



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



OBJEKTIVNÍ SYSTÉM HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI S VYUŽITÍM METODY GRADIENTNÍCH POLÍ A PROSTOROVÉ ANALÝZY DAT

Lenka Techniková

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: OBJEKTIVNÍ SYSTÉM HODNOCENÍ
ŽMOLKOVITOSTI S VYUŽITÍM METODY
GRADIENTNÍCH POLÍ A PROSTOROVÉ ANALÝZY
DAT

Autor: Lenka Techniková

Obor doktorského studia: Textilní materiálové inženýrství

Forma studia: Prezenční

Školící pracoviště: Katedra hodnocení textilií

Školitel: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.

Složení komise pro obhajobu disertační práce

Předseda: prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

Místopředseda: prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.

Členové: prof. RNDr. Gejza Dohnal, CSc. (oponent)

RNDr. Dr. Jiří Janáček (oponent)

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.

Ing. Bc. Monika Vyšanská, Ph.D.

S disertační prací je možno seznámit se na děkanátu Fakulty textilní Technické univerzity v Liberci.

ANOTACE

V předložené disertační práci je řešena problematika objektivního hodnocení žmolkovitosti různých druhů plošných textilií a odhad distribuce žmolků na ploše testovaných vzorků. V první řadě je provedena 3D rekonstrukce povrchu vzorků se žmolky pomocí metody gradientních polí. Základní idea této metody vychází ze stínů žmolků, které jsou vytvořeny šikmým osvětlením vzorku ze čtyř stran. Žmolky v získaném 3D povrchu představují vrcholy, které je pak na základě vybrané segmentační metody snadné oddělit od struktury textilie. Z binárních obrazů vzorků jsou dále počítány základní charakteristiky žmolkovitosti, které slouží zejména pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti. Ze získaných výsledků plyne, že metoda je vhodná jak pro hodnocení žmolkovitosti jednobarevných textilií, tak pro hodnocení textilií se složitějším vzorem, kde běžné metody většinou selhávají. V další části práce je hledán vhodný model pro popis distribuce žmolků na ploše textilií. Na základě prostorové analýzy dat je odhaleno, že se žmolky netvoří náhodně, ale na malé vzdálenosti se odpuzují a na delší jsou rozloženy nehomogenně.

Klíčová slova: žmolkovitost, 3D rekonstrukce povrchu, objektivní hodnocení žmolkovitosti, distribuce žmolků.

ANNOTATION

The thesis deals with an objective pilling evaluation of various types of fabrics and with estimation of pills distribution in sample space. First of all a 3D reconstruction of fabric surface with pills is carried out by gradient field method. The basic idea of the method is to create pill shadows from four sides by lateral illumination. The pills represent peaks in the 3D fabric surface which are easily separated from the fabric structure by a method of segmentation. For a purpose of determination of an objective pilling grade, basic pill characteristics are counted from obtained binary images of the samples. The results show that the proposed method is suitable not only for pilling evaluation of unicolor fabrics but even for patterned fabrics where common methods failed. In the next part of the thesis a suitable model for description of the pills distribution in sample space is searched. Spatial data analysis detected that pills are not occurred randomly but pills repel each other on short distances and are distributed inhomogeneous on longer distances.

Key words: pilling, 3D surface reconstruction, objective pilling evaluation, pills distribution.

ANMERKUNG

Die Arbeit beschäftigt sich mit einer objektiven Pilling-Bewertung verschiedener Arten von flächenhaften Textilien und mit der Pilling-Abschätzung Pillen Verteilung in den Protextilien. Zuerst ist die 3D-Rekonstruktion der Oberfläche der Textilien mit den Pillen durch die Gradientenfeldermethode gemacht. Die Grundidee des Verfahrens geht aus den Schatten der Klumpen, mit der schrägen Beleuchtung der Probe-textilien von vier Seiten gebildet sind. Klumpen in der erworbenen 3D-Oberfläche stellt die Spitze, die von der Struktur der Probe-textilien durch ein Segmentierungsverfahren getrennt sind. Zu der Bestimmung eines objektiven Pilling-Grades sind die grunden Pille-Eigenschaften von erhalten Binärbildern gezählt. Die Ergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene Verfahren eignet sich nicht nur für die Beurteilung der Pilling der unicoloren Stoffen, sondern auch für die gemusterten Stoffen. Im nächsten Teil der Arbeit ist ein passendes Modell zur Pillen-Verteilung in die Oberfläche der Textilien durchsucht. Durch die Datenanalyse wurde festgestellt, dass die Pillen nicht zufällig verteilen sind. Pillen stoßen sich auf den kurzen Strecken ab und auf den längeren Strecken sind inhomogen verteilt.

Stichworte: Pillen, 3D-Rekonstruktion der Oberfläche, objektive Beurteilung der Pilling, Verteilung der Pillen.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Předmět a cíle disertační práce.....	6
3	Přehled současného stavu problematiky	8
4	Studované materiály.....	10
5	Použité metody.....	13
6	Přehled dosažených výsledků	17
6.1	Subjektivní hodnocení žmolkovitosti vzorků	17
6.2	Návrh objektivní metody pro hodnocení žmolkovitosti	17
6.3	Kvantitativní hodnocení žmolkovitosti	19
6.4	Návrh grafického uživatelského prostředí.....	21
6.5	Kvalitativní hodnocení žmolkovitosti	22
7	Zhodnocení výsledků a nových poznatků	28
8	Seznam použité literatury.....	30
9	Práce autora se vztahem ke studované problematice	34
9.1	Publikace v odborných časopisech.....	34
9.2	Příspěvek ve sborníku z konference	34
9.3	Příspěvek ve sborníku z workshopů.....	35
9.4	Citace.....	35
	Curriculum Vitae.....	36
	Stručná charakteristika dosavadní odborné a vědecké činnosti	38
	Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky	40
	Vyjádření školitele doktoranda	41
	Oponentské posudky disertační práce	43

1 Úvod

Defekty textilií jsou všeobecně výrazným problémem v textilním průmyslu, který má vliv na jejich výslednou kvalitu. Nejčastější defekty textilií jsou spojeny s vadami struktury a s vadami, které jsou způsobeny jednotlivými vlákny nebo skupinou vláken vyčnívajících z povrchu textilie. Mezi tuto skupinu defektů povrchu textilií se řadí zejména žmolkovitost. Žmolkovitost textilních materiálů je všeobecně brána jako negativní vlastnost a patří mezi první vizuální dojmy při posuzování kvality materiálu. Žmolky vznikají na povrchu každé textilie při jejím používání a údržbě. Během procesu žmolkování se vyčnívající vlákna z povrchu textilie vlivem tření o stejnou textilií či o jiný povrch zaplétají do sebe a vytvářejí tak nevzhledné spletence vláken. Žmolek tedy představuje malou kuličku do sebe zapletených vláken, která je spojena s povrchem materiálu. Důsledkem tvorby žmolků je zejména narušení vzhledu povrchu textilie. Žmolkovitost patří mezi nejčastěji hodnocenou vlastnost v rámci kontroly kvality textilií a je tedy na místě se efektivitou metod jejího hodnocení zabývat.

V textilním průmyslu se i v současné době pro hodnocení žmolkovitosti materiálů stále využívají subjektivní metody. Subjektivní metody jsou založeny na hodnocení vzorku se žmolky na základě přiřazení stupně žmolkovitosti dle normy a etalonů hodnotitelem. Avšak se změnou hodnotitele může dojít i ke změně hodnocení stupně žmolkovitosti vzorků. Na změnu hodnocení stupně žmolkovitosti pomocí subjektivní metody má totiž vliv několik lidských faktorů, například fyzický či psychický stav hodnotitele. Právě z tohoto důvodu je snaha postupně nahradit subjektivní metody hodnocení žmolkovitosti metodami objektivními. Metody objektivní by měly slabé stránky subjektivních metod eliminovat.

Metody pro objektivní hodnocení žmolkovitosti textilních materiálů nejčastěji vychází z metod obrazové analýzy. Tyto metody jsou zaměřeny na různé principy detekce žmolků v obraze povrchu textilií. Většina objektivních metod je založena na hodnocení žmolkovitosti z dvourozměrného (2D) či třírozměrného (3D) obrazu povrchu textilie. Všeobecně je pořízení 2D obrazu mnohem jednodušší než získání 3D povrchu. Zároveň jsou ale informace z 2D obrazu často nedostačující, a to zejména při segmentaci žmolků z povrchu vzorovaných textilií. V tomto případě by měla být analýza 3D povrchu textilií podstatně přesnější. Proto se také neustále stupňuje snaha o 3D rekonstrukci povrchu textilií. Výraznější překážkou při hodnocení žmolkovitosti u 3D povrchů je právě způsob jejich pořízení. Buď je zapotřebí drahé přístrojové vybavení pro snímání povrchu, nebo poměrně dlouhý čas pro tvorbu 3D obrazu. Často dokonce platí obě zmíněné nevýhody. Kvalitní a zároveň jak časově, tak i přístrojově nenáročné získání 3D povrchu je cílem mnoha metod, které pro své řešení využívají obrazovou analýzu.

V rámci komplexního objektivního hodnocení žmolkovitosti textilií by měl být brán ohled nejen na hodnocení žmolkovitosti z kvantitativního hlediska, ale i na hodnocení z kvalitativního hlediska. V případě kvantitativního hodnocení se jedná o výpočet významných charakteristik žmolků jako je jejich počet, plocha, obvod a hustota. Z hodnot vybraných charakteristik je pak možné odhadnout objektivní stupeň žmolkovitosti. Kvalitativní hodnocení žmolkovitosti dává informace ohledně distribuce žmolků na ploše vzorku. To znamená, zda se žmolky shlukují, zda jsou rozloženy náhodně, či nenáhodně.

2 Předmět a cíle disertační práce

Předmětem disertační práce je hodnocení žmolkovitosti různých typů textilních materiálů pomocí subjektivní a objektivní metody. Cílem práce je vývoj komplexní objektivní metody pro hodnocení žmolkovitosti různých druhů textilií. Důležitým krokem je výběr a aplikace vhodné metody pro 3D rekonstrukci povrchu textilií se žmolky. Zde je třeba, aby daná metoda byla schopná zrekonstruovat 3D povrch textilie i s tak malými objekty na povrchu jako jsou žmolky a také aby efektivně potlačila i vliv případného vzoru textilie na segmentaci žmolků. Žmolkovitost je v této práci hodnocena jak z kvantitativního pohledu, tak i z kvalitativního pohledu.

Předložená disertační práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole disertační práce je uveden souhrn současného stavu problematiky, kde je představeno několik studií zabývajících se objektivním hodnocením žmolkovitosti. Ve druhé kapitole je nejprve popsána žmolkovitost, její příčiny, proces vzniku žmolků, jeho jednotlivé fáze a také je zde znázorněna ukázka vybraných modelů žmolkovitosti. Důležitým faktorem pro zjištění efektivity objektivních metod je porovnání jejich výsledků se subjektivními metodami. Subjektivní metoda hodnocení žmolkovitosti podle normy je popsána ve třetí kapitole. Zde jsou také představeny základní typy přístrojů, které se běžně využívají v textilním průmyslu pro simulaci procesu žmolkování.

Ve čtvrté kapitole disertační práce následuje postup navržené metody pro objektivní hodnocení žmolkovitosti. Nejprve jsou představeny sady vzorků, které jsou použity pro experiment objektivního hodnocení žmolkovitosti. Tato část práce dále popisuje postup a výsledky subjektivního hodnocení žmolkovitosti sad vzorků. Po subjektivním hodnocení následuje snímání obrazu vzorků. Snímání obrazu vzorků vychází z požadavků metody gradientních polí, která je v této práci využita za účelem 3D rekonstrukce povrchu textilií. Pro možnost využití metody gradientních polí je třeba vzorek osvětlit šikmo ze čtyř stran a vytvořit tak stín žmolků. Při jednotlivém osvětlení vzorků je povrch vzorku vždy nasnímán. Tímto způsobem je pro každý vzorek vytvořena sada čtyř vzorků. Za účelem tvorby požadovaných stínů i tak malých objektů jako jsou žmolky na povrchu textilie, je v této práci představen návrh a realizace speciálního světelného systému. Po nasnímání obrazu povrchu vzorků textilií následuje popis kroků pro předzpracování jednotlivých obrazů vzorků před 3D rekonstrukcí.

Jak již bylo zmíněno výše, 3D rekonstrukce povrchu textilií je v této práci realizována pomocí metody gradientních polí. Základní myšlenkou této metody jsou stíny objektu, které jsou vytvořeny šikmým osvětlením. V další části čtvrté kapitoly je popsán princip 3D rekonstrukce povrchu textilií. Zde jsou ukázány výsledky rekonstrukce povrchu pomocí metody gradientních polí nejdříve na vybraném předmětu a dále na vzorku jednobarevné textilie. Zrekonstruovaný 3D povrch vzorků je pak zpracován pro snadnější segmentaci žmolků. Po 3D rekonstrukci povrchu následuje popis a ukázky výsledků aplikované metody segmentace obrazu vzorků. Na konci čtvrté kapitoly jsou ukázány výsledky navržené objektivní metodiky na vzorcích testovaných na Komorovém žmolkovacím přístroji.

V páté kapitole jsou ukázány výsledky další metody, která hodnotí žmolkovitost na 2D obrazech textilií pomocí Fourierovy transformace. Zde jsou také představeny výsledky navržené metodiky v případě vzorovaných textilií. Šestá kapitola disertační práce se zabývá kvantitativním hodnocením žmolkovitosti. V této části práce je ukázán postup pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti na základě vybraných charakteristik žmolkovitosti s využitím lineární regrese. Po odhadu objektivního stupně žmolkovitosti je možné srovnat výsledky navržené metodiky nejen z hlediska segmentace žmolků, ale i na základě získaného objektivního stupně žmolkovitosti. V sedmé kapitole tedy následuje porovnání výsledků navržené metodiky s výsledky další metody, která rekonstruuje povrch textilie na základě odlišného principu. Pro možnost jednoduché aplikace navržené objektivní metody do praxe je v osmé kapitole představen návrh grafického uživatelského rozhraní.

Kvalitativním hodnocením žmolkovitosti se zabývá desátá kapitola této práce. Tato kapitola pojednává o využití různých nástrojů prostorové analýzy dat za účelem odhadu distribuce žmolků na ploše textilie. Zde jsou také srovnány distribuce žmolků, které byly vytvořeny simulací v laboratoři a běžným nošením. Závěrem práce je provedeno zhodnocení získaných výsledků komplexního hodnocení žmolkovitosti a také je uvedeno doporučení pro další výzkum v této oblasti.

V disertační práci je řešena problematika komplexního objektivního hodnocení žmolkovitosti, které zahrnuje několik dílčích cílů:

- výběr vhodné metody pro 3D rekonstrukci povrchu, která bude časově i přístrojově nenáročná a efektivně zrekonstruuje povrch textilie i s tak malými objekty jako jsou žmolky,
- návrh a realizace speciálního světelného systému pro možnost tvorby stínů žmolků při snímání obrazu povrchu textilií,
- potlačení vzoru v 3D povrchu textilie za účelem přesnější segmentace žmolků ze struktury materiálu,
- výběr vhodné segmentační metody pro oddělení žmolků od povrchu textilie,
- odhad odpovídajícího objektivního stupně žmolkovitosti na základě hodnot vybraných charakteristik žmolkovitosti a lineární regrese,
- testování navržené metodiky na vzorcích připravených na přístroji Martindale, na Komorovém žmolkovacím přístroji, dále na sadě jednobarevných a vzorovaných vzorků a vzorků s výrazněji tvarovanou strukturou,
- testování další metodiky pro srovnání výsledků, která hodnotí žmolkovitost na 2D obrazech textilií s využitím Fourierovy transformace,
- srovnání výsledků navržené metody s jinou metodou, která rekonstruuje povrch na základě odlišného principu,
- návrh grafického uživatelského rozhraní pro snadnější využití navržené metodiky v praxi,
- odhad distribuce žmolků na ploše textilie s využitím několika nástrojů prostorové analýzy dat,
- porovnání distribuce žmolků, které byly vytvořeny simulací na přístroji v laboratoři se žmolky, které byly vytvořeny běžným nošením a praním.

3 Přehled současného stavu problematiky

V posledních letech bylo představeno několik studií týkajících se objektivních metod pro hodnocení žmolkovitosti textilií. Tyto studie se zaměřily na různé principy hodnocení žmolkovitosti textilií zejména prostřednictvím obrazové analýzy. Níže uvedený přehled představuje metody, které byly v posledních letech realizovány a testovány za účelem objektivního hodnocení žmolkovitosti textilií.

Objektivní hodnocení žmolkovitosti pomocí obrazové analýzy a získání charakteristik žmolků z obrazu textilie představil ve své práci *Xu* [1]. Autor práce využil pro objektivní hodnocení žmolkovitosti dvourozměrnou diskretní Fourierovu transformaci (2D DFT). 2D DFT patří mezi spektrální techniky a je vhodná pro popis texturních obrazů, zejména pak periodicky opakujících se vazeb textilií. Podobným principem objektivního hodnocení žmolkovitosti se zabýval také *Xin et al.* [3]. V tomto případě byla snaha simulovat vizuální vnímavost pomocí techniky srovnání se vzorem. Srovnání se vzorem je proces, kdy definovaný vzor prochází přes celý obraz a vypočítává se korelace mezi vzorem a obrazem textilie. Pro odhad vzoru v rámci detekce žmolků byla v tomto případě použita Gaussova dvourozměrná funkce. Autoři *Behera a Mohan* [4] za účelem tvorby nové metody nejprve získali obrazy etalonů textilií s různými stupni žmolkovitosti skenováním a poté sadu pořízených obrazů zpracovali v nově vytvořeném softwaru pomocí Fourierovy transformace. Princip metody uvedené v práci [5] byl založen na hledání rohů v obraze textilie, tedy hledání vazných bodů osnovních a útkových nití, s využitím Harrisova rohového detektoru.

