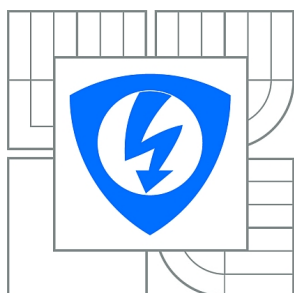


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

POUŽITÍ OPTICKÝCH VLÁKEN V PROSTŘEDÍ S NEBEZPEČÍM VÝBUCHU

THE USE OF OPTICAL FIBERS IN POTENTIALLY EXPLOSIVE ATMOSPHERES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

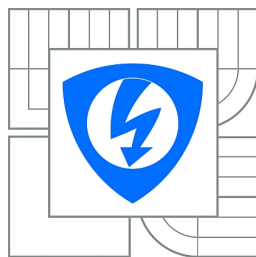
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MAFKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Mafka

ID: 154795

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Použití optických vláken v prostředí s nebezpečím výbuchu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na možnosti využití optických vláken v prostředí s nebezpečím výbuchu. Stanovte optický výkon při případném poškození kabelu v jeho libovolném místě a vyhodnoťte možnosti zapálení výbušné směsi plynu. Proveďte měření s určenými komponenty. Věnujte se též umístění optických konektorů a jiných pasivních prvků v tomto prostředí. Stanovte podmínky, za kterých lze optické prvky bezpečně použít v prostředích EX zóny 0, 1 a 2.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Dostálík, M.: Elektrická zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu, FCC PS Brno, Automa 1/2001.
- [2] Norma ČSN EN 60079-28 Výbušné atmosféry - Část 28: Ochrana zařízení a přenosových systémů používajících optické záření, Česká státní norma, 10/2007
- [3] Agrawal, G. P. Fiber-Optic Communication Systems, ISBN 0-471-21571-b John Wiley & Sons, 2005.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 2.6.2015

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo ukázat problematiku použití optických sítí ve výbušném prostředí. Práce je rozdělena do několika základních tematických oblastí, ve kterých si popíšeme dělení prostředí podle hrozby nebezpečí, typy ochran optických systémů, typy zkoušení a ověřování optických systémů a hodnocení nebezpečí vznícení. V praktické části práce je popsána metoda a postup, kterým byly změřeny optické zdroje. Pro jednotlivá měření jsou zpracovány výsledky, které jsou následně vyhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

ochrana, optické vlákno, optický výkon, výbušné prostředí, záření

ABSTRACT

The main object of this bachelor's thesis was to deal with deployment of optical networks in explosive areas. Thesis is divided into several topics, in which we describe different environments based on environmental threat hazards, types of protection optical systems, types of testing and verification of optical systems and ignition hazard assessment. The practical part describes particular method and procedure used during measuring optical results. The conclusion takes into account each measurement and its particular result as well.

KEYWORDS

protection, optical fiber, optical power, explosive area, radiation

MAFKA, Martin *Použití optických vláken v prostředí s nebezpečím výbuchu*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2015. 48 s. Vedoucí práce byl prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Použití optických vláken v prostředí s nebezpečím výbuchu“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. a hlavně konzultantovi panu Ing. Martinovi Kyselákovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

1	Úvod	11
2	Hodnocení rizik zahrnující „úrovně ochrany zařízení“ pro EX zařízení	12
2.1	Úvod	12
2.2	Historie	12
2.3	Všeobecně	12
2.3.1	Uhelné doly	13
2.3.2	Plyny	13
2.3.3	Prachy	13
2.4	Dovolené riziko ochrany proti vznícení	15
3	Druhy ochran	16
3.1	Úvod	16
3.2	Optické vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní „op is“	16
3.2.1	Popis systému	16
3.2.2	Vyzařování s trvalou vlnou	16
3.2.3	Pulsní vyzařování	17
3.2.4	Zařízení s bezpečnou úrovní optického vyzařování	17
3.3	Chráněné optické záření „op pr“	18
3.3.1	Popis systému	18
3.3.2	Vyzařování uvnitř optického vlákna	18
3.3.3	Vyzařování uvnitř závěru	18
3.4	Optický systém s blokováním „op sh“	19
3.4.1	Popis systému	19
3.5	Přehled druhů ochran	19
4	Typy zkoušení a ověřování optických systémů	20
4.1	Úvod	20
4.2	Sestava pro zkoušky zápalnosti	20
4.2.1	Zkušební komora	20
4.2.2	Měření optické energie a výkonu	20
4.2.3	Kritéria vznícení	20
4.2.4	Teplota směsi	20
4.2.5	Tlak směsi	21
4.2.6	Bezpečnostní koeficient	21
4.3	Referenční zkouška (kalibrace)	21

4.3.1	Referenční plyn	21
4.3.2	Referenční absorpční látka	21
4.3.3	Referenční zkouška pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání přesahující 1 s	22
4.3.4	Referenční zkouška pro pulzní vyzařování s dobou trvání ne- přesahující 1 ms	22
4.4	Zkušební směs	23
4.4.1	Referenční zkouška pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání přesahující 1 s	23
4.4.2	Referenční zkouška pro pulzní vyzařování s dobou trvání ne- přesahující 1 ms	23
4.5	Zkoušky s řadou pulsů a pulsy s dobou trvání mezi 1 ms a 1 s	24
5	Hodnocení nebezpečí vznícení	25
6	Měření zdrojů světelného záření	27
6.1	Úvod	27
6.2	Postup při měření	27
6.3	Měření optického zdroje na 635 nm	28
6.4	Měření optického zdroje na 1550 nm	31
6.5	Vyhodnocení transceiverů	34
7	Vyhodnocení výsledků měření	36
7.1	Vyhodnocení výsledků pro optický zdroj pracujícím na 635 nm	36
7.2	Vyhodnocení výsledků pro optický zdroj pracujícím na 1550 nm	36
8	Závěr	39
	Literatura	40
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	42
	Seznam příloh	43
A	Parametry LD	44
B	Fotografie pracoviště	46
C	Obsah CD	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Znak zařízení určeného do výbušného prostředí.	14
5.1	Analýza nebezpečí vznícení.	25
6.1	Blokové schéma pro měření výkonu zdroje světla na 635 nm.	28
6.2	Závislost výstupního výkonu LD (LPS-635-FC) na budícím proudu pro $T = 20^{\circ}\text{C}$ a to pro různé vzdálenosti detektoru od zdroje záření. .	31
6.3	Blokové schéma pro měření výkonu zdroje světla na 1550 nm.	31
6.4	Závislost výstupního výkonu LD (LPS-1550-FC) na budícím proudu pro $T = 20^{\circ}\text{C}$ a to pro různé vzdálenosti detektoru od zdroje záření. .	33
6.5	Příklad SFP+ transceiverů.	34
7.1	a) trubky b) drážky c) konstrukčně zpevněné kabely	38
7.2	Příklad útlumových článků.	38
A.1	LPS-PM635-FC	44
A.2	LPS-PM1550-FC	45
B.1	Fotografie zapojení celého pracoviště.	46
B.2	Detailní fotografie zapojení pracoviště.	46
B.3	Detailní fotografie zachycující umístění konce optického vlákna, kolí- mační čočky a detektoru ze strany.	47
B.4	Detailní fotografie zachycující umístění konce optického vlákna, kolí- mační čočky a detektoru ze shora.	47

SEZNAM TABULEK

2.1	Tradiční vztah EPLs k zónám (bez dalšího hodnocení rizik).	14
2.2	Klasifikace zón výbušností pro plyny, páry a pro prachy dle jejich pravděpodobnosti výskytu výbušné atmosféry.	15
3.1	Bezpečný optický výkon a intenzita pro nebezpečné prostory v závis- losti na skupině zařízení a teplotní třídě [5].	17
3.2	Druh ochrany a zabezpečení optických systému dle EPL.	19
4.1	Referenční hodnoty pro zkoušku zápalnosti se směsí propanu ve vzdu- chu při teplotě směsi 40 °C [5].	22
4.2	Složení atmosféry pro různé skupiny plynů pro zkoušku pro vyzařo- vání s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání nepřesahující 1 s.	23
4.3	Složení atmosféry pro různé skupiny plynů pro zkoušku zápalnosti pro jednotlivé pulzy s dobou nepřesahující 1 ms.	24
5.1	Vztah mezi úrovní ochrany proti vznícení a pravděpodobností vzniku zdrojů iniciace.	26
6.1	Použité přístroje pro měření 1.	29
6.2	Změřený optický výkon pro zdroj LPS-635-FC.	29
6.3	Vypočítaná Intenzita pro zdroj LPSC-635-FC.	30
6.4	Použité přístroje pro měření 2.	32
6.5	Změřený optický výkon pro zdroj LPS-1550-FC.	32
6.6	Vypočítaná Intenzita pro zdroj LPSC-1550-FC.	33
6.7	Tabulka několika vysílačů optického výkonu používaných v telekomu- nikacích.	35
A.1	Parametry pro LPS-PM635-FC (katalog. listy Thorlabs).	44
A.2	Parametry pro LPS-PM1550-FC (katalog. listy Thorlabs).	45

1 ÚVOD

Optická vlákna jsou v dnešní době velice používána a to díky jejich velmi malému útlumu a možnosti velkých přenosových rychlostí. Optické kabely nejsou elektricky vodivé, hodí se tedy na použití v prostředích, kde jsou přítomny výbušné výpary, bez hrozícího nebezpečí vznícení.

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat a popsat důležité parametry a požadavky optických systémů, které se používají právě v prostorech s nebezpečím výbuchu. Práce je členěná do několika kapitol.

Druhá kapitola je věnována metodám hodnocení rizik podle úrovně ochran zařízení (EPLs).

V třetí kapitole jsou popsány tři typy ochran optických systémů, které zabráňují vznícení výbušné atmosféry při poruchových a jiných stavech.

Ve čtvrté kapitole se seznámíme s různými typy zkoušek a sestavami, které jsou pro zkoušení optických systémů zapotřebí, jelikož optická vlákna a zařízení je zapotřebí před použitím v praxi řádně proměřit a zjistit jejich vlastnosti. Zvláště u součástí optických systémů, které budou umístěny v prostorech s výskytem výbušné atmosféry, je zapotřebí jejich maximální spolehlivost, aby nedošlo k iniciaci výbuchu.

V páté kapitole je v rychlosti popsáno hodnocení nebezpečí vznícení.

