



Vliv struktury luminiscenční-fosforescenční nitě na emitace světla ve tkaninách

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství

Autor práce: **Bc. Lucie Sejnová**
Vedoucí práce: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Influence of luminescent-phosphorescent thread structure on light emitting in fabrics

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering

Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Lucie Sejnová**

Supervisor: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie Sejnová**
Osobní číslo: **T14000067**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Vliv struktury luminiscenční-fosforescenční nitě na emitace světla ve tkaninách**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Základní charakteristika a parametry luminiscenčních-fosforescenčních délkových útvarů a jejich struktury.
2. Popište základní parametry definující plošnou a prostorovou geometrii tkanin ve vztahu k luminiscenci.
3. Analyzujte dostupné délkové luminiscenční materiály pro možnost jejich hodnocení z hlediska výsledné emitace světla.
4. Vytvořte vlastní konstrukční návrhy tkanin s využitím luminiscenčních materiálů pro měření a posouzení emitace světla ve tkané struktuře. Vybrané návrhy utkejte na jehlovém tkacím stroji SOMET s elektronickým žakárským prošlupným mechanismem STÄUBLI.
5. Provedte experimentální hodnocení emitace světla luminiscenčního délkového materiálu. Posuďte vliv parametrů a struktury luminiscenčních délkových útvarů na schopnost luminiscenční nitě emitovat světlo.
6. Vytvořte vlastní návrh žakárské tkaniny s využitím luminiscenčních délkových materiálů. Návrh utkejte na jehlovém tkacím stroji SOMET s elektronickým žakárským prošlupným mechanismem STÄUBLI. Tkaninu s návrhem použijte pro realizaci finálního produktu oděvu dle vlastního výběru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:

- [1] Nosek, S.: **Struktura a geometrie tkanin, Liberec 1996**
- [2] Behera, B.K., Hari, P.K.: **Woven textile structure, Theory and applications, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-514-9 (book), 2010**
- [3] Kolčavová Sirková, B.: **Systém projektování "příze tkanina". Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004.**
- [4] Neckař, B.: **Fabric 2 Models and geometry, textbook, Liberec**
- [5] Kolčavová Sirková, B.: **Vybrané partie ze struktury tkanin, Výukové materiály, FT, TUL 2002**
- [6] Poelman,D., Avci,N., Smet,P.:**Measured luminance and visual appearance of multi-color persistent phosphors, Optics express, 2009**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.**

Katedra textilních technologií

Konzultant diplomové práce: **doc. Ing. Michal Vik, Ph.D.**


Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **27. března 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **6. ledna 2017**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. října 2016

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 tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

V první řadě velmi děkuji Ing. Brigitě Kolčavové Sirkové, Ph.D., vedoucí mé diplomové práce, za věnovaný čas, odborné rady, trpělivost a pomoc při realizaci tkanin a zpracování této práce. Také za možnost zpracovávat zajímavé téma. Dále děkuji všem, kteří se na této práci jakkoliv podíleli, provedením některých analýz, poskytnutím prostředků pro analýzy, či radami. Ale především rodičům, kteří mi byli podporou po celou dobu studia.

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu luminiscenčních délkových materiálů a jejich uplatnění v konstrukčních řešeních tkaných textilií používaných v oblasti bezpečnostních textilií. Výsledná emitace luminiscenčních délkových textilií je pak porovnávána a hodnocena vzhledem ke geometrickým parametrům jednotlivých délkových materiálů. Na základě zhodnocení emitace luminiscenčního délkového materiálu byla navržena vlastní konstrukce tkané textilie obsahující luminiscenční délkové textilie s nejlepší emitací pro oblast bezpečnostní textilie – ochrana chodců.

Annotation

This thesis is focused on the analysis of linear luminescent materials and their application in the design solutions woven fabrics used in the field of safety fabrics. The emit of light of luminescence yarns were compared and evaluated with respect to the geometry parameters of each linear materials. Based on the evaluation of the length of the luminescent material to emit the light it was designed own design of woven fabrics containing luminescent linear fabric with the best emit of the light for the field of safety fabrics - pedestrian protection.

Klíčová slova

Fosforescence, analýza emitace fosforescence, délkové materiály - multifily a jejich geometrie, geometrie tkaniny, bezpečnostní oděv.

Keywords

Phosphorescence analysis emit phosphorescence, linear materials - multifilament and their geometry, geometry fabrics, safety clothing.

Obsah

Úvod.....	9
1 Luminiscence	10
1.1 Luminiscence v historii	10
1.2 Fyzikální popis druhů luminiscence a jejich využití.....	11
2 Fotoluminiscence – fluorescence, fosforescence.....	13
2.1 Využití fotoluminiscence v textilu	15
3 Fosforescence z pohledu optiky.....	17
3.1 Optické vnímání fosforescence	18
3.2 Způsoby měření emitace fosforescenčního záření	20
4 Využití pro bezpečnostní oděvy	24
4.1 Stávající bezpečnostní oděvy	24
5 Základní charakteristika a členění multifilu	26
5.1 Analýza délkových útvarů vzhledem k jejich vnitřní struktuře	29
5.1.1 Analýza vnější struktury multifilu	29
5.1.1.1 Analýza průměrů pomocí CTT.....	29
5.1.1.2 Analýza províření a obloučkovitosti multifilu	31
5.1.2 Analýza vnitřní struktury multifilu	31
5.2 Analýza geometrických vlastností vláken délkových útvarů.....	32
6 Popis základních geometrických parametrů tkaniny	34
6.1 Plošná geometrie	34
6.1.1 Dostava a hustota tkaniny	34
6.1.2 Vazba tkaniny	35
6.1.3 Plošná hmotnost tkaniny.....	36
6.2 Prostorová geometrie	37
6.2.1 Vazná vlna - délka nitě, úhel provázání.....	37
6.2.2 Tvar průřezu příze v řezu tkaninou.....	39
7 Experimentální hodnocení	40
7.1 Základní popis experimentálních vzorků délkových luminiscenčních materiálů	40
7.2 Analýza emitace fosforescenčního záření	44
7.2.1 Postup hodnocení emitace fosforescenčního záření	47
7.3 Experimentální analýza vnější struktury experimentální sady multifilů.....	49

7.3.1	Analýza průměrů pomocí CTT	49
7.3.2	Analýza stupně províření a obloučkovitosti experimentální sady multifilů 51	
7.4	Analýza geometrických vlastností vláken pomocí příčných řezů.....	52
7.5	Výsledky subjektivního hodnocení dosvitu	57
7.6	Konstrukce tkaniny obsahující luminiscenční délkové textilie.....	59
7.6.1	Experimentální sada tkanin.....	59
7.6.2	Návrh a tvorba výsledné žakárské tkaniny pro realizaci bezpečnostní textilie pro ochranu chodců.....	60
7.6.3	Stanovení ceny vstupního materiálu výsledné žakárské tkaniny	65
	Závěr	66
	Literatura.....	68
	Příloha A: Vyhodnocení emitace vzhledem k vnitřnímu uspořádání multifilu	71
	Zobrazení pomocí grafů a snímků příčných řezů řazených dle emitace.....	71
	Příloha B: Výsledky analýzy multifilů pomocí CTT (profily a nestejnomyěrnosti průměru).....	73
	Příloha C: Porovnání etalonů skutečných a vytvořených pomocí CTT.....	76
	Příloha D: Klasifikace geometrických vlastností jednotlivých délkových materiálů s obrazovou dokumentací	79
	Souhrnná tabulka analyzovaných vlastností hodnocených materiálů.....	87
	Příloha E: Obrazová dokumentace výsledných tkanin a realizovaných bezpečnostních oděvů pro ochranu chodců.....	88

Úvod

Projevy přírodní luminiscence jsou známy již dlouhou dobu a o její umělé vytvoření byly snahy od dob renesance. Díky svým vlastnostem a různým podnětům vyvolávajících světélkování, nachází uplatnění v nejrůznějších produktech i denní potřeby. Stále však díky novým výrobním technologiím lze nalézat její další uplatnění.

Jako například pro textilní syntetická vlákna, využitelná nejen v oděvním průmyslu. Nabízí se tak řešení analýzy luminiscenčních délkových útvarů, v podobě speciálně upravených polyesterových a polypropylenových multifilů, různých jemností a způsobů zpracování.

Předmětem této práce je tedy rozbor luminiscenčního, fosforescenčního textilního délkového materiálu pro účel zjištění vlivu jeho vnější i vnitřní struktury na velikost emitace záření. Výši efektu luminiscence může ovlivnit nejen druh použitého luminiscenčního prvku, ale i vnější struktura a struktura vnitřního uspořádání délkových útvarů. Délkové materiály s různým uspořádáním byly tedy analyzovány a porovnávány z hlediska jejich struktury a intenzity emitace fosforescenčního záření. Z nichž byly poté navrženy a vytvořeny tkaniny o různých plošných hmotnostech, dle konkrétních materiálů. Kdy z hlediska konstrukce tkanin záleží na vhodné plošné a prostorové geometrii a zde i vzhledem k funkčnosti, jako bezpečnostní textilie. Protože se tyto nabízejí pro použití jako složka bezpečnostních oděvů. Z výsledné žakárské tkaniny byla tedy nakonec navrhnutá a vytvořena část oděvu, využitelná pro bezpečnostní aplikace – ochranu chodců. Realizace proběhla za podpory laboratoří KTT FT TUL.

1 Luminiscence

Základ názvu pochází z latinského lumen - světlo. Původním českým názvem bylo světélkování. Popis jevu luminiscence učinil německý fyzik E. Wiedemann (1852-1928) již v roce 1889. Od 20. století je luminiscence považována za samostatný fyzikální vědní obor. Dle určité stavby částic některých látek se významná část jimi vstřebané energie přemění na studené světlo a je bezprostředně vyzářeno, bez vzniku doprovodné tepelné energie. Jedná se tedy o záření nerovnovážné. Luminiscenční záření existuje i v oblastech spektra, kde záření teplotní popsané Planckovým zákonem již není. Tento světelný jev se tak může projevit i za nízkých teplot. Hlavní podmínkou pro dosažení jevu je vyšší počet vybuzených elektronů, než jejich počet v rovnovážné hodnotě, dle určité teploty. Stav látky je po vybuzení v nerovnovážném stavu. Luminiscence je tedy spontánní projev záření, způsobený přebytkem energie. Oproti teplotnímu záření, to doznívá a jeho trvání je vyšší než vlnová délka světelných kmitů. [1]

1.1 Luminiscence v historii

Projev luminiscence existuje stejně jako jiné jevy již odedávna. Poprvé si ho však všimli a začali využívat možná staří Římané, jejichž vojáci si při výpravách v noci značili cestu trouchnivějícím dřevem z určitých stromů. Ve středověku byla zdrojem pověr, pohádek a lidových bájí o bludičkách a nadpřirozených bytostech díky broučkům čeledi světluškovitých. Pokusy o její umělé vytvoření jsou známy z období renesance, kdy byla alchymie a podobné vědy na vrcholu zájmu. Traduje se, že italský švec té doby se pokoušel o výrobu zlata z lesknoucích se kamenů a ty se po neúspěšných chemických pokusech staly světélkujícími. Byl tak možná prvním, kdo uměle vytvořil luminiscenční látku luminofor. Později bylo zjištěno, že světélkování je učiněno směsí síranu barnatého s mědí, stříbrem, manganem a vizmutem. [1]

Skutečný zájem o zkoumání tohoto jevu byl ovšem až na konci 19. století. Zabývali se jím například H. Becquerel, W. Crookes a M. Curie Sklodowska. Pomocí luminiscenčních látek bylo zviditelňováno ultrafialové a rentgenové záření, při jejichž výzkumu bylo objeveno i radioaktivní záření (při zkoumání uranových solí H. Bequerelem). Největšího rozvoje bylo dosaženo kolem poloviny století dvacátého.

Kdy byly pro jeho výzkum inspirací informace postavené na základě výzkumu polovodičů (krystalofosfory, ...). Díky vývoji v tomto odvětví fyziky bylo dopřáno vzniku luminoforů například zářivek a televizních obrazovek. Luminiscenčním látkám však dali vzniknout spíše badatelé z oblasti chemie. V 60. letech 20. století byly pořádány i konference a symposia na téma luminiscence například Fyzikálním ústavem československé akademie věd. Do oboru luminiscence spadal i výzkum laserů, ale postupem času se oddělil v samostatnou vědní oblast. [2]

Dnes je nejvíce pozorován jev elektroluminiscence, kde výzkum pokračuje v oblasti LED diod. Výzkum tohoto jevu prošel významným posunem. Polovodičové injekční lasery (krystalové zesilovače světla se stimulovanou emisí) byly vyvinuty již v r. 1962, zároveň s LED červené barvy (později i zelená a žlutá, směsi polovodičů, laserové diody - CD, excitační zdroje v podobě laserových ukazovátek). Modrá LED dioda byla vytvořena až v roce 2014 na bázi nitridu galia. [3]

1.2 Fyzikální popis druhů luminiscence a jejich využití

Luminiscence obecně je tedy druh vyzařování světla z excitovaných elektronů, atomů, iontů nebo molekul a díky době doznívání, trvajícím i po skončení budící reakce. Úplnou definici tohoto fyzikálního jevu upravil A. M. Gurvič. „*Luminiscence je spontánní záření, představující přebytek nad teplotním zářením, které je charakterizováno dozníváním, jehož trvání značně převyšuje periodu světelných kmitů*“ [1]. [1]

Projev luminiscence se skládá z několika fází. *Absorpce* určitého množství příslušné energie, budící reakci u luminiscenčních systémů. Což je převod některých elektronů systému do energeticky vyšších stavů, absorpčních center. Mezi počáteční a konečnou fází existují různorodé vnitřní procesy, dle druhu luminiscence. Většinou je to *přenos excitační energie* mezi absorpčními a luminiscenčními centry. Konečnou fází jevu je *vyzáření* fotonů z centra luminiscence. To se ale od centra absorpce může lišit. Základní dělení luminiscenčních dějů je podle způsobu jejich buzení, kdy luminiscenční centrum konkrétní látky potřebuje právě určitý druh excitace. [4]

Fotoluminiscence - budící energii je ultrafialové nebo krátkovlnné viditelné záření. Pod ní patří **fluorescence**, jen při přímém styku s budícím mechanismem, přesněji, jen několik nanosekund poté. A **fosforescence**, při které díky jevu oxidace,

vyhasíná záření pomaleji a probíhá tak i nějakou dobu po vybuzení, až řádově hodin. Nejznámějším použitím fluorescence jsou nízkotlaké světelné zářivky, s různými odstíny světla dle zvoleného luminoforu. Vysokotlaké výbojky jsou též plněny parami rtuti, avšak s emisemi v červené části spektra (rtuťové lampy RVU, výbojky horského slunce). Světelná intenzita závisí na tlaku rtuťových par ve výbojové trubici.

Chemiluminiscence - díky exotermním (většinou oxidačním) chemickým reakcím, uvolňujícím energii. V rybářských pomůckách, signalizačních světlech i kriminalistice (důkaz přítomnosti krevních stop). Poddruhem je **bioluminiscence** (chemické reakce v živých organismech flory a fauny). Základem jsou produkované bílkovinné látky těchto organismů, luciferiny a biochemická reakce okysličováním. Až 80% přírodních chemických reakcí vyzařuje světlo, např. svatojánské mušky, prvoci, medúzy, hlubinné ryby lákající kořist a krabi i brazilské houby a trouchnivějící dřevo.

Radioluminiscence (rentgenoluminiscence) - pomocí částic vysoké energie α , β a γ nebo dopadajícího ionizujícího (rentgenového) záření (radioaktivní rozpad). Vysokoenergetické děje excitace probíhají na povrchu i v hloubi látky. Například v stínítku ze sirníku (sulfidu) zinečnatého, směs radia a luminoforu ZnS se používala na ciferníky hodin a leteckých přístrojů. Toto využití je však nebezpečné, po letech už nesvítí, ale zůstává radioaktivní. Ve scintilátorech (lékařské CT a PET přístroje). Existují radioluminiscenční zdroje světla excitované β zářením (jaderný odpad), ale jen zřídka (drahý radioaktivní krypton) a tam, kde není stálý nebo žádný elektrický proud, jako nouzová osvětlení. Pod ni patří **katodoluminiscence**, kdy energie elektronů několikanásobně převyšuje energii excitace (vznik sekundární generace elektronů se stále nižší energií). Je tenkou vrstvou intenzivně luminiscenční a silně vybuzené látky (potřebný odvod záporného náboje). V osciloskopech a rotujících panoramatických radarech, pro CRT nejčastěji zinkové, měděné, či manganové luminofory. Pro práškové materiály, monokrystalové povrchy, tenké napařené světélkující vrstvy a plynové výbojové trubice. Ve většině typů obrazovek, pro radiolokační oscilografy (luminofor, dle účelu obrazovky), u černobílých i barevných televizorů.

Termoluminiscence - vyzařovaná energie po tepelném vybuzení materiálu (rentgenové světlo). Při nízké teplotě se „usadí“ elektrony v záchytných centrech, odkud se samy neuvolní. Po excitaci a doznění světelného vyzařování, se za zvyšované teploty z center uvolní. Zásadní uplatnění nalézá v archeologii, kde se s její pomocí datují předměty. Čím je předmět starší, tím vyšší termoluminiscence se v něm nachází.

Mechanoluminiscence - mechanickou deformací těles kondenzovaných látek. Využívá ji věda, lékařství i všední život. Patří k ní **triboluminiscence**, (plastickou deformací pevných látek), drcení, lámání, tření krystalů (fluorit,...). A **sonoluminiscence**, po dodání energie ze zvukové vlny, ultrazvuku (světlo emitované vodou za působení silné ultrazvukové vlny).

Elektroluminiscence - průchodem silného elektrického proudu (stejnoseměrný nebo střídavé, v přímém kontaktu s krystalem či bezkontaktní) luminiscenční látkou. **Injekční elektroluminiscenci** vysílá polovodičová dioda napájená elektrickým proudem v propustném směru v injektovaných elektronech z vodivostního do valenčního pásu (diody LED). Jako světelné zdroje (osvětlovací plošný panel, s účinností jen 2 %), hlavně v elektronice, jako signalizace, osvětlení stupnic, speciální obrazovky, displaye. Malý jas i příkon, proto jen tam, kde není vysokého jasu třeba (např. orientační osvětlení schodů veřejných budov, palubních desek), nemusí se odpojovat od zdroje.

Mezi druhy luminiscencí patří také **galvanoluminiscence** (elektrickým proudem nebo elektrochemickou reakcí), při galvanickém pokovování a elektrochemických procesech. **Kandoluminiscence** (vysokotepeelnou energií), v až rozžhavených látkách. Nadbytečné světelné záření vyzařující v odlišných spektrech, než záření tepelné, které doprovází. Jsou známy ještě další druhy a poddruhy luminiscenčních světelných jevů, ale pro využívání nemají již tak zásadní význam (v laboratorních výzkumech). [1], [2], [3], [4]

2 Fotoluminiscence – fluorescence, fosforescence

Fotoluminiscence je jedním z mnoha druhů nerovnovážného záření luminiscenčních dějů. Toto záření není doprovázeno tepelnou energií, ale projeví se přímo. Jedná se tedy o převýšení záření látky nad jeho vlastním tepelným zářením. Tyto druhy záření se proto nazývají studeným světlem. Projev tohoto druhu světélkování je způsoben charakteristickou excitací luminiscenčních center pomocí krátkovlnného světelného záření. Luminiscenční systém je excitován na vyšší energetickou hladinu po absorpci fotonu. Poté samovolně přejde na nižší energetickou hladinu a dochází tak k emisi fotonu. Z hlediska zachování energie nemá emitovaný foton vyšší energii, než foton excitační (nepůsobí-li však dva nebo více excitačních fotonů najednou). Při svém vzniku fotoluminiscence nejméně mění rozdělení elektronů a nemá zásadní vedlejší

účinky oproti ostatním typům luminiscence. energii absorbují přímo luminiscenční centra, mohou tak světélkovat i látky, u kterých se tento jev jinak neprojevuje. [1]

Příkladem jevu vyvolaného energetickými optickými fotony je světélkování krystalů po ozáření ultrafialovým světlem, spousta materiálů i jednoduchých anorganických molekul (N_2 , CO_2 , Hg, ...) a krystalů (diamant, rubín, sirník zinečnatý, ...). Luminiscencí zředěného plynu horních vrstev atmosféry se projevuje polární záře. Světélkujícím pigmentům postačí jako zdroj excitace denní světlo. [2]

Luminiscenční proces *fluorescence* se vyznačuje krátkou dobou trvání (0,1-10 ns), což je způsobeno emisí luminiscenčního fotonu ihned po excitaci. Fluorescence se díky ultrafialovému záření výbojů v plynu používá k osvětlení. Fluorescenční část lze najít i na bankovkách, jízdenkách a podobných. Mezi nerosty je to willemit, některé krystaly křemene s prvky vzácných zemin po rentgenovém ozáření. [3]

U *fosforescence* je proces trvání značně delší (1ms-10s), díky zakázaným přechodům, zpoždění mezi excitací a emisí. Závisí však na druhu luminoforu a budicího mechanismu, potom může trvat i mnohem déle, až desítky hodin. Avšak lze intenzitu luminiscence, vlnovou délku a délku dosvitu ovlivňovat dopovacími složkami. Jedná se o ionty přechodných kovů (Cr^{3+} , Mn^{4+} , Mn^{2+}) a vzácných zemin (nejčastěji Eu^{2+}). Od počátku byl používán sulfid zinečnatý (ZnS) dopovaný mědí. Nejčastěji se sloučeniny dopují ionty Eu^{2+} , ale prodlužuje dosvit jen u některých. Po mnoho hodin vydrží například $SrAl_2O_4: Eu^{2+}Dy^{3+}$. Nejčastějšími základy pro dopující prvky jsou právě hlinitany ($SrAl_2O_4$, ...) a silikáty ($Sr_2MgSi_2O_7$, ...). Existují i další na bázi sulfidů, fosfátů a dalších, ale nevykazují již tak dlouhý dosvit. Přehled hlinitanů dopovaných Eu^{2+} , nejčastěji v zelené a modré vlnové délce znázorňuje tabulka v čerpané literatuře [5], které vykazují čas dosvitu přes 20 hodin. Jejich dosvit mohou zvýšit i ionty stříbra. Další tabulka, viz literatura [5], je soupisem silikátů dopovaných též Eu^{2+} , jejichž dosvit je již nižší a přidáním tří mocných iontů kovů vzácných zemin se ještě snižuje. U nichž platí, že čím menší zrnitost, tím vyšší jas a dosvit. Obecně optimální hodnota intenzity a dosvitu záleží na procentu dopovacích složek. [5]

Luminofory jsou rozděleny na organické (roztoky, krystaly) a anorganické (skla, krystalofosfory). Nejčastěji jsou však používány právě krystalofosfory. Mezi fotoluminiskující produkty patří syntetické tkaniny, bělené papíry, léčiva, plastické hmoty, prací prášky a ropné oleje. Z nerostů jsou to vápenité usazeniny v podobě krápníků, fluorit, zirkon, opál, apatit a diamant. [1], [2], [3]

2.1 Využití fotoluminiscence v textilu

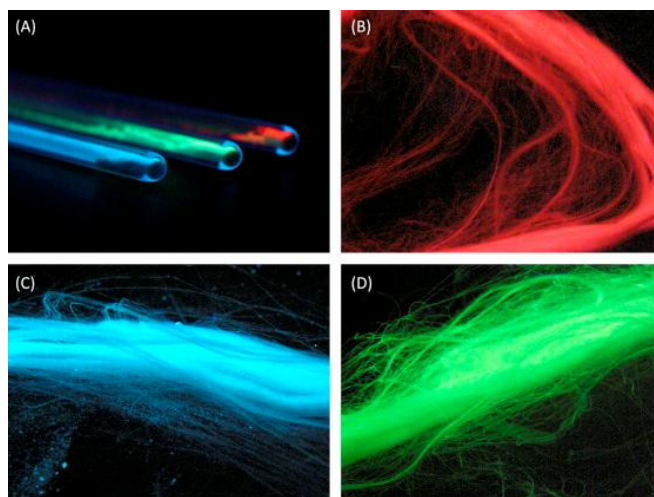
Od doby největšího výzkumu světélkování se hledaly, pro tento fyzikální jev, praktická uplatnění. Využití nachází hlavně v osvětlovací (od počátku 30. let 20. stol.) a optické technice, používané v běžném životě. Nejpoužívanější v oblasti textilií je pak především fluorescence a fosforescence. Které jsou používané například v úpravárenských a barvírenských technologiích jako opticky zjasňující prostředky a barviva.

Fluorescenční vlastnosti mají s oblibou v textilním průmyslu používané opticky zjasňující prostředky, také asi od 30. let 20. století (první popis fotoluminiscenčních vlastností). Fluorescenční barviva jsou používané často na bezpečnostní oděvy a textilie, kdy zajišťují jejich nápadnost. „*Fluorescenční barviva můžeme rozdělit do tří kategorií. Do první patří anorganické fluorochromy, do druhé opticky zjasňující prostředky, které jsou používány pro zvýšení vnímané bělosti materiálů. Třetí kategorií jsou pak fluorescenční barviva pracující ve vizuální oblasti spektra. Jako fluorofory se používají fluoresceiny, rhodaminy, kumariny, pyreny, apod*“ [6]. [6]

U *fosforescenčních* textilií se jedná o nanosení pigmentu s dostatečně malými částicemi krystalů sulfidu zinečnatého (ZnS) a hlinitanu strontnatého (SrAl₂O₄). Emise světla pigmentů může trvat i až řádově hodiny. [7]

O výzkumu *fotoluminiscenčních* textilních materiálů, konkrétně délkových, svědčí některé patenty a články. Například o způsobu výroby fosforeskující příze, z roku 1994, od Willarda Owense [8]. Nebo článek z ledna 2016, o přípravě více barevných luminiscenčních celulóзовých vláken, obsahujících lanthanoidem dopované anorganické nanomateriály. Podle kterého vlákna obsahují 8% celulózy a jsou vytvořena zvlákněním z roztoku, jehož modifikátory byly vybrány díky specifickému zabarvení vyzařovaného světla. Fotoluminiscenční částičky byly směřovány s matricí polymeru při procesu rozpouštění celulózy. Analýzou optických vlastností vláken byla dokázána vysoká intenzita luminiscence vláken pod UV zářením. Dle druhu použitých sloučenin pak emitují v různém barevném spektru, jak lze vidět na 1. obrázku. [9]

V Itálii firma Sinterama, zabývající se produkcí PL přízí, nabízí bezbarvý multifil vysoké luminiscence, s obchodním názvem Ghost. S obsahem fosforescenčního luminiscentu ve hmotě, s delším časem dosvitu, než běžný síran zinečnatý. Jsou vyráběny ve více provedeních, s hladkými, či texturovanými vlákny nebo vzduchem tvarované. Které lze využít pro oděvní, dekorační i technické textilie. [10]



Obr. 1 Luminiscence připravených nanoprášků (A) a dopovaných celulóзовých vláken pod ultrafialovým zářením ($\lambda_{\text{exc}} = 254 \text{ nm}$); (B) $\text{Gd}_4\text{O}_3\text{F}_6$: 5% Eu^{3+} ; (C) Sr_2CeO_4 ; (D) CeF_3 : 5% TB^{3+} . [9]

Fosforeskující PL texturované nitě na vyšívání vyrábí i německá firma AMANN, pod názvem ISA TEXTLIGHT. [11]

V české republice firma Lanex, vyrábějící technické textilie, především lana k různým účelům, má v sortimentu i polypropylenové multifily z vysokopevnostních vláken, též obsahující fosforeskující pigment ve hmotě vláken. Která představila v roce 2013 na veletrhu TECHTEXTIL ve Frankfurtu a o dva roky později byla zařazena do celosvětové databáze materiálů MateriÓ. [12]

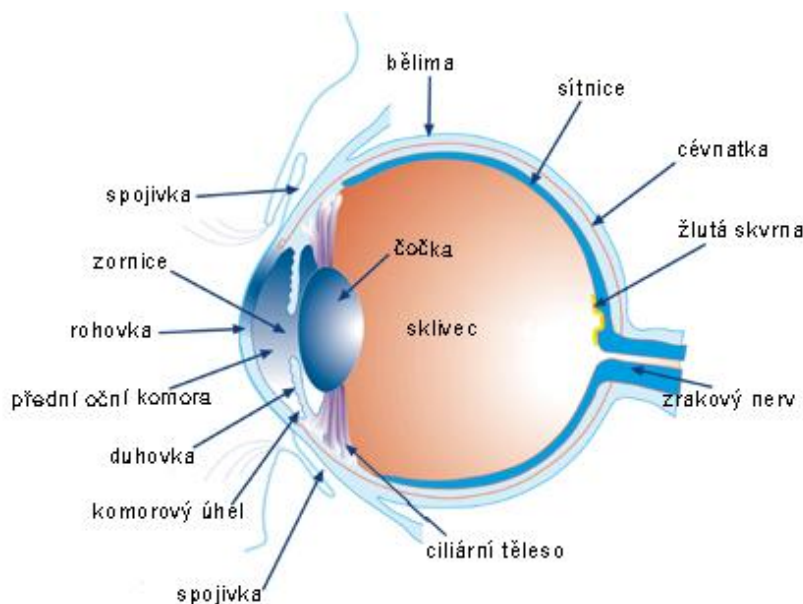
S fosforescenčními multifily si pohrával i londýnský textilní návrhář Kathy Schicker. Použil je pro vzory žakárských tkanin, které jsou zdánlivě bezbarvé, ale ve tmě se rozzáří barevností a vzory. [13]

Výhodné je tak směšovat luminiscenční pigment s polymerem před zvlákňováním. Avšak v takové velikosti a množství, aby příliš nezměnily mechanické vlastnosti příslušných vláken. Výhodou fosforescenčních vláken s pigmenty ve hmotě, je delší životnost žádaného jevu, protože je tak mechanicky a chemicky odolnější. A při použití na oděvní textilie i více prodyšné a ohebné, oproti zátěrovým textiliím fosforescenčních vlastností.

