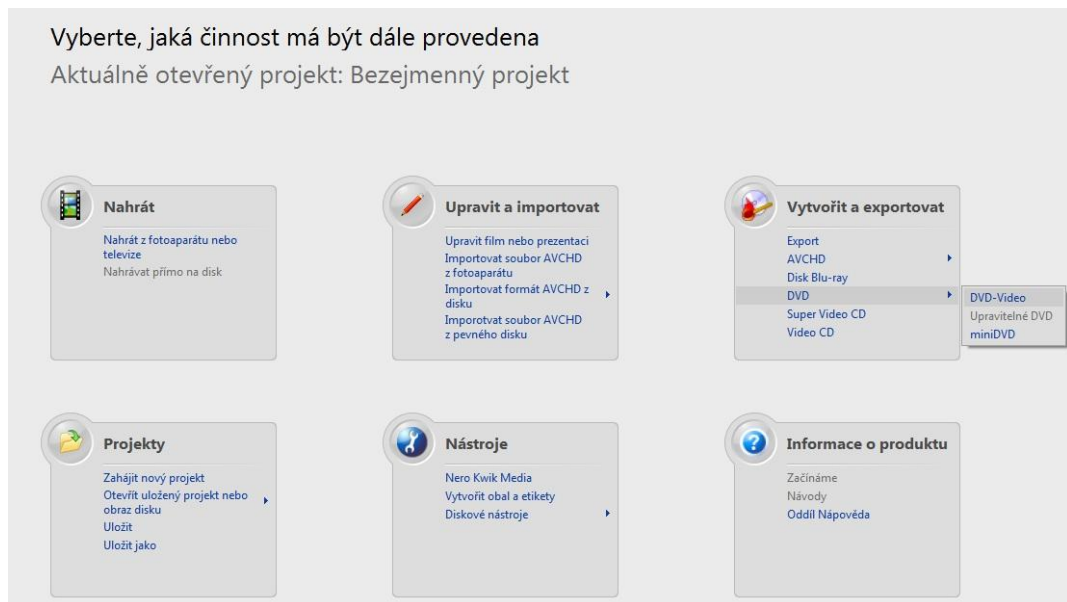


Obr. 34: Časová osa pracovní plochy programu Nero 11.

V pravé části se nachází (na Obr. 34 žlutě zvýrazněno - se nachází doplňující nastavení. Prvním z nich je *Nero PiP* (Picture in Picture) – šablony *Nera PiP. Motivy* – možnost zvolit si předefinovaný motiv úvodního a závěrečného videa se závěrečnými titulky. *Nahrát zvuk* – umožňuje nám nahrát si vlastní komentář. *Možnosti filmu* – formát videa, úpravy rozlišení a zvuku (stejná nabídka jako při startu editace v *Nero video* Obr. 29). *Délka* – výběrem objektu a stiskem tohoto tlačítka upravujeme časovou délku. *Detekce filmu* – vyhledá v projektu zvolené videosekvence. *Značka kapitoly* – vloží do časové ose kapitolu (rozdělením filmu či prezentace na kapitoly zpřehledníme a zjednodušíme práci s vyhledáváním). *Šipka (standardní nástroj)* – slouží pro výběr objektů v projektu.

Obdélníková hranice označení – výběr více objektů.

Po uložení projektu v námi zadané cílové složce můžeme vytvořit DVD-video. A to zvolením položky *DVD – DVD-video* na paletě *Vyvořit a exportovat* (Obr. 35) na úvodní obrazovce.



Obr. 35: Výběr cílového formátu na úvodní obrazovce.



Obr. 36: Vytvoření a uspořádání titulů projektu.

Obsah DVD může obsahovat řadu takových titulů, které jsme vytvořili v minulém kroku, nyní je máme možnost přidávat, upravovat a mazat (Obr. 36). Klepnutím na tlačítko *Další*

se přepneme do *Přizpůsobení nabídky disku* () – zde máme možnost zvolit si některou z předdefinovaných šablon či zvolit *Pokročilé úpravy* a všechna nastavení provést podle sebe. Zde můžeme upravovat nabídku *Menu kapitol*. Celé ovládání je intuitivní a jednoduché. Já jsem si zvolil vlastní pozadí (detail měřicí soustavy Promax EF-970), hodnoty časových prodlev dle vlastního uvážení.



