

Prostorové uspořádání kovových vláken ve vnitřní struktuře textilních útvarů určených pro odstínění elektromagnetického pole.

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Iveta Svobodová**
Vedoucí práce: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.



TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



The Spatial Arrangement of Metal Fibers in the Inner Structure of Textile Materials Intended for the Shielding of Electromagnetic Fields

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Iveta Svobodová**
Supervisor: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Iveta Svobodová**
Osobní číslo: **T15000058**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Prostorové uspořádání kovových vláken ve vnitřní struktuře textilních útvarů určených pro odstínění elektromagnetického pole.**
Zadávací 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) Vypracujte literární rešerši na téma: (a) textilní struktury se zvýšenou elektrickou vodivostí s ohledem zejména na použití elektricky vodivých vláken, výrobu a použití takovýchto textilií, (b) vlákenné směsi, kvalita mísení vláken, (c) možnosti hodnocení směsových přízí.
- (2) Analyzujte vybranou elektricky vodivou přízi obsahující ve své struktuře staplová kovová vlákna.
- (3) Navrhněte a realizujte experiment s cílem zjistit podíl jednotlivých komponent a kvalitu mísení.
- (4) Vyhodnoťte experiment, interpretujte výsledky a doporučte metodiku vhodnou pro charakterizaci přízí obsahujících ve své struktuře vlákna s rozdílnou hustotou.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Šafářová V, Militký J. Multifunctional Metal Composite Textile Shields Against Electromagnetic Radiation-effect of Various Parameters on Electromagnetic Shielding Effectiveness. Polymer Composites 2015, 00(00):1-15. Článek v tisku.
- [2] Ursíny P. Předání II. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2009.
- [3] Militký J, Křemenáková D. Metrologie a řízení jakosti. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2015.
- [4] Gonzalez RC, Woods RE. Digital Image Processing. 3rd edition, Prentice-Hall, 2008.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií

Konzultant diplomové práce: Ing. Veronika Tunáková, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce: 30. března 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 5. května 2017



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



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

V Liberci dne 10. března 2017

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

Tímto bych chtěla upřímně poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D., za konzultace, cenné rady a podporu při vypracování této diplomové práce. Další kdo si zaslouží můj velký dík je paní Ing. Veronika Tunáková, Ph.D., za konzultace, připomínky a veškerý čas který mi věnovala při psaní této práce.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mému manželovi, mé rodině a všem blízkým za jejich podporu, kterou mi věnovali během vzniku této práce.

Anotace

Příze obsahující ve své struktuře kromě klasických textilních vláken také velmi jemná kovová vlákna jsou v současné době často využívány pro přípravu plošných textilií se zvýšenou elektrickou vodivostí. Kvalita promísení vlákenných komponent v přízi významně ovlivňuje jak vlastnosti příze, tak vlastnosti plošné textilie. Tato skutečnost vytváří podnět k průzkumu uspořádání kovových vláken ve struktuře příze s využitím metod obrazové analýzy a prostorové statistiky. Cílem práce je otestovat a zvolit vhodnou metodiku pro získání příčného řezu příze obsahující ve své struktuře kovová vlákna, která umožní s využitím obrazové analýzy identifikovat obě vlákenné komponenty pro následné vyhodnocení jejich prostorového uspořádání. V práci jsou porovnány různé přístupy tvorby příčných řezů přízi aplikovaných na příze obsahující kovová vlákna vč. využití mikrotomografie. Navržen je algoritmus pro objektivní segmentaci obou vlákenných komponent v příčném řezu příze a představena je metodika hodnocení prostorového uspořádání vláken s využitím prostorové statistiky dat. Výsledky práce ukazují, že kovová vlákna jsou v příčném řezu příze uspořádána náhodně.

KLÍČOVÁ SLOVA: Hybridní příze, kovová vlákna, MatLab, obrazová analýza, prostorové uspořádání vláken, příčný řez.

Annotation

Yarns which contain in their structure, apart from classic textile fibers also very fine metal ones, are often used for the preparation of fabrics with increased electrical conductivity. The quality of the blending of the fiber components in a yarn significantly affects both the properties of the yarn and of the fabric. This reality creates a stimulus for exploring the arrangement of metal fibers in yarn structure, utilising image analysis and spatial statistics methods. The aim of this work is to test and select a suitable method for obtaining the cross-section of a yarn, containing in its structure metal fibers, which will allow, through the utilisation of image analysis, for the identification of both fibrous components and subsequent evaluation of their spatial arrangement. The work compares various approaches to the cross-cutting of yarns as applied to yarns containing metal fibers, including the use of micro-tomography. An algorithm is proposed for the objective segmentation of both fibrous components in the yarn cross-section, and a methodology is presented for the evaluation of the spatial arrangement of fibers using spatial statistics data. The results of the work show that the metal fibers in the cross-section of the yarn are arranged at random.

KEY WORDS: hybrid yarns, metal fibers, MATLAB, image analysis, spatial arrangement of fibers, cross-section

Obsah

Úvod	10
1. Textilní struktury se zvýšenou elektrickou vodivostí.....	12
1.1 Vodivá vlákna	12
1.1.1 Kovová vlákna.....	12
1.1.2 Další vodivá vlákna	17
1.2 Tvorba vodivých textilií	25
1.3 Použití elektricky vodivých textilních struktur	26
2. Tvorba vícekomponentních přízí	27
2.1 Směsování vláken	27
2.1.1 Míchání ve vložce.....	27
2.1.2 Míchání v pramenu.....	28
2.1.3 Další možnosti tvorby vícekomponentních přízí.....	29
3. Vlákenné směsi.....	31
3.1 Hodnocení kvality směsování	31
3.1.1 Radiální směr.....	33
3.1.2 Axiální směr	35
3.2 Hmotná nestejnomyěrnost příze	36
4. Současný stav	38
4.1 Elektrická vodivost textilních materiálů	38
4.2 Kovová vlákna staplová	38
4.3 Kovová jádrová příze.....	40
4.4 Pokovená vlákna.....	42
4.5 Uhlíková vlákna.....	43
4.6 Vodivé polymery.....	44
4.7 Další použití elektricky vodivých textilií	44
5. Experimentální část.....	46
5.1 Hybridní příze	46
5.1.1 Geometrické charakteristiky vláken	47
5.1.2 Mechanické charakteristiky vláken	53
5.2 Možnosti získání řezů.....	55
5.2.1 Měkké řezy zalité v bločku.....	55
5.2.2 Řezy z destičky pozorované v konfokálním mikroskopu.....	56
5.2.3 Příčné řezy příze vytvořené s využitím ručního mikrotomu	58

5.2.4	Příčné řezy příze získány s využitím micro-CT skyscan.....	59
5.3	Segmentace vláken z příčných řezů.....	60
5.3.1	Předzpracování obrazu	62
5.3.2	Osamostatnění vláken.....	65
5.3.3	Nalezení charakteristik vláken.....	67
5.4	Prostorová analýza.....	69
5.4.1	Prostorová statistika.....	70
5.4.2	Vizualizace prostorové analýzy.....	71
5.4.3	Odhad prostorové závislosti	73
5.5	Vyhodnocení	78
6.	Závěr	81
	Seznam literatury	83
	Seznam obrázků.....	87
	Seznam tabulek.....	90

Úvod

V nynější době se textilní věda a technologie dynamicky vyvíjí a budoucnost se jeví v elektronických systémech, které budou nenápadně začleněny do našeho každodenního oděvu.

Pokud na tuto problematiku pohlédneme z druhé strany, dnešní doba přináší rychlý nárůst umělých zdrojů elektromagnetického pole v souvislosti s rychlým rozvojem informačních bezdrátových technologií. O této době se hovoří jako o „bezdrátové revoluci“, která přináší pohodlí a usnadnění mnoha činností, ale zároveň pro nás tato doba představuje potenciální rizika spojená s expozicí uměle vytvářeným elektromagnetickým polím, jak doma, tak i v zaměstnání.

Princip začleňování elektronických systémů do oděvů i přípravy elektromagneticky stínících textilií tvořící bariéru vůči elektromagnetickému záření je spojený s vývojem speciálních textilií, které mají schopnost vést elektrický proud – jsou elektricky vodivé. Tyto textilie mohou plnit řadu dalších funkcí, jako jsou antistatické aplikace, elektronické aplikace, pohlcování infračerveného záření, nebo ochranné oděvy ve výbušných prostředích.

Materiály používané pro tvorbu elektromagnetického stínění se vyznačují hlavně svou vysokou elektrickou vodivostí a magnetickou permeabilitou. Tyto charakteristiky znamenitě vystihují kovy. Je však třeba brát v úvahu, že oděvní textilie by měly být ohebné a pružné z důvodu dosažení vysokého komfortu nošení, a proto se pro přípravu vodivých textilií s výhodou používají velmi jemná kovová vlákna staplové délky. Samostatné kovy jsou tuhé a křehké, proto se často využívají ve směsi s klasickým textilními vlákny (přírodními, syntetickými). Protože mají obě směsované komponenty velmi rozdílnou měrnou hmotnost (např. nerez ocel 8000 kg/m^3 a polypropylen 946 kg/m^3), dochází k problémům s rovnoměrným smísením doprovázeným nerovnoměrným rozmístěním vodivé komponenty, což negativně ovlivňuje další vlastnosti textilie (elektrická vodivost, elektromagnetická stínící schopnost).

Cílem práce je otestovat a zvolit vhodnou metodiku pro získání příčného řezu příze obsahující ve své struktuře kovová vlákna, která umožní s využitím obrazové analýzy identifikovat obě vlákenné komponenty pro následné vyhodnocení jejich prostorového uspořádání. Dalším cílem je zjistit skutečné množství kovových vláken v přízi.

Teoretická část práce seznamuje čtenáře s textilními strukturami se zvýšenou elektrickou vodivostí. Podrobněji jsou představeny různé přístupy přípravy vodivých vláken, tvorba vodivých textilií a jejich použití. Další část práce pojednává o tvorbě vícekomponentních přízí, kde jsou vysvětleny a popsány základní metody výroby směšové příze. V třetí části se práce věnuje hodnocení kvality směšování, jelikož správné promísení vláken v přízi je základní požadavek pro její následující zpracování. Čtvrtý celek teoretické části práce se věnuje současnému stavu vývoje a hodnocení elektricky vodivých textilních materiálů. Popsány jsou studie, které již byly provedeny a v neposlední řadě jsou shrnuty možnosti použití elektricky vodivých textilií.

Experimentální část práce se zabývá průzkumem vlastností hybridních přízí o obsahu 20% nerez ocelového vlákna a 80% polypropylenových vláken. Nejprve jsou charakterizovány základní geometrické a mechanické charakteristiky jednotlivých komponent zahrnující jemnost, délku, tvar příčného řezu, obloučkovitost a ultimativní mechanické charakteristiky vláken. Dále jsou otestovány čtyři různé varianty tvorby příčných řezů hybridních přízí vč. využití mikro-tomografie. Tvorba řezů představuje stěžejní část práce, jelikož není snadné kvalitní příčný řez tradičními postupy připravit, což je způsobeno rozdílností obou komponent. V dalším kroku je připraven algoritmus pro objektivní osamostatnění obou vlákenných komponent v příčném řezu příze, přičemž segmentace vláken v řezu je stěžejní pro další vyhodnocení. Dále je použita metodika hodnocení prostorového uspořádání vláken s využitím prostorové statistiky dat. Představeny jsou grafické metody hodnocení prostorového uspořádání vlákenných komponent v přízi. Dále jsou využity statistické odhady prostorových závislostí pro posuzování stejnoměrného uspořádání, náhodného uspořádání, nebo tendence vláken k vytváření shluků v přízi. Výsledky práce ukazují, že kovová vlákna jsou v příčném řezu příze uspořádána náhodně.

1. Textilní struktury se zvýšenou elektrickou vodivostí

Původně se textilní materiály se zvýšenou vodivostí vyráběly zejména pro využití v technických odvětvích. Tyto textilie mohou plnit řadu funkcí, jako jsou antistatické aplikace, stínění elektromagnetického pole, elektronické aplikace, pohlcování infračerveného záření, nebo ochranné oděvy ve výbušných prostředích.

Při tvorbě textilií se zvýšenou elektrickou vodivostí určených pro oděvní aplikaci je nutno dbát následujících omezení. Textilie určené pro oděv musí být ohebné a pružné, dále by měly mít nízkou ohybovou a smykovou tuhost tak, aby byly snadno deformovatelné a splývavé. Tyto požadavky jsou v rozporu s materiály a jejich konfigurací, která je potřeba k dosažení zvýšené elektrické vodivosti, jelikož kovy, uhlík a vodivé polymery jsou celkem křehké materiály.

1.1 Vodivá vlákna

Většina textilních vláken jsou elektrické izolanty, to je způsobeno faktem, že všechny jejich elektrony jsou vázané k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Elektrická vodivost vláken není úplně neutrální a závisí především na obsahu různých aditiv a vlhkosti.

V dalších odstavcích bude pojednáno o možných způsobech výroby elektricky vodivých vláken. Konkrétně se jedná o kovová vlákna, pokovená vlákna, vodivá kompozitní polymerní vlákna, uhlíková vlákna, uhlíková nanovlákna, bikomponentní vlákna a elektricky vodivé polymery.

1.1.1 Kovová vlákna

Kovová vlákna jsou velmi dlouho známým prvkem, používaly se již 3000 let před Kristem, a to hlavně pro dekorativní účely. V nynější době se vyrábějí velmi tenká kovová vlákna (průměr přibližně 10 μm), která se využívají k výrobě tkanin, pletenin i netkaných textilií. Velkou výhodou kovových vláken je jejich vysoká vodivost a ohebně neměnné vlastnosti.

Stálou snahou je vyrobení čím dál tenčích vláken, v nynější době se vyrábějí vlákna již od průměru 1 μm .

Materiály

Pro výrobu vodivých vláken mohou být používány čisté kovy, slitiny či polokovy. Běžně se používají kovy jako: zlato, stříbro, měď, hliník a to zejména kvůli jejich dobrým vlastnostem jako je měkkost a ohebnost. Nikl, zinek, cín, titan nebo železo – také molybden a platina – jsou používány v závislosti na účelu jejich použití [1].

Kovová vlákna se vyrábí také z velkého množství slitin. Slitiny pak mají ale odlišné vlastnosti od čistých kovů. Většinou mají rozdílnou barvu, lesk, pevnost a slévateľnost. Bod tavení bývá nižší než bod tavení původních kovů, pevnost však bývá vyšší. Mezi hlavní zástupce slitin patří: ocel, měď, hliník, železo, mosaz, bronz, nikl-titanové slitiny, chrom a nikl.

Nerezová ocel

Hlavní charakteristiky nerezové oceli jsou vysoká elektrická vodivost, uspokojivá životnost, flexibilita a hlavně životnost vůči korozi běžného typu jako je voda, slabé alkálie, slabé kyseliny apod. Odolnost vůči korozi představuje velmi podstatnou vlastnost, jelikož běžným požadavkem na elektricky vodivé textilie je jejich odolnost vůči praní. Hlavní komponenty nerezové oceli jsou: Fe 68%, Cr 18%, Ni 12% a Mo 2%. Tloušťka nejjemnějších vláken je přibližně 9 μm , což odpovídá jemnosti cca 4 dtex. Dostupné jsou i ve staplové délce, a to 30-50 mm.

Technologický postup výroby

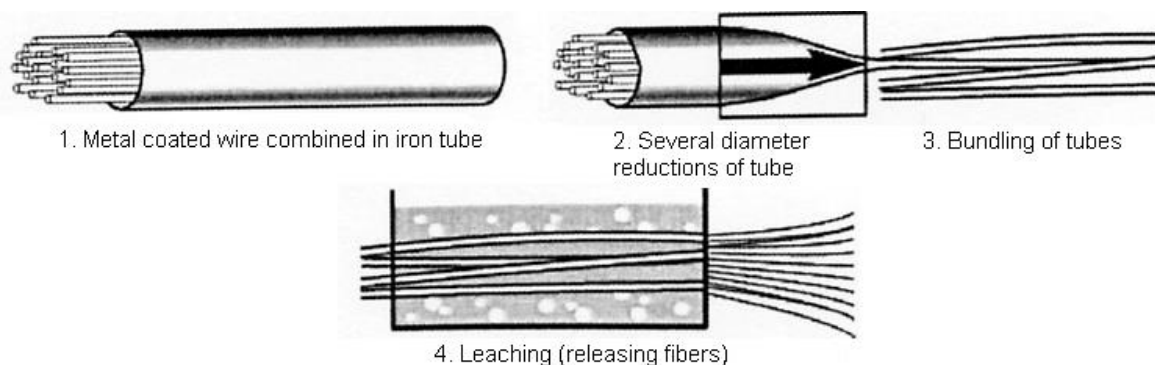
Kovová vlákna a dráty mohou být vyrobeny s využitím různých metod. Tyto způsoby by mohly být rozděleny na mechanické a tepelné.

Mechanický proces výroby

Tradičním způsobem výroby kovových vláken je **tažení drátu**. Při tomto způsobu výroby prochází drát několika dlouhými kroky, během nichž se stává tenčím a delším. Dlouhíci

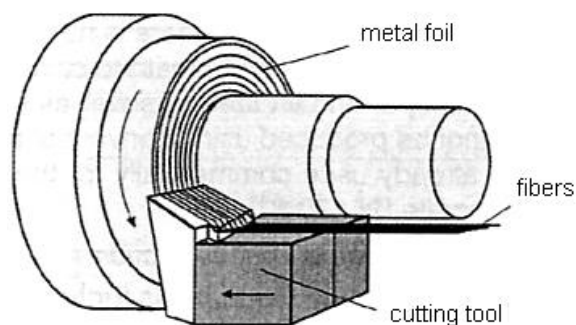
stupně jsou rozlišovány na hrubý, střední a jemný. Počáteční průměr kovového drátu se liší dle materiálu. Např. u mědi je obvykle 8 mm, zatímco u železa 5 mm. Po tažení drátu následuje žhání ocelí při teplotách v rozmezí 600 a 900 °C a následovně ochlazení [1].

Do mechanického procesu výroby kovových vláken je možno zařadit proces **svazkového tažení**. Při tomto postupu výroby, viz obrázek 1, je 1000 až 2000 tradičních tažených drátů seskupeno do jednoho pramene a obaleno tenkým kovovým válcem. Tato metoda je zobrazena na obrázku 1. Výsledkem celého procesu jsou individuální a paralelní vlákna regulovatelného průměru od 4 do 25 μm . Tato vlákna mohou být dále družena do multifilu nebo oddělena na staplová vlákna délek od 50 do 150 [2].



Obrázek 1: Schéma procesu svazkového tažení [1].

Další možností výroby kovových vláken je **metoda řezání**. Nekonečná kovová vlákna jsou ořezávána ze svinuté kovové folie. Při tomto postupu výroby je možno získat několik vláken na řezacím úseku. Vlákna jsou dále družena a navinuta na cívku. Tento typ vláken má často pravoúhlý příčný průřez. Vlákna vyráběná touto metodou dosahují vyšších průměrů, jsou obloučkovitější a díky kratšímu času výroby levnější viz obrázek 2 [1, 2].



Obrázek 2: Výroba vláken použitím metody řezání [2].

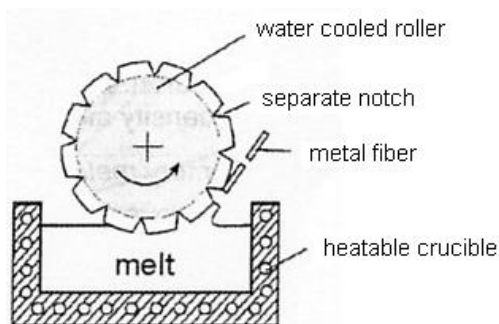
Tepelný výrobní proces

Kovová vlákna je možné vyrábět také tepelným způsobem založeném na přímém vytlačování z taveniny. V tomto způsobu nastává problém, jelikož kov má vysokou viskozitu taveniny, která je ve srovnání se zvlákňováním skla či polymerů přibližně 100x nižší. Tavenina kovu se tudíž lehce poruší a namísto vláken jsou formovány kapky.

Mezi možné způsoby výroby tepelným procesem by bylo možné zařadit **Taylorovu metodu**, která je založena na zpracovávání kovového prutu, který je umístěn do skleněné dutinky. Kovový materiál i skleněná trubička musí mít přibližně srovnatelný bod tavení, aby bylo možné oba materiály současně dloužit. V okamžiku zahřívání celého systému se kovový prut taví a skleněná trubička měkne. V tomto stavu může být skleněná trubička tažena a formuje se velice tenké duté skleněné vlákno zaplněné kovem. Skleněný obal je později odstraněn od kovu buď drcením válcem, ultrazvukem nebo chemickou separací [1].

Zvlákňování do rotující tekutiny je jedna z dalších možností výroby kovových vláken tepelným způsobem. Tato metoda je založena na roztavení kovu a jejich slitin, které jsou dále rozpáleny v inertním prostředí na vysokou teplotu při vysokém tlaku. Díky vysokému tlaku může být tavenina protlačována tryskou. Po průchodu tryskou je vlákno, jako volný paprsek definovaného úhlu, ponořeno do laminárně tekoucího chladicího prostředku. Tuhnutí vlákna je urychlováno rotací a rozdílem hustot mezi kovem a chladícím prostředkem na vnitřní straně válce, kde je ochlazeno na teplotu chladicího agentu [1].

Dalším způsobem vedoucí k vláknům zvlákněným z taveniny je použití **metody vytahování taveniny**. Při tomto postupu výroby rotuje vodou chlazený vytahovací válec v tavenině, viz obrázek 3. Válec má obvykle vícenásobné šípové ostří, ve kterém hmota tuhne, a krátká vlákna jsou vytahována ven. Touto metodou je možno zpracovávat materiály jako hliníková a cínová vlákna, která nemohou být vyrobena tradičními metodami způsobené jejich lámavostí [1].



Obrázek 3: Podstata metody vytahování taveniny [2].

Vlastnosti kovových vláken

Výroba kovových vláken je velmi finančně i časově náročná, ovšem jejich využití a jejich vlastnosti jsou velkým přínosem.

Mezi hlavní pozitivní vlastnosti patří:

- nehořlavost, nenasákavost, možnost praní
- odolávají teplotám přes 1090°C
- vysoká pevnost v tahu, vysoké prodloužení do přetrhu a vysoká ohebnost
- nevýznamné viskózní vlastnosti, tedy zaručují rozměrovou stabilitu
- odolnost vůči chemickým účinkům

Negativní vlastnosti:

- příliš vysoká hustota
- velká tuhost

Kovová vlákna se od sebe liší společně s dalšími parametry tvarem příčného řezu vlákna a povrchovou stálostí. Pevnost v tahu a ohebnost roste s klesajícím průměrem drátu.

Následující tabulka porovnává hustotu, elektrickou vodivost a pevnost v tahu různých kovů [3].

Tabulka 1: Porovnání vlastností kovů [3].

	Hustota [kg/dm ³]	Vodivost [Sm/mm ²]	Pevnost v tahu [N/mm ²]
Měď	8,9	58,5	220-270
Hliník	2,7	36	120-140
Poměděný hliník (10%)	3,3	37,7	130-180
Slitina měď-nikl – CuNi	8,9	40	220-350
Mosaz – CuZn	8,7	25,3	340-390
Stříbro (99,9%)	10,5	62,5	170-220
Pokovená měď Cu/Ag	8,9	58,5	220-270
Nerez-ocel	7,9	1,36	740-840

1.1.2 Další vodivá vlákna

Pokovená vlákna

Dalším způsobem jak vyrobit elektricky vodivá vlákna je povrstvování vláken kovy, galvanickými materiály nebo solemi kovů. Pokovování je možné aplikovat na povrch vláken, přízí nebo plošných textilií. Všechny tyto možnosti vytvoří elektricky vodivou strukturu. Výhodou povrstvování je vhodnost metody pro velké množství typů vláken, kdy je získána dobrá elektrická vodivost bez významné změny původních vlastností substrátu. Mezi tyto vlastnosti patří měrná hmotnost, flexibilita a omak. Nevýhodou může představovat nízká adheze mezi kovovým povlakem a substrátem a také při odolnosti vůči korozi.

Metody pokovování

Běžné způsoby povrstvování textilií zahrnují nanášení kovového prášku pojivy, vakuové pokovování, katodové naprašování a bezproudové elektrolytické nanášení.

Metoda **pokovování s pojivem** je obdobou klasických polymerních nátěrů. Hliníková pasta (65 až 70%) s vysokou schopností odlupování je začleněna do polymerního nosiče jako je syntetický kaučuk, PVC, polyuretany, silikony, pryskyřičné emulze atd. a je nanesena na textilii. Přílnavost, ohyb a chemická odolnost povrstvené textilie závisí na typu použitého polymeru [4].

Při **vakuovém napařování** je materiál vložen do vakuové komory, kde je nastaven pracovní tlak závisící na substrátu (obvykle 1-2 mPa a nižší). Kov je zahřát na teplotu (obvykle pod bod varu), při níž jeho tlak vodních par překročí zbytkový tlak komory a nastane odpařování kovu. Substrát prochází přes vodou chlazený válec a je vystaven nanášením parou. Pára kondenzuje na povrchu materiálu a mění se v pevnou látku [4, 5].

Katodové napařování je metoda, která se provádí také ve vakuové komoře s tím rozdílem, že vakuová komora obsahuje inertní plyn, obvykle argon. Komora obsahuje katodu (terč), která je zdrojem nanášeného materiálu a anodu, která působí jak držák substrátu. Zatímco při napařování je žádoucí, aby tlak byl co nejnižší, při napařování musí být v komoře tlak zbytkové atmosféry takový, aby zde mohl vzniknout doutnavý výboj, který bude zdrojem iontů pro napařování. Tento způsob je pomalý (okolo 1/10 rychlosti techniky napařování) a nákladný. Hlavní výhodou této metody je univerzálnost. Prakticky každý elektricky vodivý kov může být nanášen na široký okruh substrátů s cílem vytvoření vysoce vodivých materiálů [6].

Poslední zmíněná metoda bezproudového pokovování kovů a plastů za účelem dosažení rovnoměrné vrstvy způsobem řízení autokatalické redukce se nazývá **chemické nanášení**. Tato metoda je založena na nánosu kovů jako měď, nikl, stříbro, zlato nebo palladium na povrchy různých materiálů pomocí redukční chemické lázně. Oproti bezproudovému pokovování mohou být chemickým nanášením pokovené i nevodivé materiály, vrstva je rovnoměrnější a proces je jednodušší a nevyžaduje elektrickou energii.

Vodivá kompozitní polymerní vlákna

Vodivá kompozitní polymerní vlákna jsou získávána rozptýlením vodivých částic (uhlík, prášky kovů, grafit) v termoplastické nebo termosetické nevodivé polymerní matici. Elektrická vodivost kompozitních polymerních vláken závisí zejména na tvaru vodivé

částice, obsahu vodivého plniva a také na jeho fyzikálně chemických vlastnostech (povrchová energie, tvarový faktor, specifický povrch, schopnost shlukování) [7].