Tyto délkové materiály lze zpracovávat běžným způsobem, jako je tkaní, pletení, netkané textilie, vyšívání a podobně. Pro například bezpečnostní oděvy, sportovní a pracovní oděvy, oděvní doplňky, bezpečnostní a dekorační stuhy, hračky, dekorační tkaniny, koberce, technické textilie a další.

3 Fosforescence z pohledu optiky

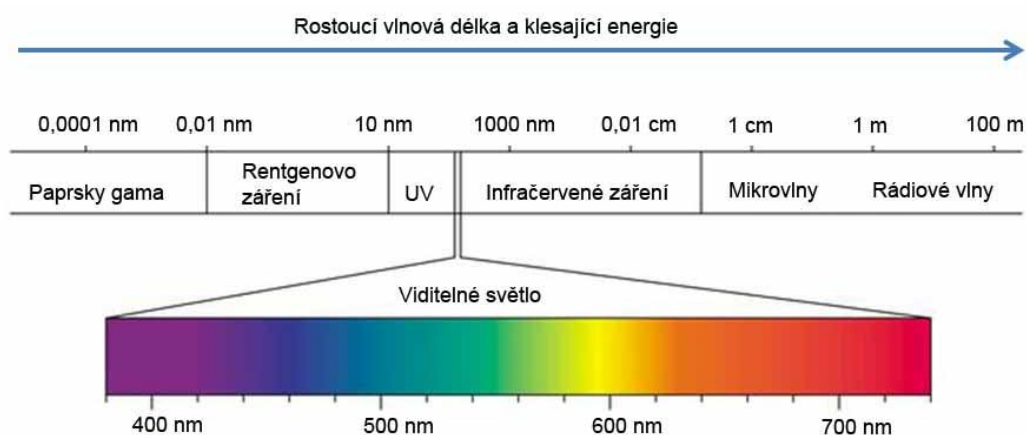
Oko rozlišuje charakter a směr dopadajících světelných paprsků a vzniká tak vjem o tvaru pozorovaných předmětů. Vnímá kontrast, barvy a tvar, ze kterých se v mozku tvoří vjem pozorovaného okolí. Barva je tedy vjem charakteristiky předmětu, který je ovlivněn mnoha faktory. Jimiž jsou fyzikální povaha světla, fyziologické děje na sítnici a v mozku, psychologická interpretace fyziologické reakce a psychosomatický stav organismu pozorovatele. Zrakový vjem tak vzniká podrážděním světlocitlivých buněk sítnice, mající tři tenké vrstvy nervových buněk, po dopadu světla. Přičemž světlo projde gangliovými a bipolárními buňkami až k fotoreceptorům, které světelnou energii dopadající na sítnici zpracují. Obrázek číslo 2 pak znázorňuje jednotlivé části oka. [14]



Obr. 2 Popis částí lidského oka [15]

Za vnímání barev a jasů tedy mohou fotoreceptory umístěné na sítnici oka. Je schopné vnímat viditelnou oblast spektra, přibližně od 380 do 760 nm (obr. 3) a velký jasový rozptyl ($10^{-6} - 10^8 \text{ cd.m}^{-2}$). Rozlišuje 2 až 3 miliony barevných odstínů, zkušené oko ještě více a jas i při velmi slabém osvětlení. To je možné díky tyčinkám a čípkům, tvořící zmíněné fotoreceptory. *Tyčinek je asi 120 mil a jsou citlivé na rozdíly intenzity světla, což se nazývá skotopické, neboli soumravné vidění. Za šera mají jen malou rozlišovací schopnost a signál do mozku dávají celé skupinky tyčinek. Čípků je pak cca 66mil a mají tři druhy fotosenzibilních substancí absorbující oblast světelného spektra v červené (L), zelené (M) a modré (S) části. Barevný vjem se pak nazývá fotopické vidění.*

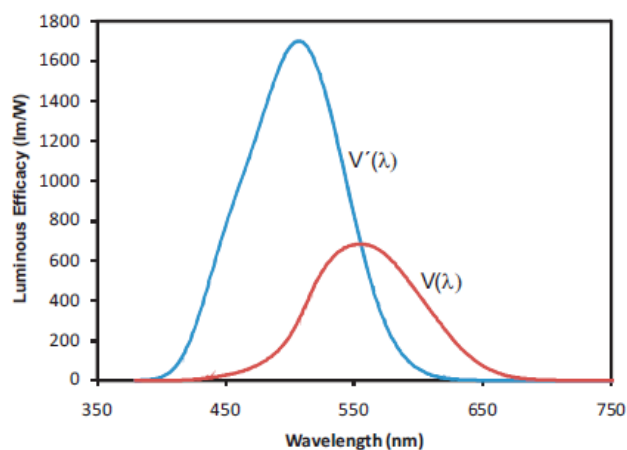
Nejvyšší počet čípků se nachází v oblasti žluté skvrny se středem fovea. Směrem od ní na obě strany se pak jejich počet snižuje a na okraji sítnice jsou prakticky už jen tyčinky. V místě průchodu zrakového nervu sítnicí nejsou žádné fotoreceptory (slepá skvrna). Při dostatečném osvětlení jsou vnímány barvy, při nízkém jasu už jen odstíny šedi. Mezi fotopickým a skotopickým viděním existuje takzvaný Purkyňův jev. Je to přechodová, mezopická oblast vidění, kdy jsou činné tyčinky i čípky. Je vnímána změna barevnosti oproti fotopickému vidění, citlivěji modrá část spektra. [14]



Obr. 3 Vlnové délky viditelného barevného spektra a dalších elektromagnetických záření [16]

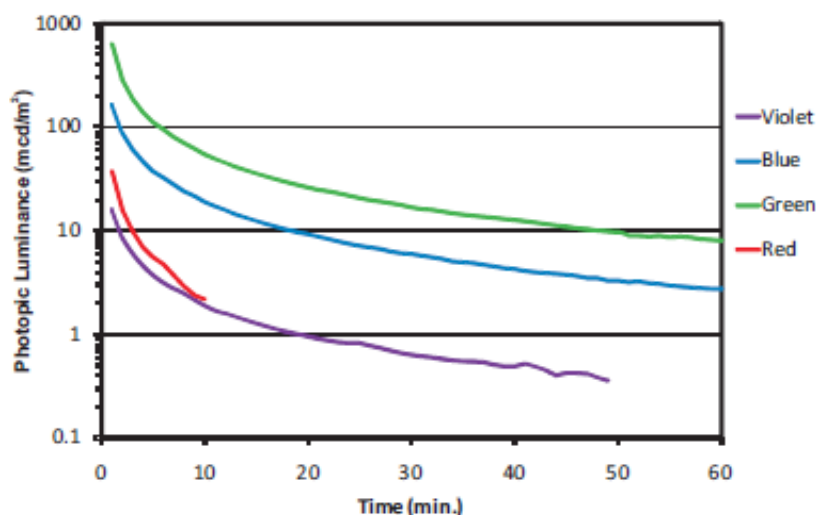
3.1 Optické vnímání fosforescence

Tyčinky mají vyšší citlivost, než čípky a v barevném spektru jsou na rozdíl od nich citlivější na modrou oblast. To je způsobeno právě Purkyňovým jevem. Kdy se červené objekty jeví jasnější, než modré, či zelené při denním světle a naopak tmavší, než modré a zelené v šeru. Tyto křivky znázorňuje obrázek 4. [17]

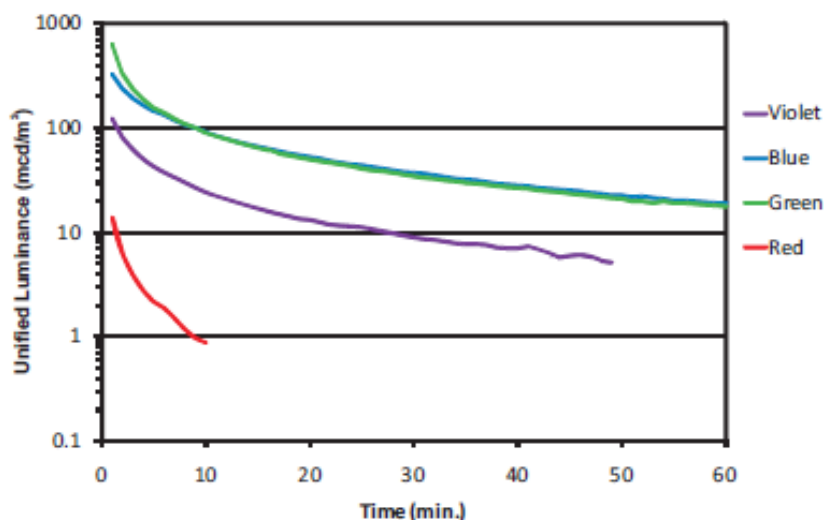


Obr. 4 Citlivost lidského oka při nízké (skotopické, $V'(\lambda)$) a vysoké (fotopické, $V(\lambda)$) intenzitě světla [17]

Křivky tak dokazují, že číčky nejsou při nejnižších a nejvyšších vlnových délkách v aktivitě. Na rozdíl od tyčinek, které jsou aktivnější při nižších vlnových délkách. Kratší vlnové délky jsou proto vnímány jasněji. Při 555 nm jsou v nejvyšší aktivitě číčky zároveň za podpory tyčinek. Při této vlnové délce tak splývají jasy fotometrické a unifikované. Kdy vlnová délka přísluší odstínům žlutozelené barvy. Proto je tato nejvhodnější pro zvýraznění nápadnosti za šera a k použití například u bezpečnostních oděvů. Většina fosforescenčních luminiscentů je též nejčastěji v tomto odstínu. Kombinace barvy a efektu fosforescence, který barvu ještě zviditelní, je tak výhodná. To dokazují i následující křivky na obrázku 5, z měření fosforescence při fotopickém jasu, různě zbarvených luminoforů. Měření simulovaného vnímaného jasu ukazuje 6. obrázek. Zde jsou křivky jednotlivých fosforescentů, oproti předchozím rozdílné, avšak dokazují lepší vnímavost luminiscentů kratších vlnových délek. [17]



Obr. 5 Fosforescence barevných luminoforů v jednotkách fotopického jasu [17]



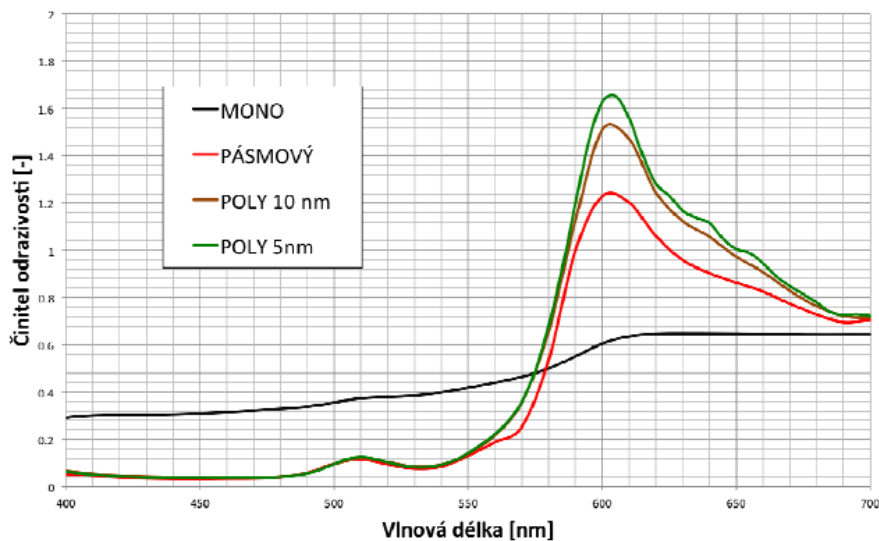
Obr. 6 Fosforescence barevných luminoforů při jednotném jasu [17]

Za denního světla je však lépe pro účel bezpečnostních prvků použít oranžové a červené odstíny. I když se čípky přizpůsobují tmě o 5-7 min dříve, než tyčinky, tak jsou 10-50 krát lepší v konečné citlivosti. Stejný jas je ale vnímán každým okem jinak a jeho vnímání je ovlivněno okolním prostředím. Proto se fyzikální veličina jasu mnohdy nerovná jasu subjektivnímu. Což je jednou z komplikací pro přesné výsledky měřených hodnot. Záleží také na úhlu pozorování, protože ve středu sítnice jsou převážně čípky a na okrajích zase tyčinky. [17]

3.2 Způsoby měření emitace fosforescenčního záření

Nejen kvůli oděvům s vysokou viditelností, používaných jako bezpečnostní je nutné pozorovat optické vlastnosti textilií. Fosforescence je vyzáření světla při spinově zakázaném přechodu z tripletní hladiny na základní. Na rozdíl od fluorescence je však posunuta k červené oblasti spektra. „*Intenzita luminiscence je vyjádřena jako počet fotonů procházejících v daném směru jednotkovou plochou za jednotku času*“ [6]. Pro měření kolorimetrických parametrů u materiálů s vysokou viditelností je používána soustava CIE XYZ pocházející již z roku 1931. [6]

Při běžném měření vnímaného jasu světelných zdrojů je uvažována fotopická křivka maximální citlivosti oka, vrcholící v 555 nm (zelenožlutá oblast spektra). Křivka skotopická dokazuje, že citlivost oka je vyšší v šeru a posunuta k modrým vlnovým délkám (tyčinky v aktivitě). Vrchol skotopické křivky je pak při 507 nm, důkaz modré oblasti spektra (obr. 4). Kolorimetrické parametry by měly být měřeny pod osvětlením, označovaném jako D65 (simulace denního světla bez přímého slunečního svitu). Avšak při retroreflexi osvětlení A (halogenidové zdroje osvětlení automobilů). U některých vozidel používané xenonové výbojky ale spíše odpovídají D65. Tedy při osvětleních, ve kterých jsou měřené materiály běžně používány. Například rozdíl hodnot spektrální odrazivosti fluorescence, měřené pod různými osvětleními, uvádí tento graf (obr. 7). [6]



Obr. 7 Spektrální odrazivost jednoho fluorescenčního oranžového vzorku, při různých zdrojích světla. Monochromatické a pásmové zdroje LED (postupné skenování), Xe výbojka ve dvou rozlišeních snímacího diodového pole (polychromatický osvit). de: 8° [6]

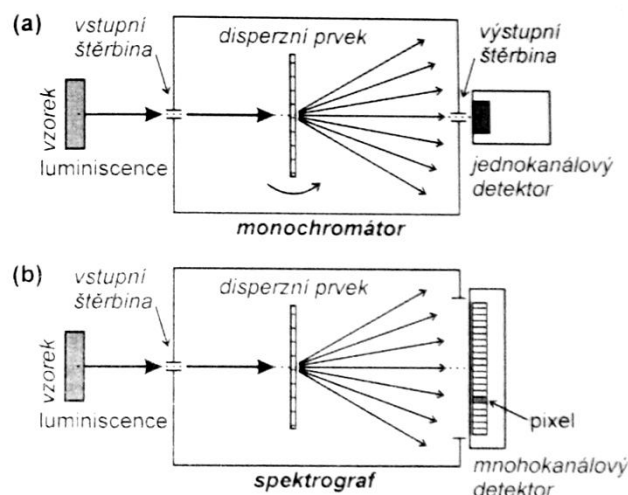
Pro měření fluorescenčních materiálů je proto nutné zařídit vyhovující osvětlení se simulátorem D65, nejčastěji Xe výbojka, nejlépe i s UV složkou odpovídající D65. Norma pro měření oděvů s vysokou viditelností, EN 20471 určuje pro tato měření přístroje s geometrickým uspořádáním 45/0, dle CIE 45°:0°. Avšak pro měření podle této normy je schopen jen přístroj firmy X-Rite ERX50. Pro textilní účely je obvyklé použít CIE doplňkového 10° pozorovatele. Pro oděvy s vysokou viditelností ale CIE 2° standardní pozorovatel, pro předpoklad viditelnosti na vysokou vzdálenost (malý úhel pozorování). Nutné je dodržení umístění vzorku při měření, na černou podložku. Stupeň odrazivosti by měl být menší, než 0,04 (textilie s nízkým stupněm zakrytí problematické). Optické vlastnosti pak určují využití textilií v určitých podmínkách. [6]

Za alternativní dobu vymírání fosforescenčního efektu se považuje čas, za který se svítivost sníží na $0,32 \text{ mcd.m}^{-2}$ (hodnota 100x citlivosti oka přizpůsobeného tmě). Pod 1 cd.m^{-2} již přispívají k vidění ve tmě i tyčinky a pod 1 mcd.m^{-2} je v činnosti už jen jasová část fotoreceptorů. Jasový rozsah lidského oka je přibližně 1000000:1. [17]

Pro měření emisních spekter fosforescentů s přísady europia byl podle článku [17] použit kalibrovaný Ocean Optics QE65000 napojený na CCD spektrometr. Běžné měření vnímaného jasů uvažuje fotonickou křivku (555 nm) s maximální hodnotou 683 lm/W. Pro měření hodnot mezopické oblasti, při činnosti tyčinek i čípků, je to ale složitější. Existuje více způsobů popisu tohoto stavu, ale dosud nebyl určen jednotný mezinárodně uznávaný standard. Protože zatím žádný se dostatečně nepřiblížil reálné

hodnotě. To způsobuje fakt, že tyčinky a čípky (rychleji) se tmě přizpůsobují různě dlouho a není tak snadné provést jejich měření v mezopické oblasti vidění. Literatura [17] uvádí pro analýzu fosforescence v mezopické části použití systému s jednotným jasem L [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]. Který se při nízkých hodnotách jasu blíží požadovanému skotopickému vidění a při vysokém, běžném fotopickém. Hodnoty v $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se měří klasickým přístrojem pro luminiscenci, při napojení skotopických a fotopických jasů na spektrální distribuci energie $I(\lambda)$. Vlnová délka odpovídající mezopickému rozsahu se zjistí váženým průměrem fotopické a skotopické křivky. Výsledná křivka pak odpovídá funkci vlnové délky konkrétního monochromatického světelného zdroje. Intenzita dosvitu fosforescentů rychle klesá pod $1\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (přizpůsobení se mezopickému stavu). Například fialový fosforescent vykazuje při simulovaném mezopickém stavu lepší hodnoty, než ve fotopickém (obr. 5). Má asi 10x vyšší svítivost při jednotném jasu (obr. 6). Což dokazuje, že nižší vlnové délky jsou při nižším jasu vnímány lépe. Ačkoliv to nelze tvrdit s jistotou, jak už bylo zmíněno, tak zelené a modré fosforescenty jsou zase hodnoceny ve vnímaném jasu, jako identické. Je tedy možno říci, že vnímaná střední úroveň jasu je fotometricky nejsložitěji zjistitelná. Kdy se vidění předává z čípků na tyčinky (velmi citlivá změna). Nízká intenzita jasu pak ovlivní, že červené světlo je vnímáno slaběji, než zelené a modré, ačkoliv mají stejnou fotometrickou svítivost. [17]

Pro luminiscenční spektroskopii se obecně používají optická disperzní zařízení, monochromátory a polychromátory. Které rozkládají luminiscenční záření ve spektru. Musejí umět rozlišit jeho velmi nízkou hladinu, aby ho zachytily co největší část. Proto musí mít vysokou světelnost a zároveň citlivý detektor. [18]



Obr. 8 Schéma a) monochromátoru s rotujícím disperzním prvkem (hranol, mřížka) a jednokanálovým detektorem, b) spektrografu s pevným disperzním elementem a mnohokanálovým detektorem. [18]

Monochromátor pak zajišťuje spektrální složení luminiscenčního záření. K čemuž mu slouží disperzní element v podobě mřížky, či hranolu. U fotoluminiscence slouží i k výběru vhodné budící vlnové délky excitačního zdroje. Vydává excitační energii, kterou vybudí luminiscenci a ta se rozloží ve spektrálním přístroji na vlastní spektrum. Výstupem je vydělená monochromatická složka. Detektor převede vstupní optický signál na elektrický a ten je zpracován měřicím softwarem. Výsledkem je graf závislosti intenzity luminiscence (I_{lum}) na vlnové délce (λ_{em}), což se nazývá emisní spektrum. [18]

Spektrograf ve své výstupní ohniskové rovině vytváří spektrum ve fixované poloze. Zobrazovací spektrograf obsahuje speciální korigovanou optiku, která vytváří kvalitní ostrý obraz, spektrum. Polychromátor má na výstupu více neproměnných vlnových délek. Spektrometr se používá pro měření spektrálního rozložení intenzity záření zdroje. To znamená spojení monochromátoru (spektrografu) a detektoru. [18]

Princip obou přibližuje obr. 8. Existuje však více typů optických spektrálních přístrojů, lišící se nastavením procesů zobrazování spektrálních čar. Jeden z největších výrobců monochromátorů a spektrografů je Horiba Jobin Yvon. Při uspořádání měření „na odraz“ je luminiscence získána ze stejného místa, na které působí zdroj excitace. Popis měření tímto a dalšími způsoby uvádí literatura [18]. Xe výbojka má například vlnovou délku emise od 250 do 1200 nm. Za určitých podmínek je pak intenzita fotoluminiscence úměrná pohlcené energii. Normované excitační spektrum tak kopíruje průběh absorpčního spektra pro získání relativních absorpčních spekter. [18]

Světelnost přístrojů je tedy velmi důležitá, ale existuje závislost mezi ní a rozlišovací schopností. Pro světelnost spektrografu je nutné osvětlení celé plochy mnohokanálového detektoru (výstupní světelný tok/velikost plochy). Tento vztah určuje délku expozice spektra a jeho poměr signál/šum. Doba doznívání luminiscence (τ), pak není rovna zářivé době života (τ_r). S čímž souvisí křivka „napnuté exponenciály“. [18]

4 Využití pro bezpečnostní oděvy

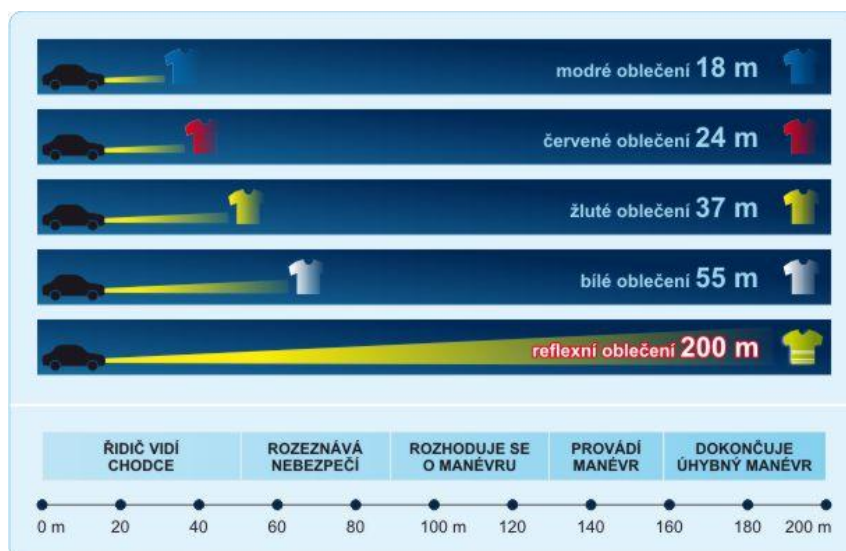
Především fotoluminiscence má své uplatnění také jako bezpečnostní prvek oděvů. Jak pracovních oděvů pro profesionály (pracovníci provozních, záchranných a bezpečnostních složek). Čímž se zvyšují požadavky a nároky na takovéto materiály. Tak i pro běžné denní nošení a na sport. Pro bezpečnost v silničním provozu, který je ovlivněn životním shonem, jsou takovéto materiály nesporně výhodou.

Proto se v dnešní době, z důvodu častých nehod, dbá na bezpečnost v silničním provozu pomocí bezpečnostních prostředků na oděvech a využití nových materiálů. Povinností určenou zákonem je však pro chodce v silničním provozu platná až od 20. 2. 2016. „Zákon o provozu na pozemních komunikacích 2016 - aktuální úplné znění (zákon č. 361/2000 Sb., o silničním provozu)“ [19]. Zatímco automobily a cyklisté mají světelnou povinnost za snížené viditelnosti již dlouho. Běžně používané prvky jsou ale většinou jen dočasné, při používání se opotřebovávají a tak již neplní svou funkci. [6]

4.1 Stávající bezpečnostní oděvy

Fluorescenční barviva materiálů zvyšují světelný kontrast vůči svému pozadí. Jedná se všeobecně o textilie světlejších barev a výraznějších odstínů. Kdy zvyšují viditelnost za denního světla a soumraku, ve tmě však potřebují osvit, například jedoucím automobilem. Proto je nutné oděvy s vysokou viditelností doplňovat retroreflexními materiály, například pásy, které zvyšují viditelnost svou odrazivostí světla zpět ke zdroji. Je tak zabezpečen kontrast jasu i barvy za pomoci retroreflexe a fluorescence. Optického jevu retroreflexe je dosaženo použitím například koutových odražečů plošně uspořádaných (retroreflexní pásy). Kolorimetrické parametry jsou měřeny i u těchto materiálů s vysokou viditelností pomocí, již zmíněné, stále používané základní kolorimetrické soustavy CIE XYZ (1931). Kolorimetrické parametry jsou měřeny při osvětlení D65 (simuluje denní světlo bez přímého svitu). Avšak retroreflexní, při osvětlení A (podobné halogenidovým žárovkám automobilů). [6]

Pokud tedy řidič vozidla v průměrné rychlosti potřebuje minimálně 31 m na to, aby stihl reagovat, představuje tato kombinace viditelná až z 200 m zatím nejúčinnější prostředek. Což vysvětluje následný obrázek (9). [6]



Obr. 9 Viditelnost různě barevných textilií osvětlených automobilem na vzdálenost [20]

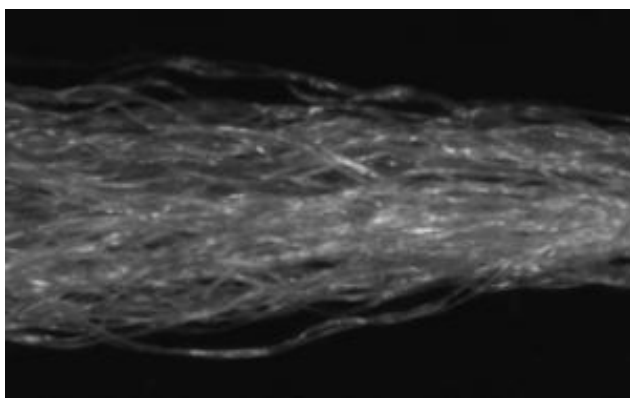
Existuje proto tedy mezinárodní norma EN ISO 20471:2013 [21], která řeší požadavky na oděvní součásti s vysokou viditelností dle analýzy rizika a dělí je do tří tříd. Uvádí i charakteristiku pojmu nápadnost. Jako vlastnost snadno k předmětu upoutávající vizuální pozornost, která je důležitá hlavně v prostředích s vizuálně velmi podobnými objekty. Je tedy určena kontrastním jasně předmětu, barevným kontrastem, vzorem, vzhledem a pohybovými charakteristikami vůči svému okolí. Třídy jsou děleny podle minimálních ploch, které musí zaujímat retroreflexní a fluorescenční, či kombinovaný textilní materiál. Podle toho jsou také různě nápadné a vhodné do rozdílných prostředí. Nejvyšší úroveň nápadnosti a ochrany poskytuje třetí třída. Která je vhodná právě do prostředí, vyskytujících se v městských a venkovských situacích na denním světle a v noci. Podle třetí třídy by tedy měla být fluorescenční plocha podkladového materiálu nejméně $0,8 \text{ m}^2$ a reflexních prvků $0,2 \text{ m}^2$. Z čehož minimálně 50% podkladové textilie by měla obsahovat přední část oděvu a minimální plochy jednotlivých tříd nelze v žádném případě zmenšovat. Dále norma uvádí konstrukční podmínky na minimální šíři retroreflexní pásy a její umístění na konkrétním druhu oděvu. Také se v ní lze dočíst o způsobech měření a zkouškách takovýchto oděvů, jak kolorimetrických, tak uživatelských vlastností a doporučení dalších příslušných norem. Uvádí i požadavky fotometrických analýz a trichromatické souřadnice konkrétních barev, fluorescenční žluté, oranžovočervené a červené. Které jsou nejpoužívanějšími proto, že jsou, jak již bylo vysvětleno, při osvětlení nejvíce nápadné. Ve tmě nejnápadnější žlutozelená by tedy byla použita v případě, kdy by světlo vyzařovala sama o sobě, například fosforescencí. [21], [6]