Metodu *Edge Flow* pro vývoj systému objektivního hodnocení žmolkovitosti uvedli *Xiaojun et al.* [6]. Tento systém objektivního hodnocení žmolkovitosti byl založen také na technikách zpracování obrazu. Autoři tohoto článku navrhli algoritmus pro segmentaci žmolků různých druhů textilií, který využívá barvy, textury obrazu a fáze vektoru *Edge Flow*. Vývoj objektivní metody hodnocení žmolkovitosti založený na víceúrovňové 2D *dual-tree* komplexní vlnkové transformaci a lineární rozlišovací funkci Bayesova pravidla byl popsán ve studiích [7, 8]. V rámci klasifikace žmolkovitosti byly aplikovány lineární a nelineární metody. Přijatelné výsledky identifikace žmolků byly v případě nelineární klasifikace získány pomocí neuronových sítí. Metody pro objektivní klasifikování intenzity žmolkování textilií založené na vlnkové analýze textury jsou dále uvedeny v článcích [9-12]. *Zhang et al.* [9] pomocí této metody vytvořili vektor komplexních vlastností textury. Tento systém tvoří významný faktor pro objektivní hodnocení žmolkovitosti pomocí technik zpracování digitálního obrazu. Jako matematický základ byla v této metodě použita analýza hlavních komponent (*PCA-Principal Components Analysis*) a diskriminační analýza (*DA-Discriminant Analysis*). Další metodu pro nedestruktivní a objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím diskretní vlnkové transformace realizovali *Kim a Kang* [11]. Analýza digitálního obrazu využitá pro odstranění opakování vazby textilií byla navržena podle standardizovaných fotografií vzorků se žmolky. Pro zvýraznění žmolků a snížení vlivu opakování vazby textilie zde bylo navrženo schéma vlnkové rekonstrukce obrazu. *Palmer a Wang* [12] představili metodu pro objektivní měření žmolkovitosti zaměřenou na analýzu frekvenční oblasti obrazu textilie se žmolky. Analýza frekvenční oblasti obrazu byla založena na dvourozměrné diskretní vlnkové transformaci, která byla využita pro měření a rozlišování intenzity

žmolkování textilie. V práci [13] je uveden postup a popis experimentálního systému pro objektivní odhad stupně žmolkovitosti, který je založen na optické triangulaci s duálním skenovacím systémem. Autoři *Mendes et al.* zde popisují kvalitativní a kvantitativní analýzu hodnocení žmolkovitosti textilií. Rozpoznání a segmentace žmolků na povrchu textilií za pomoci multi-škálového přizpůsobeného filtrování je představeno ve studii [14]. Porovnání metod subjektivního a objektivního hodnocení žmolkovitosti různých druhů textilií uvedli ve své studii *Mendes et al.* [15]. Nejprve byla sada vzorků textilií se žmolky subjektivně ohodnocena panelem respondentů. Poté byla tato sada vzorků textilií analyzována objektivní metodou, která byla založená na duálním optickém skenovacím systému. Účelem této práce bylo vytvořit korespondující model mezi subjektivní a objektivní metodou pro automatické přiřazení stupně žmolkovitosti pomocí jednoduchého stanovení celkového objemu žmolků na povrchu textilií.

Metoda gradientních polí, pomocí níž jsou v této práci rekonstruovány povrchy textilií se žmolky, vychází z metod založených na získání tvaru ze stínů objektu, tzv. *Shape from Shading (SFS)*. Jedná se tedy o rekonstrukci tvaru povrchu na základě vzniklých stínů. Například *Ramachandran* [16] ve své práci dokázal, že mozek je schopný získat informaci o tvaru objektu nejen na základě stínování, ale i pomocí obrysu, základních vlastností povrchu a ze systému vizuálních znalostí objektů. Dále *Barrow a Tenenbaum* [17] zjistili, že právě linie, která tvoří přechod mezi stínem a texturou objektu, představuje hlavní roli v interpretaci stínovaných povrchů. Také autoři *Mingolla a Todd* [18] studovali lidský vizuální systém hodnocení předmětů založený na vnímání jejich tvarů. Rekonstrukcí tvaru objektu se složitějším nebo zvlněným povrchem na základě stínů objektu se například zabývala i studie *Horna* [19]. Minimalizační přístup zkoumali ve své práci *Ikeuchi a Horn* [20]. Pomocí tohoto přístupu dochází k obnovení gradientů obrazu povrchu. Tvar objektu je počítán na základě minimalizace funkce energie obsahující jas a hladkost povrchu. Autoři *Brooks a Horn* [21] se snažili minimalizovat stejnou funkci energie, ale za podmínek normály povrchu. Prosazení integrovatelnosti v *Brooksově a Hornově* algoritmu využili také autoři *Frankot a Chellappa* [22] za účelem obnovení integrovatelnosti povrchu. *Horn* uvedl ve své práci [23] metodu s charakteristickými pruhy, která vychází ze šířícího přístupu. Charakteristický pruh představuje linii v obraze, podél které je možné vypočítat hloubku a orientaci povrchu, pokud jsou tyto veličiny známy v počátečním bodu linie. *Oliensis* [24] ve své studii uvedl, že tvar povrchu může být rekonstruovaný nejen z uzavřených hranic stínů, ale i z jednotlivých bodů obrazu. Z této myšlenky vycházeli v další studii autoři *Dupuis a Oliensis* [25], kteří řešili tento problém pomocí numerických metod. Podobně jako v předchozích studiích i zde *Kimmel a Bruckstein* [26] rekonstruovali povrch přes vrstvy ze stejné vrstevnice v původní uzavřené křivce povrchu. K dalším přístupům v metodách *SFS* patří lokální přístup, který ve své práci uvedl *Pentland* [27]. V tomto případě se tvar povrchu rekonstruuje z intenzity pixelů obrazu a jeho první a druhé derivace. Autor využil předpokladu, že povrch je lokálně zakřivený v každém jeho bodu. Ze stejného předpokladu vyšli ve své studii i *Lee a Rosenfeld* [28], kteří počítali sklon povrchu v systému souřadnic podle světelného zdroje pomocí první derivace intenzity pixelů obrazu. *Pentland* [29] se ve svém dalším příspěvku také zaměřil na řešení problematiky metod *SFS*. Postup v této studii vycházel z lineární aproximace funkce reflektance za podmínek gradientu povrchu.

4 Studované materiály

Pro experiment hodnocení žmolkovitosti pomocí navržené objektivní metody byly testovány vzorky textilií s různými vazbami, stupni žmolkovitosti, materiálovým složením, dostavami, barvami, ale i s různými vzory. Testované vzorky byly rozděleny na dvě skupiny. Dané skupiny se lišily v procesu vzniku žmolků. První skupina obsahovala sady vzorků se žmolky, které vznikly simulací na přístroji Martindale a na Komorovém žmolkovacím přístroji. Tato skupina byla dále rozdělena na vzorky jednobarevné a vzorované. Celkem bylo v první skupině testováno 81 jednobarevných vzorků a 61 vzorovaných vzorků. Druhá skupina obsahovala 26 jednobarevných i vzorovaných vzorků se žmolky, které vznikly při běžném nošení a praní (oděvy). Cílem v další části práce pak bude zjistit, zda se tyto dva principy vzniku žmolků od sebe liší. Přehled použitých sad jednobarevných a vzorovaných vzorků v první a v druhé skupině s uvedeným počtem vzorků v jednotlivých sadách je zobrazen v tab. 1 až 3. Obr. 1 znázorňuje obrazy reprezentativních jednobarevných vzorků, obr. 2 vzorovaných vzorků z jednotlivých sad vzorků z první skupiny a obr. 3 zobrazuje reprezentativní vzorky z jednotlivých sad z druhé skupiny vzorků.

Tab. 1 Počet jednobarevných vzorků v jednotlivých sadách první skupiny vzorků.

Sada vzorků	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Celkem vzorků
Počet vzorků	16	18	6	4	11	2	7	7	5	5	81

Tab. 2 Počet vzorovaných vzorků v jednotlivých sadách první skupiny vzorků.

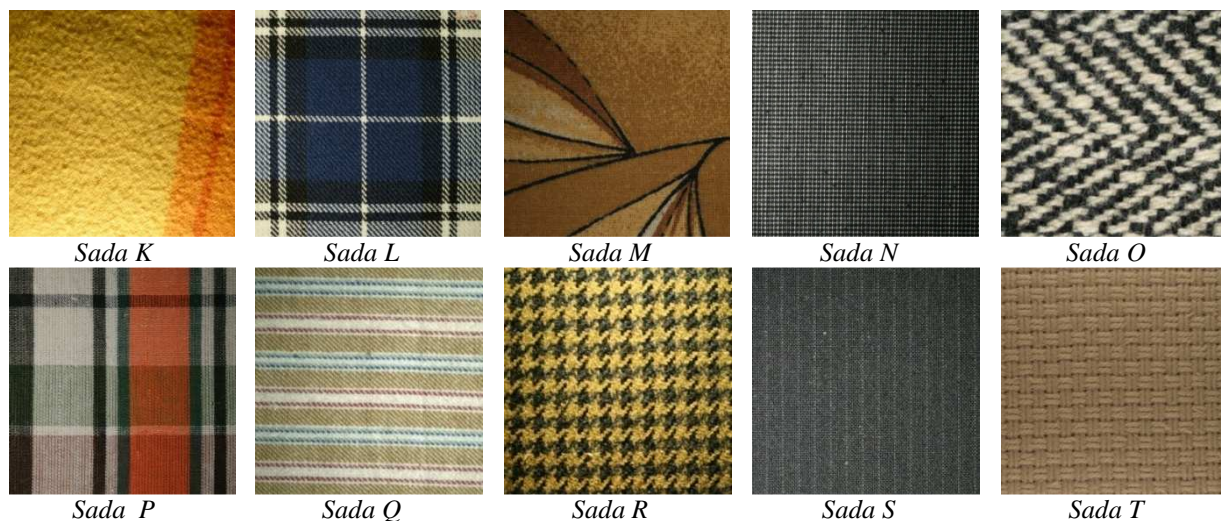
Sada vzorků	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	Celkem vzorků
Počet vzorků	15	7	2	2	7	7	6	3	6	6	61

Tab. 3 Počet vzorků v jednotlivých sadách druhé skupiny vzorků

Sada vzorků	Na	Nb	Nc	Nd	Ne	Nf	Ng	Nh	Ni	Nj	Nk	Nl	Nm	Celkem vzorků
Počet vzorků	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	6	4	26



Obr. 1 Obrazy jednobarevných vzorků reprezentující jednotlivé sady z první skupiny vzorků.



Obr. 2 Obrazy vzorovaných vzorků a vzorků s výraznou vazbou reprezentující jednotlivé sady z první skupiny vzorků.



Obr. 3 Obrazy vzorků reprezentující jednotlivé sady z druhé skupiny vzorků.

Základní popis a specifikace testovaných vzorků pro sady jednobarevných a vzorovaných textilií z první skupiny je představen v tab. 4 a 5. V tomto přehledu jsou uvedeny pro každou sadu z první skupiny vzorků následující informace: zda se jedná o tkaninu či pleteninu, dále specifikace použité vazby, speciální specifikace druhu vzorku (pokud je potřeba danou textilií blíže specifikovat), materiálové složení, plošná hmotnost a také dostava osnovy a útku jako průměr ze třech měření (u pletenin je uvedena hustota řádků a sloupeků). Stupeň žmolkovitosti vzorků je v rozmezí od pátého stupně – povrch textilie bez žmolků, až po stupeň první, kdy má vzorek textilie výrazně žmolkující povrch.

Tab. 4 Specifikace sad jednobarevných vzorků z první skupiny.

Sada jednobarevných vzorků	Druh textilie- Vazba	Další specifikace	Materiálové složení	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Dostava [cm ⁻¹]	
					Osnovy	Útku
A	Tkanina-Plátňová	-	Bavlna	76	20	17
B	Pletenina-jednolící zátážná hladká	-	Vlna	124	32	27
C	Tkanina-Plátňová	-	Bavlna	76	20	17
D	Tkanina-4-vazná oboulicní keprová	Flanel, cirkas	Vlna	142	34	26
E	Tkanina-Plátňová	-	Bavlna	76	22	18
F	Tkanina-4-vazná osnovní keprová	Pracovní kepr	Bavlna	130	31	15
G	Tkanina-5-vazná zesílená keprová	Plst'	Vlna	253	31	28
H	Tkanina-Plátňová	-	Vlna/Polyester	100	27	20
I	Tkanina-5-vazná osnovní atlasová	Bavlnářský satén	Bavlna	74	40	34
J	Tkanina-zesílená plátňová	Vlnářská panama 2x2	Vlna/Polyamid	130	23	21

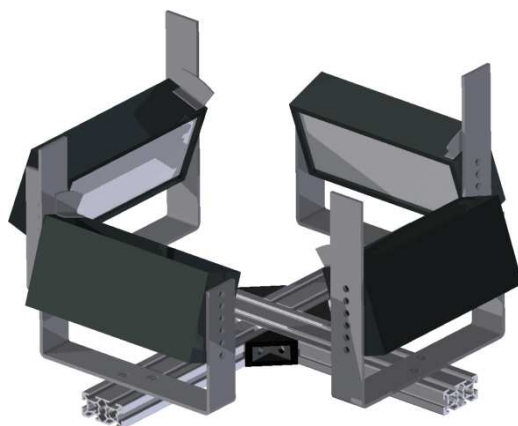
Tab. 5 Specifikace sad vzorovaných vzorků a vzorků s výraznou vazbou z první skupiny.

Sada vzorovaných vzorků	Druh textilie- Vazba	Vzor	Výroba vzoru	Další specifikace	Materiálové složení	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Dostava [cm ⁻¹]	
							Osnovy	Útku
K	Tkanina-plátňová	Květinový + pruhy	Přímý potisk	Barchet	Bavlna	85	19	17
L	Tkanina-4-vazná oboulicní keprová	Káro	Barevné snování a házení	Cirkas	Polyester	110	29	26
M	Tkanina-plátňová	Přírodní motivy	Přímý tisk	Véba	Bavlna	71	27	20
N	Tkanina-kombinace plátňové a keprové vazby	-	-	-	Vlna/Polyester	86	32	30
O	Tkanina-lomený kepr	Rybí kost	Barevné snování a házení	Tvíd, příze typu melé	Vlna/Polyamid	250	6	5
P	Tkanina-plátňová	Káro	Barevné snování a házení	Kanafas	Bavlna	64	38	24
Q	Tkanina-oboulicní zesílená keprová	Pruhy	Barevné snování	Flanel	Bavlna	94	29	24
R	Tkanina-4-vazná oboulicní keprová	Kohoutí stopa	Barevné snování a házení	Cirkas	Vlna	115	24	23
S	Tkanina-plátňová	Křídový proužek	Barevné snování	-	Polyester	95	21	20
T	Tkanina-vazba odvozená od plátňa	-	-	Naté	Vlna/Polyamid	158	17	14

5 Použité metody

Disertační práce má dva významnější cíle. Prvním cílem je vývoj objektivní metody hodnocení žmolkovitosti textilií. V rámci porovnání výsledků navržené objektivní metodiky bylo nejdříve potřeba testované vzorky subjektivně ohodnotit. Hlavní podstatou subjektivní metody je přiřazení stupně žmolkovitosti vzorků vyškoleným hodnotitelem podle normy a etalonů. Zhodnocení výsledků zkoušky je tedy subjektivní a je třeba, aby bylo provedeno alespoň třemi odborníky. Subjektivní hodnocení žmolkovitosti vychází v disertační práci z českých norem ČSN EN ISO 12945-2 [35] a ČSN 80 0838 [36]. Norma ČSN EN ISO 12945-2 definuje postup testování a hodnocení odolnosti textilií vůči žmolkování na přístroji Martindale a norma ČSN 80 0838 na Komorovém žmolkovacím přístroji. Většina vzorků textilií byla v této práci testována v odolnosti vůči žmolkování na přístroji Martindale.

Jednou z nejdůležitějších částí navržené objektivní metody byla 3D rekonstrukce povrchu textilií se žmolky. Rekonstrukce povrchu textilie vycházela v této práci z metody gradientních polí. Metoda gradientních polí je založena na metodách „*Shape from Shading*“, tedy získání tvaru ze stínů objektu. Princip zmíněných metod vychází z odrazu světelné energie od povrchu neprůhledných těles. Při šikmém osvětlení objektu jsou různě nakloněné plochy reliéfu vzhledem k normále různě tmavé. Tento jev popisuje sklon reliéfu (kde úhel sklonu dopadajícího paprsku je známý) [41]. Stíny žmolků vzniklé šikmým osvětlením vzorku bývají zásadním problémem při segmentaci žmolků z obrazu textilie. Idea metody gradientních polí naopak vychází ze vzniklých stínů žmolků. Vytvořené stíny žmolků jsou v tomto případě velmi důležité pro kvalitní 3D rekonstrukci povrchu textilie. V této práci vycházela 3D rekonstrukce povrchu textilií z prací [45, 46], které se podrobněji zabývaly řešením metody gradientních polí. Jednou ze zásadních výhod této metody je, že pro pořízení obrazu povrchu objektu je dostačující velmi jednoduché přístrojové zařízení skládající se pouze ze světelného zdroje a snímacího zařízení (např. fotoaparát, kamera). Pro možnost využití metody gradientních polí byl každý vzorek postupně šikmo osvětlen ze čtyř stran (tvorba stínů žmolků). Při jednotlivém osvětlení byl nasnímán obraz vzorku. Vzorky se osvětlovaly pomocí speciálního světelného systému, který byl v disertační práci navržený přesně pro tento účel. Model světelného systému je zobrazený na obr. 4.



Obr. 4 Světelný systém navržený a zrealizovaný speciálně pro účely snímání povrchu vzorků se žmolky a jejich zpracování v 3D pomocí metody gradientních polí.

Vzniklý stín žmolku představuje změny jasových hodnot pixelů v obrazu textilie. Tyto změny jasových hodnot pixelů lze zaznamenat pomocí gradientu obrazu ve směru osy x a osy y . Po pořízení sady čtyř obrazů pro každý vzorek bylo třeba odhadnout dva gradientní obrazy vzorku-gradient ve směru osy x a y . Odhad gradientu ve směru osy x , g_x byl v této práci získán odečtením obrazu textilie osvětlené zleva I_l od obrazu textilie osvětlené zprava I_r . Naopak odhad gradientu ve směru osy y , g_y byl realizován odečtením obrazu textilie osvětlené shora I_a od obrazu textilie osvětlené zdola I_b . Kombinací odhadů gradientů g_x a g_y se získalo gradientní pole obrazu. Následně se aplikoval *Frankot-Chellapův* algoritmus, který pomocí několika matematických operací zrekonstruoval povrch textilie pouze ze dvou gradientních obrazů. Algoritmus k *Frankot-Chellapovu* postupu byl převzatý z práce [45].

Po 3D rekonstrukci povrchu byla provedena segmentace obrazu vzorků. Pro segmentaci obrazu byla použita metoda lokálního prahování podle *Niblacka*. Metoda lokálního prahování podle *Niblacka* počítá různé prahové hodnoty pro jednotlivé části šedotónového obrazu. Pro každý pixel se počítá lokální práh podle odhadu střední hodnoty μ a směrodatné odchylky σ úrovně šedi všech pixelů v definovaném okolí o velikosti $b \times b$ [48]. Segmentovaný obraz však ještě nepředstavoval finální výsledek. Segmentované obrazy vzorků obsahovaly malé nepodstatné objekty ve formě šumu. V této práci bylo využito několika obrazových operací za účelem redukce šumu a úprav segmentovaných objektů (žmolků) tak, aby výsledek co nejvíce odpovídal skutečnosti. Tyto úpravy byly nejčastěji založeny na morfologických operacích pro binární obrazy, například na *erozi*, *dilataci* a *otevření* [37].