Elektrická vodivost je zajištěna buď přímým kontaktem mezi vodivými částicemi, nebo pomocí tunelového efektu bez přímého kontaktu a to pouze v případě, pokud jsou tyto vodivé částice dostatečně blízko sebe. Pokud jsou částice dobře rozptýlené, ale s velice nízkou koncentrací, elektrická vodivost není dostatečná [8]. Do skupiny vodivých kompozitních polymerních vláken se řadí polymery plněné uhlíkovými sazemi, vlákna plněná uhlíkovými nanotrubicemi, vlákna plněná kovovými částicemi a vlákna plněná nanočásticemi solí a kovů. Všechny tyto skupiny budou stručně popsány v odstavcích níže.

Polymery plněné uhlíkovými sazemi

Uhlíkové saze se skládají z elementárních částic složených do základních agregátů. Velikost částic uhlíkových sazí, velikost agregátů a tvar elementárních částic rozhodují o struktuře uhlíkových sazí. Aby bylo vlákno plněné uhlíkovými sazemi elektricky vodivé, musí být množství dodaných vodivých sazí natolik veliké, aby bylo dosaženo perkolačního prahu. Perkolační práh je definován jako nejnižší koncentrace vodivých částic, při které jsou tvořeny vodivé řetězce. Množství plniva musí být dokonce vyšší v případě požadovaného zvýšení elektrické vodivosti. Problém však nastává zejména při zvláknování a dloužení vláken při výrobě, kdy se vzdálenost mezi částicemi zvětšuje. Vodivé částice však musí být v kontaktu, aby bylo vlákno vodivé.

Vlákna plněná uhlíkovými nanotrubicemi

Uhlíkové nanotrubice vynikají díky unikátní jednorozměrné struktuře a mimořádným fyzikálním vlastnostem jako je nízká hmotnost, vysoký poměr šířky/délky, dobrá elektrická a tepelná vodivost a výborné mechanické vlastnosti. Proto uhlíkové nanotrubice poskytují možnost využít v rozsáhlém množství aplikací v oblasti nanoelektronických zařízení, vysoko pevnostních kompozitech, snímacích materiálech atd [9].

Hlavním důvodem, proč uhlíky zaujímají tolik strukturálních forem je, že uhlíkový atom může tvořit několik odlišných typů valenčních vazeb. Nanotrubice jsou vrstvy grafenu stočeného do bezešvých válců, mají téměř v celém objemu stejnou tloušťku a mohou být

jednovrstvé nebo vícevrstvé. Uhlíkové nanotrubic se mohou chovat z hlediska elektrických vlastností jako vodiče nebo polovodiče. Vodivost vícevrstvých nanotrubic je celkem komplikovaná [10].

Vlákna plněná kovovými částicemi

Plasty plněné kovy byly objeveny jako materiály nové generace s nesmírnými možnostmi nahrazení kovů ve speciálních aplikacích. Tyto možnosti plynou hlavně z významné modifikace tepelných a elektrických vlastností polymerů v kombinaci s kovovými plnivými. Výroba vláken plněných kovovými částicemi probíhá mechanickým smísením kovových částic do roztavené nebo rozpuštěné polymerní matrice před zahájením zvlákňování. Tento postup však často vede k nehogomennému rozptýlení částic v matrici. Pro dosažení perkolačního prahu je potřeba použít relativně velké množství kovového prášku, čímž se zhoršují mechanické vlastnosti základního polymerního vlákna. Z tohoto důvodu je doporučováno použití kovových částic s rozdílnou velikostí. Používání kovových prášků má oproti používání uhlíkových sazí nevýhody ve vysoké měrné hmotnosti a ceně [11].

Vlákna plněná nanočásticemi solí kovů

V nynější době je zvýšená pozornost věnována in situ syntéze kovových nanočástic v polymerních matricích. Při takové tvorbě jsou soli kovů nejprve rozpuštěny v monomeru a následně je provedena polymerizace a redukce kovových iontů. Kovový prekursor může být začleněn do polymeru pomocí rozpuštění s polymerem v běžném rozpouštědle předcházející tvorbě vlákna nebo vrstvy, nebo infiltrací poté, co je vlákno nebo vrstva připravená. Kovové prekursory jsou poté upraveny do vodivé formy pomocí tepelných, chemických nebo elektrochemických metod. Upřednostňované kovové prekursory obsahují organické nebo anorganické soli mědi, stříbra, zlata, železa a niklu.

Elektrostatické zvlákňování je používáno k výrobě mezoporézních vláken oxidů kovu s průměry v nano nebo submikronovém měřítku použitím polymer-anorganického kompozitu jako prekursoru pro zvlákňování. Tento proces obsahuje přípravu soli s vhodným anorganickým prekurem (kovové komplexy) a polymerním obsahem, dosažení vhodné reologie pro elektrozvlákňování, dále zvlákňování roztoku za účelem

získání vláken polymer-anorganického roztoku a jako poslední zvápenatění kompozitních vláken za účelem získání konečných oxidových vláken [12].

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna, nebo též karbonová jsou dlouhé tenké prameny materiálu o tloušťce 5-8 μm složené minimálně z 90% z atomů uhlíku. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystalky, což způsobuje, že vlákna jsou na svou tloušťku velmi pevná. Jedinečné vlastnosti, které uhlíková vlákna mají, jsou hlavním důvodem jejich rozšíření oblasti využívání. Tyto vlastnosti není možné nalézt v jiných materiálech, konkrétně se jedná o pevnost, elektrickou vodivost, stabilitu při vystavení reaktivnímu okolí, nízkou hustotu, nízký až negativní koeficient tepelné roztažnosti a odolnost vůči tepelným rázům. Mezi nejtýpějších použití uhlíkových vláken patří sorpční materiály, materiály odolné vůči elektrostatickému nabíjení, katalyzátory a výztužné kompozitní materiály [13].

Výroba a vlastnosti uhlíkových vláken

Uhlíková vlákna se v současné době vyrábějí převážně z vláken polyakrylonitrilových (PAN) a nejnověji z vláken novoloidu – vláken fenol-aldehydových. Ve směru osy vlákna jsou protáhlé mikrokrystaly turbostratického uhlíku v případě vláken vyrobených z PAN tvořeny vždy několika paralelními aromatickými rovinami. V příčném řezu pásy nedosahují větších rozměrů a jsou různě stočeny [13].

Vlastnosti uhlíkových vláken závisí zejména na prvotním výběru polymerního materiálu, podmínkách karbonizace a tepelné úpravě a také na zavedení určitých aditiv.

Uhlíková vlákna se vyznačují těmito vlastnostmi:

- anizotropií mechanických vlastností – ve směru kolmém k ose vlákna mají vlákna modul pružnosti výrazně menší,
- křehkostí – prodloužení do přetržení je menší než u skleněných vláken, minimální poloměr při ohýbání je proto větší než u skleněných vláken,
- záporným koeficientem délkové teplotní roztažnosti α ,
- v podélném směru mají uhlíková vlákna malý elektrický odpor [14].

Obecně je možno měrný odpor uhlíkových vláken regulovat třemi základními způsoby:

- teplotně-časovým režimem v průběhu tvorby vlákna;
- orientovaným dlužením vláken v průběhu tvorby a karbonizace,
- zavedením chemických sloučenin a funkčních skupin do struktury výchozího surového materiálu uhlíkových vláken [13].

Uhlíková nanovlákná

V současné době existuje velké množství výroby uhlíkových nanovláken, např. růst par, obloukový výboj, laserové rozrušování a chemická deposice z plynné fáze. Všechny tyto metody jsou velmi finančně nákladné a vedou k nízké produkci, zároveň jsou vyžadována velmi drahá výrobní zařízení. Technika elektrostatického zvlákňování představuje nový způsob přípravy prekursorových vláken a přízí s průměrem vláken v oblasti od submikronů do mikronů. PAN netkané textilie nebo vlákna získaná elektrostatickým zvlákňováním jsou používána jako prekursor pro přípravu uhlíkových nanovláken pomocí stabilizačního a karbonizačního procesu. Takovýto typ uhlíkových nanovláknenných kompozitů má potenciální využití v oblasti polovodičových zařízení, malých elektronických zařízení, nabíjecích baterií a superkapacitorů [14].

Vodivé polymery

Elektricky vodivé polymery v posledních 20 letech přitahují velkou pozornost díky tomu, že vynikají jak fyzikálními i chemickými vlastnostmi organických polymerů, tak elektrickým vlastnostem kovům. Na rozdíl od jiných vodivých materiálů jsou vodivá polymerní vlákna pevná (80-300 MPa), lehká ($1,5 \text{ g/cm}^3$), pružná (prodloužení mezi 3% a 20%) a vysoce elektricky vodivá (300-1000 S/cm) a tudíž vhodná pro tkaní, pletení a další textilní výrobní procesy [14].

Výroba vodivých polymerů

Polymerní materiály mohou být vyrobeny pomocí zvlákňování, které je možné rozdělit do dvou metod. První metoda je zvlákňování z taveniny a druhá zvlákňování z roztoku. Většina vodivých polymerů nemůže být zpracována z taveniny z důvodu jejich rozkladu

při teplotách nižších než je bod tání. Elektrostatickému zvlákňování je věnována zvýšená pozornost v posledním desetiletí a to z důvodu výroby ultrajemných vláken, jejichž průměry jsou nejméně o tři řády menší než průměr vláken vyrobených klasickými metodami zvlákňování. Mezi nejpoužívanější vodivé polymery patří polyacetylen, polyanilín, polythiopen (a různé deriváty polythiopenu), polypyrrol a polyfenylenvinylen. Výhodou vodivých polymerů je, že lze měnit jejich elektrické vlastnosti v širokém rozsahu, např. dloužením nebo přidávkem rozdílných dopantů. Závislost elektrické vodivosti na teplotě je u polymerů rozdílná než u kovů nebo polovodičů. Stoupá zpravidla s klesající teplotou pro „kovové“ materiály, zatímco vodivost obecně klesá se snižující se teplotou pro polovodiče a izolátory.

Mezi tři hlavní strategie vyvinuté za účelem přípravy vláken z vodivých polymerů (bez ohledu na průměr vláken) patří:















1. Vytlačování stabilního, homogenního, vysoce koncentrovaného (10 – 30 hm. %) roztoku přirozeně vodivého polymeru zvlákňovací tryskou do koagulační lázně, která vysráží polymer do vláknenného tvaru. Touto metodou jsou získávána homogenní vodivá vlákna s dobrými mechanickými vlastnostmi a nejvyšší elektrickou vodivostí.
2. Stabilní nehomogenní roztok nízké koncentrace vodivého polymeru je smíchán s nevodivým polymerem a jsou formována vlákna způsobem popsaným v předchozím bodě. Touto metodou jsou získána směsová vlákna, která mají mechanické vlastnosti nevodivého polymeru, ale vodivost v rozsahu polovodičů.

Vlákno nebo textilie připravená z nevodivých vláknenných materiálů je pokryta vodivým polymerem buď ze zředěného roztoku, nebo pomocí polymerizačních technik. Touto metodou jsou získávány kompozitní materiály s povrchovou vodivostí v řádu polovodičů [15].

Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna jsou syntetická vlákna, která jsou tvořena dvěma polymery odlišné chemické a/nebo fyzikální struktury, které jsou pevně, ale oddělitelně spojeny. Použitím této technologie je možno získat vlákna speciálních vlastností a struktur s použitím jejich specifické textilní produkty.

V závislosti na typu zvlákňovací trysky jsou vytvářena různá bikomponentní vlákna (viz obrázek 4). Rozlišit můžeme tři základní druhy: typ strana/strana (S/S), typ jádro/plášť (C/S) a typ matrice/vlákno (M/F).

Family	Bicomponent Fibres Variants					
Side-by-Side						
Core/Sheath						
Matrix/Fibril	Islands-in-the-sea					
	Segmented-Pie / Multi-Layer					

Obrázek 4: Různé varianty bikomponentních vláken [16].

V současné době se používají různé metody k výrobě bikomponentních vláken. Jedná se o zvlákňování z taveniny, z roztoku a elektrostatické zvlákňování. Pro výrobu bikomponentních vláken se využívá speciálních zvlákňovacích trysek. V těchto speciálních tryskách jsou dva (nebo více) různých proudů polymerů (ve formě taveniny nebo roztoku) spojeny. Ke spojení dochází buď před nebo po opuštění zvlákňovací trysky v závislosti na jejím typu v okamžiku, kdy vlákno opouští zvlákňovací trysku, se skládá ze dvou nesmíchaných komponent, které jsou potenciálně spojeny v místě jejich styku [16].

Zvýšení vodivosti v polymerech obvykle znamená zhoršení jejich zvlákňovitosti. Bikomponentní vlákna umožňují např. zpracování uhlíkem plněných polymerů ve vlákna použitím druhého polymeru jako nosného substrátu [17].

USA patent [18] popisuje výrobu elektricky vodivého bikomponentního vlákna obsahujícího saze jako hlavní vodivou komponentu ve vláknotvorném polymeru. Vodivá komponenta může být uspořádána buď v jádře nebo v plášti vlákna, viz obrázek 5. Pokud je vodivou komponentou tvořeno jádro vlákna, jsou zvlákňovací vlastnosti a pevnost

vlákna mimořádně výborné. Na druhou stranu, pokud je vodivá komponenta umístěna v plášti, povrchový odpor se snižuje. Vláknotvorný polymer obvykle tvoří PET, PA 6, PA 6.6, POP a další.



Obrázek 5: Umístění vodivých sazí v bikomponentním vlákne.

Príspevky [19,20] se zabývají antistatickými vlastnostmi textilií. Vlákno obchodního označení Antistat F901 je použito pro tyto účely. Toto vlákno je složeno z dvou komponent: uhlíkové části a polymerní matrice v různých uspořádáních, viz obrázek 6.



Obrázek 6: Uspořádání uhlíkové části v bikomponentním vlákne.

1.2 Tvorba vodivých textilií

Velké množství elektricky vodivých textilií je v nynější době již vyrobeno a to např. v oblasti elektromagnetického stínění, odvodu elektrostatického náboje, atd. Při tvorbě textilií pro oděvní průmysl je však nutno brát v potaz určitá omezení. Oděvní textilie by měly být ohebné a pružné za účelem dosažení vysokého komfortu nošení. Oděvní textilie potřebují mít nízký ohybovou a smykovou tuhost, aby byly snadno deformovatelné a splývavé, vlákna by měla být jemná (<1 tex) a textile by měla mít nízkou plošnou hmotnost (<150 g/m²), obvykle ne více jak 300 g/m². Tyto požadavky jsou neslučitelné s materiály a tvary, které jsou potřebné pro docílení elektrické vodivosti. Z tohoto důvodu textilní inženýrství pracuje na vývoji tvorby vláken a vytváří nové možnosti, jak vyrábět vodivé textilie z těchto materiálů. Mezi základní metody tvorby vodivých textilií patří použití vodivých vláken, povrstvené textilie, rozptýlení elektricky vodivých částic do připravené textilie, potištěné textilie a prošívané textilie.

Elektricky **vodivá vlákna** mohou být rozdělena do dvou základních skupin. Vlákna přirozeně vodivá jako jsou kovová vlákna, uhlíková apod. a vlákna, která jsou zpracována pro docílení elektrické vodivosti jako jsou vlákna povrstvená. Tato vlákna se mohou použít napřímo (netkané textilie), nebo v ostatních případech výroby textilních struktur je nutno vyrobit nejprve přízi, která může být ze 100% vodivého vlákna, či směsové příze obsahující i vlákna nevodivá.

Nevodivé textilie je možné po výrobním procesu **povrstvit** za účelem zvýšení elektrické vodivosti. Vodivé vrstvy mohou být tvořeny např. kovem nebo vodivými polymery.

Nevodivá textilie, ve většině případů netkaná textilie, je používána jako substrát, na který jsou **naneseny vodivé částice**. Na textilií se nanáší požadované množství kovových částic nebo sazí, aby byl docílen požadovaný stupeň vodivosti.

Elektricky vodivá struktura může být nanesena **tiskařskými technikami** (např. sítotiskem) na připravenou nevodivou textilií, nebo **vyšita** elektricky vodivými nitěmi na nevodivou textilií.

1.3 Použití elektricky vodivých textilních struktur

Elektricky vodivé textilie jsou známy již řadu let a tedy i jejich využití je široké. Původně se vodivé materiály používaly zejména v technických odvětvích. V nynější době mohou elektricky vodivé textilie plnit řadu funkcí, jako jsou antistatické aplikace, stínění elektromagnetického pole, elektronické aplikace, pohlcování infračerveného záření, nebo ochranné oděvy ve výbušných prostředích. Mezi další možnosti využití patří např. vytápění podlah s využitím elektricky vodivých materiálu, nebo nahrazení elektrických kabelů.

Další možností využití elektricky vodivých textilií je např. v lékařství, kterému je věnována zvýšená pozornost a to z důvodu lékařského ozáření, které tvoří nejvýznamnější podíl ozáření člověka z umělých zdrojů záření vůbec. V lékařství se dále elektricky vodivé textilie využívají např. k výrobě vyhřívaných podložek, elektrických deček nebo rehabilitačních matrací, které sledují tlak a teplotu, které jsou podnětem vzniku dekubitů.

2. Tvorba vícekomponentních přízí

Směšování vláken vede k vytváření několika komponentní vlákenné směsi za účelem jejího vypředení a následné výroby plošné textilie (tkané, pletené i netkané). Smyslem směšování je vyrobit výrobek s vlastnostmi, které se od něho požadují.

Směšování vláken se provádí především z důvodu:

- vytvoření konečného produktu s požadovanými vlastnostmi
- snížení nákladů při stejné užitné hodnotě materiálu
- pozitivnímu chování materiálu při zpracování
- dosažení různých barevných efektů [22].

Směšovat lze přírodní vlákna s přírodními, přírodní vlákna s chemickými vlákny, přírodní vlákna s přírodními a chemickými vlákny atd. Směšováním může být dosaženo fyzikálně homogenní směsi, kde v každém úseku je komponent rozložen v souladu s manipulací – např. 45/55 bavlna/polyester, nebo fyzikálně nehomogenní směs jako je např. jádrová příze.

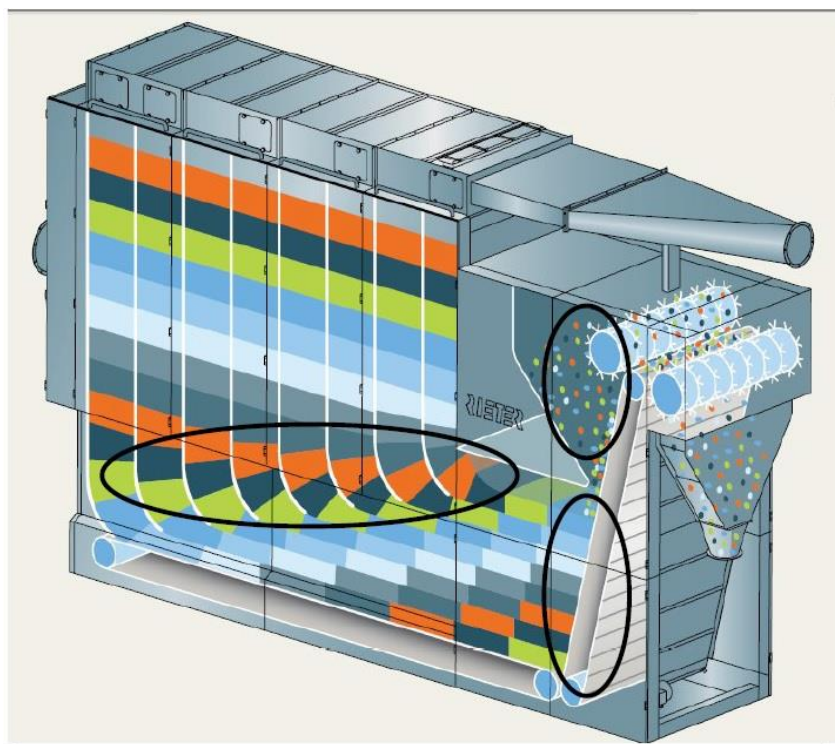
2.1 Směšování vláken

Nejčastěji se směšování vláken provádí ve dvou fázích procesu předení, a to konkrétně v míchání ve vložce a míchání v pramenu. Tyto dva procesy mohou probíhat za pomoci různých metod a zařízení. Toto však nejsou jediné možnosti výroby vícekomponentních přízí, existují další možnosti jako je například výroba jádrových přízí s využitím systému Dref, nebo obeskávání jádra kovovým či nekovovým vláknem. Všechny tyto metody jsou popsány stručně v následujících odstavcích.

2.1.1 Míchání ve vložce

Vložkové míchání probíhá v kontrolovaném a nekontrolovaném stavu. V nekontrolovaném stavu se promíchají náhodně vložky jedné komponenty, které do zařízení přišly automaticky. V kontrolovaném stavu je nutné nejprve odvážit jednotlivé komponenty např.

na rozvolňovacím stroji s automatickým odvažovacím ústrojím a následně probíhá míchání např. na mísicím agregátu. Jak již bylo zmíněno, existuje velké množství strojů, které provádějí operace mísení, jeden z nich je na obrázku 7.



Obrázek 7: Mísicí agregát UNImix – Rieter [21].

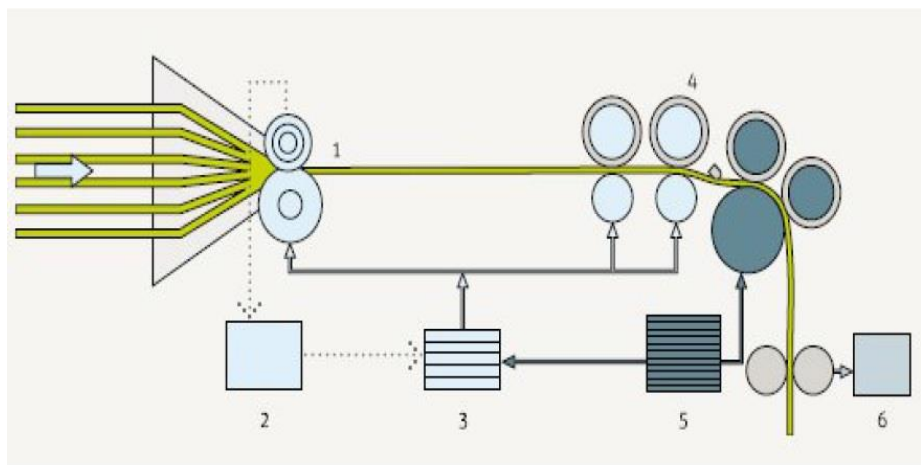
2.1.2 Míchání v pramenu

Další možností, jak vytvořit směsovou přízi je promísit prameny různých komponent v rámci družení a protahování.

Hlavní účel družení a protahování je ztenčování předkládaného vlákenného materiálu, toto však není jediný proces, který při posukování nastává. Dalšími důležitými procesy jsou:

- vlákna jsou v důsledku průtahu paralelizována a napřimována
- při současně probíhajícím družení dochází k zajišťování potřebné hmotné stejnoměrnosti a k promíchání vlákenného materiálu
- v důsledku protahování a družení dochází k utváření nové struktury pramene vhodné pro další zpracování přízi [22].

Družení se provádí z důvodu zajištění potřebné hmotné stejnoměrnosti. Posukovací stroje provádí protahování spolu s družením. Princip posukovacího stroje je vidět na obrázku 8.

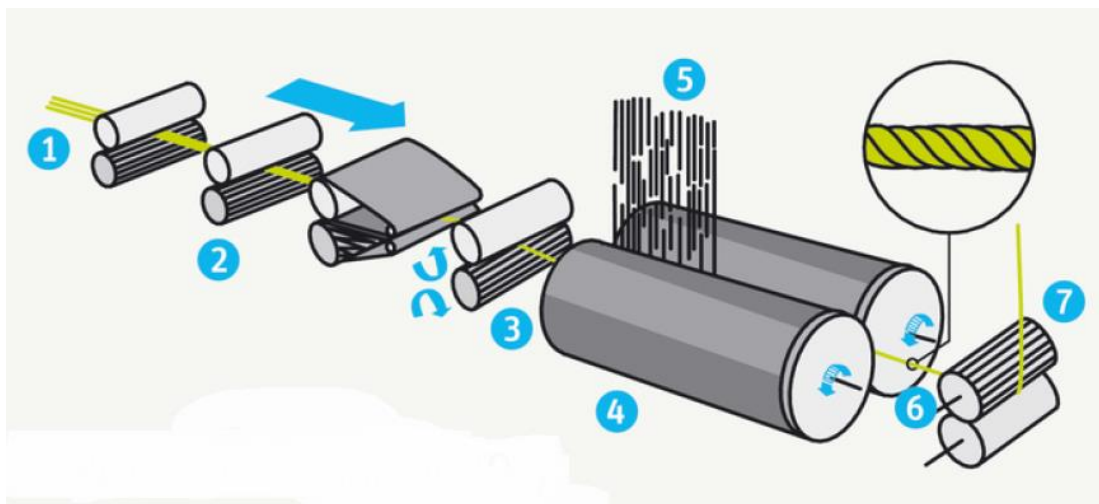


Obrázek 8: Princip vyrovnání hmotné nestejnoměrnosti na posukovacím stroji, kde 1. jsou skenovací disky, 2. představuje digitální zpracování signálu, 3. servo motor, 4. protahovací systém, 5. hlavní motor, 6. monitorování kvality [21].

2.1.3 Další možnosti tvorby vícekomponentních přízí

Dref systém

Dref systém je založen na principu frikčního předení. Struktura výsledné příze je podobná jako u jádrové příze. Jádro sestává z rovnoběžně uložených vláken, nebo filamentů, které jsou bez zákrutu. Vlákná tvořící obalovou vrstvu jsou kolem jádra opředena trvalým zákrutem. Princip výroby Dref přízí je vidět na obrázku 9. Tento systém lze rozdělit na Dref systém 2000 a Dref systém 3000, rozdíl mezi těmito dvěma systémy je v tom, že v případě systému Dref 2000 je přiváděn multifil a v případě systému Dref 3000 se přivádí pramen, kolem něhož se v klínovém prostoru spřádacích bubnů ovíjí vlákna. Frikční příze jsou objemnější než prstencové, mají vysokou tažnost, pevnost příze Dref 2000 je v porovnání s mykanou přízí nižší, zatímco pevnost příze Dref 3000 je ovlivněna vlákny v jádru. Stejnoměrnost je však dostačující natolik, že se z hotové příze nemusí odstraňovat tenká a tlustá místa, odpadá tedy soukání. Příze Dref 3000 jsou využívány hlavně pro technické aplikace.



Obrázek 9: Princip systému Dref 3000[21].