5 Základní charakteristika a členění multifilu

Multifil je svazek nekonečných chemických vláken, složený z jednotlivých filamentů. Monofil by pak bylo jedno vlákno neomezené délky. Při výrobním procesu se po zvlákňování přes různé tvarované trysky a dlužení mohou jednotlivé filameny dále tvarovat. Jedná se o jejich zkadeření, pro získání charakteru textilního vlákna, z důvodu zlepšení uživatelských vlastností. Jako je objemnost, vyšší roztažnost, pružnost, lepší omak a vzhled. Přispívá i lepší tepelné izolaci. Pro zvýšení soudržnosti multifilů se provádí ještě proviřování za působení proudu vzduchu. [22]

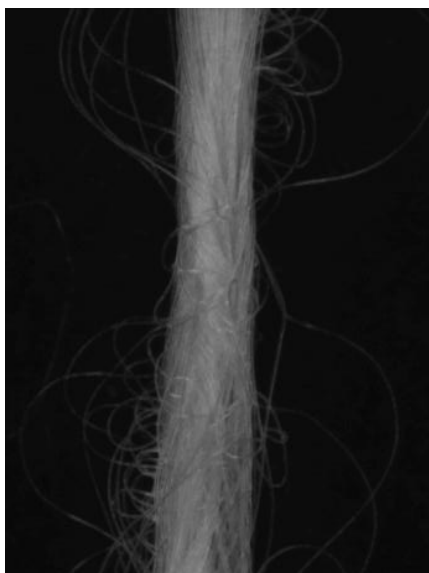
Tvarování může nastat v průřezu vláken, či podél jejich osy. V průřezu mohou být vlákna různého tvaru profilu, dutá a bikomponentní. Tvarování podél osy může nastat různými způsoby. Pro multifily s vysokou roztažností se provádí nepravým zákrutem (vřetenový, frikční), hnutím zákrutů, tažením přes hranu a bikomponentním způsobem. U těch s nízkou roztažností pýchováním, ozubenými koly či lamelami, pletením a páráním. Neroztažné jsou tvarovány proudem vzduchu nebo horké páry. Postupy výroby a konkrétní použití se pak lze dočíst v literatuře [22]. Některé vybrané způsoby tvarování podél osy přibližují následné popisy. [22]

Častým způsobem je tvarování nepravým zákrutem, pro trvale zobloučkovaný multifil s celkem přesným počtem obloučků na jednotku délky. Kdy se krutným elementem multifil zakrucuje na určitý počet zákrutů a zároveň rozkrucuje zákrutem opačného směru, následuje tepelná fixace a ochlazení (jen u termoplastických materiálů). Po rozkrucení tak jednotlivé fibrily multifilu zůstávají zobloučkované (obr. 10). Nelze však pro tvarování monofilu. [22]



Obr. 10 Multifil tvarovaný nepravým zákrutem

Dalším způsobem je například tvarování vzduchem. Principem je rozvolnění multifilu na jednotlivá vlákna a jejich deformace do smyček stlačeným vzduchem a fixace následným zakroucením. Fixace smyček může probíhat i tvořením spletenin v jádru multifilu vhodným tvarem trysky. Charakteristické smyčky jsou tvořeny díky rozdílné vstupní a výstupní rychlosti multifilu. Svým povrchem tak připomíná staplovou přízi (obr. 11, 12). Regulací použitých tvarovacích parametrů lze zajistit velikost smyček tvarovaného multifilu a jejich rozdílnou četnost. To ovlivňuje objemnost a omak multifilu. Tímto procesem se nemění vnitřní struktura vláken, proto není nutná tepelná fixace. Lze tvarovat i multifily z regenerované celulózy či skleněná vlákna a vytvořit jádrovou efektní nit. [22]



Obr. 11 Vzduchem tvarovaný multifil

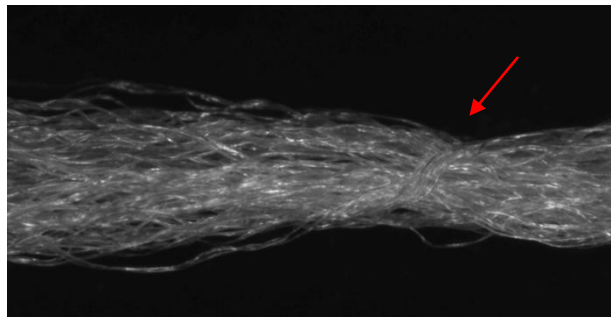


Obr. 12 Vzduchem tvarovaný multifil [22]

Zpevňování multifilů proviřováním se provádí na kontinuálních linkách pro jejich výrobu. Proviřují se za účelem zvýšení soudržnosti hladkého, tvarovaného a skaného multifilu. Má tak lepší vlastnosti pro následné zpracovávání a zlepšuje odvíjení multifilu z cívky. Multifil prochází, pod jemným předpětím, turbulentním proudem vzduchu, jehož vlivem se z filamentů vytvoří „spletená“ místa podobající se uzlíkům (obr. 13, 14). Lze jím vytvořit i novou strukturu nitě, kdy jsou proviřovány dva nebo více multifilů různého druhu a jemnosti. Ale již v samostatném procesu, který není součástí linky. [22]



Obr. 13 Provířený multifil [22]



Obr. 14 Provířené místo tvarovaného multifilulu

Mezi *kombinované nitě* patří mimo jiné skané multifily ve spojení tvarovaný multifil + tvarovaný multifil, tvarovaný multifil + příze a další kombinace. Jádrové nitě pak mohou být obeskávané, opřádané, atd. Lze i další druhy kombinovaných délkových útvarů. Kombinují se tedy dva tvarované druhy multifilů, s multifily hladkými nebo přízemí. Kombinace mohou vznikat skáním, sdružováním a přímým kablováním. [22]

Skáním je u multifilů myšleno i zakrucování jednoho multifilu. Zvyšuje jeho soudržnost a ochranu před namáháním během tkaní a pletení. Vyvažuje krutný moment multifilu tvarovaného nepravým zákrutem a snižuje jeho smyčkování. Zlepší se jím i mechanické vlastnosti multifilu a docílí stejnoměrnějšího průměru. Je možné vytvořit i určité efekty (barevné, objemové), zlepšit omak a optické vlastnosti. Skaní může být hladké či efektní. Hladké jednostupňové, zakrucování jednoduchého, či dvou multifilů (dvojmo skaný, ...). Hladkým vícešupňovým (skaní ve stupních) se ská již skaná nit (kablování). [22]

Přímým kablováním se pojí multifily většinou pro výrobu koberců. Jde o skaní dvou multifilů, aniž by každý z nich byl samostatně zakrucován. Tyto multifily mají vysokou soudržnost a lepší tvarovou stálost. Směr (pravý, levý) a počet zákrutů (při vícenásobném skaní, kablování) ovlivňuje vzhled, omak, pevnost a tažnost výsledné nitě. Lze kablovat různé druhy multifilů, kdy se struktura odvíjí od napětí jednotlivých multifilů. Značení, například pro jednoduchý skaný multifil vypadá takto: 150 dtex (jemnost multifilu) f30 (počet fibril multifilu) Z 300 (směr a počet zákrutů). [22]

Pro zatkání jsou vhodné délkové materiály dostatečně zpevněné a s určitou drsností povrchu. Nejlépe zpracovatelné jsou tak příze (min. počet zákrutů 100 na m), ale lze použít i některé multifilní materiály. Ty však musí být zpevněné alespoň provířením, což následně představuje i požadovanou drsnost. U monofilů je drsnost získávána opřádaním dvěma vlákny, které monofil obtáčejí (vznik kombinované jádrové nitě).

5.1 Analýza délkových útvarů vzhledem k jejich vnitřní struktuře

Vnější a vnitřní strukturu délkových útvarů lze následně zpětně hodnotit. Dají se tak zjistit parametry výstupního materiálu, pro zjištění správného nastavení přístrojů a další vlastnosti, které mohou ovlivnit jejich využití. Struktura hmoty ovlivňuje chování textilního materiálu a zase některé projevy hmoty jsou důsledkem jeho vnitřní struktury a uspořádání.

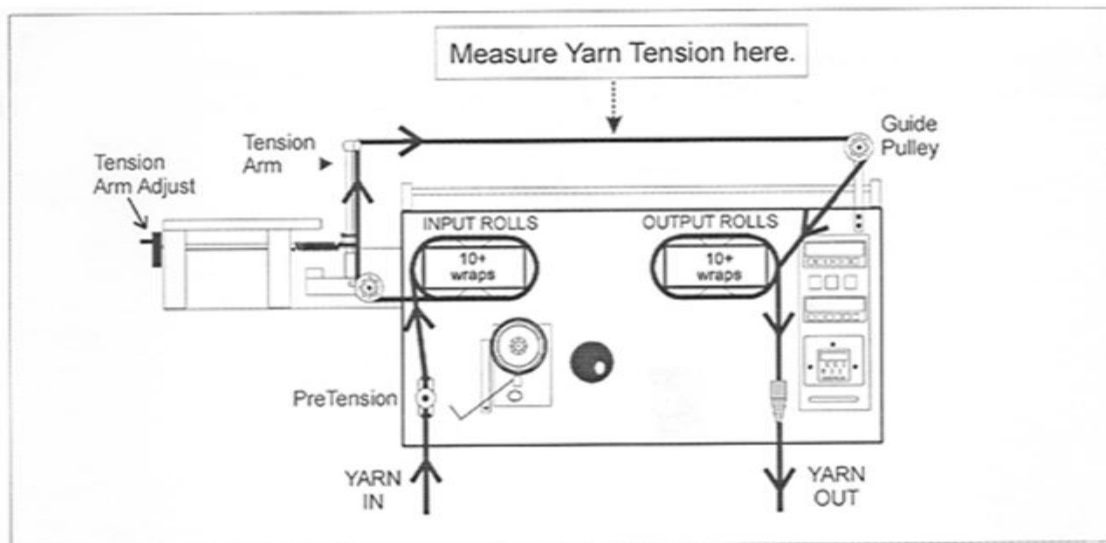
Hodnotit strukturu lze metodami přímo (přímo zjišťují charakteristiky molekulární a nadmolekulární struktury), či nepřímo (zjišťující vlastnosti vlákna, ze kterých lze soudit strukturní parametry a stav vlákna). Metody se dělí i dle strukturních vlastností, primární struktura (molekulová struktura), sekundární, tedy prostorové uspořádání jednotlivých polymerních řetězců (metody spektrální a optické). V terciární struktuře jde o vzájemné vazby makromolekul a jejich prostorové uspořádání (např. rentgenová analýza, mikroskopické a optické metody). Speciální strukturní charakteristiky pak zjišťují třeba obsah aditiv. Použité metody se pak ještě dělí na invazivní a neinvazivní, podle toho, zda měřený vzorek poškozují, či nikoliv. [24]

5.1.1 Analýza vnější struktury multifilu

Vnější strukturou je myšlena struktura povrchu multifilů. Která je způsobena obloučkovitostí jednotlivých fibril a zpevnováním provířením, či zákruty při skaní. Je tedy možno hodnotit například obloučkovitost, množství provířených míst, počet zákrutů i průměr multifilů, který může být díky províření nerovnoměrný.

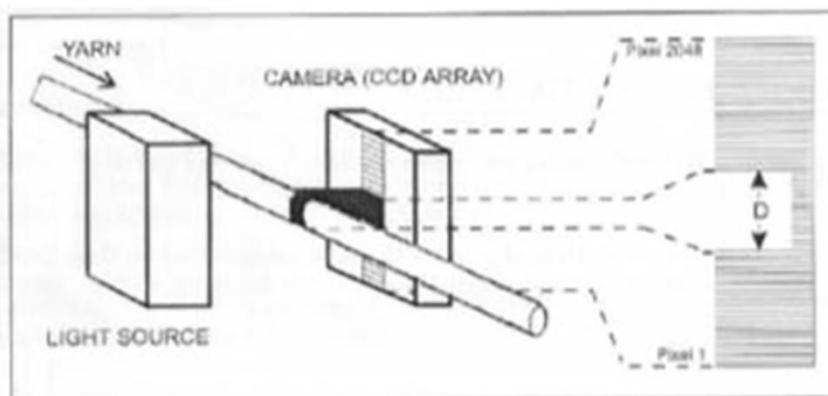
5.1.1.1 Analýza průměrů pomocí CTT

Měřicí zařízení CTT (Constant Tension Transport) s Tensiometrem modulu YAS (Yarn Analysis Software) pracuje na principu prosvěcování průchozího materiálu a jeho snímání řádkovou kamerou. Jedná se o optickou metodu Lawson Hemphill. Obrázek č. 15 pak ukazuje návod materiálu přístrojem. Snímaný materiál v podobě délkového útvaru je naveden přes vodící válce, pod určeným předpětím (0,5 g/tex) a v průběhu snímání, pomocí vzduchové trysky, odtahován určitou rychlostí. [23]



Obr. 15 Schéma navedení proměřovaného materiálu přístrojem CTT [23]

Na tomto přístroji lze měřit nestabilitu v průměru zkoumaného délkového materiálu. Ten prochází ve délce 100 m, mezi snímací kamerou a světelným zdrojem, který je materiálem blokován, či přijímán senzorem kamery. Dle počtu zastíněných pixelů tohoto senzoru je poté stanoven průměr předkládaného materiálu a variační koeficient průměru, podle něhož se stanoví nestejnomyěrnost v průměru (obr. 16). Ta je určena počtem „vad“ o určené velikosti v určité procentuální odchylce od průměrného průměru. Přičemž průměr je nastaven na nulu, od které se odchylky stanovují. Popisovaná metoda je vhodná právě pro hladké či zkadeřené provířené a vzduchem tvarované multifily. Pro zjišťování počtu provířených míst touto metodou, avšak v modulu ACE (Yarn Count Entanglement) by bylo nutné zadat nominální počet těchto míst. [22]



Obr. 16 Princip měření průměru pomocí přístroje CTT [22]

5.1.1.2 Analýza províření a obloučkovitosti multifilu

Parametry povrchové struktury lze hodnotit také „subjektivně“, dle příslušných pravidel. Jednou z metod je stanovení počtu provířených míst multifilu v délce jednoho metru a hustota obloučků jednotlivých fibril multifilu na 10 mm. [25]

Určitou charakteristiku geometrie délkového útvaru představuje množství provířených míst. Jejich četnost ovlivňuje soudržnost multifilu a tím i zpracovatelské vlastnosti. Hodnocení lze provést i pomocí CTT přístroje v modulu ACE [22], avšak nejdříve je nutné znát nominální počet takovýchto úseků. Ten je možné zjistit například položením délkového materiálu na rovný povrch a zafixování zatížením konců v narovnaném stavu, při přirozeném napětí. Požadovaná místa se poté odečítají po přiložení kalibrovaného měřítka o délce 1m. Měření se samozřejmě provede vícekrát v různých úsecích délkového materiálu. [22]

Nezanedbatelné je i charakterizování obloučkovitosti u kadeřených fibril. Tato hodnota je původně určována hlavně u staplových vláken. Obloučkování vláken je důležité jak technologicky, tak pro zpracovatelské a užité vlastnosti vláken. Obloučkování se tedy provádí z důvodu zobjemnění, ovlivňující výsledné vlastnosti vláken. Například objemnost textilií, tím i omak a tepelně izolační vlastnosti. Obloučkovitost vláken lze hodnotit počtem obloučků na jednotku délky, stupněm zkadeření, stálostí zkadeření a zbytkovým zkadeřením. U přírodních vláken ze srstí jsou obloučky víceméně stálé. Avšak u syntetických vláken je nutná jejich tepelná fixace, (zvýšení stálosti zkadeření). Obloučky mohou být v jedné rovině, prostorové, či spirálové, dle způsobu obloučkování. K hodnocení počtu obloučků na jednotku délky je určena norma ČSN 800202 [25]. Pro stanovení ukazatelů obloučkování vlněných vláken, chemických střížových vláken a chemických kabelů. Která sice již není platná, ovšem není za ni určena náhradní. [24]

5.1.2 Analýza vnitřní struktury multifilu

Vnitřní uspořádání vláken v multifilu představuje orientace jednotlivých fibril uvnitř multifilu a jejich vlastnosti. Které lze však jen obtížně zjistit z přirozeného stavu délkových útvarů, bez jejich poškození, či zdeformování během testování.

Možností, jak získat, co nejpřesnější výsledky je použití metody založené na systému micro CT. Ten umožňuje zjistit zaplnění multifilu, jeho průměr a další, aniž by výsledky zkresloval destrukcí materiálu při jeho hodnocení. Metoda pracuje na principu rentgenových paprsků, za jejichž pomoci umožňuje získat množství 2D řezů pozorovanými 3D objekty. Které následně využitím speciálního softwaru opět složí do 3D obrazu. Softwarem je poté možno z obrazových snímků získat požadované informace o délkovém materiálu. Získané obrazy lze analyzovat například z hlediska měření délky, velikosti objektů, tvaru objektů, orientace a porosity. Postup pomocí PC tomografie je tedy kombinací klasického rentgenového vyšetření s počítačovým systémem, kde se informace zpracovávají. Přístroj kompaktního micro CT systému je například SkyScan 1174 (obr. 17), který je schopen skenovat v rozsahu menším, než 10 μm , což je 10^{-6} mm² velikosti vzorku. [26], [27]



Obr. 17 Přístroj SkyScan 1174 pro analýzu pomocí micro CT [27]

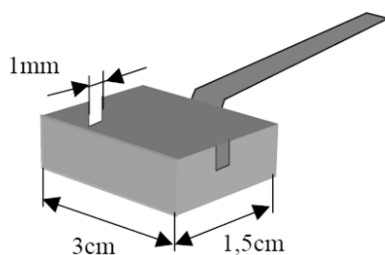
5.2 Analýza geometrických vlastností vláken délkových útvarů

Vlastnosti vláken ovlivňují dále vlastnosti délkových útvarů a konečných textilních výrobků, je proto nutná analýza samotných vláken. Následně jsou popsány metody mikroskopických pohledů, ze kterých je možno získat podrobnější popis.

V zájmu je analýza tvaru vláken v příčném řezu, jehož tvar může ovlivňovat omak a optické vlastnosti. Část dopadajícího světla na vlákno jím může procházet, část se absorbovat a část odrazit. Optické metody jsou tak důležité i pro hodnocení struktury vláken. Vlákno, stejně jako další látky, vykazuje index lomu, jeho hodnota ale závisí na směru. Index lomu je rozdílný v podélném a příčném směru (dvojlom) a závislý

na hustotě vlákna. Tvar příčného řezu vlákna ovlivňuje jeho lesk, dle podílu odraženého světla. Světlo se od povrchu odráží zrcadlově nebo difúzně. Čím je povrch drsnější, tím více světla se odrazí difúzně (zesvětlení a snížení lesku). Vlákna složitějšího tvaru, dutá a o větší jemnosti se tak jeví světlejší a matnější. Pro zvýšení vnitřního rozptýlení světla ve vláknech je používán oxid titaničitý s vysokým indexem lomu (matování). [24]

Doporučený postup tvorby příčných řezů je způsobem „měkkých“ (vzorek zalitý v parafínu) a „tvrdých“ (vzorek v PE pryskyřici) řezů. Pravidla pro tvorbu vzorků těmito způsoby určuje vnitřní norma IN 46-108-01/01 z roku 2002. Po přípravě vzorků z materiálu, na které je postupně ve dvou, lépe ve třech vrstvách nanášena směs rychlosmáčedla s disperzním lepidlem v různém poměru. Následuje jejich zaschnutí, upevnění do vaniček a zalití voskovou směsí (včelí vosk s parafínem). Po jejich nutném zmrazení a vyjmutí z vaniček již může následovat tvorba řezů pomocí řezacího přístroje a snímání mikroskopem s digitální kamerou. Správný preparát zajišťuje mimo jiné patřičná tloušťka řezu (pro délkové materiály kolem 15 μm). Jednotlivé řezy se v „pásku“ snímají preparační jehlou na podložní sklíčko zakápnuté Xylenem, pro rozpuštění vosku. Podrobný postup, podmínky a nežádoucí jevy upřesňuje výše zmíněná norma. Na následném obrázku 18 je náčrt vaničky používané pro měkké řezy délkových textilií (lze i z textilií plošných). Vyhodnocení snímků poté probíhá pomocí speciálního softwaru, který vyhodnotí požadované parametry geometrie vláken, jako je jejich počet, průměr, kruhovitost, tvarový faktor a další. [28], [29]



Obr. 18 Plechová vanička pro měkké vzorky [28]

Na již zmíněnou normu navazuje další, pro stanovení geometrických vlastností vláken (IN 21-108-01/01). Popisuje systém obrazové analýzy pomocí optického mikroskopu, digitální kamery, makroskopu a PC softwaru pro obrazovou analýzu. Dokládá i vzorečky pro výpočet jednotlivých charakteristik. [29]

Pro hodnocení geometrických vlastností lze použít i způsob řezů „do destičky“ nebo například elektronový rastrovací mikroskop.

6 Popis základních geometrických parametrů tkaniny

Tkanina je plošná textilie, vznikající provázáním dvou vzájemně kolmých soustav nití. Z hlediska vazebních technik mohou být tkaniny jednoduché (1 osnova, 1 útek), víceosnovní, víceútkové a vícenásobné (min. 2 osnovy a min. 2 útky). Konstrukce tkanin tak vychází ze základních vstupních parametrů nití a tkaniny. Vstupním parametrem délkového útvaru je například jeho jemnost, materiál (měrná hmotnost), pevnost a charakteristická struktura ovlivněná technologií jeho výroby. Vstupními parametry tkaniny je hlavně dostava osnovy i útku, jejich setkání, druh vazby, hustota a šíře tkaniny. Konstrukce a plošná hmotnost tkaniny je ovlivněna také účelem jejího použití. Její struktura se pak hodnotí z hlediska plošné a prostorové geometrie. [30]

6.1 Plošná geometrie

Plošná geometrie hodnotí tkaninu dle vnějšího uspořádání vzoru ve tkanině a nití v jednotlivých soustavách. Základním prvkem je vazná buňka tkaniny v půdorysném pohledu. Vlastní konstrukce tkaniny je dána souborem údajů stanovených desinatérem. Jedná se o soubor parametrů, hodnotící konstrukci tkaniny podle vnějších vlastností geometrie. Mezi něž patří druh vazby, jemnost a průměr osnovních i útkových nití, dostava obou soustav, typy pórů určujících plošnou porozitu a další. Tkanina je však takto definována jen částečně, protože model předpokládá, že se všechny vazné body nacházejí v jedné rovině. [30]

6.1.1 Dostava a hustota tkaniny

„Dostava tkaniny vyjadřuje počet nití (dále pn) na určitou délku podle ČSN 1049-2 (800814) (mod ISO 7211 – 2:1984)“ [31]. Dostava tkaniny je určována zvlášť pro osnovní a útkovou soustavu nití, kdy je značena jako D_o [$pn/100$ mm] a D_u [$pn/100$ mm]. Běžně je určována na 10 cm (100 mm), případně 1 cm (10 mm). Postavení nití těsně v jedné rovině má 100% zakrytí, což se rovná 100% dostavě nití a představuje tak nekonečnou flotáž nití ve tkanině (obr. 19a). Na základě středního průměru nití ve tkanině, u stoprocentně husté čtvercové dostavy v plátnové vazbě tkaniny platí:

$$D_{ct \max} \left[\frac{pn}{100\text{mm}} \right] = \frac{100}{\sqrt{4d_{str}^2 - d_{str}^2}} \quad 1)$$

Lze vyjádřit i na základě $D_{o \max}$ a $D_{u \max}$, viz [31]. Pro skutečnou čtvercovou dostavu tkaniny v plátnové vazbě však platí následující:

$$D_{ct} \left[\frac{pn}{100\text{mm}} \right] = D_{ct \max} * \frac{H}{10^2} \quad 2)$$

kde:

$D_{ct \max}$ [pn/100 mm] – maximální dostava nití ve tkanině (teoretická), pro 100% husté čtvercové dostavy tkanin v plátnové i neplátnové vazbě

d_{str} [mm] – střední průměr nitě ve tkanině

H [%] – hustota tkaniny, kdy v praxi dosahuje hodnot kolem 55 – 90%, ovšem záleží na druhu materiálu a výsledném použití tkaniny. [31]

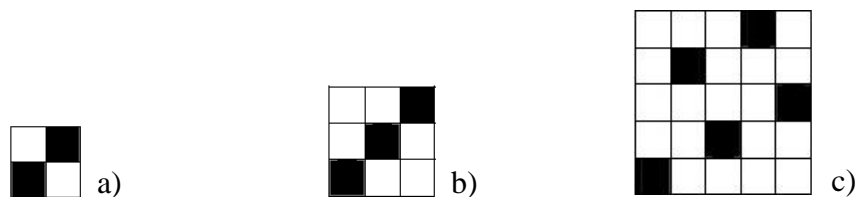


Obr. 19 Dostava nití při různém provázání: a) těsné postavení nití (100% hustota dostavy), b) plátnové provázání (57,8%), c) neplátnové provázání (67,2%) [32]

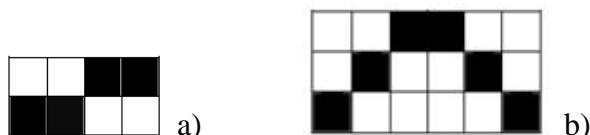
6.1.2 Vazba tkaniny

Na základě znalostí vstupních parametrů, na nich závisící dostavě tkaniny a jejího využití je možno zvolit vyhovující typ vazby. Která ovlivňuje vzhled, ale i mechanické a užité vlastnosti. Vazba je způsob vzájemného provázání dvou soustav nití ve tkanině, jejímž základním prvkem je vazná buňka. Na základě jejíhož popisu je možno hodnotit plošnou a prostorovou geometrii. [30]

Podle pravidelně se opakující části vazby (střídy) se rozeznávají různé typy vazeb a jejich odvozeniny (obr. 20 a 21). Vzornice vazeb, znázorňující plošnou geometrii se kreslí na čtverečkový papír, kdy tmavé body jsou osnovní a světlé útkové. Ty znázorňují polohu osnovních nití vůči střední rovině tkaniny. Tvar vazné vlny v prostorové geometrii je pak určen složitostí provázání. Skládá se z přechodového a neprovazujícího (flotážního) úseku. Vazby lze dělit na symetrické (základní) a nesymetrické (rozšířené). Také dle počtu nití střídy v příčném (počet osnovních nití - n_o) a podélném (počet útkových nití - n_u) směru, který určuje její velikost. [30]



Obr. 20 Základní typy vazeb: a) plátnová, b) keprová, c) atlasová [30]



Obr. 21 Příklad odvozených vazeb (nemusí být čtvercové): a) plátnová, b) keprová

6.1.3 Plošná hmotnost tkaniny

Hmotnost tkaniny je závislá na jednotlivých dostavách (osnovy, útku), jejich jemnosti, měrné hmotnosti a setkání nití v těchto soustavách. Hmotnost je rozlišována na hmotnost běžného metru $M_1 [g \cdot \text{bm}^{-1}]$ a čtverečního metru $M_2 [g \cdot \text{m}^{-2}]$. Experimentální analýza vážením je možná, dle ČSN EN 12 127 (800849). Kdy je plošná hmotnost textilií zjišťována vážením malých vzorků (10x10cm), které jsou z materiálu odebírány v diagonálním směru, aby byla ve vzorcích zastoupena co největší plocha textilie. Textilie je předem klimatizována ve zrelaxovaném stavu. Jejich váha (v gramech) je poté přepočítávána na plošnou hmotnost v g/m^2 , dle následujícího vzorce č. 3.

$$M \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right] = \frac{m \cdot 10000}{A} \quad 3)$$

kde:

$m [g]$ – hmotnost zkušební vzorku

$A [\text{cm}^2]$ – plocha zkušební vzorku

Obecně pak platí:

$$M_1 = (M_o + M_u) * \check{S}_{tk} * 10^{-2} \quad 4)$$

$$M_2 = (M_o + M_u) \quad 5)$$

potom:

$$M_1 = [D_o * T_o * \left(1 + \frac{s_o}{10^2}\right) + D_u * T_u * \left(1 + \frac{s_u}{10^2}\right)] * \check{S}_{tk} * 10^{-4} \quad 6)$$

$$M_2 = [D_o * T_o * \left(1 + \frac{s_o}{10^2}\right) + D_u * T_u * \left(1 + \frac{s_u}{10^2}\right)] * 10^{-2} \quad 7)$$

kde:

$T_{o,u} [tex]$ - jemnost osnovní a útkové příže,

$M_{o,u} [g.m^{-2}]$ – hmotnost osnovní a útkové soustavy nití ve tkanině,

$s_{o,u} [‰]$ – setkání osnovní a útkové nitě ve tkanině,

$\check{S}_{tk} [cm]$ – šířka tkaniny.