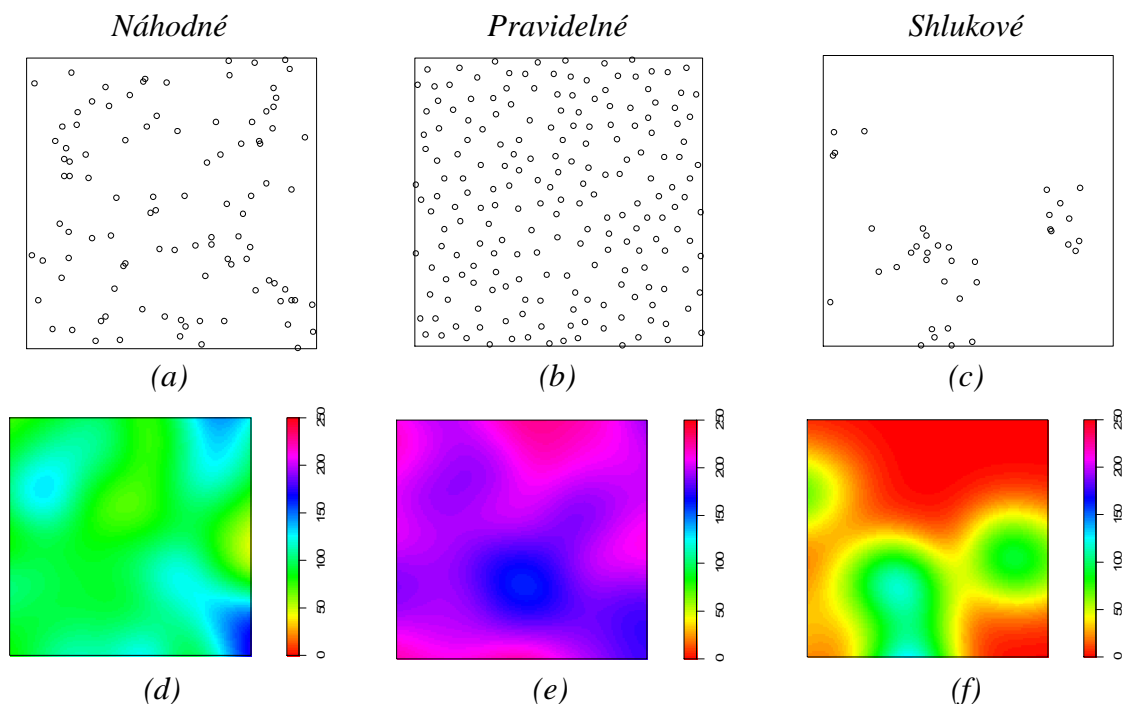
Na základě segmentace obrazu a jeho dalšího zpracování byly získány binární obrazy vzorků, kde jsou žmolky (objekty) odděleny od povrchu textilie (pozadí). Dále bylo tedy možné pracovat pouze se žmolky jako se samostatnými objekty a zjišťovat jejich charakteristiky. Žmolky jako objekty lze popsat buď kvantitativně (pomocí číselných charakteristik), nebo kvalitativně (relace mezi žmolky). Charakteristiky žmolkovitosti, jako je počet, plocha, obvod, hustota, kontrast žmolků lze zahrnout do kvantitativního hodnocení žmolkovitosti [1]. Pomocí charakteristik žmolkovitosti je možné popsat míru žmolkovitosti či vlastnosti žmolků daného vzorku. Díky zjištěným charakteristikám žmolkovitosti lze odhadnout i objektivní stupeň žmolkovitosti. Za účelem odhadu objektivního stupně žmolkovitosti byly využity vybrané charakteristiky žmolkovitosti a lineární regresní model.

Výsledky objektivní metody, v tomto případě objektivní stupně žmolkovitosti vzorků, se porovnávaly s výsledky subjektivní metody pomocí korelačního koeficientu a Bland Altmanova rozdílového grafu. Bland Altmanův rozdílový graf se používá pro grafické porovnání efektivity dvou metod. Princip této metodiky je následující. Měřením určité vlastnosti sady vzorků nejprve první metodou a následně druhou metodou jsou získány páry hodnot pro příslušný vzorek. Bland Altmanův rozdílový graf je konstruován tak, že se na osu x postupně zaznamenávají průměry příslušných dvojic obou metod a na osu y se vynesou jejich rozdíly [54].

Odhad distribuce žmolků na ploše vzorku byl druhým významnějším cílem disertační práce. Pro posouzení rozložení žmolků na ploše vzorku sloužily v této práci nástroje prostorové analýzy dat. Mezi tyto nástroje patřila hustota bodů, testy dobré shody jako je chí-

kvadrát test a Kolomogorov-Smirnovův test, K -funkce. Pomocí těchto nástrojů bylo možné definovat, zda žmolky tvoří shluky, zda jsou na ploše textilie rozloženy homogenně, pravidelně, náhodně, nenáhodně. Jedním z experimentů v této části práce také bylo posoudit, zda se rozložení žmolků vytvořených simulací na přístroji Martindale podobá rozložení žmolků vytvořených při běžném nošení a praní (oděvy). Tento experiment měl za úkol odhalit, zda se laboratorní simulace podobá na základě distribuce žmolků přirozenému procesu tvorby žmolků. Dále zda je rozložení žmolků vytvořených na přístroji Martindale pravidelné, či náhodné, což odpovídá pravidelnému pohybu horní hlavy přístroje ve tvaru Lissajousova obrazce [35]. Nástroje prostorové analýzy dat sloužily k hledání modelu, který by věrohodně popisoval distribuci žmolků na ploše vzorku. Na základě této informace bylo možné definovat, zda se žmolky tvoří náhodně na povrchu textilie, či zda mezi nimi existuje interakce a tvoří se s ohledem na nějaká pravidla.

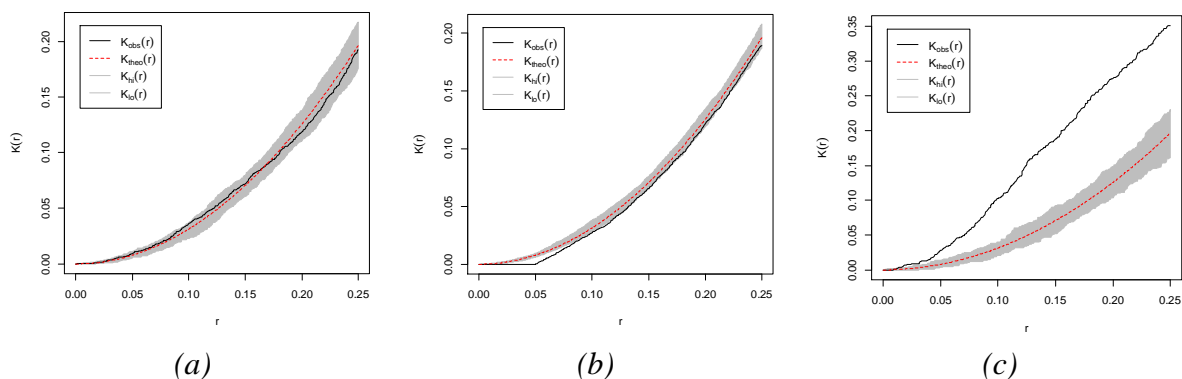
Pomocí bodů lze nejlépe reprezentovat pozice objektů v oblasti zájmu. Soubor bodů v určitém prostoru lze nazvat bodovým vzorem. Při bodovém procesu je jedním z hlavních cílů definovat rozložení bodů v prostoru a popsat ho pomocí modelu. Na základě analýzy bodového vzoru se zjišťuje, zda je bodový vzor příbuzný s náhodným či nenáhodným vzorem. Stanovení typu intenzity událostí bylo prvním krokem v analýze bodového procesu žmolků. Všeobecně se intenzita bodového procesu dělí podle toho, jak jsou události ve vyšetřovaném prostoru rozmístěny – homogenně (konstantní intenzita), či nehomogenně (nekonstantní intenzita) [58]. Gaussův filtr s parametrem směrodatné odchylky σ byl v této práci použit pro vyhlazení oblasti bodů v bodovém vzoru. Pokud se tento parametr nastaví na vyšší hodnotu, pak se okolí bodů vyhladí na větší oblasti. Díky tomu lze detekovat místa, kde se tvoří shluky, zda jsou body rozloženy homogenně, či nehomogenně. Základní typy distribuce bodů a odhady jejich hustoty jsou znázorněny na obr. 5 (a)-(f).



Obr. 5 Typy distribuce bodů v bodovém vzoru: (a) náhodná, (b) pravidelná, (c) shluková a (d), (e), (f) odhady jejich hustoty.

Pro popis distribuce žmolků pomocí statistického modelu bylo třeba nejprve definovat homogenitu jejich rozložení. Homogenita bodů v bodovém vzoru byla testována pomocí hustoty bodů a také pomocí testů dobré shody jako je chí-kvadrát test a Kolmogorov-Smirnovův test. V této práci se distribuce žmolků na ploše vzorku porovnávala s Poissonovým náhodným homogenním modelem, tzn., nulová hypotéza vycházela z předpokladu, že žmolky jsou na ploše vzorku rozmístěny náhodně a homogenně [58].

Hodnocení charakteru prostorové distribuce bodů může probíhat na základě několika veličin. Jednou z nich je hustota bodů, která je jednoduchým, ale velmi hrubým kritériem popisu bodového vzoru a také závisí na definici hranic oblasti. Proto je lepší volit pro popis bodového vzoru charakteristiky založené na vzdálenosti mezi body nebo na relativních vzdálenostech. Metody nejbližších vzdáleností a K -funkce se používají za účelem posouzení rozmístění objektů a stanovení typu bodového vzoru. Stanovení vzdálenosti mezi body v bodovém vzoru napomáhá odhalit, zda existuje mezi body nějaký vztah. To znamená, zda se body navzájem mezi sebou ovlivňují [57]. V této práci se pro hledání modelu, který nejlépe popisuje rozložení žmolků na ploše vzorku, nejvíce uplatnila K -funkce. Tato funkce je definována jako očekávaná hodnota počtu bodů od libovolného bodu do určité vzdálenosti, která je dělena intenzitou bodového procesu (průměrný počet bodů na jednotku plochy). K -funkce je založena na vzdálenosti mezi všemi páry bodů. Na obr. 6 (a)-(c) jsou znázorněny průběhy K -funkcí pro Poissonův homogenní model pro případ náhodné, pravidelné, shlukové rozložení bodů v bodovém vzoru.



Obr. 6 K -funkce a vykreslení obálek pro 99 opakovaní Poissonova procesu: (a) náhodné, (b) pravidelné, (c) shlukové rozložení bodů v bodovém vzoru.

Pro odhad distribuce žmolků na ploše vzorků byly postupně testovány tři modely: homogenní a nehomogenní Poissonův model a Straussův nehomogenní model. Základním referenčním modelem náhodných bodových vzorů je homogenní Poissonův model s definovanou intenzitou bodového procesu λ . Takovýto proces se často nazývá „zcela náhodný“. V rámci tohoto procesu jsou všechny body navzájem nezávislé a mají stejnou tendenci se vyskytovat na jakémkoliv místě v bodovém vzoru, jejich lokace je tedy nepředvídatelná - náhodná. Dalším typem Poissonova modelu je Poissonův nehomogenní model. Zde se předpokládá, že body jsou distribuovány zcela náhodně, ale nehomogenně. Jedná se o modifikaci Poissonova homogenního modelu [57]. Posledním testovaným model v této práci byl Straussův nehomogenní model. Straussův model patří mezi Gibbsovy modely [59]. Tyto modely se mezi sebou liší v typech interakcí mezi body - body se mohou například navzájem přitahovat nebo odpuzovat v bodovém vzoru.

6 Přehled dosažených výsledků

6.1 Subjektivní hodnocení žmolkovitosti vzorků

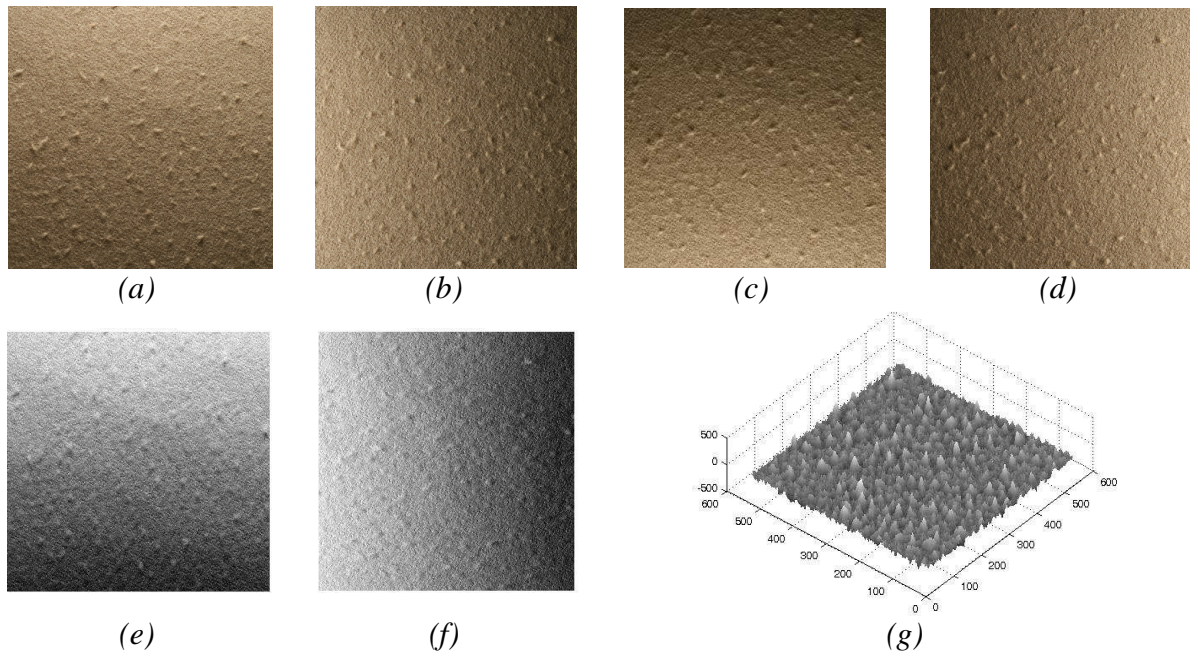
Pro ověření výsledků objektivní metody hodnocení žmolkovitosti textilií byly nejprve testované vzorky subjektivně ohodnoceny. V rámci získání subjektivního hodnocení stupně žmolkovitosti jednotlivých vzorků z první skupiny bylo vybráno pět hodnotitelů-odborníků z textilní oblasti. Průměrné (a zaokrouhlené) hodnoty ze subjektivního hodnocení jednotlivých vzorků byly použity pro srovnání výsledků s objektivní metodou. Pro ověření spolehlivosti subjektivního hodnocení byla posouzena celková míra shody mezi všemi hodnotiteli pomocí Kendallova koeficientu konkordance w . Tento koeficient se počítal zvlášť pro sady jednobarevných a zvlášť pro sady vzorovaných vzorků. Koeficient konkordance pro jednobarevné vzorky w_j byl roven hodnotě 0,96 a pro vzorované vzorky byl koeficient konkordance $w_v=0,81$. Z těchto výsledků vyplývalo, že se hodnotitelé shodovali více u hodnocení jednobarevných vzorků než u hodnocení vzorovaných vzorků, kde je posuzování stupně žmolkovitosti náročnější.

6.2 Návrh objektivní metody pro hodnocení žmolkovitosti

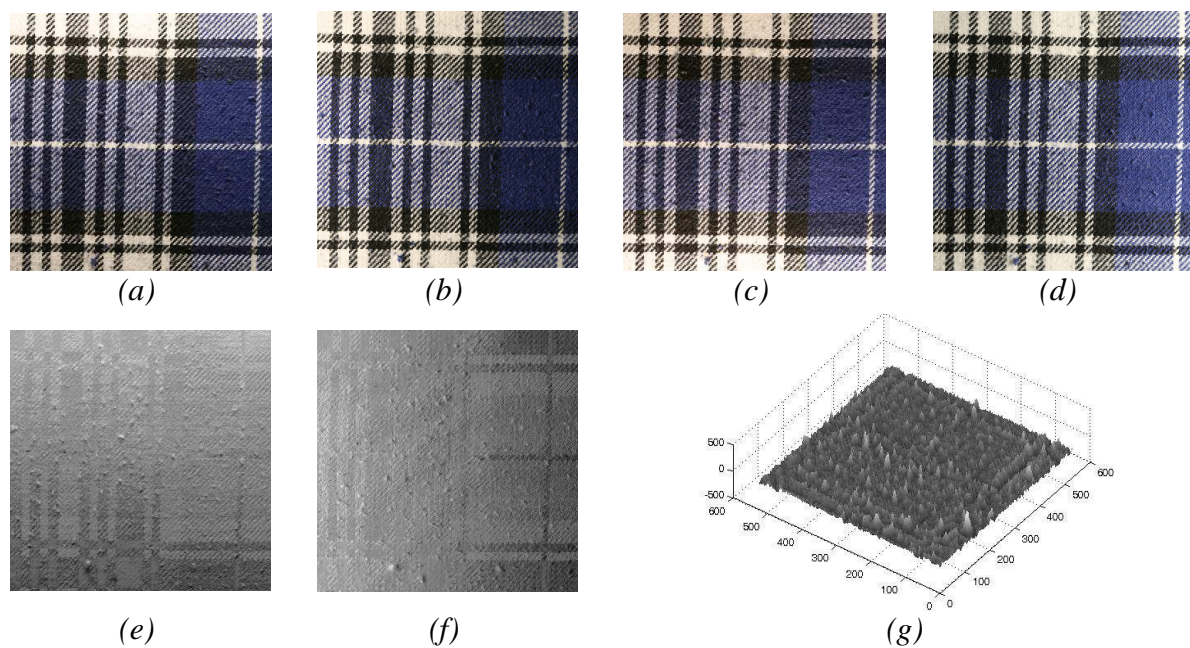
Postup pro vývoj objektivní metody byl následující. V první řadě bylo třeba zrekonstruovat povrch vzorků textilií. Za účelem 3D rekonstrukce povrchu textilií se žmolky byla použita metoda gradientních polí. Pro možnost využití této metody byly vytvořeny stíny žmolků šikmým osvětlením textilie ze čtyř stran: shora, zdola, zleva a zprava. Během jednotlivého osvětlení vzorku byl nasnímán obraz povrchu textilie. Takže pro každý vzorek byla vytvořena sada čtyř obrazů. Ze sady čtyř obrazů byly odhadnuty dva gradientní obrazy na základě odečtení obrazů v příslušných směrech osvětlení. Po aplikaci *Frankot-Chellapova* algoritmu se daný povrch textilie se žmolky zrekonstruoval do 3D. Vytvořený 3D povrch textilie byl dále filtrován pomocí Gaussova filtru za účelem eliminace šumu. Na obr. 7 (a)-(g) je zobrazena sada čtyř obrazů pro jednobarevný vzorek B9, dále odhad dvou gradientních obrazů a zrekonstruovaný 3D povrch vzorku po filtraci Gaussovým filtrem. Po filtraci obrazu jsou již žmolky jako vrcholy v 3D povrchu poměrně dobře rozpoznatelné, což je velmi důležité pro jejich následující segmentaci ze struktury textilie.