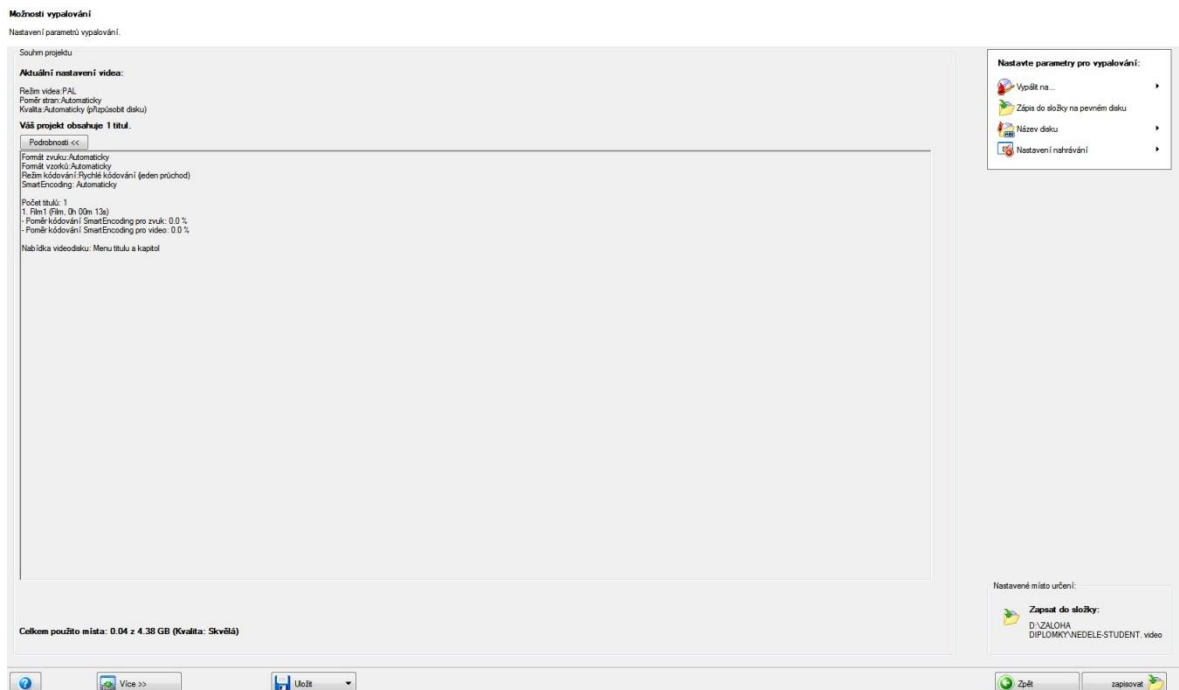
Obr. 37: Tvorba úvodního menu a kapitol.

Klepnutím na tlačítko *Další* se dostaneme do *Náhledu*, kde se můžeme shlédnout celý projekt s možností vyzkoušení ovládání a výběru kapitol (Obr. 38).



Obr. 38: Náhled výsledného projektu před vypalování.

Posledním krokem jsou *nastavení parametrů před vypalováním*. DVD-video můžeme pomocí vypalovací mechaniky uložit na zapisovatelný disk DVD. Uložit do složky na pevném disku. Můžeme změnit název DVD disku či si zvolit rychlost zapisování na disk (Obr. 39).



Obr. 39: Nastavení parametrů vypalování.

Celý postup jsem zopakoval i pro studentský videomanuál, jenž neobsahuje výsledky, ale jen prázdné tabulky (se značkami a jednotkami) a grafy (s popisky os a jednotkami).