Plošná hmotnost tkaniny je tedy dána součtem hmotností osnovy a útku v určité ploše.

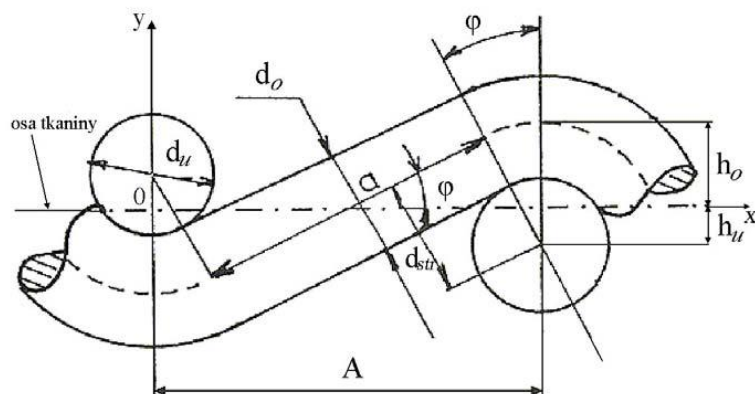
V praxi je nazývána gramáží a udává se v $g.m^{-2}$. [31], [34]

6.2 Prostorová geometrie

Prostorová geometrie tkaniny je soubor údajů, popisující tkaninu podle vnitřního uspořádání nití jejích jednotlivých soustav. Je ovlivněna typem a seřízením stroje, který má vliv na výslednou strukturu tkaniny. Parametry prostorové geometrie jsou hodnoceny pomocí příčného a podélného řezu tkaninou, vedenými středem útku a osnovy, představující tak vaznou vlnu před zafixováním tkaniny. Zabývá se tedy skutečným provázáním nití ve tkanině a bližším popisem tkaniny doplňuje geometrii plošnou. Hodnotí se zde provázání nití ve vazné buňce, včetně působících sil při tkaní. Bere v úvahu i vychýlení vazných bodů na obě strany od roviny tkaniny. Prostorová geometrie se zabývá hodnotami jemnosti, průměru, rozestupu nití v jednotlivých soustavách a podobně, ale hodnotí je pomocí řezu vaznou vlnou. Ta nejlépe popisuje zvlnění a vzájemné provázání nití. Síly ovlivňující tyto hodnoty jsou napětí osnovy a útku, normálové síly, zvlnění osnovy a další. [30]

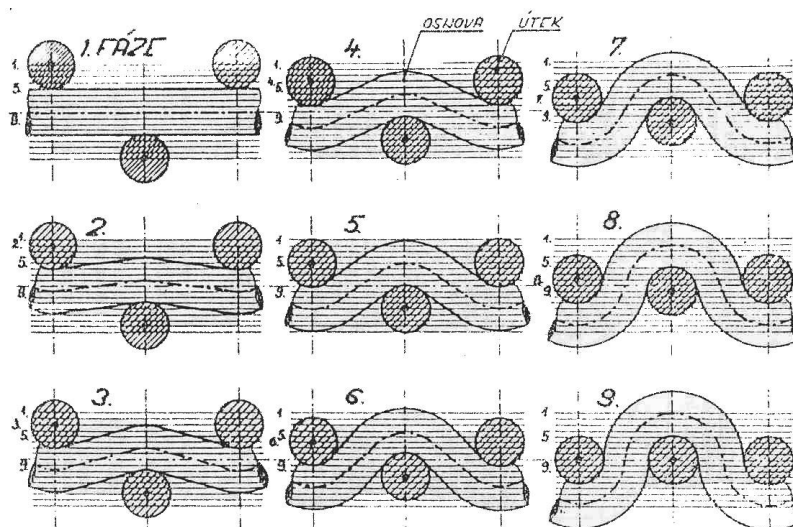
6.2.1 Vazná vlna - délka nitě, úhel provázání

Prostorovou geometrii lze vyjádřit vhodným modelem, popisujícím provázání osnovy s útkem v plátnovém i neplátnovém provázání. Z popisu vazné vlny (obr. 22) lze získat základní výstupní geometrické parametry, ovlivněné silovými i deformačními poměry mezi osnovou a útkem ve vazné buňce. Tvar vazné vlny v provázání, její zvlnění v osnově a útku, úhel provázání nití ve tkanině a délku nitě určují vstupní parametry materiálu, stroje a použité vazby. Hodnotit strukturu vazné buňky ve tkanině lze na čele tkaniny (ovlivněná napětím obou soustav, stav zrodu), za čelem tkaniny (stále působení napětí soustav), či v ustálené tkanině (bez vlivu napětí soustav). Hodnocení vnitřního uspořádání nití ve tkanině sestává z podélného a příčného řezu tkaninou. [31], [32]



Obr. 22 Peirceův model provázání nití ve tkanině [31]

Obecně z tkaniny vynikají vazné body (obr. 23) jedné, či druhé soustavy nití, pod vlivem přírazného systému, napětí osnovy a útku, konstrukce tkaniny, materiálu a dalších. Vodorovné šrafování představuje střední tloušťku tkaniny, z níž vyčnívají vazné body. Kdy 1., 5. a 9. stav jsou základní fáze tkaniny. Reálný stav je při 4., 5. a 6. fázi. V ustálené tkanině lze ale nalézt všechny fáze. Ovšem v 5. fázi (optimální) jsou vazné body „v zákrytu“, kdy relativní zvlnění $e_1 = e_2 = 0,5$. [32]

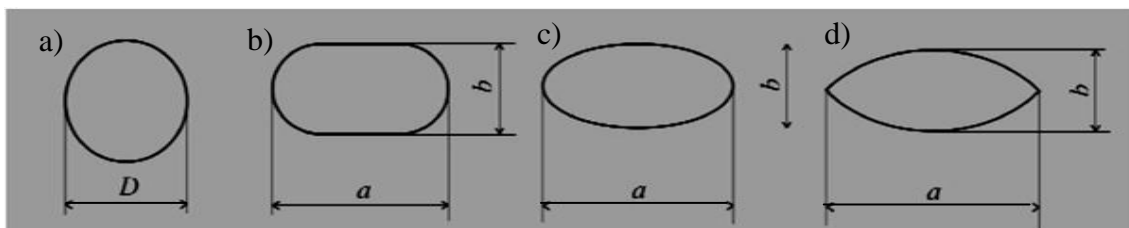


Obr. 23 Hlavní fáze provázání tkaniny, dle stupnice Novikovova (míry zvlnění) [32]

Některá matematická vyjádření, vztahující se jen na plátňovou vazbu ukazují, že teoretický model neodpovídá skutečnému provázání (po náhradě jednoduché vazby složitější není modifikace modelu směřodatná). Další modely zase nejsou operativní pro stanovení sil a deformací. Tvar vazné vlny a úhel provázání lze vyjádřit matematickou funkcí, definovanou intervalem provázání, v místě křížení a zvláště v místě flotáže. Jen sinova (cosinova) fce a rozvoj Fourierovou řadou popisuje periodicitu provázání. [32]

6.2.2 Tvar průřezu příze v řezu tkaninou

Pro zjednodušení geometrie příčných řezů nití byly určeny následující geometrie, znázorněné 24. obrázkem. Nejjednodušší představou je kruh, avšak neodpovídá skutečnému tvaru průřezu zatkaných nití. Proto byly určeny vhodnější. [32]



Obr. 24 a) kruh (pro jednoduché příze), b) Kempův průřez (skané příze), c) elipsa, d) čočka (multifily) [32]

7 Experimentální hodnocení

Hlavní náplní experimentů byla analýza dostupných délkových materiálů vhodných pro tkaní. Jedná se o multifily a kombinované nitě, z hlediska vlivu jejich geometrických vlastností na emitaci světla. Geometrie vláken byla hodnocena za pomoci obrazové analýzy, geometrie multifilů pak subjektivně a pomocí CTT. Dále byla objektivně sledována výše relativního vyzařování a subjektivně doba dosvitu analyzovaných materiálů. Dva z nich byly dále uplatněny ve vzorované dvouútkové žakárenské tkanině. Ta byla poté využita pro realizaci dětského svrchního bezpečnostního oděvu v podobě bundy a vesty.

7.1 Základní popis experimentálních vzorků délkových luminiscenčních materiálů

Jedná se tedy o textilní materiály schopné fosforescenčního záření, vlivem jejich modifikace. Polymerní materiály byly nejspíše modifikovány v průběhu přípravy polymeru (primární struktura), přidáním aditiv do roztoku v podobě fosforescenčních luminiscentů, těsně před zvlákněním. Některé byly dále tvarovány v průřezu jednotlivých vláken a v ose vláken (sekundární struktura). Pětiúhelníkový průřez, na rozdíl od kruhového, může mít vliv na „zrcadlový efekt“. Tvary průřezu vláken pak mohou být ovlivněny i zvláknovací rychlostí. Přičemž tento popis byl učiněn na základě literatury č. 24.

Na základě průzkumu trhu směřovanému k luminiscenčním délkovým útvarům byla do experimentální sady vzorků zahrnuta následující skupina délkových útvarů. První největší skupinu tvoří materiál pocházející od italské firmy Sinterama, která se zabývá produkcí polyesterových přízí. Nabízí také bezbarvé multifily s vysokou luminiscencí, s obchodním názvem Ghost a obsahem fosforescenčního luminiscentu ve hmotě. Takto upravené materiály jsou zpracované ve více konstrukčních provedeních. Z nichž byly do hodnocení vybrány všechny nabízené. Jsou to materiály označované, jako TXT – Ghost (167 dtex), zkadeřený provířený multifil z vláken víceúhelníkového průřezu. LNTR – Ghost (500 dtex) se stejnou strukturou, jako předchozí. AIRLAN – Ghost (1000 dtex) je pak vzduchem tvarovaný, z vláken kruhového průřezu. [10]

Ze sortimentu tuzemské firmy Lanex, vyrábějící technické textilie, pochází polypropylenový multifil z vysokopevnostních vláken, též obsahující fosforeskující pigment ve hmotě vláken. Jedná se o multifilní materiál z hladkých vláken kruhového průřezu, pojený provířením, pod označením LANEX – svítivé (1330 dtex). [12]

Další délkový materiál se zjištěnou jemností 240 dtex (kombinovaná, obeskávaná nit) je od německé firmy Pandatex. Jde o monofil obdélníkového průřezu, s vnitřní vrstvou luminiscentu, obeskáváný dvěma vlákny s průřezem kruhovým. [39]

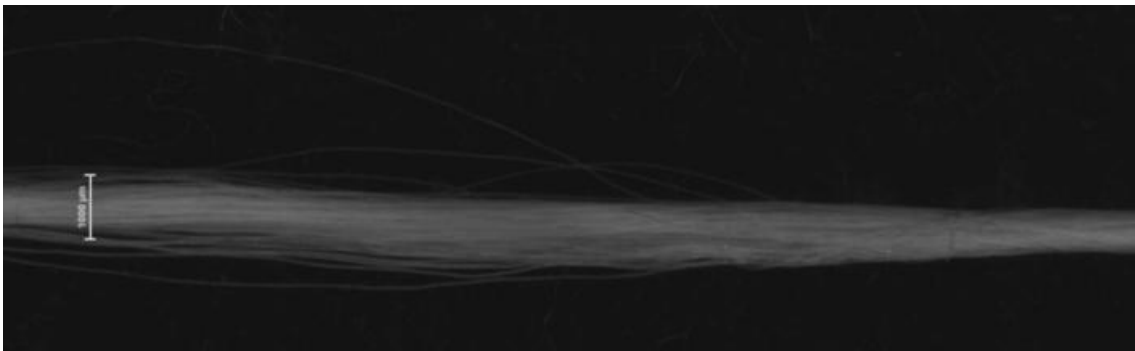
Materiály byly doplněny experimentálně dotvořenými kombinovanými (skanými) nitěmi, pro testování zvýšení emitace světla. Jako základní materiál byl použit LNTR – Ghost (500 dtex), který byl následně dvojmo skán. Za použití tří různých počtů zákrutů levého směru, s počtem otáček stanovených vzhledem k jednotlivým počtům zákrutů (tab. 1). Tyto byly vytvořeny na prstencovém skacím stroji UNI 1x1 GALAN, viz obr. 25. Celkově tak bylo analyzováno a hodnoceno osm druhů délkových útvarů, dle 1. tabulky, jejichž charakter zobrazují makroskopické pohledy (obr. 26 - 33), s přiloženým měřítkem 1000 μm .



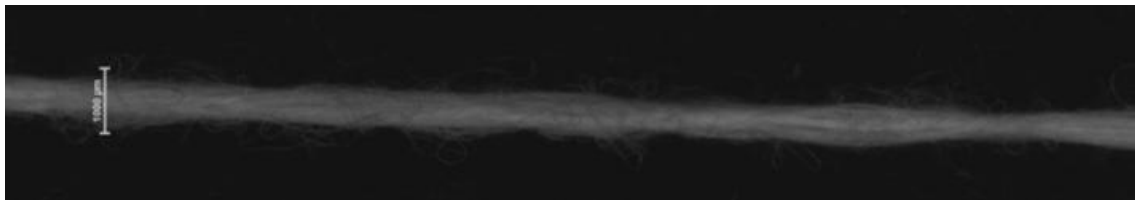
Obr. 25 Prstencový skací stroj [35]

Tab. 1 Analyzované textilní délkové materiály

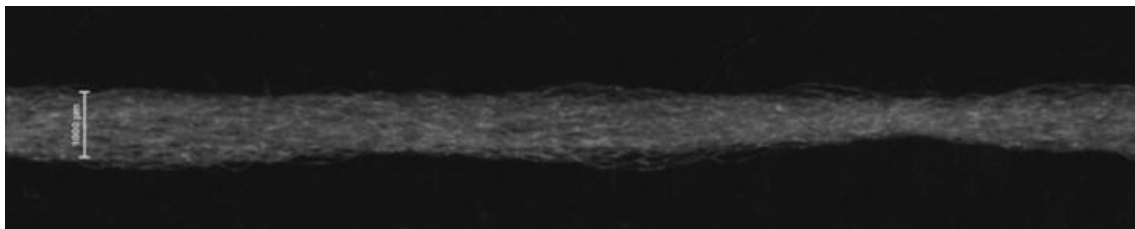
materiál	jemnost	popis	rozdělení
PP	1330 dtex	hladký provířený	hladký
PL	1000 dtex	vzduchem tvarovaný	tvarované
PL	500 dtex	tvarovaný nepravým zákrutem, provířený	
PL	167 dtex	tvarovaný nepravým zákrutem, provířený	
PL	2x500 dtex	dvojmo skaný, S120 (1200 ot./min)	laboratorní experimentální testování pro zvýšení emitace světla
PL	2x500 dtex	dvojmo skaný, S210 (3000 ot./min)	
PL	2x500 dtex	dvojmo skaný, S300 (4000 ot./min)	
PL	240 dtex	obeskávaný monofil	
			kombinované



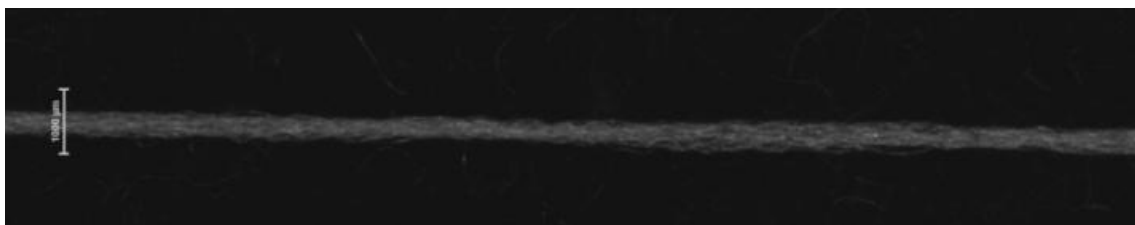
Obr. 26 PP 1330 dtex (hladký provířený)



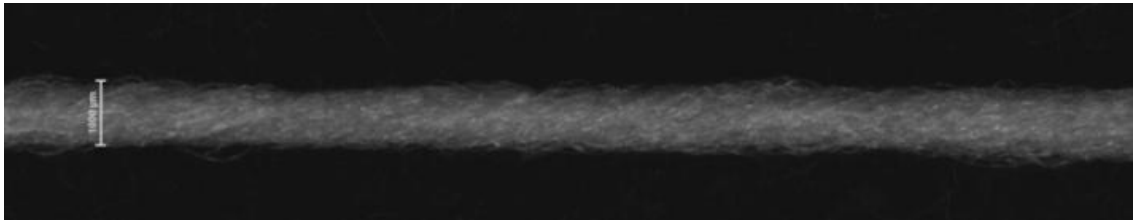
Obr. 27 PL 1000 dtex (vzduchem tvarovaný)



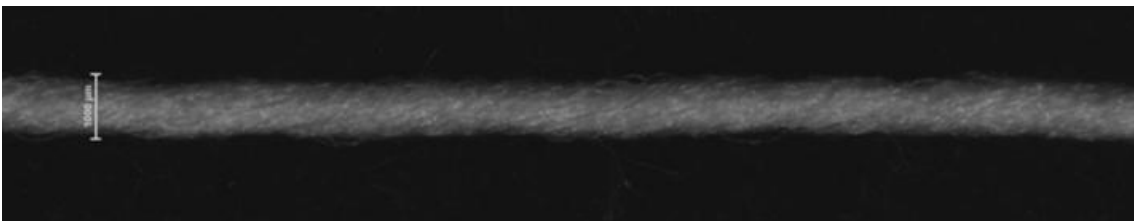
Obr. 28 PL 500 dtex (kadeřený provířený)



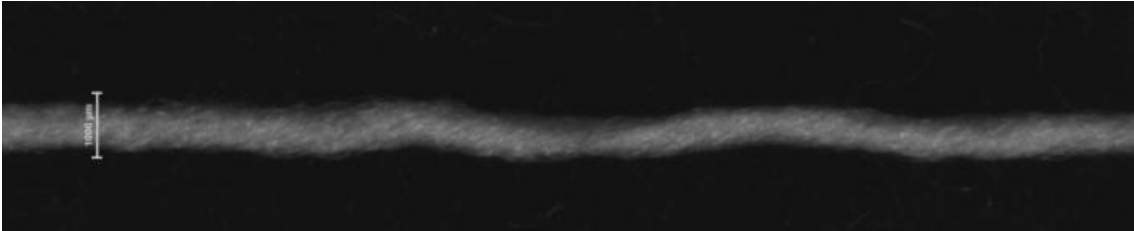
Obr. 29 PL 167 dtex (kadeřený provířený)



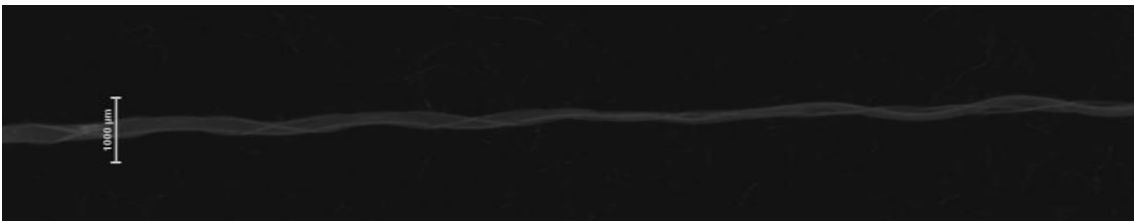
Obr. 30 PL 2x500 dtex S120 (dvojmo skaný)



Obr. 31 PL 2x500 dtex S210 (dvojmo skaný)



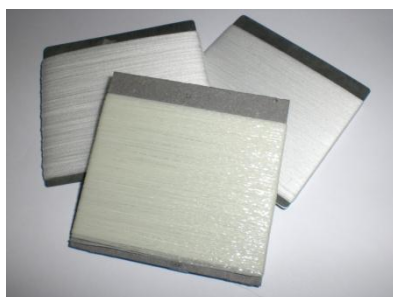
Obr. 32 PL 2x500 dtex S300 (dvojmo skaný)



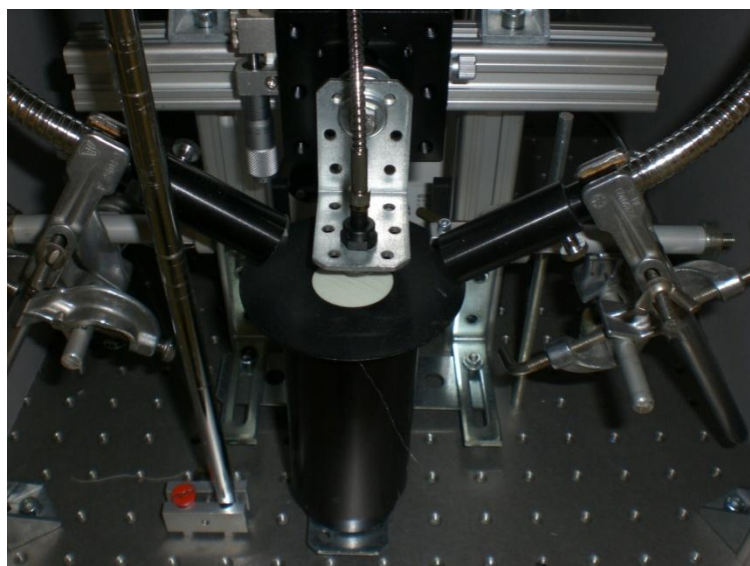
Obr. 33 PL 240 dtex (obeskávaný monofil)

7.2 Analýza emitace fosforescenčního záření

Všechny hodnocené fosforescenční délkové útvary byly měřeny z hlediska vyzařování fosforescenčního záření. A to tak, že z každého druhu materiálu byly navinuty dva etalony (vzorky) na destičky o velikosti 5x5 cm, obrázek 34. Návin tvořil individuální počet vrstev, dle jemnosti multifilů tak, aby dostatečně zakryl původní podklad destičky. Jedině tak mohlo být změřeno čisté záření způsobené pouze excitací fosforescence. Byla tak vlastně simulována čistě flotážní tkanina. Podmínky měření a údaje o měřící jednotce jsou uvedeny v následujících tabulkách (2 - 4).



Obr. 34 Příklad etalonů měřených délkových útvarů



Obr. 35 Upevnění měřeného vzorku do spektrometru

Tab. 2 Parametry měření vzorků (etalonů)

velikost etalonů (vzorků)	5 x 5 cm
doba nasvícování	2 min
integrační čas	2 s
počet snímání	50
velikost snímaného povrchu	7,07 cm ²
počet vzorků každého materiálu	2
počet měření každého materiálu	10

Tab. 3 Počet vrstev jednotlivých materiálů na etalonu

délkový materiál	počet vrstev etalonu
PP 1330 dtex, PL 1000 dtex, PL 500 dtex, PL 2x500 dtex	4
PL 167 dtex, PL obeskávaný monofil	6

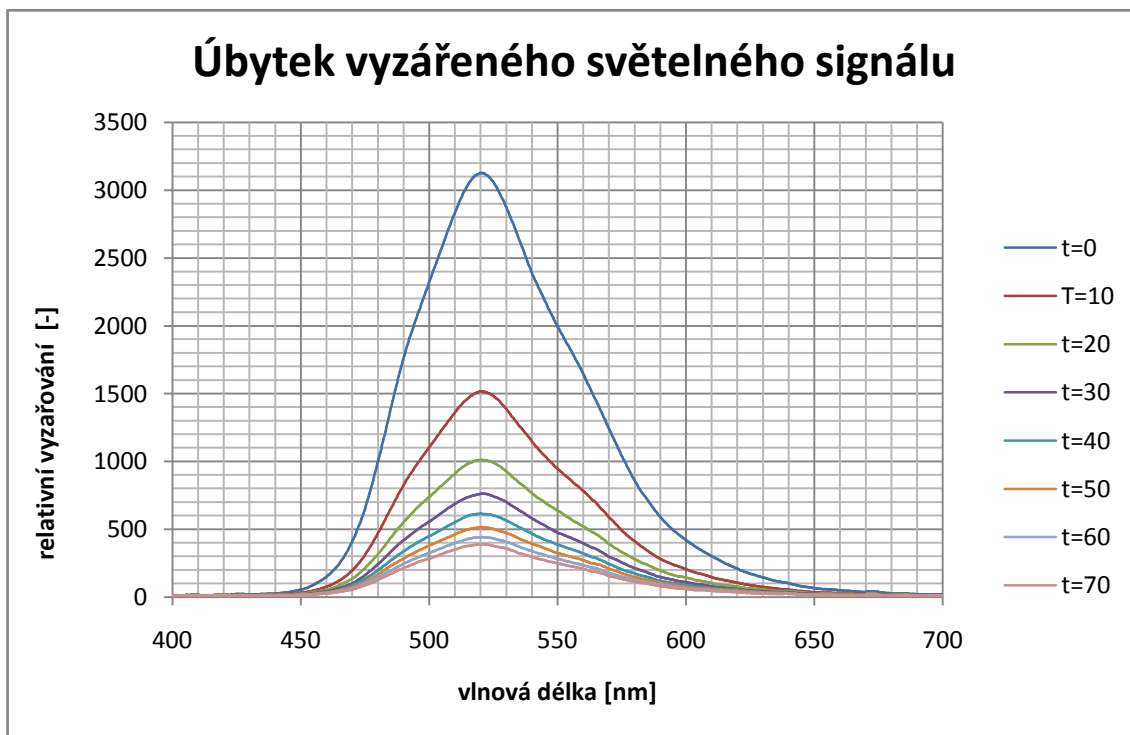
Tab. 4 Hlavních částí měřicí jednotky spektrometru

zdroj světla 2x	halogenová žárovka Luminos 2004 s konverzním filtrem
popis zdroje světla	denní polední světlo bez UV
spektrometr	Avantes
software	Ocean View 1.4.1

Samotné měření probíhalo v prostředí místnosti uzpůsobené pro zacházení se světlocitlivými materiály (zatemněná místnost bez osvětlení) na experimentálně sestaveném zařízení. Kdy všechny vzorky byly předem uloženy v temných prostorech. Přístroj je založen na snímání digitalizovaného analogového signálu, jehož základní součástí je spektrometr Avantes. Který převádí analogový signál na tzv. Count. Nastavený integrační čas znamená, po jakém časovém úseku (v sekundách) bude přístroj snímaný signál vyhodnocovat. Tento čas byl stanoven experimentálně, vzhledem k vyhovující kvalitě a dostatečnému počtu dat. Počet těchto snímání značí, po kolika snímcích se měření ukončí. Senzor snímá povrch materiálu v kruhovém otvoru o průměru 3 cm. Doba optimálního nasvícení vzorku byla též stanovena experimentálně, jako dostatečný čas pro pohlcení potřebné energie vzorkem. Intenzita vyzářeného signálu pak musí odpovídat citlivosti snímání přístroje.

Nejprve bylo nutné zapnutí přístroje, nastavení parametrů pro specifické měření a určení „cesty“ pro ukládání naměřených hodnot do pojmenovaných složek. Nastavení probíhalo v PC softwaru Ocean View, který je propojen se spektrometrem. Následně mohl započít proces samotného měření. Jednotlivé etalony byly postupně, za okolní tmy prostředí, vloženy do čelistí měřicího přístroje. Čelisti s kruhovým otvorem tak fixovaly vzorek při probíhání měření (obr. 35). Na otvor byly namířeny dva světelné zdroje Luminos 2004 s konkrétní teplotou chromatičnosti, které vzorek nasvěcovaly po dobu dvou minut. Na plochu vzorku mířil i senzor, který následně snímal signál záření. Ihned po vypnutí (zhasnutí) excitačního zdroje bylo zároveň zahájeno měření intenzity emitovaného fosforescenčního záření v závislosti na vlnové délce spektra. Při snímání obrazovka PC zobrazovala graf postupného úbytku vyzařovaného signálu ve všech vlnových délkách spektra. Úbytek světelného vyzařování pro představu znázorňuje obrázek 36, jehož křivky znázorňují pokles vyzářeného signálu snímaného vzorku v jednotlivých časech.