Složitějším případem v rámci hodnocení žmolkovitosti jsou vzorované textilie. V případě objektivních metod má vzor a jeho výrazné přechody barev (související se změnou intenzity pixelů) na segmentaci žmolků z povrchu textilie zásadní vliv. Většina objektivních metod se vliv vzoru na detekci žmolků snaží odstranit různými způsoby, často však bez přijatelných výsledků. I výsledky další testované metody 2D DFT poukázaly na potřebu potlačení vzoru v obraze textilie za účelem přesnější segmentace žmolků. Díky principu metody gradientních polí byl vliv vzoru na výslednou detekci žmolků poměrně dobře eliminován. Již v gradientních obrazech vzorovaných textilií lze pozorovat, že vzor byl celkem dobře potlačen a žmolky jsou v porovnání s původním obrazem zvýrazněny. Žmolky pak byly díky tomu segmentovány ze vzorované textilie bez větších problémů. Eliminace vlivu vzoru textilie na segmentaci žmolků je velmi důležitý krok v objektivním hodnocení žmolkovitosti. Schopnost navržené metodiky poměrně dobře redukovat vliv vzoru na segmentaci žmolků patří tedy mezi její podstatné výhody. Ukázka výsledků navržené metody

u vzorovaného vzorku L6 je znázorněna na obr. 8 (a)-(g). Zde je zřejmé, že na základě odečtení obrazů v příslušných směrech (získání gradientů g_x a g_y) je poměrně dobře redukován vliv vzoru na výslednou segmentaci žmolků. Navíc jsou žmolky oproti vzoru v obraze vzorku zvýrazněny. Díky odhadnutým gradientním obrazům jsou již na rozdíl od původního barevného obrazu vzorku, kde není snadné žmolky rozpoznat ani vizuálně, žmolky poměrně dobře viditelné, a tudíž i lehce segmentovatelné.

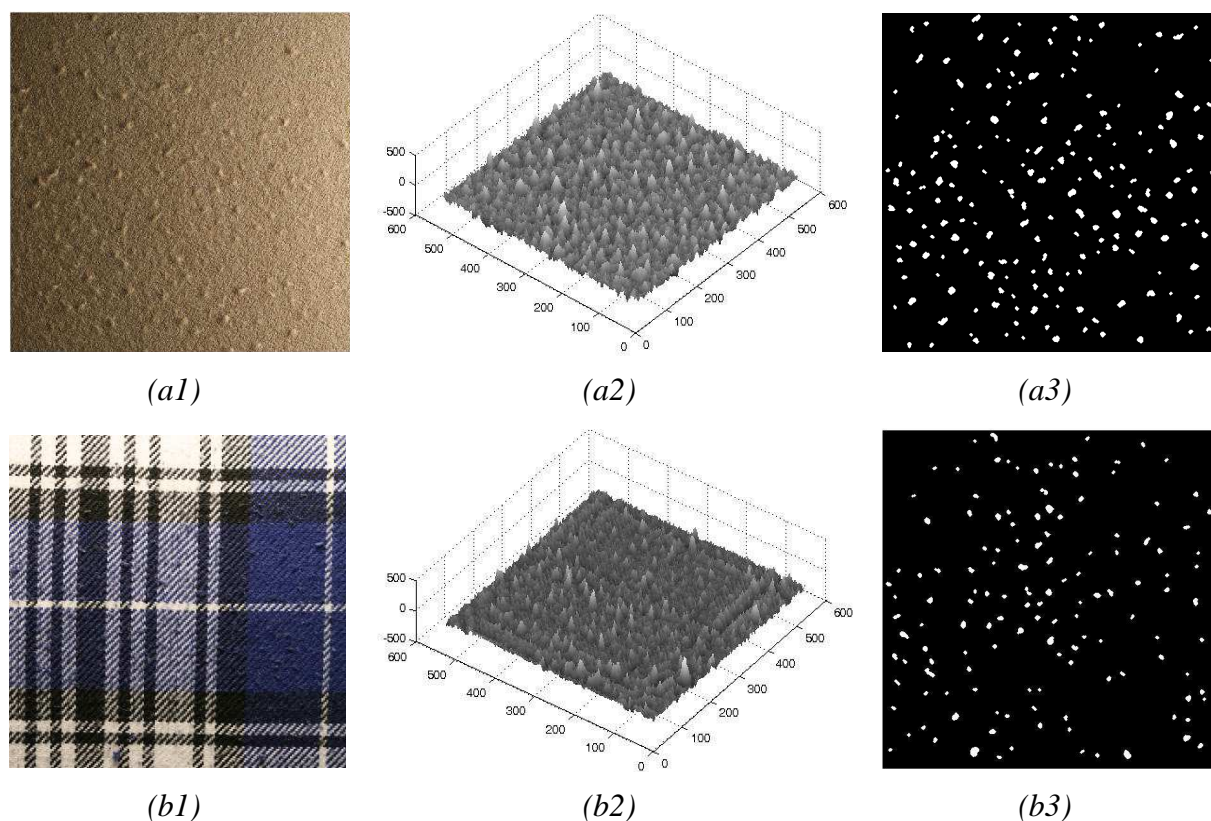


Obr. 7 Sada čtyř obrazů vzorku B9 osvětleného (a) shora I_a , (b) zleva I_l , (c) ze spodu I_b , (d) zprava I_r , gradientní obraz ve vertikálním směru (e) g_y a (f) v horizontálním směru g_x . (g) 3D povrch vzorku B9 zrekonstruovaný pomocí metody gradientních polí ze sady čtyř obrazů.



Obr. 8 Sada čtyř obrazů vzorku L6 se vzorem ve tvaru kára osvětleného (a) shora I_a , (b) zleva I_l , (c) ze spodu I_b a (d) zprava I_r . Odečtené obrázky v horizontálním a vertikálním směru (e) g_y a (f) g_x . (g) Výsledný 3D obraz vzorku.

V 3D povrchu textilie žmolky vyčnívaly ze struktury vcelku výrazně a díky tomu je bylo možné segmentovat poměrně dobře i na vzorovaných textiliích. Kvalitní 3D rekonstrukce povrchu textilií a přesná segmentace žmolků patřily mezi nejdůležitější kroky navržené metodiky, které měly zásadní vliv na její výsledky. Po 3D rekonstrukci povrchu textilií bylo hlavním úkolem pokusit se efektivně segmentovat žmolky z povrchu textilie na základě vhodné segmentační metody. Nejlepší výsledky segmentace žmolků ukázala metoda lokálního prahování podle *Niblacka*. Po segmentaci obrazu byly ještě provedeny finální úpravy binárních obrazů vzorků, například: odstranění šumu, úprava tvaru detekovaných žmolků, odstranění žmolků, které byly spojeny s hranicí obrazu apod. Na obr. 9 (a1)-(a3) je zobrazen barevný obraz jednobarevného vzorku B9, který byl osvětlen zprava, dále jeho zrekonstruovaný 3D povrch a finální binární obraz po všech aplikovaných úpravách. Obdobně jsou zobrazeny výsledky na obr. 9 (b1)-(b3) pro vzorovaný vzorek L6. Bílé objekty v binárním obraze vzorků představují detekované žmolky. Zde lze vizuálně porovnat, že detekce žmolků odpovídá poměrně dobře původnímu obrazu. Z finálního binárního obrazu vzorku byly počítány charakteristiky žmolkovitosti, na jejichž základě byl odhadnut objektivní stupeň žmolkovitosti.



Obr. 9 (a1) Barevný obraz jednobarevného vzorku B9 a (b1) vzorovaného vzorku L6, (a2), (b2) jejich 3D povrchy a (a3), (b3) finální binární obrázky s detekovanými žmolky v podobě bílých objektů.

6.3 Kvantitativní hodnocení žmolkovitosti

Po segmentaci obrazu vzorků bylo možné hodnotit žmolkovitost z kvantitativního hlediska. To znamená, že bylo možné počítat základní charakteristiky žmolkovitosti, díky nimž byl odhadnut objektivní stupeň žmolkovitosti s využitím modelu lineární regrese. Postup

pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti byl následující. Prvním krokem byl výběr referenční sady vzorků, která bude reprezentovat ve srovnání s normou jednotlivé stupně žmolkovitosti. Vybrané vzorky byly zpracovány pomocí navrženého algoritmu a pro každý vzorek byly vypočítány z binárního obrazu charakteristiky žmolkovitosti. Mezi tyto charakteristiky patřil počet N_z , průměrná A_A a celková plocha A_T , průměrný obvod P_A , hustota H_z a kontrast žmolků C . Pro možnost využití charakteristik žmolkovitosti za účelem odhadu objektivního stupně žmolkovitosti bylo třeba, aby se charakteristiky měnily s měnícím se stupněm žmolkovitosti a vyjadřovaly tudíž určitou závislost. Pro odhad míry lineární závislosti mezi danou charakteristikou a subjektivními stupni žmolkovitosti byl počítán Pearsonův párový korelační koeficient r . Hodnoty korelačních koeficientů ukázaly na poměrně vysokou lineární závislost mezi danými charakteristikami a subjektivními stupni žmolkovitosti. Nejvyšší hodnoty korelačních koeficientů byly zjištěny u charakteristiky počet, celková plocha a hustota žmolků. Jelikož je hustota žmolků počítána přímo pomocí počtu žmolků, nebyla do výpočtu objektivního stupně žmolkovitosti uvažována. Ostatní charakteristiky byly pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti poměrně nevhodné. Pro výpočet objektivního stupně žmolkovitosti byla v lineárním regresním modelu uvažována charakteristika počet žmolků a charakteristika celková plocha žmolků. Po statistické analýze (t -testy a F -test) se ukázalo, že je pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti s využitím lineární regrese dostačující pouze charakteristika počet žmolků N_z . Výsledná regresní rovnice pro odhad objektivního stupně žmolkovitosti má následující tvar

$$\hat{y} = 4,77 - 0,0143N_z. \quad (1)$$

V tab. 6 jsou uvedeny výsledky objektivní metody v podobě charakteristik žmolkovitosti a výsledného objektivního stupně žmolkovitosti pro vzorky B9 a L6.

Tab. 6 Charakteristiky žmolkovitosti a stupně žmolkovitosti pro vzorek B9 a L6.

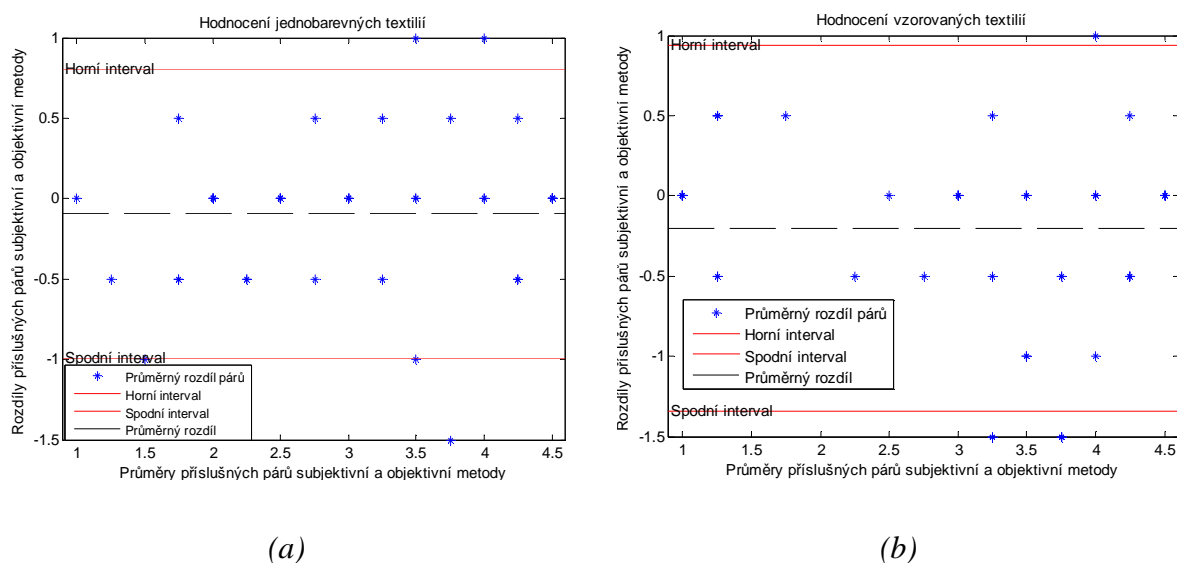
Charakteristiky žmolkovitosti	B9- jednobarevný vzorek	L6- vzorovaný vzorek
Počet žmolků N_z [-]	188	135
Průměrná plocha žmolků A_A [mm ²]	0,92	0,77
Směrodatná odchylka plochy žmolků [mm ²]	0,46	0,39
Celková plocha žmolků A_T [mm ²]	172,05	103,73
Průměrný obvod žmolků P_A [mm]	3,38	3,04
Směrodatná odchylka obvodu žmolků [mm]	1,06	0,90
Hustota žmolků H_z [1/mm ²]	0,041	0,030
Kontrast C [-]	1,29	1,04
Subjektivní stupeň žmolkovitosti	1-2	3
Objektivní stupeň žmolkovitosti	2	3

Po odhadu objektivních stupňů žmolkovitosti vzorků bylo již tedy možné porovnat výsledky získané z objektivní a ze subjektivní metody. Za tímto účelem byl nejdříve počítán párový korelační koeficient r mezi stupni žmolkovitosti zvlášť pro sadu jednobarevných a vzorovaných vzorků. Výsledky odhadu korelačních koeficientů představovaly poměrně velkou korelaci mezi výsledky obou metodou (tab. 7).

Tab. 7 Párové korelační koeficienty r mezi subjektivním a objektivním hodnocením.

	Sada jednobarevných vzorků	Sada vzorovaných vzorků
r	0,93	0,91

Korelační koeficient však udává pouze míru lineární závislosti výsledků testovaných metod. Proto byla v této práci využita pro porovnání shody výsledků mezi subjektivní a objektivní metodou další technika, tzv. Bland Altmanův rozdílový graf [54]. Bland Altmanův rozdílový graf byl zkonstruován pro grafické porovnání výsledků subjektivní a objektivní metody zvláště pro sady jednobarevných vzorků a zvláště pro sady vzorovaných vzorků. Rozdílové grafy pro obě sady vzorků jsou znázorněny na obr. 10 (a), (b). Z grafů je patrné, že mezi daty není žádný trend. Výsledky také naznačují, že mezi porovnávanými metodami není, až na pár odlehklých hodnot (které leží mimo horní a spodní mez), zásadní rozdíl. Průměrný rozdíl se v případě obou grafů blížil k nule. Rozdíl mezi výsledky stupňů žmolovitosti u jednobarevných textilií je většinou okolo půl stupně, což není tak významný rozdíl s ohledem na hodnotící škálu. O něco větší variabilitu mezi rozdíly metod ukazuje graf pro hodnocení vzorovaných textilií (obr. 10 (b)). Zde bylo hodnocení složitější a výsledky zejména u subjektivního hodnocení vykazovaly větší rozptyl. Avšak i v tomto případě se zdají být výsledky obou metod poměrně srovnatelné.

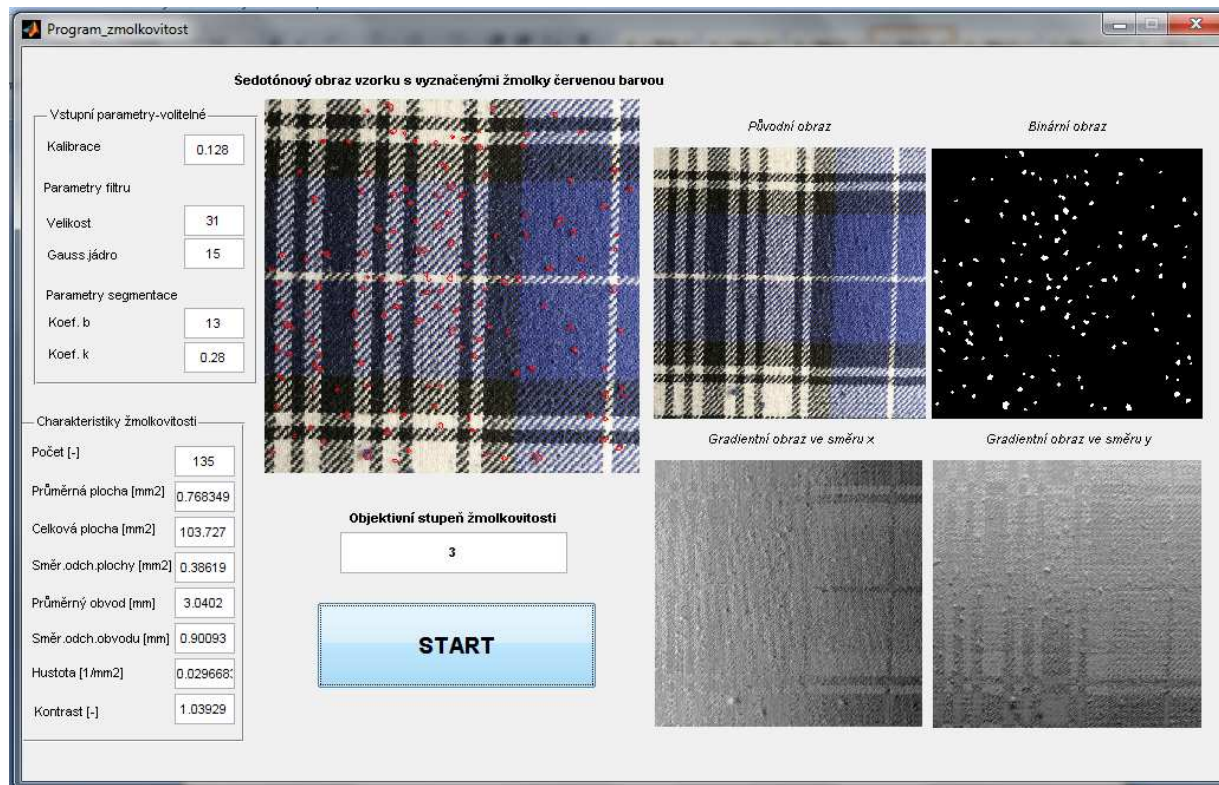


Obr. 10 Bland Altmanův rozdílový graf pro (a) sadu jednobarevných vzorků a pro (b) sadu vzorovaných vzorků.

