

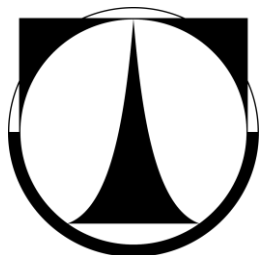
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

BC. LENKA KOLAŘÍKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T014 Management jakosti

**KLASIFIKACE VZHLEDU PŘÍZE A KONTROLA JEJÍ
KVALITY NA PLANISKOPU**

**GRADING OF YARN APPEARANCE AND MONITORING ITS
QUALITY ON THE PLANISKOP**

Bc. Lenka Kolaříková

KHT - 146

Vedoucí diplomové práce: Ing. Maroš Tunák, PhD.

Rozsah práce:

Počet stran textu:.. 64

Počet obrázků: 17

Počet tabulek:9

Počet stran příloh: ..8

Zadání diplomové práce

(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

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

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

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

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

Datum 9. 5. 2012

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady, motivaci, trpělivost a čas, který mi při konzultacích věnoval. Mé dík patří také Ing. J. Bajusovi z firmy VÚB a.s. v Ústí nad Orlicí za ochotné poskytnutí fotografických vzorků přízí z planiskopu. V neposlední řadě náleží velké poděkování i celé mé rodině a všem mým blízkým za podporu během studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá objektivním hodnocením vzhledu přízí na planiskopu s použitím nástrojů obrazové analýzy. Na základě obecných poznatků popsaných v teoretické části je navržen postup pro objektivní hodnocení defektů u přízí s rozdílnou délkovou jemností. Pomocí dvourozměrné diskrétní Fourierovy transformace je obraz rozložen na obraz periodický, skládající se z textury příze a obraz neperiodický s náhodným šumem obsahující defekty příze, neboli nežádoucí objekty vyskytující se na planiskopové desce příze. Následně se u obrazu neperiodické struktury provede mediánová filtrace pro odstranění zbytkové struktury příze a oddělení objektů od pozadí obrazu pomocí segmentace, například globálním prahováním. Ze získaných objektů jsou vypočteny tvarové charakteristiky objektů, které jsou klíčové pro zařazení jednotlivých vzorků do příslušných tříd etalonů příze. Výsledky tohoto objektivního hodnocení jsou porovnány s výsledky získanými hodnocením subjektivním.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Objektivní hodnocení, etalon, třída příze, obrazová analýza, globální prahování, Fourierova transformace.

ANNOTATION

This diploma thesis deals with an objective evaluation of yarns for appearance on planiscope by using tools of image analysis. For objective evaluation of yarn defects with different linear mass density of fibres is proposed procedure based on experiences described in theoretic part. Two dimensional Discrete Fourier Transformation divided an image into periodic part consisting of texture yarn a non-periodic part of random noise containing defects yarn or undesirable objects, which can be found on planiscope yarn's board. For non-periodic part, it used median filtering for removing remaining texture yarns and by dividing of objects from background image by segmentation, for example global thresholding. Objects which are calculated from objects of shape characteristics are key information for selecting right grade of yarn. Results of objective evaluation are compared with results obtained by subjective evaluation.

KEY WORDS:

Objective evaluation, Etalon, Yarn grade, Image analysis, Global thresholding, Fourier transform.