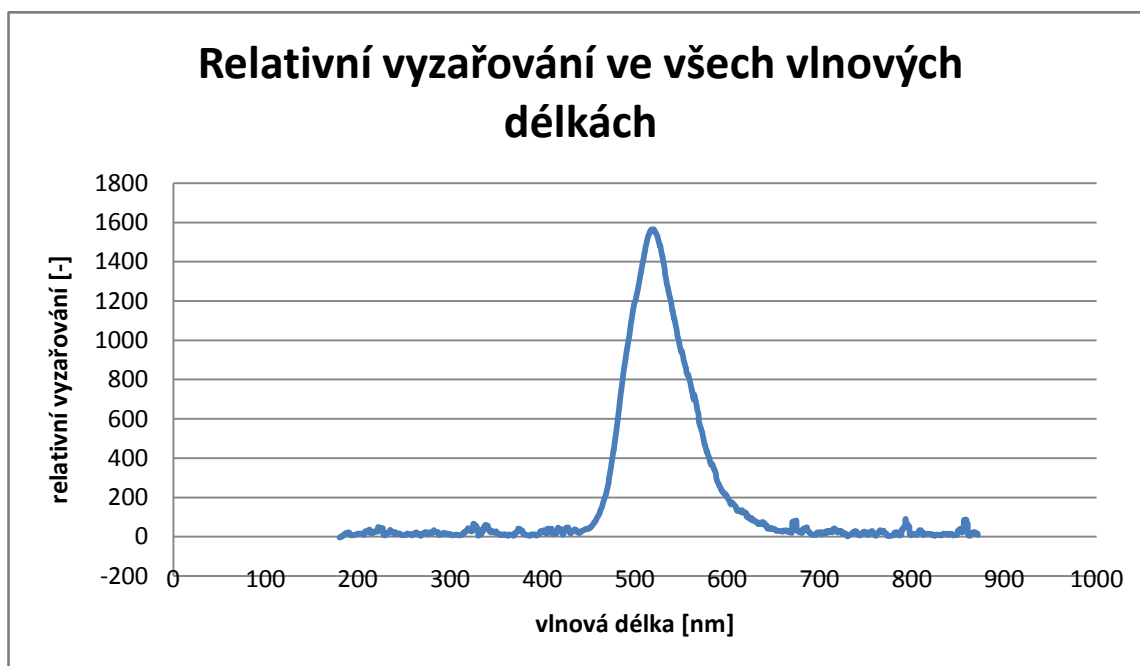
Etalony každého druhu materiálu byly stejným způsobem proměřeny desetkrát, tedy každý etalon pětkrát, nejlépe v odlišných částech vzorku. Avšak před každým měřením dalšího vzorku bylo nutné nové měření pojmenovat, aby se data nepřepisovala. Získaná data byla ukládána v podobě textového souboru, pro další zpracování.



Obr. 36 Ilustrační graf úbytku světelného signálu

7.2.1 Postup hodnocení emitace fosforescenčního záření

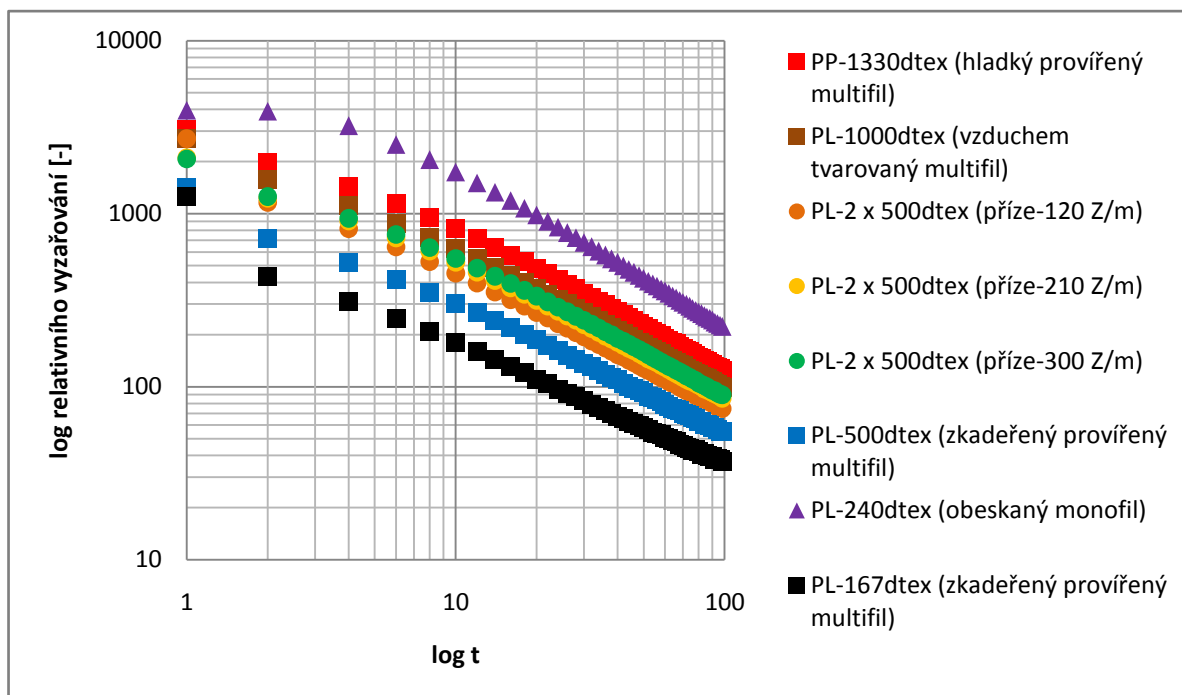
Pro vyhodnocení bylo použito získaných dat z měření intenzity luminiscence. Kdy výstup z jednoho měření tvořilo 50 hodnot úbytku vyzářeného signálu v čase pro všechny vlnové délky spektra. Ty byly zaznamenávány po dvou sekundách dle integračního času. K dalšímu zpracování musela být nalezena vlnová délka, která odpovídala maximálnímu vyzářenému signálu. Ta byla určena z hodnot relativního vyzařování všech vlnových délek spektra v nulovém čase, vnesených do grafu (např. obr. 37). Z grafu byla poté určena přibližná hodnota maxima intenzity (maximální relativní vyzařování), která se pohybovala kolem 518,512 - 521,597 nm. Kdy tyto vlnové délky odpovídají vyzařovanému zelenému odstínu.



Obr. 37 Relativní intenzita vyzařování PL materiálu 1000dtex pro všechny vlnové délky z jednoho měření v nulovém čase

Pro každý materiál bylo tímto způsobem vyhodnocováno 10 sad (10 měření) o 50 hodnotách, v rozmezí 2 s (0-98 s), maxima relativního vyzařování v příslušné vlnové délce. Vybrané hodnoty vlnové délky byly poté pro každý čas zprůměrovány. Pro každý materiál tím byla zjištěna průměrná hodnota maximálního relativního vyzařování z deseti skupin dat. Z průměrných hodnot byly poté vygenerovány grafy světelného signálu v závislosti na čase, pomocí logaritmických os a vyhodnoceny vzájemným porovnáním. Graf porovnávací průměrná maxima relativního vyzařování všech materiálů je

na obr. 38. Hodnoty grafu znázorňují postupný úbytek relativní vyzařované luminiscence v průběhu cca 100 sekund ve vlnové délce maximální intenzity.



Obr. 38 Porovnání průměrů maximálního relativního vyzařování v čase pro jednotlivé materiály

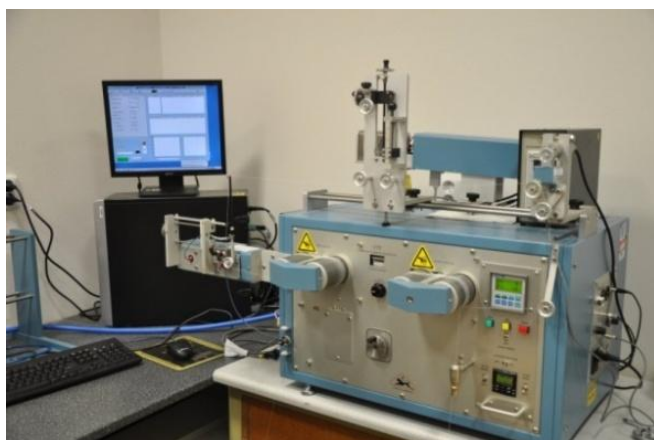
Průměrné křivky vyzařování jednotlivých délkových materiálů byly porovnávány v závislosti na jejich jemnosti a vnitřním uspořádání, vlivem zpracování. Jak ukazuje společný graf 38, podrobněji viz příloha A. Pro porovnání záření multifilů o stejné jemnosti, ale různého zpracování bylo použito 500 dtex PL pro seskání a tím dosažení stejné jemnosti, jako u PL jemnosti 1000 dtex. Z grafu je patrné, že čím více zákrutů skaný multifil má, tím má těsnější uspořádání (vyšší soudržnost) a vyšší intenzitu, která se přibližuje materiálu obdobné jemnosti, avšak jiného zpracování. Experimentem se seskáním multifilů tak byla potvrzena teorie, kdy záleží na vnitřním uspořádání multifilů, které ovlivňuje výši emitace. Snahou bylo se přiblížit soudržností k monofilnímu materiálu, kde je veškerý luminiscent soustředěn v jediném vlákne a jeho emitace je tak ze všech hodnocených materiálů nejvyšší. Zvýšením soudržnosti vláken tak bylo dosaženo i bližšího uspořádání luminiscentu, který je rozprostřen ve všech vláknech multifilu. Soustředění luminiscentu vlivem geometrické struktury multifilu způsobilo tedy vyšší intenzitu vyzařování. Což dokládají další analýzy struktury a geometrie vláken, přičemž charakteristické příčné řezy hodnocených materiálů, seřazené dle výše emitace, jsou pro dokumentaci přiloženy v téže příloze (A).

7.3 Experimentální analýza vnější struktury experimentální sady multifilů

Základní charakteristika předkládaných délkových útvarů spočívala ve zjištění, ověření a zhodnocení povrchové a vnitřní struktury. Vnější strukturou je struktura multifilního délkového útvaru, ovlivněná způsobem výroby. Což má výrazný vliv na výslednou emitaci. Hodnocení byla prováděna subjektivně i objektivně pomocí příslušného přístroje.

7.3.1 Analýza průměrů pomocí CTT

Měřicí zařízení CTT - Constant Tension Transport LH-401 (obr. 39) bylo použito z důvodu zjišťování průměru materiálů a velikosti nestejných úseků různě zpracovaných multifilů. Každého proměřovaného materiálu bylo proměřeno 100 m. Multifily byly zařízením navedeny pod napětím 0,5 g/tex. Což je 8 g u 16,7 tex multifilu, 25 g u 50 tex, 50 g u 100 tex, 64 g u 133 tex a 12 g pro 24 tex obeskávaný monofil. Nejdříve však bylo potřeba provést zkušební měření, kdy vyhodnocený průměr materiálu byl pak zadán, jako výchozí (referenční). Parametry měření pak zobrazuje tabulka 5. Nasnímané hodnoty byly uloženy příslušným softwarem. Ke každému proměřovanému materiálu pak patří příslušný profil (obr. 11 - 15 v příloze B), zobrazující úsek o délce 21 mm. Kde černé je jádro materiálu (průměr zobrazen v mm) a červená křivka znamená chlupatost.



Obr. 39 CTT - Constant Tension Transport LH-401 [36]

Tab. 5 Parametry měření pomocí CTT

měřicí přístroj	CTT (Constant Tension Transport)
tenzometr	YAS (Yarn Analysis Software)
optická metoda	Lawson Hemphill
předpětí	0,5g/tex
testovací délka	100 m
testovací rychlost	100 m/min
délka snímaného úseku	0,5 mm
počet snímků	20 na 1 cm
celkový počet snímků pro 1 měření	500
počet měření každého materiálu	1

Proměřovány byly jen materiály získané průzkumem trhu, nikoliv ty experimentálně dotvářené skaním. Vyhodnocené informace o průměru materiálů jsou pak zpracovány do uvedené tabulky č. 6. Ten byl určen z průměrného průměru předkládaného materiálu.

Tab. 6 Průměrné hodnoty průměrů multifilních délkových útvarů

multifily [dtex]	PP 1330	PL 1000	PL 500	PL 167	PL 240
referenční (nastavený) průměr [mm]	0,892	0,604	0,605	0,311	0,218
průměr multifilu [mm]	0,890	0,594	0,600	0,311	0,213
standardní odchylka od průměru [mm]	0,154	0,095	0,116	0,051	0,054
CV_d [%]	17,29	16,7	19,30	16,31	25,35

Byl zjištěn i počet vad (ztenčených míst) o určené velikosti a délce v určité procentuální odchylce od průměrného průměru. Z uvedených dat (tabulky 1 -5 v příloze B) vyplývá, že byla měřena nestabilita v průměru zkoumaného délkového materiálu. Kdy průměr je roven nule, od níž byly odchylky kolísání průměru stanoveny. Počet odchylek v určité velikosti a délce a jejich procentuální vyjádření, zobrazují pro jednotlivé multifily právě zmíněné tabulky. Tyto tabulky se shodují v tom, že nejvíce odchylek je u všech materiálů do délky 3 mm s průměrným rozdílem -40 %. Jedná se tedy o slabá místa například vlivem províření. U obeskávaného monofilu se pak vyskytují pouze slabá místa, avšak u multifilů jsou zaznamenány i rozšířené úseky vlivem odstávajících váken. Všechny druhy hledaných odchylek se vyskytují jen u multifilu 1330 dtex, který je díky malému počtu provířených (spojených) míst nejvíce nestabilní.

7.3.2 Analýza stupně províření a obloučkovitosti experimentální sady multifilů

Tato analýza povrchové struktury multifilních délkových útvarů spočívala v počítání obloučků, u zkadeřených vláken a provířených míst u provířených multifilů. Což je charakteristikou vnější struktury délkových útvarů.

Hustota obloučků na 10 mm byla zjištěna dle parametrů normy ČSN 800202 [25]. Byl zjišťován počet obloučků v délce 20 mm, při stanoveném předpětí vláken 0,005 – 0,0005 p/tex (použito 0,005 p/tex). Z každého, ze dvou zkadeřených multifilů bylo odebráno 10 vzorků. Přičemž z každého vzorku bylo náhodně vybráno 5 vláken, tudíž bylo celkem provedeno 50 měření u každého materiálu. Vzorky bylo zapotřebí uchytit ve svislé poloze na měřicí zařízení (kalibrovaného pravítka). Které bylo umístěno pod stolní lupu s osvětlením. Kdy upínací délka je určena na 10 mm pro vlákna do 50 mm. Po připravení vzorku byl počítán počet obloučků na 20 mm. Ze získaných dat byla poté pro každý materiál, dle vzorce 8, vypočtena hodnota hustoty obloučků na 10 mm. Výsledné hodnoty pro dané materiály zobrazuje následující tabulka č. 7.

$$A = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n c_j \quad 8)$$

Kde:

n - počet všech měřených vláken

c_j - počet vrcholů v délce 20mm.

Tab. 7 Hustota obloučků na 10 mm

analyzovaný materiál	PL 500 dtex (zkadeřený provířený)	PL 167 dtex (zkadeřený provířený)
průměr (zaokrouhlený)	9	9
95% IS	<8,74; 9,26>	<8,79; 9,21>

Dále byla počítána četnost provířených míst v délce jednoho metru, u tří druhů délkových materiálů. Měření bylo prováděno v přirozeně narovnaném stavu materiálu. U každého bylo proměřeno 10 vzorků o délce jednoho metru. Za pomoci kalibrovaného 1m dlouhého pravítka a těžitek. Výsledky pak uvádí přiložená tabulka č. 8.

Tab. 8 Počet provířených míst v 1m u tří druhů multifilů

analyzovaný materiál	PP 1330 dtex (hladký provířený)	PL 500 dtex (zkadeřený provířený)	PL 167 dtex (zkadeřený provířený)
průměr (zaokrouhlený)	17	20	61
95% IS	<14,58; 19,42>	<17,6; 22,4>	<54,64; 67,36>

7.4 Analýza geometrických vlastností vláken pomocí příčných řezů

Délkové útvary byly zkoumány i z hlediska geometrie fibril jednotlivých druhů multifilů. Od každého z osmi druhů materiálů bylo připraveno dvacet vzorků, postupem dle normy IN 46-108-01/01 [28], pro měkké řezy. Postup spočíval v postupném odebírání vzorků (cca 20cm) z návínu tak, aby nebyla porušena jejich struktura (rozkroucení skaných multifilů, ...). Ty pak byly za stále stejného držení smáčeny ve směsi disperzního lepidla a rychlosmáčedla (1:1) a odkládány ve vyrovnaném stavu. Kde byly ponechány při pokojové teplotě minimálně 24 hodin. Poté byly znovu smáčeny, ale již s vyšším podílem lepidla. Po schnutí byly smáčeny ještě jednou, avšak už jen natíráním samotného lepidla. Vzorky obsahovaly tedy celkem tři vrstvy, pro dostatečné zafixování. Po dostatečném zaschnutí byly vzorky po jednom umístěny do zářezů plechové vaničky, která byla ještě oblepena lepicí páskou, aby zářezy neunikal následně litý vosk. Takto připravené vzorky byly zality teplou (ne příliš horkou) voskovou směsí (včelí vosk a parafín 2:3). Po zchladnutí a ztuhnutí byly umístěny do mrazicího zařízení, minimálně na 24 hodin a zmrazeny. Poté mohly být bločky vzorků vyjmuty z vaniček a z nich tvořeny samotné řezy. Přičemž v tabulce 9 jsou vypsány všechny potřebné materiály a přístroje.

Tab. 9 Hlavní použité přístroje, nástroje a přípravy

metoda (IN 46-108-01/01, 2002)	měkké řezy
plechové vaničky	3x1,5cm
mikrotom	Leica RM 2155
mikroskop	Nikon Eclipse E200
kamera	Jenoptik ProgRes CT3 Color
nástavec kamery	Nikon TV Lens C-0,6x
zvětšení nástavce	0,6x
okulár mikroskopu	CF/10x/20
software	NIS-Elements AR3.22
disperzní lepidlo	Duvilax KA-11
smáčedlo	Spolion 8 (5g/l)

Pro tvorbu řezů bylo nutné vyndávat vzorky z mrazáku po jednom a poté číslovat stejně, jako snímky (1-20). Řezací nůž bylo též nutné po řezání každého vzorku vracet zpět do chladničky. Z připravených vzorků tak byly tvořeny příčné řezy, za pomoci řezacího přístroje (mikrotomu), po seříznutí přebytečného vosku zalamovacím nožikem. Nařezané „pásky“ o tloušťce 15 μm byly umístovány na podložní skličko zakápnuté Xylenem a vloženy do optického mikroskopu. Většina vzorků byla mikroskopována s šedesátinásobným zvětšením, avšak skané multifily jen 40x, tak aby se na snímek vešel celý příčný řez materiálem. Snímky byly pomocí kamery přenášeny do počítače a ukládány příslušným softwarem. Parametry snímání viz tabulka 10.

Tab. 10 Parametry snímaných vzorků

tloušťka řezu	15 μm
počet vzorků 1 materiálu	20
počet snímků 1 materiálu	20
počet měření	20 (počet vl.); 100 (ostatní)
příčné řezy multifilů	objektiv 10x + nástavec
rozlišení	(0,54 $\mu\text{m}/\text{px}$)
zvětšení mikroskopu	60x
příčné řezy skaných multifilů	objektiv 4x
rozlišení	(0,8 $\mu\text{m}/\text{px}$)
zvětšení mikroskopu	40x
přiložené měřítko	50 μm

Z každého vzorku byl nakonec vybrán jeden snímek řezu (pro každý materiál 20 snímků řezu), který byl hodnocen na počet vláken, ekvivalentní průměr, velikost plochy vláken a kruhovitost. Díky nimž byla dopočítána jemnost jednotlivých fibril a tvarový faktor. Pro „Stanovení geometrických vlastností vláken“ slouží norma IN 21-108-01/01 [29]. Na obrázcích 40 a 41 jsou použité přístroje [37]. Dále jsou uvedeny vzorce 9 - 11 pro dopočítávané údaje. Výsledné hodnoty s 95% intervaly spolehlivosti pro jednotlivé materiály pak zobrazuje následná tabulka č. 11. Avšak bez multifilů experimentálně dotvořených, protože výchozí materiál je roven multifilu 500dtx.



Obr. 40 Mikrotom



Obr. 41 Optický mikroskop s kamerou

Tvarový faktor (kruhová vlákna):

$$q[-] = \frac{1-\sqrt{c}[-]}{\sqrt{c}[-]} \quad 9)$$

Kde c je hodnota kruhovosti (cirkularity) tvaru vlákna z pohledu příčného řezu. [38]

Tvarový faktor (obdélníkové vlákno):

$$q[-] = \frac{l(1+k)}{(l\sqrt{\pi k})} - 1 \quad 10)$$

Kde l znamená délku obdélníku a k , šířku, které byly naměřeny z příčného řezu vlákna.

Oba rozměry jsou v μm .

Jemnost vláken:

$$t[\text{tex}] = T[\text{tex}] / n \quad 11)$$

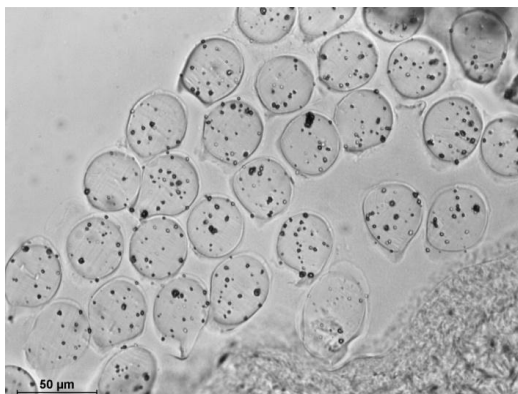
Kde T je jemnost multifilu a n je počet vláken v multifilu.

Rozmístění vláken v délkových útvarech, patrné z příčných řezů, dokazuje vliv na emitaci luminiscence. Údaje o geometrii vláken jednotlivých multifilů s příslušnou obrazovou dokumentací a souhrnnou tabulku všech vlastností udává příloha D.

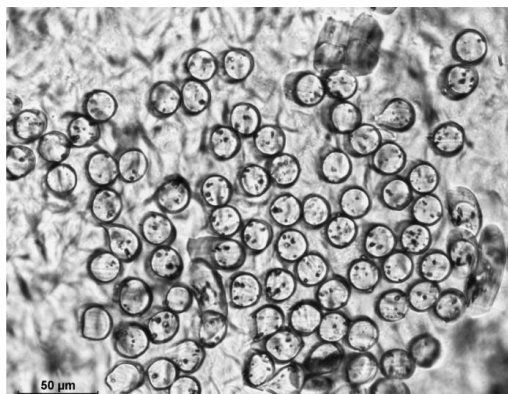
Tab. 11 Geometrické hodnoty vláken s 95% intervalem spolehlivosti

počet měření		naměřené údaje				vypočítané údaje	
		20	100	100	100	100	20
délkový materiál	materiál	počet vláken	plocha 1vl. [μm ²]	ekviv. průměr vl. [μm]	kruhovitost vl. [-]	tvarový faktor vl. [-]	jemnost vl. [mtex]
1330 dtex (hladký provířený)	PP	141 <138,51; 143,49>	1223,84 <1157,17; 1290,51>	39,19 <38,26; 40,12>	0,96 <0,93; 0,98>	0,03 <0,01; 0,05>	940 <930; 960>
1000 dtex (vzduchem tvarovaný)	PL	239 <236,3; 241,7>	360,75 <343,18; 378,32>	21,3 <20,85; 21,76>	0,96 <0,93; 0,98>	0,03 <0,01; 0,06>	420 <410; 420>
500 dtex (zkadeřený provířený)	PL	135 <132,83; 137,17>	328,24 <323,28; 333,19>	20,43 <20,27; 20,58>	0,91 <0,9; 0,92>	0,05 <0,04; 0,05>	370 <360; 380>
167 dtex (zkadeřený provířený)	PL	48 <48; 48>	361,51 <335,31; 387,71>	21,22 <20,59; 21,84>	0,9 <0,87; 0,92>	0,07 <0,04; 0,11>	350 <350; 350>
240 dtex (obeskávaný monofil)	PL	1x (obdélník)	15187,56 <14855,24; 15519,88>	240,03x63,49 <233,97x61,3; 246,08x65,67>	0,52 <0,50; 0,54>	0,39 <0,37; 0,41>	
		2x (kruhová) <1/2; 1/2>	2124,77 <2098,44; 2151,1>	52 <51,68; 52,32>	0,99 <0,99; 1>	0 <0; 0>	

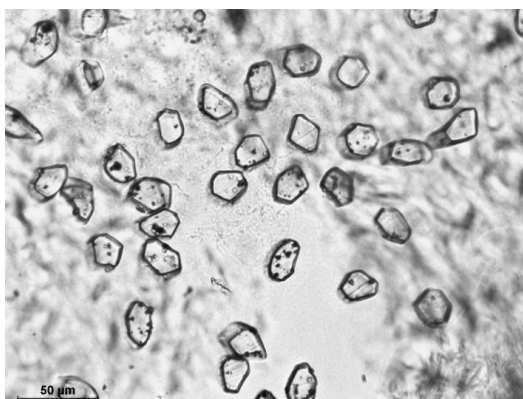
Na metodě příčných řezů jsou založeny i následující snímky při zvětšení dvěstěnásobném (42 - 46), pro přesnější představu o geometrii jednotlivých vláken. Příložené měřítko je 50 μm. Přičemž vlákna skaných multifilů jsou shodná s vlákny materiálu o jemnosti 500 dtex. Dále byly vytvořeny i podélné pohledy na vlákna jednotlivých multifilů, avšak již klasickým způsobem mikroskopování pomocí podložního a krycího sklíčka. Které jsou uvedeny u popisu jednotlivých materiálů v příloze D.



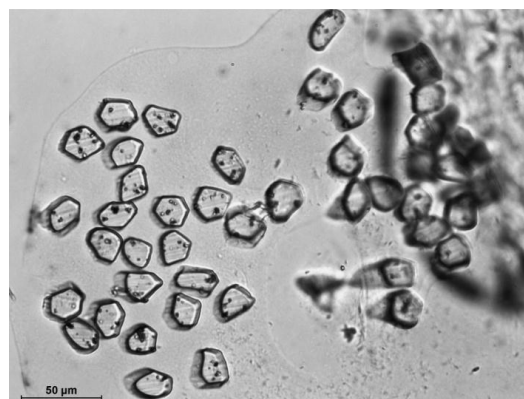
Obr. 42 PP 1330dtex (hladký provířený)



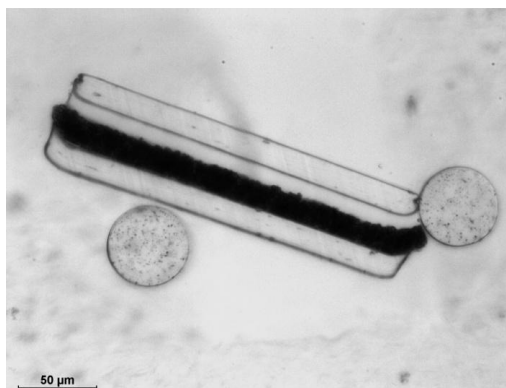
Obr. 43 PL 1000dtex (vzduchem tvarovaný)



Obr. 44 PL 500dtex (kadeřený provířený)



Obr. 45 PL 167dtex (kadeřený provířený)



Obr. 46 PL 240dtex (obeskávaný monofil)

Snímky příčných řezů byly vytvořeny také pomocí elektronového mikroskopu, pro analýzu koncentrace luminiscentu. Avšak tento způsob byl nevyhovující díky technologii přípravy řezů. Kdy byly pokryty zlatým prachem, přes jehož vrstvu nebylo možné luminiscenť pozorovat. Uspořádání vláken v multifilech bylo pak zobrazeno metodou micro CT. Přičemž struktura vnitřního uspořádání multifilů udává představu o míře celkové soudržnosti vláken v délkových útvarech. Kdy právě jejich kompaktnost má prokazatelný vliv na výši fosforescenčního záření. Tyto snímky jsou též uvedeny v příloze D u jednotlivých materiálů.

7.5 Výsledky subjektivního hodnocení dosvitu

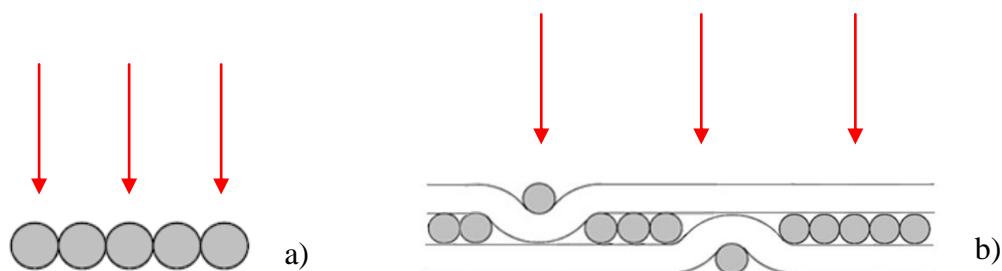
Etalony používané pro měření relativního vyzařování a stejně velké vzorky zhotovených výsledných tkanin byly podrobeny také subjektivní zkoušce dosvitu v temném prostředí. Kdy byly vzorky kontrolovány příchodem do tmy každých 15 minut. Tímto testem (podmínky viz tab. 12) bylo potvrzeno snížení dosvitu emitace vlivem zatkání luminiscenčního materiálu a tím vzniklé určité porozity povrchu pro luminiscenci. Ačkoliv byla struktura tkaniny přizpůsobena luminiscenčnímu efektu, přesto se nelze vyhnout částečnému snížení emitace. Kdy výsledky zobrazuje graf číslo 48.

Na emitaci ve tkanině mají vliv materiály osnovní a druhé útkové soustavy současně s vazebním provázáním a dostavou. Kdy je proto na stejné ploše méně luminiscenčního multifilu, než na etalonech zhotovených vrstvením jen tohoto materiálu. Geometrii luminiscenčního povrchu etalonu a výsledné tkaniny ilustruje obrázek 47.

