



Kombinace aktivních a pasivních prvků v oděvech pro zviditelnění chodců

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Olga Jeřábková**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Combination of active and passive elements in garments for pedestrian visibility

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Bc. Olga Jeřábková**
Supervisor: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková





Zadání diplomové práce

Kombinace aktivních a pasivních prvků v oděvech pro zviditelnění chodců

Jméno a příjmení: **Bc. Olga Jeřábková**
Osobní číslo: T17000316
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie
Zadávající katedra: Katedra oděvnictví
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši na téma aktivní a pasivní prvky v oděvech pro zviditelnění chodců. Zaměřte se na lineární kompozity se stranově vyzařujícími optickými vlákny, popište jejich složení, vlastnosti a možnosti uplatnění. Studujte také možnosti využití luminiscenčních prvků.
2. Provedte měření intenzity vyzařování lineárních kompozitů s ohledem na vliv textilního obalu s využitím vybraných reflexních nebo jiných barev vláken.
3. Navrhněte a aplikujte metodiku testování intenzity vyzařování a doby svícení vybraných fosforescenčních zátěrů nasvícených stranově vyzařujícím optickým vláknem nebo lineárním kompozitem.
4. Stanovte závěry pro možnosti využití kombinace aktivních a pasivních prvků v oděvech zvýrazňujících siluetu chodců



Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran
Forma zpracování práce: tištěná



Seznam odborné literatury:


- Militký, J., Křemenáková, D. and Šašková, J. : Flexibility and Illuminating Power of Side.
- Emitting Polymeric Optical Fibers, Proc. TBIS 2018 11th Textile Bioengineering and Informatics Symposium, Advanced Materials and Smart Wearables, Manchester, July 2018.
- Křemenáková, D., Militký, J., Šesták, J. Editors: Vlákenné struktury pro speciální aplikace, Published by Publishing House of WBU, Pilsen 2013, (333 pages) Czech Republic.
- Crisp, J., Elliott, B.: Introduction to Fiber Optics. Elsevier third edition 2005.

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
Katedra materiálového inženýrství

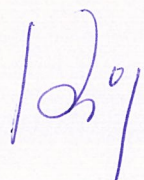
Konzultant práce: Ing. Jana Šašková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce: 14. prosince 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

V Liberci 14. prosince 2018

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

14. 4. 2019


Bc. Olga Jeřábková

Poděkování

Těmito slovy bych ráda poděkovala svojí vedoucí práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové za cenné rady a odborné vedení mé diplomové práce. Za její skvělý a vstřícný přístup během zpracování práce, inspirativní a přátelské rozhovory a ochotu. Zároveň děkuji za ochotnou konzultaci a pomoc při měření Ing. Janě Šaškové, PhD. V neposledním řadě, moc děkuji svým rodičům za neustálou podporu v průběhu celého studia. Za jejich nepřetržitou důvěru a stálé pobízení v mém životním směru v oboru, který jsem si zvolila. Děkuji svým přátelům a spolužákům za podporu, trpělivost a pomoc při studiu i při tvorbě mé diplomové práce.

Anotace

Diplomová práce řeší návrh struktury kombinující aktivní bezpečnostní prvek s pasivním prvkem pro zvýšení nápadnosti oděvu. Kapitoly řešeršní části jsou zaměřeny na segment oděvů se zvýšenou viditelností, je zde pojednáno o pasivních i aktivních prvcích bezpečnosti. V práci jsou rozebrány lineární kompozity se stranově vyzařujícími optickými vlákny a možnosti využití luminiscenčních prvků v textilních aplikacích. V experimentální části je na přístroji POFIN2 hodnocena specifická intenzita vyzařování na délce a na čase. Cílem práce je navrhnout a aplikovat novou metodiku hodnotící intenzitu vyzařování luminiscence v závislosti na čase a otestovat navržené hybridní struktury.

Klíčová slova: zvýšená viditelnost, bezpečnost, fosforescenční prvky, luminiscence, stranově vyzařující optická vlákna, intenzita vyzařování.

Annotation

The Diploma thesis deals with the design of a structure of combining an active security element with a passive element to increase the visibility of the garment. The chapters of the search section are focused on the segment of clothing with increased visibility, passive and active elements of safety are discussed. In this work linear composites with optical fibers radiating the side and possibilities of using luminescent elements in textile applications are analyzed. In the experimental part, the specific radiation intensity on the length and time is evaluated on the POFIN2 instrument. The aim of this thesis is to propose and apply a new methodology of luminescence intensity evaluation in dependence on time and testing of proposed hybrid structures.

Keywords: increased visibility, safety, phosphorescent elements, luminescence, optically emitting optical fibers, radiation intensity.

Obsah

Úvod.....	9
1 Rešeršní část.....	10
1.1 Viditelnost.....	10
1.1.1 Legislativa viditelnosti	10
1.1.2 Zvýšení viditelnosti a bezpečnosti.....	11
1.1.3 Rozlišitelnost postavy a umístění bezpečnostních prvků	15
1.2 Přehled současných bezpečnostních textilií.....	16
1.2.1 Pasivní bezpečnostní textilie.....	16
1.2.2 Aktivní bezpečnostní textilie.....	19
1.2.3 Kombinovaná „hybridní“ struktura	21
1.3 Stranově vyzařující polymerní optická vlákna.....	22
1.3.1 Princip funkce optických vláken.....	22
1.3.2 Lineární kompozit a jeho složení	23
1.3.3 Měření intenzity vyzařování SEPOF	26
1.4 Luminiscence v textilních aplikacích.....	28
1.4.1 Princip luminiscence	28
1.4.2 Využití luminiscenčních pigmentů	30
1.4.3 Měření emise luminiscenčního záření.....	33
2 Experimentální část.....	34
2.1 Experimentální vzorky.....	35
2.1.1 Návrh hybridních struktur	35
2.1.2 Popis hybridních struktur	36
2.1.3 Možnosti údržby hybridní struktury.....	37
2.2 Měření intenzity vyzařování hybridního systému.....	38
2.2.1 Návrh metodiky	38
2.2.2 Osvětlovací systém.....	39
2.2.3 Postup měření	40
2.3 Výsledky měření.....	45
2.3.1 Intenzita vyzařování jako funkce vzdálenosti od zdroje.....	46
2.3.2 Intenzita vyzařování jako funkce času.....	48
3 Diskuze	54
Závěr.....	56
Literatura.....	58
Seznam obrázků.....	62
Seznam tabulek.....	62
Přílohy.....	63

Seznam použitých zkratk

a_1	směrnice
a_2	směrnice
cm	centimetr
č.	číslo
obr.	obrázek
%	procento
tj.	to jest
tzv.	tak zvaně
L	hodnota jasu [cd m^{-2}]
GS	glow star bílá
HS	hybridní struktura
H_0 :	nulová hypotéza
H_A :	alternativní hypotéza
$l_{(A)}$	délkový úsek
L_c	vzdálenost průsečíku
I_0	počáteční intenzita
$M(A)$	intenzitu vyzařování [W m^{-2}],
m	metr
mm	milimetr
mm^2	milimetr krychlový
P	výkon [mA]
PAD	polyamid
PES	polyesterová vlákna
PET	polyethylenová vlákna
POP	polypropylenová vlákna
PZ	pigmentová záhustka
q_1	úsek
q_2	úsek
S_s	aktivní plochu [m^2]
t	čas [s]
v	rychlost [km/h]
Viz	vizte
B	parametr [-]
τ	parametr [s]
Φ_V	intenzita zářivého toku [W]

Úvod

Existují reálná řešení pro zajištění bezpečnosti účastníků silničního provozu, založená na systému odrazivosti – pasivní prvky a svítivosti – aktivní prvky, která jsou vhodně zabudována do textilních struktur v „biomotion“ – biologický pohyb). Je však pravda, že materiály poskytují informaci o daném objektu jen za vybraných podmínek a v řadě praktických situací. Základním omezením retro reflexivních prvků je to, že bez externího osvětlení nefungují, tj. že se retroreflexe neprojeví. Také luminiscenční materiály vyžadují aktivní zdroj energie. Činnost prvků aktivní bezpečnosti, je řešeno vhodným napájením, které omezuje jejich působení do několika hodin. Je třeba zajistit jeho vhodné dobíjení. Využití hybridní struktury obsahující luminiscenční prvky ve spojení s vláknovými (liniovými) zdroji světelného záření umožní celému systému prodloužit dobu fungování i po vyčerpání energie pro aktivní osvětlení. Tento přístup zároveň otvírá nové možnosti nekonvenční design a stylistická řešení oděvu.

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem této práce je navrhnout hybridní strukturu, která by vhodným způsobem prodloužila dobu aktivní viditelnosti nositele, tj. účastníka silničního provozu. Ve struktuře hybridního modelu se kombinuje aktivní prvek, lineární kompozit obsahující stranově vyzařující polymerní optické vlákno, který aktivuje pasivní část struktury zastoupené luminiscenčním materiálem. Snahou je nalézt vhodný způsob, kterým by se prodloužila doba aktivní viditelnosti celého systému a zamezilo se nevýhodě prvku aktivní bezpečnosti zapříčiněné omezenou kapacitou baterie. Pro vypracování práce byly stanoveny tyto dílčí cíle:

1. V rámci rešeršního průzkumu je identifikovat funkční priority vizuálně nápadných prvků v oděvu, zaměřit se na segment aktivních a pasivních prvků bezpečnosti a blíže je studovat.
2. Provést měření intenzity vyzařování lineárních kompozitů užívaných pro aktivní bezpečnost a navrhnout hybridní strukturu, tj. řešení kombinující aktivní a pasivní prvky bezpečnosti.
3. Nalézt vhodnou metodu hodnotící intenzitu vyzařování na určité délce, v čase a otestovat navržené hybridní struktury.
4. Stanovit závěry a možnost využití hybridní struktury.

1 Rešeršní část

1.1 Viditelnost

Viditelnost je možné definovat vzdáleností, na kterou lze spatřit objekt nebo zdroj světla. [1] Je důležitým parametrem pro dopravu a její omezení závisí na mnoha faktorech. Viditelnost je ovlivněna nepříznivými klimatickými podmínkami jako je mlha, sněžení, hustý déšť či důsledek prachu a znečišťujících látek rozptýlených ve vzduchu (viz obr. 1). Bezpečnostní oděv míněno oděv s vysokou viditelností hraje důležitou roli při ochraně osob pohybujících se na silnici za snížené viditelnosti, na nepřehledných a jinak rizikových místech. Největšímu riziku jsou vystaveni chodci obzvláště pak děti, cyklisté, záchranáři, pracovníci na silnicích, vozíčkáři, lidé s kočárky a jiní. Základem silniční dopravy je nesporně pravidlo vidět a být viděn.

1.1.1 Legislativa viditelnosti

Legislativa klade důraz na větší bezpečnost chodců, zvýšením viditelnosti, která by charakterizovala přítomnost osoby pohybující se na pozemní komunikaci. Novela zákona silničního provozu (§ 53 zák. 361/2000 Sb.) zavazuje chodce povinností mít na sobě reflexní prvky, tak aby byly viditelné pro ostatní účastníky silničního provozu, pokud se za snížené viditelnosti pohybuje mimo obec po krajnici nebo okraji vozovky v místě, které není osvětleno veřejným osvětlením.

Tato novela však nedefinuje velikost, množství ani umístění těchto odrazivých materiálů. Třebaže oděv obsahuje reflexní prvek, rozpoznat reálný obrys chodce může být často problematické. Tato nevýhoda se kompenzuje normativním předepsaným umístěním fluorescenčních a retro-reflexních prvků (EN 471). Normy většinou specifikují požadavky pro pracovní oděv u osob, které mohou být vystaveny nebezpečí v dopravě. Standard se vztahuje na oděvy vhodné pro denní nošení, noční upotřebení – s funkcí zpětného odrazu světla a jejich vzájemnou kombinaci.

Zhoršená viditelnost snižuje u řidičů vnímání okolních podnětů a způsobuje zpomalení reakcí. Naše viditelnost zásadně ovlivní to, zda se řidič vyhne nebo narazí. [2] Podle pravidel silničního provozu určena situací, kdy „účastník silničního provozu dostatečně jasně nerozezná jiná vozidla, osoby, zvířata nebo předměty na pozemní komunikaci od soumraku do svítání, za mlhy, sněžení, hustého deště nebo v tunelu“ (§ 2 zák. 361/2000 Sb.)



Obrázek 1: Viditelnost přes rozednění, za oblačného dne, nebo za soumraku

1.1.2 Zvýšení viditelnosti a bezpečnosti

Nyní z pohledu řidiče. Uvážíme-li, že se na silnici pohybuje chodec v černém kabátě. Faktory, které ovlivňují jeho viditelnost jsou např. již zmíněné klimatické podmínky, druh pouličního osvětlení a světelného reflektoru vozidla, barevnost oblečení, přítomnost, respektive absence bezpečnostních prvků a v neposlední řadě schopnost řidiče včas reagovat, jež závisí na jeho věku a (bez)vadném zraku. V takovém případě je chodec v černém kabátě prakticky neviditelný a otázka zvýšení viditelnosti je na místě. Ilustrace, viz obr. 2. Aktivní a pasivní prvky bezpečnosti mají za úkol upozornit okolí na přítomnost účastníka silničního provozu a zvýšit prevenci vážných a smrtelných dopravních nehod, zapříčiněných nedostatečnou viditelností.

1.1.2.1 Bezpečnost na silnicích

Ze základních statistik o počtu dopravních nehod [3] vyplývá, že v roce 2018 zemřelo na silnicích 113 chodců a 38 cyklistů. Nejhorším a nejtragičtějším obdobím co do množství dopravních nehod na pozemních komunikacích je podzim. Právě v tomto období je brzká ranní a večerní tma, častá mlha a jinak nepříznivé klima, jež snižuje pozornost řidiče. Statistiky rovněž ukazují, že k smrtelným nehodám opakovaně dochází na silnicích III. třídy, nejčastěji pak mimo obec. Ukazuje se, že mají tendenci přeceňovat svou vlastní viditelnost. U cyklistů je situace mírnější, možná z toho důvodu, že bezpečnostní prvky na jízdním kole jsou nezbytnou součástí povinného vybavení. V obou případech je významné nebýt pouze spatřen jako bod (překážka) o níž se neví, jak velká je. Při návrhu bezpečnostních prvků by se měl být kladen důraz na zvýraznění siluety.



Obrázek 2: Ukázka vzdálenosti reakce řidiče na překážku [4]

Obrázek 2 ukazuje obvyklé vzdálenosti, při kterých je řidič schopen rozpoznat chodce. Současně porovnává účinnost jednotlivých bezpečnostních prvků, kterými je možné zvýšit svou viditelnost a tím i ochranu. Obrázek byl převzat z [4]. Použitím retro-reflexních prvků se viditelnost nositele zvýší na 200 m. U aktivních bezpečnostních prvků se viditelná vzdálenost pohybuje v rozsahu 500 m–5 km, což řidiči poskytuje dostatečně dlouhý čas na úhybný manévr, jak ilustruje obr. 2 přezvaný ze zdroje [4].

Pokud hledáme vhodné oblečení, které by zvýšilo kontrast vůči pozadí a tím naši viditelnost, je třeba brát v úvahu tento fakt: „Každý řidič při rychlosti 75 km/h potřebuje nejméně 31 metrů tj 1,5 sekundy na to, aby si uvědomil nebezpečí a vhodně reagoval. [5] Průzkum v této oblasti odhalil mnohá reálná řešení zvyšující bezpečnost, které jsou založeny na *systemu odrazivosti* – pasivní prvky bezpečnosti, jiné na *systemu svítivosti* – aktivní prvky bezpečnosti. [6, 7]

Policie ČR, Besip a řada státních úřadů od roku 2013 podporuje projekt [5], který má za cíl zvyšování bezpečnosti pohybu na ulici, zejména dětí. Snahou je vybavit mateřské školy a první stupeň základních škol retro-reflexními prvky. Ty jsou k dostání jako oděvní doplňky v podobě vest, obalů na batohy, nebo ve formě pásek, které zvyšují viditelnost nositele na 3x větší vzdálenost než bílé oblečení a více než 10x větší vzdálenost než modré oblečení.

1.1.2.2 Úroveň ochrany

Typickými aplikacemi bezpečnostních textilií jsou ochranné bezpečnostní vesty, kombinézy, bundy apod. [8]. Umístění a testování ochranných prvků sleduje řada mezinárodních norem [9], z nichž EN ISO 20471:2013 je pro textilní oblast nejdůležitější. Výhoda retro-reflexe a fluorescence je plošná, takže zobrazuje vybrané části objektu. Na druhou stranu obvykle neumožňuje zobrazení obrysu objektu, což může negativně ovlivnit rozhodování o jejich skutečné velikosti. Tato nevýhoda se kompenzuje předepsaným umístěním těchto prvků např. na oděvech.

Evropská norma EN ISO 20471 specifikuje požadavky na oděvy s vysokou viditelností, které zajišťují vizuální signalizaci přítomnosti uživatele. Evropská norma EN 471 mimo jiné definuje, jak mají být tyto materiály testovány na stálobarevnost, oděr, ohýbání, střídání teplot, praní a chemické čištění. Oděvy s vysokou viditelností mají fluorescenční povrch a v kombinaci s retro-reflexním materiálem se řadí do 3 tříd, viz. obr. 3. Jasový a barevný kontrast je tedy zajišťován pomocí dvou jevů a sice retro-reflexe a fluorescence.

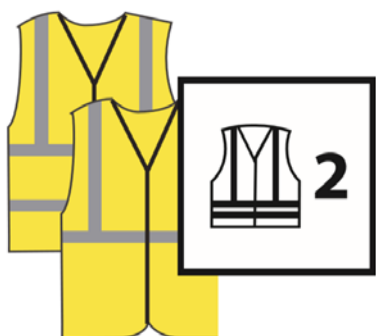
Americká národní norma ANSI/ISEA 107-2015 podrobně popisuje požadavky na výkonnost všech materiálů používaných při konstrukci bezpečnostního oděvu s vysokou viditelností (HVSA). Tato norma poskytuje jednotný a komplexní dokument, která zohledňuje všechny profesní úkony. Oděvy, které splňují tento standard, je možné nosit 24 hodin denně. Norma nadále představuje tři výkonnostní třídy oděvů na základě množství viditelných materiálů a atributů designu začleněných do konečné konfigurace a identifikuje typy oděvů na základě očekávaných nastavení použití a prováděných pracovních činností. Ty jsou označeny jako terénní (typ O), silniční a dočasné řízení dopravy (typ R) nebo činnosti veřejné bezpečnosti (typ P).

Australská norma AS/NZS 4602.1:2011 specifikuje požadavky na bezpečnostní oděvy s vysokou viditelností. Standard se vztahuje na tři různé klasifikace oblečení pro zvýšení viditelnosti: 1. třída (D) - oděv vhodný pouze pro denní nošení s použitím fluorescenčních materiálů; 2. třída (N) - oděv s nočním upotřebením s retro-reflexním materiálem na „nespecifickém pozadí“; 3. třída (D/N) - je vzájemnou kombinací materiálů předešlých dvou tříd s možností užití ve dne i v noci a funkcí zpětného odrazu světla.



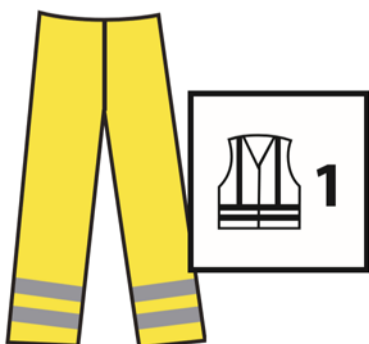
EN 471 Třída 3 – nejvyšší úroveň

Třída s vysokými nároky na viditelnost. Nutná pro osoby pracující v blízkosti dálnic a na letištích. Musí obsahovat minimálně 0,80 m² fluorescenčního materiálu a 0,20 m² retro-reflexního materiálu. (Přibližně 4 m reflexní pásky široké 5 cm.)



EN 471 Třída 2 – střední úroveň

Třída, která představuje lepší ochranu ve dne, za soumraku a mlze. Je povinná pro všechny osoby pracující v blízkosti silnic II. a III. třídy, na železnicích, staveništích, parkovacích místech a pro řidiče zásobovacích aut. Musí obsahovat minimálně 0,50 m² fluorescenční plochy a 0,13 m² retro-reflexního materiálu. (Tj. 2,6 m reflexní pásky široké 5 cm.)