Obsah

Seznam použitých zkratek	8
1 Úvod	10
2 Literární průzkum současné situace	12
3 Metodika hodnocení příze dle ASTM.....	17
3.1 Popis tříd příze.....	17
3.2 Postup hodnocení příze	21
4 Metodika Československé státní normy ČSN 80 0704	23
5 Objektivní hodnocení příze na planiskopu pomocí obrazové analýzy	24
5.1 Digitální obraz	25
5.2 Souřadnicové konvence	26
5.3 Typy obrazů.....	26
5.3.1 Intenzitní obraz.....	27
5.3.2 Binární obraz.....	27
5.3.3 Indexový obraz.....	27
5.3.4 RGB obraz	27
5.3.5 Monochromatický obraz.....	28
5.4 Filtrace obrazu	28
5.5 Segmentace obrazu	29
5.6 Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace $2D DFT$	30
5.7 Morfologické operace	31
5.7.1 Dilatace	31
5.7.2 Eroze.....	31
6 Obrazová sada vzorků pro obrazovou analýzu	32
6.1 Nasímání a načtení obrazu	34
6.2 Předzpracování obrazu	35
6.2.1 Převedení RGB obrazu na obraz monochromatický	35
6.2.2 Ekvalizace histogramu.....	36
6.3 Výřezy z obrazu.....	37
6.4 Detekce objektů z obrazu příze pomocí $2D DFT$ a $2D DIFT$	38
6.5 Zjištění průměrné rozteče mezi přízí navinutou na planiskopovou desku	41
6.6 Nelineární mediánová filtrace obrazu	44
6.7 Segmentace obrazu, morfologické operace.....	45
6.8 Výpočet jednotlivých charakteristik defektů příze	47
6.9 Zařazení jednotlivých obrazových vzorků příze do příslušných tříd etalonu	52
7 Subjektivní hodnocení vzhledu příze pomocí fotografických etalonů	56
7.1 Zpracování výsledků subjektivního hodnocení příze podle Hornova postupu ...	58
7.2 Srovnání metody subjektivního a objektivního hodnocení vzorků příze za pomocí fotografických etalonů	61
8 Závěr.....	62
Seznam použité literatury	63
Seznam příloh	65

Seznam použitých zkratek

<i>PAV</i>	<i>Principal axis vector</i> – hlavní osa vektoru
obr.	Obrázek
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transform</i> – Rychlá Fourierova transformace
<i>AOP</i>	<i>Adaptive Orientated Orthogonal Projective Decomposition</i> – Adaptivní orientovaný ortogonální projekční rozložení
<i>MPSI</i>	<i>Mass Parameterization System</i> – systém pro stanovení hromadných charakteristik
<i>FDFI</i>	<i>Fast Impulse Frequency Determination</i> – Rychlé zjištění frekvenčního impulsu
atd.	A tak dále
např.	Například
<i>EDC</i>	<i>Effective Distance between Cluster</i> – Efektivní vzdálenost mezi shluky
<i>PVS</i>	<i>Selection of Property Vectors</i> – Výběr vlastností vektorů
<i>ASTM</i>	<i>Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance</i> – Standardní testovací metodika pro třídění vzhledu příze
tab.	Tabulka
ČSN	Československá státní norma
<i>IPT</i>	<i>Image Processing Toolbox</i> – Nástroj pro zpracování obrazů
$f(x, y)$	Dvourozměrná obrazová funkce
x, y	Souřadnice pixelu
z	Počet položek v obrazu
f	Amplituda
<i>RGB</i>	<i>R – Red, G – Green, B – Blue</i> , barevný obraz
M	Počet řádků obrazové matice
N	počet sloupců obrazové matice
r	<i>row</i> – řádek matice
c	<i>column</i> – sloupec matice
<i>2D DFT</i>	<i>2 Dimensional Discrete Fourier Transform</i> – Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace
<i>2D DIFT</i>	<i>2 Dimensional Inverse Discrete Fourier Transform</i> – Dvourozměrná diskrétní inverzní Fourierova transformace
<i>DC</i>	<i>Direct Current</i> – Komponenta Fourierovy transformace
$F(u, v)$	Fourierovy koeficienty rozvoje
u, v	Frekvenční proměnné Fourierovy transformace
$R(u, v)$	Reálná složka $F(u, v)$
$I(u, v)$	Imaginární složka $F(u, v)$
px	<i>Pixel</i> – Obrazový bod
dpi	<i>Dots per inch</i> – Počet bodů na anglický palec
T	Délková jemnost
α	Köchlinův zákrutový koeficient
č. v.	Číslo vzorku

et.	Etalon
<i>CD</i>	<i>Compact Disc</i> – Kompaktní disk
<i>A</i>	Plocha objektů
<i>P</i>	Obvod skutečného průřezu objektu
<i>d</i>	Ekvivalentní průměr objektů
<i>a</i>	Hlavní osa elipsy
<i>b</i>	Vedlejší osa elipsy
β	Úhel mezi horizontální a hlavní osou
cit.	citováno
<i>IS</i>	Interval spolehlivost.