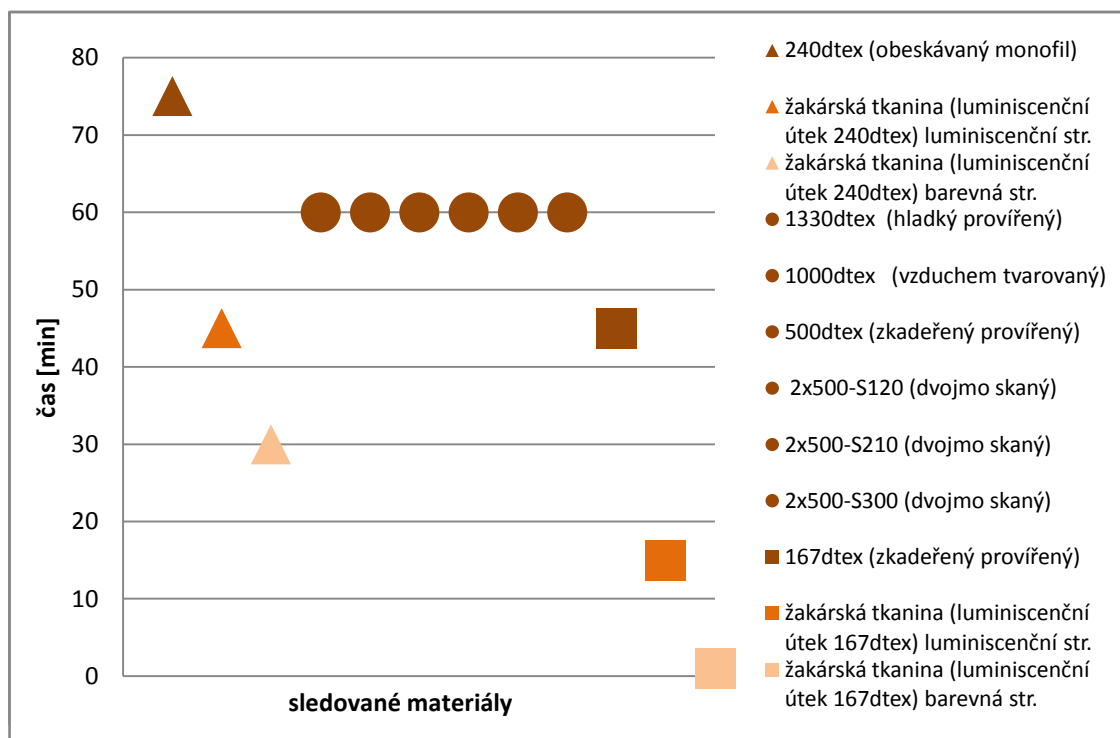
Zhotovené konkrétní etalony pro měření luminiscence a etalony simulované přístrojem CTT jsou pak zobrazeny v příloze C. Zobrazují strukturu plochy těsně uspořádaného druženého materiálu, či nekonečnou flotáž.

Tab. 12 Podmínky subjektivního testování dosvitu

zdroj světla	Kaiser HF 36W
popis zdroje světla	denní bílé – TC 5400K
doba nasvěcování	2 min
velikost etalonů (vzorků)	5x5 cm
vzdálenost osvětlení	25 cm
pozorovací vzdálenost	85 cm



Obr. 47 Struktura povrchu pro pohlcení excitačního záření (šipky)
 a) etalonu (jen luminiscenční materiál), b) výsledné flotážní dvouútkové tkaniny (šedá = osnova, bílá vrchní = luminiscenční útek, bílá spodní = barevný útek)



Obr. 48 Graf výsledků subjektivního hodnocení luminiscence

7.6 Konstrukce tkaniny obsahující luminiscenční délkové textilie

Ze všech analyzovaných materiálů byly zhotoveny vzorky tkanin, ze kterých byla následně zvolena nejvhodnější varianta tkaniny vzhledem k výsledné emitaci světla luminiscenčního délkového útvaru. Experimentální sada tkanin byla realizována na tkacím stroji s jehlovým zanášením Somet a elektronickým žakárským prošlupným mechanismem Stäubli (obr. 49). Parametry tkaniny byly použity pro přípravu vzoru a dat v programu Design Scope Victor.



Obr. 49 Tkací stroj Somet Thema 11 Excel firmy Stäubli

7.6.1 Experimentální sada tkanin

Parametry konkrétních tkanin zobrazuje následná tabulka 13. Přičemž dostava útku a střída vazby musely být přizpůsobeny příslušnému materiálu. Materiál PL 2x500 dtex S300 (dvojmo skaný) však nebylo možné do tkaniny zpracovat, z důvodu příliš vysoké smyčkovitosti, případně by byla nutná fixace zákrutu. U materiálů od 1000 dtex výše pak bylo nutné velmi snížit dostavu, z důvodu jejich vysoké objemnosti. Ta způsobovala potíže při tkaní, kdy se zmenšoval prošlup vlivem přibližování čela tkaniny k paprsku. Proto tyto materiály nebyly schváleny, jako vhodné.

Tab. 13 Parametry experimentální sady tkanin

šíře tkaniny	150 cm		
vstupní materiál	1 osnova, 1 útek		
materiál osnovy	100% bavlna 2x6 tex (dvojmo skaná)		
dostava osnovy	58 nití/cm		
materiál útku (luminiscenční):	PP 1330 dtex (hladký provířený)	dostava útku 18 nití/cm	vazba: 16 vazná atlasová
	PL 1000 dtex (vzduchem tvarovaný)		
	PL 2x500 dtex S120 (dvojmo skaný)	dostava útku 30 nití/cm	
	PL 2x500 dtex S210 (dvojmo skaný)		
	PL 2x500 dtex S300 (dvojmo skaný)		
	PL 500 dtex (zkadeřený provířený)	dostava útku 40 nití/cm	
	PL 167 dtex (zkadeřený provířený)		
	PL 240 dtex (obeskávaný monofil)		

7.6.2 Návrh a tvorba výsledné žakárské tkaniny pro realizaci bezpečnostní textilie pro ochranu chodců

Vzhledem k výsledkům z analýzy délkových materiálů a výslednému použití textilie pro bezpečnostní oděv byly vybrány materiály nejvhodnějších vlastností s ohledem na zpracovatelnost, dle experimentální tvorby tkanin. Jedná se o PL materiál jemnosti 167 dtex (zkadeřený provířený) a PL 240 dtex (obeskávaný monofil). Tyto materiály mají vyhovující geometrické parametry v kombinaci s materiálem použitým pro druhý útek (barvený PL 167 dtex; kadeřený, provířený). Tímto druhým útkem jest multifil neonově zelené barvy, jakožto jedné z používaných barev pro bezpečnostní oděvy. V určité části je zkombinován s retroreflexním materiálem, který nápadnost oděvu ještě zvýrazní. Díky kombinaci s touto barvou je tak oděv možno využít jako bezpečnostní i za denního osvětlení.

Byly tak vytvořeny dvě dvouútkové tkaniny, každá s jedním z vybraných luminiscenčních materiálů. Výsledným produktem je pak dětský svrchní oděv v podobě bundy a vesty, přičemž každý byl zhotoven z jedné z těchto tkanin. Konkrétně bunda z tkaniny s použitým luminiscenčním útkem PL 240 dtex (obeskávaný monofil). A vesta z tkaniny s luminiscenčním útkem 167 dtex (zkadeřený provířený). Konstrukce tkaniny je pak navržena tak, aby splňovala podmínky i z hlediska přidané luminiscenční hodnoty. Což znamená vhodné uložení luminiscenčního útku vzhledem k dvouútkové struktuře i použité vazbě (12 vazný atlas v útkovém efektu). Tato vazba (obr. 51) díky útkovému provedení minimálně omezuje efekt luminiscence a zároveň udržuje vhodnou soudržnost tkaniny z hlediska velikosti flotážních úseků a zvolené dostavy útku (40 nití/cm). Pro lepší viditelnost i za denních podmínek byl do vzoru tkaniny, jako druhý útek, použit neonově zelený materiál barevně odpovídající prvkům používaných pro zvýšení viditelnosti a retroreflexní materiál. Ve vzoru je poté navržena převážná část, která využívá kombinaci (jednoho či druhého) luminiscenčního materiálu s barevným útkovým materiálem. V menším úseku je zpracován barevný (neonově zelený) s retroreflexním útkem viz 50. obrázek. Přičemž rubní strana vzoru má pak efekt negativu.

Vlastní design vzoru byl připraven v grafickém programu a poté zpracován v programu německé firmy EAT, Design Scope Victor. Kde byl vzor upraven pro dané rozměry a dostavu, návaznost po střídě a z hlediska vazebného provázání jednotlivých soustav. Po úpravě byly přiděleny vazby jednotlivým barevně rozlišeným částem, pro jednotlivé útky. Dále byly přiděleny podavače pro konkrétní útky. Tyto údaje byly nakonec vloženy do počítačové jednotky jehlového tkacího stroje Somet Thema 11 Excel od firmy Stäubli, na kterém byla žakárská tkanina zhotovena. Kdy parametry použitých materiálů, střídý vzoru a žakárské tkaniny jsou v tabulce 14. Fotodokumentace obou stran zhotovených tkanin, oděvů i při luminiscenčním efektu fosforescence a technických nákresů oděvů lze nalézt na obr. 52 - 60 a v příloze E.

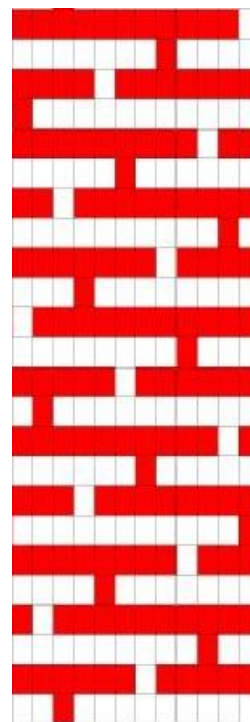
Produkt by tedy měl splňovat všechny podmínky pro použití, jako bezpečnostního oděvu, konkrétně pro mladší školní děti (cca 6 let), jako nejohroženější skupiny v silničním provozu. Tímto tématem byl inspirován i samotný design tkaniny, kdy byla brána v úvahu i následující norma. Dle které byla do vzoru zakomponována retroreflexní část o předepsané šíři 5 cm. Avšak uplatnění tkaniny pro svrchní oděv, i jako bezpečnostního oděvního prvku by bylo nutné dále testovat v souladu s normou ČSN EN ISO 20471 (832820) [21]. Která udává zkušební metody a požadavky pro oděvy s vysokou viditelností.

Tab. 14 Parametry výsledných žakárských vzorovaných dvouútkových tkanin

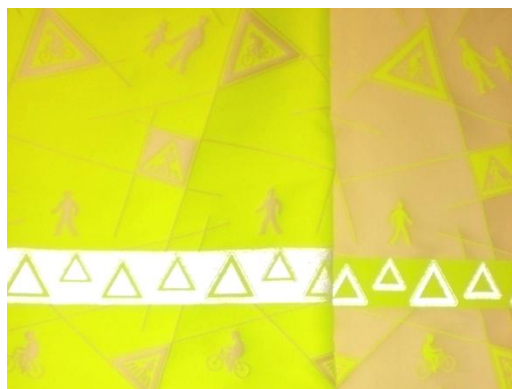
tkací stroj	jehlový, Somet
žakárský prošlupní mechanismus	elektronický, Stäubli
program pro zpracování vzoru	Design Scope Victor, EAT
typ tkaniny	žakárská dvouútková
šíře tkaniny	150 cm
dostava tkaniny	58/40 [nití/cm]
vstupní materiál	1 osnova, 2 útky
materiál osnovy	100% bavlna 2x6 tex (dvojmo skaná)
materiál útku 1 (barvený)	PL 167 dtex (kadeřený, provířený); firma Sinterama
materiál útku 2 (luminiscenční a)	PL 167 dtex (kadeřený provířený); firma Sinterama
materiál útku 2 (luminiscenční b)	PL 240 dtex (obeskávaný monofil); firma Wagner-Tech-Textil
materiál útku 2 (retroreflexní)	PL 668 dtex (obeskávaný monofil); firma Pandatex
počet vzorových platin	1200
velikost střídy vzoru	20,689 cm x 71,7 cm
použitá střída vazba	dvanáctivazná atlasová vazba – útkový efekt



Obr. 50 Střída vzoru výsledné tkaniny v pracovních barvách (světlá barva=barevný, červená=luminiscenční a šedá=retroreflexní útek) - lící strana



Obr. 51 Střída použité dvouútkové vazby (12 vazný atlas – útkový efekt)



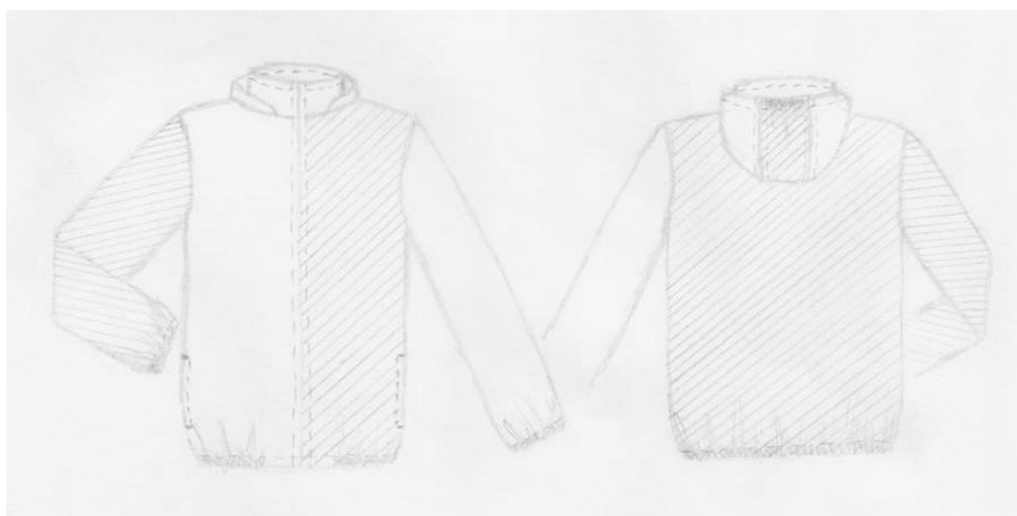
Obr. 52 Lící a rubní strana výsledné tkaniny s luminiscenčním materiálem 167 dtex



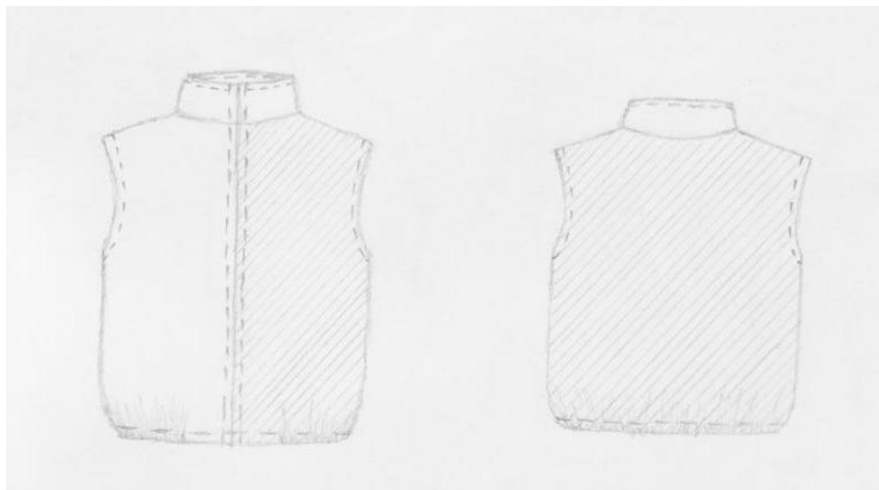
Obr. 53 Lící a rubní strana výsledné tkaniny s luminiscenčním materiálem 240 dtex



Obr. 54 Rubní strana výsledné tkaniny s materiálem 240dtex při luminiscenčním efektu



Obr. 55 Technický náčrt předního a zadního dílu realizované bundy (šrafované části označují použití rubní strany tkaniny a prázdné, lící)



Obr. 56 Technický náčrt předního a zadního dílu realizované vesty (šrafované části označují použití rubní strany tkaniny a prázdné, lícní)



Obr. 57 Fotodokumentace předního dílu zrealizované bundy



Obr. 58 Fotodokumentace předního dílu zrealizované bundy při fosforescenci



Obr. 59 Fotodokumentace předního dílu zrealizované vesty



Obr. 60 Fotodokumentace předního dílu zrealizované vesty při fosforescenci

7.6.3 Stanovení ceny vstupního materiálu výsledné žakárské tkaniny

Závěrem byla zjišťována plošná hmotnost výsledných žakárských tkanin (tab. 15) a cena tkaniny vyjádřená pouze vzhledem k použitým vstupním materiálům a jejich ceně. V laboratorních podmínkách nelze stanovit celkovou cenu m^2 tkaniny, bez znalosti všech složek podílejících se na ceně tkaniny. Tedy bez režijních a dalších nákladů. Jedná se o spotřebu výsledných tkanin pro konkrétní oděv (tab. 18). Je uvedena i cena za $1 m^2$ a 1 bm šíře 150 cm (tab. 17). Ceny byly stanovovány dle malooběrové ceny použitých materiálů (tab. 16), při setkání 5% u obou soustav nití.

Tab. 15 Plošná hmotnost výsledných žakárských tkanin

	s luminiscenčním útkem (PL 167 dtex)	s luminiscenčním útkem (PL 240 dtex)
plošná hmotnost [g/m²]	224	253

Tab. 16 Malooběrové ceny použitých materiálů za 1kg materiálu

	osnova	útek 1	útek 2		
materiály	100% bavlna 2x6 tex	PL 167 dtex (barvený)	PL 167 dtex (luminiscenční)	PL 240 dtex (luminiscenční)	PL 668 dtex (retroreflexní)
cena za 1 kg v EUR	6,3	20	60	140	90
cena za 1 kg v CZK	170	540,5	1621,5	3783,5	2432,25

Tab. 17 Cena za $1 m^2$ a 1 bm výsledných žakárských tkanin, vzhledem k použitým materiálům

	s luminiscenčním útkem (PL 167 dtex)	s luminiscenčním útkem (PL 240 dtex)
cena materiálu [Kč/m²]	193	447
cena materiálu [Kč/bm]	288	670

Tab. 18 Spotřeba a cena výsledné žakárské tkaniny pro konkrétní vytvořený oděv

	vesta - luminiscenční útek PL 167 dtex	bunda - luminiscenční útek PL 240 dtex
spotřeba materiálu (šíře 150 cm) [m]	0,68	1,2
cena spotřebovaného materiálu [Kč]	216	823

Závěr

V práci byly klasifikovány základní charakteristické parametry experimentální sady multifilů, jejich povrchové charakteristiky, vnitřní struktury a geometrie vláken. Dále bylo proměřeno relativní vyzařování těchto materiálů. Hlavní úkolem bylo porovnání emittance světla jednotlivých materiálů v závislosti na čase a jeho ovlivnění jejich geometrickým uspořádáním. Výsledným produktem pak byla konstrukčně vyřešená tkanina, vlastního návrhu, využitá jako textilie bezpečnostního oděvu pro ochranu chodců.

Výsledky všech provedených analýz dokládají, že čím blíže jsou vlákna v multifilech uspořádána, tím je emittance světla vyšší, z důvodu jejich vyšší soudržnosti. Čím je tak vyšší koncentrace luminiscentu vzhledem ke kompaktnosti multifilních materiálů, tím je míra excitace vyšší. Tímto byl potvrzen předpoklad vlivu vnitřní struktury multifilů na jejich emitaci, což dokazuje experiment se skanými multifily a jejich nenásledným hodnocením emittance.

Také však byla prokázána snížená doba subjektivně hodnoceného dosvitu výsledných tkanin, oproti samotným luminiscenčním délkovým materiálům vrstvených na etalonech. Ačkoliv je tkanina konstrukčně přizpůsobena luminiscenčnímu materiálu, nelze docílit stejné emittance, jako u etalonu, v celé její ploše. Výslednou emitaci tkaniny ovlivňuje určitá porozita vznikající četností provázání a délka flotáže (volně ležící nitě), vlivem dostavy a vazby osnovní a útkových soustav. Kdy tyto soustavy jsou tvořeny nejen luminiscenčními materiály. Na konstrukci tkaniny má vliv také její finální využití. Kdy pro oděvní účely musí vykazovat dostatečnou soudržnost vlivem právě dostavy a vazby s nepříliš vysokou flotáží. Vyšší emittance by mohlo být dosaženo vysoce flotážními částmi, rozmístěnými v ploše tkaniny. Avšak její využití by již bylo spíše pro interiérové dekorační účely, než pro oděv. Vliv na výsledné využití tkaniny má pak i plošná hmotnost ovlivněná jemností materiálu a použitou dostavou.

Pro představu o ceně tkaniny s přidanou luminiscenční hodnotou byla stanovena cena výsledných tkanin vzhledem k ceně vstupního materiálu. Z důvodu maloodběrového množství výchozích materiálů a neznámé ceny ostatních výdajů je však pouze orientační. Je tedy stanovena jen z množství spotřebovaných konkrétních materiálů na určitou plochu.

Dále bylo zkoušeno zjištění zastoupeného množství luminiscentu ve vláknech. Použitá chemická IR analýza však nemohla toto množství zjistit, protože bylo nižší, než 4%, což knihovny přístrojů takto malé množství chemické látky nepřihadí. Z příčných řezů pomocí elektronového mikroskopu to též nebylo možné, z důvodu technologie, která zaprašuje vzorky zlatem, přes které nebylo možné dostatečně luminiscenční pigment zobrazit. Jen u vlákna obdélníkového průřezu, patřící obeskávanému monofilu, lze odhadovat toto zastoupení pětadvaceti procenty.

Vnitřní uspořádání multifilních materiálů bylo také analyzováno pomocí hodnoty mezivlákně porozity, technologií micro CT. Avšak z hlediska neexistující jednoznačné metody pro stanovení, jak plošné, tak prostorové porozity u multifilních útvarů, není její hodnota směrodatná. Byly tak použity pouze snímky, kdy struktura vnitřního uspořádání a průměr multifilů udávají představu o míře celkové soudržnosti vláken v délkových útvarech. Protože právě jejich kompaktnost má prokazatelný vliv na výši fosforescenčního záření.

Zde své uplatnění výsledná tkanina nalézá hlavně jako součást svrchních oděvů plnicích, díky kombinaci materiálů, bezpečnostní opatření v nočním i denním silničním provozu. Zda by ji však k tomuto účelu bylo možné použít, by musely dokázat až další analýzy dle normy [21] a měření. Například prověření porosity, prodyšnosti a viditelnosti na stanovenou vzdálenost. Lze ji pak navrhnout pro využití oděvů chodců, cyklistů a sportovců. Kromě bezpečnostní funkce mohou plnit zároveň i funkci estetickou, díky žakárskému vzorování a být předmětem experimentů pro nové aplikace.

Stejně tak se nabízí možnosti dalších analýz samotných luminiscenčních materiálů. Například objektivního hodnocení dosvitu po osvětlení různými zdroji světla, po různou dobu. Nebo množstevní zastoupení luminiscentu ve vláknech.

Všechna měření a testování byla provedena v laboratořích kateder KTT, KMI a KOD FT TUL.

Literatura

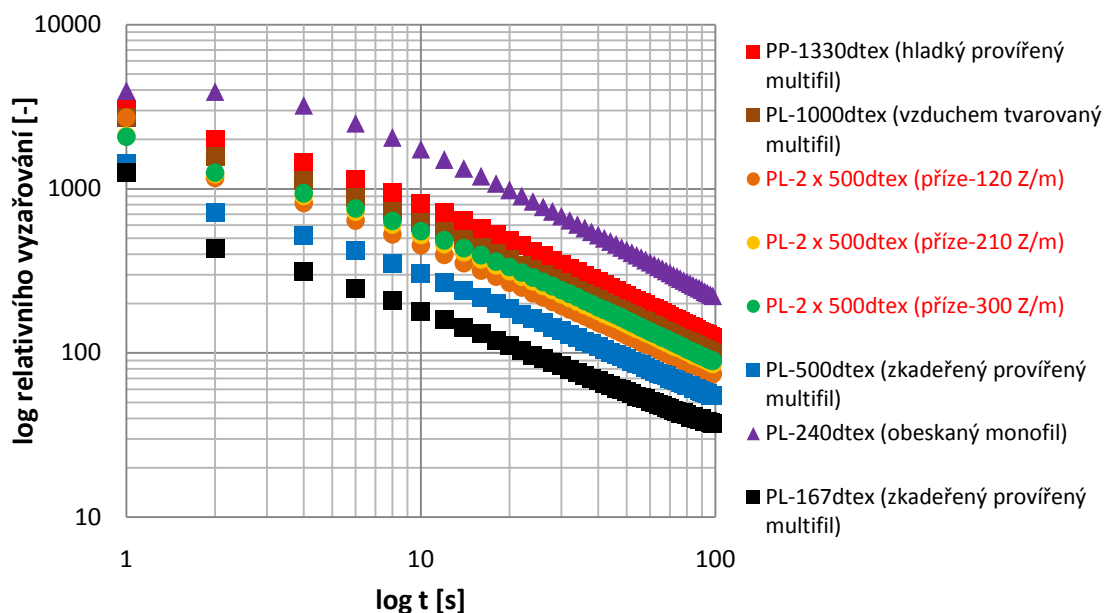
- [1] Dvořák, L., Kupka, Z.: *Fyzikální podstata a využití luminiscence*, SPN, 1980, ISBN 14-359-80
- [2] Pátek, K.: *Luminiscence*, Státní nakladatelství technické literatury, 1962, ISBN 04-017-62
- [3] Valenta, J. *Světélkování aneb luminiscence čili studené světlo*. Přednáška. Liberec: TUL, 4. 5. 2015.
- [4] Saleh, B. E. A., Carl Teich, M., *Základy fotoniky 3*, MatfyzPress, 1995, ISBN 80-85863-05-7
- [5] Van den Eeckhout, K., Smet, P., F., Poelman, D.: Persistent Luminescence in Eu²⁺-Doped Compounds: A Review. *Materials: Open Access Materials Science Journal*, Ghent University, 06. 04. 2015, vol. 3, iss. 4, p. 2536-2566. ISSN 1996-1944.
- [6] Vik, M., Viková, M.: Metrologie optických vlastností textilií s vysokou viditelností. *Pokročilé materiály pro bariérové a funkční vlákenné systémy*, Vysokoškolský podnik Liberec, 2013, iss. 1, p. 342-360. ISBN: 978-80-7494-030-9.
- [7] *Luminiscenční textilie* [online]. Wikipedie [cit. 11. 10. 2015]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Luminiscenční_textilie
- [8] Owens, W., Process for producing phosphorescent yarn and yarn produced by the process. US5321069 A. 1994-06-14.
- [9] 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.
- [10] *Phosphorescent polyester* [online]. Sinterama [cit. 11. 10. 2015]. Dostupné z: [http://www.sinterama.com/site/app01/dat/MED00101.nsf/D5E0A7E9AB4DF12CC12574100032D23E/6D4AC94294B8892FC1257801003AAD48/\\$File/Ghost_Web.pdf](http://www.sinterama.com/site/app01/dat/MED00101.nsf/D5E0A7E9AB4DF12CC12574100032D23E/6D4AC94294B8892FC1257801003AAD48/$File/Ghost_Web.pdf)
- [11] *Embroidery Threads-ISA Texlight* [online]. Amann [cit. 11. 10. 2015]. Dostupné z: <http://www.amann.com/en/products/isa-embroidery-threads/isa-texlight/>
- [12] *Luminiscenční polypropylenové vlákno* [online]. Lanex [cit. 5. 1. 2016]. Dostupné z: <http://www.lanex.cz/lanex-na-veletrhu-techtextil;>
<http://www.lanex.cz/luminiscencni-polypropylenove-vlakno>
- [13] *Phosphorescent textill design* [online]. MB&F [cit. 11. 10. 2015]. Dostupné z: <http://mbandf.com/parallel-world/interesting-furniture-designs-part-2>

- [14] Vik, M. Koloristika-Fyziologie vnímání barev. Přednáška. Liberec: TUL, 2013.
- [15] *Zrak* [online]. Lidské smysly [cit. 7. 11. 2015]. Dostupné z: <http://www.lidske-smysly.wbs.cz/Zrak.html>
- [16] *Fluorochromy* [online]. LAB Guide-průvodce laboratoří [cit. 7. 11. 2015]. Dostupné z: <http://labguide.cz/fluorochromy/>
- [17] Poelman,D., Avci,N., Smet,P., F.: Measured luminance and visual appearance of multi-color persistent phosphors. *Optics express*, OSA Publishing, 2009, vol. 17, iss. 1, p.358-364.
- [18] Pelant, I., Valenta, J.: *Luminiscenční spektroskopie 1-objemové krystalické polovodiče*, Praha: Academia, 2006, ISBN 80-200-1447-0
- [19] Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu): ve znění účinném od 20. 2. 2016 č. 361/ 2000 Sb. § 53 ze dne 14. září 2000 [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupný z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [20] *Viditelnost a reflexní materiály* [online]. BESIP nadace [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.nadacebesip.cz/page/180/Viditelnost.html>
- [21] ČSN EN ISO 20471 (83 2820). *Oděvy s vysokou viditelností - Zkušební metody a požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [22] Moučková, E.: *Délkové útvary*, Výukové materiály, FT, TUL, 2014.
- [23] *ACE ACCU – COUNT ENTANGLEMENT USER MANUAL for DALSA and Win XP*, Lawson Hemphill is a TMI Group Company USA, 2009
- [24] Militký, J., Vaníček, J.: *Vlastnosti vláken-7. přednáška*, Výukové materiály, FT, TUL.
- [25] ČSN 800202. *Stanovení ukazatelů obloučkování vlněných vláken, chemických střížových vláken a chemických kabelů*. 1986-2008.
- [26] *Laboratoř speciální mikroskopie a obrazové analýzy* [online]. FT, TUL [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/document/446>
- [27] *Laboratoř fyziologického komfortu a speciálních měření* [online]. KOD, FT, TUL [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-odevnictvi-laboratore/laborator-fyziologickeho-komfortu-a-specialnich-mereni?preview=1>
- [28] IN 46-108-01/01. *Doporučený postup tvorby příčných řezů - Měkké a tvrdé řezy*. Technická univerzita v Liberci, 2002.