V následující šesté kapitole je nejprve popsána metoda a postup měření, který byl zvolen pro proměření různých zdrojů světla. Déle jsou tu změřená a vypracovaná data právě pro změřené optické zdroje. Jako poslední část v této kapitole byla vytvořena tabulka pro dvacet transceiverů, u nichž jsou udána nejdůležitější data s následným vyhodnocením jednotlivých transceiverů pro umístění v nebezpečném prostředí.

V sedmé kapitole jsou vyhodnoceny výsledky pro změřené zdroje s následnou diskuzí předpokládaných a skutečných změřených hodnot. Právě pro rozdíl mezi předpokládanými a naměřenými výsledky jsou popsány faktory, které mají nejpravděpodobněji příčinu na rozdíl těchto výsledků. Nakonec je zde uvedeno, zda se zdroj dá bezpečně provozovat v nebezpečném prostředí, popřípadě co je potřeba pro jeho bezpečné použití.

V závěru je práce stručně vyhodnocena.

2 HODNOCENÍ RIZIK ZAHRNUJÍCÍ „ÚROVNĚ OCHRANY ZAŘÍZENÍ“ PRO EX ZAŘÍZENÍ

2.1 Úvod

V této kapitole se seznámíme s metodou hodnocení rizik podle úrovně ochrany zařízení (EPLs). Důvod zavedení EPLs byl kvůli jednoduššímu přístupu k metodě výběru EX zařízení, která je v současné době používána.

2.2 Historie

V minulosti neposkytovaly všechny typy ochran stejnou úroveň jistoty proti možnému vzniku podmínek pro iniciaci. Až po zavedení normy IEC 60079-14 [1] byly jednoznačně specifikovány typy ochran pro specifické zóny a to na základě statistiky. Čím je větší pravděpodobnost výskytu výbušné atmosféry, tím je požadována vyšší úroveň zabezpečení, aby nedošlo k možné iniciaci mezi zdrojem a prostředím.

Nebezpečné prostory (s výjimkou pro uhelné doly) se rozdělují do jednotlivých zón dle stupně nebezpečí. Stupeň nebezpečí je definován podle pravděpodobnosti výskytu a možnosti vznícení výbušné atmosféry.

Typy ochran mohou být dále rozděleny do různých úrovní ochran, které historicky odpovídají zónám. Například jiskrová bezpečnost je rozdělena do úrovní ochrany ia a ib [2].

V současné době se identifikují a označují všechny výrobky dle jejich vlastního nebezpečí vznícení. Toto značení značně usnadňuje výběr a hodnocení rizik jednotlivých zařízení podle zón.

2.3 Všeobecně

Na hodnocení rizik je založen výběr Ex zařízení, který byl zaveden jako alternativa k současné, ne moc vhodné metodě. Pro lepší hodnocení rizik a rozdělení do jednotlivých zón byl zaveden systém úrovní ochran zařízení, který jednoznačně definuje riziko iniciace zařízením a to bez ohledu na typ použité ochrany.

Systém rozlišuje uvedené úrovně ochran:

- Uhelné doly (skupina 1).
- Plyny (skupina 2).
- Prachy (skupina 3).

2.3.1 Uhelné doly

1) EPL Ma

Zařízení s „velmi vysokou“ úrovní ochrany pro instalaci do uhelných dolů, která zajišťuje dostatečnou úroveň zabezpečení při běžných, předvídatelných nebo vzácných poruchách. Není zde žádné nebezpečí vznícení, a to i v případě, že při úniku nebezpečného plynu zůstane zařízení pod napětím.

2) EPL Mb

Zařízení s „velmi vysokou“ úrovní ochrany pro instalaci do uhelných dolů, která zajišťuje potřebnou úroveň zabezpečení běžných a očekávaných poruch. Nevzniká zde nebezpečí vznícení v čase mezi únikem nebezpečného plynu a vypnutím zařízení.

2.3.2 Plyny

1) EPL Ga

Zařízení s „velmi vysokou“ úrovní ochrany pro instalaci zařízení do výbušné atmosféry, která nejsou zdrojem iniciace v normálním provozu, při očekávaných nebo při výjimečných poruchách.

2) EPL Gb

Zařízení s „vysokou“ úrovní ochrany pro instalaci zařízení do výbušné plyné atmosféry, která zajišťují dostatečnou úroveň zabezpečení při normálním provozu, očekávaných a výjimečných poruchách.

3) EPL Gc

Zařízení se „zvýšenou“ úrovní ochrany pro výbušné atmosféry, která nejsou zdrojem iniciace v normálním provozu a která mohou obsahovat dodatečné ochrany pro zajištění, že při vzniku pravidelně očekávaných poruchách (např. poškození žárovky) nedojde k iniciaci a zdroj zůstane jako pasivní.

2.3.3 Prachy

1) EPL Da

Zařízení s „velmi vysokou“ úrovní ochrany pro výbušné atmosféry s prachem, která nejsou zdrojem iniciace v normálním provozu, při očekávaných a při výjimečných poruchách.

2) EPL Db

Zařízení s „vysokou“ úrovní ochrany pro výbušné atmosféry s prachem, která při normálním provozu nebo při očekávaných poruchách (ne nutně pravidelných poruchách) není zdrojem iniciace.

3) EPL Dc

Zařízení se „zvýšenou“ úrovní ochrany pro výbušné atmosféry s prachem, která nejsou zdrojem iniciace v normálním provozu a která mohou obsahovat dodatečné ochrany pro zajištění, že při vzniku pravidelně očekávaných poruchách (např. poškození žárovky) nedojde k iniciaci a zdroj zůstane jako pasivní.

Různé zařízení jsou rozděleny do tří kategorií pro plyny a do tří kategorií pro prachy, které odpovídají oblastem, ve kterých je lze instalovat [3]. (Není použitelné pro uhelné doly, ve kterých obecně neplatí princip zón).

Pro maximální přehlednost se podívejte do následující tabulky:

Tab. 2.1: Tradiční vztah EPLs k zónám (bez dalšího hodnocení rizik).

Úroveň ochrany zařízení	Zóna
Ga	0
Gb	1
Gc	2
Da	20
Db	21
Dc	22

Všechna zařízení, která splňují bezpečnostní požadavky pro umístění v prostředí s nebezpečím výbuchu jsou označeny znakem.



Obr. 2.1: Znak zařízení určeného do výbušného prostředí.

Tab. 2.2: Klasifikace zón výbušností pro plyny, páry a pro prachy dle jejich pravděpodobnosti výskytu výbušné atmosféry.

zóna (plyny)	zóna (prachy)	Pravděpodobnost výskytu výbušné atmosféry
0	20	V tomto prostředí je výskyt výbušného prostředí trvalý nebo dlouhodobý. Do zóny 0/20 se řadí prostředí, u nichž je riziko výskytu výbušného prostředí větší než 1000 hodin ročně [4].
1	21	V tomto prostředí je zvýšené riziko výbušného prostředí, to nemusí být přítomno trvale, ale pouze za určitých podmínek. Do zóny 1/21 se řadí prostředí, u nichž je riziko vzniku výbušného prostředí v rozmezí 10 - 1000 hodin ročně [4].
2	22	V tomto prostředí je pouze malé riziko vzniku výbušné atmosféry, ale nedá se vyloučit. Do zóny 2/22 se řadí prostředí, u nichž je riziko vzniku výbušného prostředí menší než 10 hodin ročně [4].

2.4 Dovolené riziko ochrany proti vznícení

Zařízení, která mají různé úrovně ochrany, musí být schopny pracovat ve shodě s provozními parametry stanovenými výrobcem pro danou úroveň ochrany.

3 DRUHY OCHRAN

3.1 Úvod

V systémech používajících optické vyzařování hrozí při poruše (např. porušení izolace optického vlákna a následnému vyzáření optického záření do prostoru) ke vznícení výbušné atmosféry. Je tedy důležité optické systémy chránit, aby k tomuto nemohlo dojít.

Druhy ochran jsou:

- Optické vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní, značení ochrany „op is“.
- Chráněné optické záření, značení ochrany „op pr“.
- Optický systém s blokováním, značení ochrany „op sh“.

3.2 Optické vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní „op is“

3.2.1 Popis systému

Optické vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní je takové, jehož viditelné vyzařování nebo infračervené vyzařování není schopno vznítit výbušnou atmosféru a to při normálním či při poruchovém stavu.

Systémy s tímto druhem ochrany jsou založeny na bezpečném omezení intenzity vyzařovaného paprsku. Při případné poruše a vyzáření paprsku do prostoru je úroveň intenzity paprsku pod hranicí úrovní potřebné ke vznícení.

Jak je tedy zřejmé, tyto systémy jsou velice bezpečné a tak se dají používat i pro neuzavřené vyzařování a nevyžadují umístění v prostředí bez absorbéru.

3.2.2 Vyzařování s trvalou vlnou

V tab. 3.1 jsou rozděleny zařízení dle jednotlivých kategorií a teplotních tříd. Z tabulky také vyčteme maximální hodnoty optického výkonu a optické intenzity, které nesmí být překročeny. Tabulka ve své hlavičce obsahuje informace o hořlavých a nehořlavých látkách, kde jsou rozděleny do skupin podle výbušnosti.

- I – Zařízení pro podzemní doly s výskytem metanu.
- IIA – Prostory jiné než doly, kde se vyskytuje: metan, etan, benzen, propan, butan, aceton atd. . .
- IIB – Prostory jiné než doly, kde se vyskytuje: ethylen, sirovodík atd. . .

- IIC – Prostory jiné než doly, kde se vyskytuje: vodík, acetylen a sirouhlík.

Tab. 3.1: Bezpečný optický výkon a intenzita pro nebezpečné prostory v závislosti na skupině zařízení a teplotní třídě [5].

Skupina záření	I	IIA	IIA	IIB	IIC	
Teplotní třída		T3	T4	T4	T4	T6
Teplotní třída (°C)	≤ 150	≤ 200	≤ 135	≤ 135	≤ 135	≤ 85
Výkon (mW)	150	150	35	35	35	15
Intenzita (mW/mm ²) (plocha menší jak 400 mm ²)	20*	20*	5	5	5	5
* Pro ozářenou plochu, větší než 30 mm ² , kde hořlavý materiál může pohlcovat paprsek, se použije mezní hodnota intenzity 5 mW/mm ² .						