6.4 Návrh grafického uživatelského prostředí

V textilním průmyslu je nejčastěji používanou metodou pro hodnocení žmolovitosti stále subjektivní metoda. Navržená objektivní metoda v porovnání s hodnotami ze subjektivního hodnocení ukázala velmi dobré výsledky. Pro využití této metody při běžném hodnocení žmolovitosti různých druhů textilií je však navržený algoritmus v programu MatLab z uživatelského hlediska poměrně složitý. Za účelem objektivního hodnocení žmolovitosti pomocí navržené metodiky v praxi bylo vytvořeno uživatelsky příjemnější grafické prostředí GUI (Graphical User Interface). Postup pro získání výsledků objektivního hodnocení žmolovitosti vzorků pomocí grafického rozhraní je následující. Nejprve je

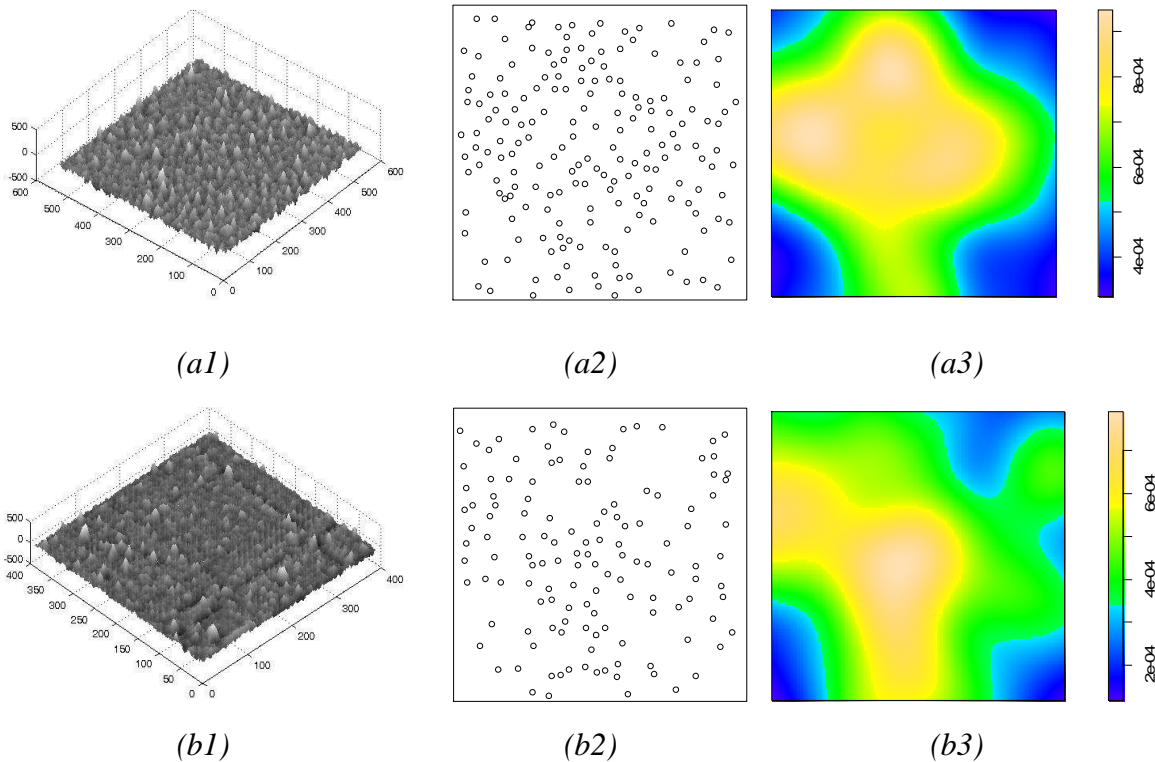
nasnímána sada čtyř obrazů pro každý vzorek. Po otevření grafického rozhraní se stiskne tlačítko START a tím se zobrazí dialogové okno. V dialogovém okně se zvolí složka s obrazy vzorku, který chceme analyzovat. Po výběru vzorku se automaticky spustí navržený algoritmus. Vytvořené grafické rozhraní obsahuje několik oken pro možnost kontroly mezivýsledků navržené metodiky pro daný vzorek. Ukázka výsledků analýzy vzorovaného vzorku L6 s využitím navrženého grafického rozhraní je zobrazena na obr. 11.



Obr. 11 Ukázka grafického uživatelského prostředí po spuštění aplikace pro objektivní hodnocení žmolkovitosti.

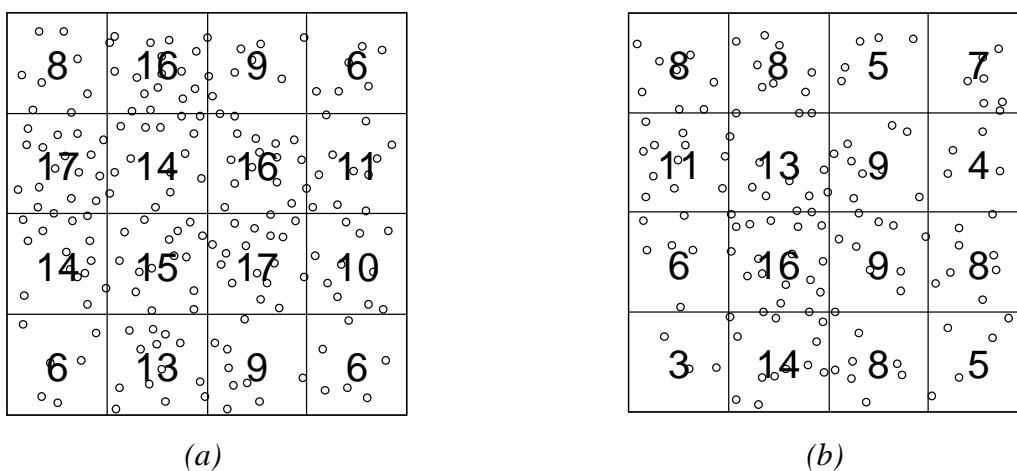
6.5 Kvalitativní hodnocení žmolkovitosti

Komplexní pohled na hodnocení žmolkovitosti textilií zahrnuje nejen hodnocení žmolkovitosti z kvantitativního, ale i kvalitativního hlediska. Kvalitativní hodnocení přináší informaci o tom, jakým způsobem se žmolky tvoří. Tedy, zda si berou navzájem sousední žmolky vlákna při procesu žmolkování, či se shlukují v jeden velký vláknenný shluk. To vše souvisí s distribucí žmolků na ploše vzorku. Pro kvalitativní hodnocení žmolkovitosti zde bylo využito několik nástrojů prostorové analýzy dat, jako je hustota bodů, chí-kvadrát test, Kolomogorov-Smirnovův test a K -funkce. Zmíněné nástroje analyzovaly bodové vzory jednotlivých vzorků textilií. V této práci jednotlivé body v bodových vzorech reprezentovaly těžiště žmolků. Na základě analýzy bodového vzoru se zjišťovalo, zda je bodový vzor příbuzný s náhodným či nenáhodným vzorem. Za účelem odhadu homogenního, či nehomogenního rozložení žmolků sloužila hustota bodů, chí-kvadrát test a Kolomogorov-Smirnovův test. Obr. 12 (a1)-(a3), (b1)-(b3) znázorňuje zrekonstruované povrchy vzorků B9 a L6 pomocí metody gradientních polí, dále jejich bodové vzory a odhadnutou hustotu žmolků. Z odhadnutých hustot je patrné, že žmolky netvoří shluky.



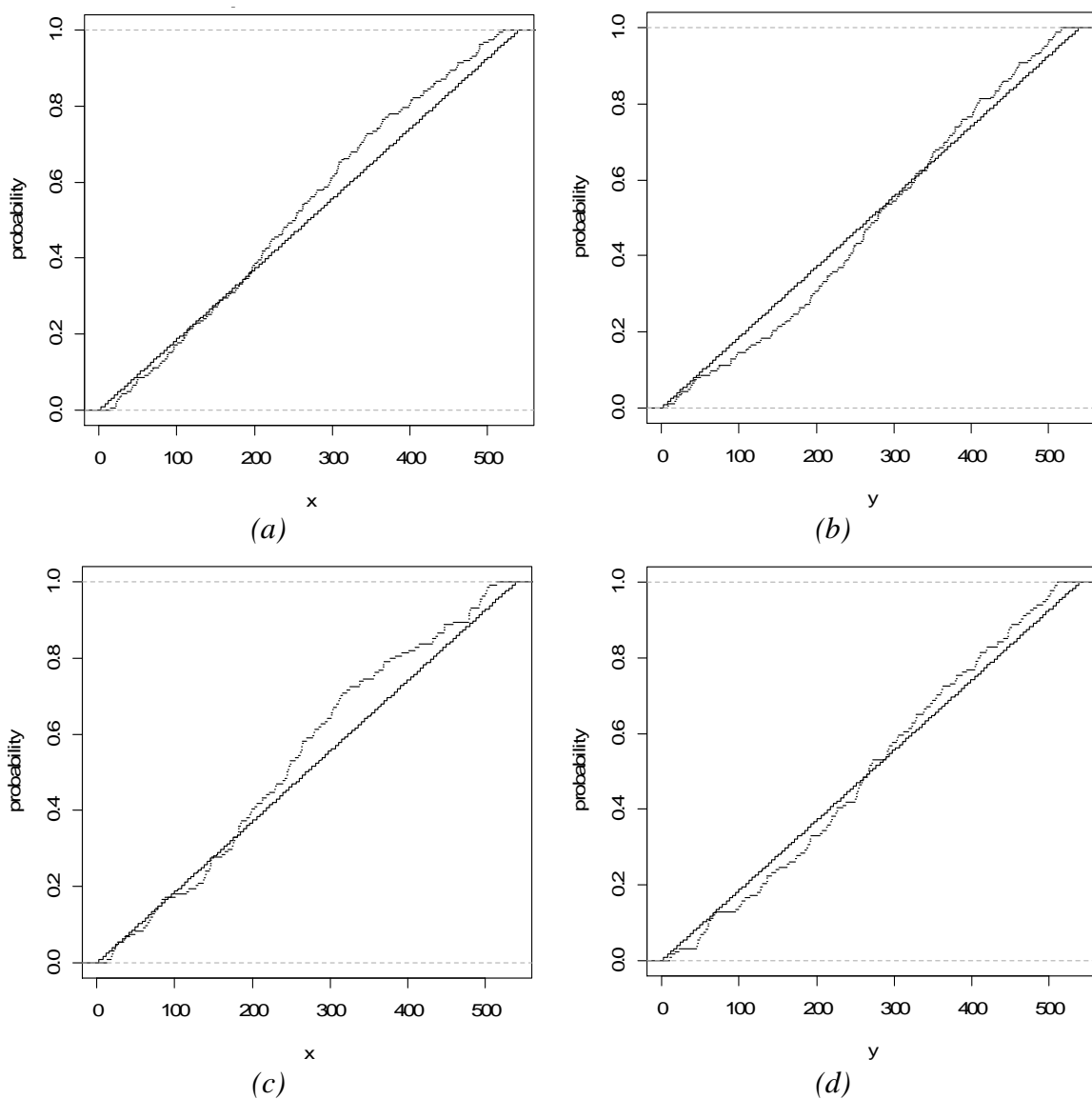
Obr. 12 3D povrch vzorku, bodový vzor a odhadnutá hustota pro (a1)-(a3) jednobarevný vzorek B9 a (b1)-(b3) vzorovaný vzorek L6.

Pro odhad homogenity žmolků byl dále použit chí-kvadrát test. Princip tohoto testu je následující. Nejprve se bodový vzor rozdělí na několik libovolných oken. Nulová hypotéza v tomto testu definuje, že všechna okna bodového vzoru obsahují přibližně stejný počet bodů. To znamená, že body jsou v bodovém vzoru přibližně homogenně rozděleny. Alternativní hypotéza naopak říká, že počet bodů je v každém okně významně odlišný, a to naznačuje nehomogenitu rozložení bodů. V případě chí-kvadrát testu výsledky ukazovaly spíše na homogenní rozložení žmolků u většiny vzorků. Rozdělení bodového vzoru jednobarevného vzorku B9 a vzorovaného vzorku L6 na šestnáct oken a znázornění reálného počtu bodů v každém okně je uvedeno na obr. 13 (a), (b).



Obr. 13 Bodový vzor vzorku (a) B9 a (b) L6 rozdělený do šestnácti oken, kde v každém okně je znázorněn počet bodů, který v jednotlivých oknech leží.

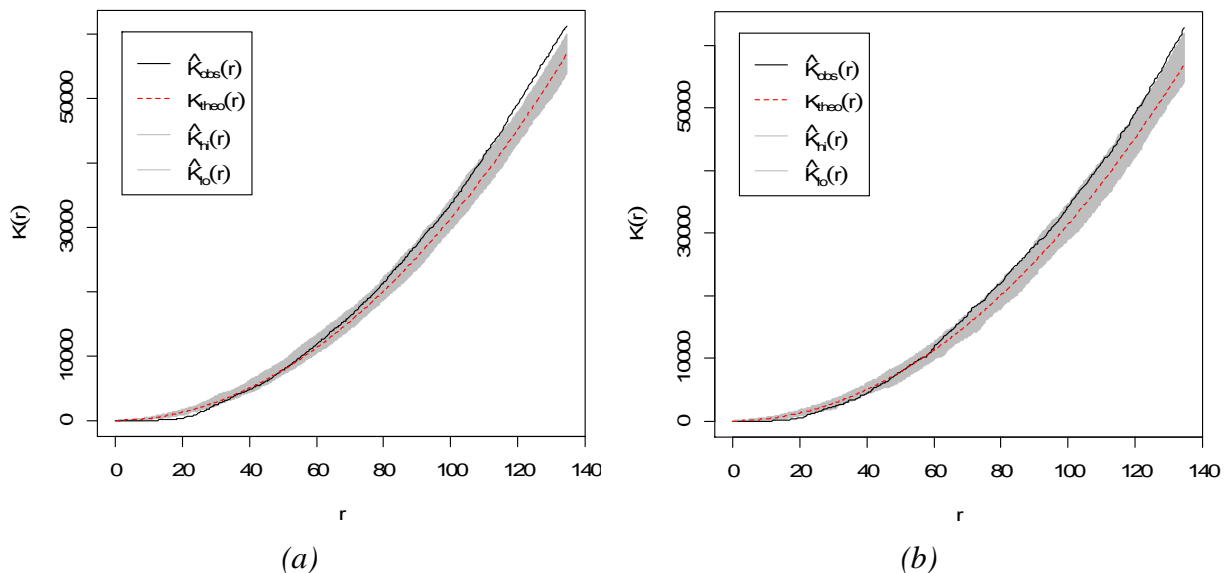
Chí-kvadrát test však nemusí být pro stanovení homogenity žmolků nevhodnější volba. Často může nastat případ, kdy nebude dodržen předpoklad, že v každém okně musí být nejméně pět bodů. Z tohoto důvodu byl dále využit pro hodnocení homogenity žmolků také Kolmogorov-Smirnovův test. Princip tohoto testu je založen na testování největší vzdálenosti mezi distribučními funkcemi. V případě testování homogenity žmolků na ploše vzorku se realizoval Kolmogorov-Smirnovův test zvlášť pro souřadnice x a zvlášť pro y . Jedná se tedy o test teoretické distribuční funkce a empirické distribuční funkce na základě pozic bodů v jednom směru vzorku (směr souřadnice x nebo y). Nulová hypotéza v tomto případě definuje rovnoměrné rozložení bodů v určitém směru. Alternativní hypotéza pak definuje jiné, nerovnoměrné rozložení bodů v daném směru. Zde docházelo k rozdílným výsledkům. Často se totiž vyskytovala situace, kdy body byly po jedné souřadnici rozloženy homogenně a po druhé nikoliv. V tomto případě je možné, že byl test na homogenitu v jedné souřadnici slabý. Na obr. 14 (a)-(d) je zobrazen Kolmogorov-Smirnovův test pro souřadnice žmolků x a y pro vzorek B9 a L6.



Obr. 14 Zobrazení teoretické distribuční funkce a reálné distribuční funkce pro souřadnice x a y vzorku (a), (b) B9 a (c), (d) L6.

Během testování bodových vzorů vzorků pomocí výše zmíněných nástrojů prostorové analýzy dat bylo zjištěno, že distribuce žmolků většiny vzorků odpovídá spíše homogennímu rozložení. V případě Kolmogorov-Smirnovova testu odpovídá kombinaci homogenního i nehomogenního rozložení žmolků ve dvou směrech (souřadnice x a y). Proto se hledal nejprve model, který by vhodně popisoval rozložení žmolků na ploše vzorku mezi homogenními modely. V této práci byl postupně testován na základě získaných výsledků homogenní a nehomogenní Poissonův model a Straussův nehomogenní model.

Výsledky fitování bodového vzoru Poissonovým homogenním modelem však indikovaly, že žmolky rozloženy homogenně nejsou. K -funkce pro vzorek B9 a L6 je zobrazena na obr. 15 (a), (b). Zde $\hat{K}_{obs}(r)$ představuje odhad K -funkce z naměřených dat, $K_{theo}(r)$ je teoretická K -funkce pro Poissonův homogenní model, $\hat{K}_{hi}(r)$ a $\hat{K}_{lo}(r)$ jsou dolní a horní obálky modelu. $\hat{K}_{obs}(r)$ v tomto případě mírně přesahuje jak dolní obálku, tak i horní pro $K_{theo}(r)$. Jakmile přesáhne reálná K -funkce horní a/nebo spodní obálku (šedá oblast), fitovaný model není pro danou distribuci bodů korektní. Přesáhnutí reálné K -funkce obálek není v těchto případech tak výrazné. Důvodem je, že se jedná o bodové vzory s vyšší hustotou bodů, kde rozdíl mezi náhodným a nenáhodným bodovým vzorem není tak výrazný.