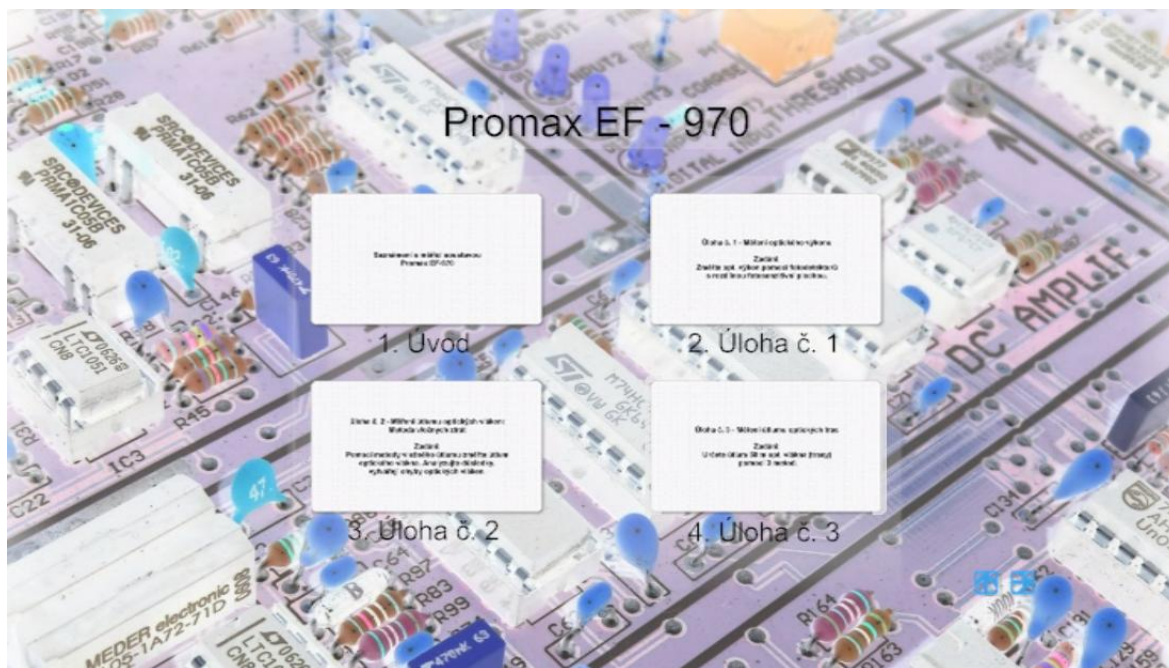
4.4 Spuštění a ovládání DVD

Po vložení disku do mechaniky se automaticky začne přehrávat v předdefinovaném přehrávači. Úvodní obrazovka je na Obr. 40. Obsahuje jméno autora a náhled začátku prvního videa. Po kliknutí na video se dostaneme do menu výběru kapitol.



Obr. 40: Úvodní obrazovka Učitel'ského videmanuálu.

Menu výběru kapitoly (Obr. 41) obsahuje název měřicí soustavy, výběr konkrétní úlohy (kapitoly). Výběr dané úlohy se zvýrazní a následně spustí. V pravém dolním rohu jsou umístěny navigační tlačítka, která umožňují přepnutí na další stránku a výběru jiných měřících úloh.



Obr. 41: Menu kapitol.

Po skončení přehrávání vybrané měřicí úlohy se automaticky začne přehrávat následující měřicí úloha, pokud se nepřepneme do menu výběru kapitol. Přehrávání je možné kdykoliv pozastavit a pečlivě si pročit poznámky k měření.

4.4.1 Charakteristika přehrávaných úloh

Měřené úlohy jsou zpracovávány v následujícím sledu:

- Úvodní obrazovka s názvem úlohy a zadáním.
- Vypsání potřebných měřících přístrojů a příslušenství.
- Pokud úloha obsahuje příslušenství, které se ještě v předchozích úlohách neobjevilo, je znázorněno graficky.
- Nastavení hodnot na vysílači a přijímači (vypsáním konkrétních úkonů na obrazovku).
- Přehrávání videa s nastavením jednotlivých parametrů měření.
- Postup pro měření se zobrazením tabulky pro zapsání měřených hodnot.
- Zobrazení výsledků:
 - Učitelův videomanuál - tabulky a grafy s naměřenými hodnotami.
 - Studentův videomanuál - prázdné tabulky a grafy s fyzikálními značkami a jednotkami, resp. popisky os.
- Poznámky k měření.