EN 471 Třída 1 – minimální úroveň

Minimální úroveň ochrany vyžadované pro všechny osoby pracující na soukromých cestách, kde existuje malý stupeň rizika anebo pokud mají být použity ve spojení s vyšší klasifikační třídou oděvu. Musí obsahovat minimálně 0,14 m² fluorescenčního materiálu a 0,10 m² retro-reflexního materiálu. (2 metry reflexní pásky široké 5 cm.)

Obrázek 3: ukázky řešení ochranného oděvu

Uvedené normy věnují pozornost zvýšeně viditelným oděvům pro profesní užití. U nich je zásadní sledovat jejich optické vlastnosti, minimální plochu fluorescenčního a retro-reflexního materiálu a umístění vzhledem k pohybovým charakteristikám. Jako pasivní prvky bezpečnosti mají nedostatek v tom, že bez externího osvětlení nefungují, což je z hlediska využití pro identifikaci osob v silničním provozu nebezpečné, protože nositelé těchto prvků jsou přesvědčeni o své „viditelnosti“ a jejich reakce v silničním provozu jsou potom často neadekvátní. Bohužel neexistuje jediná norma, která by brala v úvahu aplikaci aktivních bezpečnostních prvků, přestože svými optickými vlastnostmi v mnohém převyšují funkční vlastnosti prvků pasivní bezpečnosti.

1.1.3 Rozlišitelnost postavy a umístění bezpečnostních prvků

Viditelnost charakterizující přítomnost osoby na pozemní komunikaci není jediným problémem, s nímž se řidič potýká. Za snížené viditelnosti, na nepřehledných a jinak rizikových místech je jím právě rozlišitelnost, která souvisí s reálným obrysem, resp. tvarem účastníka silničního provozu. Zákon (§ 53 zák. 361/2000 Sb.) sice nařizuje užití retro-reflexních prvků, ale již neudává umístění a množství. Norma EN 471, která tyto složky blíže specifikuje se zaměřuje na zvýšeně viditelné oděvy pro dospělé. Proto je možné za nejvíce ohroženou skupinu pokládat chodce zejména pak děti, důchodce, vozíčkáře a maminky s kočárky, kde užití bezpečnostních prvků závisí na jejich vlastní intuici. Méně ohroženou skupinu tvoří cyklisté, záchranáři a pracovníci na silnicích, jejichž zvýšeně viditelné prostředky a oděvy podléhají přísným normám.

M. Kuzmová provedla experimentální studii [10], která řeší problematiku bezpečnostních oděvů a doplňků pro děti – vhodné umístění, tvar a velikost retro-reflexního prvku. Inovativní metodou bylo zjištěno optimální množství retro-reflexního materiálu, které by mělo pokrýt 20-37 % celkové plochy dětského oděvu.

Jiné studie dokazují, že řidič automobilu rychleji reaguje na chodce, který má reflexní prvky aplikované na pohyblivých částech svého těla. [11, 12] Tím je možné vnímat jeho biologický pohyb (*biomotion*). Zápěstí, kotníky, kolena a trup jsou klíčovými místy, kde by chodci, respektive běžci měli nosit reflexní materiál. Je to z toho důvodu, že komplexní model pohybu těla, není podobný žádnému jinému pohybovému vzoru nalezenému v přírodě a lidský vizuální systém je výjimečně citlivý na tyto vzorce tvaru a pohybu. To platí stále, i když je obraz pohybujícího se člověka rozdělen na jednodušší vizuální komponenty, tj. jednotlivé body.

Pokud se má u osob zúčastněných silničního provozu zvýšit bezpečnost, tj. nejen viditelnost, ale i rozlišitelnost, je třeba respektovat fakt, že samotná aplikace retro-reflexních prvků bohužel nestačí. Tyto retro-reflexní textilie zviditelní osoby či předměty, jen při přímém osvětlení a na omezenou vzdálenost. [6] Celkově nejvýhodnější je použití polymerních optických vláken, které je možné přímo zabudovat do textilních struktur a následně aplikovat do oděvu v již zmíněné oblasti *biomotion*, a tak mohou jednoduše a účinně zvýraznit reálný obrys chodce.

1.2 Přehled současných bezpečnostních textilií

Z přehledu současných bezpečnostních prvků, které se aplikují do oděvu za účelem snadnější identifikace objektu za snížené viditelnosti, je možné tyto struktury rozdělit do tří zvláštních kategorií. [6]

První kategorii bezpečnostních textilií, lze označit jako pasivní. Je to proto, že sami o sobě nevyzařují žádné světlo. Jejich povrch však umožňuje při přímém osvětlení z určité vzdálenosti odrazit světlo zpět ke zdroji – reflektoru vozidla, nebo reemitovat dopadající světelné paprsky tak, že se v určité části spektra jeví jako by jejich odrazivost byla vyšší než 100 %. [7, 8]

Druhou úroveň bezpečnostních textilií tvoří aktivní prvky, které se v současné době těší významnému pokroku a zájmu. [13, 14] Jejich výhodou je, že nezávisí na podmínkách externího osvětlení, využívají vlastní zdroj světla, tudíž potřebují vlastní napájení – zdroj energie a fungují i za tmy. [6]

Poslední třetí kategorii lze pokládat tzv. hybridní struktury, které kombinují prvky z předešlých dvou tříd. Dohromady tvoří strukturu, která využívá výhody pasivních prvků, jež nejsou závislé na vlastním zdroji energie, na napájení a fungují takříkajíc neomezeně a funkční výhody aktivních prvků, jež samy o sobě signalizují přítomnost objektu (chodce, cyklistu, aj.). Což je cílem této diplomové práce.

1.2.1 Pasivní bezpečnostní textilie

Komplexně nejjednodušším a na trhu nejdostupnějším způsobem, jak lze zvýšit viditelnost chodců, je pomocí barev s vyšším celkovým odrazem. Pokud je oblečení vybaveno fluorescenčním materiálem, zvyšuje se jeho viditelnost na denním světle a za soumraku. Z důvodu toho, že fluorescenční materiály ve tmě svou funkci ztrácejí, bývají oděvy často doplňovány retro-reflexními doplňky, které jsou funkční i v noci a zvyšují viditelnost na větší vzdálenost. Použitím odpovídajícího množství a kombinace těchto prvků, lze dosáhnout podle normy EN 471 nejvyšší úrovně ochrany za předpokladu, že dojde k přímému osvětlení. Dá se říci, že v oblasti pasivní bezpečnosti je jakousi novinkou na trhu světlo-emitující (fosforescenční) materiály [8], přestože historie luminiscence je velmi stará. Fosforescenci spolu s fluorescencí řadíme k tzv. fotoluminiscenci. Více je popsáno v kapitole 1.4.

1.2.1.1 Retro-reflexní prvky

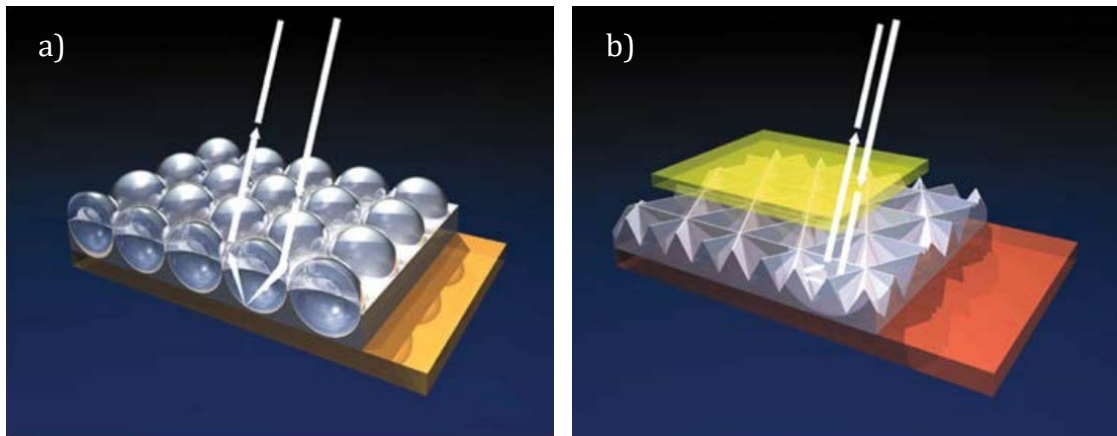
Trh s reflexními prvky je rozmanitý. Je vhodnější, pokud je retro-reflexní prvek součástí oděvu než jen jako doplněk, který může být pro některé nositele nepohodlný, složitý na aplikaci, nebo zapomenut v tom nejhorším případě. Zběžný průzkum trhu [10] odhalil, že reflexní (tj. retro-reflexní a fluorescenční) materiály nejsou příliš nákladné. Při dnešní nabídce na trhu lze zakoupit různé druhy reflexních prvku (reflexní nitě, paspule, našívací retro-reflexní proužek, nažehlovací fólie, zdrhovadlo, loga, aj.), doplňků (reflexní samo-navíjející pásy, reflexní samolepky, přívěsky a odrazky, reflexní vesty, potahy a doplňky jako jsou čepice, kšiltovky aj.) či hotových výrobků, jako například reflexní oblečení (bundy), boty, batohy, pláštěnky, které jsou módní a oblíbené.

Mezi novinky je možné zařadit neviditelný reflektivní sprej [16] který se rozzáří pod reflektory vozidla. Jedná se o projekt společnosti Volvo, která se zaměřuje na bezpečnost cyklistů a chodců na silnici. Hlavním záměrem byli cyklisté, je však použitím na oblečení vhodný i pro chodce, boty či batohy. Sprej neznehodnocuje materiál, protože se jednoduše vypere. Jeho účinnost je dočasná, vydrží cca týden a pak je nutné jej znovu aplikovat na materiál [10].

1.2.1.2 Princip funkčnosti

Retro-reflexe je zvláštní optický jev, který se týká odrazu světelných paprsků. Z latinského původu "*reflecto*" znamená ohýbat se a „*retro*“ je zpět čili při retro-reflexi se většina dopadajících paprsků vrací v úzkém kuželu zpět ke zdroji světelného paprsku. Množství odraženého světla závisí na kvalitě materiálu a způsobu výroby, buď se jedná o vrstvu mikroskopických kuliček nebo hranolů.

Odborná literatura [7] zmíněné optické prvky založené na poměrně jednoduchém geometrickém principu retro odrazu nazývá jako **koutový odražeč** – tvořen třemi zrcadlovými na sebe kolmo usazenými plochami, které takto dohromady tvoří roh krychle (hranolu), nebo **reflexní sférou** jež odráží dopadající paprsek vždy v původním směru. Při vzniku retro-reflexních pásků – fólií se užívá uspořádání základní strukturní jednotky, tj. koutového odražeče nebo reflexní sféry do plochy. Pro lepší názornost, viz obrázek 4.



Obrázek 4: Složení retro-reflexních fólií a systém optické retro-reflexivity:
a) reflexní sféra, b) koutový odražeč.

Uvedená literatura [17] dělí retro-reflexní folie podle vnitřní struktury do tří základních skupin: Folie se zapuštěnými mikrokuličkami, folie se zapouzdřenými mikrokuličkami nebo folie s koutovými odražeči.

Přirozenou vlastností retro-reflexních prvků je stárnutí. Už vzhledem k tomu, že retro-reflexní pásy jsou běžnou součástí pracovních oděvů, které podléhají časté údržbě. Obecně závisí na typu materiálu, na podmínkách jeho používání, na prostředí a na postupech údržby. Na retro reflexní vlastnosti všech odrazivých materiálů má vliv znečištění. Každý druh špíny, včetně kapalných chemikálií, tuků a podobných látek, snižuje jas znečištěného místa a obvykle mohou stříbrný retro reflexní středový proužek poškodit [7].

1.2.1.3 Měření retro-reflexe

Ke kontrole výkonu reflexního pásku slouží retro-reflektometr, který měří zpětný odraz světelného paprsku pomocí detektoru, rotujícího okolo světelného zdroje. Měření je prováděno podle řady normativních předpisů, které vycházejí z mezinárodního standardu CIE [18]. Při měření je třeba uvažovat účinek spektrálního složení použitého osvětlení, podle [19]. Na výslednou hodnotu jasu L [cd m^{-2}] má mimo jiné vliv umístění objektu v prostoru. Měření bere v úvahu předpoklad, že hodnocený objekt (dopravní značka, nositel oděvu s vysokou viditelností) může být pozorován pod různým úhlem vzhledem k světelnému zdroji. Z hlediska pozorovatele je důležitou sekcí tzv. kritický detail, který si oko umísťuje do centra zorného úhlu. Pro přímé rozlišení kritického detailu je rozhodující jeho bezprostřední okolí, dohromady tvoří pozorovaný předmět [7].

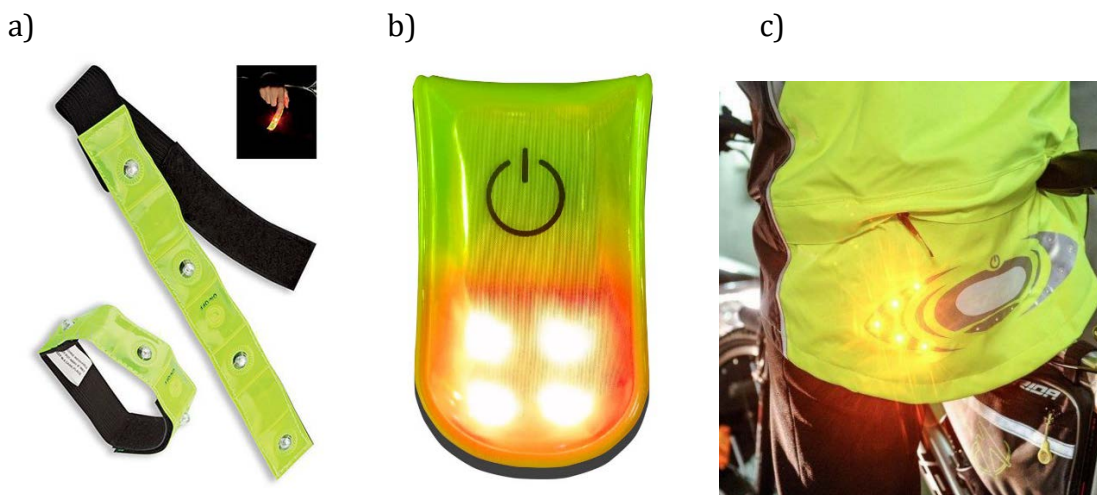
1.2.2 Aktivní bezpečnostní textilie

Jedná se o druh bezpečnostních textilií, které využívají vlastní zdroj světla. Pro zajištění funkce aktivního osvětlení je nezbytné napájení a také jeho dobíjení. Oděvy se zabudovanými aktivními bezpečnostními prvky nejsou závislé na podmínkách externího osvětlení. Jejich využití se v dnešní době těší vysokému zájmu a vývoji, více v následujících podkapitolách. Aplikací elektroniky a osvětlovacích prvků ať už bodových LED diod nebo liniového zdroje záření je možné nejen zlepšit viditelnost ale současně i upozornit na změnu směru jízdy, nebo brždění. To je úkolem inteligentního oděvu, kam vývoj aktivních bezpečnostních prvků s perspektivou směřuje.

1.2.2.1 Bodové zdroje světelného záření

Hlavním představitelem bodových zdrojů světelného záření je LED dioda – elektronická polovodičová součástka stará více než 40 let. Oficiální název je organická elektroluminiscenční dioda, jejíž výroba je v současnosti masově rozšířena. Důvodů je víc. Jednak je technologicky zcela na jiné úrovni – světelný tok překonává jiná konvenční svítidla a pak LED dioda pracuje s poměrně malými hodnotami vstupního napětí a proudu, což je z hlediska textilního užití výhodné. [20]. V textilním segmentu se tyto světlo emitující diody LED užívají v kombinaci s retro-reflexními textiliemi, které díky vlastnímu zdroji fungují i za tmy, nezávisle na podmínkách externího osvětlení.

Textilní reflexní pásek, odnímatelná magnetická LED nebo cyklistická světelná reflexní bunda, která byla vyvinuta na katedře oděvnictví fakulty textilní na Technické univerzitě v Liberci [14], může být názorným příkladem využití LED diod v oděvu jako aktivní prvek bezpečnosti či jako signalizační prvek pro komunikaci s ostatními účastníky silničního provozu, viz obr. 5 a-c. Existují i jiné studie [21], které popisují další způsoby aplikace bodových LED zdrojů do oděvních struktur. Proto aby aktivní struktura s LED diodami vydržela co nejdéle, je třeba zajistit její optimální chlazení. Ohřev je významný problém, a to z toho důvodu, že čím vyšší proud jím prochází tím roste nejen množství produkovaného světla, ale současně i tepla [20]. Z hlediska životnosti jsou bodové zdroje záření v textilních strukturách výrazně citlivé na mechanické namáhání a působení vlivu okolí. Intenzita záření LED diod závisí na druhu čipu a typu zapouzdření. Obecně rychle klesá, a to s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje [6].



Obrázek 5: Ukázka bezpečnostních prvků s bodovými zdroji záření.

- a) *Textilní reflexní pásek se čtyřmi LED diodami*
- b) *Odnímatelná magnetická LED*
- c) *Cyklistická signalizační světelná reflexní bunda*

1.2.2.2 Vláknové zdroje světelného záření

Také v této aktivní bezpečnostní struktuře je základním prvkem LED dioda, jejíž světlo je vedené a průběžně vyzářené povrchem stranově vyzařujícího polymerního optického vlákna. Ta vznikla modifikací standartních koncově svítících optických vláken, více v kapitole 1.3. Pro zajištění aktivní funkce je třeba zajistit upevnění konců vlákna ke zdroji světla – LED diodě a k vhodnému napájení – baterii. Činnost baterie je časově omezená, obvykle vydrží více než 4 hodiny za kontinuálního osvitu. [6] Z toho důvodu je třeba řešit vhodné dobíjení. Pro vláknové zdroje světelného záření je významným parametrem vlastnost útlumu, která je dána průměrem vlákna a světelným výkonem [22]. Ve výsledku všechny tyto vlastnosti určují reálnou délku vlákna. Je dokumentováno [6], že pracovní délka vlákna, kterou je účinné aplikovat do oděvu, dosahuje hodnot 2-4 metrů.

Na Fakultě textilní TUL byly v rámci projektu *MPO TIP FR-TI1/242* navrženy opticky aktivní bezpečnostní textilie. Plánem projektu bylo integrovat do bund, vest, kabelek, batohů aj. lineární kompozit – stranově vyzařující polymerní optické vlákno chráněné textilním obalem, připojen na zdroj světla s řídicím obvodem a baterií. Projekt byl ukončen v r.2013 řadou prototypů aktivních bezpečnostních textilií a patentem [23] a návrhem patentu [24]. Bylo zjištěno, že textilní obal zvyšuje a zrovnoměrňuje intenzitu vyzařování (zejména při použití reflexních barev na vláknech), chrání stranově vyzařující optické vlákno proti účinkům okolí (hlavně působení UV) a umožňuje jednoduché zapracování do textilie.



Obrázek 6: Ukázka bezpečnostních textilií s využitím vláknového zdroje záření. [4]

a) Textilní bezpečnostní pásek na ruku,

b) Svítící školní batoh,

c) Funkční reflexní vesta s aktivním vyzařujícím vláknem.

V současné době se na trhu vyskytuje jen opravdu málo firem, které využívají vláknové zdroje světelného záření pro zabudování této aktivní bezpečnostní lineární struktury do oděvu. Společnost SCILIF je jednou z předních ve vývoji a v produkci technologických řešení na bázi stranově vyzařujících polymerních optických prvků v oblasti bezpečnostních oděvů. Výše uvedený obr. 6 zobrazuje možnosti aplikace technologie SunFibre® – stranově vyzařující světlovod firmy SCILIF. [4] Výrobou paspulí s integrovanými stranově vyzařujícím optickým vláknem se zabývá firma STAP [], která se v této oblasti aktivně podílí na jejím vývoji.