3.2.3 Pulsní vyzařování

Pulsní vyzařování se rozlišuje podle doby, po kterou je jeden optický pulz vyzařován.

Jednotlivé kategorie dle doby vyzařování:

- do 1 ms – nesmí pulsní energie optického vyzařování překročit minimální energii potřebnou k zapálení (MIE) výbušné atmosféry,
- od 1 ms do 1 s – nesmí pulsní energie optického vyzařování překročit 10násobek minimální energie potřebné k zapálení (MIE) výbušné atmosféry,
- od 1 s – nesmí vrcholový výkon optického vyzařování překročit maximální hodnotu, při kterém záření ještě nezpůsobí zapálení výbušné atmosféry (viz tab. 3.1).

3.2.4 Zařízení s bezpečnou úrovní optického vyzařování

Zařízení na tomto principu musí splňovat ochranu, která zabrání překročení výkonu/energie optického vyzařování při případné poruše tak, aby nedošlo k úniku paprsku s intenzitou, jejíž velikost už je schopna zapálit výbušnou atmosféru. Zařízení používající tento princip musí být velice spolehlivá, a tak se před jejich použitím provádí analýza nebezpečí/rizik, aby se předešlo zbytečným nehodám, jelikož přítomnost výbušné atmosféry je v okolí zařízení téměř stála.

U optických zdrojů (laserová dioda, LED dioda) může v důsledku přetížení dojít k přehřátí a následné poruše. Proto je potřeba u některých optických zdrojů přidat ochrana zabráňující přetížení, která se zkouší na 10 vzorcích a musí vždy obstát.

Elektrické obvody (různé omezovače proudu či napětí) se ukládají mezi optický zdroj a elektrický napájecí zdroj. Musíme je tedy také chránit proti přetížení vzniklém důsledkem poruchy. Ochrana se provádí podobně jako u jiskrově bezpečných obvodů.

Ochrana proti přetížení musí být provedena dle úrovní stanovených EPL.

Rozdělení do jednotlivých úrovní ochran s jejich požadavky:

- Ga – musí omezovače zajišťovat ochranu proti přetížení při dvou poruchách.
- Gb – musí omezovače zajišťovat ochranu proti přetížení při jedné poruše.
- Gc – zde se nepředpokládá porucha a berou se jmenovité hodnoty.

3.3 Chráněné optické záření „op pr“

3.3.1 Popis systému

Tento druh ochrany spočívá v uzavření záření do optického vlákna nebo jiného média použitého pro přenos a není tu nebezpečí unikání záření do prostoru.

Tímto chráněná optická vlákna se mohou použít v prostředí, kde nehrozí poškození pláště jinou vnější silou. V prostorech, kde tomu tak není, musíme vlákna chránit další přídatnou ochranou, jako jsou např.: trubky, drážky, konstrukčně zpevněné kabely atd. . .

3.3.2 Vyzařování uvnitř optického vlákna

Při předpokladu, že nedojde k žádnému mechanickému poškození optického kabelu, nemůže dojít při normálním provozu k úniku optického záření do výbušné atmosféry. Pro lepší zabezpečení proti únikům optického záření při případných poruchách se používají dodatečné ochrany dalším pláštěm, trubkovým vedením, kabelovými drážkami a lávkami.

3.3.3 Vyzařování uvnitř závěru

Vyzařování schopné způsobit vznícení uvnitř závěru je dovoleno, pokud závěr splňuje požadavky na uznaný typ ochrany elektrického zařízení, u kterého může být uvnitř zdroje iniciace (pevný závěr „d“, závěr s vnitřním přetlakem „p“, závěr s omezeným dýcháním) [6]. Je však třeba uvažovat s tím, že jakékoliv vyzařování, které bude unikat ze závěru, musí být chráněno podle normy [5].

3.4 Optický systém s blokováním „op sh“

3.4.1 Popis systému

Používá se v systémech, jenž nemají vlastní bezpečnou úroveň vyzařování. Ochrana je zajištěna blokováním. Při případné poruše dojde k vypnutí vyzařovaného paprsku v časovém intervalu, který je menší než doba potřebná ke vznícení.

Systémy s tímto druhem ochrany musí být velice spolehlivé.

3.5 Přehled druhů ochran

V této kapitole jsme si vysvětlili 3 základní druhy ochran používaných v optických systémech. Pro lepší porovnání jednotlivých ochran se můžeme podívat do tabulky 3.2.

Tab. 3.2: Druh ochrany a zabezpečení optických systému dle EPL.

Druh ochrany	Způsob zabezpečení	Ga	Gb	Gc
Optické vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní „op is“	Bezpečné při dvou poruchách	ano	ano	ano
	Bezpečné při jedné poruše	ne	ano	ano
	Bezpečné v normálním provozu	ne	ne	ano
Chráněné optické záření „op pr“	S dodatečnou mechanickou ochranou	ne	ano	ano
	Bez dodatečné mechanické ochrany	ne	ne	ano
Optický systém s blokováním „op sh“	S dodatečnou mechanickou ochranou	ano	ano	ano
	Bez dodatečné mechanické ochrany	ne	ano	ano

4 TYPY ZKOUŠENÍ A OVĚŘOVÁNÍ OPTICKÝCH SYSTÉMŮ

4.1 Úvod

Optická vlákna a zařízení je zapotřebí před použitím v praxi řádně proměřit a zjistit jejich vlastnosti. Zvláště u součástí optických systémů, které budou umístěny v prostorech s výskytem výbušné atmosféry, je zapotřebí jejich maximální spolehlivost, aby nedošlo k iniciaci výbuchu.

V této kapitole se podíváme, jaké druhy zkoušek se provádějí a na sestavy, které jsou pro zkoušku zapotřebí. K tomu mi posloužila norma CSN EN 60079-28 [5].

4.2 Sestava pro zkoušky zápalnosti

4.2.1 Zkušební komora

Zkušební komora slouží k umístění optických zařízení a následnému proměření vlastností. Musí splňovat dvě základní věci:

- Průměr musí být větší jak 150 mm.
- Výška nad zdrojem iniciace musí být větší jak 200 mm.

4.2.2 Měření optické energie a výkonu

Při měření optické energie a výkonu nesmí nejistota přesáhnout hranici 5 % relativní hodnoty. To musí splňovat také odchylky ve světelném zdroji.

4.2.3 Kritéria vznícení

Kritéria vznícení se proměřují termočlánkem o tloušťce 0,5 mm, který je umístěn ve vzdálenosti 100 mm nad horkým místem. Při vzniku plamene nebo oteplení přesahující hodnotu 100 K.

4.2.4 Teplota směsi

Referenční teplota směsi je 40 °C, avšak pro některé aplikace je tato teplota nevhodující, a tak se zvolí maximální teplota pro danou aplikaci.

4.2.5 Tlak směsi

Okolní tlak v rozmezí od 80 kPa (0,8 bar) do 110 kPa (1,1 bar) dle normy IEC 60079-0 [7].

4.2.6 Bezpečnostní koeficient

Aby, jsme mohli použít výsledky naměřených dat pomocí zkoušek:

- zkušební směs, probrané v kapitole 4.4,
- zkoušky s řadou pulsů a pulsy s dobou trvání mezi 1 ms a 1 s, probrané v kapitole 4.5,

musí být použit bezpečnostní koeficient, který je 1,5 pro vyzařování s trvalou vlnou a 3 pro pulzní vyzařování. Poté se naměřená data dají použít jako hodnoty pro vyzařování s vlastní bezpečnou úrovní.

Pokud v průběhu zkoušek nedošlo k vznícení výbušné směsi, bezpečnostní koeficient bude pro nejvyšší dosaženou hodnotu intenzity paprsku.

Další možností pro získání bezpečné intenzity paprsku (včetně bezpečnostního koeficientu) je použití zkušebního plynu, který je více citlivý na vznícení. Pro zařízení s trvalou vlnou, určené pro použití v prostředí IIA/T3, může být tímto plynem etylén až do velikosti průřezové plochy paprsku 2 mm² [5].

4.3 Referenční zkouška (kalibrace)

4.3.1 Referenční plyn

Směs propanu se vzduchem 5 % nebo 4 %, viz tab. 4.1[5]. Obsahující data zkoušek zápalnosti s vyzařováním s trvalou vlnou a pulzy nepřesahující 1 s, respektive 4 % objemová pro pulzní vyzařování s pulzy nepřesahující 1 ms v klidu.

4.3.2 Referenční absorpční látka

Za referenční absorpční látku považujeme takovou látku, která má absorpci vyšší jak 80 % v celém rozsahu zkoumaného vlnového rozsahu. Absorpční látka je přímo nanesena na špičku přenosového optického vlákna nebo se nalisuje na interní podklad.

Tab. 4.1: Referenční hodnoty pro zkoušku zápalnosti se směsí propanu ve vzduchu při teplotě směsi 40 °C [5].

Průměr jádra μm	Minimální zápalná energie pro 1064 nm (absorpce: 83% a 5% propanu, objemová) mW	Minimální zápalná energie pro 805 nm (absorpce: 93% a 4% propanu, objemová) mW
62,5 (125 μm vnější plášť)	250	
400	842	690
600		1200
1500		3600
POZNÁMKA: Absorpční látka byla přiložena ke konci optického vlákna a trvale ozařována.		

4.3.3 Referenční zkouška pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání přesahující 1 s

Ozařovaný absorpční materiál se musí chovat téměř jako černé těleso, musí tedy pohlcovat veškeré záření všech vlnových délek dopadajících na jeho povrch. Musí být fyzicky i chemicky inertní po celou dobu zkoušky.

Sestava je poté zkoušena s referenční plynnou látkou a absorpčním materiálem při teplotě 40 °C.

Kde pro zkoušku vláknové optiky je absorpční látka nanесena přímo na špičku přenosového vlákna a pro zkoušku paprsku ve volném prostoru má být nejmenší průměr paprsku nasměrován na rovinnou vrstvu cílového materiálu, nanесeného na podklad nebo slisovaného [5].

Referenční hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.1 a to pro jednotlivé typy zkoušek a pro různé průměry paprsku. Zkušební sestavu můžeme považovat za vyhovující tehdy, když naměřené hodnoty pro vznícení nejsou o 20 % větší než referenční hodnoty v tabulce a absorpční látka zůstala zcela nepoškozena.