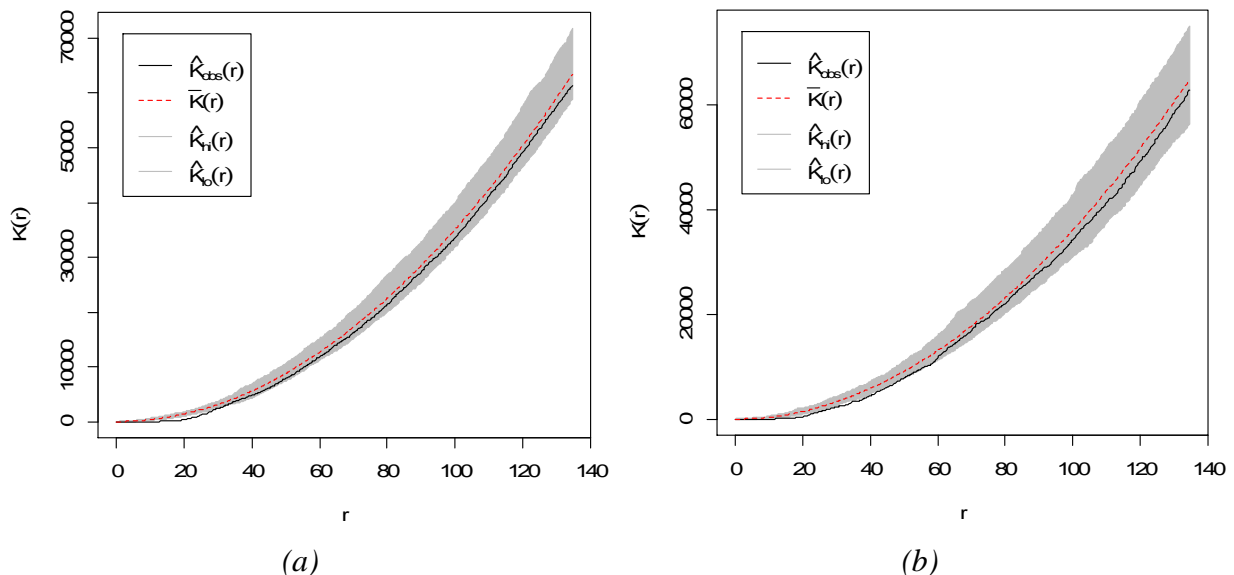


Obr. 15 Fitování bodového vzoru vzorků (a) B9 a (b) L6 Poissonovým homogenním modelem v podobě K -funkce.

Pouze u šesti vzorků textilií se žmolky z celé sady vzorků se projevilo, že homogenní Poissonův model vyhovuje distribuci žmolků poměrně dobře. V případě zbylých vzorků se Poissonův homogenní model příliš neosvědčil. To si ale odporuje s výsledky z chí-kvadrát testu, které homogenitu bodů většinou nezamítly. V případě Kolmogorov-Smirnovova testu často docházelo k situaci, že žmolky byly rozloženy v jednom směru rovnoměrně a v druhém nerovnoměrně. Z těchto informací vyplývá, že proces, pro který nebyla homogenita zamítnuta, ještě není zaručeně dokonale homogenní a může být i nehomogenní. V prostorové statistice se projevuje zvláště zřetelně, že jsou testy citlivé na různé druhy porušení nulové hypotézy. Z toho může vyplývat, že testy homogenity jsou v tomto případě slabé.

Protože se neosvědčil homogenní model pro popis distribuce žmolků, tak byl hledán vhodný model mezi modely nehomogenními. Dalším typem Poissonova modelu je Poissonův

nehomogenní model. Fitování bodového vzoru Poissonovým nehomogenním modelem s polynomem třetího stupně již prokázalo lepší výsledky. Sedmnáct vzorků textilií z první skupiny testovaných vzorků se žmolky odpovídalo poměrně dobře nehomogennímu Poissonovu modelu. Na obr. 16 (a), (b) jsou zobrazeny K -funkce pro bodový vzor vzorku B9 a L6. Zde se reálná K -funkce (vyznačená černou křivkou) více blíží k teoretické K -funkci pro nehomogenní Poissonův proces (vyznačená červenou křivkou). Avšak reálná funkce stále mírně přesahuje spodní obálku při malém poloměru kružnice r . Tento fakt naznačuje, že body se na kratší vzdálenosti spíše odpuzují.

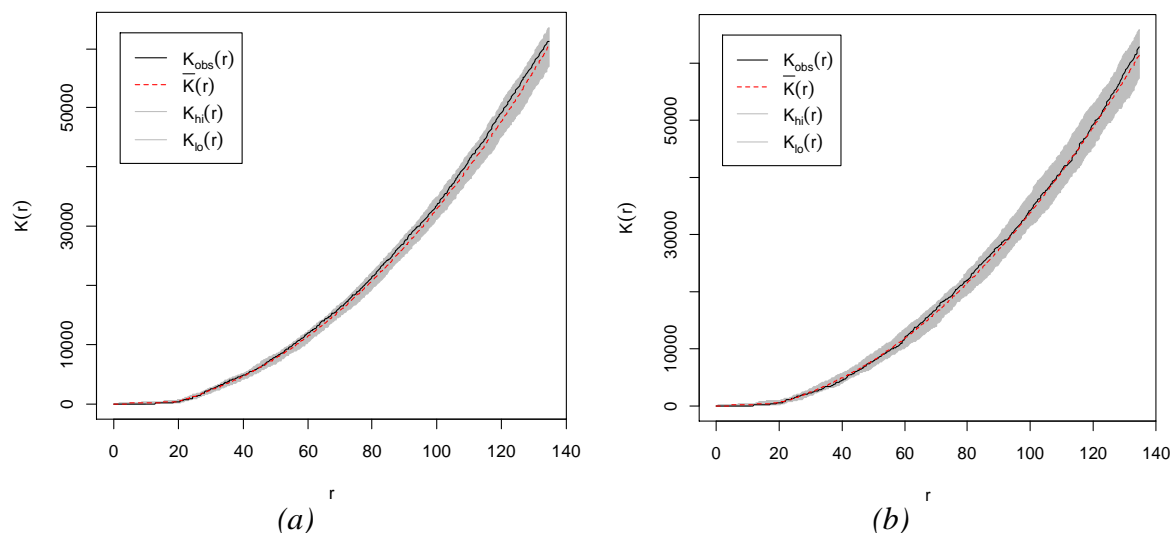


Obr. 16 Fitování bodového vzoru vzorků (a) B9 a (b) L6 Poissonovým nehomogenním modelem s polynomem třetího stupně v podobě K -funkce.

Z tohoto důvodu bylo dalším úkolem v této práci najít vhodný model, který by dobře popsal nehomogenitu žmolků a jejich odpuzování se na krátké vzdálenosti. Jedním z těchto modelů, který odpovídá daným předpokladům rozložení žmolků na ploše textilie, je Straussův nehomogenní model.

Popisu distribuce žmolků na ploše vzorku dle výsledků v disertační práci nejlépe vyhovoval Straussův nehomogenní model s parametry: polynom třetího stupně a poloměr kružnice $r=20$. Parametr polynom třetího stupně poměrně dobře vystihuje rozložení nehomogenity v přírodě a také byl vhodnou volbou i při popisu distribuce žmolků. Tento model patří mezi modely, které fitují bodové procesy, kde se body na určitou vzdálenost navzájem odpuzují. Tam, kde příliš nevyhovoval Straussův nehomogenní model, pak vyhovoval Poissonův nehomogenní model. Na obr. 17 (a), (b) je znázorněna K -funkce pro Straussův model pro jednobarevný vzorek B9 a vzorovaný vzorek L6. Z grafů je patrné, že K -funkce z naměřených dat spadá mezi horní a dolní obálku modelu. Proto lze definovat, že rozložení žmolků se může řídit podle Straussova modelu.

Ze Straussova nehomogenního modelu vyplývá, že žmolky se na menší vzdálenosti odpuzují a na větší vzdálenosti jsou rozloženy nehomogenně. U tohoto modelu se projevily předpoklad odpuzování žmolků na kratší vzdálenosti a jejich nehomogenní rozložení na delší vzdálenosti jako odpovídající. Žmolky tedy na ploše textilií nejsou dle výsledků rozloženy náhodně, ale jejich distribuce se řídí určitými pravidly.



Obr. 17 K -funkce Straussova modelu pro vzorek (a) B9 a (b) L6.

Princip simulace žmolkování na přístroji Martindale spočívá ve tření dvou stejných textilií (či vzorku textilie o normovanou vlněnou tkaninu) umístěných na dvou hlavách přístroje proti sobě. Spodní hlava přístroje je stacionární a horní hlava je pohyblivá. Horní hlava se pohybuje ve tvaru Lissajousova obrazce, tedy od kružnice přes elipsu až po přímku. Poté se proces opakuje, ale naopak – od přímky přes elipsu až po kružnici. Takže předpokladem u takto vzniklých žmolků je, že by měly být pravidelně či náhodně rozloženy na povrchu vzorku. Nastává tedy otázka, proč tomu tak není. S tím může souviset i pohyb hlavy ve tvaru obrazce, při němž nedochází k náhodné distribuci žmolků, ale žmolky se díky tomu tvoří na základě určitých pravidel. Vzorky byly testovány na dvou přístrojích Martindale umístěných na rozličných pracovištích. Tím by se tedy měl eliminovat i chybný pohyb horní hlavy zapříčiněný například poruchou přístroje. Další možností může být některá z vlastností textilního materiálu, která zapříčiní nehomogenní rozložení žmolků.

V této práci byly testovány dvě skupiny vzorků textilií se žmolky. První skupina vzorků obsahovala vzorky se žmolky vytvořenými simulací na přístroji Martindale. Druhá skupina obsahovala vzorky se žmolky, které byly vytvořeny přirozenou cestou - tedy běžným nošením a praním. Další část práce byla zaměřena na odhad distribuce žmolků u druhé skupiny, která obsahovala dvacet šest vzorků. Mezi tyto vzorky patřily různé oděvy (trička, svetry, kalhoty, pyžamo, ponožky). Cílem bylo stanovit, zda se přirozený proces žmolkování textilií podobá na základě rozmístění žmolků procesu simulovanému na přístroji Martindale. Tedy, zda simulace procesu žmolkování odpovídá přirozenému způsobu tvorby žmolků. Proto, aby bylo možné zjistit prostorovou distribuci žmolků také u druhé skupiny vzorků, byly vzorky testovány navrženým algoritmem pro objektivní hodnocení žmolkovitosti. Díky tomu byly získány binární obrazy vzorků s detekovanými žmolky a následně i jejich bodové vzory. Celý postup prostorové analýzy dat použitý u první skupiny vzorků byl aplikován i u této skupiny vzorků. Nejprve bylo odhadnuto pomocí hustoty bodů, chí-kvadrát testu a Kolmogorov-Smirnovova testu, zda jsou žmolky rozloženy homogenně, či nehomogenně. Výsledky chí-kvadrát testu již u více než poloviny vzorků nasvědčovaly spíše nehomogennímu rozložení žmolků. Co se týče Kolmogorov-Smirnovova testu, tak zde se opět objevovaly situace, kdy rozložení žmolků je v jednom směru homogenní, a v druhém naopak. To bylo zřejmě zapříčiněno stejnými vlivy jako u první skupiny vzorků. I u této skupiny vzorků byly testovány pro odhad distribuce žmolků modely, jako je Poissonův homogenní a nehomogenní model a Straussův nehomogenní model se stejnými parametry jako u první skupiny vzorků. Opět se však ukázalo, že i u této skupiny vzorků nejlépe vyhovoval Straussův nehomogenní model.

7 Zhodnocení výsledků a nových poznatků

Předložená disertační práce se zabývala vývojem komplexní objektivní metody hodnocení žmolkovitosti různých druhů textilií s využitím metody gradientních polí, nástrojů obrazové analýzy a prostorové statistiky dat. Jedním z hlavních cílů této práce bylo realizovat efektivní, časově i přístrojově nenáročnou metodu pro objektivní hodnocení žmolkovitosti.

V rámci metodiky pro objektivní hodnocení žmolkovitosti byl navržen algoritmus v prostředí softwaru MatLab. Jedním z nejdůležitějších kroků byla 3D rekonstrukce povrchu textilií. Pro 3D rekonstrukci zde byla využita metoda gradientních polí, která rekonstruuje tvar objektů s využitím jeho stínů. Stíny žmolků, které jsou vytvořeny během šikmého osvětlení při snímání povrchu textilií, představují většinou výrazný problém při segmentaci obrazu pomocí různých obrazových metod. Metoda gradientních polí naopak vyžaduje stíny objektu pro realizaci 3D rekonstrukce povrchu. Právě proto je tato metoda vhodná pro rekonstrukci povrchu textilií se žmolky, které při šikmém osvětlení jako vyčnívající objekty ze struktury textilie vytvoří požadovaný stín.

Pro 3D rekonstrukci povrchu na základě metody gradientních polí bylo třeba vytvořit stín žmolků postupně ze čtyř stran a vzorek během jednotlivého osvětlení vždy nasnímat. Tímto způsobem vznikla pro každý vzorek sada čtyř obrazů. Za účelem vytvoření stínů žmolků ze čtyř stran byl v této práci navržen a zrealizován speciální světelný systém. Tento systém se skládal ze čtyř světel (aby bylo možné postupně osvětlit vzorek ze čtyř stran), dále z podstavce a regulace osvětlení. V rámci světelného systému, který byl navržen přesně pro účely disertační práce, je možné libovolně měnit pozici světel vůči vzorku. Díky tomu lze dosáhnout vhodných podmínek pro vytvoření stínů i tak malých objektů jako jsou žmolky na povrchu textilie.

Postup pro získání 3D povrchu vzorku nebyl náročný. Ze získané sady čtyř obrazů pro každý vzorek byly odhadnuty dva gradientní obrazy na základě odečtení obrazů v příslušných směrech. S využitím získaných gradientních obrazů a za pomoci speciálního algoritmu, který je založený na metodě gradientních polí, se povrch zrekonstruoval do 3D. Metoda gradientních polí se projevila díky svému principu jako vhodná, a to i v případech, kde běžné objektivní metody selhávají, tzn. i pro vzorované materiály. V případě vzorovaných materiálů je často poměrně těžké rozpoznat žmolky na povrchu textilie již při subjektivním hodnocení. To potvrzuje i koeficient konkordance, který je nižší oproti koeficientu konkordance pro jednobarevné vzorky. Nejen nižší koeficient konkordance, ale i výsledky metody pro objektivní hodnocení žmolkovitosti založené na 2D DFT, která byla testována i v této práci, naznačují obtížnost hodnocení vzorovaných materiálů zejména na 2D obrazech textilií. Metoda gradientních polí byla schopna poměrně dobře eliminovat vliv i složitějších vzorů na segmentaci žmolků. Potlačení vzoru textilie bylo již patrné na gradientních obrazech. Tento fakt lze označit za významnou výhodu mezi objektivními metodami hodnocení žmolkovitosti. Limitace této metody se objevila v případě pomačkaného povrchu vzorků textilií, kdy záhyby vytvářely při šikmém osvětlení stín a byly spolu se žmolky také rekonstruovány. To pak vede k chybným výsledkům segmentace obrazu.

Výsledkem objektivní metody byl odhad objektivního stupně žmolkovitosti jednotlivých vzorků. Objektivní stupeň žmolkovitosti byl odhadnut na základě jednoduché lineární regrese, která vycházela pouze z počtu žmolků. Porovnání výsledných stupňů žmolkovitosti získaných ze subjektivní a objektivní metody potvrdilo poměrně velkou přesnost navržené objektivní metody. Dále byly výsledky navržené metody porovnány i s další metodou, která využívá pro rekonstrukci povrchu odlišný princip. Za tímto účelem byl použit bezkontaktní laserový přístroj Talysurf CLI 500. Výsledky rekonstrukce povrchu a detekce žmolků na základě navržené metodiky se ukázaly v porovnání s původními obrazy vzorků jako přesnější. Při porovnání výsledků těchto dvou metod pro rekonstrukci povrchu je výhoda metody gradientních polí opravdu výrazná. A to zejména proto, že přístroj Talysurf je jak finančně, tak i časově náročnou technologií pro rekonstrukci povrchu. Navržená metodika se ukázala jako rychlý a efektivní způsob pro objektivní hodnocení žmolkovitosti různých typů textilií, který je nenáročný i na přístrojové vybavení. Pro rekonstrukci povrchu je dostačující pouze snímací zařízení (např. fotoaparát), osvětlení a algoritmus pro zpracování a hodnocení výsledků. Tyto výhody a také poměrně dobré výsledky objektivní metodiky v porovnání se subjektivní metodou ukazují na to, že by tento hodnotící systém mohl být využitelný i v praxi. Aby bylo tedy možné snadno a prakticky využít objektivní metodiku pro hodnocení žmolkovitosti i v textilním průmyslu, bylo navrženo uživatelsky příjemnější rozhraní. Výsledek objektivního hodnocení je ve formě sady obrazů, charakteristik žmolkovitosti a odhadnutého objektivního stupně žmolkovitosti zobrazen za použití navrženého systému do několika vteřin.

Druhým významným cílem předložené disertační práce bylo odhadnout distribuci žmolků na ploše vzorku. K tomu sloužilo několik nástrojů prostorové analýzy dat. Na základě několika testů prostorové statistiky dat bylo u většiny testovaných vzorků zjištěno, že žmolky se na krátké vzdálenosti odpuzují a na delší jsou rozloženy nehomogenně. To znamená, že žmolky nejsou rozloženy náhodně, ale jejich tvorba podléhá určitým pravidlům. Stejně tak byl v této práci testován i předpoklad, zda se distribuce žmolků vytvořených simulací na přístroji Martindale podobá distribuci žmolků vytvořených při běžném nošení a praní. Výsledky testování naznačily, že jsou si oba procesy na základě distribuce žmolků podobné, tzn., lze distribuci jejich žmolků popsat stejným modelem.

Dále by bylo vhodné výzkum v této oblasti směřovat na monitorování jednotlivých fází žmolkování různých druhů textilií za pomoci obrazové analýzy. Tento směr by mohl být účelný pro objektivní popis jevů, ke kterým v jednotlivých fázích žmolkování dochází. Dalším námětem by také mohla být analýza příčiny, proč se žmolky na krátké vzdálenosti odpuzují a na dlouhé jsou rozloženy nehomogenně.