Obeskávaná příze

Obeskáváním jádra jiným materiálem vzniká obeskávaná příze. Mezi nejznámější příze vyrobeny tímto způsobem patří tzv. Leonská nit, kde jádro, nejčastěji vigoňová příze, je obeskávané drátkem z ozdobných kovů kruhového nebo plochého průřezu (viz obrázek 10). K obtáčení se dnes používají také aluxované pásy. Nit vzniká na skacím stroji s podávacím zařízením, které umožňuje průchod základní niti (jádra) za současného vytváření spirály z kovového nebo pokovovaného materiálu, kde lze také nastavit hustotu ovinů kolem jádra.



Obrázek 10: Leonská nit [23].

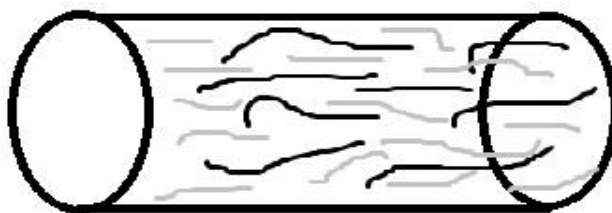
V nynější době je možné i tyto dvě varianty spojit. Jedna z možností je použít skleněné vlákno jako jádro, které se s využitím Dref 3000 opřede směsí kevlaru a polyakrylonitrilu a to celé se obeská měděným drátem.

3. Vlákenné směsi

Obvyklým požadavkem při výrobě směsových přízí je stejnoměrnost promísení, která vede ke stejnoměrnosti mechanicko-fyzikálních vlastností. V některých speciálních aplikacích jako např. u šicích nití je naopak vhodné, pokud se jedna komponenta ukládá do jádra a druhá v povrchových vrstvách. Při mísení různobarevných vláken je kvalita promísení podmínkou stability barevných efektů [24].

3.1 Hodnocení kvality směsování

Směs je běžně chápána jako příze nebo částečně uspořádaný svazek složený z různých typů vláken viz obrázek 11.



Obrázek 11: Vlákenná směs.

Používané označení:

mpočet komponent (složek) ve směsi

m_{ij}(suchá) hmotnost i -té komponenty

ρ_ihustota (měrná hmotnost) i -té komponenty

V_iobjem i -té komponenty

l_iprůměrná délka vláken i -té komponenty

n_i počet vláken i -té komponenty

$m_t = \sum m_{ti}$celková (suchá) hmotnost směsi

$V = \sum V_i$celkový objem směsi

$L_i = n_i \cdot l_i$celková délka i-té komponenty ve směsi

$w_i = m_{ti} / m_t$hmotnostní podíl i-té komponenty

$v_i = V_i / V$ objemový podíl i-té komponenty [24].

Je zřejmé, že charakteristiky směsi budou „jistým“ váženým průměrem charakteristik komponent. Podle použitých vah (hmotnostní nebo objemové podíly) pak budou vycházet různé typy průměrů [24].

Hmotnostní podíl:
$$w_j = \frac{m_{tj}}{m_t} = \frac{m_j}{\sum m_{tj}} = \frac{V_j \rho_j}{\sum V_j \rho_j} = \frac{V v_j \rho_j}{\sum V v_j \rho_j} = \frac{v_j \rho_j}{\sum v_j \rho_j} \quad (1)$$

Objemový podíl:
$$v_j = \frac{V_j}{\sum V} = \frac{\frac{m_{tj}}{\rho_j}}{\sum \frac{m_{tj}}{\rho_j}} = \frac{\frac{w_j m_t}{\rho_j}}{\sum \frac{w_j m_t}{\rho_j}} = \frac{w_j}{\rho_j \sum \frac{w_j}{\rho_j}} \quad (2)$$

Měrná hmotnost směsi z hmotnostních podílů komponent:

$$\rho_w = \frac{m_t}{V} = \frac{m_t}{\sum V_i} = \frac{m_t}{m_t \sum \frac{w_i}{\rho_i}} \quad (3)$$

Měrná hmotnost směsi z objemového podílu: $\rho_v = \sum v_i \rho_i$ (4)

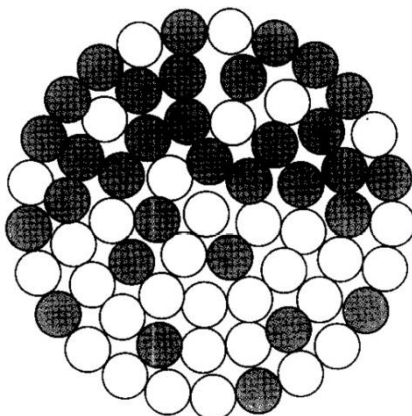
Střední jemnost směsi [tex]: $T_i = \frac{m_{ti}}{l_i n_i} = \frac{m_t w_i}{L_i}$ (5)

Celková délka vláken i-té složky ve směsi: $L_i = n_i l_i = \frac{m_{ti}}{T_i}$ (6)

Ve směšové přízi lze sledovat stejnoměrnost promísení ve směru radiální, axiální a dle hmotnostní stejnoměrnosti.

3.1.1 Radiální směr

Radiální směr vyjadřuje prostorové uspořádání vláken v příčném řezu viz obrázek 12. Z příčného řezu vlákna se zjistí vlastnosti identifikující přízi. Je možno hodnotit stejnoměrnost rozmístění vláken v prostoru daného řezu příze, nebo mezi jednotlivými řezy příze.



Obrázek 12: Příčný řez vlákna.

Index směsování I.B.I (index of blend irregularity)

Příčný řez příze se rozdělí do vhodné sítě a zkoumá se nerovnoměrnost vzhledem ke změně počtu vláken komponent v jednotlivých buňkách. Standardně lze volit uspořádání například do pravoúhlé sítě, nebo radiální výseče o stejném vnitřním úhlu.

Je jasné, že každá síť dokáže zachytit pouze jisté druhy uspořádání svazků vláken. Z polohy vláken je také možné rekonstruovat hustotu pravděpodobnosti jejich výskytu.

Konstrukce sítí a následné zkoumání lokálního chování v buňkách je běžný způsob při vyhodnocování variability náhodných polí. Z důvodu nekonstantnosti zaplnění příze nelze přímo zkoumat lokální změny počtu vláken. Zbývá pouze sledovat lokálně a globálně změny četnostního zastoupení komponent definovaných příslušnými pravděpodobnostmi, respektive jejich odhady na základě relativních četností [24].

Nechť v i -té buňce sítě je počet vláken N_i , z toho N_{1i} je počet vláken jedné komponenty a N_{2i} počet vláken druhé komponenty. Příčný řez vláken je rozdělen do m buněk. Lokální odhad pravděpodobnosti výskytu první komponenty v sekci pak je

$$\alpha_{1i} = \frac{N_{1i}}{N_i} \quad (7)$$

a pro druhou komponentu

$$\alpha_{2i} = \frac{N_{2i}}{N_i} \quad (8)$$

Porovnání lokálních a globálních odhadů pravděpodobnosti pro obě komponenty lze provést na základě testovací statistiky χ^2 testu [24].

$$\chi^2 = \sum \frac{(N_{1i} - \alpha_1 N_i)^2}{\alpha_1 \alpha_2 N_i} \quad (9)$$

Při platnosti hypotéz o náhodném uspořádání vláken v průřezu příze má tato statistika χ^2 rozdělení, které má $\nu = m - 2$ stupně volnosti. Pro analýzu kvality směsování na základě rozdělení příčného řezu do m buněk byl navržen index směsování

$$I.B.I. = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{(N_{1i} - \alpha_1 N_i)^2}{\alpha_1 \alpha_2 N_i}} \quad (10)$$

V tomto případě je již možné realizovat statistickou analýzu indexu I.B.I., kde se vypočítá interval spolehlivosti pro případ náhodného uspořádání vláken v průřezu příze, a následně testovat odchylky od tohoto předpokladu. S použitím průměrných četností podílů, které se získají z řady řezů celé příze, lze získat také index směsování mezi jednotlivými řezy příze, tedy ve směru axiálním [24].

Počet vláken v příčném řezu a jemnost vláken

Příčný řez příze umožní určit počet vláken komponent a hmotnostní podíl komponent. Dále se dají z příčného řezu vláken definovat geometrické vlastnosti. Vlákna mohou mít

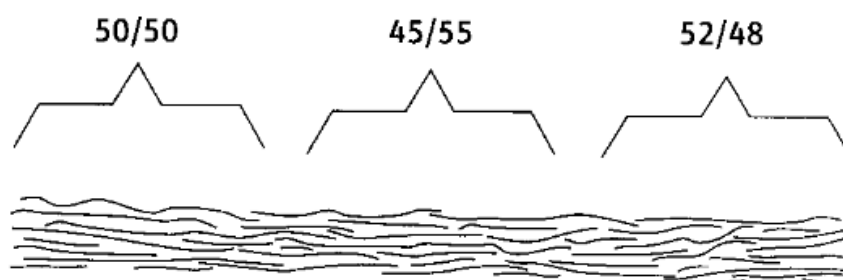
tvary kruhové nebo nekruhové. Kruhové tvary mají ve většině případů vlákna syntetická, nekruhové např.: bavlna. Z tvaru vláken lze získat základní charakteristiky a to jsou plocha S [m²], obvod O [m] a jemnost vláken T [tex]. Jemnost (dévková hmotnost) příze vyjadřuje vztah mezi její hmotností a délkou. Z hlediska geometrie plošné textilie slouží jemnost příze pro určení teoretického průměru vláken.

$$T = \frac{m}{l} = \frac{lS\rho}{l} = S\rho \quad (11)$$

Lze také hodnotit stejnoměrnost rozmístění vláken v prostoru daného řezu příze a mezi jednotlivými řezy příze.

3.1.2 Axiální směr

Nerovnoměrnost v axiálním směru znamená nerovnoměrnost příze v její délce. Způsobuje, že vlákna nejsou rozdělena procentuálně stejně v celé přízi, ale každá část příze obsahuje jiné procento komponent viz obrázek 13. To může vést například k tvorbě proužků, nebo žmolkovatosti na výsledném výrobku. Lze ji měřit s využitím hmotné nestejnoměrnosti viz kapitola 3.2.



Obrázek 13: Nerovnoměrnost příze v axiálním směru.

3.2 Hmotná nestejnomyěrnost příze

Snahou při výrobě přízi je, aby vláknenné produkty z jednotlivých výrobních stupňů byly co nejstejnomyěrnejší. Hmotná nestejnomyěrnost vyjadřuje kolísání hmotnosti [%] po délce příze. Nestejnomyěrnost příze způsobuje nepravidelný vzhled a ovlivňuje vlastnosti příze. Zajišťování stejnoměrnosti se provádí v rozvolňování, mykání, protahování a družení. Kromě hmotné nestejnomyěrnosti a nestejnomyěrnosti jemnosti jsou velmi důležité nestejnomyěrnosti dalších vlastností jako jsou pevnost, tažnost, zákrut apod.. Při zajišťování hmotné nestejnomyěrnosti příze je velmi důležitá kvalita promíchání vláknenného materiálu.

Hmotná nestejnomyěrnost může vzniknout z důvodu nestejnomyého počtu vláken v různých průřezech příze a uspořádáním vláken do svazků příze. Další možností je nestejná jemnost vláken, ze kterých je příze upředena, anebo nedokonalost navázání konců staplových vláken, které na sebe v přízi navazují.

Metody měření nestejnomyěrnosti příze

Nestejnomyěrnost příze se dá měřit diskretně nebo kontinuálně. Diskretní metoda se provádí pomocí rozdělení délkové textilie, v našem případě příze, na x stejně dlouhých úseků, které se zvaží a stanoví se průměrná hodnota, rozptyl, směrodatná odchylka a variační koeficient. Kontinuální metoda se provádí pomocí změny kapacity kondenzátu. Princip je založen na nepřímém měření kolísavé hmotnosti délkové textilie, která prochází mezi deskami kondenzátoru. Délková textilie nahrazuje v kondenzátoru dielektrikum.

Diskretní stanovení nestejnomyěrnosti je dále definována jako lineární hmotná nestejnomyěrnost, která vychází ze statistické rozptylové charakteristiky – lineární odchylky viz vzorec 12 a nebo jako kvadratická hmotná nestejnomyěrnost, která vychází z rozptylu viz vzorec 13, kde p je představuje počet stejně dlouhých úseků z testované příze, m_i znázorňuje hmotnost i -tého úseku příze a \bar{m} je průměrná hmotnost úseku [24].

$$U = \frac{10^2}{\bar{m}} \times \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p |m_i - \bar{m}| \quad (12)$$

$$CV = \frac{10^2}{\bar{m}} \sqrt{\left[\frac{1}{P-1} \sum_{i=1}^P (m_i - \bar{m})^2 \right]} \quad (13)$$

V případě kontinuálního stanovení hmotné nestejnomy, pak původní vztahy, které se používají pro lineární a kvadratickou nestejnomy, přecházejí na tvary 14 a 15.

$$U = \frac{100}{\bar{m}} \times \frac{1}{L} \int_0^L |m(l) - \bar{m}| dl \quad (14)$$

$$CV = \frac{100}{\bar{m}} \times \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (m(l) - \bar{m})^2 dl} \quad (15)$$

Samostatná vlákna jsou ve své tloušťce nestejnomy a nestejnomy jsou i ve své délce, to způsobuje, že hmotná nestejnomy v délkové textilií vždy nějaká bude. Z toho vyplývá, že se teoreticky nelze dostat pod určitou úroveň hmotné nestejnomy. Tato hmotná nestejnomy se nazývá nestejnomy limitní a vypočítá se vztahem 16 a 17, kde T je jemnost příze, v_{di} je variační koeficient průměrů vláken d i-té komponenty, T_{vi} je délková hmotnost vláken i-té komponenty a p_i vyjadřuje hmotnostní podíl i-té komponenty.

$$CV_{lim} = 2,8 \sqrt{\left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (1 + 0,0004 \times v_{di}^2) T_{vi} p_i \right]} \quad (16)$$

$$U_{lim} = 3,5 \sqrt{\left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (1 + 0,0004 \times v_{di}^2) T_{vi} p_i \right]} \quad (17)$$

Praktický význam výpočtu limitní hmotné nestejnomy spočívá v tom, že z nich a z tzv. efektních nestejnomy může být spočítán index nestejnomy viz vzorec 18 [24].

$$I = \frac{U_{ef}}{U_{lim}} = \frac{CV_{ef}}{CV_{lim}} \quad (18)$$

4. Současný stav

4.1 Elektrická vodivost textilních materiálů

Většina textilních vláken patří do skupiny izolantů, to je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázány k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Elektrická vodivost těchto textilií však není úplně nulová a závisí na obsahu vlhkosti. Experimentálně bylo ověřeno, že pro hydrofilní polymery postačuje 1 %-ní obsah vlhkosti, aby jejich vodivost vzrostla o 8 - 10 řádů [25]. Textilní průmysl využívá již léta kovové příze k výrobě textilií. Nejprve se využívaly pro dekorativní účely a v technických odvětvích. Textilní struktury, které vynikají elektrickou vodivostí nebo poskytují elektronickou či výpočetní funkci, se nazývají elektro – textilie [26]. V současné době se kovová vlákna (průměr cca 10 μm) využívají k výrobě tkanin, pletenin, netkaných textilií či při oplétání. Tendence vyvíjet vlákna o co nejmenší jemnosti stále zůstává. K výrobě elektricky vodivých textilií je na výběr velké množství kovů, které jsou popsány v práci [14]. Autorka také popisuje možné slitiny kovů, které se využívají k výrobě vodivých textilií. Dále je v práci popsán přehled elektricky vodivých vláken a textilií, zároveň jsou popsány možnosti výroby vodivých vláken a metody stanovení elektrických vlastností textilií.

4.2 Kovová vlákna staplová

Autoři práce [27] se zabývají problematikou výroby multifunkční textilie se zvýšenou odolností proti elektromagnetickému záření při zachování základních vlastností požadovaných pro běžné nošení, nebo speciální technické účely. Z provedených studií bylo zjištěno, že nejvyšší stínící účinnosti dosahují textilie vytvořené ze 100 % hybridní příze vyrobené směsováním klasických a vodivých staplových vláken. Vodivá staplová vlákna byla přidána ve fázi protahování. Jako klasická nevodivá komponenta byl zvolen polypropylen (délka 50 mm, jemnost 2,2 dtex) a vodivá komponenta staplová nerezová ocelová vlákna o různém obsahu (1 - 75 %, průměr 8 μm , délka 50 mm). Již 3 % vodivé kovové komponenty v textilií zajišťuje stínící účinnost nad 20 dB pro frekvenci 1,5 GHz a

vyšší, což přesahuje požadavky na textilie odolné vůči elektromagnetickému záření pro běžné použití. V porovnání se stínící účinností textilie, kde vodivou komponentu tvoří pouze vodivá mřížka hybridní příze s obsahem 15 % nerezových vláken, dosahuje tkanina nižší stínící účinnosti, a to 12 dB pro frekvenci rovné a vyšší 1,5 GHz (viz obrázek 14).



Obrázek 14: Mikroskopické snímky hybridní příze obsahující 15 % [27].

Je třeba brát v úvahu, že výroba textilie s využitím vodivé mřížky má mnohem nižší výrobní náklady. Dále bylo zjištěno, že pleteniny mají nižší schopnost elektromagnetického stínění v porovnání s tkaninami. Pro dosažení stínící účinnosti kolem 10 dB pro frekvenční pásmo 1 - 1,5 GHz je nutno použít pleteninu obsahující 15 % vodivé komponenty, a to z důvodu použití jemnějších přízí a nižší plošné hmotnosti pletenin v porovnání s tkaninami. V případě modifikace vazby pletenin lze dosáhnout vyšší účinnosti elektromagnetického stínění. Požadovaná stínící účinnost pro oděvy obecného využití splňující průměrný stupeň ochrany se pohybuje v oblasti 7 - 10 dB a pro profesionální použití 30 - 40 dB. Zvýšení počtu vrstev tzv. sendviče má lineární vliv na zvýšení stínící účinnosti. Se zvyšujícím se obsahem vodivé komponenty (nerezového ocelového vlákna) ve vzorku klesá objemová i povrchová rezistivita, z toho vyplývá, že stoupá elektrická vodivost textilie. Jak bylo popsáno v práci [14], zvýšení obsahu kovového vlákna z 1 % na 10 % způsobí pokles rezistivity o 3 řády. Perkorelační práh, který charakterizuje kritický obsah vodivé komponenty, při kterém se chování materiálu začne blížit elektrickému vodiči, byl u tkaných vzorků z hybridních přízí pozorován v oblasti 3 - 5 %.

Pro odstínění elektromagnetického záření je možné využít i vpichovanou netkanou textilii. Netkaná textilie byla vyrobena z polyesterových vláken a nerezových staplových ocelových vláken v různých poměrech. Nejlepší výsledky vykazuje vpichovaná netkaná textilie s 25 % vodivého ocelového vlákna o hodnotách 6 dB při 0 - 300 MHz, 12 dB při 300-1200 MHz a 18 dB při vysoké frekvenci 1200 – 3000 MHz [28]. Mnohé další články [29, 30] se zabývají zjišťováním a porovnáním účinnosti elektromagnetického stínění textilií vyrobených ze směsi staplových vláken polyesteru a nerez-ocelových staplových vláken.

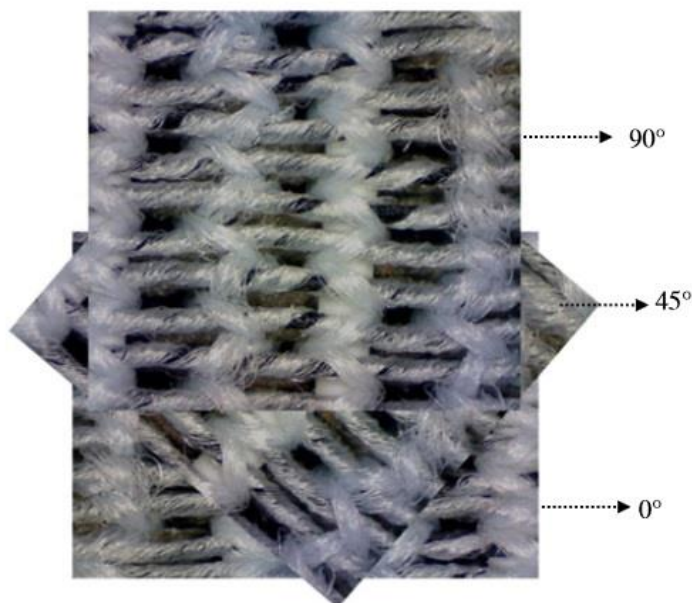
Tyto práce se ve velké míře věnují elektromagnetickému stínění, mechanickým vlastnostem, struktuře příze, ale žádný z uvedených autorů neřeší uspořádání a rovnoměrnost rozložení vláken ve směšované přízi nevodivá komponenta/nerezová ocel.

4.3 Kovová jádrová příze

Autoři práce [31] používají pro konstrukci smart textilií jádrové příze, kde je jádro příze tvořeno měděnými nekonečnými vlákny a plášť je tvořen vlákny bavlněnými. Příze byla vyráběna systémem DREF-3 umožňující omotání bavlněných vláken kolem jádra pomocí nepravého zákrutu. V práci byly připraveny tři různé příze lišící se poměrem jádro/plášť, a to 67/33, 80/20, 90/10 a sledován vliv tohoto poměru jak na mechanické, tak na elektrické vlastnosti a na odstínění elektromagnetického pole. Bylo zjištěno, že příze o poměru 67/33 dosahují nejvyšší pevnosti (3,27 cN/tex) a tažnosti (5,27 %) v porovnání s ostatními přízemi. Bylo zjištěno, že tyto jádrové příze obsahující jako vodivou komponentu měděná vlákna mají velmi nízký elektrický odpor, který se pohybuje v rozmezí 3 – 28 Ω . Z těchto jádrových přízí byly utkány textilie, kde útek i osnovu tvořily jádrové příze a jádro bylo tvořeno měděnými vlákny. Dále bylo zjištěno, že nevyššího elektromagnetického stínícího účinku 36 dB při frekvenci 760 – 860 MHz dosahuje textilie při použití příze o poměru 67/33 jádro/plášť. Použití vyvinutých a otestovaných přízí se zdá být perspektivní k vývoji elektricky vodivých tkanin zejména v oblasti elektromagnetického stínění, dále pak v oblasti vojenské, lékařské, telekomunikační a zdravotnické.

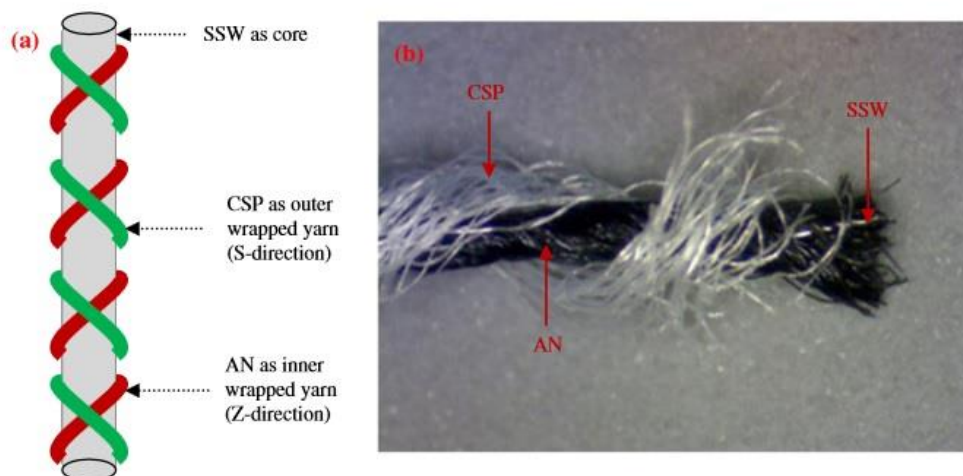
Vývojem a použitím jádrových přízí obsahujících jako jádro vodivou komponentu se zabývá také práce [32] zkoumající vliv anizotropie struktury zátažné pleteniny na účinnost

elektromagnetického stínění pletenin. Jádrová příze je složená z jádra - nerezového ocelového drátu a pláště – bavlny. Bylo zjištěno, že účinnost elektromagnetického stínění závisí nejen na množství vodivé složky, v tomto případě nerezového ocelového vlákna, ale i na orientaci vodivé složky ve vztahu ke směru šíření elektromagnetického pole. 3 odlišné úhly pletenin jsou znázorněny na obrázku 15.



Obrázek 15: Schéma třívrstvé zátažné pleteniny s $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ úhly jednotlivých vrstev [27].

Autor práce [33] se zabývá osnovní pleteninou složenou z jádra – nerezového kovového drátu a pláště, polyesterových vláken (CSP) spolu s antibakteriálním nylonem (AN). Při výrobě příze se využívá tzv. criss-cross-section, viz obrázek 16. Ze studie vyplývá, že zvyšování obsahu kovových vláken v jednom směru neposkytuje lepší elektromagnetické stínění, nicméně vícevrstvé pleteniny by mohly pod různými úhly zlepšit úroveň stínění. Na rozdíl od elektromagnetického stínění obsah kovových vláken může zlepšit antistatické vlastnosti osnovních pletenin.



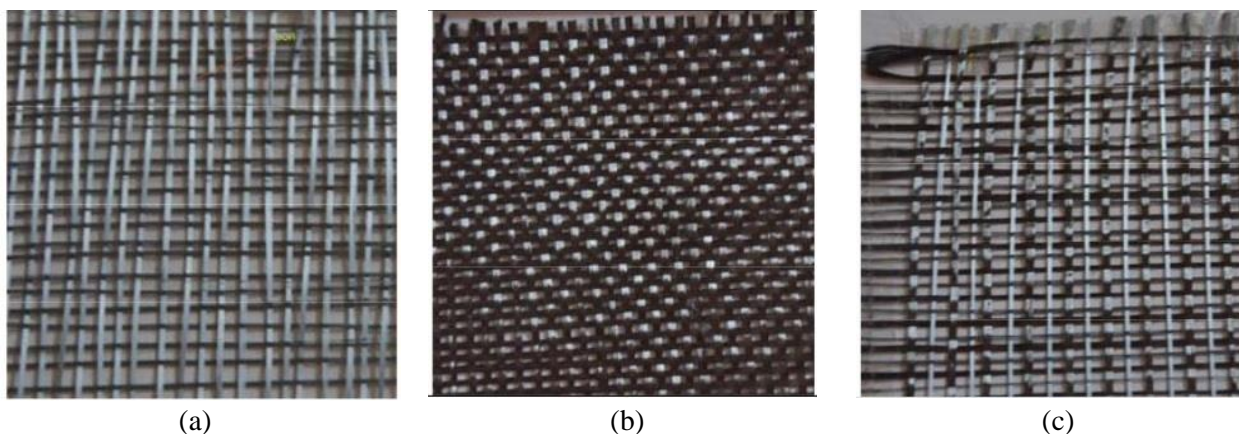
Obrázek 16: (a) Schéma znázornění Criss-cross-section, (b) reálný snímek vytvořené příze [33].