4.3.4 Referenční zkouška pro pulzní vyzařování s dobou trvání nepřesahující 1 ms

Referenční absorpční materiál je ozařován po celou dobu měření pouze zepředu pro zkoušku záření volného paprsku. Pro zkoušku paprsku ve volném prostoru musí být paprsek s nejmenším průměrem nasměrován na rovinnou vrstvu cílového materiálu, jenž je nanесen na podklad nebo slisován do malé pilulky. Referenční hodnoty pro

paprsek o průměru $90\text{ }\mu\text{m}$ je $499\text{ }\mu\text{J}$ pulzní energie pro pulsy 90 ns a $600\text{ }\mu\text{J}$ pro pulsy 30 ns [5]. Sestava je zkoušena s referenční plynou látkou a absorpčním materiálem při teplotě $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zkušební sestavu můžeme považovat za vyhovující tehdy, když naměřené hodnoty pro vznícení nejsou o 20 % větší než referenční hodnoty z literatury [8] a absorpční látka zůstala zcela nepoškozena.

4.4 Zkušební směs

4.4.1 Referenční zkouška pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání přesahující 1 s

Optické systémy musí splňovat různé požadavky, aby se daly použít v určitém prostředí. Proto je více typů zkoušek, které se liší jak skupinkou plynů, tak i teplotní třídou v které jsou prozkoušeny. Tyto různé druhy zkoušek pro určité skupiny plynů obsahují jiné složení atmosféry a jsou znázorněny v tab. 4.2, data jsou převzaty z lit. [5].

Tab. 4.2: Složení atmosféry pro různé skupiny plynů pro zkoušku pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání nepřesahující 1 s.

Pro plyny skupiny	Atmosféra
T6/IIC *	CS ₂ ve vzduchu, 1,5 % objemové a diethylether 12 % objemových.
T4/IIA, T4/IIB a T4/IIC	Diethyleter, 12 % objemových.
T3/IIA a I	Propan ve vzduchu, 5 % objemových.
Pro zvláštní aplikace	Atmosféra, která bude přítomna.
* Pokud je použit jen diethyleter, musí být naměřený minimální výkon či intenzita pro iniciaci s výbušnou atmosférou vydělena hodnotou 4. Poté se hodnoty dají použít.	

4.4.2 Referenční zkouška pro pulzní vyzařování s dobou trvání nepřesahující 1 ms

Stejně jako u předešlé referenční zkoušky pro vyzařování s trvalou vlnou a pulzy s dobou trvání přesahující 1 s, tak i u této zkoušky musí pro skupinu plynu odpovídat správné složení atmosféry. Pokud by tomu nebylo, naměřená data se nedají použít. V tab. 4.3 jsou znázorněny skupiny plynů s odpovídajícím složením atmosféry.

Tab. 4.3: Složení atmosféry pro různé skupiny plynů pro zkoušku zápalnosti pro jednotlivé pulzy s dobou nepřesahující 1 ms.

Pro plyny skupiny	Atmosféra
IIC	H ₂ ve vzduchu, 12 % a 21 % objemových nebo CS ₂ ve vzduchu, 6,5 % objemových.
IIB	Etylén ve vzduchu, 5,5 % objemových.
I a IIA *	Diethyleter, 3,4 % objemových nebo propan ve vzduchu, 4 % objemová.
Pro zvláštní aplikace	Atmosféra, která bude přítomna.
* Pro další použití se naměřená minimální zápalná energie pro propan vydělí koeficientem 1,2.	

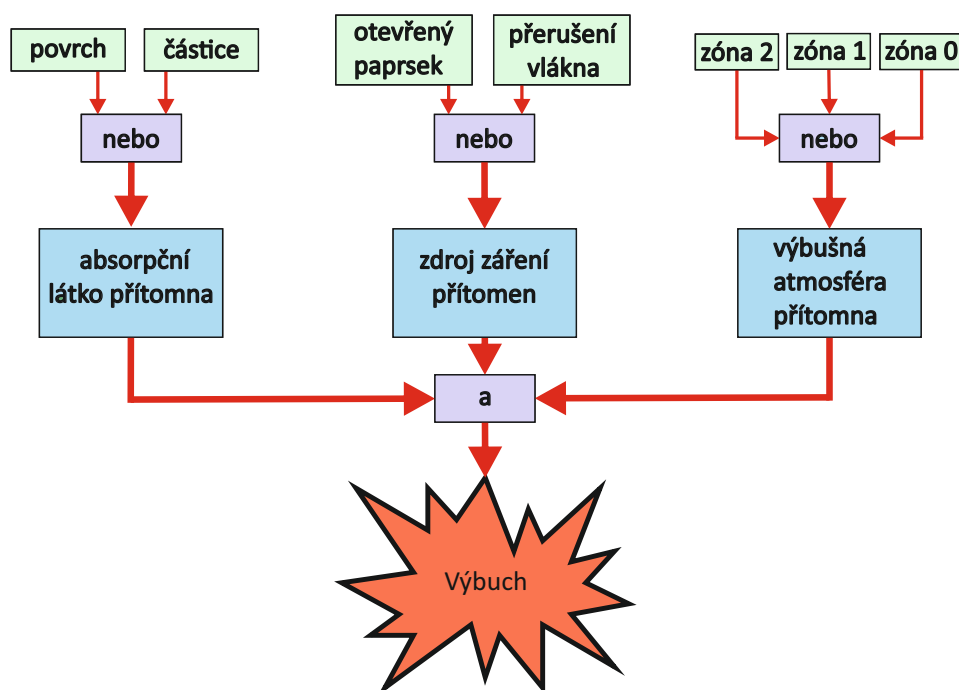
4.5 Zkoušky s řadou pulsů a pulsy s dobou trvání mezi 1 ms a 1 s

V tomto případě se měření provede podle obou postupů z kap. 4.4, absorpční materiály a směsi zůstávají nezměněny, tak jak byly popsány výše.

5 HODNOCENÍ NEBEZPEČÍ VZNÍCENÍ

Při překročení bezpečné úrovně intenzity vyzářeného paprsku do výbušné atmosféry může dojít ke vznícení. Aby došlo ke vznícení, musí optické vlákno vyzařovat do prostoru kde je přítomna výbušná atmosféra a paprsek musí obsahovat absorpční látku, která je schopna se zahřát na teplotu dostačující k inicializaci zapálení výbušné atmosféry.

Vše co je potřeba k iniciaci vznícení výbušné atmosféry, je zakresleno na obr. 5.1 pro lepší pochopení.



Obr. 5.1: Analýza nebezpečí vznícení.

Za předpokladu, že jsou tyto podmínky splněny, se používá druh ochrany:

- Chráněné optické záření, typ ochrany „op pr“.
Probrané v kapitole 3.3.
- Optický systém s blokováním, typ ochrany „op sh“.
Probrané v kapitole 3.4.

Pokud nejsou tyto podmínky splněny, potom v prostřední nemusí existovat nebezpečí vznícení výbušné atmosféry.

Avšak toto nejsou jediné požadavky na ochranu proti vznícení. Další hodnocení zohledňující všechny podmínky pro vznícení výbušné atmosféry je nutné pro:

- Specifické případy nebo zařízení
- a pro různé EPL podle tab. 5.1.

Tab. 5.1: Vztah mezi úrovní ochrany proti vznícení a pravděpodobností vzniku zdrojů iniciace.

Skupina EPL	Zóna	Úroveň ochrany
Ga	0	Ke vznícení nedojde při jedné nebo dvou nezávislých poruch nebo ani při výjimečné poruše.
Gb	1	Ke vznícení nedojde při jedné poruše ani při očekávané poruše.
Gc	2	Ke vznícení nemůže dojít při normálním provozu.

I při úniku optického záření, jehož intenzita je větší než maximální dovolená bezpečná úroveň, nemusí dojít ke vznícení výbušné atmosféry. K iniciaci jsou zapotřebí i další nezbytné podmínky.

6 MĚŘENÍ ZDROJŮ SVĚTELNÉHO ZÁŘENÍ

6.1 Úvod

Měření optického výkonu patří k nejzákladnějším měřením v optoelektronice. Význam měřiče optického výkonu je obdobný jako ampérmetr v elektronice.

Výkon optického záření P [W] vyjadřuje výkon přenesený zářením, určuje tedy energii procházející sledovanou plochou v jednotce času. Běžně se v optoelektronice měří optický výkon L [dBm], který vyjadřuje úroveň optického výkonu vztaženou k hodnotě 1 mW, vypočítá se ze vztahu:

$$L = 10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}} [\text{dBm}]. \quad (6.1)$$

Útlum lze pak vyjádřit pomocí:

$$A = L_{\text{vyst}} - L_{\text{vst}} [\text{dB}], \quad (6.2)$$

kde L_{vyst} je výstupní úroveň výkonu a L_{vst} je vstupní úroveň výkonu udávané v jednotkách [dBm] [9]. Útlum lze také vyjádřit pomocí:

$$A = 10 \log \frac{P_{\text{vyst}}}{P_{\text{vst}}} [\text{dB}], \quad (6.3)$$

kde P_{vyst} je výstupní hodnota výkonu a P_{vst} je vstupní hodnota výkonu udávané v jednotkách Watt [10].

Výkon optického záření se v optických sítí převážně udává v jednotkách decibel, někdy je však potřeba výkon v jednotkách Watt. Pro přepočítání mezi těmito jednotkami se využívá vztah převzatý z lit. [11]:

$$P = 10^{\frac{P_{\text{[dB]}}}{10}} [\text{W}]. \quad (6.4)$$

6.2 Postup při měření

Pracoviště bylo zapojeno dle obr. 6.1 nebo obr. 6.3.

Na teplotním stabilizátoru jsem nastavil teplotu na hodnotu 20 °C, která bude hlídána, aby nedošlo k přehřátí LD.

Na generátoru jsem nastavil proudové omezení, aby nedošlo k překročení maximální povolené hodnoty budícího proudu pro LD.

Detektor jsem umístil co nejblíže k zdroji optického záření, aby mezi nimi byla co nejmenší vzdálenost ($l = 1 \text{ cm}$).

Při samotném měření se na generátoru měnil budící proud až do hodnoty nastavené jako proudové omezení a odečítal optický výkon.