1.2.3 Kombinovaná „hybridní“ struktura

Z rešeršního průzkumu je zřejmé, že použití aktivních prvků je všestranně atraktivní. Jedinou nevýhodou jejich fungování je časové omezení, které závisí na kapacitě baterie. Z toho důvodu se nabízí řešení, které by při aplikaci stranově vyzařujících optických vláken do textilií využili výhod pasivních prvků, zejména pak těch luminiscenčních s fosforescenčními pigmenty. Tyto luminiscenční prvky mají schopnost sekundárního vyzařování (v řádu několika minut až hodin). Jejich vzájemnou kombinací lze obdržet hybridní strukturu *obsahující luminiscenční prvky v kombinaci s vláknovými (liniovými) zdroji světelného záření*, která by teoreticky mohla významným způsobem prodloužit dobu fungování celého systému aktivního vyzařování a eliminovat tak nevýhodu spojenou s náhlým vyčerpáním energie pro aktivní osvit. Pro zajištění fungování celého systému je třeba řešit aktivaci luminiscence. Což je cílem experimentální části této diplomové práce.

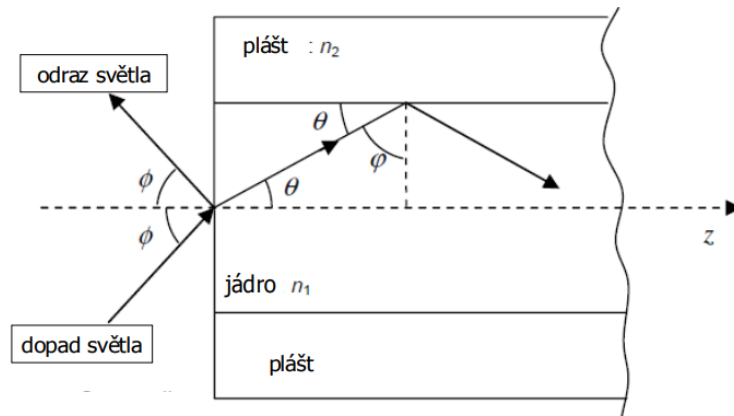
1.3 Stranově vyzařující polymerní optická vlákna

Polymerní optická vlákna (POF) byla vyvinuta k přenosu světla a informací, jako pružné vlnovody z téměř průhledných dielektrických materiálů na bázi polymethylmetakrylátu, polykarbonátu, polystyrenu nebo perfluoru. Typické „světlovody“ mají jádro-plášťovou strukturu. Jádro tvoří polymer s vysokým indexem lomu a plášť je tvořen polymerní vrstvou s nízkým indexem lomu, čímž je zajištěno vedení světla uvnitř vlákna a minimální ztráty vyzařováním z boku. Jak už bylo zmíněno v úvodu, POF jsou využívána především pro přenos dat na velké vzdálenosti při vysokých rychlostech. Jistou modifikací POF, která bude popsána v následující kapitole 1.3.1, lze u těchto speciálních vláken docílit stranového vyzařování a získat tak polymerní optické stranově vyzařující vlákno (SEPOF), které má spolu s klasickými POF vlákny uplatnění, které se ještě dále rozšiřuje do oblasti speciálních textilií, jako jsou displeje, aktivní bezpečnostní textilie a speciální efekty pro oděvní textilie a netkané výrobky. [22]

1.3.1 Princip funkce optických vláken

Šíření světla v optických vláknech je proces založený na zákoně odrazu. Pokud světlo prochází z prostředí s nižším indexem lomu do prostředí s vyšším indexem ohýbá se (lomí) směrem k normálové rovině mezi prostředími. V opačném případě se světlo ohýbá směrem od normálové roviny (odráží). Pokud je úhel dopadu větší, než kritický úhel je veškerá světelná energie odražena zpět – úplný vnitřní odraz, využívá k vedení světla v optických vláknech. Pokud vstupuje světlo pod vyšším úhlem dochází k částečnému vyzáření a odráží se pouze část celkové světelné energie – princip funkce SEPOF. V současné době existují nejrůznější typy stranově vyzařujících optických vláken, jejichž výrobní metody jsou patentově chráněny [32, 33]. Obecně lze stranového vyzařování u optických vláken dosáhnout následujícími způsoby [22]:

1. Zabudováním klasických POF do textilních struktur, čímž dojde k vícenásobnému mikro-ohýbání a tím k lokálnímu stranovému vyzáření.
2. Rozptýlením mikro částic do polymerního jádra nebo pláště v průběhu výroby vlákna.
3. Chemickým nebo mechanickým narušením povrchu optických vláken.
4. Změnou poměru indexů lomu jádra i pláště.
5. Použitím speciálních polymerů pro tvorbu „zrcadlových“ vláken.



Obrázek 7: Princip úplného odrazu v optickém vlákne

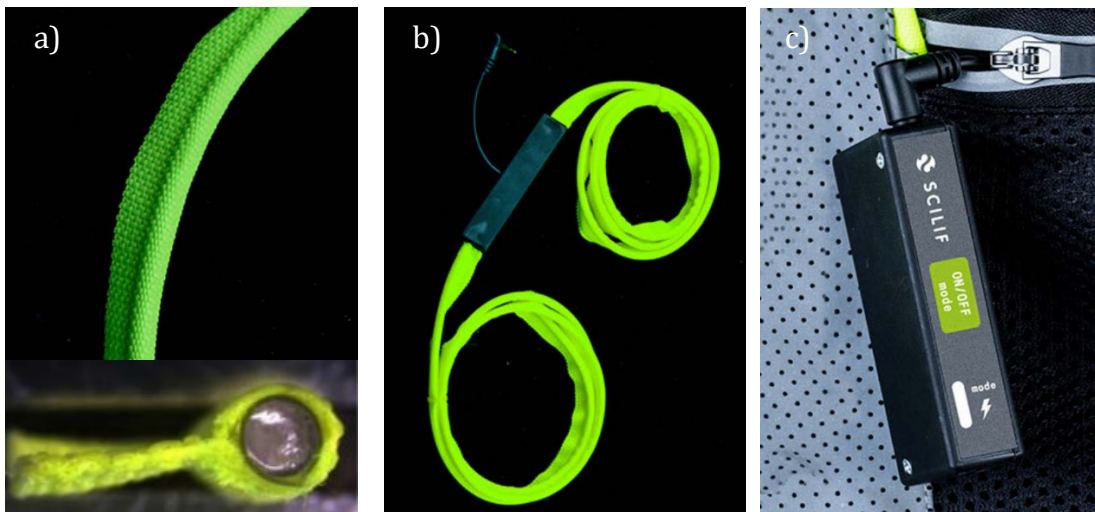
Na obr. 7 je možné vidět, že v optických vláknech (POF) k úplnému vnitřnímu odrazu světla dochází na hranici mezi jádrem a pláštěm. U SEPOF naopak dochází k částečnému vyzáření světla na povrchu vlákna. To to vysvětlení je možné zvýšit to buď oboustranným osvitem, reflexní plochou, která je umístěná na konci vlákna, nebo zabudováním vlákna SEPOF do textilní struktury, což je patentem autorů z TU Liberec a STAP Vilémov. V případě, kdy je stranově vyzářující polymerní optické vlákno zabudováno do textilní struktury a alespoň jedním svým koncem je spojen se zdrojem světla, pak je dle patentu nazýván „aktivně vyzářujícím bezpečnostním prostředkem“ – lineárním kompozitem [23, 24].

1.3.2 Lineární kompozit a jeho složení

Lineární kompozit (obr. 8) obsahuje SEPOF, který je chráněn textilním obalem a je připojen na odpovídající zdroj světla napájeného ze sítě, kterou může být vhodná baterie, powerbanka aj. Jednotlivé prvky struktury kompozity budou v rámci této kapitoly blíže popsány.

1.3.2.1 SEPOF

SEPOF – holé vlákno, kde světlo uniká z jeho povrchu. Boční emise nastane, pokud je úhel dopadu světla menší než kritický úhel. Tento efekt lze dosáhnout zvýšením indexu lomu pláště, snížením indexu lomu jádra nebo změnou úhlu dopadajícího světla. Všestranně významným parametrem bočně emitujících vláken je útlum, k němuž dochází při přenosu světelných paprsků optickým vláknem a je ovlivněn vlnovou délkou světla, type vlákna, jeho strukturou (tj. krystalinitou a orientací), nečistotami, doprovodnými látkami (tj. přítomností dopantů), vzdáleností od zdroje a také na vnějším geometrickém tvaru vlákna (tj. mikro-obláčky, nebo jiné poškození).



Obrázek 8: Složení lineárního kompozitu (LK) [4]

a) vlákno SEPOF a obal – reflexní žlutá paspule
 b) LED zdroj, c) Kontrolní jednotka – baterie

Současný trh nabízí různé komerční typy vláken SEPOF. V rámci studie [26] byly mezi sebou porovnány tři typy SEPOF: *GSPOF-300R* (Grace POF Co. Ltd, China), *Zdea* (Zdea Group Co. Ltd, China), *Starscape* (Starscape Star Ceilings Ltd, UK) s průměrem 3 mm různých výrobců. Testováním jednotlivých vzorků se přišlo na to, že typ SEPOF vlákna – GSPOF 300R se pro zabudování do lineárního kompozitu jeví nejvýhodněji z hlediska intenzity vyzařování.

SEPOF jako klasický vlnovod se skládá z jádra a obalu. Mezi nejvíce používané polymery pro jádro patří polymethylmetakrylát (PMMA), který má vysokou přenosovou rychlost, nízké ztráty a index lomu, který se dá měnit v závislosti na účelu použití. Snad jedinou nevýhodou PMMA materiálu je nedostatečná odolnost proti UV záření. Na materiál pláště jsou kladeny dva základní požadavky. Prvním požadavkem je index lomu blízký indexu lomu jádra a druhým jsou dobré filmtvorné schopnosti. Plášť by měl mimo jiné chránit jádro a mít dobrou termickou odolnost. Výhodné je použití fuoropolymerů, které se užívají v kombinaci s PMMA materiály z toho důvodu, že jsou dobře odolné proti působení vnějších vlivů [22].

Vlastnost intenzity vyzařování optického vlákna významným způsobem ovlivňuje jeho průměr, jak dokazuje odborná studie [22]. Bylo zjištěno, že na krátkých vzdálenostech od světelného zdroje je intenzita osvětlení silně klesající zejména u optických vláken s vyšším průměrem. Obecně platí, čím větší průměr vlákna, tím vyšší intenzita svícení. Další faktor, který ovlivňuje průměr vlákna je ohebnost. Zde platí, čím menší průměr, tím je vlákno ohebnější [26]. Jedná se o dva protichůdné požadavky.

1.3.2.2 Obal

Při zabudování vlákna SEPOF do textilie dochází k pozitivním změnám oproti samotnému systému bočně emitujících vláken. Textilní obal zvyšuje intenzitu vyzařování zejména pak použitím reflexních barev jako je žlutá, nebo oranžová, dále dochází k zrovnoměrnění vyzařovaného světla a ochraně SEPOF vlákna proti mechanickému a chemickému poškození. Díky textilnímu opletu je možné SEPOF konstrukčně aplikovat našitím nebo jiným odnímatelným způsobem na oděvní nebo jiné textilní součásti. [24]

Pokrytí SEPOF vlákna je možné provést známými způsoby technologie tkaní, pletení a proplétání v různých vazbách a materiálech, z nichž nejvýhodnější se jeví právě polyester, který vlákno dokáže chránit proti nepříznivým vlivům okolí především pak UV záření. Na českém trhu se výrobou těchto opletů zabývá společnost STAP a.s., která patří mezi největší evropské výrobce a na upravených strojích vyrábí textilní pásy s pevnými okraji, dutinky i žakárové vazby [23-25]. Obrázky řezů k jednotlivým vazbám podle vynálezu jsou uvedené v příloze A.

1.3.2.3 Systém ozařování a napájení

Systém ozařování lineárního kompozitu je založen na LED zdroji. Základním požadavkem je, aby byl zdroj světla pevně spojen s koncem vlákna, které následně nese světelné vlastnosti LED diody, tj. dáno numerickou aperturou – navedení paprsků do vlákna. Za zmínku stojí, že existují různé barevné led-diody, které vyzařují v barvě odpovídajících vlnových délkách. To může mít vliv na účinnost excitace luminoforu. Jedná se o oblast zájmu, jež není součástí této diplomové práce.

LED zdroje jsou napájeny baterií – kontrolní jednotkou, která díky zabudovanému mikroprocesorovému zařízení umožňuje jednotce funkčně reagovat na vnější podněty, nebo volit mezi jednotlivými světelnými módy jako je konstantní svícení nebo blikání v různých časových intervalech. SCILIF jedna z předních společností, zabývající se vývojem a produkcí těchto kontrolních zařízení, na svém webu uvádí cituji: „kontrolní jednotky jsou vybaveny akumulátory, které umožňují jejich opětovné nabíjení.“ [4] Dokonce je možné baterie dobít dnes tolik používanými powerbankami. Některé jednotky mohou komunikovat s přenosnými zařízeními, což dodává těmto jednotkám vlastnosti dnes nazývané jako „smart“.

1.3.3 Měření intenzity vyzařování SEPOF

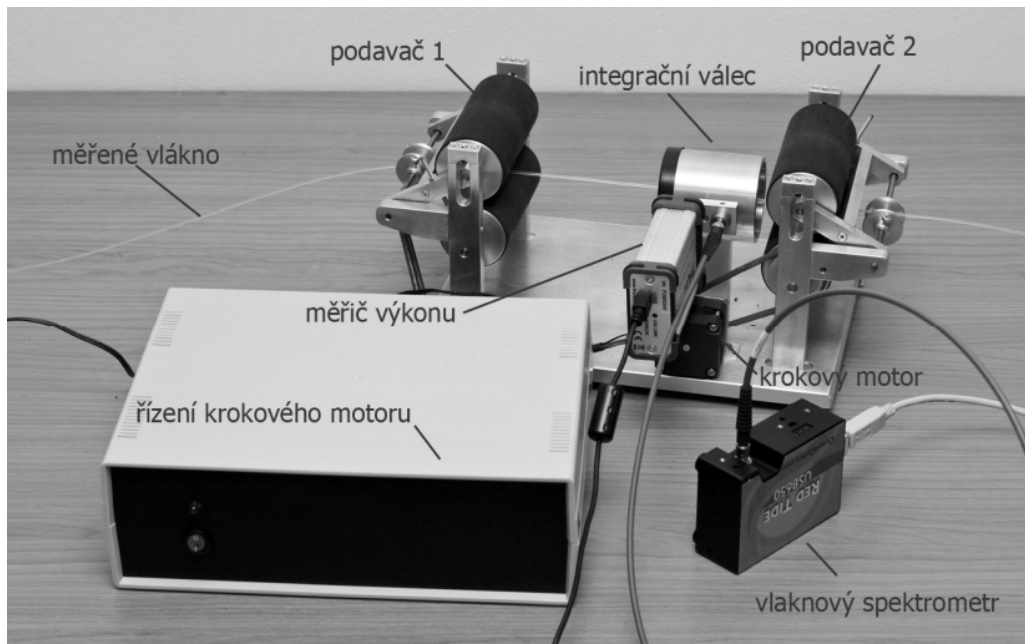
Dostupné literární zdroje [27, 28] ukazují na různé principy měření světelného výkonu optických vláken, svazku nebo textilie z optických vláken. Na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci, byl navržen a přístroj pro měření optických vlastností stranově vyzařujících optických vláken. Schéma přístroje viz obr. 9 na následující straně kde je také uveden popis principu fungování přístroje. Měření intenzity vyzařování se řídí interní normou, která byla vypracována v rámci projektu FR-TI1/242 “Aktivní bezpečnostní textilie” Ministerstva průmyslu ČR a schválen oponentním řízením dne 13.9.2013. Tato norma upravuje hodnocení intenzity vyzařování v závislosti na vzdálenosti od zdroje světla pro stranově vyzařující polymerní optická vlákna (SEPOF), svazky vláken a textilie se zabudovanými optickými vlákny.

Ústředním prvkem zařízení, které měří intenzitu vyzařování je integrační válec. Princip hodnocení intenzity vyzařování spočívá v tom, že světlo vyzařované textilií dopadá na vnitřní povrch válce, který má vysokou odrazivost, tedy rozptyluje dopadající paprsky do všech směrů vnitřního prostoru válce. To při dostatečném osvětlení způsobí rovnoměrný rozptyl světla uvnitř válce. Ozáření vnitřního povrchu, které je dáno intenzitou $M(A)$ vyzařené ze vzorku textilie (délkové, plošné) a vnitřním povrchem válce, snímá senzor světelného výkonu – spektrometr, který má aktivní plochu S_S [m²]. Ze zářivého toku Φ_V [W] měřeného měřičem výkonu lze následně určit hledanou intenzitu vyzařování $M(A)$ [W m⁻²], dle vztahu:

$$M(A) = \frac{\pi d^2}{4} \frac{\Phi_V}{\eta S_S} l(A) \quad (1)$$

kde $l(A)$ je délkový úsek odpovídající ploše A , d je vnitřní průměr integračního válce a η [-] je koeficient účinnosti integračního válce.

Specifická intenzita vyzařování je funkcí intenzity vyzařování na vstupu do vlákna, která závisí na výkonu světelného zdroje, na kvalitě navedení konce vlákna ke zdroji (LED), na průměru a složení i struktuře SEPOF, na materiálu, struktuře a barvě textilního obalu. Z průběhu funkce, respektive z odhadu parametrů funkce intenzity vyzařování po délce vlákna je možné stanovit jeho reálnou pracovní délku. Pro přesnější odhad se dle ověřené literatury [22] užívají vhodné aproximační funkce, které vyhlazují naměřenou funkci.



Obrázek 9: Zařízení POFIN2 pro měření intenzity vyzařování optických vláken

1.3.3.1 Technické parametry přístroje:

senzor THORLABS PM 1000 SB
 plocha senzoru 13,3 mm²
 průměr hnacího válce 45 mm
 externí světelný zdroj
 měřená veličina - světelný výkon ve Wattech

1.3.3.2 Princip funkce přístroje POFIN2

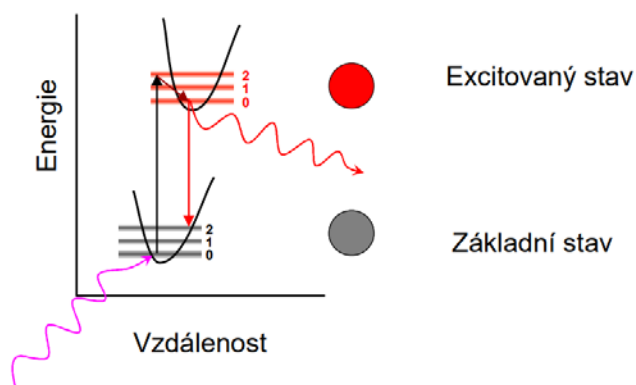
Přístrojový list č. PL 21-601-01/02 popisuje princip přístroje tímto způsobem: "Na rámu zařízení jsou namontovány dva páry válců zajišťující posun textilie. Vrchní válce mají pružinový přítlak, který zajišťuje rovnoměrný posun textilie při otáčení spodního válce. Pohon spodního válce je zajištěn krokovým motorem s kontrolérem řízeným počítačem. Pro měření intenzity stranově vyzařujících vláken je použit integrační cylindr s měřičem výkonu. Do cylindru ústí též vlákno spektrometru. Integrační cylindr slouží nejen pro měření intenzity vyzařování, ale i spektra vyzařování vlákna, svazku vláken nebo textilie. Na konec vlákna je připojen světelný zdroj. Světelný zdroj je umístěn na pojezdu, který je sladěn s pohybem válců. K ovládání uvedeného zařízení slouží speciální software v Matlabu, který komunikuje s kontrolérem, řídí posuv vlákna, včetně posuvu zdroje světla a zajišťuje sběr a ukládání dat. Na počátku se zvolí délka měření optického vlákna a krok, po zmačknutí tlačítka „Start“ se měří světelný výkon ve Wattech, který se vztahuje na plochu senzoru a výstupem je intenzita vyzařování optického vlákna jako funkce vzdálenosti od zdroje světla. Je také uvedeno spektrum vyzářeného světla. Naměřená data se ukládají do souboru ve formátu xls (Excel)."