4.4 Pokovená vlákna

Jednou z dalších možností výroby elektricky vodivých příze je pokovování. Vakuovým pokovováním se zabývá autor [34], který na polyesterovou folii o tloušťce 12 μm nanasl různé vrstvy kovů (stříbro, měď, hliník, titan). Fólie byla následně nařezána na filameny o tloušťce 0,254 mm. Filameny byly kombinované s polyesterovými přízemi a z nich byla následně utkána tkanina. Obecně bylo zjištěno, že čím je větší tloušťka kovové vrstvy, tím je lepší elektromagnetické stínění. Konkrétně studie ukázala, že při stejných nanesených tloušťkách kovů nejlepší elektromagnetické stínění dosahovalo stříbro, druhá měď, třetí hliník a na posledním místě titan. Další možností výroby pokovených vláken je chemické nanášení kovu pomocí katalýzy. Studie [35] popisuje tkaninu v plátňové vazbě vyrobenou ze 100% bambusových vláken, která je následně pokovena částicemi mědi. Pokovení mědi bylo provedeno katalyticky zlatem nebo olovem. Bambusová tkanina pokovená mědi katalyticky pomocí zlata má kompaktnější vrstvu mědi, tedy lepší elektrickou vodivost, větší mechanickou pevnost v tahu a vyšší efektivitu elektromagnetického stínění než u využití katalýzy pomocí olova. V článku [36] je popsáno využití komerčně dostupných stříbrem pokovených polyamidových vláken o jemnosti 1,7 dtex na přípravu vpichované netkané textilie. Výsledná textilie o tloušťce 1,98 mm a plošné hmotnosti 77 g/m^2 dosáhla hodnoty elektromagnetického stínění 36,53 dB při frekvenci 3000 MHz.

4.5 Uhlíková vlákna

Pro odstínění elektromagnetického záření je možné využít také textilie vyrobené z uhlíkových vláken. Tuto problematiku řeší například autor práce [37], kde se zabývá výrobou kompozitních tkanin v plátnové vazbě a zjišťování jejich účinnosti odstínění elektromagnetického záření. Byly vytvořeny tři vzorky: borová tkanina, uhlíková tkanina a třetí bor-uhlíková tkanina, kde jedna soustava byla z borových vláken a druhá z uhlíkových viz obrázek 17. Tyto tkaniny byly použity pro přípravu kompozitů. Jako matrice byla zvolena polyesterová pryskyřice.



Obrázek 17: Tkaniny v plátnové vazbě (a) borová tkanina, (b) uhlíková tkanina, (c) bor-uhlíková tkanina [36].

Testování probíhalo na 3 frekvencích: na nízké frekvenci 15 - 600 MHz, střední frekvenci 600 - 1200 MHz a na vysoké frekvenci 1200 - 3000 MHz. Z výzkumu je patrné, že všechny tkaniny i kompozity mají účinnosti přes 15 dB při nízké frekvenci 15 – 600 MHz, 20 dB při frekvenci 600 – 1200 MHz a při vysoké frekvenci 10 dB. Všechny tkaniny vykazují lepší elektromagnetické stínící účinky než jejich kompozity, to je zapříčiněno tím, že matricový materiál – polyesterová pryskyřice se chová jako izolátor. Nejlepší elektromagnetické stínící účinky vykazovala tkanina s karbonovými vlákny a její kompozit mezi 15 - 600 MHz. Nejhorší při této frekvenci byla tkanina borová.

4.6 Vodivé polymery

Další možností výroby elektricky vodivých textilií je pokovování a povrstvování vodivými polymery, či vodivými částicemi. Práce [38] popisuje chemické povrstvení hedvábné tkaniny roztokem vodivého polypyrrolu. K procesu polymerace dochází pouze na povrchu vláken, nikoliv v objemu. Vnitřní struktura a molekulární konformace hedvábí nejsou ovlivněny. Bylo zjištěno, že vytvořený kompozitní materiál má výrazně vyšší tepelnou stabilitu a výrazně lepší elektrické vlastnosti než čisté hedvábí. Výsledky také ukázaly na vysokou afinitu polypyrrolu k hedvábí, což umožňuje použití nízké koncentrace monomeru a mírné reakční doby. Další z autorů [39] popisuje chemickou polymeraci ve vodném roztoku anilinu na polyamid u pletené žebrované pleteniny. Autor zjistil, že pevnost neošetřené pleteniny v přetrhu je 442,5 kPa, zatímco pevnost pleteniny ošetřené 0,5 M anilinu je 306,7 kPa, u 0,8 M je 331,5 kPa a u 1,2 M je 337,9 kPa. Z toho vyplývá, že pletenina ošetřená anilinem má výrazně nižší pevnost, než pletenina před ošetřením. Zdá se, že při elektromagnetickém stínění neexistuje přímý vztah mezi stíněním a koncentrací anilinu. Nejlépe dopadl vzorek, který byl ošetřen 0,5 M anilinu s hodnotou 6,7 dB, 0,8 M dosáhl 0,3 dB, a nejhoršího výsledku dosáhl vzorek s 1,2 M hodnoty 0,8 dB, všechny při frekvenci 2200 - 2300 MHz. Problematika optimalizace procesních parametrů polymerizačního procesu, jako je polymerizační teplota, koncentrace oxidačního činidla a polymerizační čas je řešena v práci [40]. Nejvyšší elektrické vodivosti bylo dosaženo při vystavení polyesterové tkaniny 50% vodnému roztoku pyrrolu po dobu 2 hodin.

4.7 Další použití elektricky vodivých textilií

Většina zmíněných autorů popisují elektrickou vodivost s cílem odstínit elektromagnetické záření, to však není jediné využití elektricky vodivých přízí. Například autor [41] popisuje vytápění vytvořené z elektricky vodivého textilu. Testuje dva vzorky: první vzorek je hybridní příze složená z nerezové oceli a polyesteru a druhý vzorek polyester pokovený částicemi mědi. Ze studií vychází, že hybridní příze dosahují vysokých hodnot elektrické rezistivity, a proto nejsou vyhovující. Polyester pokovený částicemi mědi je schopen vést proud a ohřát se, což je způsobeno tím, že má malý elektrický odpor. Vzorek je schopen se zahřát na 39 °C při použití napětí 5,5 V, je tedy vyhovující pro toto využití. Tyto příze se

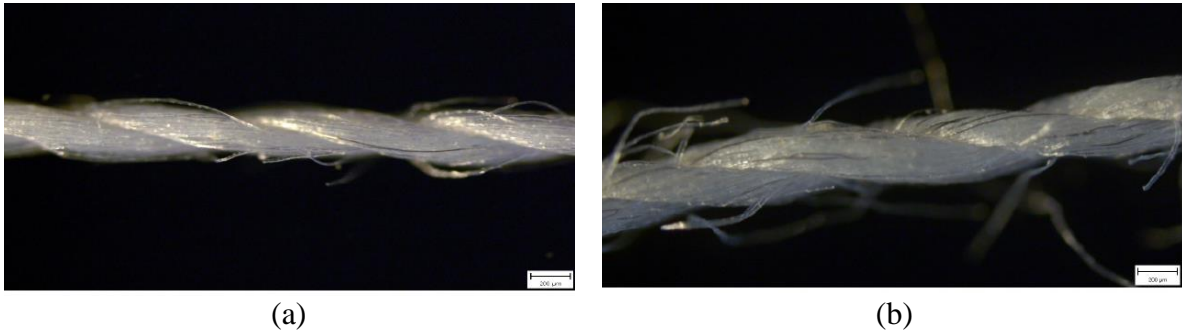
vyvíjejí z důvodu vytvoření textilie, která bude následně využívána k vyhřívání lůžek nemocničním pacientům. Jako další užití bychom mohli uvést článek [42], který popisuje výrobu ochranného stínícího materiálu proti záření X-RAY, neboli proti rentgenovému záření, které se využívá hlavně v lékařství. K výrobě využívá těžkých kovů jako je wolfram, bismut, cín a měď. Bylo zjištěno, že wolfram má nejvyšší schopnost stínění oproti ostatním kovům. Výsledný stínící materiál je tedy lehčí a tenčí pro stejnou úroveň ochrany při porovnání s ostatními testovanými kovy. Dalším využitím elektricky vodivých přízí se zabývá autor [43], který využívá jádrovou přízí k odvodu statické elektřiny.

5. Experimentální část

Experimentální část se bude zabývat zkoumáním hybridních přízí, kde budou nejprve zjištěny základní geometrické a mechanické vlastnosti obou komponent. Dále budou popsány možnosti tvorby příčných řezů hybridních přízí. Jelikož jsou obě komponenty velmi rozdílné, bude tvorba příčných řezů stěžejní částí této práce. Další podkapitola se bude zabývat segmentací jednotlivých vláken, jelikož vlákna v příčném řezu se vzájemně dotýkají a pro vyhodnocení je nutné vlákna osamostatnit. Jako poslední bod experimentální části bude provedena prostorová analýza, která vyhodnotí grafické metody hodnocení prostorového uspořádání vláken v přízi spolu se statistickými odhady (G , F , K funkce) prostorových závislostí pro posuzování prostorového uspořádání obou komponent v přízi. Pro objektivní vyhodnocení bude použito testování hypotéz s využitím horní a spodní obálky k funkci K .

5.1 Hybridní příze

Směsováním klasických polypropylenových vláken s vlákny z nerezové oceli byla vytvořena hybridní jednoduchá příze. K výrobě přízí byla použita nerez ocelová vlákna obchodní označení Bekinox vyráběná belgickou společností Bekaert. Mezi hlavní komponenty této slitiny patří: Fe 68%, Cr 18%, Ni 12% a Mo 2%. Hybridní příze byly navrženy a vyrobeny ve spolupráci s firmou Sintex, a.s.. Bylo využito bavlnářského technologického postupu výroby přízí zahrnující přípravu k předení, mykání, protahování, předpřádání a dopřádání. Pramen se staplovým kovovým vláknem byl vložen do výrobního procesu ve fázi protahování. Hybridní příze byly vyrobeny s různým obsahem vodivé komponenty o jemnosti 25 tex. Obsah vodivé komponenty v přízi byl v rozmezí 1 – 20% (viz obrázek 18). Pro tuto práci byly analyzovány příze s obsahem vodivé komponenty 20%.



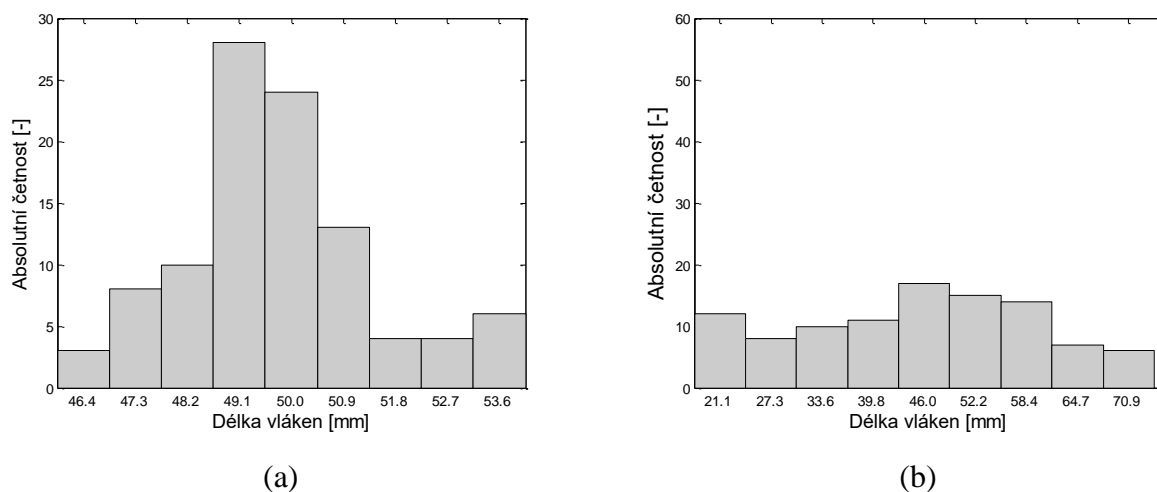
Obrázek 18: Mikroskopické snímky hybridní příze s obsahem vodivé komponenty (a) 1%, (b) 20%.

5.1.1 Geometrické charakteristiky vláken

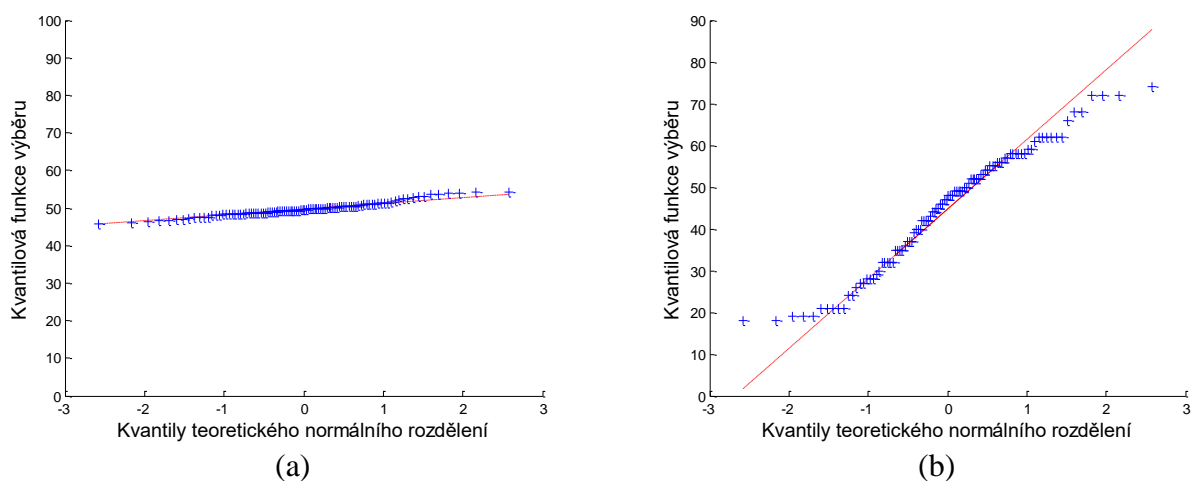
Cílem této podkapitoly bylo prozkoumat základní geometrické vlastnosti jednotlivých komponent, jelikož polypropylenová vlákna jsou odlišná od nerez ocelových vláken. Bylo tedy žádoucí zjistit, jako moc jsou komponenty od sebe rozdílné.

Délka vláken

Délka vláken byla měřena přímou metodou s využitím skleněné desky. Měření probíhalo podle normy ČSN 80 0201. K dispozici byly vzorky jak polypropylenových, tak nerez ocelových vláken, které byly vytahovány z pramene a natahovány na černou skleněnou desku s adhezivem. Jako adhezivo byl zvolen glycerin, který zajistil narovnaný stav jednotlivých vláken po dobu měření. Takto narovnaná vlákna byla pomocí milimetrového pravítka změřena a zaznamenána. Měření bylo opakováno 100 krát. Na obrázku 19 jsou zobrazeny histogramy, na kterých jsou vidět absolutní četnosti délky vláken polypropylenových viz obrázek 19(a), nerez ocelových obrázek viz 19(b). Předpoklad normality byl potvrzen graficky s využitím Q-Q grafů (obrázek 20). K objektivnímu hodnocení normality byl použit Lilietest. Z provedených šetření vyplývá, že data se řídí normálním rozdělením. Pro další interpretaci výsledků byl pro odhad střední hodnoty zvolen aritmetický průměr a 95% intervaly spolehlivosti. Průměrné hodnoty délky vláken obou komponent spolu se směrodatnou odchylkou a 95% intervalem spolehlivosti jsou zobrazeny v tabulce 2.



Obrázek 19: Histogram četností pro (a) vlákna polypropylenová, (b) vlákna nerez ocelová.

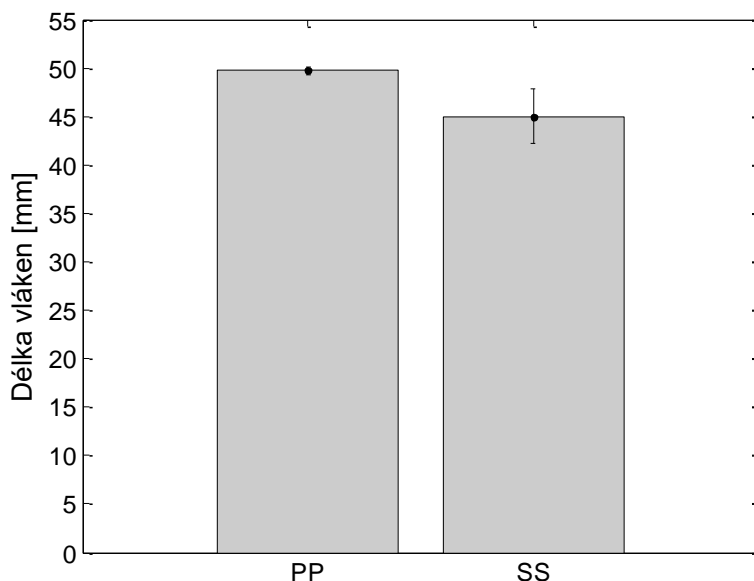


Obrázek 20: Q-Q graf délky vláken (a) vlákna polypropylenová, (b) vlákna nerez ocelová.

Tabulka 2: Základní statistické charakteristiky délky vláken obou komponent.

	Polypropylenová vlákna	Nerez ocelová vlákna
\bar{x} [mm]	49,73	45,02
s [mm]	1,86	14,53
95% IS [mm]	49,36 - 50,1	42,16 - 47,88
v [%]	3,74	32,26

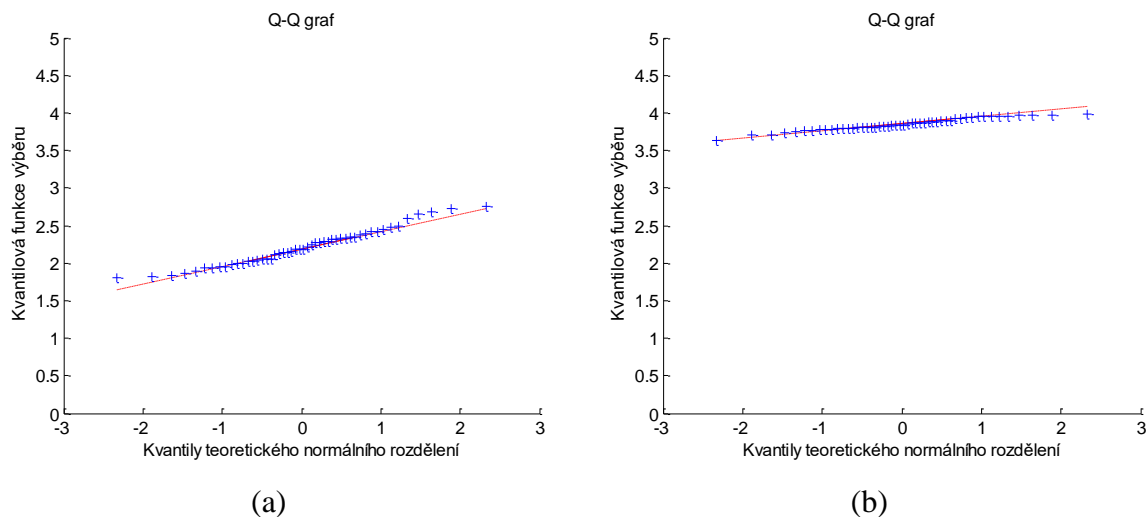
Ze sloupcového grafu, který je znázorněn na obrázku 21, ve kterém jsou zobrazeny průměrné hodnoty délky vláken spolu s 95% intervalem spolehlivosti, lze usuzovat, že polypropylenová vlákna jsou delší ($l=49,72$ mm), než vlákna nerez ocelová ($l=45,02$ mm), čemuž odpovídá nepřekrývající se 95% interval spolehlivosti. Dále lze pozorovat, že polypropylenová vlákna mají nižší variabilitu ve srovnání s vlákny nerez ocelovými.



Obrázek 21: Sloupcový graf se znázorněnou délkou vláken spolu s 95%IS pro polypropylenová a nerez ocelová vlákna.

Jemnost vláken

Jemnost vláken byla zjištěna pomocí přístroje Vibroskop 400, který pracuje na principu vynucených kmitů vláken. Podle frekvence kmitání vlákna a předpětí byla automaticky stanovena jemnost vlákna v [dtex]. Před provedením zkoušky bylo nastaveno předpětí, které je uvedeno v normě ČSN EN ISO 1973, v tomto případě předpětí odpovídalo 200 mg. Měření jemnosti bylo opakováno padesátkrát pro každý druh materiálu. Výsledky zkoušky jsou vidět v tabulce 3 a 4. Předpoklad normality byl potvrzen graficky s využitím Q-Q grafů (obrázek 22). Objektivnímu hodnocení normality bylo testováno s využitím Lilietestu. Z provedených šetření vyplývá, že data se řídí normálním rozdělením. Pro další interpretaci výsledků byl pro odhad střední hodnoty zvolen aritmetický průměr a 95% intervaly spolehlivosti.



Obrázek 22: Q-Q graf jemnosti vláken (a) polypropylenových, (b) nerez ocelových.

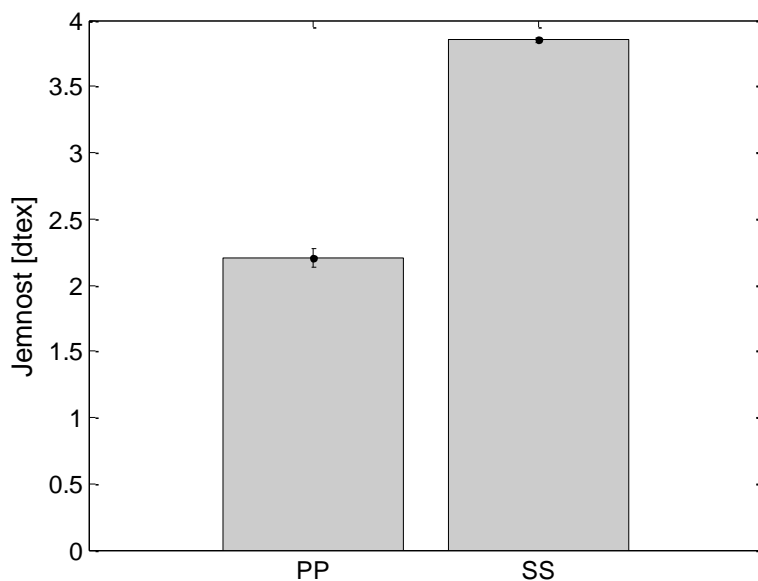
Tabulka 3: Naměřené vlastnosti na přístroji Vibroskop 400 a Vibrodyn 400 pro PP.

	Jemnost [dtex]	Pevnost [cN]	Poměrná pevnost [cN/tex]	Tažnost [%]	Youngův modul pružnosti [cN/dtex]
\bar{x}	2,2	8,21	37,49	73,29	29,19
s	0,25	0,81	2,51	19,11	3,92
v [%]	11,36	9,87	6,70	26,07	13,43
95% IS	2,13 - 2,27	7,97 - 8,44	36,77 - 38,22	67,77 - 78,80	28,06 - 30,32

Tabulka 4: Naměřené vlastnosti na přístroji Vibroskop 400 a Vibrodyn 400 pro SS.

	Jemnost [dtex]	Pevnost [cN]	Poměrná pevnost [cN/tex]	Tažnost [%]	Youngův modul pružnosti [cN/dtex]
\bar{x}	3,85	5,52	14,35	1,29	111,56
s	0,08	0,55	1,40	0,11	18,94
v [%]	2,08	9,96	9,76	8,53	16,98
95% IS	3,83 - 3,87	5,36 - 5,68	13,95 - 14,76	1,26 - 1,32	106,10 - 117,03

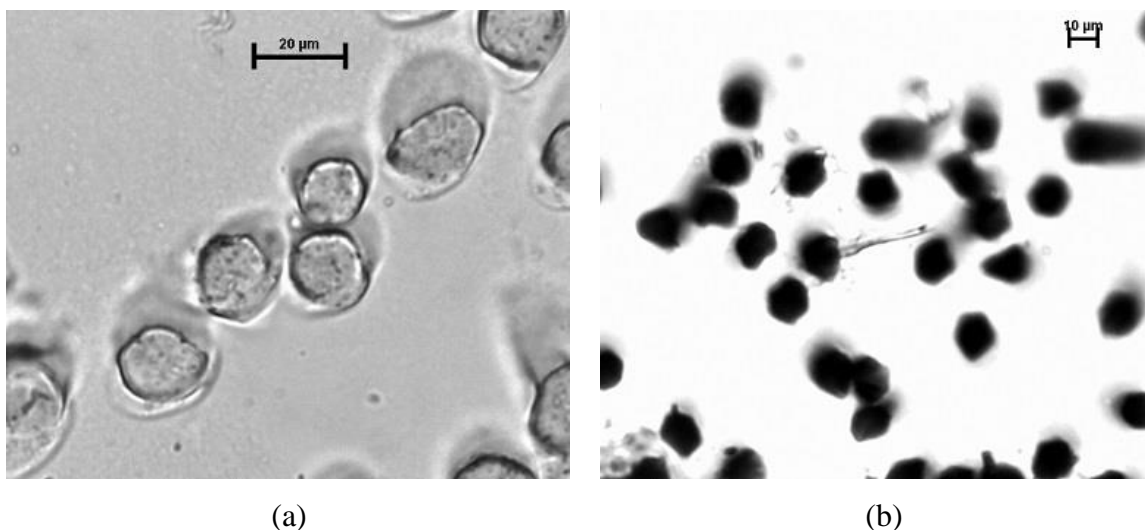
Na obrázku 23 je viditelné, že jemnost polypropylenových vláken je značně nižší, než jemnost vláken nerez ocelových. Protože se 95% intervaly spolehlivosti nepřekrývají, lze tvrdit, že jemnost PP a SS vláken je statisticky významně rozdílná.



Obrázek 23: Porovnání jemnosti polypropylenových a nerez ocelových vláken.

Tvar příčného řezu

Tvar příčného řezu je důležitým faktorem, který ovlivňuje jak užité, tak zpracovatelské vlastnosti výsledné příze. Z tohoto důvodu byl vytvořen měkký řez jak polypropylenových vláken, který je vidět na obrázku 24(a), tak nerez ocelových vláken, viz obrázek 24(b). Tvorba příčných řezů probíhala podle interní normy IN 46-108-01/01 – doporučený postup tvorby příčných řezů. Postup tvorby řezu byl následující: materiál se musel nejprve zafixovat, aby nedošlo k rozkroucení a zkreslení výsledků zkoušky. Nejprve byl svazek vláken navázán s využitím pomocné nitě a naimpregnován disperzním lepidlem. Impregnace byla provedena 3x po sobě s odlišnou koncentrací lepidla, vždy s 24 hodinovým odstupem z důvodu zaschnutí lepidla. Disperzní lepidlo muselo proniknout mezi vlákna a zafixovat jejich polohu. Když byl vzorek takto připraven, mohlo se přistoupit k samotnému testování. Vzorek byl upevněn do mikrotomu, kde byla nastavena tloušťka řezu, a provedlo se řezání. To bylo provedeno pomocí žiletky a bylo opakováno přibližně 50x. Řezání polypropylenových vláken probíhalo bez komplikací, zatímco řezání vláken nerez ocelových působilo značné problémy, jelikož vlákna byla tzv. vytahována.