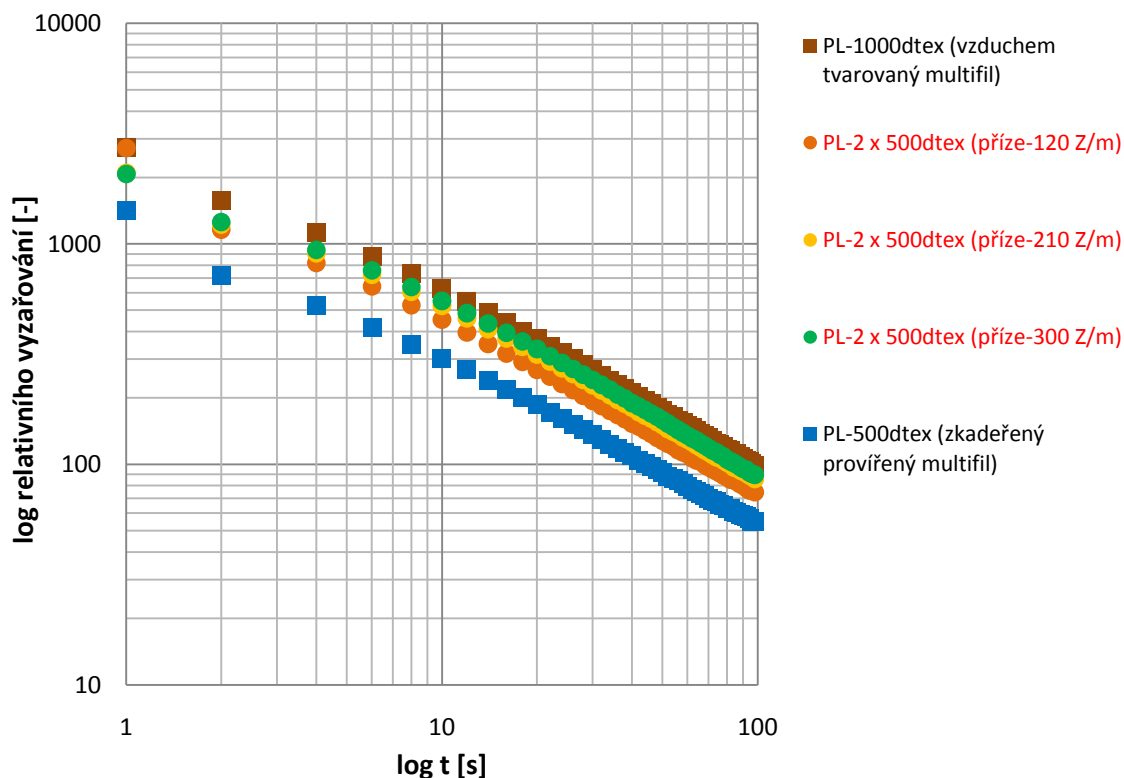
- [29] IN 21-108-01/01. *Stanovení geometrických vlastností vláken*. Technická univerzita v Liberci, 2002.
- [30] Kolčavová Sirková, B.: *Vybrané partie ze struktury tkanin*, Výukové materiály, FT, TUL, 2002.
- [31] Kolčavová Sirková, B.: *Systém projektování "příze – tkanina"*. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [32] Kolčavová Sirková, B.: *Konstrukce a vlastnosti tkanin*, Výukové materiály, FT, TUL.
- [33] Nosek, S.: *Struktura a geometrie tkanin*, Liberec, 1996.
- [34] ČSN EN 12127 (80 0849). *Textilie- plošné textilie- zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků*. 1998.
- [35] *Prstencový skací stroj* [online]. KTT, FT, TUL [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-textilnich-technologii-laboratore/prstencovy-skaci-stroj?preview=1>
- [36] *CTT LH-401 - Constant Tension Transport* [online]. KTT, FT, TUL [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-textilnich-technologii-laboratore/ctt-lh-401?preview=1>
- [37] *Laboratoř speciální mikroskopie a obrazové analýzy TUL* [online]. KTT, FT, TUL [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-textilnich-technologii-laboratore/laborator-specialni-mikroskopie-a-obrazove-analyzy?preview=1>
- [38] Militký, J.: *Textilní vlákna, klasická a speciální*, Technická univerzita v Liberci, 2012, ISBN 978-80-7372-844-1
- [39] *Produkty* [online]. Pandatex Garne [cit. 15. 1. 2016]. Dostupné z: <http://www.pandatex.eu/cs/produkte>

Příloha A: Vyhodnocení emitace vzhledem k vnitřnímu uspořádání multifilu

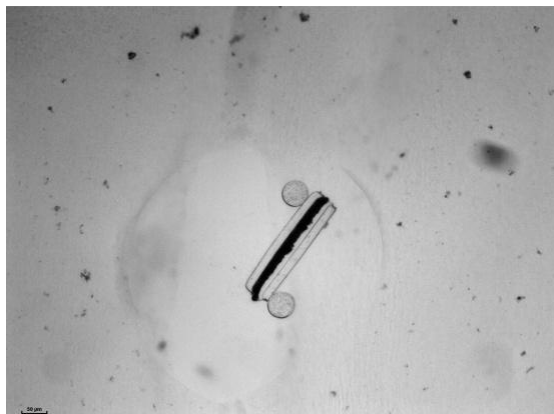
Zobrazení pomocí grafů a snímků příčných řezů řazených dle emitace



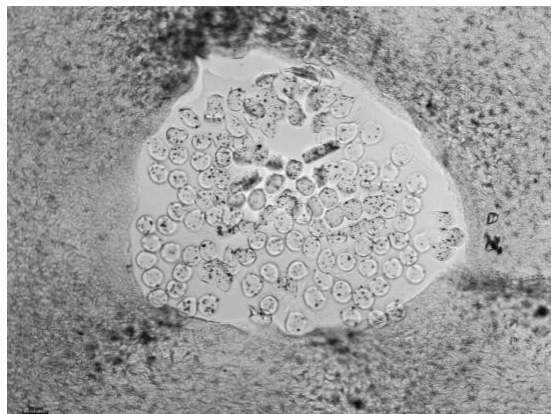
Obr. 1 Porovnání průměrů maximálního relativního vyzářování v čase pro hodnocené materiály



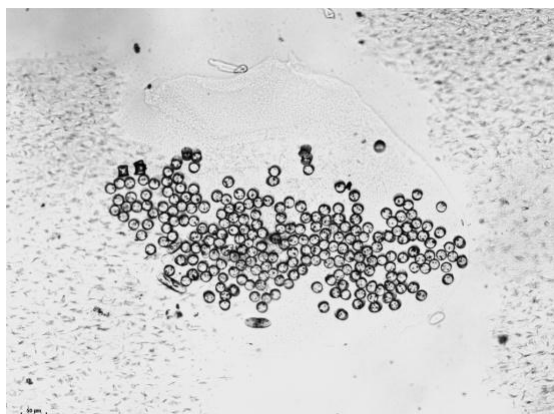
Obr. 2 Průměry maximálního relativního vyzářování v čase pro experimentálně dotvořené materiály (červeně), v porovnání s materiálem výchozím a o stejné jemnosti (1000dtex)



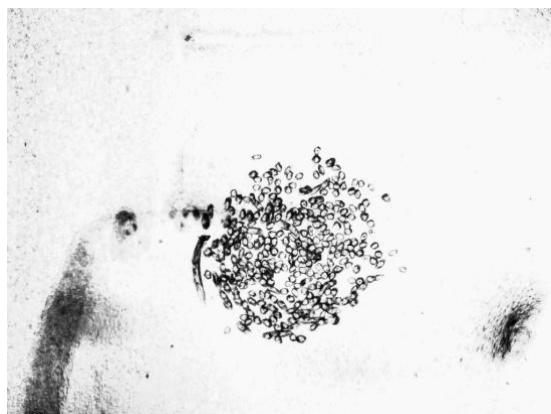
Obr. 3 PL 240dtex (obeskávaný monofil)



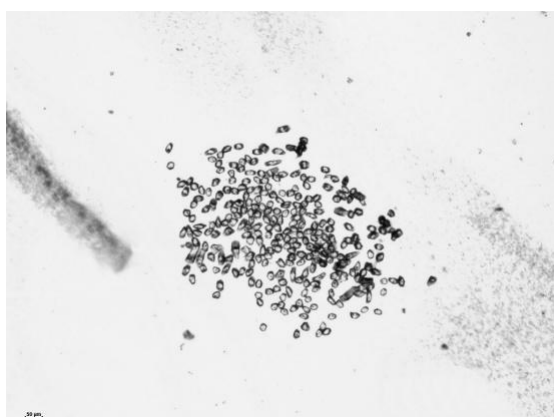
Obr. 4 PP 1330dtex (hladký provířený)



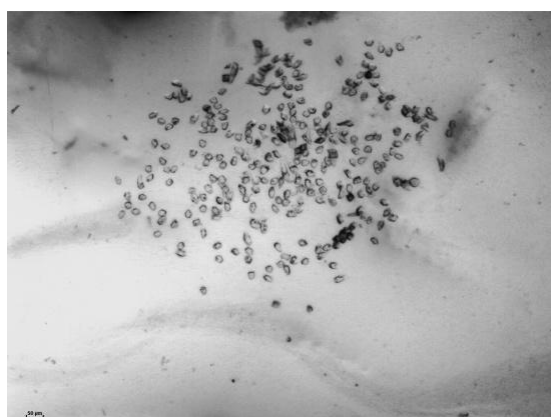
Obr. 5 PL 1000dtex (vzduchem tvarovaný)



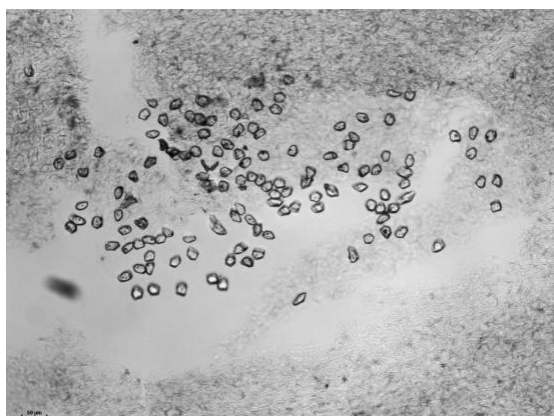
Obr. 6 PL 2x500dtex S300 (dvojmo skaný)



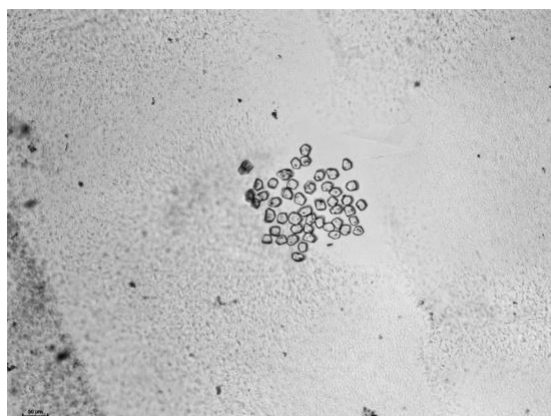
Obr. 7 PL 2x500dtex S210 (dvojmo skaný)



Obr. 8 PL 2x500dtex S120 (dvojmo skaný)

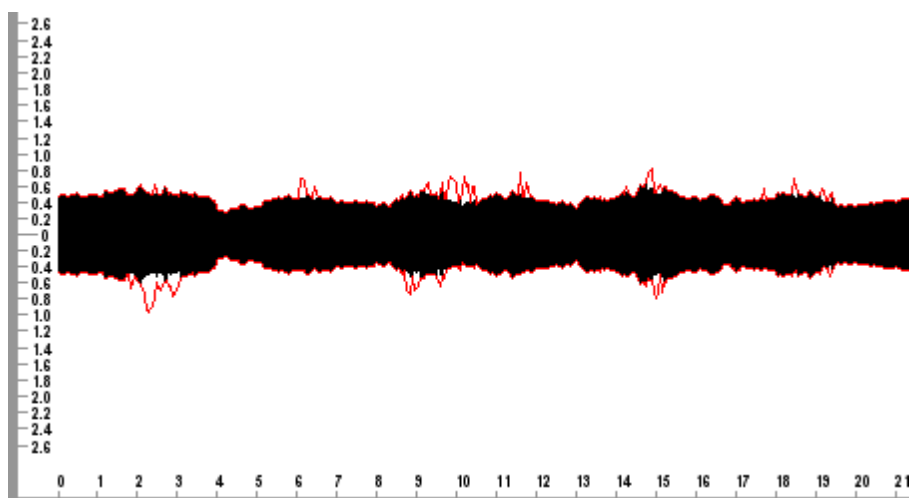


Obr. 9 PL 500dtex (kadeřený provířený)

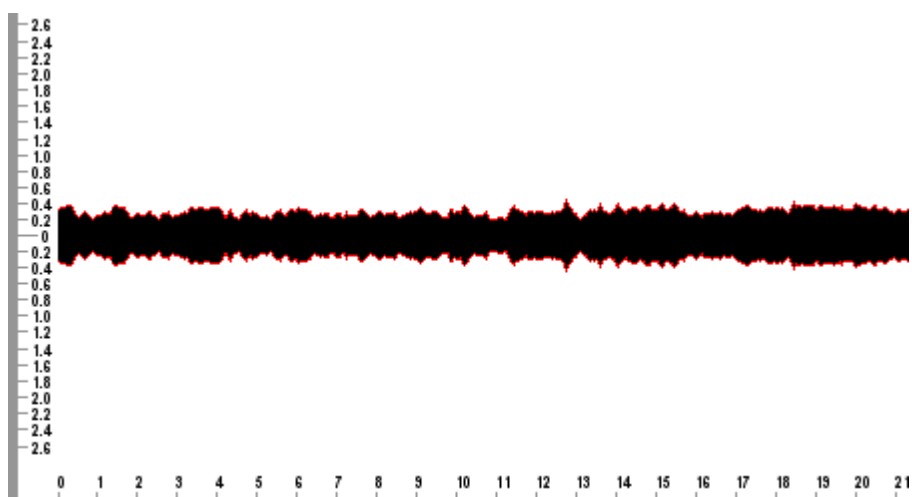


Obr. 10 PL 167dtex (kadeřený provířený) 72

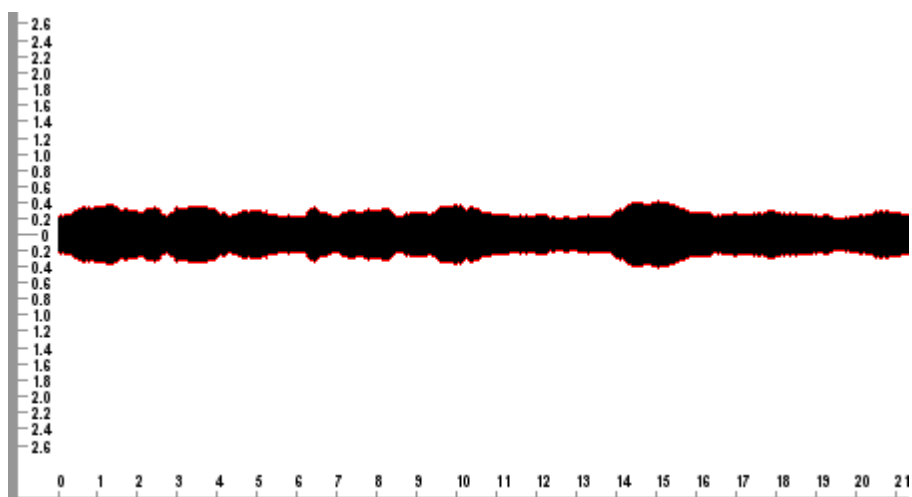
Příloha B: Výsledky analýzy multifilů pomocí CTT (profily a nestejnoměrnosti průměru)



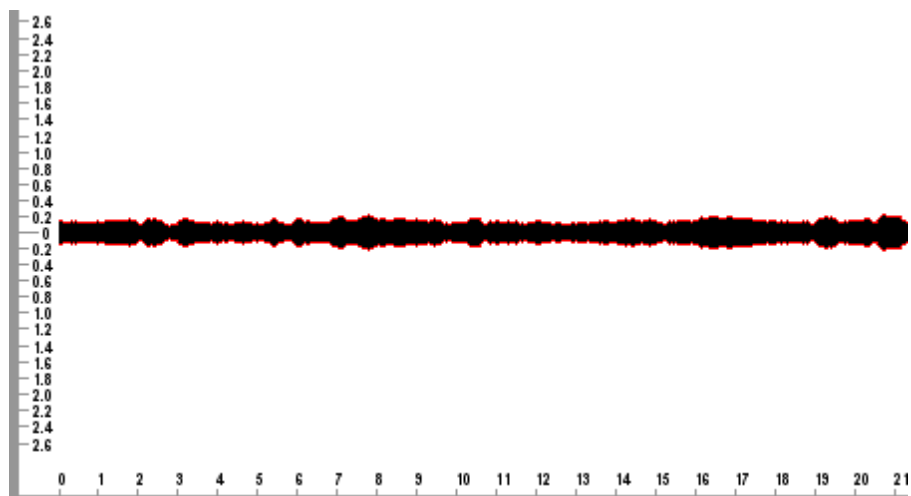
Obr. 11 Profil PP multifilamentu o jemnosti 1330dtex [mm]



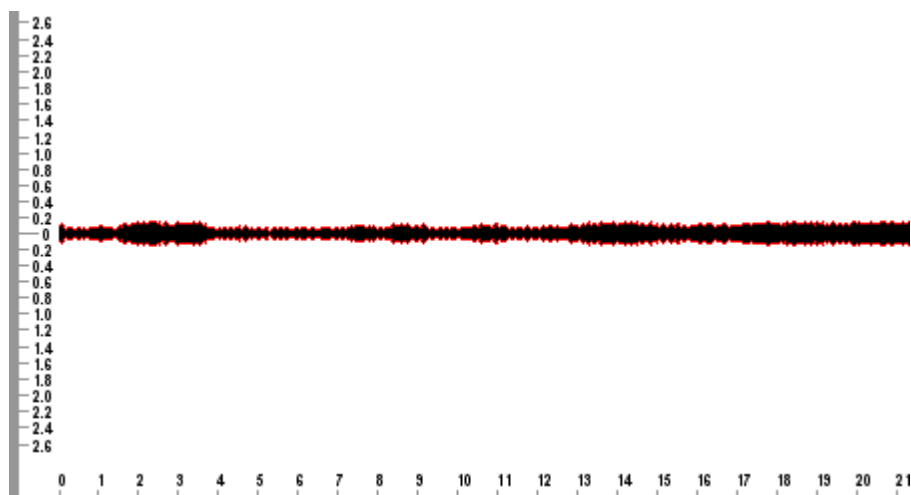
Obr. 12 Profil PL multifilamentu o jemnosti 1000dtex [mm]



Obr. 13 Profil PL multifilamentu o jemnosti 500dtex [mm]



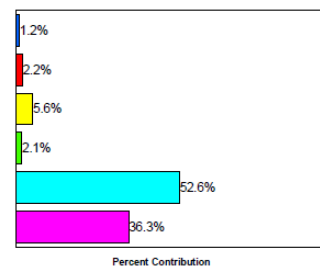
Obr. 14 Profil PL multifilú o jemnosti 167dtex [mm]



Obr. 15 Profil PL obeskávaného monofilú o jemnosti 240dtex [mm]

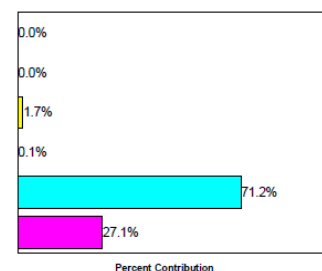
Tab. 1 Nestejnoměrné úseky PP 1330dtex

Mm. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length: (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
1.00	+200 %	26	0	0	0	0	0	0	0	26
1.00	+140 %	48	0	0	0	0	0	0	0	48
3.00	+35 %	84	29	4	2	0	0	0	0	119
3.00	+50 %	35	8	2	0	0	0	0	0	45
3.00	-40 %	111	96	33	52	92	108	63	569	1124
3.00	-50 %	56	47	18	25	48	65	46	471	776
										2138



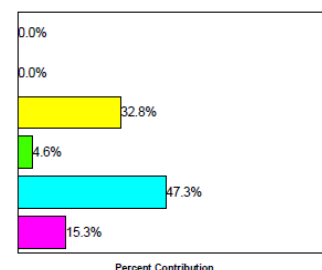
Tab. 2 Nestejnoměrné úseky PL 1000dtex

Mm. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length: (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
1.00	+200 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	+140 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	+35 %	26	4	0	0	0	0	0	0	30
3.00	+50 %	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3.00	-40 %	111	158	95	75	71	44	27	714	1295
3.00	-50 %	21	21	12	10	11	16	6	395	492
										1818



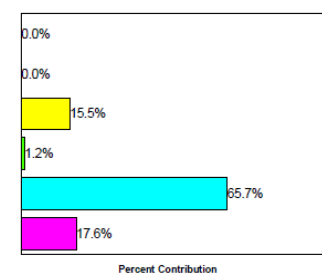
Tab. 3 Nestejnoměrné úseky PL 500dtex

Mm. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length: (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
1.00	+200 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	+140 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	+35 %	191	206	63	27	9	1	2	0	499
3.00	+50 %	39	23	8	0	0	0	0	0	70
3.00	-40 %	74	67	25	35	15	31	13	460	720
3.00	-50 %	13	14	6	3	1	3	1	192	233
										1522



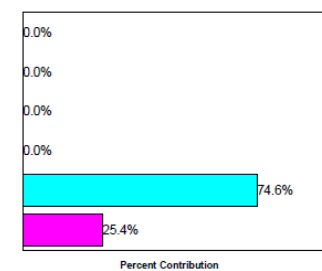
Tab. 4 Nestejnoměrné úseky PL 167dtex

Mm. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length: (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
1.00	+200 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	+140 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	+35 %	175	36	2	0	0	0	0	0	213
3.00	+50 %	13	3	0	0	0	0	0	0	16
3.00	-40 %	20	78	52	62	45	38	31	576	902
3.00	-50 %	2	1	4	4	8	5	2	215	241
										1372



Tab. 5 Nestejnoměrné úseky PL 240dtex

Mm. Event Length (mm)	Diameter Difference	Event Length: (mm)								Total
		0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 +	
1.00	+200 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	+140 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	+35 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	+50 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	-40 %	659	561	225	157	149	104	108	862	2825
3.00	-50 %	85	112	56	47	28	26	32	575	961
										3786

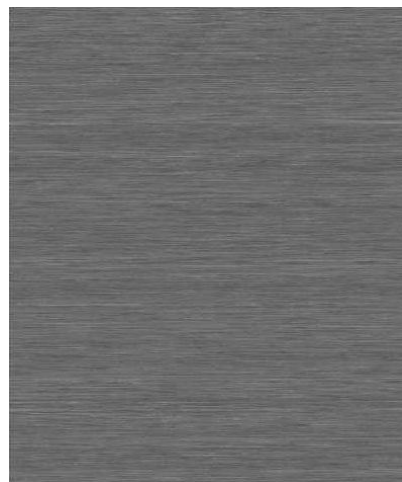


Příloha C: Porovnání etalonů skutečných a vytvořených pomocí CTT

PP 1330dtex (hladký provířený multifil)



Obr. 16 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu



Obr. 17 Simulovaný etalon pomocí CTT

PL 1000dtex (vzduchem tvarovaný multifil)



Obr. 18 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu



Obr. 19 Simulovaný etalon pomocí CTT

PL 500dtex (zkadeřený provířený multifil)



Obr. 20 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu

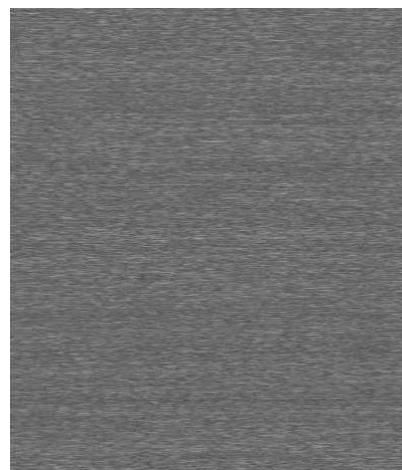


Obr. 21 Simulovaný etalon pomocí CTT

PL 167dtex (zkadeřený provířený multifil)

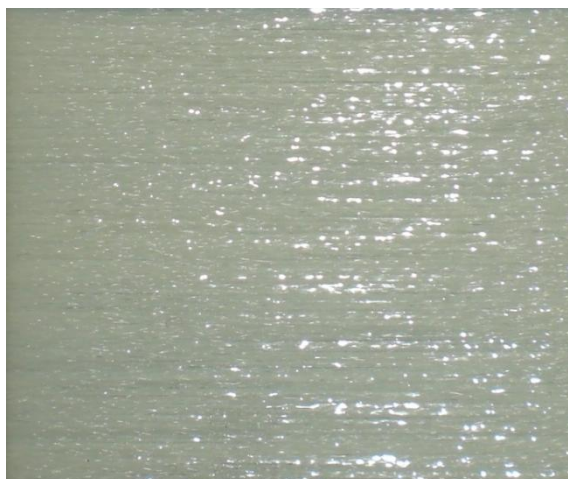


Obr. 22 Skutečný etalon – 6 vrstev materiálu

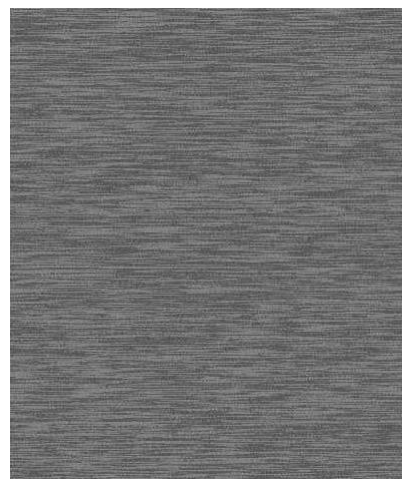


Obr. 23 Simulovaný etalon pomocí CTT

PL 240dtex (obeskávaný monofil)



Obr. 24 Skutečný etalon – 6 vrstev materiálu



Obr. 25 Simulovaný etalon pomocí CTT

PL 2x500dtex S120 (dvojmo skaný)



Obr. 26 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu

PL 2x500dtex S120 (dvojmo skaný)



Obr. 27 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu

PL 2x500dtex S120 (dvojmo skaný)



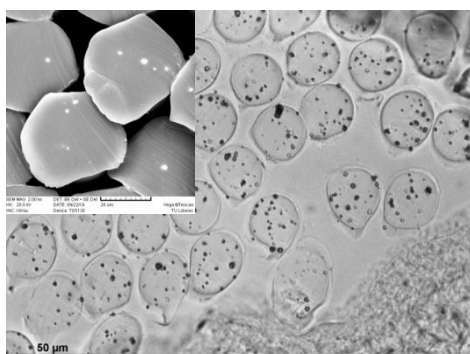
Obr. 28 Skutečný etalon – 4 vrstvy materiálu

Příloha D: Klasifikace geometrických vlastností jednotlivých délkových materiálů s obrazovou dokumentací

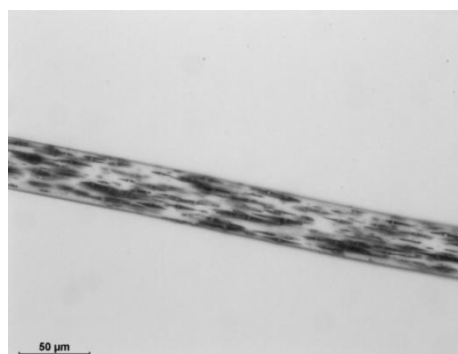
PP 1330dtex (hladký, provířený multifil)