1.4 Luminiscence v textilních aplikacích

Pojem luminiscence zavedl německý fyzik Eihart Weidemann (1852-1928) na základě latinského slova „*lumen*“ v překladu to znamená světlo. Světélkování byl starý český název pro luminiscenci. Úplné pochopení luminiscence je vázáno na znalosti o kvantových úrovních energie, struktuře pásma, radiačních a neradiačních elektronických přechodech atd. Mnoho příkladů luminiscence je zmíněno v současné literatuře, pro nás nejdostupnější jsou tyto zmíněné [7, 29, 30]

1.4.1 Princip luminiscence

Luminiscence je obecně definovaná jako spontánní nerovnovážné záření vysílané tělesem – pevnou látkou nebo kapalinou, představující přebytek záření tělesa nad úrovní jeho tepelného záření při dané teplotě. “Pokud látka absorbuje určitou energii, dochází k přeskokům jejich elektronů z nižší energetické hladiny na vyšší energetickou hladinu, a tím dochází k excitaci atomu. Excitovaný stav není stabilní, a tak vzápětí dochází k de-excitaci, to jest k přeskokům elektronů zpět na původní hladinu. Přičemž je uvolněna přebytečná energie, a to v podobě světelné energie, tepla nebo jinou formou.” [31] Zmíněný jev výborně vystihuje obr. 10. Podle Stokesova zákona má vybuzené světelné záření vždy větší vlnovou délku (menší energii) než budící záření. K vyzařování světla látkou, může dojít i v případě, že není zahřátá. Luminiscenční děje lze obecně rozdělit podle řady kritérií, zde budou uvedeny tři základní. Podle způsobu buzení, podle doby vyhasínání a poslední skupinou je podle složení luminoforu.



Obrázek 10: Schéma excitace a emise luminoforu. [web: LABGUIDE]

1.4.1.1 Podle způsobu buzení

Světélkování je možné vyvolat různými zdroji. Luminiscenčních tříd je několik. Podle způsobu vybuzení, tj. vyvedení tělesa z jeho rovnovážného stavu rozlišujeme tyto druhy luminiscence:

Tabulka 1: Třídy luminiscence podle druhu buzení

Název	Způsob buzení
<i>FOTO luminiscence</i>	pohlčení světelného záření
<i>ELEKTRO luminiscence</i>	průchod elektrického proudu
<i>CHEMI luminiscence</i>	energie uvolněná při chemické reakci
<i>BIO luminiscence</i>	chemická reakce v živých organismech
<i>KATODO luminiscence</i>	dopad urychlených elektronů
<i>RENTGENO (RADIO) luminiscence</i>	dopad rentgenového (ionizujícího) záření
<i>TERMO luminiscence</i>	tepelné kmity v materiálu
<i>MECHANO luminiscence</i>	mechanická deformace tělesa

1.4.1.2 Podle doby vyhasínání

Podle doby dohasínání, respektive po skončení buzení luminoforu lze rozdíl mezi fluorescencí a fosforescencí popsat následujícím způsobem.

O *Fluorescenci* mluvíme, jestliže luminiscenční záření nastává během buzení. K vyzáření světla po excitaci dochází velmi rychle, a to v řádu několika nanosekund tj. doba kratší než 10^{-8} s. Pokud odstraníme zdroj ozařování, fluorescence ihned vymizí. Podskupinou je pak zpožděná fluorescence, která probíhá jak během excitace, tak i chvíli po ní. Obecně má delší dobu dohasínání.

Fosforescence je charakterizovaná tím, že k emisi záření dochází pomalu, a to proto, že elektrony jsou v metastabilním stavu, tzn., dostávají se na takové energetické hladiny, z nichž se nemohou snadno vrátit na základní hladinu. V případě fosforescence proto emise záření přetrvává po určitou dobu po odstranění zdroje ozařování. Doba dohasínání u fosforescence je delší než 10^{-8} s. Většinou se vyzáření projevuje v řádu několik minut až hodin.

1.4.1.3 Podle chemického složení luminoforu

V textilní oblasti je nejčastěji řeč o luminiscenci vyvolané světelným zářením v oblasti viditelného světla nebo pomocí UV záření a dělí se na fluorescenční a fosforescenční pigmenty. Buď se jedná o *organické* luminofory, nebo *anorganické* luminofory. V obou případech se luminiscence budí ultrafialovými paprsky, nebo paprsky ve viditelné oblasti spektra, tak že se volný elektron vyzvedne z pásma základního stavu do pásma vzbuzeného stavu. Organické krystaly mají značně kratší dosvit než anorganické luminiscenční krystaly. Naproti tomu má teplota na působení luminiscence u organických látek zanedbatelný vliv.

Největší podíl výroby fotoluminiscenčních látek je ve formě anorganických práškových materiálů – pigmentů, které jsou zdravotně nezávadné, neobsahují žádné radioaktivní látky, nejsou toxické ani jedovaté, nerozkládají se a odpad či látka samá není nebezpečná vůči zdraví či životnímu prostředí.

1.4.2 Využití luminiscenčních pigmentů

Sytý fotoluminiscenční pigment se vyrábí v několika barevných odstínech a používá se v různých koncentracích v závislosti na požadovaném jasu a délce trvání svítícího efektu. Jde obvykle o velmi jemnozrnné hmoty s velikostí částic od 0,2 do 10 μm . Při výběru luminiscenční látky nebo při samotném testování se musí přihlížet k následujícím parametrům [37]:

1. barva luminiscenčního pigmentu,
2. dobrá světelná účinnost, která je závislá na absolutní intenzitě vyzařování a v různé oblasti spektra je různě velká,
3. doba dosvitu po vypnutí buzení,
4. malá citlivost na teplotu.

Jakým způsobem ovlivňují zmíněné vlastnosti luminiscenčních materiálů kvalitu luminoforu bude hlouběji rozvedeno v kapitole 1.4.3. měření emisivity luminiscenčního záření. Jen stojí za zmínku, že pigment je materiál, který mění barvu odraženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla. Pro textilní užití rozlišujeme následující pigmenty.

1.4.2.1 Fluorescenční pigmenty

Fluorescenční pigmenty lze obecně rozdělit do třídy opticky zjasňujících prostředků, které jsou používány pro zvýšení vnímání bělosti materiálů, nebo do třídy fluorescenčních barviv, které pracují ve vizuální oblasti spektra [7].

Existují různé druhy fluorescenčních materiálů od žluté přes zelenou, oranžovou, dokonce i růžová má fluorescenční odstíny. Ze všech druhů se žlutá barva ukázala být nejviditelnější [38], z toho důvodu je ze všech fluorescenčních barviv v segmentu bezpečnostních oděvů a doplňků užívaná nejčastěji. Nejen barva ale též velikost plochy může výrazným způsobem zvýšit kontrast oděvu vůči pozadí a tím viditelnost nositele. Nevýhodou je, že fluorescenční materiály umdlévají v barvách mnohem rychleji než jiné barvy. Přesto se ve velkém měřítku tyto materiály užívají na oblečení, helmy, tašky a další vybavení.

1.4.2.2 Fosforescenční pigmenty

Průzkum trhu ukázal na fosforescenční materiály, které vznikají z pigmentů lumiforu a jsou vyráběny v různých provedeních, ať už délkových nebo plošných, které lze využít pro oděvní, bezpečnostní, dekorační či technické účely. Následující tab. 2, podává přehled vybraných produktů značek současného trhu, obchodní názvy a základní popis. Informace byly získány z oficiálních webových stránek společností.

Tabulka 2: Přehled současných fosforescenčních textilních produktů na trhu

Název	Výrobce	Země původu	Mat. složení	Použití	Světelný efekt
<i>Isa Textlight</i>	AMANN	Německo	100 % PES	vyšívací nit	zelený
<i>Glow Yarn</i>	SWICOFIL	Švýcarsko	100 % PET	vyšívací nit	nažloutlý, zelený, bílý, modrý
	LANEX	Česko	100 % POP	vlákno ke zpracování	neuveďeno
<i>Ghost</i>	SINTERAMA	Itálie	100 % PES	vlákno ke zpracování	zelený
<i>Glow Cord</i>	Dodavatel PARACORD.cz	Česko	100 % PAD	padáková šňůra	zelený
<i>Glow fabric</i>	LUNABRITE	USA	Vše kromě elastomeru	tkanina s povrch. úpravou	Zelený, tyrkysový, oranžový, fialový, červený, modrý.

Průzkum ukázal, že fosforescenční pigmenty se běžně užívají ve formě prášků do zátěrových past nebo při výrobě vláken. Ty je pak výhodné směšovat s polymerem před zvlákňováním. Avšak v takové velikosti a množství, aby příliš nezměnily mechanické vlastnosti příslušných vláken. Na technické univerzitě v Liberci byla v rámci jedné studie [39] hodnocena emise luminiscenčních délkových textilií a na základě zhodnocení byla navržena vlastní konstrukce tkané textilie pro oblast bezpečnostní textilie. Studentka ve své práci uvádí výhody použití délkových textilií v oděvních strukturách. Jimi je prodyšnost, ohebnost, aj. což je v porovnání se zátěrovými textiliemi staví do popředí.

Výhodou fosforescenčních vláken s pigmenty ve hmotě vlákna, je delší životnost žádaného jevu, protože je tak mechanicky a chemicky odolnější. Tyto délkové materiály lze zpracovávat běžným způsobem, jako je tkaní, pletení, netkané textilie, vyšívání a podobně. O výzkumu fotoluminiscenčních textilních materiálů a přípravě vícebarevných luminiscenčních vláken existují patenty a články [40, 41].

Jiná odborná studie [MISHRA, 2013] doplňuje informace v oblasti použití zátěrových luminiscenčních pigmentů. Mezi zkoumanými strukturami textilií s aplikovaným fosforescenčním zátěrem byly textilie s hladkým povrchem a zdrsňeným povrchem, tj. matným. Studie dokazuje, že drsné povrchy mají pro vyšší povrchovou plochu také lepší absorpci a emisi záření. Příčina spočívá v tom, že více molekul na jednotku plochy je zasaženo světlem. Při emisi je zde větší pravděpodobnost, že vyzářený foton zasáhne jiný atom. Na rozdíl od hladkých povrchů, které odrazí více světla, než absorbují. U drsných povrchů je pak výsledkem kratší doba aktivace lumiforu.

1.4.2.3 Elektroluminiscenční pigmenty

Vedle fotoluminiscenčních pigmentů existuje jistý druh luminiscence zvaná jako elektroluminiscence, která byla v rámci studie [42] aplikována do oděvu v kombinaci s retro-reflexními prvky. Jak již sám název luminiscenčního prvku napovídá, jedná se o skupinu luminoforů, jejichž svícení je aktivované průchodem elektrického proudu. Tato technologie nevyžaduje osvětlení světlometů, proto ji můžeme začlenit mezi aktivní prvky bezpečnosti. Aby vytvořila lepší viditelnost chodců a cyklistů, využívá flexibilních elektroluminiscenčních panelů, které svítí proudem napájeným bateriemi. Významným producentem elektroluminiscenčních prvků je společnost Ellumiglow [43].

1.4.3 Měření emise luminiscenčního záření

Měření emise je závislé na optických vlastnostech luminiscenčního materiálu. „Intenzita luminiscence je vyjádřena jako počet fotonů procházejících v daném směru jednotkovou plochou za jednotku času“ [7]. Pro hodnocení je zapotřebí definovat tři základní elementy: zdroj světla, pozorovaný objekt a pozorovatele – detektor. Pro popis barev využíváme kolorimetrických parametrů u materiálů s vysokou viditelností je používána soustava CIE XYZ pocházející již z roku 1931. [18]

K měření luminiscenčního záření je třeba přihlížet na vlastnosti použitého luminiscenčního pigmentu. Spektrální polohu pásem, z nichž se skládá vyzařované luminiscenční světlo lze nejlépe stanovit spektrometrem, který se používá pro měření spektrálního rozložení intenzity záření zdroje. Využívá spojení monochromátoru (spektrografu) a detektoru. Důležitá je citlivost detektoru, spektrální citlivost použitých filtrů a vysoká světelnost přístroje. Pro luminiscenční spektroskopii se obecně používají optická disperzní zařízení – monochromátory a polychromátory, které rozkládají luminiscenční záření ve spektru [44].

Z literatury [44] jsou známy různé principy měření luminiscence tkaniny. Poměr viditelné světelné energie vysílané luminiscenční látkou ku množství celkové dodané energie se nazývá světelnou účinností, která je závislá na absolutní intenzitě vyzařování, ale na citlivosti detektoru přístroje a je různých oblastech spektra různě velká. Z toho důvodu je světelnost přístrojů je velmi důležitá. Ovšem existuje závislost mezi ní a rozlišovací schopností. Pro světelnost spektrografu je nutné osvětlení celé plochy mnohokanálového detektoru (výstupní světelný tok/velikost plochy).

Posledním významným bodem hodnocení luminiscenčního záření je měření doby dosvitu. V posledním desetiletí bylo publikováno velké množství článků popisujících rozpad luminiscence v odlišných materiálech a v odlišných časových měřících. Významný objev v této souvislosti udělal vědecký tým Chen a kol. [35], který zkoumal rozpad luminiscence v porézním křemíku a zjistil, že křivka rozpadu je výrazně pomalejší než „normální“ exponenciál a lze jí popsat následující funkcí:

$$I = I_0 \exp \left[-\left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

kde I_0 je počáteční intenzita luminiscence po excitaci a t je čas rozpadu luminiscence. Chen a kol. uvádějí, že parametry přizpůsobení β a τ jsou závislé na excitačních podmínkách, jako je délka budicího impulsu, intenzita a fotonová energie.

2 Experimentální část

Praktická část je zaměřena na návrh a testování hybridní struktury bezpečnostních prvků, obsahující luminiscenční prvky v kombinaci s vláknovými (liniovými) zdroji světelného záření. Jak ukázal rešeršní průzkum luminiscenční materiály mají schopnost sekundárního vyzařování v řádu několika minut až hodin, čímž mohou podstatně prodloužit dobu viditelnosti nositele bezpečnostního oděvu i po vyčerpání energie pro aktivní osvit. Hodnocení je soustředěno na účinnost celého hybridního systému z časového hlediska s využitím inovativní testovací metodiky.

Experimentální část obsahuje:

1. Návrh variant hybridní struktury kombinující běžně dostupné luminiscenční materiály a liniový zdroj světelného záření v podobě stranově vyzařujícího polymerního optického vlákna. Současně podává základní informace o použitém materiálu a přípravě vzorků pro testování.
2. Měření intenzity vyzařování lineárních kompozitů s ohledem na vliv textilního obalu s využitím vybraných fluorescenčních a fosforescenčních barev vláken jako:
 - a) funkce vzdálenosti od zdroje,
 - b) funkce času. Hodnocení vyhasínání luminiscence navržených hybridních struktur podle nové metodiky. Na účinnost navržených hybridních systémů je pohlíženo ze tří směrů:
 - ⇒ s ohledem na hybridní strukturu,
 - ⇒ s ohledem na dobu excitace,
 - ⇒ s ohledem na použitý mód osvětlení.
3. Výsledky měření.

Poznámka: Z literatury [7, 45] je znám princip měření intenzity vyzařování jako funkce vzdálenosti od zdroje dle IN21-601-01/02. K měření intenzity vyzařování slouží zařízení POFIN2, kde je hodnocen světelný výkon stranově vyzařujících optických vláken. V rámci praktické části této diplomové práce byla navržena a otestována inovativní metoda, která umožňuje na zmíněném přístroji měřit optické vlastnosti luminiscenční tkaniny v závislosti na čase.

2.1 Experimentální vzorky

Na základě poznatků a výsledků dosavadního výzkumu, viz řešeršní část diplomové práce, byly navrženy tři varianty hybridní struktury.

2.1.1 Návrh hybridních struktur

Tabulka 3: Návrh a popis vzorků hybridních struktur

Hybridní struktura (HS) č. 1



Materiál:

Luminiscenční textilie:

Název: *AMANDA GS PZ/HF*

Materiál: 100% PES

Vazba: Kepr

Dostava: 50 x 30 nití/cm

Barva: žlutý nádech

Luminofor:

PZ – pigmentová záhustka

GS – glow star bílá

Velikost vzorku: 6 x 5 cm

Hybridní struktura č. 2



Materiál:

Luminiscenční textilie:

Název: *AMANDA GS PZ/HF*

Velikost: 6 x 5 cm

Paspule:

Materiál: 100% PES

Dostava: 20 x 2 nití/cm

Barva: opticky zjasněná bílá,
reflexní žlutá,
reflexní oranžová

Průměr otvoru: 3 mm

Hybridní struktura č. 3



Materiál:

Luminiscenční oplet:

Název: *Paracord 550*

Materiál: 100% polyamid

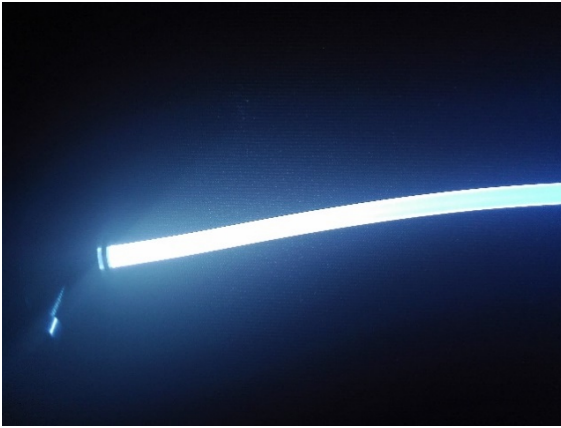
Oplet: 32 nití/cm

Barva: bílá, žlutá, modrá, zelená,
růžová

Průměr: 4 mm

Délka vzorku: 5 cm

Aktivní prvek



Materiál:

Liniový zdroj záření - SEPOF:

Název: *Grace - standard*

Materiál: PMMA/polykarbonát

Jádro/plášť index lomu: 1,49/1,41

Průměr vlákna: 3 mm

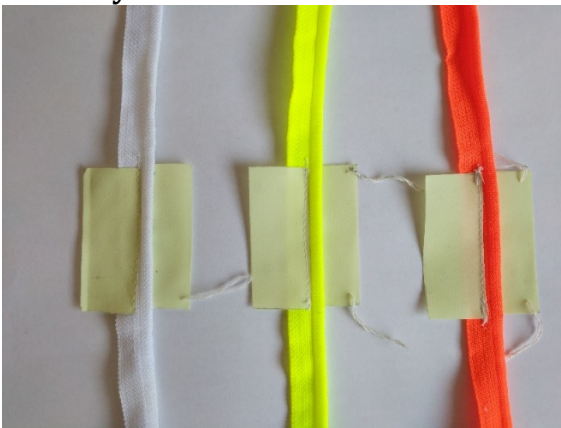
Zdroj: *Lediscon*

bílá LED XPG-3,

chromatičnost 5000 K,

výkon 350-400 mA

Varianty HS č. 2



Varianty HS č. 3



2.1.2 Popis hybridních struktur

Uvedené obrázky prezentují základní koncept hybridních struktur. Pro všechny navržené varianty je aktivní složkou stranově vyzařující polymerní optické vlákno (SEPOF) typu Grace-standrd od firmy Grace POF Co., Ltd. China, které bylo v rámci rešerše vytipované jako nejvhodnější pro aplikace v aktivních bezpečnostních prvcích. Optické vlákno bylo připojeno na zdroj světla (bílá LED) a vhodné napájení (Lediscon), dále už jen „aktivní prvek“. Pasivní složkou je luminiscenční prvek (luminiscenční textilie, fluorescenční paspule, nebo luminiscenční oplet) jehož účinnost se projevuje v oblasti viditelného světla, jež tvoří zbylou část struktury. Zavěšovací poutka na vzorcích (a) a (b) nejsou součástí hybridní struktury, slouží k uchycení do měřícího přístroje.

HS č. 1 se zakládá na aktivním prvku, který je umístěn pod luminiscenční materiál. Tato struktura je založena na přímém nasvícení textilie z její spodní strany, přičemž lícni strana obsahuje luminiscenční vrstvu s fosforescenčním pigmentem. Tato struktura má uplatnění například tam, kde je z proužku luminiscenční textilie vytvořen tunýlek, kterým je vedeno optické vlákno – zdroj světelného záření.