Obrázek 24: Příčný řez (a) polypropylenových vláken, (b) nerez ocelových vláken.

Obloučkovitost vláken

Obloučkování, nebo-li kadeření vláken je důležitá vlastnost, který výrazně ovlivňuje zpracovatelské, často i finální vlastnosti textilních útvarů. Určuje např. vlastnosti a soudržnost přástu nebo pavučiny na mykacím stroji a podobně. Postup zjišťování počtu obloučků byl proveden podle normy ČSN 80 0202, kde byla jednotlivá vlákna položena na šikmou desku a bylo aplikováno předpětí, podle výše zmíněné normy. Takto připravená vlákna byla opatrně volným pohybem přiložena k pravítku. Následně se spočítal počet obloučků na 1cm. Toto bylo provedeno 50x pro vlákna polypropylenová a 50x pro vlákna nerez ocelová. Z těchto hodnot byl vypočten průměrný počet obloučků na 1 cm, čemuž odpovídá 4,72, zaokrouhleně na 5 obloučků na 1 cm u vláken nerez ocelových a 10,08, zaokrouhleně 10 obloučků na 1 cm u vláken polypropylenových.

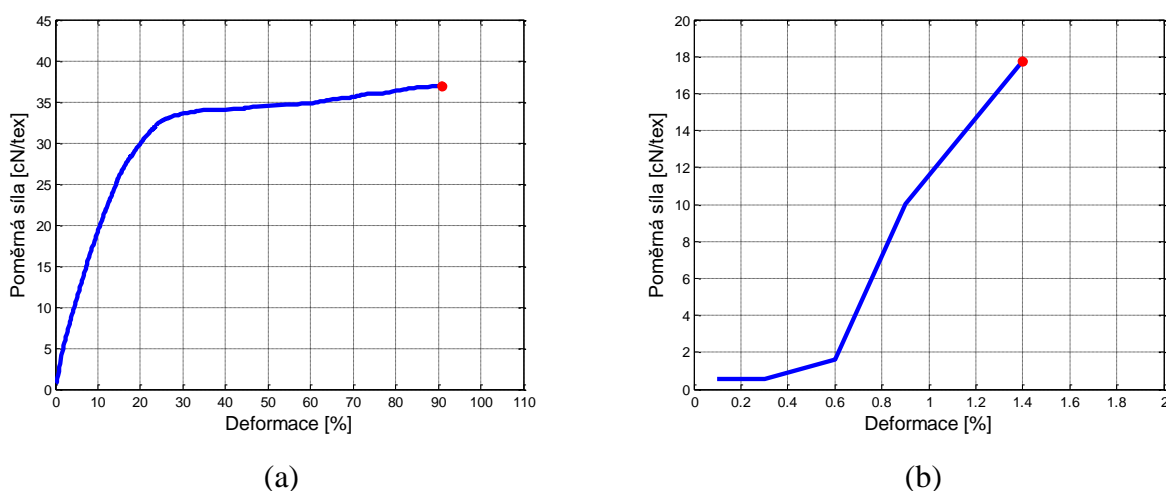
Tabulka 5: Naměřené hodnoty obloučkovitosti pro vlákna polypropylenová a nerez ocelová.

	PP	SS
\bar{x}	10,08	4,72
s	1,54	0,86
v [%]	15,24	18,18
95% IS	9,64 – 10,51	4,48 – 4,96

5.1.2 Mechanické charakteristiky vláken

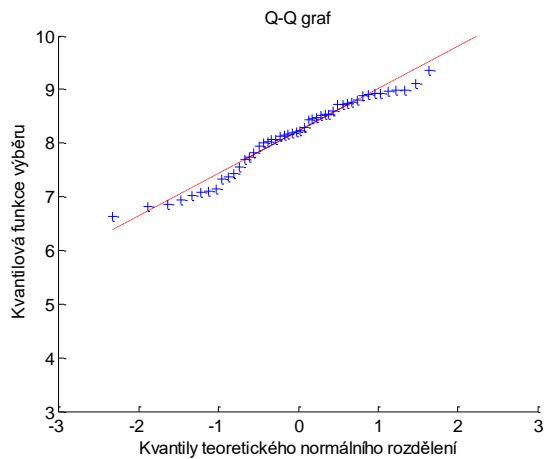
Pevnost a tažnost vláken

Zkouška pevnosti a tažnosti vláken probíhala podle normy ČSN EN ISO 5079 s využitím přístroje Vibrodyn 400, který funguje na principu dynamometru s konstantním přírůstkem deformace. Upínací délka byla nastavena na 10 mm a rychlost posuvu čelistí 10mm/min. Průměrné hodnoty pevnosti, poměrné pevnosti a tažnosti jsou zaznamenány v tabulce 3 a 4. Na obrázku 25 jsou zaznamenány pracovní křivky, které ukazují, že polypropylenová vlákna mají větší pevnost než vlákna nerez ocelová.

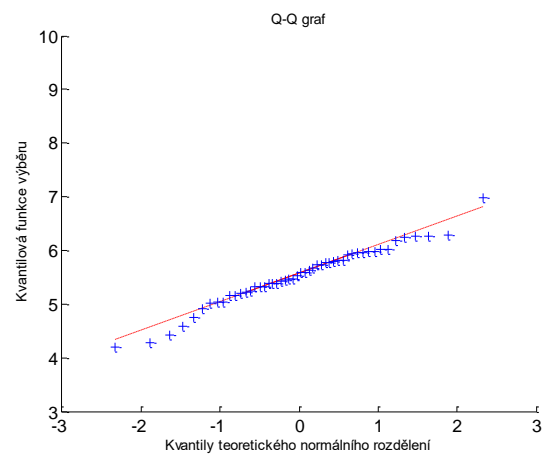


Obrázek 25: Pracovní křivky pro (a) polypropylenová vlákna, (b) nerez ocelová vlákna.

Dále bylo testováno, zda data pocházejí z normálního rozdělení. Bylo využité grafického znázornění Q-Q grafů (obrázek 26 a 27). K objektivnímu hodnocení normality byl použit Lilietest. Z provedených šetření vyplývá, že data se řídí normálním rozdělením. Pro další interpretaci výsledků byl pro odhad střední hodnoty zvolen aritmetický průměr a 95% intervaly spolehlivosti.

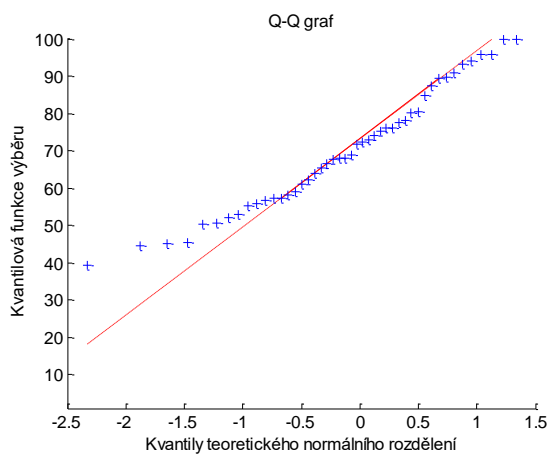


(a)

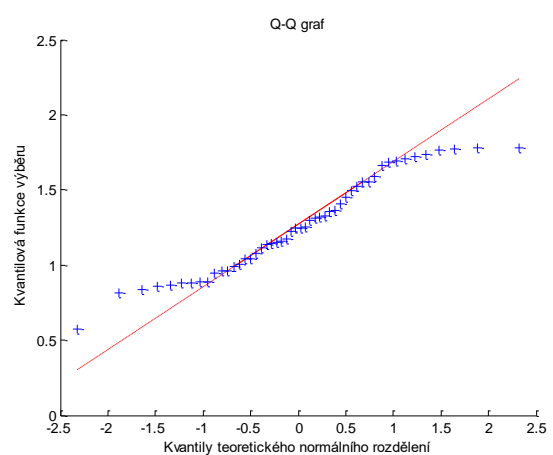


(b)

Obrázek 26: Q-Q graf pevnosti (a) polypropylenových vláken, (b) vláken nerez ocelových.



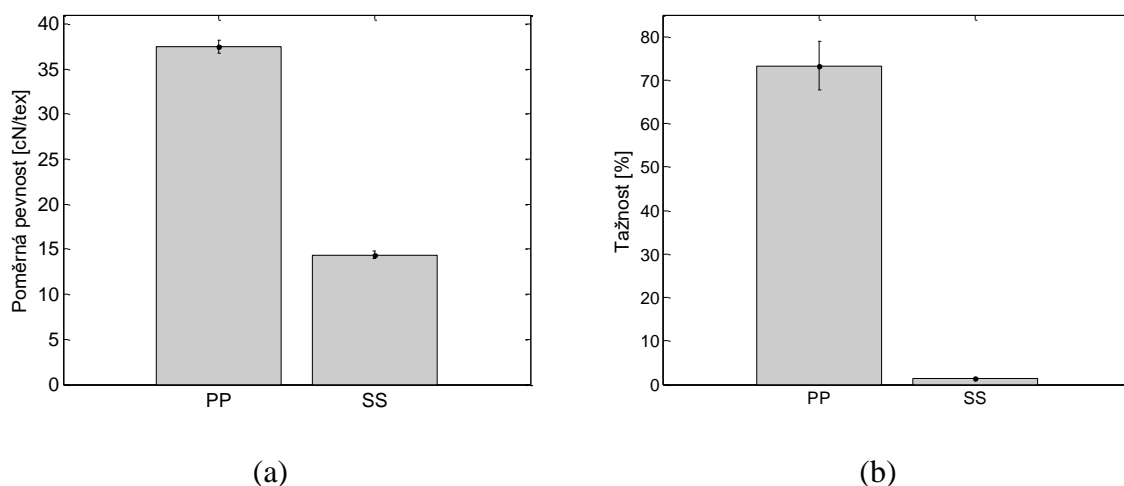
(a)



(b)

Obrázek 27: Q-Q graf tažnosti (a) polypropylenových vláken, (b) vláken nerez ocelových.

Dále bylo zjištěno, že polypropylenová vlákna mají podstatně vyšší poměrnou pevnost než vlákna nerez ocelová (viz obrázek 28), celkem o 23,14 cN/tex. Zároveň je pozorovatelné, že polypropylenová vlákna mají o 72% větší tažnost než vlákna nerez ocelová. Jelikož se 95% intervaly spolehlivost nepřekrývají, můžeme tvrdit, že v tažnosti polypropylenových a nerez ocelových průměrných hodnotách je statisticky významný rozdíl. Dále je z obrázku 28(b) vidět, že polypropylenová vlákna mají mnohem větší variabilitu tažnosti, než vlákna nerez ocelová.



Obrázek 28: (a) Sloupcové grafy poměrné pevnosti, (b) sloupcové grafy tažnosti.

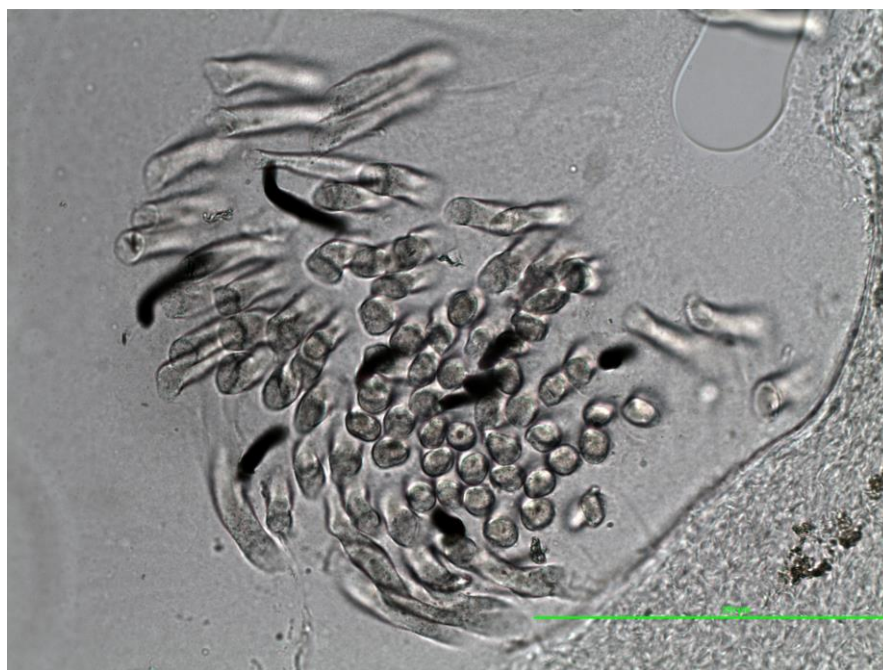
5.2 Možnosti získání řezů

V této kapitole budou stručně popsány vyzkoušené možnosti získání příčných řezů příze. Jelikož hybridní příze se skládá ze dvou rozdílných komponent, bylo nutné nalézt vhodnou metodu tvorby kvalitních řezů, které budou použity pro získání obrazů řezů a následný popis distribuce vláken v přízi.

5.2.1 Měkké řezy zalité v bločku

Měkké řezy byly provedeny podle interní normy IN 46-108-01/01 Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci. Při tvorbě měkkých řezů byla hybridní příze nejprve naimpregnována směsí disperzního lepidla. Impregnace proběhla celkem 3x po sobě, s odlišnou koncentrací lepidla, vždy s 24 hodinovým odstupem z důvodu zaschnutí lepidla. V tomto kroku je velmi důležité, aby lepidlo proniklo mezi vlákna a zafixovalo jejich polohu. Dále byl vzorek vložen do plechové vaničky, které byly stěny oblepeny lepící páskou, což zabraňuje úniku směsi vosku. Takto připravený vzorek ve vaničce byl zalit rozehrátou směsí včelího vosku a parafínu v poměru 2:3. Jakmile směs vosku a parafínu ve vaničce zaschla, vzorek byl vložen do mrazničky při teplotě -18°C po dobu 24 hodin. Zmrazené bločky byly po 24 hodinách vyjmuty z mrazničky a seříznuty žiletkou do tvaru pyramidy (čtyřboký jehlan), kde vznikla pravidelná ploška s hybridní přízí uprostřed plošky. Takto připravený vzorek byl vložen do mikrotomu. Dále se do mikrotomu upevnil

nůž a byla seřízena jeho plocha vzhledem k vzorku. Při tvorbě řezu je podstatné, aby jak vzorek, tak nůž byly optimálně zmrazeny a aby byl nůž velmi ostrý. Když je vše takto připravené, přistoupí se k provádění řezů. Jednotlivé řezy o tloušťce 4-5 mm tvoří pásek, který je sejmut jehličkou na podložní sklíčko a zakápně se xylenem (xylen rozpustí vosk). Podložní sklíčko se následně vloží pod optický mikroskop a z jednoho bločku se vybere vždy pouze jeden řez. Optický mikroskop Nikon eclipse E200 byl propojen přes digitální kameru Imaging Source DFK 23U445 s počítačem, kam byly řezy ukládány. Obrazy příčných řezů byly nasnímány o velikosti 1360 x 1024 pixelů (reálná velikost 0,855 x 0,643 mm) v barevné škále RGB.



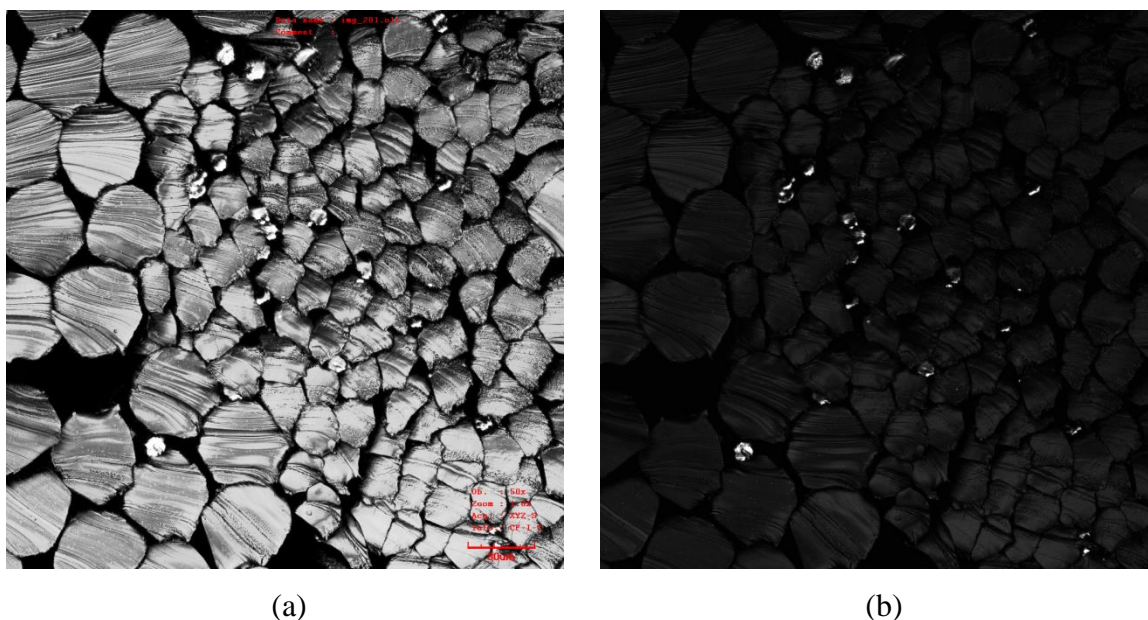
Obrázek 29: Měkký řez hybridní příze.

Na obrázku 29 je měkký řez hybridní příze, kde je vidět, že nerez ocelová vlákna (černá vlákna) jsou vytahována, což je nežádoucí pro následující vyhodnocování. Tato metoda tvorby řezů je velmi časově náročná a nepřináší požadované výsledky.

5.2.2 Řezy z destičky pozorované v konfokálním mikroskopu

V tomto případě byla hybridní příze protažena skrz kovovou destičku a byl proveden řez. Takto připravený vzorek se vložil do konfokálního mikroskopu Lext OLS 3000. Princip

konfokálního mikroskopu je následující: vzorek je osvětlován bodovým zdrojem světla, tím je laserový paprsek fokusovaný na clonku, která je pak objektivem mikroskopu zobrazena na vzorek do bodu o průměru rovnající se rozlišovací schopnosti objektu (tzv. difrakční mez). Tentýž objektiv pak sbírá světlo vzorkem odražené nebo rozptýlené, popřípadě jeho fluorescenci. Po zpětném průchodu tohoto sekundárního záření objektivem vznikne další obraz bodové clonky, který je pomocí děliče paprsků lokalizován před fotonásobič. V tomto prostoru se nachází druhá konfokální bodová clonka blokující detekci záření procházejícího z míst vzorku mimo rovinu, do kterého je mikroskop právě zaostřen. Obraz celé zaostřené roviny je získán rastrováním bod po bodu způsobem, který je v zásadě podobný tomu, jakým svazek elektronů vytváří obraz na televizní obrazovce [44].



Obrázek 30: Příčný řez hybridní příze zobrazený pod konfokálním mikroskopem.

Na obrázku 30 jsou řezy hybridní příze z konfokálního mikroskopu. Jsou zde vidět pomocná kruhová vlákna (největší průměr), která byla přidána k hybridní přízi při tvorbě řezu, dále polypropylenová vlákna a nerez ocelová vlákna (nejmenší průměr). Řez je provedený, bez vytažených nerez ocelových vláken, ale vlákna jsou vedle sebe velmi natěsno a zároveň nemají výrazný obrys. Bylo by tedy složité provést segmentaci a následné rozlišení obou komponent. Na obrázku 30 (b) jsou již nerez ocelová vlákna

výraznější, však při detailnějším pohledu je patrné, že jednotlivá vlákna nejsou kompatibilní, což by byl problém při dalším obrazovým zpracování.

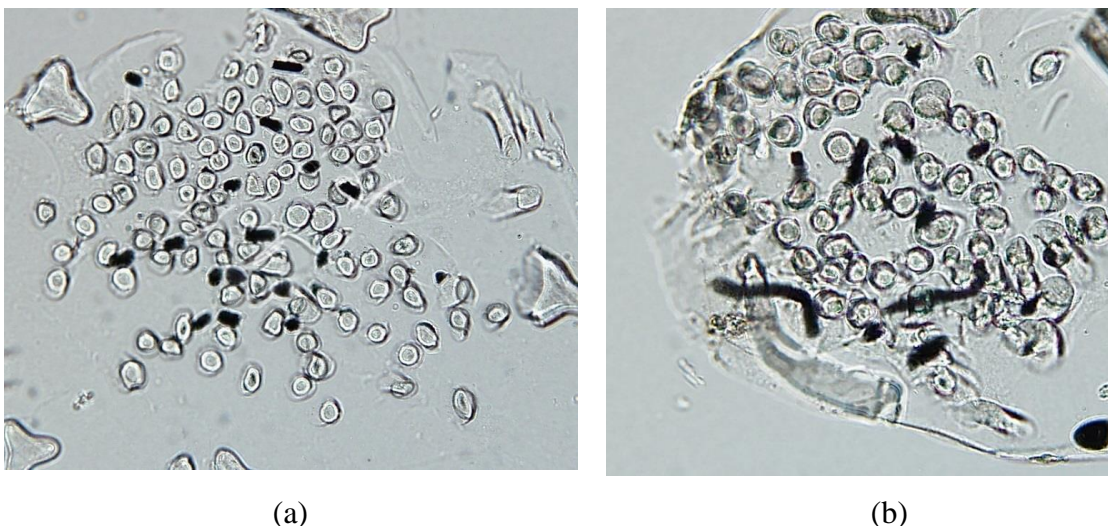
5.2.3 Příčné řezy příze vytvořené s využitím ručního mikrotomu

Postup při tvorbě řezů byl proveden podle interní normy IN 46-108-01/01, která byla vypracována textilní Fakultou Technické univerzity v Liberci, a byl následující. Nejprve byly hybridní příze navázány s využitím pomocné nitě a naimpregnována disperzním lepidlem. Impregnace byla provedena 3x po sobě, s odlišnou koncentrací lepidla, vždy s 24 hodinovým odstupem z důvodu zaschnutí lepidla. Disperzní lepidlo muselo proniknout mezi vlákna a zafixovat jejich polohu. Když byly vzorky takto připraveny, mohlo se přistoupit k samotnému řezání. Vzorky byly upevněny do mikrotomu, kde byla nastavena tloušťka řezu 4 μ m a následně se provedl samotný řez.

Tabulka 6: Navážené hodnoty vzorků na délce 100 m.

Vzorek číslo	Váha [g/100m]
1	2,499
2	2,5247
3	2,5428
4	2,5532
5	2,5563

Odběr vzorků byl proveden podle normy ČSN EN 12751. V této práci bylo z hybridní příze odebráno 5 vzorků o délce 100 m. Každý vzorek byl zvážen viz tabulka 6 a z těchto pěti vzorků byla vypočítána průměrná hodnota hmotnosti, která odpovídá 2,5416 g /100 m. Vzorek, který byl svou vahou nejbližší k průměrné váze, byl vybrán jako reprezentativní, v tomto případě vzorek číslo 3. Reprezentativní vzorek hybridní příze byl následně rozdělen na 15 stejně dlouhých úseků, tedy přibližně po 6,66 m. Každý úsek byl očíslován a následně se prováděla testování s každým úsekem zvlášť, bylo tedy celkem provedeno 15 řezů.



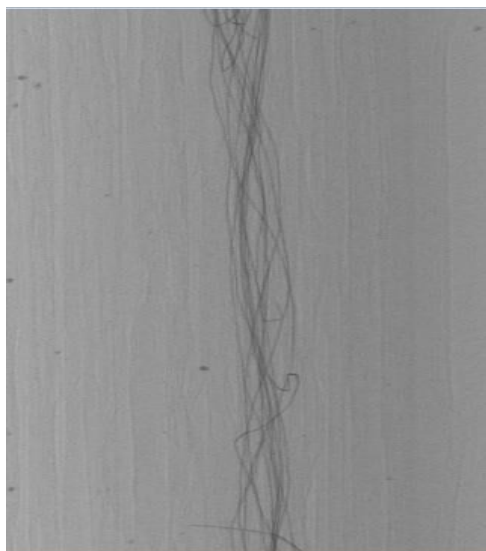
Obrázek 31: Příčný řez příže z mikrotomu (a) povedený řez, (b) nepovedený řez s vytaženými nerez ocelovými vlákny.

Hotový řez byl vložen pod mikroskop Olympus BX51, kde byly vzorky nasnímány ve velikosti 1360x1024 pixelů, což odpovídá 855 x 643 μm , tedy 1px=0,628 μm . Příklad získaného obrazu s využitím ručního mikroskopu je vidět na obrázku 31. Obrázek 31 (a) představuje povedený řez, kde nerez ocelová vlákna nejsou vytahována, zatímco na obrázku 31(b) je vidět již zmíněný problém, tedy vytažená nerez ocelová vlákna, takovýto snímek se nehodil pro další vyhodnocení. Tato metoda tvorby příčných řezů byla velmi časově náročná, ale byla vyhodnocena jako nejvhodnější metoda, kde se dají zjistit a odlišit vlákna polypropylenová i nerez ocelová. Jelikož vlákna polypropylenová jsou průhledná s výrazným kruhovitým obrysem řezu a vlákna nerez ocelová jsou tmavá, bylo možné provést osamostatnění vláken, které byly k sobě spojeny, a zároveň rozlišit obě komponenty od sebe, právě z důvodu barevné odlišnosti. Tyto informace byly potřebné pro další vyhodnocování této práce.

5.2.4 Příčné řezy příže získány s využitím micro-CT skyscan

Mikro-CT skyscan je počítačová tomografie, která kombinuje klasické rentgenové záření spolu s počítačovým systémem, který informace zpracovává. Vychází se z projekce X-paprsků záření, která jsou kolmé ke vzorku. Na základě vytvořené 2D projekce z více úhlů je zrekonstruován 3D obraz snímaného vzorku. Čím víc úhlů pohledu, tím víc je 3D obraz přesnější. Postup měření na mikro-CT Skyscan byl následující. Vzorek hybridní příže

upevněn do rotačního úchytu a bylo provedeno zaměření oblasti snímání. Následně bylo provedeno nastavení požadovaných parametrů, jako je např. výkon, počet kroků a počet snímání v jednom kroku a bylo spuštěno snímání. Snímání jednoho vzorku trvalo přibližně 70 minut.