8 Seznam použité literatury

- [1] Xu, B.: Instrumental Evaluation of Fabric Pilling. *The Journal of the Textile Institute*, **88**(4), 488-500 (1997).
- [2] ASTM D4970/D4970M. *Standard Test Method for Pilling Resistance and Other Related Surface Changes of Textile Fabrics: Martindale Tester*. International American Society for Testing and Materials, USA (2012).
- [3] Xin, B., Hu, J., Yan, H.: Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques. *Textile Research Journal*, **72**(12), 1057-1064 (2002).
- [4] Behera, B., K., Mohan, T., E: Objective Measurement of Pilling by Image Processing Technique. *International Journal of Clothing Science and Technology*, **17**(5), 279-291 (2005).
- [5] Semmani, D., Ghayoor, H.: Detecting and Measuring Fabric Pills Using Digital Image Analysis. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **49**, 897-900 (2009).
- [6] Xiaojun, L., Huabing, H., Yushu, L., Hong, Z.: The Evaluation System of Fabric Pilling Based on Image Processing Technique. In: *Proceedings of Image Analysis and Signal Processing*, **9**, 44-47 (2009).
- [7] Zhang, J., Wang, X., Palmer, S.: Objective Pilling Evaluation of Wool Fabrics. *Textile Research Journal*, **77**(12), 929-936 (2007).
- [8] Zhang, J., Wang, X., Palmer, S.: Performance of an Objective Fabric Pilling Evaluation Method. *Textile Research Journal*, **80**(16), 1648-1657 (2010).
- [9] Zhang, J., Wang, X., Palmer, S.: Objective Grading of Fabric Pilling with Wavelet Texture Analysis. *Textile Research Journal*, **77**(11), 871-879 (2007).
- [10] Zhang, J., Wang, X., Palmer, S.: New Methods for Objective Evaluation of Fabric Pilling by Frequency Domain Image Processing. *Research Journal of Textile and Apparel*, **13**(1), 11-23 (2009).
- [11] Kim, Ch., S., Kang, T., J.: Image Analysis of Standard Pilling Photographs Using Wavelet Reconstruction. *Textile Research Journal*, **75**(12), 801-811 (2005).
- [12] Palmer, S., Wang, X.: Evaluating the Robustness of Objective Pilling Classification with the Two – Dimensional Discrete Wavelet Transform. *Textile Research Journal*, **74**(2), 140-145 (2004).
- [13] Mendes, A., Fiadeiro, P., T., Pereira, M., J., T., Miguel, R., A., L.: Dual-Scanning System for Optical Estimation of Pilling Formation. *Textile Research Journal*, **80**(12), 1201-1213 (2010).
- [14] Chen, X., Zengbo, X., Chen, T., Wang, J., Li, L.: Detecting Pills in Fabric Images Based on Multi-scale Matched Filtering. *Textile Research Journal*, **79**(15), 1389-1395 (2009).

- [15] Mendes, O., Fiadeiro, P., T., Miguel, R., A., L.: Subjective and Objective Pilling Evaluations of Textile Fabrics: A Comparison. *Textile Research Journal*, **80**(18), 1887-1897 (2010).
- [16] Ramachandran, V.S.: Perceiving Shape from Shading. *Scientific American*, **259**(2), 76-83 (1988).
- [17] Barrow, H.G., Tenenbaum, J.M.: Retrospective on “Interpreting Line Drawings as Three-Dimensional Surfaces”. *Artificial Intelligence*, **59**, 71-80 (1994).
- [18] Mingolla, E., Todd, J.T.: Perception of Solid Shape from Shading. *Biological Cybernetics*, **53**, 137-151 (1986).
- [19] Horn, B.K.P.: Height and Gradient from Shading. *International Journal of Computer Vision*, **5**(1), 37-75 (1990).
- [20] Ikeuchi, K., Horn, B.K.P.: Numerical Shape from Shading and Occluding Boundaries. *Artificial Intelligence*, **17**, 141-184 (1981).
- [21] Brooks, M.J., Horn, B.K.P.: Shape and Source from Shading. In: *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 932-936 (1985).
- [22] Frankot, R.T., Chellappa, R.: A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading Algorithms. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **10**, 439-451 (1988).
- [23] Horn, B.K.P.: *Shape from Shading: A Method for Obtaining the Shape of a Smooth Opaque Object from One View*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA (1970).
- [24] Oliensis, J.: Shape from Shading as a Partially Well-Constrained Problem. In: *Proceedings of Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, **54**, 163-183 (1991).
- [25] Dupuis, P., Oliensis, J.: Direct Method for Reconstructing Shape from Shading. In: *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, 453-458 (1992).
- [26] Kimmel, R., Bruckstein, A.M.: Shape from Shading via Level Sets. *Israel Institute of Technology, CIS Report 9209* (1992).
- [27] Pentland, A.P.: Local Shading Analysis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **6**, 170-187 (1984).
- [28] Lee, C.H., Rosenfeld, A.: Improved Methods of Estimating Shape from Shading Using the Light Source Coordinate System. *Artificial Intelligence*, **26**, 125-143 (1985).
- [29] Pentland, A.P.: Shape Information from Shading: A Theory about Human Perception. In: *Proceedings of International Conference on Computer Vision*, 404-413 (1988).
- [30] Tsai, P.S., Shah, M.: Shape from Shading Using Linear Approximation. *Image and Vision Computing Journal*, **12**(8), 487-498 (1994).
- [31] Staněk, J.: *Nauka o textilních materiálech, díl I, část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií*. 1. vydání, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci (1988).

- [32] Naylor, G., Aissani, N., Ramsey, D.: The Kinetic Model of Pilling Revisited. *Textile Research Journal*, **81**(3), 247-253 (2011).
- [33] Hearle, J., Wilkins, A.: Mechanistic Modelling of Pilling. Part I: Detailing of Mechanism. *The Journal of the Textile Institute*, **97**(4), 359-368 (2006).
- [34] Hearle, J., Wilkins, A.: Mechanistic Modelling of Pilling. Part II: Individual-Fibre Computation Model. *The Journal of the Textile Institute*, **97**(4), 369-376 (2006).
- [35] ČSN EN ISO 12945-2. *Textilie - zjišťování sklonu plošných textilií k rozvláknění povrchu a ke žmolkování - Část 2: Modifikovaná metoda Martindale*. Český normalizační institut, Praha (2001).
- [36] ČSN 80 0838. *Zjišťování odolnosti plošných textilií proti žmolkování na Komorovém žmolkovacím přístroji*. Úřad pro normalizaci a měření, Praha (1976).
- [37] Gonzales, R.C., Wood, R.E.: *Digital Image Processing*. 3rd Edition, Prentice-Hall (2007).
- [38] Linka, A., Volf, P., Košek, M.: *Zpracování obrazu a jeho statistická analýzy: Digitalizace obrazu*. E-learning.tul.cz [online]. 2004, [cit. 2.1.2015].
Dostupné na Internetu:
http://e-learning.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?ID_tema=67&stranka=publ_tema
- [39] Řehák, J., Řeháková, B.: *Analýza kategorizovaných dat v sociologii*. Academia, Praha (1986).
- [40] Zhang, R., Tsai, P.S., Cryer, J.E., Shah, M.: Shape from Shading: A Survey. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **21**(8), 690-706 (1999).
- [41] Žára, J., Beneš, B., Sochor, J., Felkel, P.: *Moderní počítačová grafika*. Computer Press (2004).
- [42] Hlaváč, V., Sedláček, M.: *Zpracování signálu a obrazu*. Skripta, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze (1999).
- [43] Hlaváč, V.: *Pořízení obrazu*. Centrum strojového vnímání, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze (2007).
- [44] Frankot, R.T., Chellappa, R.: A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading Algorithms. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **10**, 439-451 (1988).
- [45] Agrawal, A., Raskar, R., Chellappa, R.: What is the Range of Surface Reconstructions from a Gradient Field? In: *Proceedings of 9th European Conference on Computer Vision*, **1**, 578-591 (2006).
- [46] Agrawal, A., Raskar, R., Chellappa, R.: An Algebraic Approach to Surface Reconstruction from Gradient Fields. In: *Proceedings of 10th IEEE International Conference on Computer Vision*, **1**, 174-181 (2005).
- [47] Straka, S.: *Segmentace obrazu*. Diplomová práce, Masarykova univerzita, Brno (2009).

- [48] Khurshid, K., Siddiqi, I., Faure, C., Vincent, N.: Comparison of Niblack Inspired Binarization Methods for Ancient Documents. In: *Proceedings of SPIE 7247, Document Recognition and Retrieval XVI* (2009).
- [49] Tunák, M.: *Detekce vad v plošných textiliích*. Disertační práce, Technická univerzita v Liberci (2008).
- [50] Meloun, M., Militký, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Academia, Praha (2002).
- [51] Montgomery, D.C.: *Design and Analysis of Experiments*. 7th Edition, Wiley (2009).
- [52] Meloun, M., Militký, J.: *Statistické zpracování experimentálních dat*. East Publishing, Praha (1998).
- [53] Tošenovský, J., Noskiewičová, D.: *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Montanex (2000).
- [54] Dušek, L., Pavlík, T., Koptíková, J.: Analýza dat v neurologii. VII. Reprodukovatelnost a opakovatelnost měření u spojitých dat. *Cesk Slov Neurol N*, **71/104**(1), 106-109 (2008).
- [55] Novák, Z.: Prostorové hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd. In: *Sborník „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“, 16. mezinárodní seminář*, Plzeň (2007).
- [56] Horák, J.: *Prostorová analýza dat*. Učební text pro předmět Prostorová analýza dat, Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská, Ostrava (2002). [online], [cit. 2.1.2015].
Dostupné na internetu:
<http://gis.vsb.cz/pad/>
- [57] Diggle, P.J.: *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. Academic Press (1983).
- [58] Baddeley, A., Turner, R.: Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns. *Journal of Statistical Software*, **12**(6), 1-42 (2005).
Dostupné na internet: www.jstatsoft.org
- [59] Chiu, S.N., Stoyan, D., Kendall, W.S., Mecke, J.: *Stochastic Geometry and its Applications*. 3rd Edition, Wiley (2013).

9 Práce autora se vztahem ke studované problematice

9.1 Publikace v odborných časopisech

- [1] Techniková, L., Tunák, M.: Weaving Density Evaluation with the Aid of Image Analysis. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **98**(2), 74-79 (2013). (Web of Knowledge - IF 0,53)
- [2] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: An Objective Pilling Evaluation of Patterned Fabrics Based on a Gradient Field Method. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 2015. [Článek přijat v prosinci 2014] (Web of Knowledge - IF 0,78)
- [3] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: Determination and Comparison of Fabric Pills Distribution Using Image Processing and Spatial Data Analysis Tools. *International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering*, **7**(10), 616-621 (2013). (Scopus)
- [4] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: Qualitative Evaluation of Pilling. *Advanced Materials Research*, **740**, 649-654 (2013). (Scopus)
- [5] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: Forming of 3D Fabric Surface with the Help of Gradient Fields and Detection of the Pills. *Advanced Science Letters*, **19**(1), 203-206 (2013). (Scopus)
- [6] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: A Procedure of 3D Surface Reconstruction of Unicolor and Patterned Fabrics and Pills Detection. *Vlákna a textil*, **21**(3), 78-80 (2014). (Scopus)

9.2 Příspěvek ve sborníku z konference

- [7] Techniková, L., Tunák, M.: Evaluation of Surface Degradation of Outdoor Materials. In: *Proceedings of 18th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles*, Technical University of Liberec (2011).
- [8] Techniková, L., Tunák, M.: Monitoring of Degradation of Surface on Outdoor Materials in Various Resistibility Tests. In: *Book of abstracts of 5th Aachen – Dresden International Textile Conference*, 104, DWI an der RWTH Aachen (2011).
- [9] Techniková, L., Tunák, M.: Image Reconstruction of the Textiles in 3D and Evaluation of Pilling by the Help of Point Process. In: *Proceedings of 12th Autex 2012 World Textile Conference*, 1163-1166, University of Zagreb (2012).
- [10] Techniková, L., Tunák, M., Janáček, J.: 3D Reconstruction of Fabric Surface with the Help of Gradient Fields and Evaluation of Pilling. In: *Proceedings of 19th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles*, 49-50, Technical University of Liberec (2012).

9.3 Příspěvek ve sborníku z workshopů

- [11] Techniková, L.: Sledování změny struktury povrchu outdoorových materiálů při zkouškách materiálu v odolnosti v praní. In: *Sborník pro Workshop pro doktorandy Fakulty textilní a Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci*, 119-123, Technická univerzita v Liberci (2011).
- [12] Techniková, L.: Hodnocení žmolkovitosti na základě rekonstrukce obrazu pomocí gradientních polí. In: *Sborník pro Workshop pro doktorandy Fakulty textilní a Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci*, 109-113, Technická univerzita v Liberci (2012).
- [13] Techniková, L.: Objective Pilling Evaluation Method Based on Image Processing and Spatial Data Analysis Tools. In: *Sborník pro Workshop pro doktorandy FT a FS Chata pod lipami 2013*, 94-98, Technická univerzita v Liberci (2013).
- [14] Techniková, L.: An Effective Pills Segmentation on Patterned Fabrics. In: *Proceedings of Workshop for Ph.D. Students of Faculty of Textile Engineering and Faculty of Mechanical Engineering TUL*, 127-130, Technical University of Liberec (2014).

9.4 Citace

Citace k publikaci autora [1] uvedené v databázi *Web of Knowledge*

- [15] Zhang, J., Pan, R., Gao, W., Zhu, D.: Automatic Recognition of the Color Effect of Yarn-Dyed Fabric by the Smallest Repeat Unit Recognition Algorithm. *Textile Research Journal*, **85**(4), 432-446 (2015).
- [16] Zhang, J., Pan, R., Gao, W., Zhu, D.: Automatic Detection of Layout of Color Yarns of Yarn-Dyed Fabric. Part 1: Single-System-Mélange Color Fabrics. *COLOR research and application*, **0**(00), 1-15 (2014).
- [17] Schneider, D., Gloy, Y.S., Merhof, D.: Vision-Based On-Loom Measurement of Yarn Densities in Woven Fabrics. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **64**(4), 1063-1074 (2015).

Citace k publikaci autora [1] uvedené v databázi *Scopus*

- [18] Zhang, J., Xin, B., Wu, X.: Density Measurement of Yarn Dyed Woven Fabrics Based on Dual-Side Scanning and the FFT Technique. *Measurement Science and Technology*, **25**(11), (2014).

Curriculum Vitae

Osobní údaje

Jméno a příjmení	Lenka Techniková
Adresa	Jihlavská 71, 58001 Havlíčkův Brod
Mobil	737 329 039
E-Mail	lenka.technikova@seznam.cz
Narozena	1.8.1986 v Havlíčkově Brodě
Stav	svobodná

Dosažené vzdělání

Období	2010 - dosud
Škola	studium doktorského studijního programu Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
Studijní program	Textilní inženýrství
Obor	Textilní materiálové inženýrství
Období	2008 - 2010
Titul	Ing.
Škola	Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
Obor	Management jakosti
Období	2005 - 2008
Titul	Bc.
Škola	Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní
Obor	Technologie a řízení oděvní výroby
Období	2001 - 2005
Dosažená kvalifikace	Maturita
Škola	Střední průmyslová škola textilní Helenín
Obor	Oděvní technologie

Schopnosti a znalosti

Jazykové znalosti	Anglický jazyk aktivně psaným i mluveným slovem
Počítačové znalosti a dovednosti	MS Office MatLab R

Praxe

Období	květen 2013 - červen 2014
Pozice	Pracovník v laboratoři pro měření kvality nekovových dílů GQD/43 Škoda auto, a.s.
Období	červen 2013 - dosud
Pozice	Pracovník výzkumu na Katedře hodnocení textilií, TUL
Období	srpen - prosinec 2013
Pozice	Asistent 3P projektu (č. 16840), TUL

Odborné stáže

Období	listopad 2011
Místo	Akademie věd ČR, Fyziologický ústav, oddělení biomatematiky
Období	srpen 2012
Místo	Georgia Institute of Technology, Georgia, USA
Období	únor - duben 2013
Místo	Institut für Textiltechnik (ITA), RWTH Aachen University, Aachen, Německo
Období	listopad 2014
Místo	University of Mauritius, Mauricius

Zaměstnání

2013 - dosud, pracovník výzkumu na Katedře hodnocení textilií, TUL

Stručná charakteristika dosavadní odborné a vědecké činnosti

Doktorské studium	
Studium	Studium doktorského studia v prezenční formě, program Textilní inženýrství, obor Textilní materiálové inženýrství, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci
Seznam zkoušek	Matematická statistika a analýza dat, dne 21.3.2011. Aplikovaná optika – kolorimetrie, dne 6.5.2011. Teorie zkušebních metod a zpracování laboratorních dat, dne 24.4.2012. Prostorová analýza dat, dne 4.1.2013.
Státní doktorská zkouška	Státní zkouška vykonána dne 15.5.2014.
Pedagogická činnost	
Výuka předmětů	Vedení cvičení k předmětu Hodnocení jakosti v zimním semestru 2010-2012. Vedení cvičení k předmětu Zpracování a analýza obrazu v letním semestru 2011, 2012, 2014, 2015. Vedení cvičení k předmětu Informační a komunikační technologie v letním semestru 2012, 2015. Vedení cvičení k předmětu Řízení jakosti v zimním semestru 2013, 2014.
Vedení závěrečných prací	Modrák, J.: <i>Hodnocení změny struktury povrchu nanovlákněných membrán během pracích cyklů</i> . Bakalářská práce, Technická univerzita v Liberci (2012). Kabátek, M.: <i>Hodnocení žmolkovitosti na základě 3D rekonstrukce obrazu textilií s využitím gradientních polí</i> . Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci (2013).
Konzultant závěrečných prací	Chaničkovská, Š.: <i>Vliv vzoru v jednoduchých žakárských tkaninách na drsnost tkanin</i> . Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci (2014). Szeinerová, L.: <i>Hodnocení procesu žmolkování textilií s využitím opticky zjasňujícího prostředku</i> . Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci (2014).

Výzkumné projekty

Studentská grantová soutěž
TUL

Projekt č. 4840: „Sledování změny struktury povrchu outdoorových materiálů při zkouškách materiálu v různých odolnostech“, 2011. Hlavní řešitel.

Projekt č. 4853: „Hodnocení žmolkovitosti na základě rekonstrukce obrazu pomocí gradientních polí“, 2012. Hlavní řešitel.

Projekt č. 48015: „Distribuce žmolků v prostoru a kinetika žmolkování“, 2013. Hlavní řešitel.

Projekt č. 21036: „Objektivní metoda hodnocení žmolkovitosti vzorovaných textilií s využitím metody gradientních polí“, 2014. Hlavní řešitel.