1 Úvod

V dnešní době je na trhu požadavek nejvyšší kvality příze, podle které se určuje také její konečná cena. Vzhled příze je důležitým pozorovaným znakem jakosti, u kterého se z hlediska zpracovatelských vlastností hodnotí například silná a slabá místa, hmotná nestejnomyšnost, smyčkovost, pevnost, a počet defektů v této délkové textilií. Důsledkem toho je zavedena její kontrola kvality. Tu provádějí dva laboranti v místnosti s rovnoměrně rozmístěnou intenzitou světla, kteří na základě svým odborných zkušeností nezávisle na sobě porovnávají vzhled vzorků příze z planiskopu s etalonem. Tato metoda je založená na subjektivním hodnocení neboli podrobném očním prozkoumání planiskopové desky příze, kde se posuzuje například její chlupatost a celková defektnost, jejímž důsledkem dochází ke snížení jakosti příze. Defekty na povrchu příze mívají velikost jen několika málo milimetrů, tudíž jsou pro lidské oko hůře viditelné. Z těchto důvodů se subjektivní metoda hodnocení jeví pro obsluhu časově i zrakově dosti náročná. Snahou je nahradit subjektivní hodnocení objektivním s využitím počítačové techniky a nástrojů obrazové analýzy.

Jednou z možností objektivního hodnocení je použít přístroj *Uster Tester*, který provádí automatické hodnocení hmotné nestejnomyšnosti, počtu silných i slabých míst, počtu nopků, délkové jemnosti a chlupatosti délkové textilie na principu změny kapacity při průchodu příze mezi deskami kondenzátoru. Výstupem z přístroje je graf zachycující údaje o kolísání relativní hmotnosti a spektrogram zobrazující statistické rozdělení spektra vlnových délek.

V praktické části práce bude snaha o navržení objektivní metody pro hodnocení vzhledu příze s pomocí systému. „počítačového vidění“ a jeho následné analýzy obrazu v prostředí programu *MATLAB*. Vstupní digitální obrazy příze je vhodné před obrazovou analýzou nejprve předzpracovat. Myšlenka je založená na transformaci obrazu příze na frekvenční obraz s použitím dvourozměrné diskretní Fourierovy transformace. Vysoké hodnoty komponent odpovídají periodické struktuře příze, kde nalezením těchto komponent je obraz rozdělen na pravidelný, skládající se z těla příze a obraz nepravidelný, obsahující prvky šumu a objekty neboli nežádoucí defekty příze. Následně se u obrazu neperiodické struktury provede mediánová filtrace pro odstranění zbytkové struktury příze a oddělení objektů od pozadí obrazu pomocí segmentace, například globálním prahováním. U nalezených objektů poté budou stanoveny

charakteristiky popisující jejich tvarové vlastnosti, počet objektů a jejich celkové plošné zaplnění v obraze.

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout postup pro objektivní hodnocení přízí na planiskopu za pomoci nástrojů obrazové analýzy a aplikovat jej posléze na obrazech přízí s různým materiálovým složením, délkovou jemností a zákrutem. Výsledkem tohoto objektivního hodnocení je automatické zařazení jednotlivých vzorků příze do příslušných tříd etalonů. V závěru práce budou porovnány získané výsledky a účinnost této metody objektivního hodnocení přízí s výsledky subjektivního hodnocení přízí.