(a)



(b)

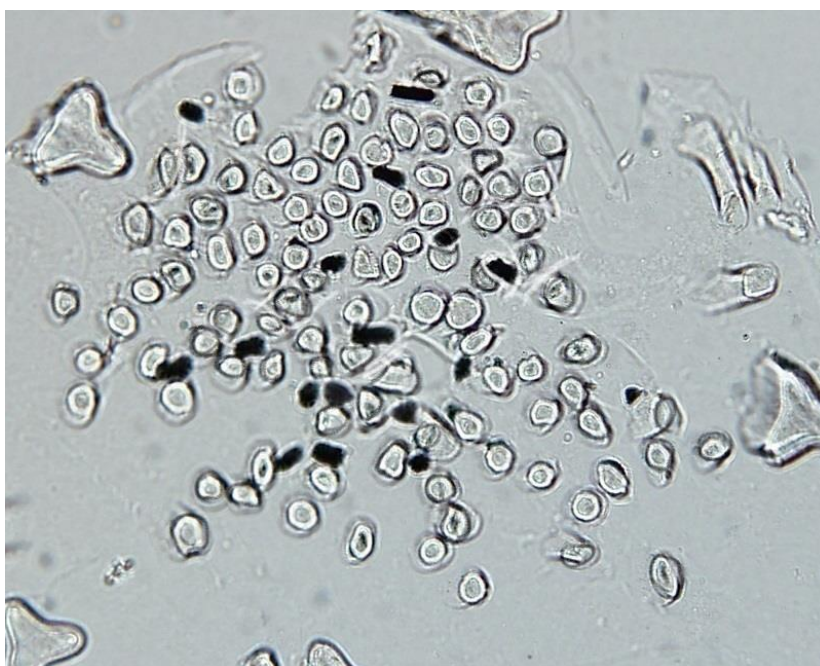
Obrázek 32: Řez příze pořízený s využitím micro CT (a) podélný pohled, (b) příčný řez.

Na obrázku 32(a) je vidět sestavený podélný pohled a obrázek 32(b) představuje příčný řez příze, pořízený s využitím micro CT. Tato metoda tvorby řezů je nejpřesnější, však CT dokáže naskenovat pouze jednu komponentu a to právě nerez ocel. To je způsobeno skutečností, že obě komponenty jsou velmi rozdílné a to zejména s ohledem na vysokou objemovou hmotnost. Ta způsobuje, že nerez ocelová vlákna pohltí rentgenové záření a polypropylenová vlákna již nejsou „prozářena“. Tato metoda by byla velmi efektivní v případě, že by směsová příze byla složena z podobných komponent.

5.3 Segmentace vláken z příčných řezů

Hlavním cílem této práce bylo zjištění rozložení (distribuce) jednotlivých vláken v ploše příčných řezů a zároveň nalezení požadovaných charakteristik jednotlivých komponent. Na obrázku číslo 33 jsou vidět průhledná vlákna s výrazným obrysem ve tvaru kruhu, tedy

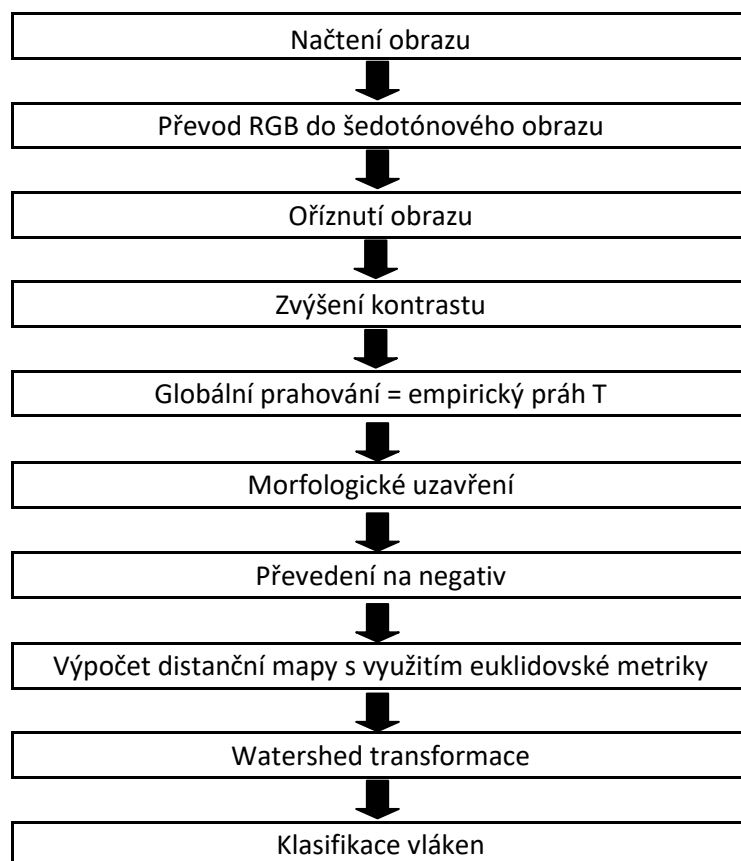
polypropylenová vlákna a vlákna tmavá (plná), která představují nerez ocelová vlákna. Dále jsou vidět vlákna polyesterová, která byla použita z důvodu vyplnění mikrotomu, při pořizování řezů. Při pohledu na obrázek 33 je patrné, že jednotlivá vlákna se mezi sebou dotýkají, což je značný problém, jelikož při vyhodnocování a zjišťování charakteristik jsou brána jako jeden objekt a výsledky jsou tedy nevyhovující. Z tohoto důvodu je nutné provést segmentaci vláken, díky které se bude každé vlákno chovat jako jeden samostatný objekt.



Obrázek 33: Příčný řez příze.

Zpracování obrazů příčných řezů bylo provedeno podle vývojového diagramu (obrázek 34). Obrazy příčných řezů byly nasnímány o velikosti 1360 x 1024 pixelů (reálná velikost 0,855 x 0,643mm) v barevné škále RGB. K získání obrazu byl využit mikroskop BX51, kde bylo nastaveno zvětšení 20 a digitální barevná kamera. Hotový řez byl vložen na sklíčku pod mikroskop Olympus BX51. Snímání vzorků bylo provedeno s využitím softwarového modulu, který se nazývá Deep Focus. Tento modul je určen k vytváření snímků s mnohem větší hloubkou ostrosti, než jaké je možné dosáhnout použitím běžného optického mikroskopu. Postup vytváření obrazů s vysokou ostrostí byl následující: nejprve byly nasnímány jednotlivé snímky se standardní hloubkovou ostrostí s různou rovinou zaostření, což způsobilo, že v každém snímku byla ostrá jiná část vzorku. Z těchto snímků

byla automaticky modulem Deep Focus vybrána pouze ostrá oblast snímku a z těchto ostrých oblastí byl složen výsledný, kompletně zaostřený obraz. Tento obraz byl nasnímán ve velikosti 1360 x 1024 pixelů, což odpovídá 855 x 643 μ m, tedy 1px= 0,628 μ m. Konkrétní úpravy a operace, které jsou popsány v následujících krocích, byly zpracovány v programu MatLab.

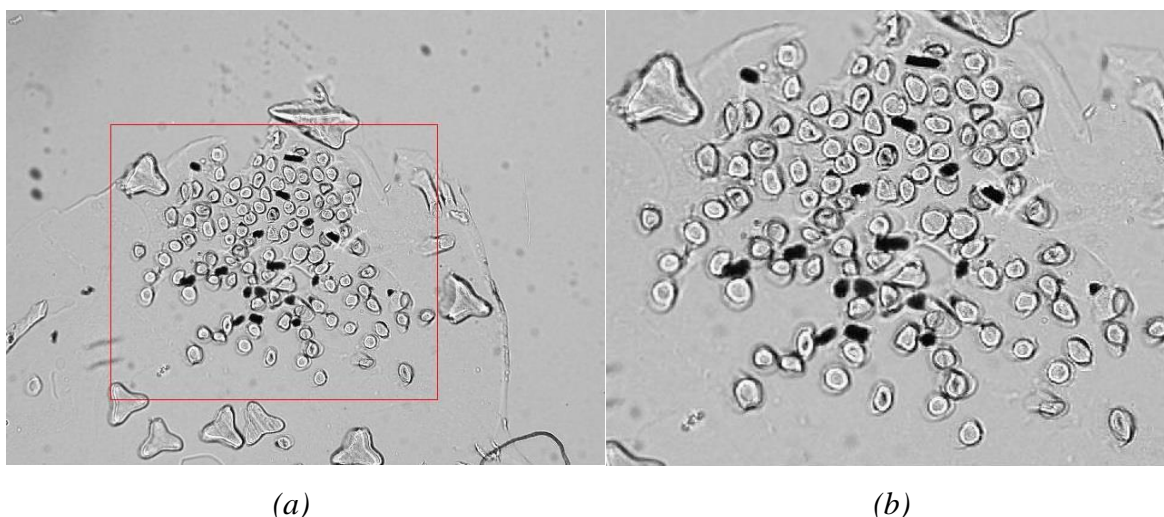


Obrázek 34: Vývojový diagram pro osamostatnění vláken z příčných řezů.

5.3.1 Předzpracování obrazu

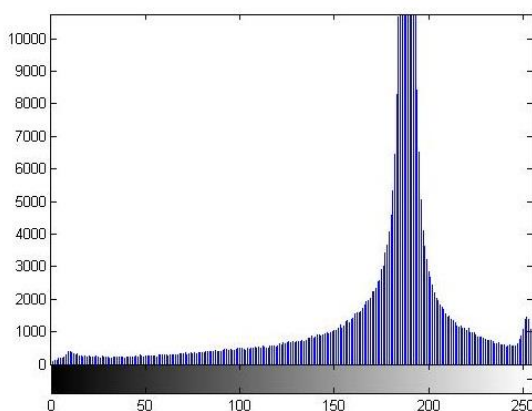
Obrázek 33 je vstupní obraz, jelikož barevná informace zde není viditelná a pro další zpracování byla nepodstatná, byl proveden převod RGB obrazu do šedotónového obrazu, viz obrázek 35(a), jehož pixely mohou nabývat hodnot 0 – 256. Tyto hodnoty charakterizují odstíny šedi. Princip této funkce je založen na eliminaci informací o barvě a sytosti pixelů RGB obrazu při zachování informace o jejich jasnosti. Dále jsou na obrázku 35(a) viditelná hvězdicová vlákna, což jsou vlákna polyesterová, která byla využita na

vyplnění mikrotomu, při tvorbě řezů. Tato vlákna nebyla podstatná při dalším zpracování obrazu. Z tohoto důvodu bylo provedeno oříznutí obrazu na požadovanou oblast zájmu x,y,w,h viz obrázek 35(b).



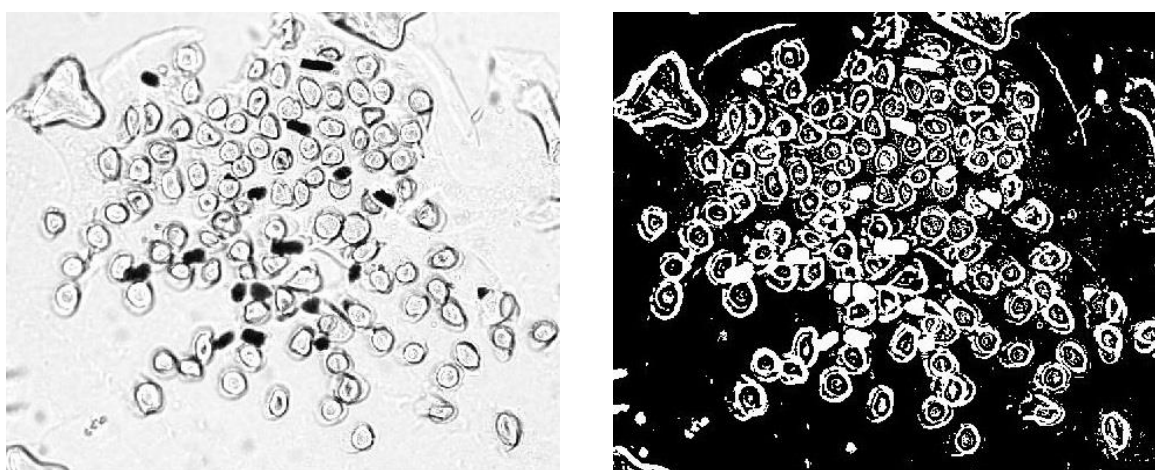
Obrázek 35: (a) Šedotónový obraz se zvýrazněnou oblastí zájmu, (b) oříznutý šedotónový obraz.

Při pohledu na obrázek 35(b) je vidět, že obrázek je světlý, což potvrzuje histogram distribuce úrovní šedi (viz obrázek 36), ze kterého je patrné, že odstíny šedi jsou koncentrované v pravé části. Z tohoto důvodu bylo provedeno zvýšení kontrastu, které způsobí, že odstíny šedi jsou roztaženy do celého rozsahu úrovní. Výsledný obraz z této operace má výstupní pixel závislý pouze na vstupním pixelu o stejných souřadnicích, v tomto případě byly vstupní intenzity úrovně šedi $l_i=0,78$ a $h_i=1$ roztaženy na nové výstupní hodnoty $l_o=0$ a $h_o=1$ viz obrázek 37(a), což způsobí vyrovnaní histogramu, tedy že jednotlivé jasové úrovně histogramu budou zastoupeny přibližně stejně četně.



Obrázek 36: Histogram rozmístění úrovní šedi pro šedotónový obraz.

Všechny doposud provedené operace byly zvoleny z důvodu zlepšení nasnímaného obrazu. Aby bylo možné zjistit požadované charakteristiky, bylo nutné oddělit jednotlivé objekty, v tomto případě jednotlivá vlákna od pozadí. Tato operace se nazývá segmentace obrazu a byla provedena pomocí globálního prahování. Princip prahování spočívá v rozdílných intenzitách jasu pixelů mezi objekty a pozadím. Při prahování byl převeden vstupní šedotónový obraz na výstupní binární, kde pixely, které mají jas větší nebo roven prahu, jsou označeny jako 1, tedy objekty obrazu a pixely, jejichž jas je menší než práh, jsou označeny jako 0, neboli pozadí. V tomto případě byla prahová hodnota zvolena pomocí empirické metody a její hodnota byla konkrétně $T=0,88$ viz obrázek 37(b), jelikož se jedná o globální prahování, hodnota prahu byla pro celý obraz stejná.

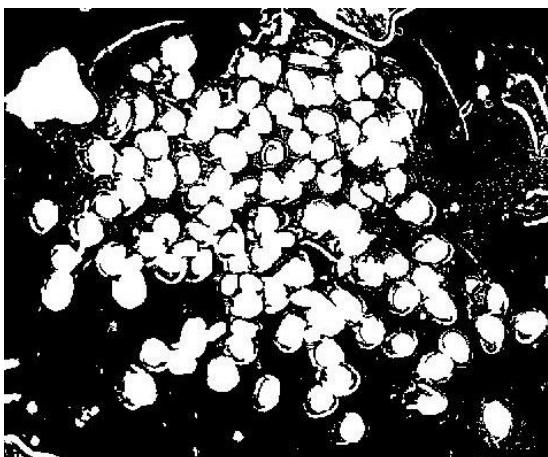


(a)

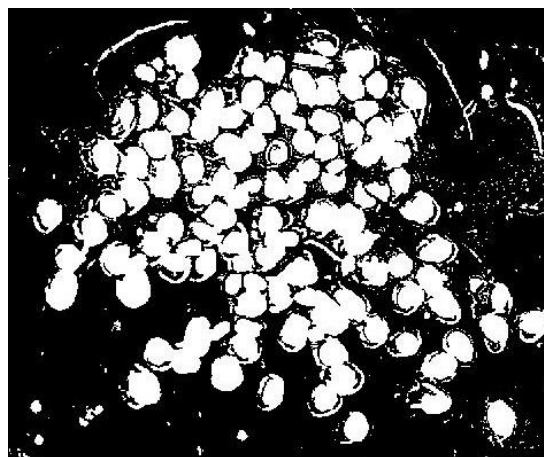
(b)

Obrázek 37: (a) Šedotónový obraz, (b) binární obraz spolu s negací.

Pro správné vyhodnocení objektů bylo nutné provést finální úpravy obrazu, například na obrázku 37(b) jsou vidět pouze obrysy objektů (váken), které byly vyplněny s využitím morfologického uzavření, viz obrázek 38(a). Dále byly odstraněny nekompletní objekty, které se dotýkají hrany obrazu viz obrázek 38(b). Pokud by tato akce nebyla provedena, nacházely by se v obraze nekompletní objekty, které by zatížily výsledky.



(a)

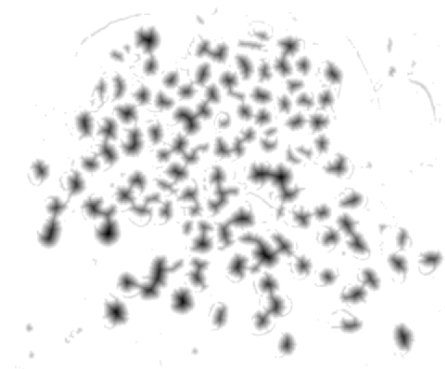


(b)

Obrázek 38: Binární obraz (a) s vyplněnými objekty, (b) bez nekompletních objektů.

5.3.2 Osamostatnění vláken

Při pohledu na obrázek 38(b) je vidět, že jednotlivá vlákna jsou propojena mezi sebou. Toto spojení je značný problém, jelikož nelze identifikovat jednotlivá vlákna a zjistit jejich charakteristiky. Bylo tedy nutné provést osamostatnění vláken, což je možné řešit s využitím metody watershed česky „zaplavování“. Prvním krokem byla distanční transformace, která je založena na výpočtu vzdálenosti každému pixelu objektu v obraze (tedy každé jedničce) hodnotu, která se rovná jeho vzdálenosti k nejbližšímu bodu pozadí (tedy nule).



(a)



(b)

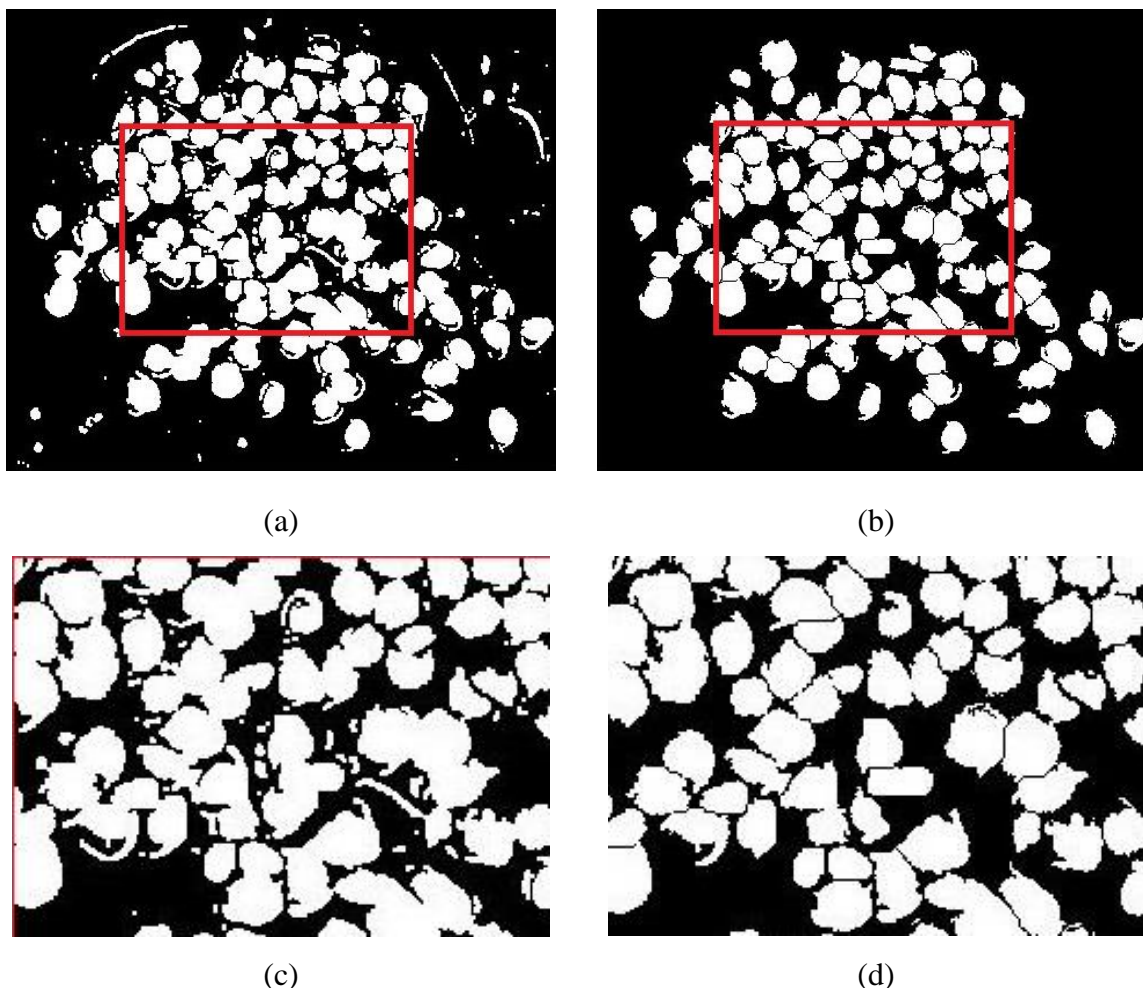
Obrázek 39: (a) Distanční mapa, (b) obraz po aplikaci watershed.

Výsledkem distanční transformace binárního obrazu je nový obraz nazývaný distanční mapa viz obrázek 39(a). V této operaci je využita euklidovská metrika.

Následujícím krok bylo použití watershed. Vysvětlit tuto metodu jde nejlépe s využitím pojmů převzatých z geologie. Obraz lze chápat jako reliéf terénu, kde vrcholky odpovídají maximálním hodnotám jasů v obraze a údolí jsou lokální minima. Metoda spočívá v pomyslném zaplavování tohoto obrazu od nejnižších poloh terénu až po nejvyšší, kdy se zaplavuje rovnoměrně reliéf. V nížinách se začnou tvořit jezera. Jakmile se stane, že hladina stoupne natolik, že se sousední jezera budou chtít spojit, začne se stavět pomyslná hráz (linie). Proces se zastaví ve chvíli, kdy voda dosáhne nejvyššího bodu terénu (maximální hodnota jasů). Výsledný obraz je rozdělený do jednotlivých částí, které jsou odděleny hrázemi, viz obrázek 39(b). Vzniklé hráze se nazývají watershed lines, nebo jednodušeji watershed.

Při této funkci může nastat problém, kdy je mnoho malých nížin vedle sebe. Tento jev se nazývá přesegmentování. Aby se tomuto jevu zabránilo, byla všechna nejmenší lokální minima odfiltrována. Odfiltrování minim probíhá ve dvou krocích, nejprve musela být minima nalezena a následně byla modifikována tak, aby se žádná minima nevyskytovala ve filtrovaných oblastech. V tomto kroku je nutné zadat velikost r , která informuje velikosti rozšíření minim, v tomto případě bylo $r=0,2$.

Na obrázku 40 jsou vidět dvě stejné oblasti před a po segmentaci vláken, obrázek 40(a) ukazuje velké množství vláken, které jsou propojené mezi sebou, zatím což na obrázku 40(b) jsou vidět již vlákna osamostatněna s využitím metody watershed. Obrázky 40(c) a 40(d) jsou zvětšené oblasti z obrázků 40(a) a (b) pro lepší a detailnější ukázkou.



Obrázek 40: Binární obraz (a) před segmentací vláken, (b) po segmentaci vláken, (c) zvětšená oblast z obrázku 40(a), (d) zvětšená oblast z obrázku 40(b).

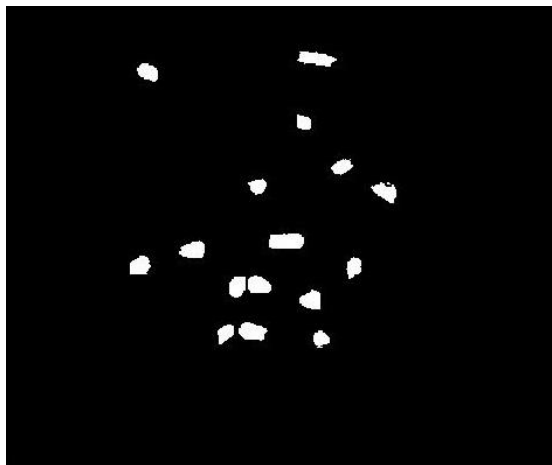
5.3.3 Nalezení charakteristik vláken

Aby bylo možné rozlišit polypropylenová vlákna od vláken nerez ocelových, bylo nutné nalézt charakteristiky jednotlivých objektů, v tomto případě vláken v přízi. Nejprve musely být jednotlivé objekty oindexovány (očíslovány) a následně byly zjištěny konkrétní požadované charakteristiky, tedy plocha a těžiště. Dále byly odstraněny polyesterová vlákna, která byla v tomto případě definována jako objekty s plochou větší jak 500, protože

polyesterová vlákna jsou výrazně větší. Výsledný obrázek je vidět na obrázku 41(a). S takto připraveným obrazem bylo možné přistoupit k samostatnému rozpoznávání vláken.



(a)



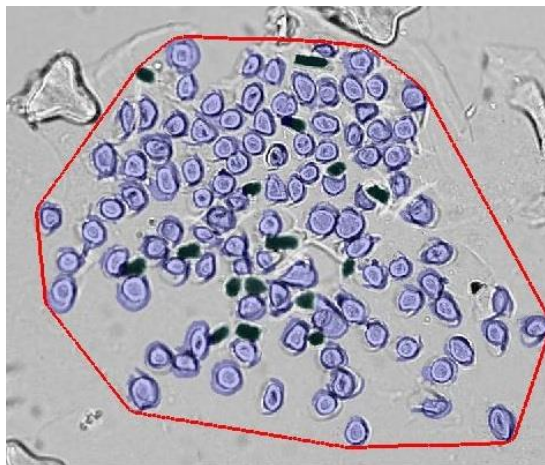
(b)

Obrázek 41: Binární obraz kde jsou viditelné (a) polypropylenová vlákna spolu s nerez ocelovými vlákna, (b) nerez ocelová vlákna.

Pro nalezení nerez ocelových vláken byla zadána průměrná hodnota šedotónových oblastí o ploše menší než 130 viz obrázek 41(b).



(a)



(b)

Obrázek 42: (a) Binární obraz s polypropylenovými vlákny, (b) výsledný obraz s polypropylenovými vlákny (modré objekty) a vlákny nerez ocelovými (tmavě zelené objekty).

Stejným způsobem byla nalezena i vlákna polypropylenová, jen s tím rozdílem, že byly hledány všechna vlákna s průměrnou úrovní šedi větší jak 130. Výsledný obrázek, kde jsou vidět pouze vlákna polyesterová, je vidět na obrázku 42(a). Výsledný upravený obraz, kde

jsou identifikována jak vlákna polypropylenová (modrá vlákna), tak vlákna nerez ocelová (tmavě zelená vlákna), je vidět na obrázku 42(b).