HS č. 2 využívá patentu [24], který popisuje kapitola 1.3. Textilní paspule má dle dostupných studií schopnost zvýšit intenzitu vyzařování aktivního prvku, což je v našem případě velmi žádoucím jevem. Paspule, která může být zhotovena z různých barevných variant je všita mezi dva pruhy luminiscenční textilie. Tato struktura se dá díky paspuli jednoduše aplikovat do oděvu. V rámci této struktury byly vytvořeny barevné varianty, které se odlišují v barvě paspule. Jak ukázal rešeršní průzkum, intenzita vyzařování lineárního kompozitu s textilním obalem v barvách reflexní žluté a reflexní oranžové vykazovaly lepších výsledků než vlákna SEPOF v obalu z opticky zjasněné bílé barvě. Z toho důvodu byly zařazeny do testovacích vzorků. Vzorky HS č. 2 byly ušity na domácím šicím stroji značky Brother Innov-Is 55FE, stehem dvounitným vázaným, délky 2 mm.

HS č. 3 je hybridním prototypem, kde je vlákno vedeno textilní dutinkou vyrobenou z luminiscenčních vláken. Luminiscenční dutinka představuje prototyp z toho důvodu, že je třeba nalézt způsob vpravení (všítí, vlepění, či jiný způsob přichycení) k oděvu. Dutinkou se rozumí oplet, který byl získán z padákové šňůry po vytažení jádrových nití. Padáková šňůra o průměru 4 mm byla pořízena od českého zprostředkovatele PARACORD.cz pod názvem GlowCord [34].

2.1.3 Možnosti údržby hybridní struktury

Dostupné zdroje [4, 34] podávají informace o možnosti údržby jednotlivých prvků hybridní struktury. Ve výsledku je možné podrobit navrženou strukturu stejné údržbě, viz obr. 11. Praní na doporučenou teplotu 40 °C, pouze šetrné chemické čištění, bělení a žehlení se nedoporučuje. Sušení v bubnové sušičce není nutné. Vzorek luminiscenční textilie „AMANDA“ byl takto testován 5 ti cykly a vzhled i vlastnosti nevykazovaly žádné změny.



Obrázek 11: Symboly údržby navrhované bezpečnostní hybridní struktury

2.2 Měření intenzity vyzařování hybridního systému

Měření probíhalo na přístroji POFIN2. K hodnocení intenzity vyzařování v závislosti na čase nebylo využito posuvu pomocí krokového motoru, z toho důvodu, že intenzita vyzařování luminiscence byla hodnocena v jednom konkrétním úseku.

2.2.1 Návrh metodiky

Při měření se postupovalo dle upravené metodiky pro přístroj POFIN2 (Přístrojový list č. PL 21-601-01/02) – přístroj měří intenzitu emise stranově vyzařujících optických vláken, svazků vláken a textilií se zabudovanými optickými vlákny s automatickým pojezdem zdroje.

Interní norma přístroj upravuje především pro měření optických vlastností v závislosti na vzdálenosti od zdroje světla, zejména pak intenzitu vyzařování na vstupu do vlákna. Výsledkem je závislosti průměrné rychlosti útlumu na délce a maximální dosah postačující intenzity vyzařování optického vlákna, tzv. pracovní délku optického vlákna. Dále norma popisuje správné navedení stranově vyzařujících optických vláken ke zdroji světla a způsob přípravy jejich příčných řezů.

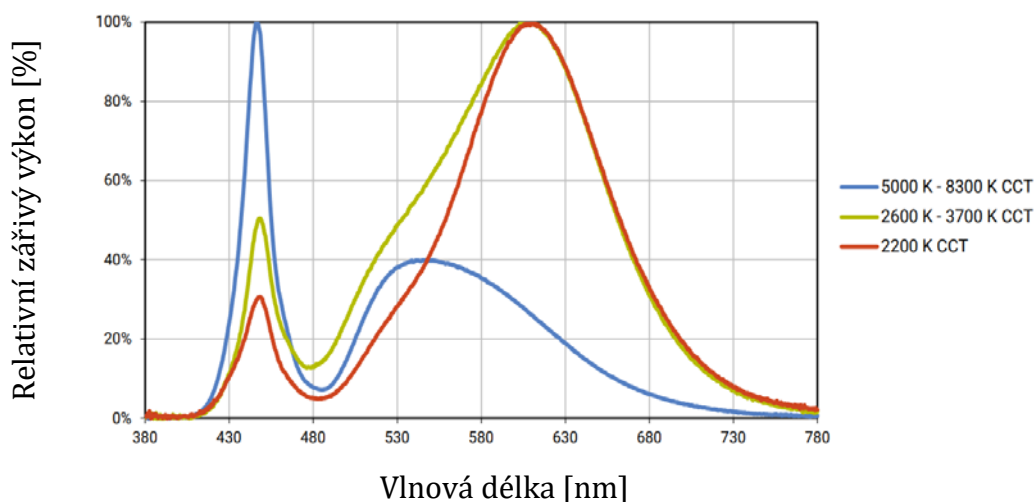
Pro hodnocení intenzity vyzařování luminiscenčního materiálu, který je nabíjen stranově vyzařujícím polymerním optickým vláknem bylo třeba upravit původní měřicí zařízení a testovací metodiku. Při úpravě byly zohledněny následující požadavky:

1. zařízení musí hodnotit intenzitu vyzařování na jednom konkrétním úseku – odpojení od automatického pojezdu,
2. zařízení umožňuje měřit vyzařovanou intenzitu v závislosti na čase a spektrálním rozložení – snímání intenzity v určitém intervalu,
3. všechna data se přenášejí do počítače k dalšímu zpracování.

Zařízení POFIN2 zůstává ve své původní konstrukci jenže není napojen na pohon, který by posouval vlákno. Software měřicího zařízení – Matlab zaznamenává intenzitu vyzařování v předem definovaném intervalu – časová perioda.

Ověření naměřených dat: V úvodu experimentu se provede test hodnotící variabilitu dat. Test Anova je vhodnou metodou, která bude v rámci této analýzy užita.

2.2.2 Osvětlovací systém

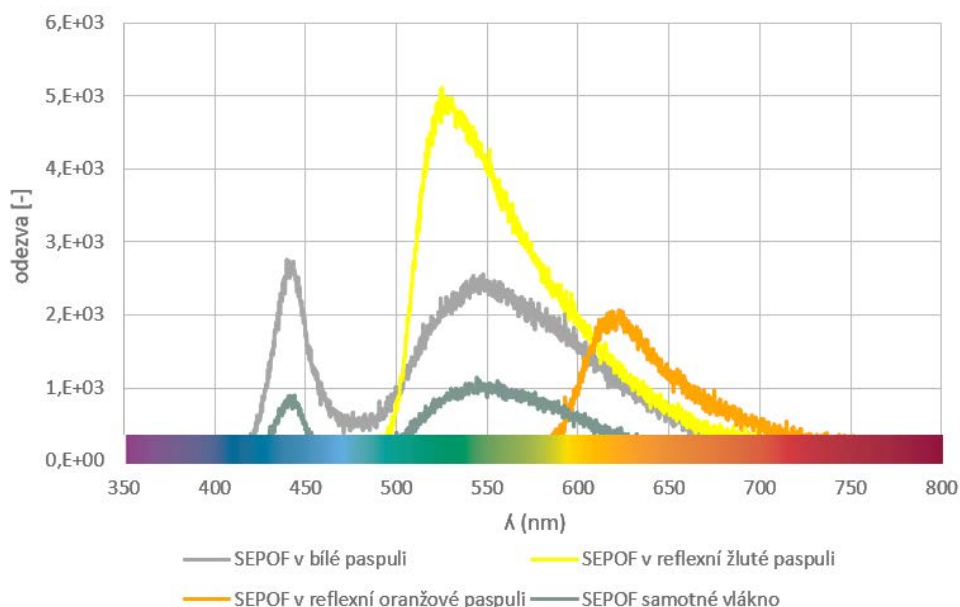


Obrázek 12: Relativní distribuce spektrálního výkonu bílé XT-E LED diody

Pro osvětlovací systém Lediscon byly použity jednočipové LED diody dodané společností CREE s rozměry 3, 45 x 3,45 mm, s maximálním příkonem 5 W, které poskytují maximální optický výkon 629 lm, jež stačí k napájení vláken v délce několika metrů. Pro osvětlování byla použita bílá varianta LED diody. Relativní distribuce spektrálního výkonu bílé XT-E LED diody je určena konverzní účinností a citlivostí lidského oka na danou vlnovou délku, viz obr. 12., přejatý z technického dokumentu dodaný s elektroluminiscenční LED diodou společnosti CREE.

Lediscon je řídicí elektronické zařízení (zdroj) s funkcí plynulé říditelné změny intenzity, tj. regulující proud. Takové funkce se dají využít pro vytváření efektů jako je pulzování jasu světla. K našemu testování byla využita jen maximální intenzita s proudem 400 mA.

Holé vlákno SEPOF spojené s tímto osvětlovacím systémem přejímá jeho světelný výkon, s určitou účinností. Ta se řídí způsobem, jakým je vlákno navedeno ke zdroji, jinak může dojít ke ztrátě. Tato účinnost byla otestována v rámci hodnocení na přístroji SEPOF2. Testování proběhlo na holém vlákne SEPOF a na lineárním kompozitu s variantami textilní paspule v barvě opticky zjasněná bílá, reflexní žlutá a oranžová. Spektrální odezva byla snímána senzorem THORLABS PM 1000 SB s detekční plochou 13,3 mm² ve vzdálenosti 10 cm od zdroje světla. Bylo zjištěno, že přenosem světla dochází k určité ztrátě intenzity. Optické vlákno vyzařuje ve stejných vlnových délkách. Při zabudování optického vlákna do textilní obalu, lze intenzitu vlákna ještě zvýšit. Reflexní barvy textilní paspule mění spektrum generovaného záření LED diody, viz obr. 13



Obrázek 13: Spektrální intenzita vyzařování SEPOF měřená na přístroji POFIN2

2.2.3 Postup měření

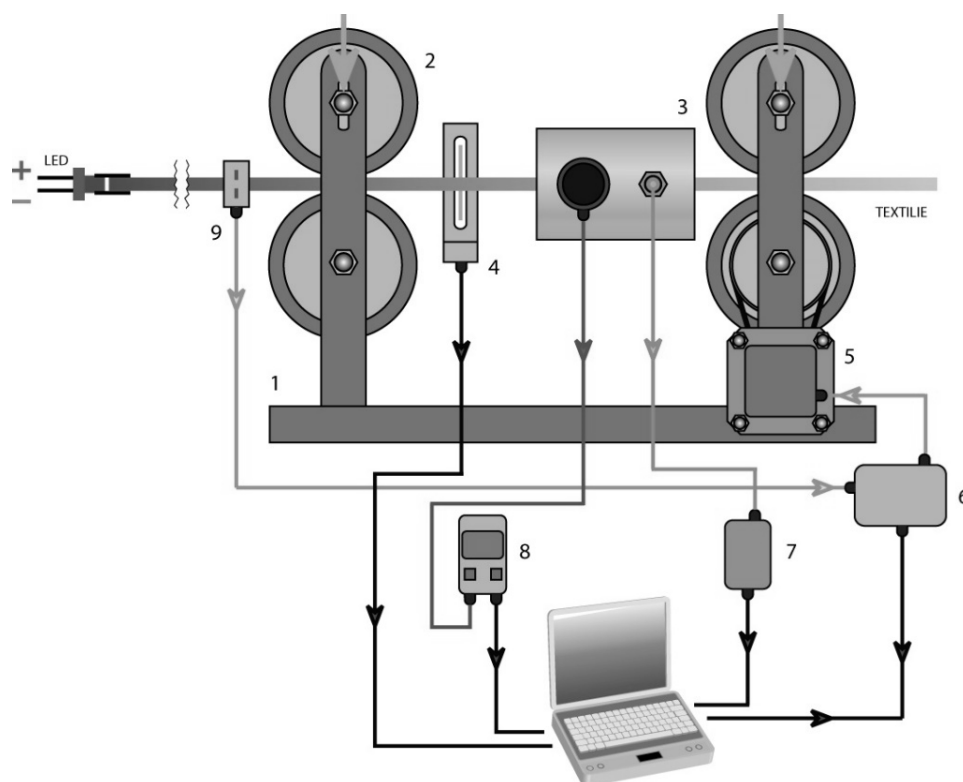
Zkouška spočívá v měření intenzity vyzařování luminiscenčního materiálu (pasivního prvku), který byl nabíjen bočně emitovaným světlem optického vlákna (SEPOF) v napřímeném stavu po určitou dobu. Experiment lze rozdělit na dvě fáze. V první fázi byl hybridní systém vystaven excitaci, tj. nasvícení luminiscenčního materiálu optickým světlovodem. V druhé fázi, bylo započato měření, jež hodnotí světelný výkon záření luminiscence v čase. Byly testovány různé varianty hybridních struktur.

2.2.3.1 Příprava vzorků

Každé vyhodnocení bylo prováděno z pěti měření. Proto bylo připraveno pro každou hybridní strukturu (HS) 5 vzorků od každé barevné varianty. Bylo třeba aby jednotlivé vzorky odpovídaly svou velikostí rozměrům integračního válce, tj. maximálně 6 x 5 cm. Délka paspule v tomto případě nehraje významnou roli, z toho důvodu, že ji lze protáhnout naváděcím otvorem v krytech integračního válce, kudy prochází vlákno SEPOF, které v našem experimentu slouží jako osvětlovací zdroj. Připravené vzorky pro testování byly předem uloženy v temné komoře, aby k nim byl zamezen přístup světla. Na tomto místě byly ponechány 24 hodin před samotným testováním.

2.2.3.2 Navedení optického vlákna ke zdroji a do měřícího přístroje

Odborná literatura [22] tvrdí, že stranově vyzařující polymerní optická vlákna vykazují značnou variabilitu ve vlastnostech, z toho důvodu byl pro veškeré experimenty použit jeden vytipovaný úsek proměřeného optického vlákna. Optické vlákno bylo nejprve odděleno od cívky pomocí štípaček a řez byl následně vyleštěn pomocí brusného papírku. Vlákno bylo pomocí kleštin a tmelené dutinky uchyceno ke zdroji světla, v přímém kontaktu s LED diodou. Pomocí vodících kotoučů bylo vlákno navedeno přímo do osy osvětlovacího systému tak, aby nedocházelo k úniku světelných paprsků (nežádoucí ztráta světelné energie). Vlákno, které bylo pevně spojeno s osvětlovacím systémem se následně navedlo mezi dva páry odtahových válců a do integračního válce uprostřed. Uspořádání jednotlivých prvků zařízení, jak jdou za sebou viz obr. 14 znázorňující schéma přístroje POFIN2.



LEGENDA:	1) Rám Zařízení	6) Kontroler KM	— Kabel Čidla Výkonu
	2) Pogumovaný Válec	7) Spektrometr	— Optické Vlákno
	3) Integrační cylindr	8) Měřič Výkonu	— Vedení ke Kontroleru a Motoru
	4) Řádková Kamera	9) Detekce konce vlákna	↓ Tlak na válec
	5) Krokový Motor	— USB	

Obrázek 14: Schéma přístroje POFIN2 [45]

2.2.3.3 Vlastní měření

Měření probíhalo na přístroji POFIN2, který byl odpojen od krokového pohonu. Ten pomocí snímače zaznamenává v předem stanovených intervalech (nejedná se o čas, ale délku kroku) hodnotu světelného výkonu. V původním znění měřené metodiky je krokový motor synchronní s funkcí snímače, jež zaznamenává intenzitu vyzařování ve chvíli posuvu o jeden krok motoru. Pro náš experiment se čas kroku (interval mezi jednotlivými snímky) stanovil z doby trvání jednoho experimentálního měření pomocí stopky. Funkce senzoru je řízena přes PC program vytvořený v Matlabu. Před začátkem měření byla zvolena volí požadovaná doba experimentu a délka jednoho kroku. Naměřené hodnoty byly zapsány do souboru typu .csv do sešitu Microsoft Office Excel. Ke každé naměřené hodnotě světelného výkonu ve Watech byla přiřazena hodnota času. Měření intenzity probíhalo vždy ve stejné vzdálenosti od zdroje, která byla 10 cm. Naměřený světelný výkon bylo třeba vztáhnout na plochu senzoru. Konečným výsledkem je pak intenzita vyzařování [Wm^{-2}].

Na začátku testování byla dle běžné metodiky zapsané v interní normě hodnocena intenzita vyzařování SEPOF jako funkce vzdálenosti od zdroje a zkoumán vliv typu textilní struktury (paspule a luminiscenčního opletu).

2.2.3.4 Test ANOVA

Analýzou byl určen vliv zkoumaného faktoru, který byl v našem případě místo hodnocení v délce a ploše textilie testovaných vzorků, z rozdílu celkové variability a šumu – variabilita uvnitř skupin. Postupovalo se dle pravidel testování Anovy. Bylo dáno kritérium hodnocení *P-value* (funkce FIDST MS Excel), pomocí které bylo možné určit, zda mají dvě množiny dat různé stupně odlišnosti. Platí, že pokud **P-value** $\geq 5\%$, nezamítáme nulovou hypotézu H_0 . Jde o kvantitativní vyjádření toho, zda se dané kritérium přiklání k bodu, že variabilita vzorků způsobená odběrem z různé délky nebo plochy textilie je významná nebo není a na základě, které se přijme daná hypotéze:

H₀: nulová hypotéza – vliv faktoru považujeme za neprokázaný.

H_A: alternativní hypotéza – vše je dáno hlavně šumem a vliv faktoru existuje.

Dalším alternativou korektního vyhodnocení kvantitativních dat je kritérium normálního rozdělení podle známé Gaussovy křivky, tj. 95% interval spolehlivosti středních hodnot. Jestliže se intervaly spolehlivosti průměrů naměřených dat vzorků překrývají, je možné eliminovat počet měření.

2.2.3.5 Vyhlazení experimentálních dat

Z důvodu toho, že byla v experimentální části intenzita vyzařování hodnocena jak v závislosti na délce, tak v závislosti na čase, k vyhlazení dat je přístupováno dvěma způsoby. Pro oba způsoby bylo zapotřebí z naměřených souborů dat určit průměrnou hodnotu intenzity vyzařování a 95% konfidenční interval její střední hodnoty.

Způsob č.1: Křivky intenzity vyzařování měřené v závislosti na čase byly vyhlazeny pomocí regresního modelu – vzorec (2), který popisuje exponenciální rozpad luminiscence. [35] Jedná se o protáhlou exponenciální funkci rozpadu luminiscence v závislosti na čase, která je dána parametry: I_0 , τ a β .

Způsob č. 2: „Křivky intenzity vyzařování měřené v závislosti na vzdálenosti od zdroje světla byly vyhlazeny pomocí lineárního regresního modelu *LLF2*. Jedná se o po částech lineární funkci, která se skládá ze dvou lineárních úseků se směrnici a_1 a a_2 a úseky q_1 a q_2 . Lokální směrnice modelu *LLF2* A_1 , A_2 vyjadřují citlivost intenzity vyzařování na vzdálenosti od zdroje a platí $A_1 = a_1$, $A_2 = a_2 - a_1$. Intenzita vyzařování na vstupu do vlákna je označena $P_c(0) = q_1$. Model *LLF2* lze popsat rovnicí“ [36]:

$$LLF2 = P_c(0) + A_1 L + A_2 (L - L_c)_+ = P_c(0) + a_1 L + (a_2 - a_1)(L - L_c)_+ \quad (3)$$

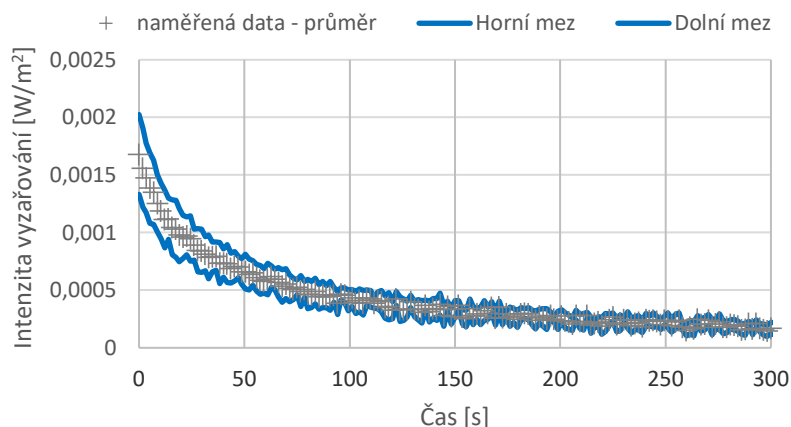
„Jde o regresní spline funkci s jedním uzlovým bodem, kde funkce $(x)_+ = 0$ když x je negativní a $(x)_+ = x$, když x je pozitivní. L_c je vzdálenost průsečíku obou úseků od zdroje světla. Sumární specifickou intenzitu vyzařování na délce l je možno vyjádřit vztahem“ [36]:

$$\int_0^l LLF2(l) dl / l = P_c(0) + a_1 \frac{l}{2} - a_1 L_c + a L_c \quad (4)$$

Tento model se zakládá na předpokladu, že na krátkých vzdálenostech od zdroje světla jsou nerovnoměrnosti ve stranovém vyzařování vláken díky vlivu apertury a kritického úhlu odrazu, a tedy intenzita vyzařování prudce klesá. Ve druhém úseku je stranové vyzařování rovnoměrné a jeho intenzita klesá velmi pomalu. K nalezení parametrů bylo užito metody nejmenších čtverců.