Tab. 6 Geometrické parametry konkrétního multifilu a jeho vláken

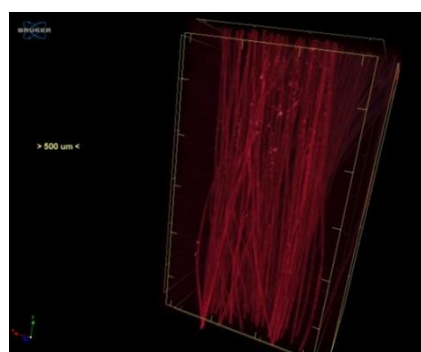
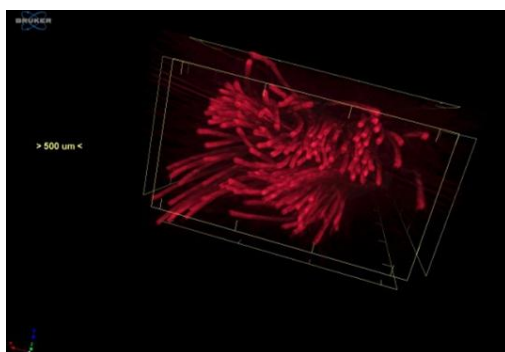
MULTIFIL		VLÁKNA	
jemnost multifilu [dtex]	1330	jemnost vlákna [mtex]	940
počet vláken	141	plocha [μm^2]	1223,84
průměr multifilu [mm]	0,89	ekv. průměr [μm]	39,19
CVd [%]	17,29	kruhovitost [-]	0,96
počet províření na 1m	17	tvarový faktor [-]	0,03



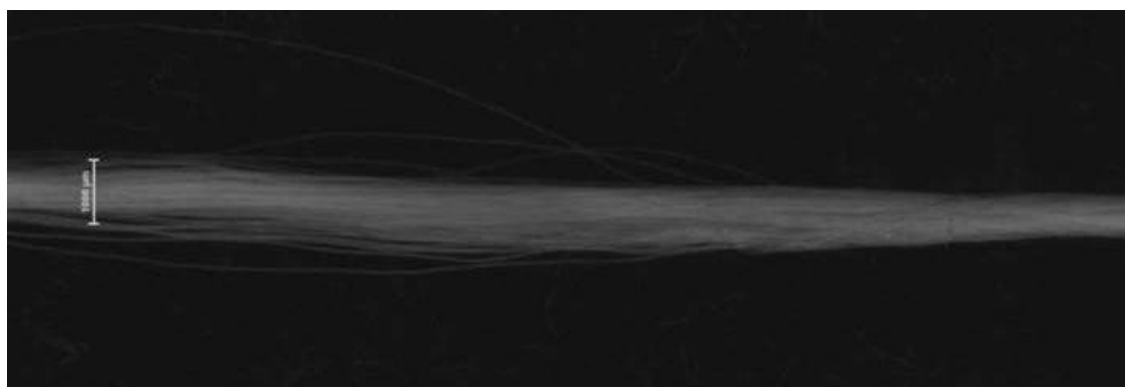
Obr. 29 Příčné řezy vláken, M: 50 μm (vlevo z elektronového mikroskopu, M: 20 μm)



Obr. 30 Podélné zobrazení vlákna, M: 50 μm



Obr. 31, 32 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μm

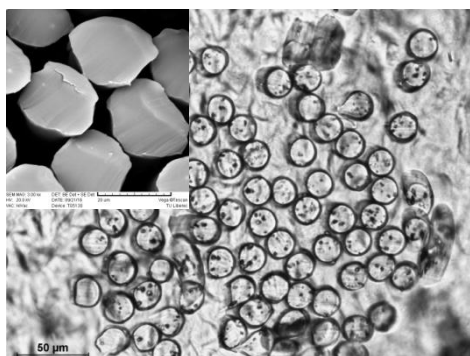


Obr. 33 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μm

PL 1000dtex (vzduchem tvarovaný multifil)

Tab. 7 Geometrické parametry konkrétního multifilu a jeho vláken

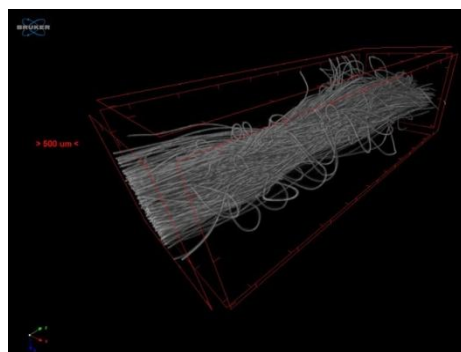
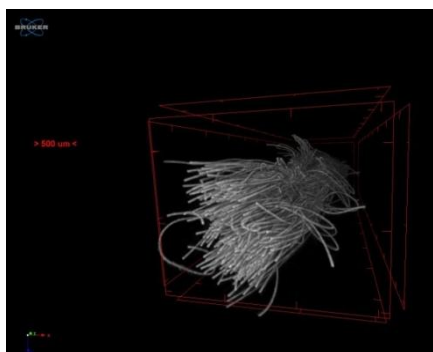
MULTIFIL		VLÁKNA	
jemnost multifilu [dtex]	1000	jemnost vlákna [mtex]	420
počet vláken	239	plocha [μm^2]	360,75
průměr multifilu [mm]	0,594	ekv. průměr [μm]	21,3
CVd [%]	16,7	kruhovitost [-]	0,96
		tvarový faktor [-]	0,03



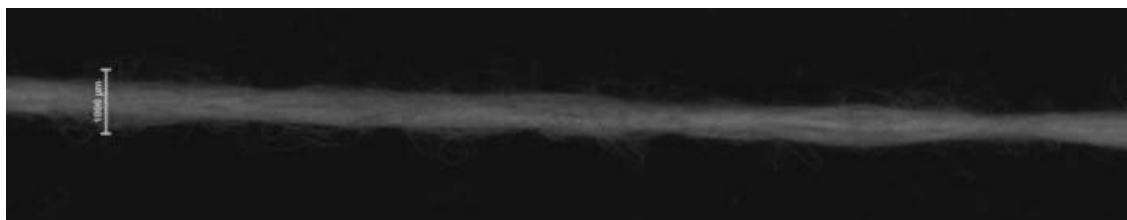
Obr. 34 Příčné řezy vláken, M: 50 μm (vlevo z elektronového mikroskopu, M: 20 μm)



Obr. 35 Podélné zobrazení vlákna, M: 50 μm



Obr. 36, 37 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μm

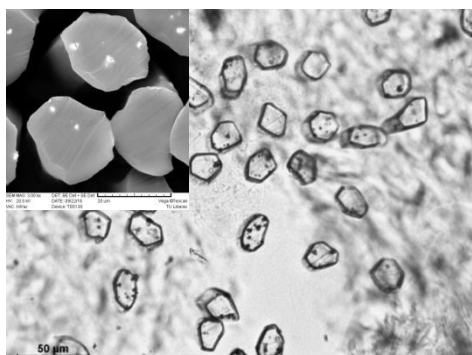


Obr. 38 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μm

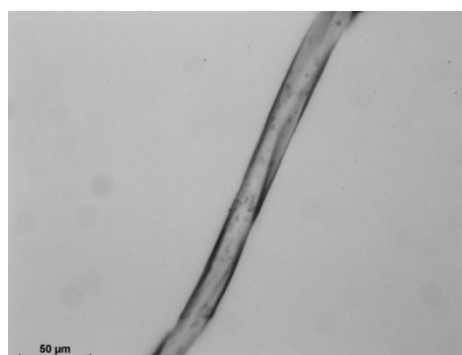
PL 500dtex (zkadeřený provířený multifil)

Tab. 8 Geometrické parametry konkrétního multifilu a jeho vláken

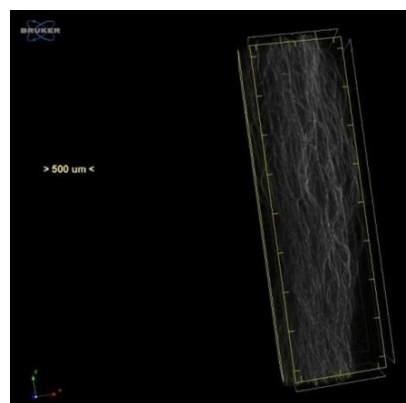
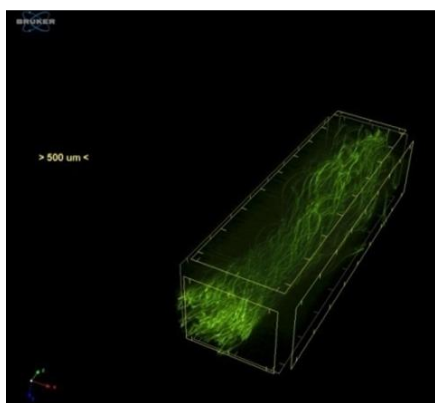
MULTIFIL		VLÁKNA	
jemnost multifilu [dtex]	500	jemnost vlákna [mtex]	370
počet vláken	135	plocha [μm^2]	328,24
průměr multifilu [mm]	0,6	ekv. průměr [μm]	20,43
CVd [%]	19,3	kruhovitost [-]	0,91
hustota obloučků [10mm]	9	tvarový faktor [-]	0,05
počet províření na 1m	20		



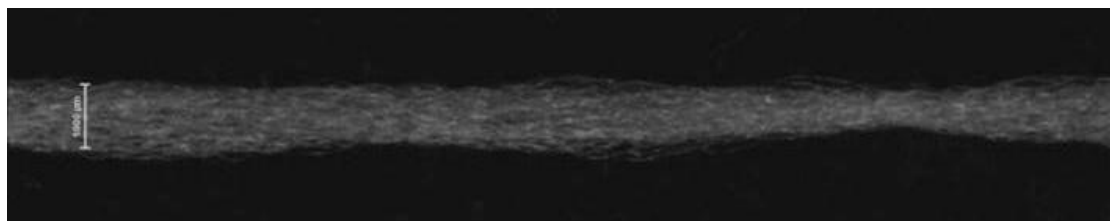
Obr. 39 Příčné řezy vláken, M: 50 μm (vlevo z elektronového mikroskopu, M: 20 μm)



Obr. 40 Podélné zobrazení vlákna, M: 50 μm



Obr. 41, 42 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μm

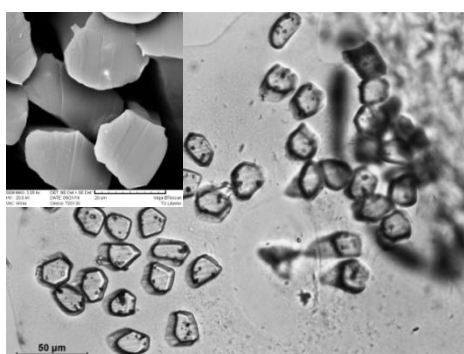


Obr. 43 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μm

PL 167dtex (zkadeřený provířený multifil)

Tab. 9 Geometrické parametry konkrétního multifilu a jeho vláken

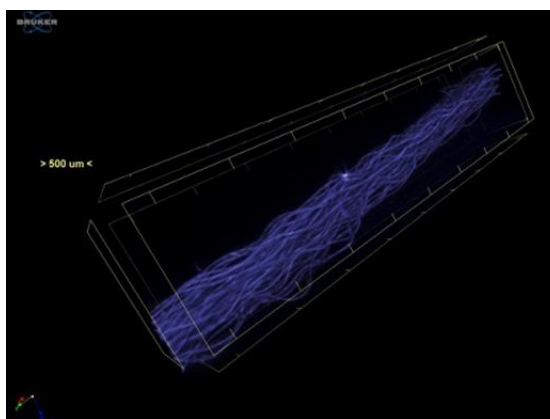
MULTIFIL		VLÁKNA	
jemnost multifilu [dtex]	167	jemnost vlákna [mtex]	350
počet vláken	48	plocha [μm^2]	361,51
průměr multifilu [mm]	0,311	ekv. průměr [μm]	21,22
CVd [%]	16,31	kruhovitost [-]	0,9
hustota obloučků [10mm]	9	tvarový faktor [-]	0,07
počet províření [m]	61		



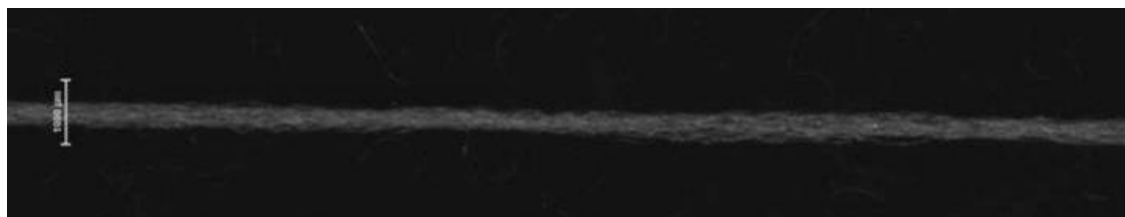
Obr. 44 Příčné řezy vláken, M: 50 μm (vlevo z elektronového mikroskopu, M: 20 μm)



Obr. 45 Podélné zobrazení vlákna, M: 50 μm

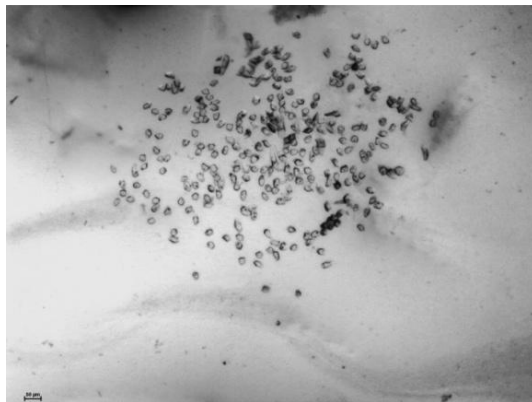


Obr. 46 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μm

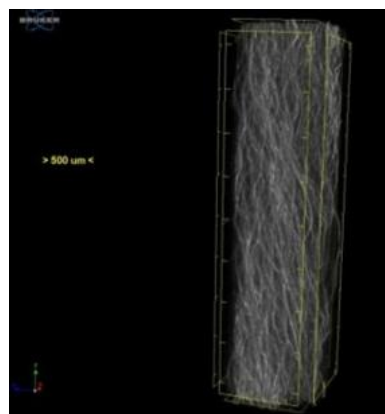
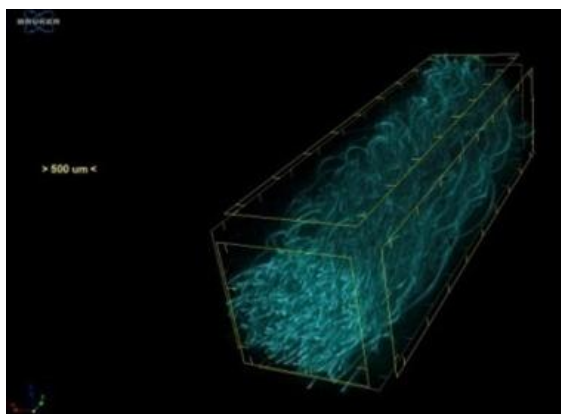


Obr. 47 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μm

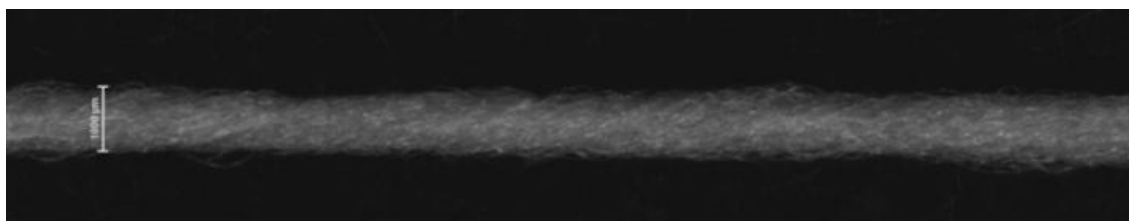
PL 2x500dtex - S120 (skaný multifil)



Obr. 48 Příčný řez multifilu, M: 50 μ m

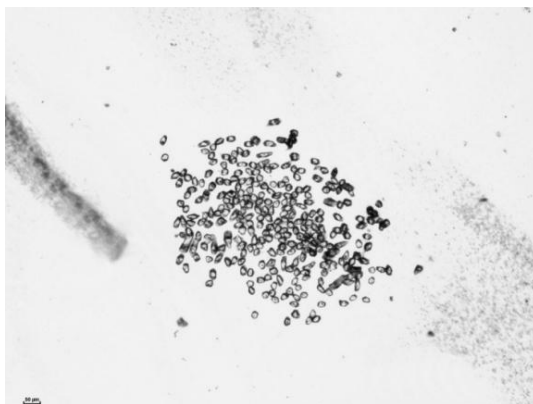


Obr. 49, 50 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μ m

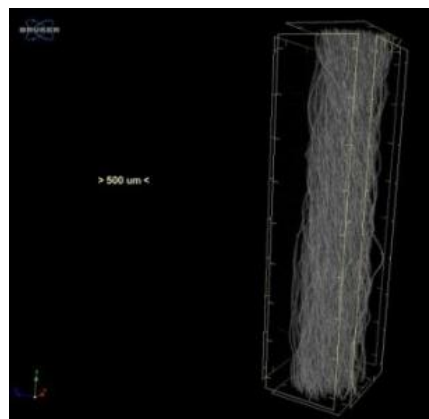
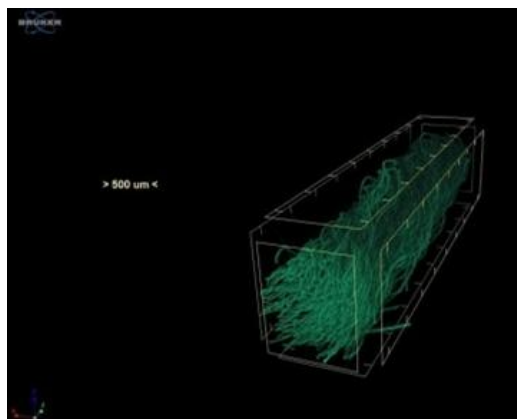


Obr. 51 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μ m

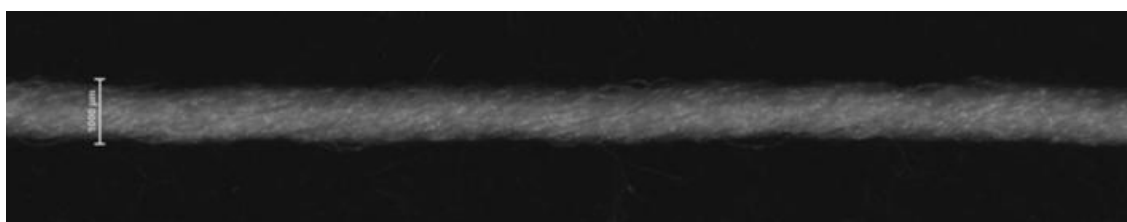
PL 2x500dtex - S210 (skaný multifil)



Obr. 52 Příčný řez multifilu, M: 50 μ m

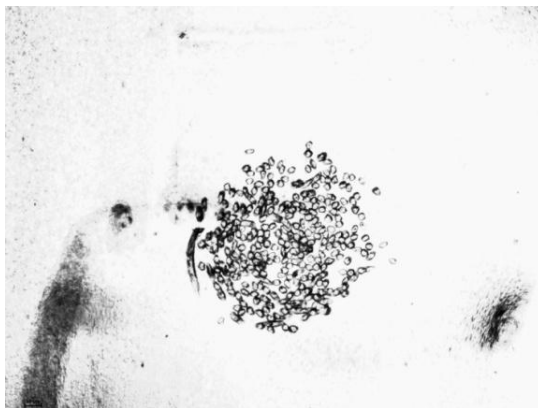


Obr. 53, 54 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μ m

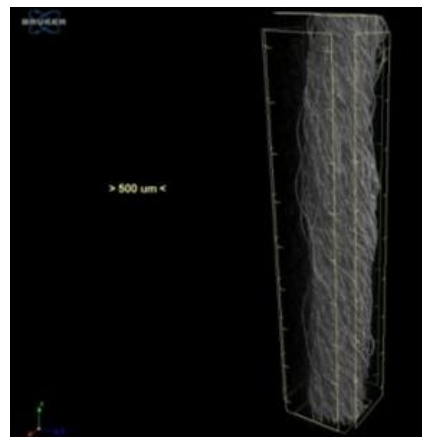
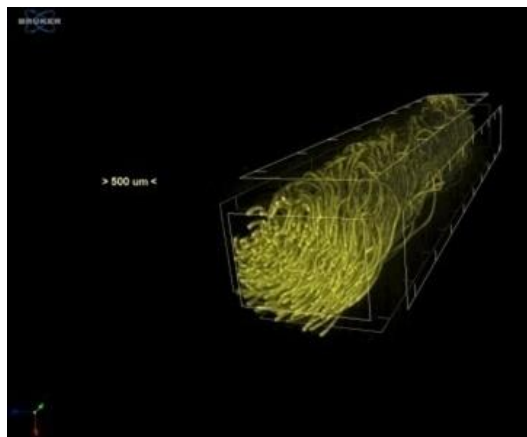


Obr. 55 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μ m

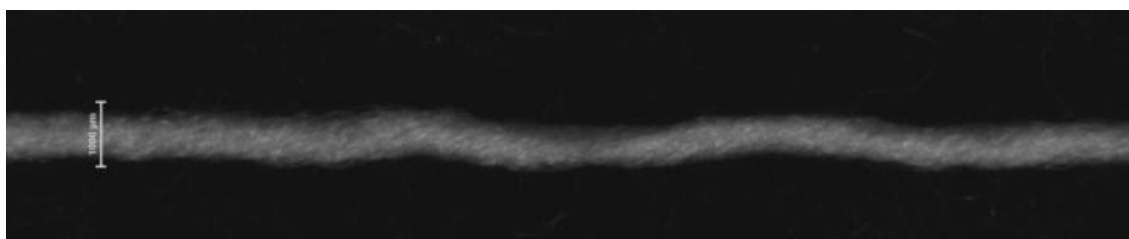
PL 2x500dtex - S300 (skaný multifil)



Obr. 56 Příčný řez multifilu, M: 50 μ m



Obr. 57, 58 Vnitřní struktura multifilu (pomocí micro CT), M: 500 μ m

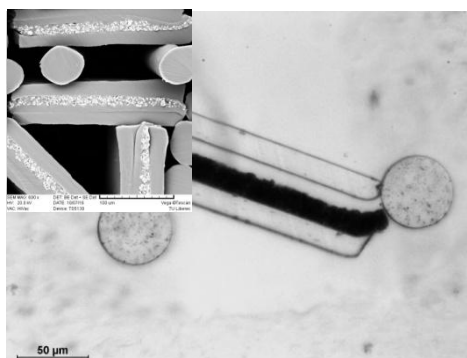


Obr. 59 Makroskopické zobrazení multifilu, M: 1000 μ m

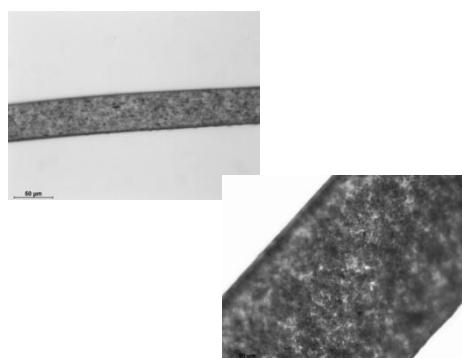
PL 240dtex (obeskávaný monofil)

Tab. 10 Geometrické parametry obeskávaného monofilu a jeho vláken

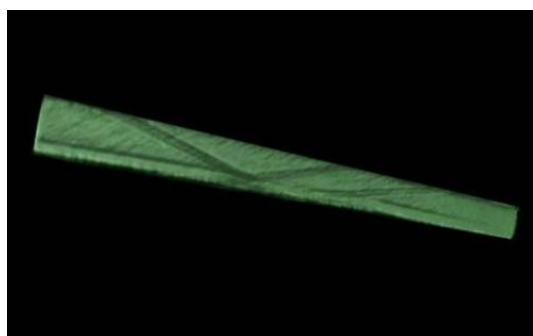
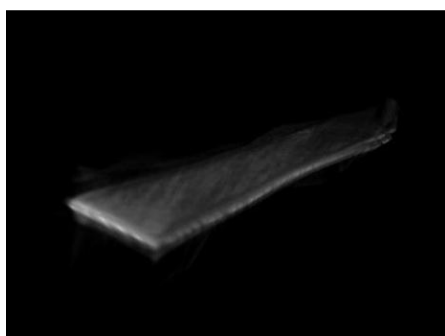
MONOFIL		VLÁKNO OBESKÁVANÉ	
jemnost monofilu [dtex]	240	jemnost vlákna [tex]	
počet vláken	1/2	plocha [μm^2]	952,94
VLÁKNA OBESKÁVACÍ		rozměry průřezu [μm]	240,03x63,49
jemnost vlákna [tex]		kruhovitost [-]	0,01
plocha [μm^2]	15187,56	tvarový faktor [-]	0,16
ekv. průměr [μm]	139,02	délka [μm]	584,86
kruhovitost [-]	0,99	šířka [μm]	1,63
tvarový faktor [-]	0		



Obr. 60 Příčné řezy vláken, M: 50 μm (vlevo)
z elektronového mikroskopu, M: 100 μm)



Obr. 61 Podélné zobrazení vláken,
M: 50 μm



Obr. 62, 63 Struktura monofilu (pomocí micro CT), M: 500 μm



Obr. 64 Makroskopické zobrazení monofilu, M: 1000 μm

Souhrnná tabulka analyzovaných vlastností hodnocených materiálů

Tab. 11 Analyzované parametry hodnocených multifilů a jejich vláken

počet měření		10	500	500	20	100	100	100	100	20
délkový materiál	materiál	dosvit (subjektivní) [min]	průměr multifilu [mm]	CVd [%]	počet vláken	plocha vlákna [μm^2]	ekviv. průměr vlákna [μm]	kruhovitost vlákna [-]	tvárový faktor vlákna [-]	jemnost vlákna [mtex]
1330 dtex (hladký prověřený)	PP	60	0,890	17,29	141	1223,84	39,19	0,96	0,03	940
1000 dtex (vzduchem tvarovaný)	PL	60	0,594	16,7	239	360,75	21,3	0,96	0,03	420
500 dtex (zkadeřený prověřený)	PL	60	0,600	19,30	135	328,24	20,43	0,91	0,05	370
167 dtex (zkadeřený prověřený)	PL	45	0,311	16,31	48	361,51	21,22	0,9	0,07	350
2x500-S120 (dvojmo skaný)	PL	60	X	X	270	328,24	20,43	0,91	0,05	370
2x500-S210 (dvojmo skaný)	PL	60	X	X	270	328,24	20,43	0,91	0,05	370
2x500-S300 (dvojmo skaný)	PL	60	X	X	270	328,24	20,43	0,91	0,05	370
240 dtex (obeskávaný monofil)	PL	75	0,213	25,35	1/2	15187,56	240,03x63,49	0,52	0,39	X
						2124,77	52	0,99	0	X

Příloha E: Obrazová dokumentace výsledných tkanin a realizovaných bezpečnostních oděvů pro ochranu chodců



Obr. 65 Lící a rubní strana výsledné tkaniny s luminiscenčním materiálem 167dtex



Obr. 66 Lící a rubní strana výsledné tkaniny s luminiscenčním materiálem 240dtex



Obr. 67 Lící strana výsledné tkaniny se zobrazením raportu vzoru

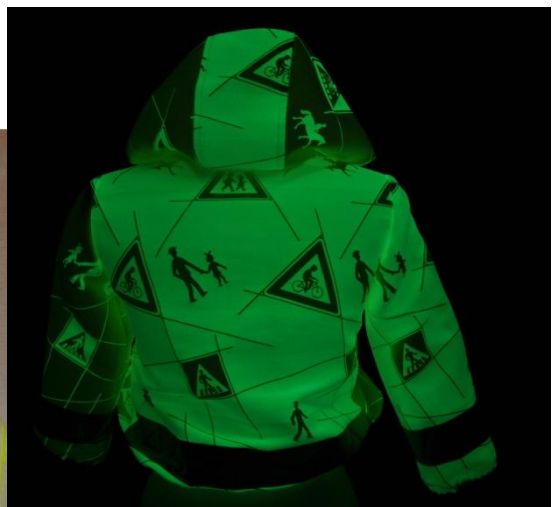
Obr. 68 Rubní strana výsledné tkaniny s materiálem 240dtex při luminiscenčním efektu 88



Obr. 69 Přední díl bundy za denního osvětlení
Obr. 70 Přední díl bundy ve tmě při fosforescenci



Obr. 71 Zadní díl bundy za denního osvětlení
Obr. 72 Zadní díl bundy ve tmě při fosforescenci





Obr. 73 Přední díl vesty za denního osvětlení

Obr. 74 Přední díl vesty ve tmě při fosforescenci



Obr. 75 Zadní díl vesty za denního osvětlení

Obr. 76 Zadní díl vesty ve tmě při fosforescenci