V této práci byl problém nalézt algoritmus, ve kterém jsou hodnoty stejné pro všechny obrazy. Byl tedy vytvořen algoritmus, ve kterém se pouze upravovaly některé hodnoty viz tabulka 7. Jak již bylo zmíněno, bylo provedeno celkem 15 řezů, pro ilustraci byl ukázán pouze jeden obrázek s vysvětleným postupem zpracování obrazu. Zbylé obrázky spolu s grafy jsou přiloženy v příloze na CD.

Tabulka 7: Měnící se hodnoty parametrů pro obrazovou analýzu.

Vzorek číslo	l_i	T	r	x	y	w	h	SS počet	PP počet	Celkem Počet all
1	0,77	0,9	0,5	410	280	530	420	11	58	69
2	0,77	0,91	0,8	300	100	700	750	14	84	98
3	0,77	0,9	0,8	240	105	670	710	10	62	72
4	0,8	0,9	0,45	300	290	620	600	12	95	107
5	0,8	0,9	0,8	160	280	560	550	8	57	65
6	0,8	0,93	0,3	400	280	500	550	6	49	55
7	0,8	0,78	0,4	390	360	610	400	15	50	65
8	0,8	0,79	0,3	340	350	550	300	7	39	46
9	0,8	0,88	0,7	300	200	700	900	13	96	109
10	0,8	0,8	0,6	340	300	570	480	5	88	93
11	0,78	0,88	0,2	250	260	720	600	16	103	119
12	0,8	0,88	0,7	240	270	700	500	13	98	111
13	0,8	0,88	0,7	200	200	700	700	10	102	112
14	0,8	0,88	0,7	300	200	700	900	9	86	95
15	0,82	0,88	0,7	300	200	600	490	13	77	90

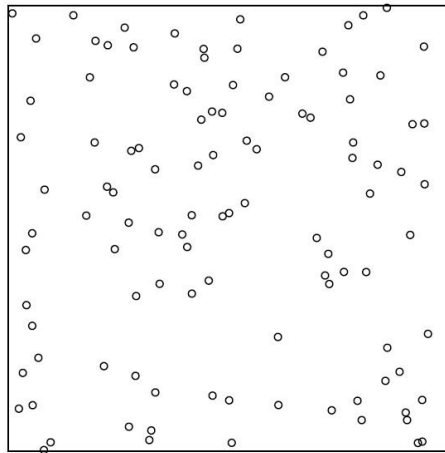
5.4 Prostorová analýza

Cílem této práce bylo určení prostorového upořádání vláken v příčném řezu příze. Kvalita promísení vlákenných komponent v přízi významně ovlivňuje jak vlastnosti příze, tak vlastnosti výsledné plošné textilie. Testovaná hybridní příze se skládá z polypropylenových vláken a vláken nerez ocelových, což jsou velmi rozdílné komponenty. Bylo tedy podstatné zjistit, jak jsou nerez ocelová i polypropylenová vlákna v přízi rozmístěna. Prostorového uspořádání vláken bude zjišťováno s využitím prostorové statistiky.

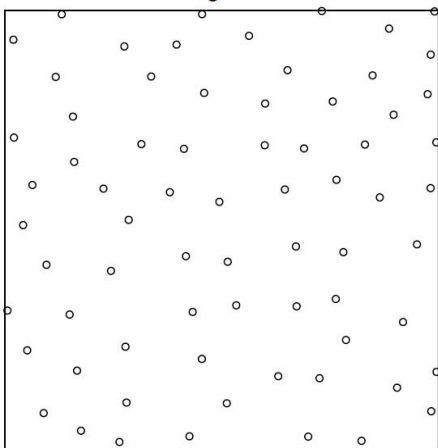
5.4.1 Prostorová statistika

Prostorová statistika se zabývá statistickými metodami, které udávají prostorové uspořádání dat. Byly využity tzv. prostorové body, které znázorňují umístění těžišť, což v tomto případě představuje polohu vláken v příčném řezu příze. Jednotlivá pozorování se nacházejí v dvourozměrné oblasti a jsou dány souřadnicemi x a y . Tyto souřadnice jsou výsledkem z kapitoly 5.3 a představují jednotlivá těžiště osamostatněných vláken.

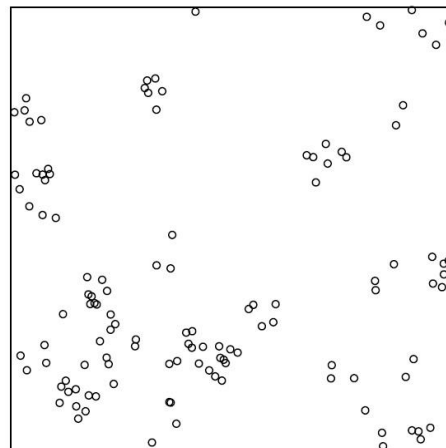
Mohou nastat tři různé varianty rozmístění dat v prostoru. V první variantě se referenční model pro náhodné rozmístění dat nazývá kompletní prostorová náhodnost (complete spatial randomness - CSR). Aby tento model platil, jednotlivá pozorování musí pocházet z Poissonova rozdělení se střední hodnotou λA , kde A je pozorovaná oblast a λ je konstanta intenzity, která představuje střední počet pozorování na jednotku plochy. Pokud je tato podmínka splněna, pozorování jsou nezávisle rozloženy v pozorované oblasti. Lze tedy tvrdit, že pozorování jsou náhodná. Ukázka náhodných pozorování je zobrazena na obrázku 43(a). Obrázek 43(b) představuje pravidelné uspořádání dat, kde data v celém prostoru vykazují určitou pravidelnost. Na obrázku 43(c), je znázorněn model se shluky, kde je viditelné, že jednotlivá pozorování mají tendenci být blízko u sebe, pozorovaná data tedy tvoří jednotlivé shluky [45].



(a)



(b)



(c)

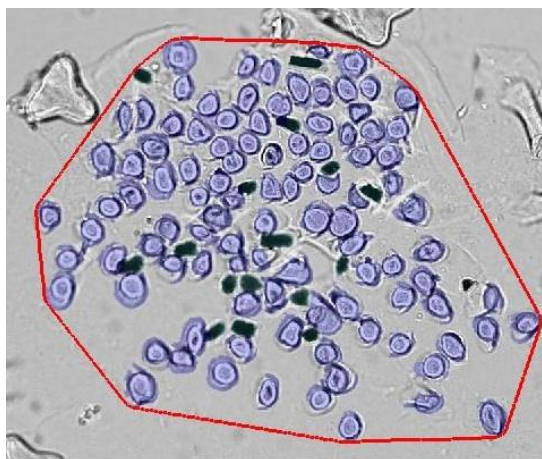
Obrázek 43: Rozmístění dat v obraze (a) náhodné, (b) pravidelné, (c) data vytváří shluky [45].

5.4.2 Vizualizace prostorové analýzy

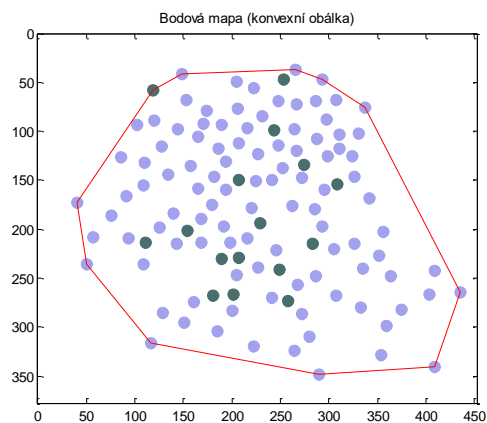
Bodová mapa

Nejintuitivnější způsobem vizualizace umístění vláken v přízi je vykreslení těžišť do bodové mapy. Na obrázku 44(a) je viditelný výstupní obraz ze segmentace vláken, kde jsou osamostatněná vlákna a nalezena jejich těžiště. Na obrázku 44(b), jsou vidět jednotlivá těžiště vláken z příčného řezu příze. Tmavě zelené body představují nerez ocelová vlákna a světle fialové body představují těžiště vláken polypropylenových. Dále je

na obrázku vidět červený konvexní mnohoúhelník, který se také nazývá konvexní obálka. Tato konvexní obálka vytvoří co nejkratší uzavřenou křivku, vymezí tedy požadovanou pozorovanou oblast.



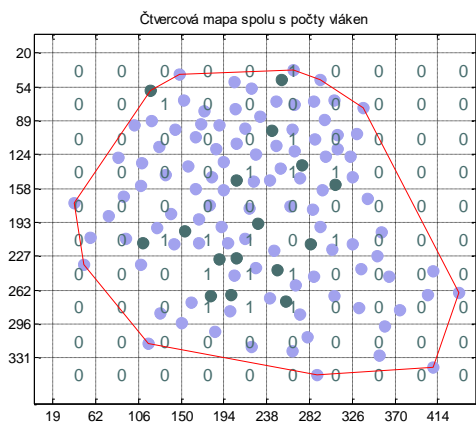
(a)



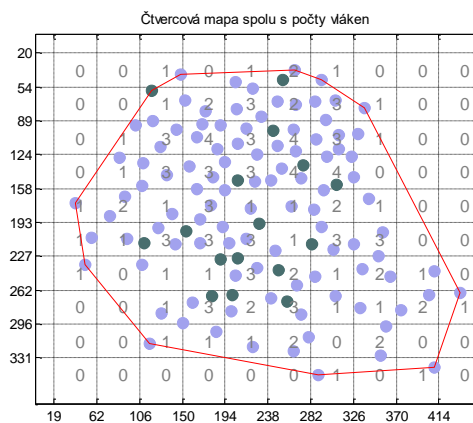
(b)

Obrázek 44: (a) Vstupní obraz vstupující do prostorové statistiky, (b) bodová mapa představující těžiště vláken.

Obrázek 45 znázorňuje bodovou mapu, která je rozdělena na 10 sloupců a 10 řádků. Tyto sloupce a řádky vytváří tzv kvadráty. Soubor všech kvadrátů se nazývá čtvercová mapa. V obrázku 45(a) jsou v jednotlivých kvadrátech vidět počty nerez ocelových vláken a obrázek 45(b) znázorňuje počty všech vláken v jednotlivých kvadrátech.



(a)

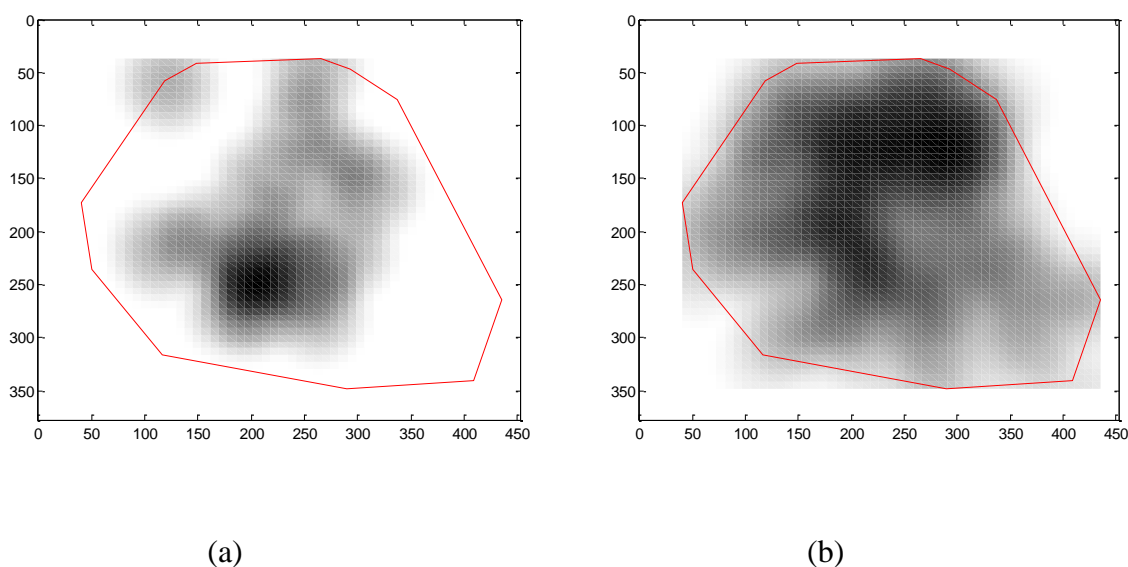


(b)

Obrázek 45: Bodová mapa představující těžiště vláken spolu s počty (a) nerez ocelových vláken, (b) všech vláken v přízi.

Jádrový odhad hustoty vláken v příčném řezu příze

Další možností grafického znázornění prostorového uspořádání vláken v příčném řezu příze je vidět na obrázku 46, kde je vidět jádrový odhad hustoty vláken v přízi. Šířka jádra byla nalezena experimentálně a byla nastavena na hodnotu 0,6 a defaultně byl nastaven tvar jádra kvartik. Obrázek 46 (a) zobrazuje jádrový odhad hustoty vláken nerez ocelových a obrázek 46(b) jádrový odhad hustoty všech vláken v příčném řezu příze. Čím víc je oblast na obrázku tmavší, tím víc těžišť (vláken) se v konkrétní oblasti nachází.



Obrázek 46: Jádrový odhad hustoty (a) vláken nerez ocelových v příčném řezu příze, (b) obou komponent v příčném řezu příze.

5.4.3 Odhad prostorové závislosti

Doposud zmíněné metody vyhodnocení prostorového uspořádání vláken byly pouze grafické, nyní na tuto problematiku pohlédneme s využitím zkoumání vlastností druhého řádu. Tyto metody zkoumají vlastnosti druhého řádu zjišťováním nejkratších vzdáleností mezi jednotlivými pozorováními. Nejprve bude představena metoda nejbližších sousedů (tzv pozorování – pozorování (event – event)) - G funkce a následně metoda, která vygeneruje m náhodných bodů a měří nejkratší vzdálenost mezi náhodným bodem a pozorováním (tzv náhodný bod – pozorování (point – event)) – F funkce [45].

Funkce G

Funkce G vypočítává nejkratší vzdálenost mezi dvěma nejbližšími sousedy (pozorování – pozorování), v tomto konkrétním případě mezi dvěma těžišti. Jestliže je model v bodovém procesu náhodný – splňuje podmínky CSR, potom kumulativní distribuční funkce pro nejkratší vzdálenost mezi dvěma sousedy je označována W a je dána vztahem [45]:

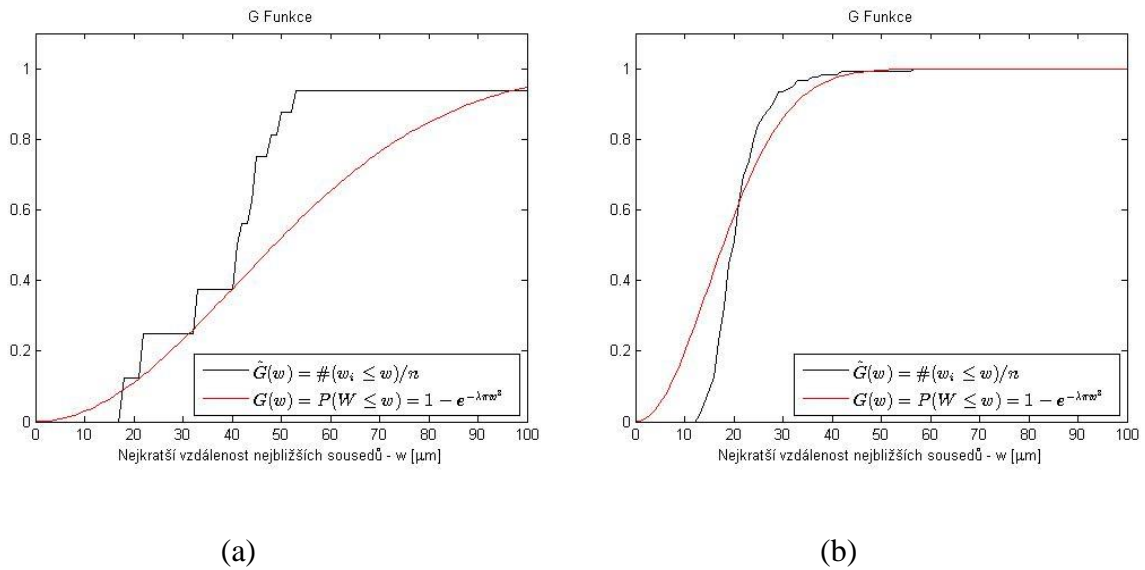
$$G(w) = P(W \leq w) = 1 - e^{-\lambda\pi w^2} \quad (19)$$

empirická distribuční funkce pro \hat{G} je pak dána vztahem [45]:

$$\hat{G}(w) = \frac{\#(w_i \leq w)}{n} \quad (20)$$

kde w_i představuje nejkratší vzdálenost mezi pozorováními (pozorování – pozorování), tedy nejkratší vzdálenost mezi dvěma těžišti a n je počet pozorování.

Na obrázku 47 jsou vidět dva grafy, na nichž je znázorněna červená křivka, která představuje teoretickou hodnotu, kdy by byla vlákna v ideálním případě náhodně rozdělena, a černou křivku, která představuje konkrétní naměřené hodnoty. Obrázek 47 (a) představuje distribuční funkci pouze pro vlákna nerez ocelová z příčného řezu příze. Zde je patrné, že distribuční funkce se drží lehce nad teoretickou funkcí, což vede k náhodnému rozmístění se sklony k mírnému shlukování nerez ocelových vláken. Obrázek 47 (b) představuje rozložení všech vláken v přízi, tedy jak nerez ocelových, tak polypropylenových. Pokud by distribuční funkce byla pod teoretickou křivkou, znamenalo by to, že vlákna mají tendenci k systematickému rozmístění v přízi. Při detailnějším pohledu na empirickou distribuční funkci je patrné, že nezačíná v $x=0$ ale např. podle obrázku 47(b) začíná na ose $x=11\mu\text{m}$, což představuje nejkratší vzdálenosti. Tento jev je způsoben tím, že při měření vzdálenosti vláken jsou měřeny vzdálenosti těžišť jednotlivých vláken, tedy výsledná hodnota vzdáleností nemůže být menší, než je poloměr r dvou vláken. Z tohoto důvodu, začátky grafů směřují ke shlukování. Pokud by graf prudce stoupal ve velmi krátkých vzdálenostech, vedlo by to k shlukování. Z obrázku 47 je tedy patrné, že vlákna v přízi jsou rozložena náhodně, jelikož se blíží teoretické distribuční funkci.



Obrázek 47: G funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b) všechna vlákna v přízi.

F funkce

F funkce je podobná funkci G jen s tím rozdílem, že se náhodně vygeneruje m náhodných bodů a počítá nejbližší vzdálenost X náhodného bodu a nejbližšího souseda (těžiště). Jestliže je model v bodovém procesu náhodný – splňuje podmínky CSR, potom kumulativní distribuční funkce pro nejbližší vzdálenost X náhodného bodu a nejbližšího souseda (těžiště) je dána vztahem [45]:

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - e^{-\lambda\pi x^2} \quad (21)$$

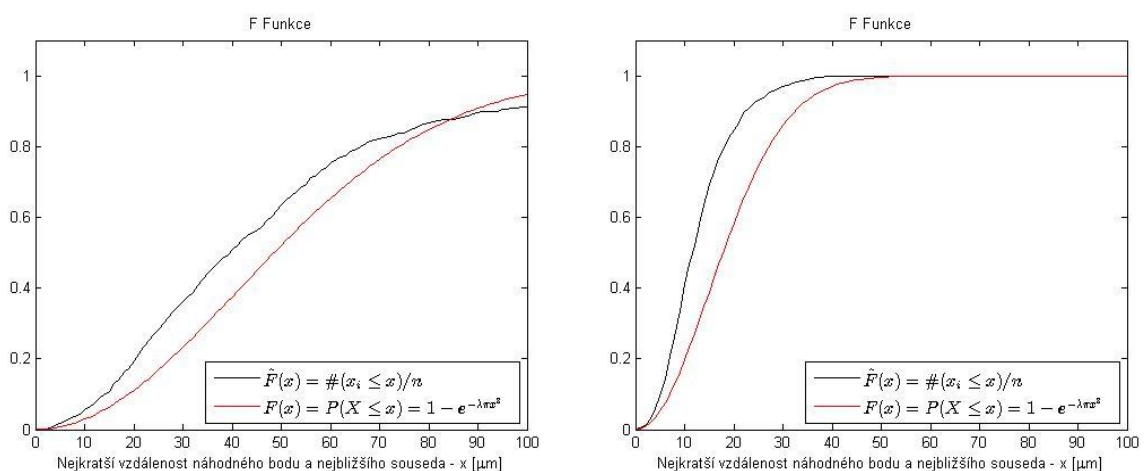
Empirická distribuční funkce pro \hat{F} je pak dána vztahem[45]:

$$\hat{F}(w) = \frac{\#(x_i \leq w)}{m} \quad (22)$$

kde x_i představuje nejkratší vzdálenost mezi náhodně vygenerovaným bodem a nejbližším pozorováním (těžištěm) a m je počet náhodně vygenerovaných bodů.

Na obrázku 48 jsou znázorněny dva grafy, které ukazují vyobrazenou funkci F, obrázek 48 (a) jen pro nerez ocelová vlákna v přízi a obrázek 48 (b) pro všechna vlákna v přízi. Z obrázku 48(a) je patrné, že empirická funkce \hat{F} stoupá plynule lehce nad a až ke konci

grafu pod teoretickou křivkou, což odpovídá náhodnému rozdělení vláken v přízi. Kdyby křivka rychle a prudce stoupala, znamenalo by to shlukování vláken a pokud by byly velké vzdálenosti vláken při mírném stoupání, naznačovalo by to systematické uspořádání vláken v přízi. V případě obrázku 48(b) je opět viditelná plynulá křivka lehce nad teoretickou, což vede k náhodnému rozmístění vláken v přízi s mírným tvořením shluků. Při detailnějším pohledu na počátek empirické distribuční funkce je patrné že nezačíná v počátku, ale v určité délce, což je způsobeno již zmíněným měřením nekratší vzdáleností těžišť vláken. Tedy nejkratší vzdálenost může být suma poloměrů r , dvou vláken.



(a)

(b)

Obrázek 48: F funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b) všechna vlákna v přízi.

K funkce

Další metoda vyhodnocování prostorového uspořádání vláken v přízi je vysvětlena s využitím funkce K . Zatímco funkce G a F měří vzdálenosti od nejbližších sousedů, tedy uvažují bodový vzor na malých vzdálenostech, bylo by vhodné mít informaci pro případ, kdy je bodový vzor na větší škále, což uvažuje funkce K , která měří vzdálenosti od všech sousedů. Zjednodušeně řečeno, K funkce postupně kolem každého bodu (těžiště) udělá pomyslný kruh o poloměru r a pozoruje, kolik bodů procesu do tohoto kruhu padne. Funkce K je potom definovaná [45]:

$$K(d) = \lambda^{-1} E [\# \text{ počet bodů procesu v poloměru } r \text{ libovolného bodového procesu}] \quad (23)$$

kde d je vzdálenost mezi pozorováními, λ je konstanta, reprezentující intenzitu v oblasti a E označuje očekávanou hodnotu.

Jestliže je model v bodovém procesu náhodný – splňuje podmínky CSR, potom je teoretická K funkce pro náhodné prostorové uspořádání dána vztahem [45]:

$$K(d)^2 = \pi d^2 \quad (24)$$

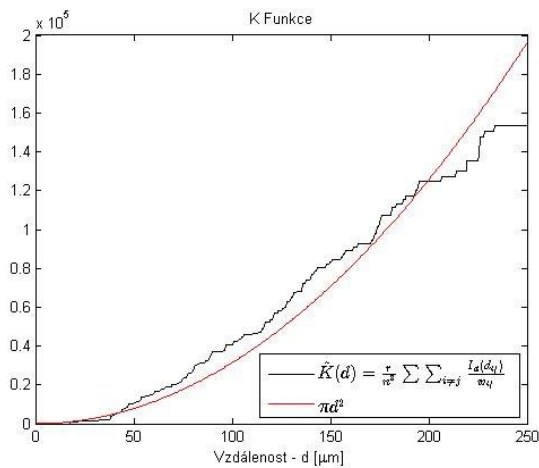
Odhad empirické funkce \tilde{K} je potom následující [45].

$$\tilde{K}(d) = \frac{r}{n^2} \sum_{i \neq j} \frac{I_d(d_{ij})}{w_{ij}} \quad (25)$$

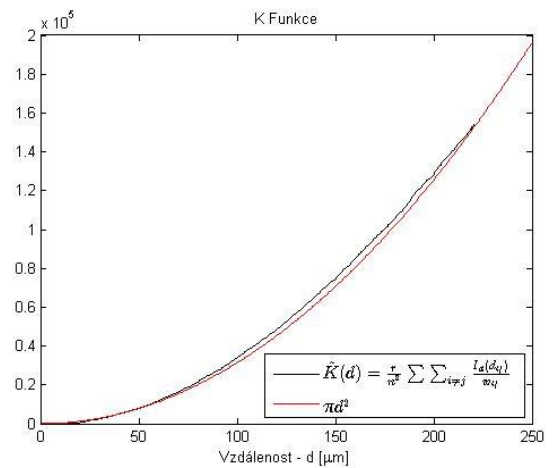
kde r představuje oblast studované oblasti R , n představuje počet pozorování, d_{ij} je vzdálenost mezi i -tým a j -tým pozorováním a I_d je identifikátor, který přiřadí jedničku v případě, že $d_{ij} \leq d$. V ostatních případech přiřadí nulu. w_{ij} pak představuje korekční faktor pro hraniční efekty.

Jak je vidět na obrázku 49(a) černá křivka, která reprezentuje empirickou K -funkci, s lehkými výchyly kopíruje teoretickou křivku, což odpovídá náhodnému rozložení nerez ocelových vláken v příčném řezu příze. Obrázek 49 (b) znázorňuje rozmístění obou komponent v přízi a potvrzuje tvrzení z obrázku 49(a), tedy že vlákna jsou v přízi rozmístěna náhodně. Pokud by empirická křivka rychle stoupala v krátkých vzdálenostech, byla by tedy umístěna nad teoretickou křivkou, značilo by to shlukování vláken. Naopak, pokud by empirická funkce byla umístěna pod teoretickou křivkou, značilo by to pravidelné uspořádání vláken v přízi.

Na obrázku 50, jsou zobrazeny zvětšené počátky K funkce. Zde je patrné, že počátek empirické funkce \tilde{K} , neleží v bodě $[0,0]$. To je způsobeno faktem, že se měří nejkratší vzdálenosti těžišť vláken. Vlákna nemohou být u sebe blíže, než je suma jejich poloměrů.