4.5 Závěr

Konečným krokem bylo natočení řady videí, demonstrující postup měření včetně zobrazení výsledků daných měření. Následně vybrat vhodný software, samotná práce v něm a uložení na DVD nosič. Při výběru programu, ve kterém budu videa zpracovávat jsem vlastním uvážením zvolil Nero 11, jenž splňoval mé očekávání. Práce s takovým množstvím dat plně zaměstnávala procesor počítače a zpomalovala celý průběh editace. Nejtěžším krokem byla nejspíš forma, jak danou úlohu uživateli interpretovat pomocí videa, aby byla zcela zřetelně pochopitelná a krok po kroku jasná. Dbal jsem na i na detaily v podobě poznámek, tak aby následné měření probíhalo bez kolizí. V učitelské verzi videomanuálu jsou zobrazeny výsledky, stejně jako v příloze diplomové práce.

ZÁVĚR

Komunikační technologie znamenají v dnešním světě prim a každodenní život bez nich si ani nemůžeme představit. Od vyřizování každodenních telefonních hovorů, připojení k Internetu, v bezpečnostních technologiích, kde jakožto nejrychlejší médium pro přenos informací nesou cenné informace do střežících center, až po přenos gigabajtů informací denně transatlantickým kabelem. V budoucnu se dá očekávat větší expanze optické komunikace k běžným uživatelům – lidem a tak bude této technologie využito více než je tomu doposud (např. páteří Internetové spoje jsou zabezpečovány právě optickými kabelem). Požadavky na kapacitu přenosu informací k firmám i domácnostem každoročně rapidně rostou, uvědomujeme si to i podle rychlosti připojení osobních počítačů k Internetu, kde nás dodavatelé lákají každoročně na rychlejší připojení. I pro tyto argumenty jsem si zvolil právě toto téma jako svou diplomovou práci.

V teoretické části jsem uvedl historii, kdy se od počátečních neúspěchů tažení vlákna z preforem začaly psát i optimističtější vývojové trendy průmyslové výroby. Uvedením základních vztahů pro výpočty, jsem si ujasnil zákonitosti v této tematice a najdou také praktické využití při měření v laboratořích. Cíl vývojářů byl jasný – nejmenší ztráty v přenosu. Kolem útlumu v optických vláknech se děje veškeré snažení vědeckých týmů. Jen nízký útlum nám umožní dálkový přenos informací bez jejich deformace či ztráty. V ideálním případě by měl dosahovat nulových hodnot, ale nejsme schopni vyvinout takové podmínky.

Praktická část se zaměřuje na proměření cvičných úloh dodaných od výrobce měřicí soustavy. Samotné úlohy byly psané v angličtině a pokud jsem se u některého ze cvičení narazil na menší problém, pomohl mi anglický manuál, který je přiložen. Měřené úlohy vyžadují jistou míru zkušenosti s měřicími přístroji jako je generátor signálů, osciloskop či digitální multimetr. Časově náročnější byla video-dokumentace měřených úloh. U některých úloh jsem musel po následném shlédnutí a kontrole všech detailů měření provést dvakrát, aby bylo vše provedeno bez chyb. První úlohy jsou spíše na seznámení s ovládáním samotné měřicí soustavy EF-970. V Dalších se již podrobněji proměřují převodní W/A charakteristiky zdrojů optického záření, vlivy makroohybů či mikroohybů na útlum apod. Po naměření všech úloh jsem získal větší přehled o přenosu signálu pomocí optického záření a ujasnil si teoretické znalosti. Výsledkem je videomanuál, který obsahuje naměřené úlohy buďto s výsledky (Učitelství videomanuál) nebo jen s prázdnými tabulkami a grafy s uvedenými fyzikálními veličinami a jednotkami, respektive popisky os.