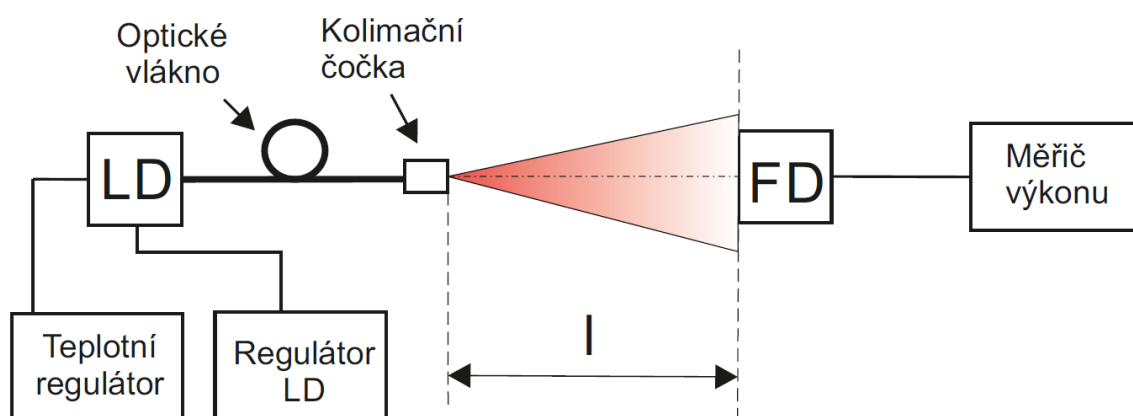
Po dosažení maximálního proudu jsem proud stáhl na nejnižší hodnotu. Následně jsem posunul detektor od zdroje záření (od 1 cm do 10 cm) a opět nastavoval budící proud a odečítal optický výkon.

Měření bylo provedeno pro 2 laserové diody:

- pro $\lambda = 635 \text{ nm}$ – LPS-635-FC
- pro $\lambda = 1550 \text{ nm}$ – LPS-1550-FC

6.3 Měření optického zdroje na 635 nm

První měření bylo provedeno pro optický zdroj LPS-635-FC, jehož parametry jsou v tab. A.1, která se nachází v příloze. Jako detektor byla použita fotodioda NEWPORT M-816-FK, jejíž aktivní plocha je $19,63 \text{ mm}^2$. Za optické vlákno ($l = 1 \text{ m}$) byla umístěna kolimační čočka, pro lepší směrovost paprsků na aktivní plochu detektoru. Zapojení celého pracoviště je znázorněno na obr. 6.1.



Obr. 6.1: Blokové schéma pro měření výkonu zdroje světla na 635 nm.

Všechny použité přístroje jsou zapsány v tab. 6.1.

Tab. 6.1: Použité přístroje pro měření 1.

Přístroj	Typ
Regulátor teploty	Thorlabs TED200C
Regulátor laserové diody	Thorlabs LDC202C
Laserová dioda	Thorlabs LPS-635-FC
Detektor - fotodiody	Newport M-816-FK
Měřič výkonu	Newport Digital Power meter 1815-C

Naměřené hodnoty výkonu získané postupem z kap. 6.2 jsou vyneseny v tab. 6.2. Měření jsem provedl pro šest vzdáleností detektoru od zdroje záření a to pro 1, 2, 4, 6, 8 a 10 cm.

Tab. 6.2: Změřený optický výkon pro zdroj LPS-635-FC.

Vzdálenost opt. vlákna od fotodiody [cm]	1	2	4	6	8	10
Proud [mA]	Výkon [mW]					
35	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008	0,006
36	0,023	0,018	0,016	0,014	0,012	0,009
37	0,102	0,096	0,085	0,075	0,070	0,051
38	0,186	0,189	0,178	0,161	0,144	0,114
39	0,265	0,282	0,283	0,290	0,228	0,183
40	0,338	0,369	0,392	0,358	0,320	0,255
41	0,407	0,448	0,501	0,461	0,414	0,328
42	0,472	0,524	0,605	0,567	0,511	0,406
43	0,534	0,595	0,710	0,676	0,606	0,482
44	0,595	0,664	0,808	0,786	0,708	0,565
45	0,652	0,728	0,907	0,894	0,805	0,644
46	0,708	0,792	1,001	1,006	0,910	0,724
47	0,761	0,855	1,093	1,109	1,012	0,806
48	0,814	0,915	1,182	1,218	1,118	0,889
49	0,867	0,974	1,267	1,321	1,219	0,973
50	0,916	1,03	1,348	1,428	1,321	1,059
51	0,967	1,082	1,429	1,536	1,413	1,144
51,20	0,974	1,095	1,447	1,547	1,438	1,159

Hodnoty naměřeného optického výkonu jsem potřeboval přepočítat na hodnoty intenzity v jednotkách mW/mm^2 . Pro to mi posloužil vztah pro výpočet intenzity ozáření:

$$E_i = \frac{d\phi}{dS} [\text{mW}/\text{m}^2], \quad (6.5)$$

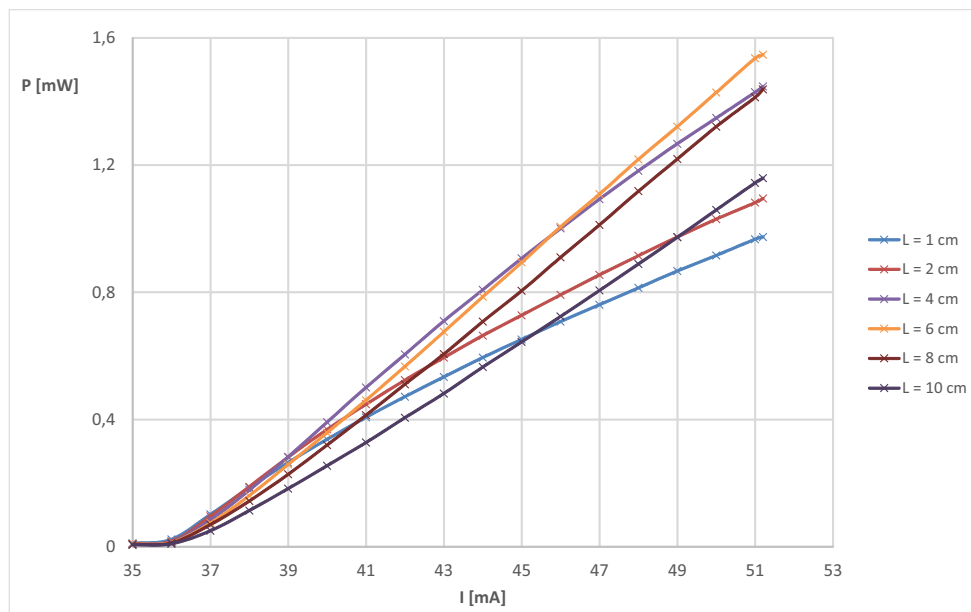
kde $d\phi$ je zářivý tok, v tomto případě optický výkon P v jednotkách Watt a dS je velikost ozářené plochy v metrech čtverečních [12].

Naměřené hodnoty optického výkonu stačí tedy jen vydělit aktivní plochou fotodiody a dostaneme hodnoty intenzity. Takto získané hodnoty jsou vyneseny v tab. 6.3.

Tab. 6.3: Vypočítaná Intenzita pro zdroj LPSC-635-FC.

Vzdálenost opt. vlákna od fotodiody [cm]	1	2	4	6	8	10
Proud [mA]	Intenzita [$\mu\text{W}/\text{mm}^2$]					
35	0,530	0,509	0,440	0,438	0,392	0,311
36	1,182	0,891	0,790	0,698	0,616	0,479
37	5,196	4,870	4,340	3,810	3,551	2,573
38	9,475	9,628	9,068	8,202	7,336	5,807
39	13,500	14,366	14,417	13,194	11,615	9,322
40	17,219	18,798	19,969	18,289	16,302	12,990
41	20,734	22,822	25,522	23,484	21,090	16,709
42	24,045	26,694	30,820	28,884	26,032	20,683
43	27,203	30,311	36,169	34,437	30,871	24,554
44	30,311	33,826	41,161	40,041	36,067	28,782
45	33,215	37,086	46,205	45,542	41,009	32,806
46	36,067	40,346	50,993	51,248	46,358	36,882
47	38,767	43,556	55,680	56,495	51,554	41,060
48	41,467	46,612	60,214	62,048	56,954	45,288
49	44,167	49,618	64,544	67,295	62,099	49,567
50	46,663	52,471	68,670	72,746	67,295	53,948
51	49,261	55,120	72,797	78,248	71,982	58,278
51,20	49,618	55,782	73,714	78,808	73,255	59,042

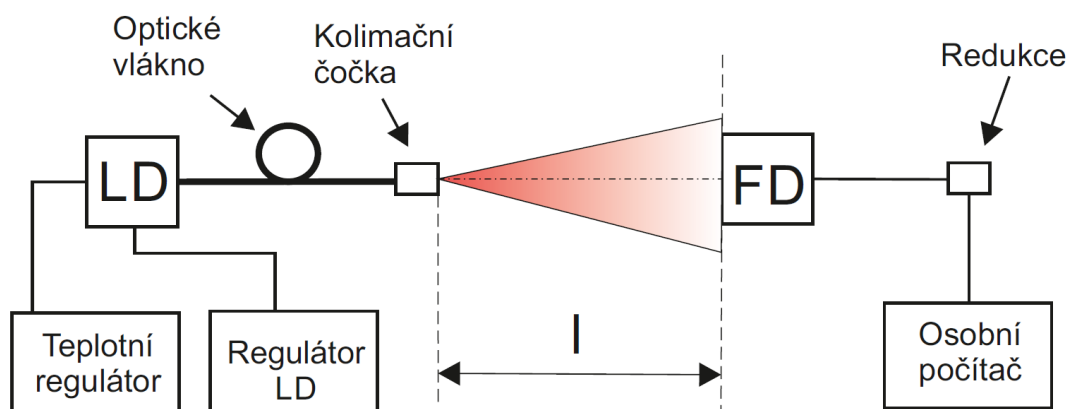
Pro lepší názornost jsou vyneseny hodnoty z tab. 6.2 do následujícího grafu 6.2.



Obr. 6.2: Závislost výstupního výkonu LD (LPS-635-FC) na budícím proudu pro $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a to pro různé vzdálenosti detektoru od zdroje záření.

6.4 Měření optického zdroje na 1550 nm

Druhé měření bylo provedeno pro optický zdroj LPS-1550-FC, jehož parametry jsou v tab. A.2, která se nachází v příloze. Jako detektor byla použita fotodioda Gentec PH78-GE, jejíž aktivní plocha je $78,53\text{ mm}^2$. Za optické vlákno ($l = 1\text{ m}$) byla umístěna kolimační čočka, pro lepší směrovost paprsků na aktivní plochu detektoru. Zapojení celého pracoviště je znázorněno na obr. 6.3.