Grafické posouzení vhodnosti exponenciálního regresního modelu:

Obr. 15 znázorňuje průměrnou hodnotu intenzity vyzařování hned po skončení excitace, jako funkci času vyhasínání luminiscence vzorku HS č. 2 – bílá paspule, který byl nabíjen po dobu jedné minuty. Průměrná hodnota byla stanovena z pěti měření, do grafu jsou vyneseny mezní hranice 95 % intervalu.

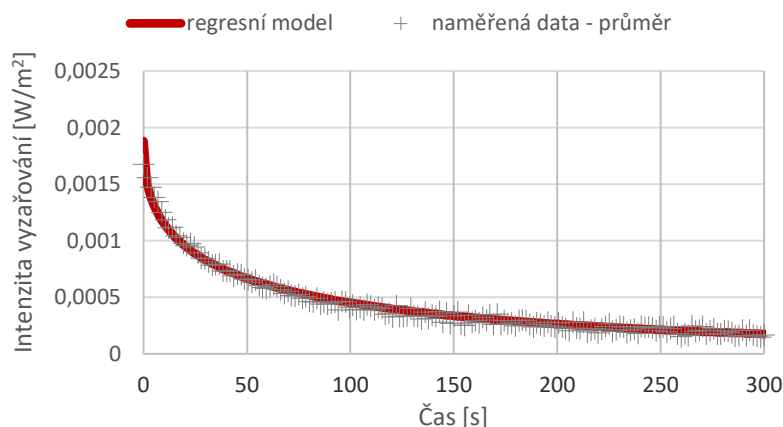


Obrázek 15: Intenzita vyzařování jako funkce času vyhasínání luminiscence vzorek HS č. 2 - bílá paspule – naměřená data

K nalezení parametrů modelu bylo užito metody nejmenších čtverců. Jedná se o nelineární regresi, kde nezávislou proměnnou je čas a závislou, resp. hledanou proměnnou je intenzita, na hladině významnosti 0,05. Parametry vyhlazené křivky vzorku viz. tab.4. Z obr. 16 a dle R koeficientu lze usuzovat, že zvolený model vhodně popisuje naměřená data.

Tabulka 4: Parametry vyhlazených křivek intenzity pomocí regresního modelu

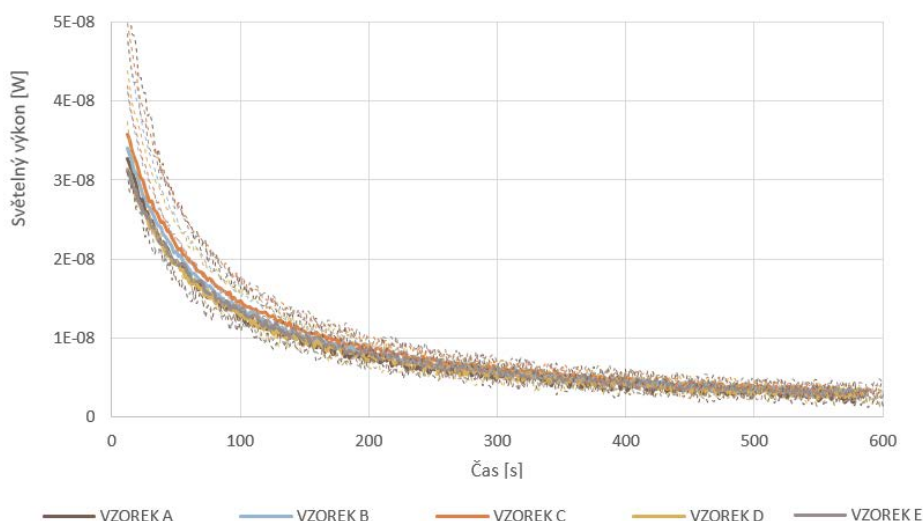
Počáteční intenzita po excitaci I_0 [W/m^2] = P1	0,001880703
Parametr τ [s] = 1/P2	46,24998
Parametr β [-] = P3	0,461438627
Koeficient korelace R	0,992936046



Obrázek 16: Intenzita vyzařování jako funkce času vyhasínání luminiscence vzorek HS č. 2 - bílá paspule – proložení dat regresním modelem

2.3 Výsledky měření

Dle analýzy Anova průměrná hodnota P-value činí 20 %, což splňuje podmínku kritéria $P\text{-value} \geq 5 \%$ a tedy lze bezpečně přijmout nulovou hypotézu. Ta vliv faktoru hodnotící variabilitu naměřených dat způsobenou odběrem vzorků po délce a v ploše textilie považujeme za neprokázaný. Hodnoceno bylo 5 vzorků, jež byly odebrány z jiného místa. Obr. 17, zobrazuje porovnání 95% interval spolehlivosti průměrných hodnot světelného výkonu v závislosti na čase vyhasínání luminiscence. Průměrná hodnota byla spočtena pro každý vzorek HS č. 1 z pěti sad měření (1 sada 5 měření).



Obrázek 17: Graf srovnání 95 % intervalů spolehlivosti průměrných hodnot světelného výkonu HS č.1

95% Intervaly spolehlivosti středních hodnot se na obr. 17 vzájemně překrývají. Intervaly nám vyjadřují tvrzení statistické jistoty, s jakou naměřená hodnota světelného výkonu bude ležet v mezích spolehlivosti z 95 %.

Porovnáním bylo zjištěno, že rozdíl mezi naměřenými hodnotami je statisticky nevýznamný, tj. faktor místa odběru vzorku z luminiscenční textilie významně neovlivní výsledek měřené intenzity vyzařování luminoforu. Tím byla splněna podmínka spolehlivosti dat a potvrzen výsledek testu ANOVA. V dalších experimentech bude intenzita vyzařování hodnocena pouze z jedné sady měření (5 vzorků).

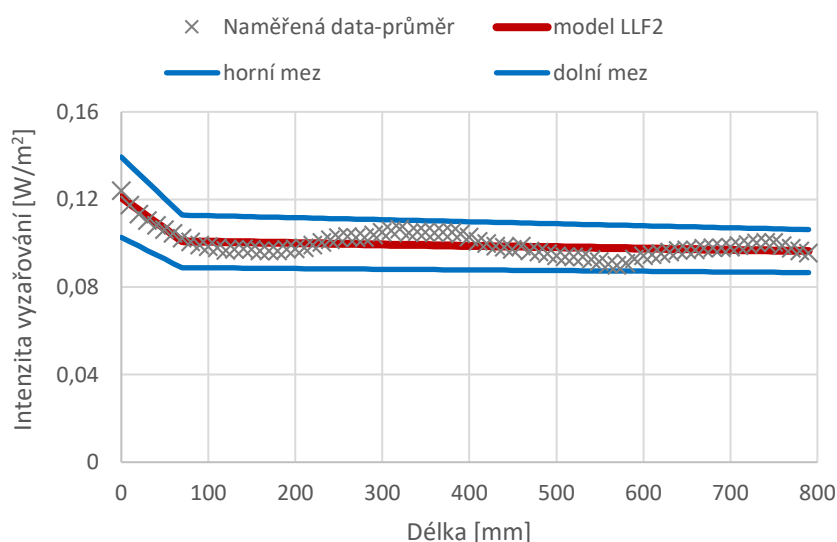
Současně lze tvrdit, že přístroj POFIN2 poskytuje kvalitní data a tudíž, že navržená metoda hodnocení závislosti světelného výkonu na čase věrohodně zachycuje průběh excitace fotonu (vysvícení luminiscenčního materiálu) na základě poklesu intenzity světelného výkonu.

2.3.1 Intenzita vyzařování jako funkce vzdálenosti od zdroje

Specifický výkon vyzařování na délce 800 mm optického vlákna typu „Grace-standard“ o průměru 3 mm byl hodnocen na vzorcích lineárních kompozitů s ohledem na vliv obalu. Pro testování byly vybrány fluorescenční paspule v barvách reflexní žluté, reflexní oranžové a opticky zjasněná bílá (dále jen „bílá“) a fosforescenčních opletů bílé barvy, které jsou součástí HS č. 3 (dále jen „lumi bílá“). Experimentální data získaná z měření byla vyhlazena pomocí lineárního regresního modelu, dle vztahu (3). Pro nalezení optimálních parametrů modelu LLF2 pomocí lineární regrese byl použit program v jazyce Matlab. Parametry, které jsou výsledkem vyhlazení intenzity vyzařování pomocí LLF2 jsou uvedeny v tab. 5. Model vhodně aproximuje naměřená data, jak ukazuje obr. 18.

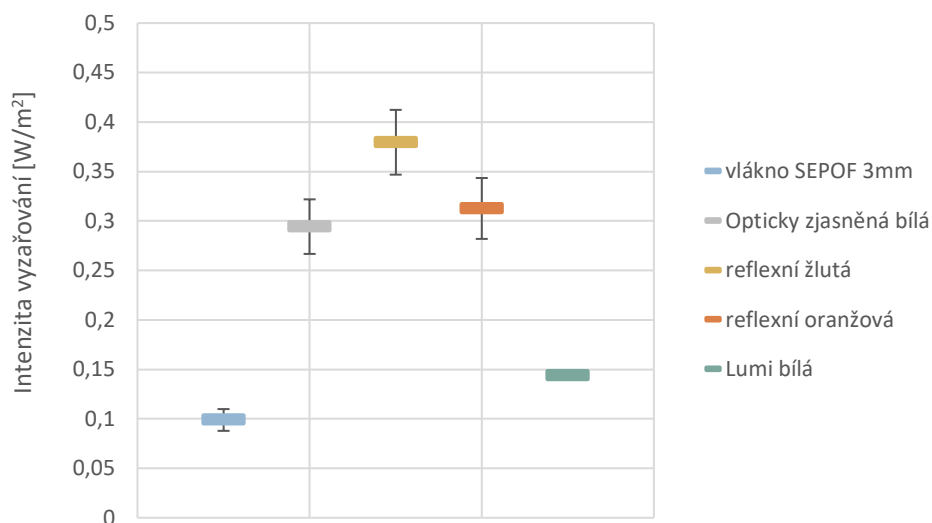
Tabulka 5: Parametry vyhlazených křivek intenzity vyzařování pomocí LLF2

Druh obalu	Bez obalu	Bílá	Reflexní žlutá	Reflexní oranžová	Lumi. bílá
Směrnice a_1	- 0,00029	-5,36E-05	-3,98E-04	-7,83E-04	-6,89E-04
Úsek q_1	0,12103	0,431643	0,552862	0,642828	0,344768
Směrnice a_2	-6,15E-06	-4,40E-04	-6,01E-04	-4,97E-04	-1,91E-04
Úsek q_2	0,101287	0,470291	0,61979	0,511271	0,220337
Vzdálenost průsečíku přímek L_c [mm]	69,7512	100,005	330,268	459,686	249,592
Délka měřeného úseku L [mm]	800	800	800	800	800
Sumární specifická intenzita na délce L	0,0988	0,294258	0,379552	0,312635	0,144002



Obrázek 18: Intenzita vyzařování jako funkce vzdálenosti od zdroje pro vlákno „Grace-standard“ o průměru 3 mm – vyhlazená data

Pro odhadované parametry uvedené v tab. 5 byla dle vztahu (4) spočítána také sumární hodnota specifického výkonu na určité délce (800 mm). Jedná se o podíl určitého integrálu LLF2 v daném intervalu a šířky tohoto intervalu z níž je možné udělat dílčí závěr, který hodnotí nejvyšší dosaženou intenzitu vyzařování.



Obrázek 19: Vliv textilního obalu s ohledem na sumární hodnotu intenzity vyzařování

Na obr. 19 jsou vyneseny hodnoty sumární intenzity vyzařování a jejich 95% konfidenční interval spolehlivosti všech testovaných variant lineárních kompozitů. Vzorek bílého luminiscenčního byl podroben jen jednomu testování, z toho důvodu v grafu není uveden konfidenční interval. Experimentem byl sledován vliv textilního obalu na intenzitu vyzařování optického vlákna typu „Grace-standard“ o průměru 3.

Z uvedených výsledků vyplývá rozdíl v sumární intenzitě vyzařování mezi samotným vláknem a vláknem v textilním obalu barvy bílé, refl. žluté a oranžové je statisticky významný. Rozdíl v sumární intenzitě vyzařování je mezi reflexní žlutou a oranžovou statisticky nevýznamný a mezi reflexní žlutou a ostatními statisticky významný. Jak vyplývá z porovnání jejich konfidenčních intervalů spolehlivosti.

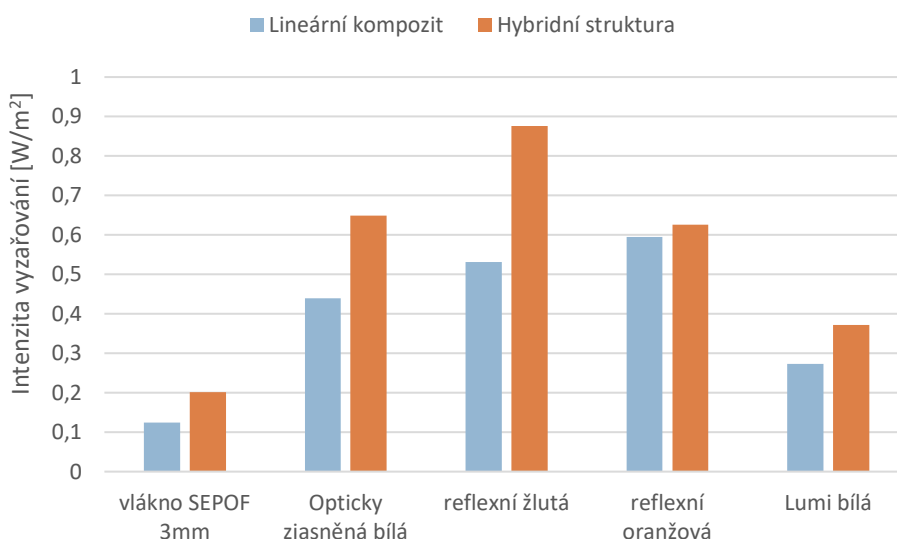
Následující výsledky hodnotí vliv textilního obalu v závislosti na aktivaci luminoforu. Zda je plně využita schopnost zvýšené intenzity vyzařování textilního opletu například na čase potřebném k aktivaci luminiscence.

2.3.2 Intenzita vyzařování jako funkce času

Experiment hodnotící intenzitu vyzařování luminiscence v závislosti na čase, podává informace o účinnosti navržených struktur kombinující aktivní a pasivní prvek bezpečnosti, které byly hodnoceny s ohledem na typ hybridní struktury, na dobu excitace a na použitý mód nabíjení (tj. konstantní svícení nebo blikající mód).

2.3.2.1 Testování s ohledem na hybridní strukturu

Byl zkoumán vliv hybridní struktury (dále HS) na celkovém výkonu vyzařování luminiscence. Experiment byl proveden na všech typech hybridních struktur, tj. HS č.1, HS č.2 a HS č.3 i jejich barevných variantách. Vzorky byly vystaveny excitaci po dobu 10 min. Dalších deset minut probíhal test.



Obrázek 20: Porovnání intenzity vyzařování lineárního kompozitu a hybridní struktury.

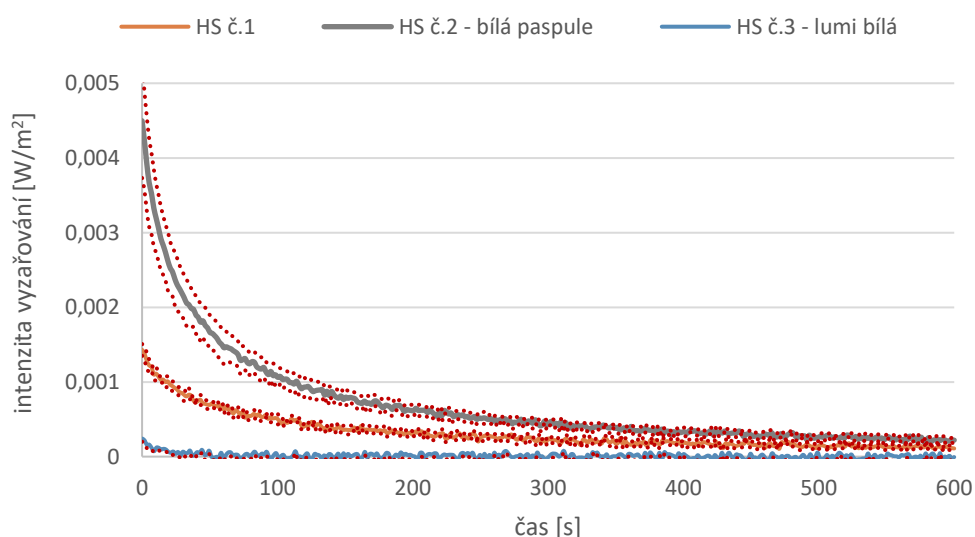
Obr. 20 porovnává intenzitu vyzařování vlákna „Grace – standard“ o průměru 3 mm zabudovaného do lineárního kompozitu nebo hybridní struktury. Hodnota intenzity byla pro lineární kompozit brána v čase 0. Dle lineárního regresního modelu se jedná intenzitu vyzařování na vstupu do vlákna (označena $P_c(0) = q1$). Míra intenzity vyzařování je pro hybridní strukturu snímána v čase excitace, tj. v době nabíjení luminiscenčního materiálu.

Z výsledků měření lze spatřit rozdíl ve výkonu vyzařování hybridní struktury oproti lineárnímu kompozitu. Zvýšení intenzity vyzařování hybridní struktury je možné přičítat vlivu luminiscenčního materiálu, který světelný výkon celého systému ještě zintenzivňuje. Nejmenší rozdíl vyzářené intenzity světla je patrný u vzorků s reflexní oranžovou. Celkově nejvyšší intenzita vyzařování byla naměřena u hybridní struktury s reflexní žlutou paspulí.

Výsledek testování hodnotící intenzitu vyzařování luminiscence s ohledem na druh hybridní struktury je prezentován v grafu, obr. 21. Pro vyhlazení naměřených dat byl použit regresní model, vzorec (2). Vypočítané parametry popisující průběh funkce vyhasínání luminiscence, jsou uvedeny v tab. 6.