Po spuštění DVD disku má uživatel možnost volby konkrétní úlohy v menu a nemusí tedy „pátrat“ na časové ose přehrávače a obtížně dohledávat cílené úlohy. Poznámky a jednotlivá nastavení k měřeným úlohám jsem volil formou titulků přes celou obrazovku, tak aby je bylo možné přehrát ve školní studovně na PC bez připojených reproduktorů a i za účelem možnosti „stopnutí“ přehrávání během spuštěné úlohy zapsání si vlastních poznámek. Na konci diplomové práce (Úlohy k proměření s uvedenými orientačními výsledky) jsem doložil výsledky naměřených úloh, se zadáním a stručným popisem měřené úlohy.

Komunikační měřicí soustava od firmy Promax uživatele zasvětil do vláknové optiky, poskytne mu odpovědi a utvrdí jeho teoretické znalosti o přenosu informací v optickém vlákně. Procvičí si dle daných úloh problematiku, se kterou se denně setkávají technici pracující v tomto oboru a mají možnost vlastní simulace měření optických tras.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In a world of information technology is communications very appreciate. Everyday we making calls, web browsing, downloading secret data to security centres, gigabytes of information are transmitted by the transatlantic cable. We expect expanding optical communications to common users in the future. Every year the download speed of Internet connections is grown up by Internet providers. Because requirements of transmission capacity grow up too. There were the reasons why I select this thesis.

The theoretical part includes History of optical communications, beginning of the industrial production and other. Basic equations for computing for practical use in laboratories. Main idea is the lowest attenuation of optical fibres. About the attenuation of optical fibres are almost every measuring.

The practical part includes measuring procedure with results which are given like insertion in the end of this document. When I had a little problem with measuring, I resolve him by including user's manual. In the first Practices, the user begins for understanding how they can take place the communications by means of the light and how an optical fibre can substitute a wire cable, and in last Practices he ends up by operating with probes and advanced communications systems. I tried my best to create Multimedia Guide to Tasks in the Lab – Promax EF-970 Communication System. The Multimedia Guide is stored on DVD disc by Nero 11 (Shareware version). Second version of its includes only empty tables and graphs with physical units (Students version).

The promax EF-970 trainer is an innovative educational instrument for learning about, demonstrating and experimenting with optical communications systems, light-related phenomena and the principles of fibre optic transmissions, as well as the latest trends in the field.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PETERKA, Pavel a Vlastimil MATĚJEC. *Optická vlákna se dočkala Nobelovy ceny za fyziku*. In: [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: http://www.ufe.cz/docs/articles/peterka_matejec_nobelova_cena_vlakna.pdf
- [2] LEOŠ, Maršálek. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta elektrotechniky a informatiky. *Optická vlákna* [online]. verze 2.1.3. 2006 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>
- [3] SHARMA, K. *Optics: principles and applications*. Boston: Academic Press, c2006, 638 s. ISBN 01-237-0611-4.
- [4] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky: principles and applications*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 154 s. ISBN 80-730-0184-5.
- [5] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [6] PROMAX. *FIBRE OPTIC COMMUNICATIONS TRAINING SYSTEM USER'S MANUAL: EF-970B-E*. Hertfordshire, UK, 2002.
- [7] PROMAX. *FIBRE OPTIC COMMUNICATIONS TRAINING SYSTEM TRAINING MANUAL: EF-970B-E*. Hertfordshire, UK, 2002.
- [8] NERO INC. *Reviewer's Guide NERO 11* [online]. 2011 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: http://nmf.nero.com/branding/Nero_11_Reviewers_Guide_ENG.pdf
- [9] GHATAK, A a K THYAGARAJAN. *An introduction to fiber optics: principles and applications*. New York: Cambridge University Press, 1998, 565 s. ISBN 05-215-7785-3.
- [10] *Měření optických vláken* [online]. Ostrava, 3.3.2010 [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: http://kat440.vsb.cz/download/predmety/oe/OE2_Mereni%20opticky%20vlak en.pdf. Přednáška. VŠB-TU.
- [11] MIKROKOM s.r.o. *VÝUKOVÉ SOUBORY EF-970: OPTICKÉ KOMUNIKACE A VLÁKNOVÁ OPTIKA* [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: http://www.mikrokom.eu/cz/pdf/vyukove_soubory/EF_970_cesky.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