Obr. 6.3: Blokové schéma pro měření výkonu zdroje světla na 1550 nm.

Všechny použité přístroje jsou zapsány v tab. 6.4.

Tab. 6.4: Použité přístroje pro měření 2.

Přístroj	Typ
Regulátor teploty	Thorlabs TED200C
Regulátor laserové diody	Thorlabs LDC202C
Laserová dioda	Thorlabs LPS-1550-FC
Detektor - fotodiody	Gentec PH78-GE
Počítač s měřícím programem	

Naměřené hodnoty výkonu získané obdobně jako v prvním měření jsou vyneseny v tab. 6.5. Měření jsem provedl pro dvě vzdálenosti detektoru od zdroje záření a to pro 1 a 5 cm.

Tab. 6.5: Změřený optický výkon pro zdroj LPS-1550-FC.

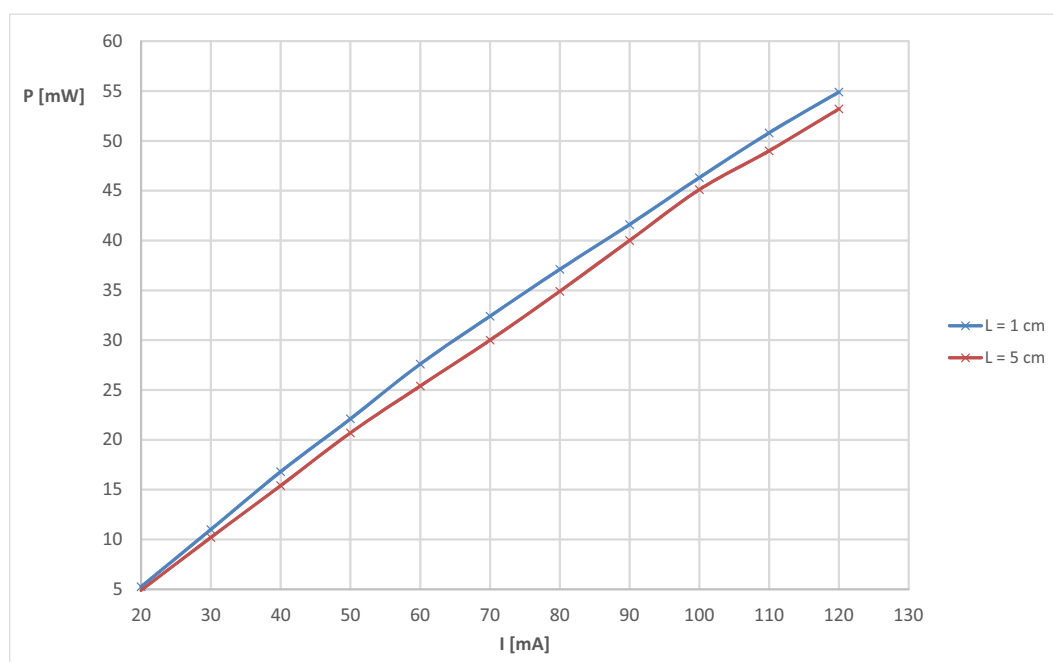
Vzdálenost opt. vlákna od fotodiody [cm]	1	5
Proud [mA]	Výkon [mW]	
20	5,3	4,9
30	11,0	10,2
40	16,8	15,4
50	22,1	20,7
60	27,6	25,4
70	32,4	30,0
80	37,1	34,9
90	41,6	40,0
100	46,3	45,1
110	50,8	49,0
120	54,9	53,2

Hodnoty změřeného výkonu jsem následně přepočítal na hodnoty intenzity pomocí vztahu 6.5 stejně jako v prvním měření. Takto přepočítané hodnoty jsou zapsány v tab. 6.6.

Tab. 6.6: Vypočítaná Intenzita pro zdroj LPSC-1550-FC.

Vzdálenost opt. vlákna od fotodiody [cm]	1	5
Proud [mA]	Intenzita [$\mu\text{W}/\text{mm}^2$]	
20	66,98	62,40
30	140,07	129,89
40	213,93	196,10
50	281,42	263,59
60	351,46	323,44
70	412,58	382,02
80	472,43	444,42
90	529,73	509,36
100	589,59	574,30
110	646,89	623,97
120	699,10	677,45

Pro lepší názornost jsou vyneseny hodnoty z tab. 6.5 do následujícího grafu 6.4.



Obr. 6.4: Závislost výstupního výkonu LD (LPS-1550-FC) na budícím proudu pro $T = 20^\circ\text{C}$ a to pro různé vzdálenosti detektoru od zdroje záření.

6.5 Vyhodnocení transceiverů

V této části práce je do tab. 6.7 vyneseno 20 transceiverů, používaných pro komunikační účely. Pro každý transceiver je v tabulce uvedena: řada, typ, vlnová délka, typ laseru, výkon, maximální vzdálenost a bezpečné umístění v.

Hodnoty jsou převzaty z datasheetů výrobců.



Obr. 6.5: Příklad SFP+ transceiverů.

Vzhledem k zaměření práce je nejdůležitější parametr:

- Bezpečné umístění v,

který udává, v jakých prostorech se transceiver dá bezpečně provozovat.

Detailní přehled jednotlivých prostorů a jejich podmínek, které se musí dodržet pro bezpečné provozování zařízení v daném prostoru je vyneseno v tab. 3.1.

Z tabulky je zřejmé, že transceivery:

- 155 Mbps LC SFP transceiver – SPS-33240G,
- 1,25 Gbps SFP LC transceiver – SPS-73200G,
- 2,5 Gbps SFP LC transceiver – SPS-93160G.

Není bezpečné provozovat v prostorech IIA pro ($t \leq 135^\circ\text{C}$), IIB a IIC. Jelikož jejich maximální hodnota optického výkonu je vyšší než 5 mW. V nejhorším případě může dojít při poruše k vyzáření celého optického výkonu do jednoho bodu, tím se překročí bezpečná mez intenzity a může dojít ke vznícení atmosféry.

Ostatní uvedené transceivery mají maximální hodnotu optického výkonu menší než 5 mW, tím tedy při poruše intenzita nemůže překročit 5 mW/mm^2 a nemůže dojít ke vznícení atmosféry v důsledku úniku optického výkonu.

Tab. 6.7: Tabulka několika vysílačů optického výkonu používaných v telekomunikacích.

Řada	Typ	Vln délka / Typ laseru [nm]	Výkon [mW]	Max. vzdálenost [Km]	Bezpečné umístění v
155Mb SFP transceivery	SX	850 / VCSEL	0,5	0,55	I, IIA, IIB, IIC
	LX3	1310 / FP	0,15	3	
	LX	1310 / FP	0,15	20	
	HX	1310 / FP, 1550 / DFB	0,65	40	
	ZX	1550 / DFB	1	80	
622Mb SFP transceivers	SX	850 / VCSEL	0,5	0,55	
	LX	1310 / FP	0,15	20	
	HX	1310 / FP, 1550 / DFB	1	40	
	ZX	1550 / DFB	1,6	80	
10 Gb SFP+ transceivers	SR	850 / VCSEL	0,8	0,55	
	LR	1310 / DFB	1	10	
	ER	1310 / DFB, 1550 / EML	2,5	40	
	ZR	1550 / EML	3,16	80	
1,25 & 3,072 Gbps CSFP transceivers	1,25 - LX	1310 / FP, 1490 / DFB	0,5	20	
	1,25 - HX	1310 / DFB, 1490 / DFB	1	40	
	SX - 3,072	1310 / FP, 1490 / FP	0,5	0,55	
	HX - 3,072	1310 / DFB, 1490 / DFB	2	40	
155 Mbps LC SFP transceiver	SPS-33240G	1550 / DFB	6,32	240	I, IIA*
1,25 Gbps SFP LC transceiver	SPS-73200G	1550 / DFB	6,32	200	
2,5 Gbps SFP LC transceiver	SPS-93160G	1550 / DFB	6,32	160	
* IIA pro teplotní třídu T3 (t ≤ 200 °C)					

7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

7.1 Vyhodnocení výsledků pro optický zdroj pracujícím na 635 nm

Předpokládané výsledky byly takové, že při zvyšující se vzdálenosti detektoru od zdroje optického záření bude optický výkon klesat.

Z naměřených hodnot v tab. 6.2 a vyneseních hodnot v obr. 6.2 je zřejmé, že změřené hodnoty se liší od předpokládaných.

Změřený optický výkon se zvyšující se vzdáleností od 1 cm do 6 cm roste místo toho, aby klesal. Teprve až od vzdálenosti 6 cm do 10 cm optický výkon klesá, přičemž hodnoty optického výkonu ve vzdálenosti 10 cm jsou vyšší než při vzdálenosti 1 cm.

Změřené výsledky se tedy oproti předpokládaným značně liší, bylo to způsobeno nepříliš přesným nasměrováním optického záření do aktivní plochy detektoru, kde stačilo jen malé odchýlení a hodnoty výkonu se značně lišily.

Z naměřených hodnot optického výkonu jsem potřeboval získat hodnoty intenzity, proto jsem pro přepočet použil vzorec 6.5.

Takto přepočítané hodnoty jsou vyneseny v tab. 6.3. Avšak takto získané hodnoty intenzity nejsou příliš vhodné, protože se nejedná o maximální vyzářenou intenzitu optického zdroje, ale o intenzitu změřenou detektorem. Až 1/3 celkové vyzářené intenzity byla vyzářena do prostoru a aktivní plochou detektoru nebyla zaznamenána.

Je nutno uvažovat, že v nejhorším případě může dojít při poruše k vyzáření celkového optického výkonu do jednoho bodu. Intenzita se bude v takovém okamžiku rovnat výstupní hodnotě optického výkonu.

V tomto měření byl použit zdroj LPS-PM635-FC, který má maximální výstupní optický výkon 3,5 mW.

Maximální výstupní optický výkon nepřekračuje hodnotu 5 mW, a tak hodnota intenzity 5 mW/mm² by neměla být překročena. Zdroj by se tedy dal použít ve všech nebezpečných prostorech bez jakékoliv přídatné ochrany.