Tabulka 6: Parametry regresního modelu pro data vyhasínání luminiscence s ohledem na HS

Druh obalu hybridní struktury:	Bez obalu	Bílá paspule	Lumi. bílá
I_0 [W/m ²] = P1	0,001577	0,005054	0,000264
τ [s] = 1/P2	76,19025	42,48769	8,608573
β [-] = P3	0,480962	0,464141	0,248319
Koeficient korelace R	0,988486	0,991759	0,590783



Obrázek 21: Intenzita vyzařování luminiscence s ohledem na hybridní strukturu

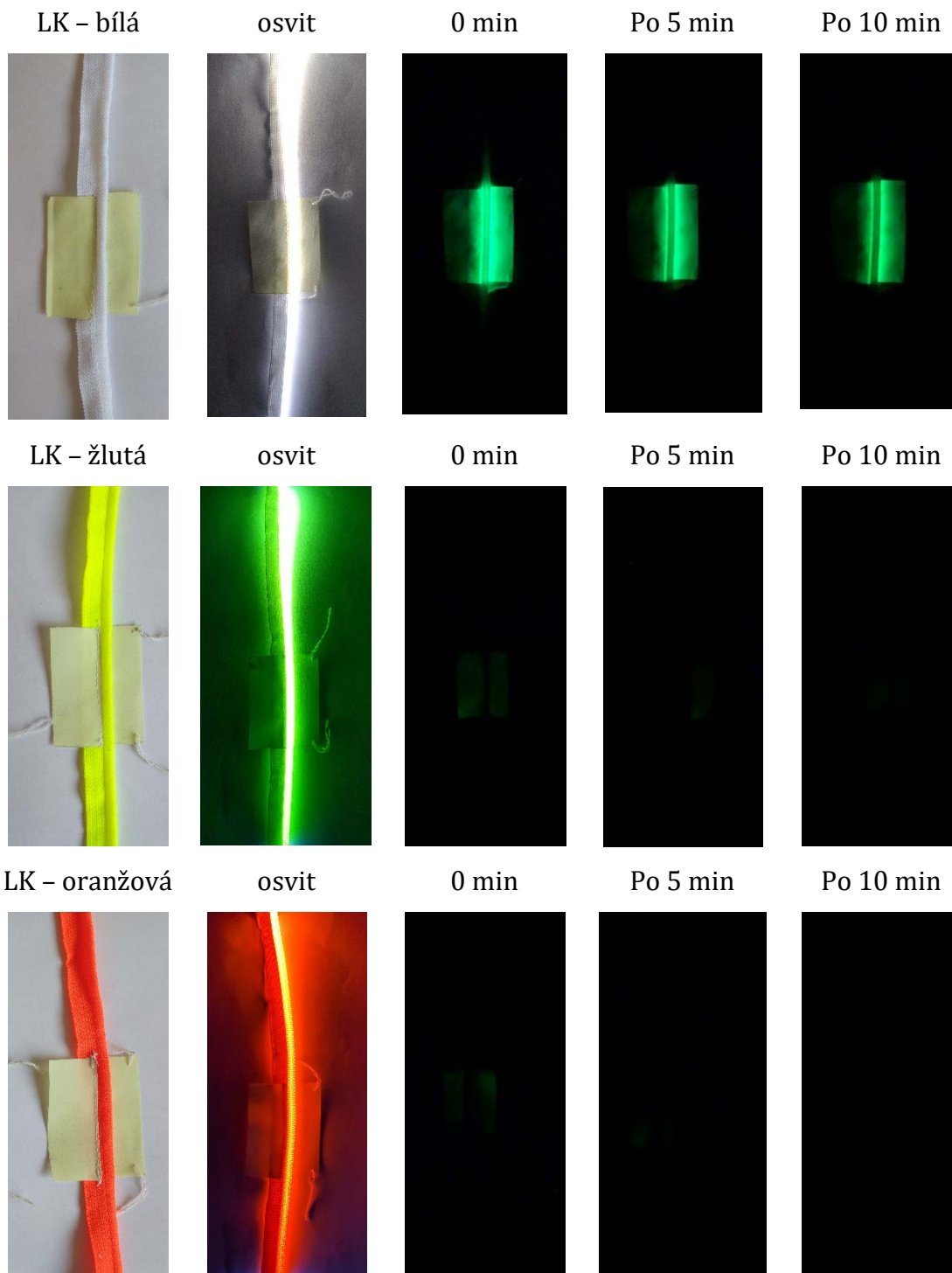
Jak ukazuje obr. 21 nejvyšší hodnoty dosáhl vzorek hybridní struktury č.2 s bílou paspulí, což nám reprezentuje parametr I_0 – počáteční intenzita těsně po vypnutí budícího záření. Nejhůře dopadla HS č.3 s luminiscenčním opletem v bílé barvě. Bylo vysledováno, že parametr τ , má vliv na poločas rozpadu luminiscence.

V rámci hodnocení intenzity vyzařování luminiscence s ohledem na hybridní strukturu, byl u HS č. 2 sledován vliv barvy textilní paspule. Doba excitace vzorků činila 10 min. Test odhalil fakt, že reflexní barvy paspule neaktivují luminiscenční textilii. Viz obr. 22. V rámci tohoto experimentu, byly pořízeny časové snímky, viz. Následující strana. Pro vzorek HS č. 2 byla maximální doba svícení stanovena na 20 min. Jedná se o hodnotu stanovenou subjektivně, kde hraje roli vidění pozorovatele a jeho vnímání jasu.

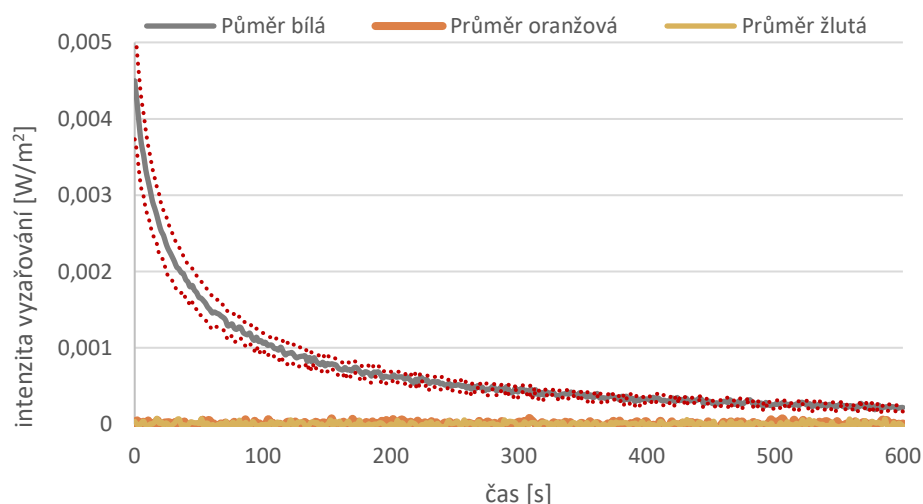
Příloha B

Snímky dokumentují časový průběh vyhasínání luminiscence HS č.2 - bílá paspule a vliv reflexní barvy textilní paspule na excitaci luminoforu.

Osvit – zdroj: linární kompozit, temná komora, doba excitace 10 min



Obrázek 22 zobrazuje průběh intenzity vyhasínání luminiscence HS č. 2

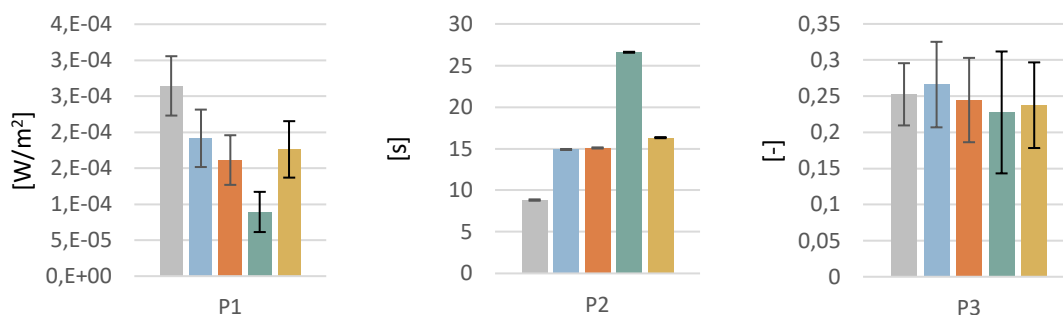


Obrázek 22: Vliv barvy paspule na intenzitu vyzařování luminiscence

Vliv barvy byl taktéž sledován u varianty HS č. 3. Intenzita vyzařování této hybridní struktury se pohybuje v nízkých hodnotách v řádu $10 \text{ E-}05 \text{ W/m}^2$ s poměrně velkou variabilitou. Pro vyhlazení naměřených dat, byl použit exponenciální regresní model. Získané parametry jsou uvedeny v následující tab.7. Porovnání parametrů regresního modelu vyhlazených dat intenzity vyzařování znázorňuje obr. 23.

Tabulka 7: Parametry regresního modelu pro data vyhasínání luminiscence HS č.3 – vliv barvy opletu

Barva lumi. opletu:	bílá	modrá	růžová	zelená	žlutá
$I_0 \text{ [W/m}^2\text{]} = P1$	0,000264	0,000191	0,000161	8,92E-05	0,000176
$\tau \text{ [s]} = 1/P2$	8,82281	14,90185	15,08879	26,5945	16,32689
$\beta \text{ [-]} = P3$	0,252572	0,266042	0,244631	0,227487	0,237492
Koeficient korelace R	7,66E-01	6,85E-01	6,65E-01	5,21E-01	6,35E-01



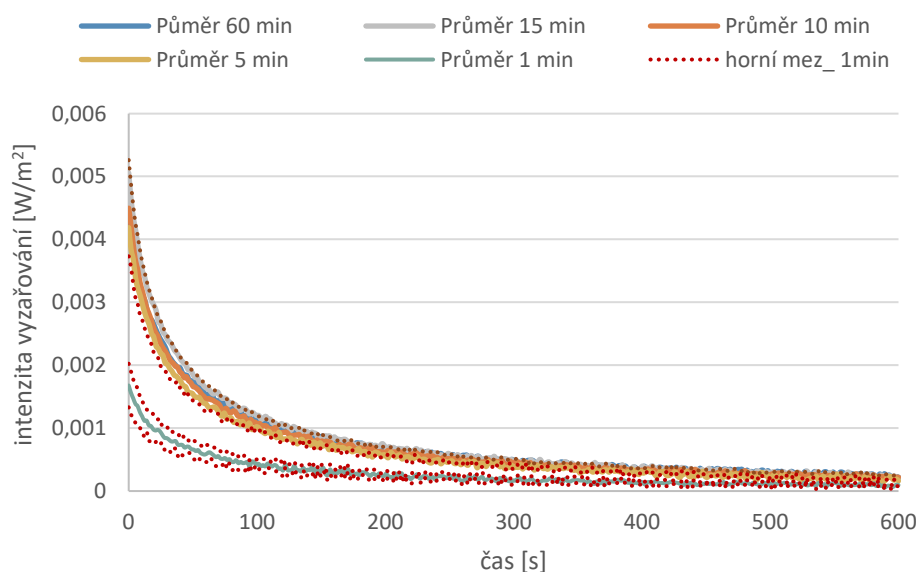
Obrázek 23: Porovnání parametrů modelu pro vyhasínání luminiscence HS č.3 - vliv barvy opletu

Obr. 23 graficky znázorňuje porovnání vypočítaných parametrů exponenciálního regresního modelu. Z grafu je patrné, že bílá barva na počátku vykazovala nejvyšší intenzitu vyzařování, avšak její hodnota v porovnání s ostatními vzorky rychle spadla, o čem nás informuje parametr τ . Zelená barva luminiscenčního opletu měla

přesně opačnou tendenci. Její intenzita klesala pozvolna, nicméně počáteční parametr intenzity vyzařování luminiscence vypovídá o její nízké hodnotě zářícího výkonu, je nevhodná. Intenzita zbylých barev je srovnatelná z hlediska překrytí intervalů spolehlivosti v každém z uvedených parametrů.

2.3.2.2 Testování s ohledem na dobu excitace

V rámci tohoto testování je hledána optimální doba potřebná k aktivaci luminiscenční textilie. Optimum je nalezeno právě tam, kde je účinek luminiscence nejvyšší dosažený za co nejkratší čas. Testování bylo provedeno na vzorcích HS č.2 – bílá paspule. Vzorky byly vystavovány excitaci po dobu 1, 5, 10, 15 a 60 min, následně u nich dle navržené metodiky byla testována intenzita vyzařování v závislosti na čase, průběh průměrných hodnot vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu excitace znázorňuje obr.24.



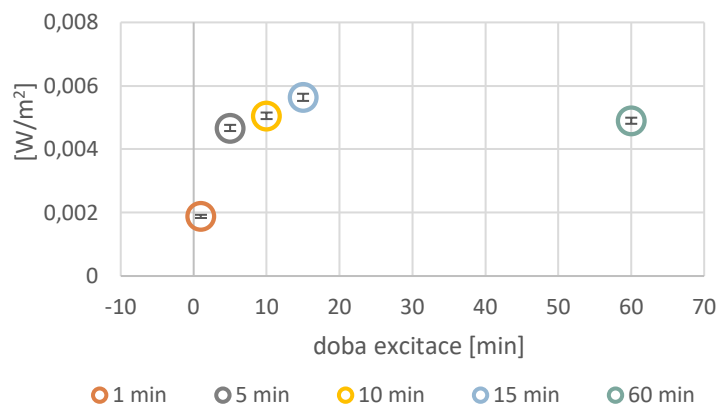
Obrázek 24: Porovnání intenzity vyzařování v závislosti na čase HS č.2-s ohledem na dobu excitace

Z obr. 24 je vidět, že se hodnota intenzity vyzařování vzorku HS č.2 po excitaci 5, 10, 15 a 60 min významným způsobem neliší. Pro popis chování jednotlivých křivek byly využity parametry získané vyhlazením křivek pomocí exponenciálního regresního modelu (2). Vypočítané parametry jsou uvedeny v tab. 8.

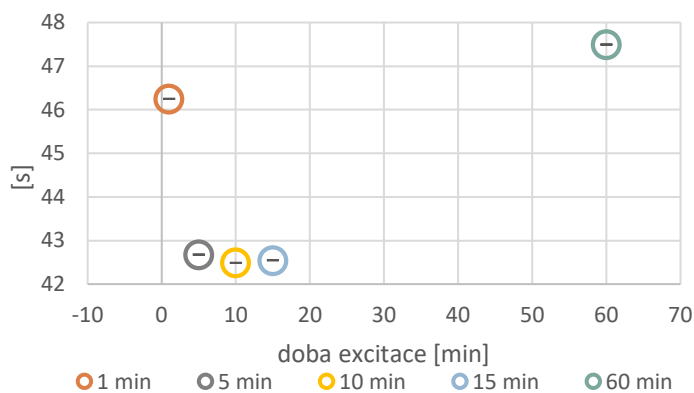
Tabulka 8: Parametry regresního modelu vyhasínání luminiscence HS č.2-s ohledem na dobu excitace

Čas excitace:	1 min	5 min	10 min	15 min	60 min
$I_0 [\text{W/m}^2] = P1$	0,001881	0,004671	0,005054	0,005637	0,004898
$\tau [\text{s}] = 1/P2$	46,24998	42,67668	42,48769	42,54749	47,49486
$\beta [-] = P3$	0,461439	0,473044	0,464141	0,467242	0,463375
Koeficient korelace R	0,992936	0,995772	0,995871	0,996068	0,996269

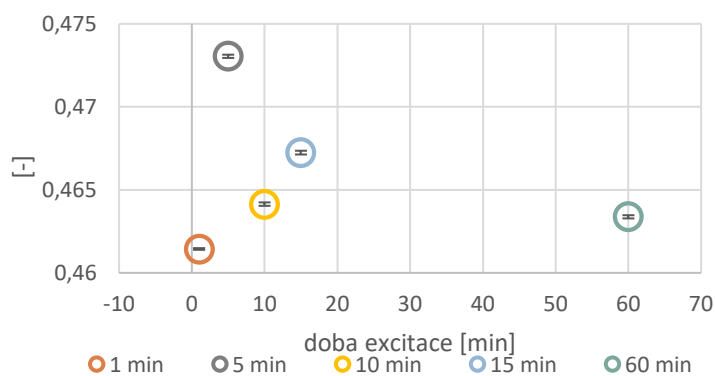
Obr. 25-27 ukazují že rozdíl v průběh vyhasínání luminiscence vzorků, které byly excitované po dobu 5, 10, a 15 minut je statisticky nevýznamný. Rozdíl počáteční intenzity luminiscence je pro vzorek excitovaný po dobu 10 min a 60 min statisticky nevýznamný u zbývajících časů je tomu naopak. Za optimální čas lze pokládat dobu excitace 5 min.



Obrázek 25: Závislost parametru I_0 na čase excitace – intenzity vyhasínání HS č.2



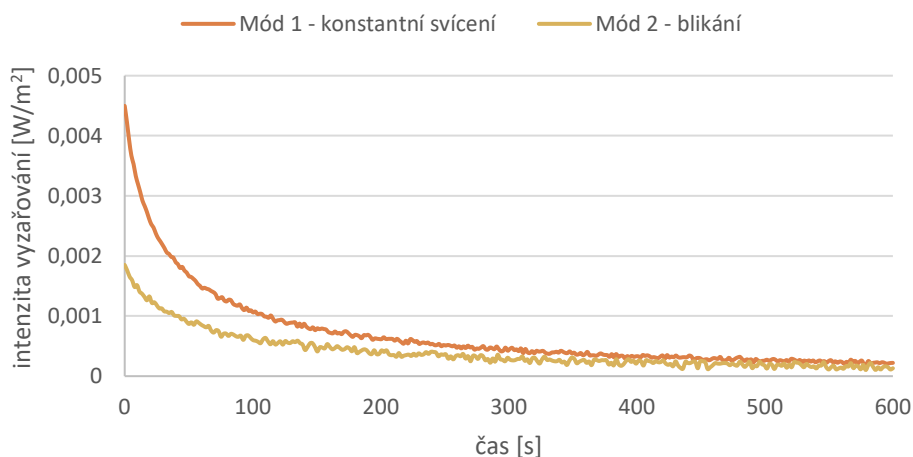
Obrázek 26: Závislost parametru τ na čase excitace – intenzity vyhasínání HS č.2



Obrázek 27: Závislost parametru β na čase excitace – intenzity vyhasínání HS č.2

2.3.2.3 Testování s ohledem na použitý mód osvětlení

V rámci tohoto experimentu byl zkoumán vliv módu osvětlení na aktivaci luminiscence. Test proběhl na vzorcích HS č.2 – bílá paspule. Čas excitace v módu konstantního svícení i v módu blikajícího svícení činila 10 min. Obr. 28 ukazuje na pokles počáteční intenzity luminiscence HS č.2 nabíjené přerušovaným módem.



Obrázek 28: Porovnání intenzity vyzařování v závislosti na čase HS č.2-vliv mód osvětlení

3 Diskuze

V experimentální části bylo provedeno měření s ohledem na vliv textilního obalu, v závislosti na délce a v závislosti na čase vyhasínání luminiscence. Cílem experimentu bylo na základě informací získaných z měření vyhodnotit, který textilní obal je pro aktivní prvek hybridního systému nejvýhodnější, tj. nejlépe vyzařuje a zároveň umožňuje aktivaci pasivního prvku struktury – luminiscenční textilie.

Bylo nalezeno, že rozdíl v sumární intenzitě vyzařování mezi samotným vláknem a vláknem v textilním obalu barvy bílé, refl. žluté a oranžové je statisticky významný. Tyto tři textilní oplety zvýšili výslednou hodnotu intenzity vyzařování optického vlákna nejvíce v porovnání se luminiscenčním opletem nebo samotným vláknem.

Při porovnání intenzity vyzařování lineárních kompozitů a hybridních struktur bylo zjištěno, že přítomnost luminiscenční textilie v hybridní struktuře, výslednou hodnotu intenzity vyzařování v čase excitace (doba kdy je luminiscenční textilie právě nabíjena aktivním prvkem) zvyšuje.

Dále bylo prokázáno, že intenzita vyzařování luminiscenčního materiálu po excitaci závisí na zvoleném typu hybridní struktury. Nejlépe luminiscenční textilii nabíjí HS č.2, která je založena na struktuře lineárního kompozitu (vlákno, textilní oplet – bílá, reflexní žlutá a reflexní oranžová a zdroj) vsítěho mezi dva textilní luminiscenční proužky. Bylo zjištěno, že reflexní barvy luminiscenční textilii Amandu nenabíjí. Příčinu lze hledat ve spektrální intenzitě vyzařování jednotlivých paspulí.

V rámci experimentu hodnotící intenzitu vyzařování HS č.2 s ohledem na dobu excitace, byl vtipován optimální čas potřebný k nabití (aktivaci) luminiscence. Ten je 5 min.

Poslední experiment odhalil, že luminiscenční materiál HS č.2 je možné na nabíjet blikajícím módem. Intenzita vyzařování při stejném čase excitace nedosahuje takové hodnoty jako při konstantním nabíjení. Jedná se o oblast, kterou by bylo vhodné se blíže věnovat.