Centrum pro jakost a
spolehlivost výroby

Člen řešitelského týmu, 2010-2011

Ostatní projekty

ESF projekt

Projekt č. 16840: „3P-Praxe pro praxi“
Člen řešitelského týmu, 2013

Rozvojový projekt MŠMT

Rozvojový projekt (Vyhledávání talentovaných studentů) a projekt (Podpora a individuální rozvoj mladých akademických pracovníků). Člen řešitelského týmu, 2013-2015

Zápis o vykonání státní doktorské zkoušky

ZÁPIS O VYKONÁNÍ STÁTNÍ DOKTORSKÉ ZKOUŠKY (SDZ)

Jméno a příjmení doktoranda: **Ing. Lenka Techniková**
Datum narození: **1. 8. 1986**
Doktorský studijní program: **Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Textilní materiálové inženýrství**
Termín konání SDZ: **15. 5. 2014**

prospěla

~~neprospěla~~

Komise pro SDZ:

Podpis

Předseda:	prof. Ing. Jiří Militký, CSc.	
Místopředseda:	prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.	
Členové:	RNDr. Dr. Jiří Janáček	
	prof. RNDr. Jan Píček, CSc.	
	Ing. Bc. Monika Vyšanská, Ph.D.	

V Liberci dne 15. 5. 2014

O průběhu SDZ je veden protokol.

Vyjádření školitele k disertační práci

Ing. Lenky Technikové

OBJEKTIVNÍ SYSTÉM HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI S VYUŽITÍM METODY GRADIENTNÍCH POLÍ A PROSTOROVÉ ANALÝZY DAT

V disertační práci Ing. Lenky Technikové je řešena problematika objektivního hodnocení žmolkovitosti různých druhů plošných textilií, jak jednobarevných, tak vzorovaných. Důležitou součástí kontroly kvality v textilním průmyslu je vizuální hodnocení a kontrola plošných textilií. Z vizuálního pohledu je žmolkovitost negativní vlastnost textilií, přičemž žmolky vznikají při běžném používání a údržbě na povrchu všech plošných textilií. V současné době se odhad stupně žmolkovitosti provádí především subjektivní vizuální metodou, která je založena na hodnocení vzorku se žmolky na základě přiřazení stupně žmolkovitosti dle normy a etalonů vyškoleným hodnotitelem. Rychlý rozvoj digitální techniky a počítačových technologií v posledních letech umožnil zpracování digitálních obrazových dat. Zpracování obrazových dat má proto v oblasti monitorování kvality velmi důležité místo, protože poskytuje informaci o geometrii, povrchu, defektech, o úpravách povrchu výrobku a jiných charakteristikách. Proto je snaha nahradit subjektivní metody hodnocení žmolkovitosti metodami objektivními, založenými na obrazové analýze. Z tohoto pohledu se domnívám, že předložená disertační práce je vysoce aktuální a zajímavá z teoretického i aplikačního hlediska.

V práci je využita metodika 3D rekonstrukce povrchu plošné textilie založená na metodě gradientních polí. Myšlenka vychází z prací AGRAWALA, RASKARA A CHELLAPPU, kde je tvar objektů (žmolků) rekonstruován ze stínů objektů. Na základě čtyř obrazů stejné plošné textilie nasvícené postupně ze čtyř stran jsou získány gradientní obrazy, z nichž je následně zrekonstruován povrch plošné textilie. Pro tento účel doktorandka navrhla světelný systém, pomocí kterého se sada požadovaných obrazů snadno získá. Vrcholy v zrekonstruovaném povrchu představují žmolky a lze je snadno odsegmentovat od pozadí pro další zpracování a vyhodnocení. Po následné aplikaci obrazových operací je získán binární obraz žmolků, ze kterého jsou počítány základní charakteristiky žmolků jako např. plocha žmolků, obvod žmolků, hustota žmolků atd. Získané charakteristiky slouží pro odhad stupně žmolkovitosti na základě modelu lineární regrese. Ze získaných výsledků je zřejmé, že metoda je vhodná a použitelná i pro vzorované plošné textilie, kde běžné metody založené na obrazové analýze selhávají. Doktorandka na závěr vytvořila grafické uživatelské rozhraní pro jednodušší ovládání navrženého postupu v programu MATLAB. V další části práce je hledán vhodný model pro popis distribuce žmolků v ploše textilií s využitím nástrojů prostorové analýzy dat v programovém prostředí R. Z výsledků vyplynulo, že se žmolky netvoří v ploše náhodně, ale na malé vzdálenosti se odpuzují a na delší jsou rozloženy nehomogenně.

Dílicí výsledky a stěžejní části disertační práce již byly recenzovány a zveřejněny v odborných časopisech (*Fibres and Textiles in Eastern Europe* (WOS); *International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering* (SCOPUS); *Advanced Materials Research* (SCOPUS); *Advanced Science Letters* (SCOPUS); *Vlákna a textil*) nebo jsou



přijaty k publikaci (*Indian Journal of Fibre and Textile Research (WOS)*). Studentka dále prezentovala výsledky disertační práce formou posteru, nebo přednášky na řadě mezinárodních a národních konferencích.


V průběhu doktorského studia byla doktorandka aktivní při řešení jak výzkumných, tak vzdělávacích projektů. V letech 2010-2011 byla studentka členem řešitelského týmu výzkumného projektu CENTRUM PRO JAKOST A SPOLEHLIVOST VÝROBY (MŠMT ČR projekt výzkumu a vývoje č. 1M06047). V letech 2011-2014 získala a řešila čtyři projekty STUDENTSKÉ GRANTOVÉ SOUTĚŽE týkající se problematiky objektivního hodnocení žmolkovitosti. V rámci ROZVOJOVÝCH PROJEKTŮ MŠMT byla studentka v letech 2013-2015 členem řešitelského týmu, kde se aktivně podílela na organizaci projektů SOUTĚŽ VE STUDENTSKÉ VĚDECKÉ A ODBORNÉ ČINNOSTI a WORKSHOP PRO DOKTORANDY FAKULTY TEXTILNÍ A FAKULTY STROJNÍ TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI. V projektu 3P-PRAXE PRO PRAXI (ESF OPVK) byla v roce 2013 členem řešitelského týmu.

Doktorandka v průběhu studia absolvovala několik krátkodobých stáží (listopad 2011 AKADEMIE VĚD ČR, ODDĚLENÍ BIOMATEMATIKA; srpen 2012 GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, USA; listopad 2014 UNIVERSITY OF MAURITIUS, MAURITIUS) a jednu tříměsíční stáž (únor-duben 2013 INSTITUT FÜR TEXTILTECHNIK, AACHEN UNIVERSITY, NĚMECKO). Na uvedených stážích se studentka zabývala experimenty ve formě pořizování obrazů vzorků textilií se žmolky pomocí průmyslové kamery a osvětlení, dále možnostmi aplikace prostorové statistiky dat pro hodnocení žmolkovitosti textilií.

Z pohledu pedagogické činnosti doktorandka vedla cvičení k předmětu HODNOCENÍ JAKOSTI (zimní semestr 2010-2012), cvičení k předmětu ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZA OBRAZU (letní semestr 2011-2015), cvičení k předmětu ŘÍZENÍ JAKOSTI (zimní semestr 2013, 2014) a cvičení k předmětu INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE (letní semestr 2012, 2015). Během studia vedla jednu bakalářskou a jednu diplomovou práci a byla konzultantem dvou diplomových prací.

Domnívám se, že cíle disertační práce Ing. Lenky Technikové byly naplněny, doktorandka prokázala schopnost samostatné tvůrčí práce, prezentovala výsledky na národních a mezinárodních konferencích, výsledky práce již jsou nebo budou publikované v odborných periodikách. Studentka byla aktivní při získávání a řešení projektů, absolvovala odborné stáže, vedla výuku a závěrečné práce pro studenty v bakalářském i navazujícím magisterském studijním programu. Z uvedených důvodů **doporučuji** disertační práci k obhajobě.

V Liberci dne 27. dubna 2015


doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií
Fakulta textilní
Technická univerzita v Liberci



Oponentské posudky disertační práce

Posudek doktorské disertační práce Ing. Lenky Technikové:

Objektivní systém hodnocení žmolkovitosti s využitím metody gradientních polí a prostorové analýzy dat.

Dizertační práce se zabývá vývojem a testováním metody 3D snímání povrchu látky se žmolky, jejich detekcí a kvantitativním hodnocením jejich výskytu a prostorového rozložení. Žmolky detekuje originálním způsobem metodou počítačového vidění „Shape from shading“, která dává výrazně lepší výsledky, než dosud publikované metody. Je např. odolná k artefaktům odvozeným z potisku textilie. Výsledky detekce detailně hodnotí metodami analýzy obrazu. Charakter rozložení žmolků v prostoru, konkrétně prostorovou nehomogenitu a inhibici blízkých žmolků hodnotí pomocí prostorové statistiky bodových procesů a výsledky interpretuje ve vztahu k mechanismu vzniku žmolků z vláken uvolněných z textilie.

Kapitola 1. uvádí přehled řady současných publikovaných metod kvantitativního hodnocení žmolkovitosti metodami analýzy obrazu. Je z něho patrné, že se autorka dobře orientuje v příslušné literatuře. Pojednává také současný stav metody trojrozměrného snímání povrchů pomocí snímků s šikmým osvětlením, tzv. „Shape from shading“.

Kapitola 2. popisuje mechanismus vzniku a vývoje žmolků v celé jeho komplexnosti včetně parametrů vláken a textilie, které jej ovlivňují. Uvádí i dva mechanistické modely, zachycující alespoň některé aspekty vzniku žmolků a vliv hlavních relevantních parametrů.

Kapitola 3. se zabývá subjektivními metodami hodnocení žmolkovitosti a dvěma běžně používanými zařízeními pro simulaci vzniku žmolků na konkrétních látkách.

Kapitola 4. popisuje vlastní metodu snímání povrchu textilie se žmolky a sadu hodnocených textilií se žmolky včetně výsledků jejich subjektivního hodnocení. Je popsán původní přístroj pro fotografování textilie s šikmým osvětlením ze čtyř stran. Metoda rekonstrukce je založena na integraci gradientního pole odhadnutého ze stínů na povrchu volně dostupným Frankot-Chelapovým algoritmem. V popisu zpracování obrazu není správně uveden účel Gaussova filtru, který je podle výpisu kódu použit jako high pass filtr pro odstranění arteficiálního pomalu se měnícího reliéfu, vzniklého z nehomogenity osvětlení. Dále jsou vysvětleny lokální segmentační Niblackův postup a morfologická operace otevření pro odstranění drobných artefaktů. Závěrem kapitoly je postup je předveden na konkrétních vzorcích.

Kapitola 5. se věnuje segmentaci žmolků na vzorkovaných textiliích vlastní metodou. V porovnání s metodou využívající Fourierovu transformaci netrpí předkládaná metoda přítomností artefaktů vyniklých vzorkováním. Při výpočtu gradientního pole je totiž používán rozdíl snímků textilie osvětlené z opačných stran a vzorek se z velké části odečte.

Kapitola 6. obsahuje kvantitativní hodnocení žmolovitosti souboru textiliích včetně statistického zpracování a porovnání se subjektivním hodnocením. Výsledky ukazují dobrou použitelnost navrhované metody.

Kapitola 7. popisuje porovnání předkládané metody s metodou využívající přístroj založený na bezkontaktním lasrovým snímáním povchu. Předkládaná metoda je zřejmě rychlejší a citlivější.

Kapitola 8. stručně zmiňuje uživatelské rozhraní vlastního programu pro hodnocení.

Kapitola 9. shrnuje výše uvedené přednosti metody a diskutuje možné problémy při aplikaci na textilie s výrazněji tvarovanou texturou, tvořící stíny.

Kapitoly 10. a 11. jsou věnovány analýze prostorového rozmístění vzorků metodikou prostorové statistiky bodových procesů a diskusi k získaným výsledkům. Jsou zde vysvětleny základní pojmy a použité postupy. Ukazuje se, že popis pomocí bodového procesu, který je prostorově nehomogenní a zahrnuje vzájemnou inhibici sousedních bodů dobře popisuje prostorovou distribuci žmolků a je navíc interpretovatelný pomocí mechanismu vzniku žmolků a kompetice sousedních žmolků o uvolněná vlákna. Také vysvětluje menší citlivost chí-kvadrát testu na počty bodů v podoblastech: nehomogenita a inhibice se v nerovnoměrnosti počtů projevují opačně a částečně se tedy vruší.

Práce přináší původní postup 3D snímání povrchů textiliích se žmolky, který je prokazatelně dokonalejší než dosud používané postupy, a využívá ho v nové metodě hodnocení žmolovitosti látek. Je přínosná pro hodnocení kvality textiliích i základní poznání tvorby žmolků z hlediska materiálového výzkumu. Autorka v ní prokázala schopnost vědecky pracovat. Autorka navíc publikovala k tématu 5 prací v recenzovaných časopisech a jednu další má přijatou.

Práce je přehledná, dobře napsaná a je dostatečně ilustrována. Literární odkazy jsou relevantní a dostatečné. Práci považuji za velmi kvalitní a doporučuji ji k obhajobě.



Jiří Janáček

oddělení biomatematicky FgÚ AVČR

Vídeňská 1083

142 20 Praha

Oponentský posudek na disertační práci Ing. Lenky Technikové

Objektivní systémy hodnocení žmolkovitosti s využitím metody gradientních polí a prostorové analýzy dat.

Předložená disertační práce je zaměřena na problematiku objektivního hodnocení žmolkovitosti různých druhů textilií a odhadu distribuce žmolků na ploše. V současné době se pro hodnocení žmolkovitosti používají metody srovnávání vzorku s etalonem, které jsou subjektivní a nezaručují tedy stejné výsledky u různých hodnotitelů. Disertantka se proto zaměřila na vývoj objektivní metody, založené na matematické zpracování obrazu hodnocené textilie. V práci je navržena originální metoda gradientních polí založená na analýze třírozměrného obrazu, včetně navrženého speciálního světelného systému pro snímání povrchu textilií se žmolky.

Práce je dobře a přehledně postavená. V úvodu je vysvětlena problematika a cíle disertační práce, následuje přehled současného stavu problematiky (kapitola 1), popis fyzického vzniku žmolků na povrchu textilie a fyzikálních modelů tohoto procesu (kapitola 2). Kapitola 3 je věnována subjektivnímu hodnocení žmolkovitosti a způsobům testování na různých přístrojích.

Automatické detekci žmolků pomocí analýzy digitálního obrazu se věnuje kapitola 4. Disertantka v úvodu této kapitoly popisuje sadu testovaných vzorků a způsob pořízení jejich 3D obrazů. K tomu byl navržen a vyroben speciální přístroj, světelný systém pro snímání povrchů vzorků se žmolky. Přístrojem sejmutý dvojrozměrný obraz je předzpracován metodami analýzy obrazu a poté je provedena rekonstrukce trojrozměrného obrazu povrchu vzorků. Na takto zrekonstruovaný obraz je aplikována metoda gradientních polí, která dokáže poměrně úspěšně detekovat nerovnosti na povrchu vzorků. Bohužel, uvedená metoda nerozezná žmolky od jiných nerovností povrchu. Na druhou stranu ji lze úspěšně použít i na vzorované textilie, jak je ukázáno v kapitole 5. Také srovnání s další 3D metodou v kapitole 7, která umožňuje snímání 3D povrchu s využitím přístroje Talysurf bezkontaktní laserovou technologií, vychází metoda gradientních polí výrazně lépe (detekuje větší počet žmolků).

Kapitola 6 je věnována kvantitativnímu hodnocení žmolkovitosti. K odhadu stupně žmolkovitosti je zde použit lineární regresní model. Výsledky srovnání hodnocení navrženou objektivní metodou a subjektivního hodnocení ukazují poměrně vysokou shodu (jak v grafickém srovnání pomocí rozdílového grafu, tak i v kvantitativním srovnání pomocí párového korelačního koeficientu).

V kapitole 10 jsou studovány možnosti využití prostorové analýzy dat ke kvalitativnímu hodnocení žmolkovitosti. Tuto kapitolu považuji za nejslabší a nejméně srozumitelnou z celé práce. Lze si představit, že rozlišení typu prostorového rozložení žmolků (v práci jsou uvedeny tři typy: náhodné, pravidelné a shlukové) má význam při kvalitativním hodnocení. Domnívám se však, že navrhované metody testování rovnoměrnosti (homogenity) výskytu shluků pomocí chí-kvadrát testu či Kolmogorovova-Smirnovova testu (odstavec 10.3) nemohou rozlišit mezi uvedenými typy distribucí. Odstavec 10.2 pojednávající o využití tzv. K-funkce pro vzdálenosti mezi páry bodů by mohl být z hlediska tématu zajímavý, bohužel je mu věnován velmi malý prostor a stručnost je zde na úkor srozumitelnosti. Stejná námitka se týká i zmínky o Gibbsových modelech.

Pro účely obhajoby jsem vybral některé z nejasností, které by měla disertantka v průběhu obhajoby vysvětlit:

- (1) Proč byly v regresním modelu v odstavci 6.1.2 voleny jako vysvětlující veličiny N_z a A_T , když jejich korelační koeficient je téměř roven jedné ($r = 0,99$)?
- (2) Co vlastně testuje chí-kvadrát test na straně 65 (vzorec (48))? Jak tento test souvisí s Poissonovým rozdělením?
- (3) Z textu kapitoly 10 mi nebylo zcela jasné, jak souvisí rovnoměrnost rozdělení výskytu žmolků (testovaná metodami prostorové analýzy) s jejich kvalitativními charakteristikami (a s jakými).

Práce je z jazykového a grafického hlediska dobře zpracována. V práci jsem prakticky nenašel překlepy, vzorce jsou číslovány, odkazy na literaturu jsou uvedeny ve vzrůstajícím pořadí, což odpovídá i řazení v seznamu literatury. V závěru práce je uveden seznam 14 prací disertantky, z toho jsou dva články v impaktovaných časopisech, čtyři v recenzovaných časopisech, čtyři články ve sbornících mezinárodních konferencí a čtyři ve sbornících z workshopů. Hlavní přínos disertantky vidím v originálním návrhu hodnocení žmolkovitosti metodou gradientních polí a návrhu zařízení pro dvourozměrné snímání povrchů textilií a metod pro následnou rekonstrukci třírozměrného obrazu. Výsledky práce mají přímý dopad pro praktické použití při objektivním hodnocení žmolkovitosti jakožto jednoho z aspektů kvality textilií.

Celkově práci považuji za výbornou. Některé výše uvedené dílčí nedostatky nikterak nesnižují správnost výsledků a jejich význam. Proto práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit disertantce titul Ph.D.

V Praze, dne 28.4.2015



Prof. RNDr. Gejza Dohnal, CSc.
Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Ústav technické matematiky