7.2 Vyhodnocení výsledků pro optický zdroj pracujícím na 1550 nm

Předpokládané výsledky byly stejné jako v prvním měření, tedy se zvyšující vzdáleností detektoru od zdroje optického záření bude optický výkon klesat.

Dal jsem si mnohem více záležet na co nejpřesnějším nastavení optického záření do aktivní plochy detektoru a v důsledku toho je patrné z naměřených hodnot v tab. 6.5 a vyneseních hodnot v obr. 6.4, že změřené výsledky byly ty předpokládané.

Důvod nepoužitelnosti přepočítané intenzity vynesené v tab. 6.6 je popsán výše.

Při měření tohoto zdroje nebyla žádná dokumentace a při jeho rychlém proměření jsem naměřil hodnoty několikanásobně vyšší než 1,5 mW, proto jsem usoudil, že se nejspíše jedná o zdroj LPSC-1550-FC, který má maximální výstupní optický výkon 60 mW.

Avšak po obdržení dokumentace od výrobce (Thorlabs) na základě sériového čísla změřeného zdroje bylo zjištěno, že se jednalo o zdroj LPS-PM1550-FC, který má maximální výstupní optický výkon 1,8 mW.

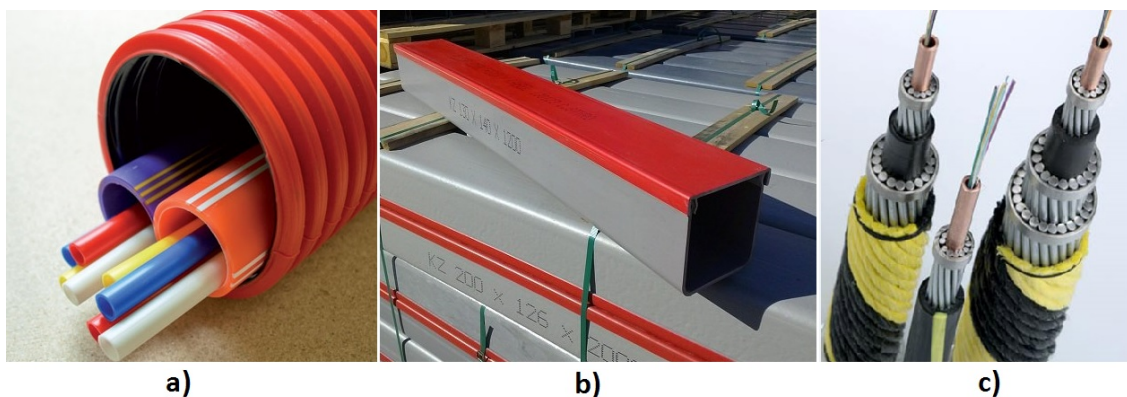
Vzhledem k mým aktuálním znalostem si nedokážu vysvětlit, jak se mi podařilo změřit hodnoty vynesené v tab. 6.5, jelikož maximální povolený proud pro zdroj LPS-PM1550-FC je 50 mA a mnou maximální nastavený proud byl 120 mA, přičemž se zdroj nechoval nějak neobvykle.

Chyby při měření mohou být způsobené výjimečnou příčinou, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným nastavením podmínek měření apod. Tyto chyby by však výsledky neovlivnily tak značně. Je možné, že byla poškozená LD (např. přepálená) a to mělo za příčinu odlišné vlastnosti oproti správně fungující. V důsledku toho se změřily odlišné hodnoty oproti předpokládaným.

Umístění zdroje LPS-PM1550-FC bez jakékoliv přídavné ochrany v nebezpečném prostředí by mělo být zcela bezpečné, neboť jeho maximální výstupní optický výkon je 1,8 mW, a tak hodnota intenzity 5 mW/mm^2 by neměla být překročena. Vzhledem k tomu, že mnou změřené hodnoty výstupního optického výkonu několikanásobně překročily bezpečnou mez intenzity, pro umístění zdroje do nebezpečného prostředí je zapotřebí aplikovat přídavná ochranná opatření probraná v kap. 3.

Kdyby tento zdroj byl umístěn v prostředí s nebezpečím výbuchu, tak při přerušení vlákna by došlo k vyzáření optického výkonu do prostoru a k následnému výbuchu. Proto je vhodné optická vlákna v nebezpečném prostoru více chránit, aby nedošlo k jejich poškození. To se provede umístěním vlákna do trubky, drážky či konstrukčně zpevněného kabelu po celé své trase nebo alespoň v prostoru kde se vyskytuje výbušná atmosféra.

Další možností ochrany je použít takový typ zařízení, které bude neustále měřit velikost optického výkonu. Při případné poruše vlákna či vysílače dojde ke změně velikosti optického výkonu, zařízení změnu zaznamená a vypne vyzařování paprsku v časovém intervalu, který je menší než doba potřebná ke vznícení. Tento typ ochrany optických systémů musí být velmi spolehlivý, a proto jsou také velmi drahé.



Obr. 7.1: a) trubky b) drážky c) konstrukčně zpevněné kabely

Optický výkon zdroje jde snížit také pomocí útlumového článku - atenuátoru. Tento pasivní prvek slouží pro přizpůsobení optického výkonu vzhledem k požadavkům optické sítě. Požadovaný útlum je dosažen speciálním dotovaným útlumovým vláknem bez závislosti na vlnové délce [13]. Útlumové články mají konektory jak samce, tak i samici a lze je tak vložit do libovolné části optické trasy. Pokud tedy máme zdroj optického záření, který má vysoký výstupní optický výkon a nám pro naši aplikaci stačí nižší, tak k tomu lze využít útlumový článek.



Obr. 7.2: Příklad útlumových článků.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámit se a prostudovat problematiku použití optických vláken v prostředí s nebezpečím výbuchu. Práci jsem rozdělil do několika částí.

V první části jsem se věnoval teoretickému rozboru daného cíle, který byl nezbytný pro pochopení této problematiky. Uvedená teorie nám poskytuje přehled, za jakých podmínek lze optické sítě bezpečně provozovat v prostředích EX zóny 0, 1 a 2, tedy v prostředích s výskytem výbušné atmosféry.

Hlavním bodem teoretického rozboru je kapitola 3 věnující se třem druhům ochran, které se používají pro zabránění vyzáření v takové velikosti a v tak velkém časovém intervalu, že by mohlo dojít ke vznícení výbušné atmosféry.

V praktické části jsem měřil 2 zdroje optického záření LPS-PM635-FC a LPS-PM1550-FC. Oba tyto zdroje by neměly přesáhnout bezpečnou mez dovolené intenzity 5 mW/mm^2 pro prostředí s nebezpečím výbuchu. U zdroje LPS-PM1550-FC jsem naměřil hodnoty několikanásobně překračující tuto dovolenou mez intenzity, bylo to zapříčiněno poruchou LD.

Kdyby tato situace nastala v prostředí, které obsahuje výbušné látky ve své atmosféře, mohlo by dojít k výbuchu. V praxi by to mělo nežádoucí důsledky, proto se všechny komponenty používané v takovém prostředí musí chránit, i když zdánlivě nepředstavují žádné riziko, protože při poruše může dojít k navýšení rizik, jak tomu bylo při měření druhého zdroje.

V práci je možné nadále pokračovat. Na poškozený zdroj LPS-PM1550-FC, který měl nepříjemné výsledky pro umístění do nebezpečného prostředí, by se aplikovala alespoň jedna z ochranných metod probraných v kapitole 3.

Poté se celé měření zopakuje a při porovnání starších výsledků bez ochrany a novějších výsledků s ochranou bude zřejmé, zda došlo ke zlepšení a jestli tento zdroj už nepředstavuje žádnou hrozbu pro použití v nebezpečném prostředí.

Díky této práci jsem více pochopil problematiku umístění optických systémů v prostředí s nebezpečím výbuchu. Při druhém měření jsem zjistil, že i u zdroje s bezpečnou úrovní vyzařované intenzity může dojít vlivem poruchy k několikanásobnému překročení dovolené bezpečné úrovně intenzity a proto je ochrana optických systémů v prostorech s výskytem výbušné atmosféry nezbytná.

LITERATURA

- [1] EN 60079-14:2003 *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)* vyd. BSI, 2003.
- [2] Příspěvatelé Wikipedie *Elektrická zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu* [online]. Datum poslední revize 10. 02. 2014, 20:20 UTC, [cit. 12. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.dustexplosion.info/hazardous%20area%20classification.htm>>.
- [3] *Hazardous Area Classification for Dusts* [online]. [cit. 12. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.dustexplosion.info/hazardous%20area%20classification.htm>>.
- [4] *Hazardous Area Classification and Control of Ignition Sources*, Health and Safety Executive, rev. Automa 22/09/2004. Dostupné z URL: <<http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasareaclass.htm>>.
- [5] ČSN EN 60079-28 *Výbušné atmosféry - Část 28: Ochrana zařízení a přenosových systémů používajících optické záření*. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] DOSTALÍK, M. *Elektrická zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu*, FCC PS Brno, Automa 1/2001. Dostupné z URL: <<http://www.mmgroup.cz/soubory/elektricka-zarizeni-v-prostredi-s-nebezpecim-vybuchu.pdf>>.
- [7] IEC 60079-0:2007 *Explosive atmospheres - Part 0: Equipment - General requirements*.
- [8] SCHENK, S. *Entzündung explosionsfähigen Dampf/Luft- und Gas/Luft-Gemischen durch kontinuierliche optische Strahlung*, PTB-Report W-67, ISBN 3-89429-812-X, 1996.
- [9] BOHÁČ, L. *optické sítě*, ČVUT Praha 2011.
- [10] MARŠÁLEK, L. *Optická vlákna* [online]. VŠB - Technická universita Ostrava, 2006 [cit. 18. 11. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>.
- [11] FILKA, M. *Přenosová média - Návod do laboratoří*, VUT Brno 2013.
- [12] URBAN, F.; MIKEL B. *Optoelektronika a optické komunikace*, VUT Brno 2011.

- [13] Příspěvatelé Wikipedie *Optical attenuator* [online]. Datum poslední revize 13 May 2015 01:38 UTC, [cit.20.5.2015]. Dostupné z URL: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Optical_attenuator&oldid=662089512>.