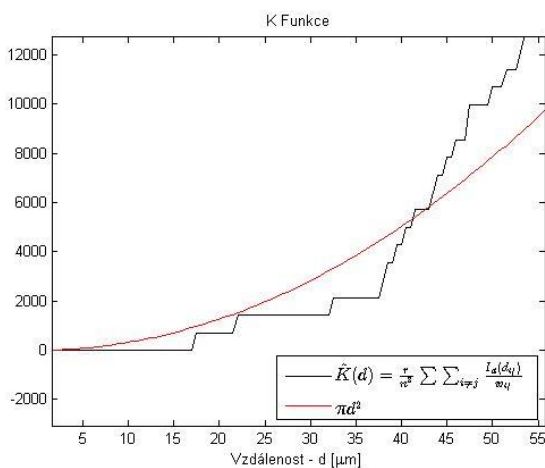


(a)

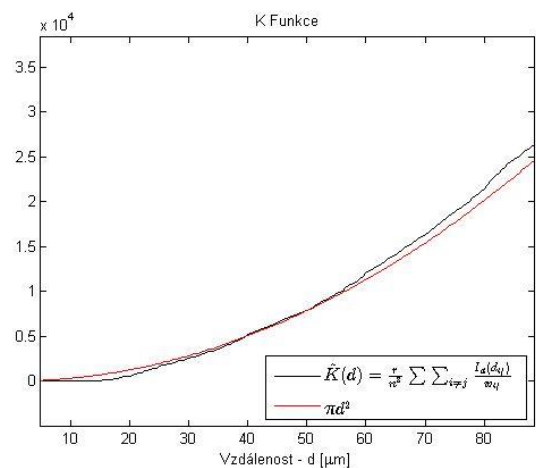


(b)

Obrázek 49: *K* funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b) všechna vlákna v přízi.



(a)



(b)

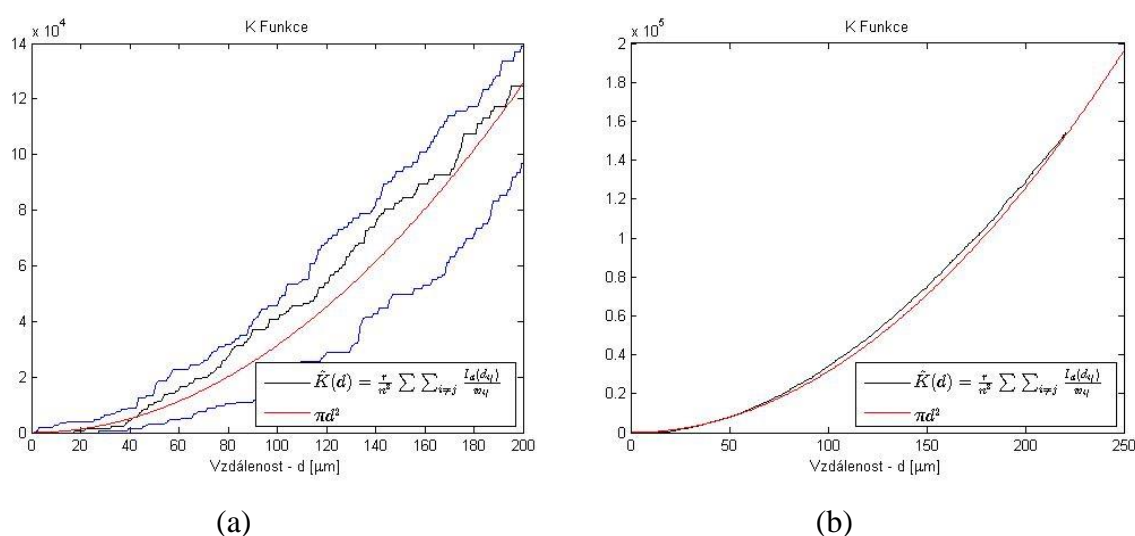
Obrázek 50: Zvětšené počátky *K* funkce (a) nerez ocelových vláken, (b) polypropylenových vláken.

5.5 Vyhodnocení

Analýza prostorového uspořádání má poskytnout především informaci, jaký model je tvořen bodovým procesem. Zda-li se pozorované objekty shlukují, jsou pravidelné, nebo jsou rozmístěny zcela náhodně. V předchozí kapitole byly představeny funkce G , F a K vhodné pro průzkumné účely, které mají poskytnout důkaz pro model, který by mohl vysvětlit proces tvořený prostorovými body.

Grafické porovnávání empirické funkce \hat{K} a teoretické funkce K může být provedeno ve smyslu testování hypotéz. Nulová hypotéza představuje CSR proces (vlákna jsou realizována v úplné prostorové náhodnosti) a alternativní hypotéza představuje ostatní modely. Aby bylo možné tvrdit, že prostorové uspořádání vláken je náhodné, byla stanovena horní a spodní obálka k funkci K . Kde horní a spodní obálka představuje kritické hodnoty testu hypotézy, že $K(r) = \pi r^2$, tedy předpokládají, že vzorek je zcela náhodný. Předpokládejme, že referenční křivka je teoretická K funkce pro náhodný bodový proces. V tom případě je možné vygenerovat m nezávislých simulací tohoto procesu uvnitř studované oblasti R . Pro každou m -tou simulaci je spočítána empirická funkce \hat{K}_j , kde $j=1,2,\dots,m$ a je nalezeno minimum a maximum. Toto minimum a maximum tvoří horní a spodní obálku \hat{K} funkce. Běžnou chybou je, nesprávné pochopení simulačních obálek, kdy jsou chápány jako intervaly spolehlivosti kolem funkce K [46].

Na obrázku 51 je zobrazena červená teoretická křivka K funkce, černá empirická křivka \hat{K} funkce a modré křivky, které představují spodní a horní obálku. Na obrázku 51(a) je patrné, že teoretická i empirická funkce leží ve spodní a horní obálce, lze tedy tvrdit, že prostorové uspořádání vláken je náhodné. Na obrázku 51(b) je patrné, že teoretická funkce leží uvnitř obálky a černá empirická funkce se pohybuje okolo horní obálky. Lze tedy tvrdit, že rozmístění vláken v přízi je náhodné. Kdyby teoretická, nebo empirická funkce neležely uvnitř obálky, naznačovalo by to k jinému modelu rozmístění vláken v přízi.



Obrázek 51: F funkce se spolehlivostními obálkami pro (a) nerez ocelová vlákna, (b) všechna vlákna v přízi.

Z výše provedené prostorové analýzy vyplývá, že nerez ocelová vlákna jsou v hybridních přízích uspořádána náhodně. To bylo potvrzeno i při vyhodnocení dalších 14 vzorků, které jsou přiloženy v příloze 1 na CD.

Byly použity grafické metody hodnocení prostorového uspořádání vláken v přízi (bodová mapa, čtvercová mapa, jádrový odhad hustoty vláken v příčném řezu) spolu se statistickými odhady (G , F , K funkce) prostorových závislostí pro posuzování stejnoměrného uspořádání, náhodného uspořádání, nebo tendence vláken k vytváření shluků v přízi. Pro objektivní vyhodnocení bylo použito testování hypotéz s využitím horní a spodní obálky k funkci K , kde horní a spodní obálka představuje kritické hodnoty testu hypotézy, že $K(r) = \pi r^2$, tedy předpokládají, že vzorek je zcela náhodný. Bylo tedy potvrzeno, že prostorové uspořádání vláken v přízi je náhodné.

Při zpracování prostorové statistiky byl využit Computational Statistics Toolbox. Toolboxy obsahují vždy uceleným způsobem, včetně dokumentace a příkladů, zpracovaný určitý obor v tomto případě počítačové statistiky. Z toolboxu byly použity funkce G, F , a K [45].

6. Závěr

V současné době je velká pozornost věnována vývoji elektricky vodivých textilních struktur pro různé aplikace. Mezi v literatuře nejčastěji zmiňované oblasti použití patří antistatické aplikace, odstínění elektromagnetických polí, tvorba vodivých drah, textilních senzorů a další. Pro docílení zvýšení elektrické vodivosti je nutno do textilní struktury zapracovat elektricky vodivou komponentu. Vedle pokovených vláken, uhlíkových vláken, bikomponentních vláken a vláken z vodivých polymerů, se často jako vodivá komponenta používají velmi jemná kovová vlákna staplové délky. Ta se obvykle směsují s klasickými textilními vlákny (přírodní, syntetická) v takovém množství, aby bylo docíleno požadované výše elektrické vodivosti (dle účelu použití) a přitom zachovány základní textilní charakteristiky příze a výsledné textilie. Je známo, že kvalita promísení vláknenných komponent v přízi významně ovlivňuje jak vlastnosti příze, tak vlastnosti plošné textilie, přičemž se zdá, že vytvoření homogenní směsi kovové vlákno/klasické textilní vlákno není snadné, a to zejména díky rozdílné hustotě směsovaných materiálů.

Cílem diplomové práce je otestovat a zvolit vhodnou metodiku pro získání příčného řezu příze obsahující ve své struktuře kovová vlákna, která umožní s využitím obrazové analýzy identifikovat obě vláknenné komponenty pro následné vyhodnocení jejich prostorového uspořádání a posouzení regularity nebo naopak tendence kovových vláken k vytváření shluků.

V rámci experimentální části práce byly studovány hybridní příze obsahující 20 % kovového staplového nerezového ocelového vlákna a 80 % vláken polypropylenových. V průběhu řešení práce byly nejprve obě vláknenné komponenty charakterizovány, a to z hlediska jejich geometrických a mechanických charakteristik. Je možno shrnout, že obě komponenty jsou dosti odlišné. Kovová vlákna jsou kratší o 4,71 mm, mají vyšší jemnost o 1,65 dtex. Dále je možno pozorovat, že polypropylenová vlákna jsou obloučkovitější v průměru o 5,36 obloučku/1 cm a mají rozdílný tvar příčného řezu. Polypropylenová vlákna mají tvar kruhový, zatím co vlákna nerez ocelová vytváří nepravidelný n-úhelník. Z hlediska mechanických vlastností je možno pozorovat, že kovová vlákna mají o 6,12 [cN/tex] větší pevnost než vlákna polypropylenová. Tažnost je naopak vyšší u vláken polypropylenových, a to o 72%.

Stěžejní část práce je věnována tvorbě příčných řezů příze, jelikož nebylo snadné vytvořit kvalitní příčný řez tradičními postupy, což je způsobeno rozdílností obou komponent. Byly otestovány čtyři metody tvorby příčných řezů. Nejprve byly vyzkoušeny měkké řezy zalité v bločku, kde byl problém s vytaženými vlákny. Dále byl proveden příčný řez příze s využitím destičky a konfokálního mikroskopu, kde jednotlivé komponenty byly dobře viditelné, však výsledný obraz nebyl vhodný pro další zpracování pomocí obrazové analýzy. Třetí metodu představuje mikro-tomografie, s využitím micro-CT. Tato metoda se zdála jako velmi nadějná a nejpřesnější, bylo však zjištěno, že z důvodu rozdílnosti obou komponent, hlavně kvůli rozdílné hustotě, bylo možné nasnímat pouze vlákna nerez ocelová. Vlákna polypropylenová nebyla viditelná. Poslední metoda byla provedena s využitím ručního mikrotomu, kde vzorky byly nejprve naimpregnovány a následně byl proveden řez. Tato metoda byla pracná, ale byla vyhodnocena jako nejvhodnější a vyhovující pro následnou obrazovou analýzu.

V další části práce byl připraven algoritmus zahrnující následující operace: předzpracování obrazu, osamostatnění vláken a nalezení charakteristik tak, aby bylo možno identifikovat obě vlákenné složky vč. jejich polohy v řezu příze. Nejdůležitější operací bylo osamostatnění vláken, které se často v řezu příze dotýkaly. Za tímto účelem byla využita metodika WATESHED, která spočívá v pomyslném zaplavování obrazu od nejnižších poloh terénu až po nejvyšší, kdy se zaplavuje rovnoměrně reliéf. Proces se zastaví ve chvíli, kdy voda dosáhne nejvyššího bodu terénu (maximální hodnota jasu). Výsledný obraz je rozdělený do jednotlivých částí, které jsou odděleny hrázemi. Tedy jsou rozdělena jednotlivá vlákna a může být provedena jejich charakterizace.

Prostorové uspořádání vláken bylo hodnoceno s využitím prostorové statistiky. Byly použity grafické metody hodnocení uspořádání vláken v přízi (bodová mapa, čtvercová mapa, jádrový odhad hustoty vláken v příčném řezu) spolu se statistickými odhady (G , F , K funkce) prostorových závislostí pro posuzování, ze kterého modelu v bodovém procesu vlákna pocházejí. Pro objektivní vyhodnocení bylo použito testování hypotéz s využitím horní a spodní obálky k funkci K , kde horní a spodní obálka představuje kritické hodnoty testu hypotézy, a předpokládá, že vzorek je zcela náhodný.

Z výše použitých metod bylo zjištěno, že prostorové vlákna v přízi je náhodné.

Seznam literatury

- [1] MAC, T., HOUIS, S., GRIES, T. Metal Fibers. *Technical Textiles*, 47(1), 2004, pp 11-24.
- [2] BEKAERT FIBRE TECHNOLOGIES, www.bekaert.com.
- [3] ELECTRISOLA FEINDRAHT AG, www.textile-wire.com.
- [4] SEN, A.K. *Coated Textiles: Principles and Applications*. USA: Technomic Publishing Company, Methods of metal coating, 2001, pp 193-201.
- [5] SMITH, W.C. Metallized Fabrics: Techniques and Applications. *Journal of Coated Fabrics*. 1988, pp 242-253.
- [6] MARGOLIS, J.M. *Conductive Polymers and Plastics*. New York : Chapman and Hall, 1989, pp 120-180.
- [7] MEZZO, L. The INTELTEX Project: Application of Carbon Nano Tubes in Polymers for Sensing Fibers. In *Nonwoven Research Academy: Conference Papers and Presentations*. Chemnitz, Germany: EDANA, 2008.
- [8] CAMPAGNE, Ch., et al. Smart and Multifunctional Nonwoven Textiles. In *Nonwoven Research Academy: Conference Papers and Presentations*. Chemnitz, Germany: EDANA, 2008.
- [9] WANG, G., et al. Conducting MWNT/poly(vinyl acetate) Composite Nanofibres by Electrospinning. *Nanotechnology*. 2006, 17(1), pp 5829-5835.
- [10] SAITO, R., DRESSELHAUS, G., DRESSELHAUS, M.S. *Physical Properties of Carbon Nanotubes*. London: Imperial College Press, 1998, pp 253.
- [11] BHATTACHARYA, S.K. *Metal-filled Polymers : Properties and Applications*. New York : MARCEL DEKKER, 1986, pp 331.
- [12] AUSSAWASATHIEN, D. *Electrospun Conductive Nanofiber-based Materials and their Characterization: Effects of Fiber Characteristics on Properties and Application*, 2006, pp 227. Disertation.
- [13] DONNET, J.B., et al. *Carbon Fibers*. New York: Marcel Dekker, 1998, pp 567.
- [14] ŠAFÁŘOVÁ, V. *Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, pp 1-72.

- [15] NORRIS, I.D., MATTES, B.R. *Conjugated Polymers: Processing and Applications*. FL: CRC Press, Conducting Polymer Fiber Production and Applications, 2007, pp 2-1-3-1.
- [16] HOUIS, S., SCHREIBER, F., GRIES, T. *Fibre-Table According to P.-A. Koch: Bicomponent Fibres*. Aachen, Germany : Shaker, 2008.
- [17] HANCOCK, J.G., BAKER, R.E, *European Patent*. EP1735486.
- [18] SHIRAKAWA, W. *United States Patent*. US 2009/0226721 A1.
- [19] MARSALKOVA, M. Antistatic properties of textiles. In *STRUTEX*. Liberec : TUL, 1999. s. 359-365.
- [20] MARSALKOVA, M. Antistatic properties of textiles. In *STRUTEX*. Liberec : TUL, 2001. s. 311-325.
- [21] RIETER, www.rieter.com, Accessed 2013-07-04.
- [22] URSÍNY, P. *Předení II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, pp 1-143.
- [23] OCHERETNA, L. *Textilní zbožíznalství*. (přednáška) Liberec, Technická univerzita v Liberci, 2013.
- [24] Militký J, Křemenáková D. *Metrologie a řízení jakosti*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2015.
- [25] KOŠKOVÁ, B. *Struktura a vlastnosti vláken*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1989, pp 1-316.
- [26] REDSTROM, M., REDSTROM, J., MAZE, R. *IT + Textiles*. Helsinki: The Swedish School of Textiles, University of Boras, 2005, pp 1-144.
- [27] ŠAFÁŘOVÁ, V. a MILITKÝ, J. Multifunctional Metal Composite Textile Shields Against Electromagnetic Radiation—Effect of Various Parameters on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Polymer Composites*. V tisku. 2015, pp 1-15.
- [28] OZEN, M. S., BEYIT, A., USTA, I. a AKALIN, M. Investigation of Electromagnetic Shielding Properties of Needle-punched Nonwoven Fabrics with Stainless Steel and Polyester Fiber. *Textile Research Journal*, 83(8), 2013, pp 849-858.
- [29] VARNAITĚ, S. The Use of Conductive Yarns in Woven Fabric for Protection Against Electrostatic Field. *MATERIALS SCIENCE*, 16(2), 2010, pp 133-137.

- [30] CHING, I. S. a JIN, T. CH. Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Textile Research Journal*, 74(1), 2004, pp 51-54.
- [31] RAMACHANDRAN, T. a VIGNESWARAN, C. Design and Development of Copper Core Conductive Fabrics for Smart Textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 39(1), 2009, pp 81-93.
- [32] ORTLEK, H. G., ALPYILDIZ, T. a KILIC, G. Determination of Electromagnetic Shielding Performance of Hybrid Yarn Knitted Fabrics with Anechoic Chamber Method. *Textile Research Journal*, 83(1), 2013, pp 90-99.
- [33] YU, Z. C., ZHANG, J. F., LOU CH. W., HE H. L., CHEN, A. P. a LIN, J. H. Determination of Electromagnetic Shielding and Antibacterial Properties of Multifunctional Warp-knitted Fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 106(11), 2014, pp 1203-1211.
- [34] LAI, K., RUN, J. S., MEI, Y. CH., HUI, W. a AN, X. Z. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Fabrics with Metallized Polyester Filaments. *Textile Research Journal*, 77(4), 2007, pp 242-246.
- [35] LU, X. a XUE, L. Electromagnetic Interference Shielding, Mechanical Properties and Water Absorption of Copper/Bamboo Fabric (Cu/BF) Composites. *Composites Science and Technology*, 72(7), 2012, pp 828–834.
- [36] OZEN, M.S., SANCAK, E., SOIN, N., SHAH, T. H. a SIORES, E.. Investigation of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Needle Punched Nonwoven Fabric Produced from Conductive Silver Coated Staple Polyamide Fibre. *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 2016, pp 912-922.
- [37] MISTIK, S. I., SANCAK, E., USTA, I., KOÇAK E. D. a AKALIN, M. *Investigation Of Electromagnetic Shielding Properties of Boron and Carbon Fibre Woven Fabrics and their polymer Composites* In: International Conference: Textiles & Fashion. 2012. Uhlík
- [38] CUCCHI, I., BOSCHIB, A., AROSIO, C., BERTINIA, F., FREDDI, G. a CATELLANIA, M. Bio-based conductive composites: Preparation and Properties of Polypyrrole (PPy)-Coated Silk Fabrics. *Synthetic Metals*. 159(3), 2009, pp 246-253.
- [39] ENGIN, F. Z. a USTA, I. Development and Characterisation of Polyaniline/ Polyamide (PANI/PA) Fabrics for Electromagnetic Shielding. *The Journal of The*

- Textile Institute*, 106(8), 2015, pp 872-879.
- [40] MACASAQUIT, A. C. a BINAG, CH. A. Preparation of Conducting Polyester Textile by in situ Polymerization of Pyrrole. *Philippine Journal of Science*, 130(2), 2010, pp 189-196.
- [41] NERUDA, M. a VOJTĚCH, L. *Heating Ability of Electrically Conductive Textile Materials*. In: Proceedings of 16th International Conference on Mechatronisc. 2014, pp 631-634.
- [42] ARAL, N., NERGIS, B. a CANDAN, C. The X-ray Attenuation and the Flexural Properties of Lead-free Coated Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*. 2016.
- [43] MOASA, B., HELEREA, E., IGNAT, M. a TELIPAN, G. *Experimental Research on Dissipative Textile Structures*. In: Proceedings of International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment. 2014, pp 155-160.
- [44] CHEMPOINT, www.chempoint.cz, Accessed 2017-03-20
- [45] MARTINEZ, W. L. a MARTINEZ, A. R. *Computational Statistics Handbook with MATLAB®*. Chapman & Hall/CRC, 2002.
- [46] BADDELEY, A. *Analysing spatial point patterns in R*. Version 4.1. CSIRO and University of Western Australia, 2010.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma procesu svazkového tažení [1].	14
Obrázek 2: Výroba vláken použitím metody řezání [2].	15
Obrázek 3: Podstata metody vytahování taveniny [2].	16
Obrázek 4: Různé varianty bikomponentních vláken [16].	24
Obrázek 5: Umístění vodivých sazí v bikomponentním vlákne.	25
Obrázek 6: Uspořádání uhlíkové části v bikomponentním vlákne.	25
Obrázek 7: Mísící agregát UNImix – Rieter [21].	28
Obrázek 8: Princip vyrovnání hmotné nestejnomyěrnosti na posukovacím stroji, kde 1. jsou skenovací disky, 2. představuje digitální zpracování signálu, 3. servo motor, 4. protahovací systém, 5. hlavní motor, 6. monitorování kvality [21].	29
Obrázek 9: Princip systému Dref 3000[21].	30
Obrázek 10: Leonská nit [23].	30
Obrázek 11: Vlákenná směs.	31
Obrázek 12: Příčný řez vlákna.	33
Obrázek 13: Nerovnoměrnost příze v axiálním směru.	35
Obrázek 14: Mikroskopické snímky hybridní příze obsahující 15 % [27].	39
Obrázek 15: Schéma třívrstvé zátažné pleteniny s $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ úhly jednotlivých vrstev [27].	41
Obrázek 16: (a) Schéma znázornění Criss-cross-section, (b) reálný snímek vytvořené příze [33].	42
Obrázek 17: Tkaniny v plátnové vazbě (a) borová tkanina, (b) uhlíková tkanina, (c) bor-uhlíková tkanina [36].	43
Obrázek 18: Mikroskopické snímky hybridní příze s obsahem vodivé komponenty (a) 1%, (b) 20%.	47
Obrázek 19: Histogram četností pro (a) vlákna polypropylenová, (b) vlákna nerez ocelová.	48
Obrázek 20: Q-Q graf délky vláken (a) vlákna polypropylenová, (b) vlákna nerez ocelová.	48
Obrázek 21: Sloupcový graf se znázorněnou délkou vláken spolu s 95%IS pro polypropylenová a nerez ocelová vlákna.	49
Obrázek 22: Q-Q graf jemnosti vláken (a) polypropylenových, (b) nerez ocelových.	50
Obrázek 23: Porovnání jemnosti polypropylenových a nerez ocelových vláken.	51
Obrázek 24: Příčný řez (a) polypropylenových vláken, (b) nerez ocelových vláken.	52

Obrázek 25: Pracovní křivky pro (a) polypropylenová vlákna, (b) nerez ocelová vlákna..	53
Obrázek 26: Q-Q graf pevnosti (a) polypropylenových vláken, (b) vláken nerez ocelových.	54
Obrázek 27: Q-Q graf tažnosti (a) polypropylenových vláken, (b) vláken nerez ocelových.	54
Obrázek 28: (a) Sloupcové grafy poměrné pevnosti, (b) sloupcové grafy tažnosti.	55
Obrázek 29: Měkký řez hybridní příze.....	56
Obrázek 30: Příčný řez hybridní příze zobrazený pod konfokálním mikroskopem.....	57
Obrázek 31: Příčný řez příze z mikrotomu (a) povedený řez, (b) nepovedený řez s vytaženými nerez ocelovými vlákny.	59
Obrázek 32: Řez příze pořízený s využitím micro CT (a) podélný pohled, (b) příčný řez.	60
Obrázek 33: Příčný řez příze.	61
Obrázek 34: Vývojový diagram pro osamostatnění vláken z příčných řezů.....	62
Obrázek 35: (a) Šedotónový obraz se zvýrazněnou oblastí zájmu, (b) oříznutý šedotónový obraz.	63
<i>Obrázek 36: Histogram rozmístění úrovní šedi pro šedotónový obraz.</i>	63
Obrázek 37: (a) Šedotónový obraz, (b) binární obraz spolu s negací.....	64
Obrázek 38: Binární obraz (a) s vyplněnými objekty, (b) bez nekompletních objektů.....	65
Obrázek 39: (a) Distanční mapa, (b) obraz po aplikaci watershed.....	65
Obrázek 40: Binární obraz (a) před segmentací vláken, (b) po segmentaci vláken,(c) zvětšená oblast z obrázku 40(a), (d) zvětšená oblast z obrázku 40(b).	67
Obrázek 41: Binární obraz kde jsou viditelné (a) polypropylenová vlákna spolu s nerez ocelovými vlákna, (b) nerez ocelová vlákna.	68
Obrázek 42: (a) Binární obraz s polypropylenovými vlákny, (b) výsledný obraz s polypropylenovými vlákny (modré objekty) a vlákny nerez ocelovými (tmavě zelené objekty).	68
Obrázek 43: Rozmístění dat v obraze (a) náhodné, (b) pravidelné, (c) data vytváří shluky [45].	71
Obrázek 44: (a) Vstupní obraz vstupující do prostorové statistiky, (b) bodová mapa představující těžiště vláken.....	72
Obrázek 45: Bodová mapa představující těžiště vláken spolu s počty (a) nerez ocelových vláken, (b) všech vláken v přízi.....	72
Obrázek 46: Jádrový odhad hustoty (a) vláken nerez ocelových v příčném řezu příze, (b) obou komponent v příčném řezu příze.	73

Obrázek 47: G funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b) všechna vlákna v přízi.....	75
Obrázek 48: F funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b)všechna vlákna v přízi.	76
Obrázek 49: K funkce (a) nerez ocelová vlákna v přízi, (b)všechna vlákna v přízi.....	78
Obrázek 50: Zvětšené počátky K funkce (a) nerez ocelových vláken, (b) polypropylenových vláken.	78
Obrázek 51: F funkce se spolehlivostními obálkami pro (a) nerez ocelová vlákna, (b) všechny vlákna v přízi.	79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání vlastností kovů [3].	17
Tabulka 2: Základní statistické charakteristiky délky vláken obou komponent.	48
Tabulka 3: Naměřené vlastnosti na přístroji Vibroskop 400 a Vibrodyn 400 pro PP.	50
Tabulka 4: Naměřené vlastnosti na přístroji Vibroskop 400 a Vibrodyn 400 pro SS.	50
Tabulka 5: Naměřené hodnoty obloučkovitosti pro vlákna polypropylenová a nerez ocelová.	52
Tabulka 6: Navážené hodnoty vzorků na délce 100 m.	58
Tabulka 7: Měnící se hodnoty parametrů pro obrazovou analýzu.	69