Zabudování hybridní struktury do oděvu

Hybridní struktura obsahující stranově vyzařující polymerní optická vlákna v bílé textilní paspuli je vhodná pro zabudování do oděvu. V kombinaci s luminiscenčními prvky jednoduše zviditelní obrys osoby i v případě, kdy se vyčerpá baterie pro aktivní osvit. Mimo to, lze díky relativně krátkému času potřebného k excitaci luminiscence uspořit značnou část baterie i s ohledem na mód osvětlování.

Při návrhu bezpečnostních oděvů s aplikací hybridních struktur, je třeba brát v úvahu důležitá fakta, která odhalil rešeršní průzkum. Jsou jimi:

1. Umístění bezpečnostních prvků v oblasti biologického pohybu, tak aby byl zvýrazněn reálný obrys účastníka silničního provozu.
2. Konstrukční modelové řešení pro umístění zdroje nabíjení aktivního prvku. Celý koncept má chránit zdroj před vnějšími nepříznivými vlivy a zároveň by měl být volně přístupný pro snadnou odnímatelnost zdroje z důvodu údržby.
3. Umístění a vedení hybridní struktury oděvem s ohledem na vlastnost útlumu liniového zdroje záření. To závisí na vzdálenosti od zdroje a množstvím vložených kliček, ohybů.

Závěr

V úvodní části diplomové práce byl proveden rešeršní průzkum na téma aktivních a pasivních prvků v bezpečnostních oděvech s ohledem na vlastnosti a možnosti uplatnění. Blíže bylo pojednáno o lineárních kompozitech se stranově vyzařujícími optickými vlákny a o možnostech použití luminiscenčních prvků v textilních aplikacích.

V rámci experimentální části byla navržena a otestována nová metodika hodnotící intenzitu vyzařování jako funkce času. Měření probíhalo na přístroji POFIN2, který poskytl kvalitní data, vhodná pro další zpracování. Navržená metodika věrohodně zachycuje průběh vyhasínání luminiscence. Na tomto přístroji byla také dle standardní metodiky hodnocena intenzita vyzařování lineárních kompozitů s ohledem na vliv textilního obalu s využitím vybraných reflexních a luminiscenčních opletů.

Experimentálně byly hodnoceny tři sady hybridních struktur. Kde aktivním prvkem bylo stranově vyzařující optické vlákno „Grace-standard“ o průměru 3 mm a pasivním prvkem fluorescenční oplet v bílé, reflexní žluté a reflexní oranžové barvě, luminiscenční textilie zvaná *AMANDA GS PZ/HF* poslední variantou pasivního prvku byl luminiscenční oplet.

Na základě výsledků diplomové práce byla vytipovaná z hlediska dostatečné intenzity vyzařování hybridní struktura č.2., která lze současně vhodně zabudovat do oděvu. Pro schopnost světelného vyzařování pasivního prvku je hybridní struktura vhodná pro aplikace v bezpečnostních textiliích.

V rámci dalšího testování by bylo vhodné se zaměřit na objektivní zhodnocení vzdálenosti dosvitu navržené hybridní struktury zabudovaných v oděvu. Nebo věnovat pozornost optimální doby nabíjení luminiscence blikajícím módem. Existuje široké spektrum možností testování v této oblasti bylo přínosné. Uvedené návrhy vyplývají z výsledků experimentů.

Úplným závěrem experimentální hodnocení bylo provedeno v optické laboratoři na Katedře materiálového inženýrství Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

Tato práce byla podpořena projektem MPO FV 10356 Hybridní bezpečnostní prostředky.

Literatura

- [1] WIKIPEDIA: *Viditelnost*. [online] 2016 [cit. 11. 03. 2019]
Zdroj: <https://www.wikiwand.com/en/Visibility>
- [2] Bezpečné cesty: *snížená viditelnost*. [online] 2018 [cit. 03. 09. 2018].
Zdroj: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecna-jizda-v-aute/snizena-viditelnost>
- [3] Policie ČR: *Statistika nehodovosti*. [online] 2018 [cit. 11. 03. 2019]. Zdroj:
<https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>
- [4] SCILIF: *SunFibre*. [online] 2019 [cit. 13. 03. 2019] Zdroj:
http://www.scilif.com/video_cz.html
- [5] BESIP: *Materiály pro lepší viditelnost*. [online] 2019 [cit. 12. 03. 2019].
Zdroj: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Aktivni-pohyb-v-silnicnim-provozu/Budte-videt,-prezijete/Budte-videt>
- [6] KŘEMENÁKOVÁ D., J. MILITKÝ a V. LÉDL: *Využití stranově vyzařujících optických vláken pro výraznění objektů*. Technická univerzita v Liberci. [online] 2015. [cit. 13. 03. 2019] Zdroj:
http://www.ft.tul.cz/files/katedry/KMI/Laboratoře/liniové_zdroje.pdf
- [7] VIK M. A VIKOVÁ M. Pokročilé materiály pro bariérové a funkční vlákenné struktury: *Metrologie optických vlastností textilií s vysokou viditelností*. Technická univerzita v Liberci, 2013, str. 342–360. ISBN 978-80-7494-030-9
- [8] PORTWEST: *Budoucnost pracovních oděvů*. [online] 2019 [cit. 13. 03. 2019]
Zdroj: https://issuu.com/portwestltd/docs/Czech_online
- [9] WIKIPEDIA: *Výstražný oděv*. [online] 2019 [cit. 11. 03. 2019] Zdroj:
https://www.wikiwand.com/en/High-visibility_clothing
- [10] KUZMOVÁ, M. *Viditelnost chodců za snížené viditelnosti*. Technická univerzita Liberec, 2018. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Katarína Zelová. Ph. D
- [11] OLSON, P. L., and FARBER, E. *Forensic Aspects of Driver Perception and Response* (2nd ed.). Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company, Inc. 2003.
- [12] TYRRELL R. A., WOOD, J. M. and col. *Seeing pedestrians at night: Visual clutter does not mask biological motion*. Accident Analysis and Prevention, 2009, č.41(3), str. 506-512.
- [13] IDNES: *Svítilící vlákna ochrání chodce, řidiči je uvidí až na jeden kilometr*. [online] 2014 [cit. 14. 03. 2019] Zdroj: https://www.idnes.cz/liberec/zpravy/opticka-vlakna-technicke-univerzity-v-liberci.A140227_123218_liberec-zpravy_tm

- [14] IDNES: *Bunda z Liberce usnadní cyklistům odbočování, sama se rozblíká.* [online] 2017 [cit. 14. 03. 2019] Zdroj: https://www.idnes.cz/liberec/zpravy/bunda-liberec-cyklista-kolo-odbocovani-blikani-rozblika.A170616_154023_liberec-zpravy_jape
- [15] IDNES: *Chodce ve tmě ochrání svítící omyvatelný sprej, může se stříkat i na psy.* [online] 2017 [cit. 14. 03. 2019] zdroj: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/svitici-reflexni-sprej-pro-chodce-v-cesku.A160514_2246117_domaci_cen
- [16] BOHUNICKÝ, M. *Life Paint od Volva zachraňuje cyklistom životy.* StartiUp. [Online] 2015 [Citace: 10. 04. 2019]. Zdroj: <https://www.startitup.sk/life-paint-od-volva-zachranuje-cyklistom-zivoty/>
- [17] BARÁNEK S. *Výroba retroreflexních dopravních značek.* [online] 2015 [cit. 10. 04. 2019]. Zdroj: <https://docplayer.cz/1669453-Vyroba-retroreflexnich-dopravnich-znacek.html>
- [18] CIE Publication No. 54.2, Retroreflection-Definition and Measurement, 2001
- [19] PANÁK O. *Měření barevnosti.* Studijní materiál. [online] 2015 [cit. 10. 04. 2019]. Zdroj: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/merenibarevnosti.pdf>
- [20] LED SOLUTION: *Led osvětlení – jak LED diody fungují.* [online] 2016 [cit. 10. 04. 2019]. Zdroj: <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/>
- [21] TITOVÁ, A. *Signalizační cyklistická a sportovní bunda.* Technická univerzita Liberec, 2017. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Havelka. Ph. D
- [22] KŘEMENÁKOVÁ D., J. MILITKÝ, B. MAYEROVÁ A V. LÉDL. *Vláknenné struktury pro speciální aplikace.* Technická univerzita v Liberci, 2013, str. 135–209, ISBN 978-80-87269-32-9.
- [23] KŘEMENÁKOVÁ, D., LÉDL, V., MILITKÝ, J., KOPECKÝ, V., VÁCLACÍK, J.: *Způsob výroby stranově vyzařujících světlovodů, světlovou a opticky aktivní textilie používající tyto světlovody.* Patentový spis č.302 903, 7.12.2011, Věstník 3/2012.
- [24] KŘEMENÁKOVÁ, D., LÉDL, V., MILITKÝ, J., BŮBELOVÁ, B., MERYOVÁ, B.: *Aktivně vyzařující bezpečnostní prostředek.* Patentový spis č.306 943, 23.8.2017, Věstník 40/2017.
- [25] STAP a.s.: *Stuhařské výrobky.* Oficiální web [online] 2019 [cit. 10. 04. 2019] Zdroj: <https://www.stap.cz/>
- [26] KŘEMENÁKOVÁ D., J. R. MISHRA, J. MILITKÝ, A SPOL. *Selected properties of functional materials.* Technická univerzita v Liberci, 2013, str. 45–134, ISBN 978-80-87269-32-9.
- [27] WANG J., HUANG B., YANG B. *Effect of weave structure on the side-emitting properties of polymer optical fiber jacquard fabrics.* Textile Research Journal 83, 1170-1180, (2013) First published January 28 2013.

- [28] MASUDA A., MURAKAMI T., HONDA K., YAMAGUCHI S. *Optical Properties of Woven Fabrics by Plastic Optical Fiber*. Journal of Textile Engineering, 52, No.3, 93-97 (2006)
- [29] PELANT I. a J. VALENTA: *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Academia, 2014. ISBN 978-80-200-2394
- [30] DVOŘÁK L. a Z. KUPKA.: *Fyzikální podstata a využití luminiscence*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1980
- [31] LABGUIDE: *Průvodce laboratoří, fluorochromy*. [online] 2019 [cit. 10. 04. 2019] Zdroj: <https://labguide.cz/fluorochromy/>
- [32] Harlin A, Makinen M, Vuorivirta A. *Development of polymeric optical fiber fabrics as illumination elements and textile displays*. AUTEX Res. J. 3 (2003) 1-8.
- [33] Endruweit A, Long A C, Johnson M S. *Textile Composites with embedded optical fibres. 8th International Conference on Textile Composites (TEXCOMP-8)*, Nottingham, UK, 16-18 Oct 2006.
- [34] PARACORD: *padákové šňůry*. [online] 2019 [cit. 10. 04. 2019] Zdroj: http://www.paracord.cz/fotky19127/PARACORD_550_-_technick_list_PARACORD.CZ.pdf
- [35] CHEN, R. A P. L. LEUNG. *The decay of OSL signals as stretched/exponential function*. Science direct. 37 (2003), str.519-529, DOI: 10.1016/S1350-4487(03)00007-6
- [36] Interní norma č. 21-601-01/02 *Hodnocení intenzity vyzařování optických vláken, svazků vláken a textilií se zabudovanými optickými vlákny*.
- [37] RICHTEROVÁ, J. *Využití luminiscenčních materiálů v textilních aplikacích*. Technická univerzita Liberec, 2012. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Martina Víková, PhD.
- [38] KWANOVÁ, I. a MAPSTONE, J. *Interventions for increasing pedestrian and cyclist visibility for the prevention of death and injuries*. Cochrane Systematic Review. (2006), DOI: 10.1002 / 14651858.CD003438.pub2
- [39] SEJNOVÁ, L. *Vliv struktury luminiscenční-fosforescenční nitě na emitace světla ve tkaninách*. Technická univerzita Liberec, 2012. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph. D
- [40] OWENS, W., *Process for producing phosphorescent yarn and yarn produced by the process*. US5321069 A. 1994-06-14.
- [41] ERDMAN, A., KULPINSKI, P., GRZYB, T., LIS, S.: *Preparation of multicolor luminescent cellulose fibers containing lanthanide doped inorganic nanomaterials*. Journal of Luminescence, Elsevier, 2016, vol. 169, p. 520-527.

- [42] FEKETY, D., KEVIN. A Comparative Analysis of Electroluminescent and Retroreflective Materials as Nighttime Pedestrian Conspicuity Aids" (2015). All Theses. 2134
- [43] ELLUMIGLOW: *Wire lighting*. Oficial web [online] 2019 [cit. 10. 04. 2019]. Zdroj <https://www.ellumiglow.com/>
- [44] PELANT, I., VALENTA, J. *Luminiscenční spektroskopie 1-objemové krystalické polovodiče*, Praha: Academia, 2006, ISBN 80-200-1447-0
- [45] PŘÍSTROJOVÝ LIST: FR-TI1/242 – *Opticky aktivní bezpečnostní textilie, LIOS TH0 1021163 Systémy úsporného liniového osvitu*. Technická univerzita v Liberci, 2019

Seznam obrázků

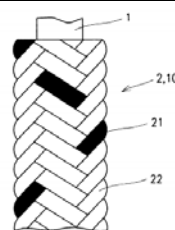
Seznam tabulek

Přílohy

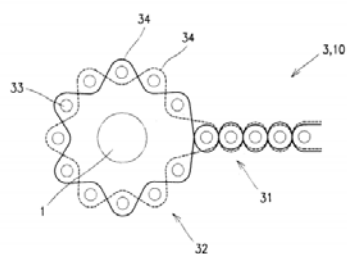
Příloha A

Seznam vztahových značek:

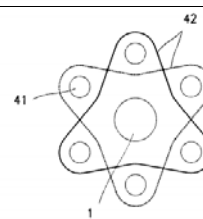
- 1 světlovod
- 10 potah (textilní ochrana světlovodu)
- 2 textilní dutinka
- 21 spletená niť
- 22 spletená niť
- 3 lemovací paspulka
- 31 pásek (lemovací paspulky)
- 32 dutinka (lemovací paspulky)
- 33 osnovní niti (lemovací paspulky)
- 34 útkové niti (lemovací paspulky)
- 4 dutinná tkaná stuha
- 41 osnovní niti (dutinné tkané stuhy)
- 42 útkové niti (dutinné tkané stuhy)
- 5 tkaná stuha
- 51 pevný okraj (tканé stuhy)
- 52 dutina (tканé stuhy)
- 6 popruh
- 61 soustava osnovních nití (popruhu)
- 62 soustava osnovních nití (popruhu)
- 63 soustava útkových nití (popruhu)
- 64 soustava útkových nití (popruhu)
- 65 vazač
- 7 žakárský popruh
- 71 útkové niti (žakárského popruhu)
- 72 soustava osnovních nití
- 73 soustava osnovních nití
- 74 soustava osnovních nití



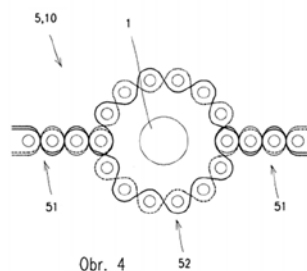
Obr. 1



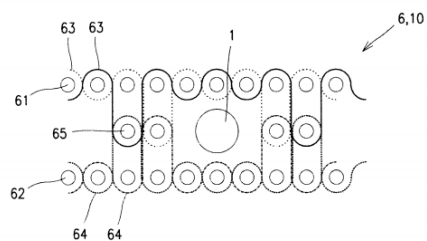
Obr. 2



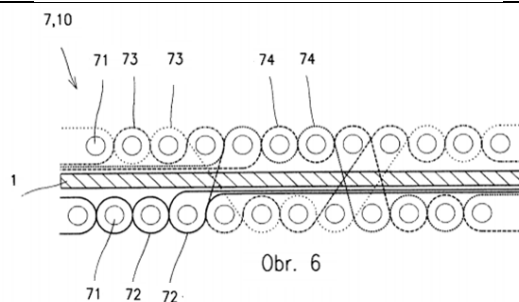
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5

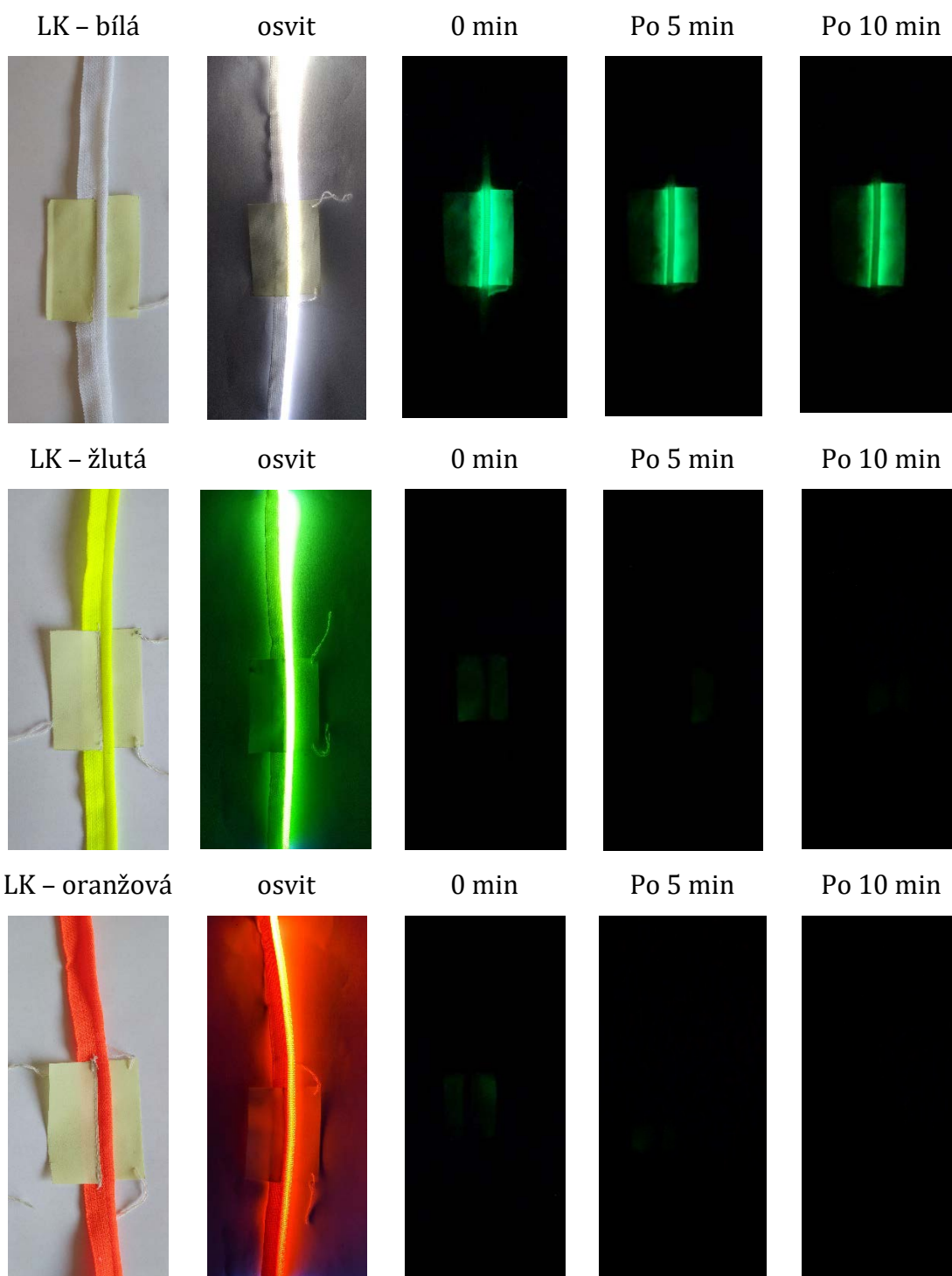


Obr. 6

Příloha B

Snímky dokumentují časový průběh vyhasínání luminiscence HS č.2 - bílá paspule a vliv reflexní barvy textilní paspule na excitaci luminoforu.

Osvit - zdroj: linární kompozit, temná komora, doba excitace 10 min



Příloha C

Experiment – Hodnocení vyhasínání luminiscence vzorku hybridní struktury č. 2 obsahující luminiscenční textilii *AMANDU GS PZ/HF*.

Osvit – zdroj: západní obloha, jasno v 17 hodin, doba excitace 10 min