APD	Avalanche Photo-Diode – lavinová fotodioda.
AV ČR	Akademie věd České republiky.
CD	Compact Disk.
CESNET	Zájmové sdružení právnických osob.
CSF	Compagnie générale de télégraphie Sans Fil.
DVD	Digital Video Disc.
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifiers.
GI	Gradientní optické vlákno.
HDPE	Hight Density PolyEtylen.
LD	Laser Diode.
LED	Light-Emitting Diode.
MCVD	Modified Chemical Vapour Deposition.
MM	Multimode.
MPEG	Motion Picture Experts Group.
PAL	Phase Alternating Line.
PIN	Speciální dioda, která obsahuje uprostřed intrinsickou vrstvu.
PN	Oblast na rozhraní příměsového polovodiče typu P a polovodiče typu N.
PVC	Polyvinylchlorid.
STL	Standard Telecommunications Laboratory.
TAT	Transatlantic.
ÚFE	Ústavu fotoniky a elektroniky.
UV	UltraViolet.
VHS	Video Home Systém.
vob	Video Objects.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Charles Kuen Kao při práci v optické laboratoři v 60. letech 20. století.	14
Obr. 2: Struktura optického vlákna (vlevo). Optické vlákno, které je jednomódové na vlnových délkách 1300 nm i 1550 nm, má typicky průměr jádra 8 μm a průměr křemenného pláště 125 μm. Křemenné vlákno je ještě pokrýváno polymerní ochrannou vrstvou a má celkový průměr 0,25 mm. Spektrální závislost útlumu optického vlákna z křemenného skla (vpravo).	15
Obr. 3: Znázornění elektromagnetického spektra.....	19
Obr. 4: Optický kabel.....	21
Obr. 5: Znázornění časové periody signálu.	22
Obr. 6: Znázornění numerické apertury.....	24
Obr. 7: Optické vlákno se skokovým indexem lomu.....	25
Obr. 8: Gradientní optické vlákno.	26
Obr. 9: Jednomódové optické vlákno.	26
Obr. 10: Rayleigho rozptyl a IR/UV absorpce	32
Obr. 11: Závislost útlumu OH iontu na vlnové délce.	33
Obr. 12: Celková závislost útlumu na vlnové délce.	34
Obr. 13: Závislost chromatické disperze na vlnové délce.	36
Obr. 14: Kódy NRZ a RZ	38
Obr. 15: Rozdíl mezi šířkou elektrického a optického pásma.	38
Obr. 16: Základní problémy při spojování vláken.....	45
Obr. 17: Geometrické nepřizpůsobení spoje.....	47
Obr. 18: Příslušenství pro měřicí soustavu EF-970 BASIC	56
Obr. 19: Multifunkční vysílač EF-970/E.	57
Obr. 20: Multifunkční přijímač EF-970/R.....	57
Obr. 21: Vstupy multifunkčního vysílače.....	58
Obr. 22: Výstupy multifunkčního vysílače.....	59
Obr. 23: Vstupy multifunkčního přijímače.....	60
Obr. 24: Výstupy multifunkčního přijímače.....	60
Obr. 25: Soubor EF-970-01 PLASTIC.....	61
Obr. 26: Transmitter module EF-970/E – přední strana.	64
Obr. 27: Receiver module EF-970/R – přední strana.	65
Obr. 28: Úvodní obrazovka Nero Video.....	109

Obr. 29: Možnosti filmu v programu Nero Video.	110
Obr. 30: Úprava videa v Nero video.	110
Obr. 31: Zobrazovací část pracovní plochy programu Nero 11.	111
Obr. 32: Část pro vkládání a nastavení médií pracovní plochy programu Nero 11.	112
Obr. 33: Ukázka podporovaných formátů.	113
Obr. 34: Časová osa pracovní plochy programu Nero 11.	113
Obr. 35: Výběr cílového formátu na úvodní obrazovce.	114
Obr. 36: Vytvoření a uspořádání titulů projektu.	114
Obr. 37: Tvorba úvodního menu a kapitol.	115
Obr. 38: Náhled výsledného projektu před vypalování.	116
Obr. 39: Nastavení parametrů vypalování.	116
Obr. 40: Úvodní obrazovka Učitelského videmanuálu.	117
Obr. 41: Menu kapitol.	118