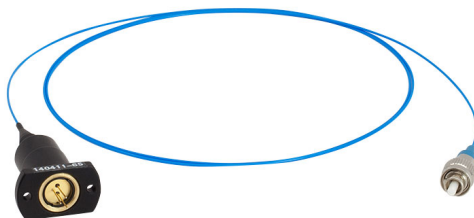
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

EX	Explosion protected
EPL	Equipment Protection Level
LED	Light Emitting Diode
MIE	Minimum ignition energy
LD	Laser Diode
FD	Fotodioda
VCSEL	Vertical-cavity surface-emitting laser
FP	Fabry-Perot
DFB	Distributed FeedBack
EML	The Externally Modulated Laser

SEZNAM PŘÍLOH

A	Parametry LD	44
B	Fotografie pracoviště	46
C	Obsah CD	48

A PARAMETRY LD



Obr. A.1: LPS-PM635-FC

Tab. A.1: Parametry pro LPS-PM635-FC (katalog. listy Thorlabs).

LD reverzní napětí (Max)	2 V		
PD reverzní napětí (Max)	30 V		
Optický výstupní výkon	2,0 mW (min)	2,5 mW (typ)	3.5 mW (max)
Provozní teplota	0 - 50 °C		
Pin kód	9A		
Laserová dioda	HL6320G		
Vlákno	PM630-HP		
Konektor	FC/PC		
	Min	Typ	Max
Vlnová délka	625 nm	635 nm	640 nm
Prahový proud*	20 mA	50 mA	75 mA
Sklonová účinnost*	0,13 mW/mA	0,15 mW/mA	-
Provozní proud $P_0 = 2,5 \text{ mW}^*$	-	70 mA	95 mA
Provozní napětí $P_0 = 2,5 \text{ mW}^*$	-	2,2 V	2,7 V
* Teplota 25 °C			



Obr. A.2: LPS-PM1550-FC

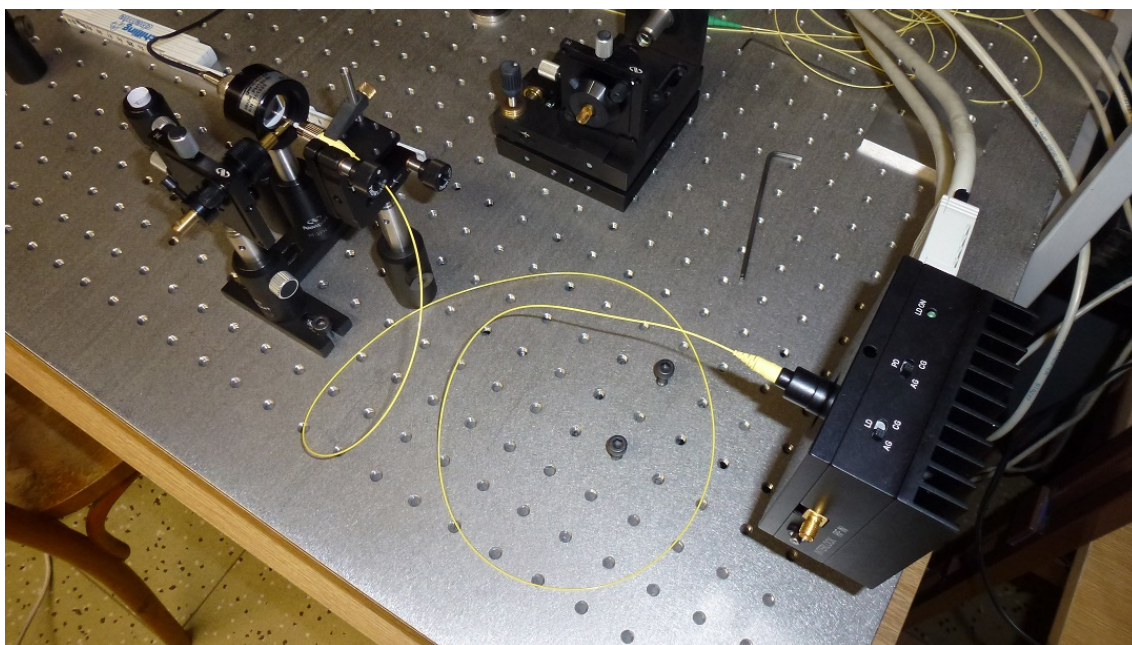
Tab. A.2: Parametry pro LPS-PM1550-FC (katalog. listy Thorlabs).

LD reverzní napětí (Max)	2 V		
PD reverzní napětí (Max)	20 V		
Optický výstupní výkon	1,2 mW (min)	1,5 mW (typ)	1,8 mW (max)
Provozní teplota	0 - 50 °C		
Pin kód	5D		
Laserová dioda	ML925B45F		
Vláknó	PM1550-HP		
Konektor	FC/PC		
	Min	Typ	Max
Vlnová délka	1520 nm	1550 nm	1580 nm
Prahový proud*	3 mA	10 mA	20 mA
Sklonová účinnost*	0,15 mW/mA	0,25 mW/mA	0,5 mW/mA
Provozní proud $P_0 = 1,5 \text{ mW}^*$	10 mA	30 mA	50 mA
Provozní napětí $P_0 = 1,5 \text{ mW}^*$	-	1,1 V	1,5 V
* Teplota 25 °C			

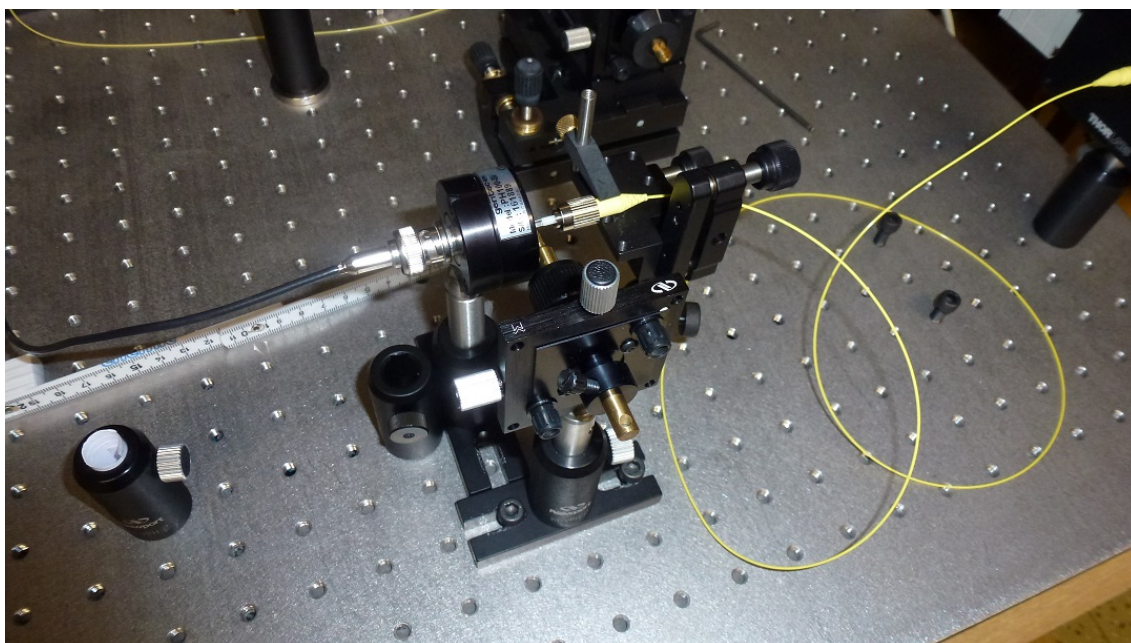
B FOTOGRAFIE PRACOVÍŠTĚ



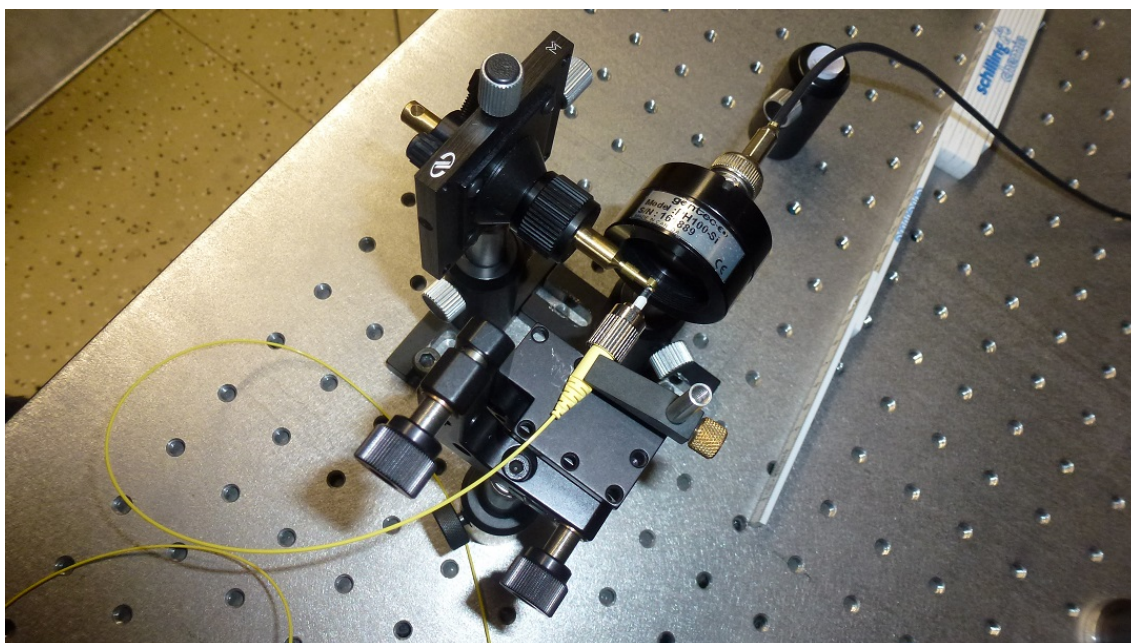
Obr. B.1: Fotografie zapojení celého pracoviště.



Obr. B.2: Detailní fotografie zapojení pracoviště.



Obr. B.3: Detailní fotografie zachycující umístění konce optického vlákna, kolimační čočky a detektoru ze strany.



Obr. B.4: Detailní fotografie zachycující umístění konce optického vlákna, kolimační čočky a detektoru ze shora.

C OBSAH CD

Elektronická verze bakalářské práce – Mafka_Martin.pdf

Součástí je také zabalený soubor BP_Mafka_Martin.rar v kterém jsou soubory pro L^AT_EX a obrázky.