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vývoj transatlantických kabelů TAT.	18
Tab. 2: Index lomu světla vybraných materiálů.	22
Tab. 3: Příklady infračervené absorpce.	31
Tab. 4: Vlnová délka maxima absorpce a útlum v $dB \cdot km^{-1}$	33

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Výpočet indexu lomu světla.	22
Rovnice 2: Výpočet časové periody signálu.	22
Rovnice 3: Výpočet vlnové délky.	23
Rovnice 4: Fermatův přístup.	23
Rovnice 5: Výpočet numerické apertury.	24
Rovnice 6: Výpočet normalizované frekvence.	24
Rovnice 7: Výpočet ztráty optického vlákna.	27
Rovnice 8: Výpočet útlumu.	27
Rovnice 9: Výpočet měrného útlumu.	27
Rovnice 10: Výpočet výkonu na výstupu.	28
Rovnice 11: Výpočet koeficientu ohybových ztrát.	28
Rovnice 12: Výpočet kritického poloměru u MM.	29
Rovnice 13: Výpočet kritického poloměru u SM.	29
Rovnice 14: Výpočet Rayleigho rozptylového koeficientu.	30
Rovnice 15: Výpočet propustnosti Rayleigho rozptylu.	30
Rovnice 16: Výpočet doby šíření osového a mezního módu.	35
Rovnice 17: Výpočet doby rozšíření pulzu.	35
Rovnice 18: Výpočet doby šíření pulzu.	35
Rovnice 19: Výpočet chromatické disperze.	36
Rovnice 20: Výpočet celkové disperze.	Chyba! Záložka není definována.
Rovnice 21: Výpočet šířky pásma.	38
Rovnice 22: Výpočet přenosové rychlosti.	39
Rovnice 23: Výpočet přenosové rychlosti v jednovidových vláknech.	39
Rovnice 24: Výpočet přenosové rychlosti v gradientních vláknech.	39
Rovnice 25: Výpočet rychlosti komunikace při chromatické disperzi.	40
Rovnice 26: Výpočet celkové rychlosti komunikace.	40
Rovnice 27: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými poloměry.	45
Rovnice 28: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými NA.	46
Rovnice 29: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken s různými módovými poli.	46
Rovnice 30: Výpočet útlumu jádra při spojování vláken – Fresnelovy odrazy.	46
Rovnice 31: Výpočet útlumu jádra při radiálním posuvu pro MM a GI vlákna.	47
Rovnice 32: Výpočet útlumu jádra při radiálním posuvu pro SI vlákna.	48

Rovnice 33: Výpočet útlumu jádra při úhlovém posuvu pro MM vlákna a GI vlákna.	48
Rovnice 34: Výpočet útlumu jádra při úhlovém posuvu pro SM vlákna.	48
Rovnice 35: Výpočet útlumu jádra při axiálním posuvu pro MM a GI vlákna.	49
Rovnice 36: Výpočet útlumu jádra při axiálním posuvu pro SM vlákna.	49
Rovnice 37: Výpočet Fresnelových odrazů ve vlákně.....	49
Rovnice 38: Výpočet útlumu pro ztráty odrazem.	50
Rovnice 39: Výpočet vložného útlumu se vzduchovou mezerou.	50

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI: DVD – UČITELSKÝ VIDEOMANUÁL K MĚŘÍCÍ SOUSTAVĚ
PROMAX EF-970

PŘÍLOHA PII: DVD – STUDENTSKÝ VIDEOMANUÁL K MĚŘÍCÍ SOUSTAVĚ
PROMAX EF-970

**PŘÍLOHA PI: DVD – UČITELSKÝ VIDEOMANUÁL K MĚŘÍCÍ
SOUSTAVĚ PROMAX EF-970**

**PŘÍLOHA PII: DVD – STUDENTSKÝ VIDEOMANUÁL K MĚŘÍCÍ
SOUSTAVĚ PROMAX EF-970**