V úvodní části práce bude zpracována rešerše týkající se například třídění různých typů příze podle vzhledu s využitím nástrojů obrazové analýzy, umělé inteligence a odhalení defektů příze pomocí nástrojů počítačového vidění. Standardní testovací metoda pro třídění vzhledu dle ASTM (Standard test Method for Grading Spun Yarns for Appearance) a již neplatná metodika Československé státní normy ČSN 80 0704 budou popsány v části teoretické. Následně budou stručně vysvětleny jednotlivé pojmy vhodné pro zpracování digitálního obrazu příze v prostřední programu *MATLAB*. Na základě těchto obecných poznatků z analýzy obrazu bude navržen postup pro objektivní hodnocení vzhledu příze na planiskopu. Pro porovnání výsledků toho postupu bude u respondentů provedeno subjektivní hodnocení vzorků příze podle fotografických etalonů.

2 Literární průzkum současné situace

V současné době se ještě stále využívá subjektivní klasifikace a hodnocení přízí, které provádí odborní pracovníci pomocí svého zraku. Subjektivní hodnocení je založeno na porovnávání planiskopové desky, na které je navinutá příze, s předepsanými etalony, díky nimž se zařadí daný vzorek příze do příslušné třídy etalonu. V dnešní době je snaha o nahrazení subjektivního hodnocení objektivním s využitím počítačové techniky a nástrojů obrazové analýzy. Touto problematikou objektivního hodnocení vzhledu přízí s pomocí analýzy obrazu se zabývá řada studií, kde některé z nich jsou stručně popsány v následujícím textu.

Třídění různých typů přízí podle vzhledu s použitím nástrojů obrazové analýzy a neuronové sítě popisují autoři ve své práci [1]. Obraz standardu desky příze byl analyzován pro 4 faktory vad standardů desek, které byly naměřeny pro každou sérii příze a neuronovou síť s jednou vrstvou, kde byly stanoveny chybné faktory standardů desek. Neuronové sítě byly použity pro třídění různých typů přízí. Příze byla také tříděna běžnou standardní metodikou hodnocení ASTM (Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance). Výsledky ukázaly výraznou korelaci mezi těmito dvěma metodami. Použitelnost metody obrazové analýzy pro třídění česaných, mykaných a dekorativní přízí byla potvrzena. Cílem tohoto výzkumu bylo navrhnout metodu pro třídění vzhledu příze vhodnou pro každý typ příze.

Tříděním vzhledu příze s použitím analýzy obrazu a techniky umělé inteligence se zabývala práce [2]. Norma ASTM v části *D2255* představuje metodu pro třídění krátkých staplových přízí. V tomto výzkumu se autoři pokusili vyvinout metodu počítačového vidění pro detekování a klasifikaci vad příze. Tato metoda byla použita pro třídění vzhledu příze založené na standardním obraze s použitím neuronové sítě definované tříděčem pro každou kategorii příze. Cílem výzkumu bylo rozšířit předchozí metody a poskytnout kontrolní metodu vhodnou pro všechny typy přízí používané při zpracování obrazu.

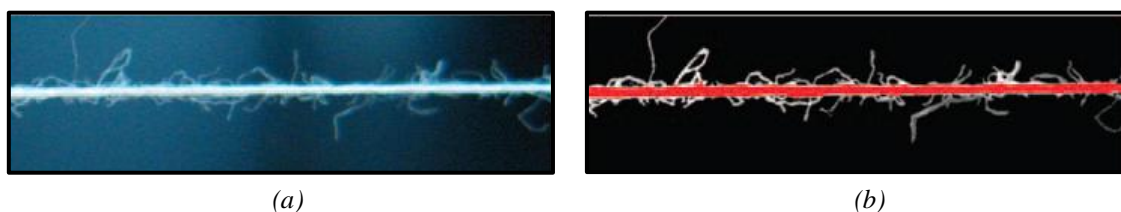
Práce [3] pojednává o metodách objektivního hodnocení vzhledu příze získané z průměrných obrazových měření příze. Studie byla založena na charakteristikách přízí (např. průměru příze, variačním koeficientu, silných a slabých místech a velikosti jejich defektů) odvozených z průměrných obrazových měření příze, určujících faktory pro

lidské vidění rozlišující dobrou přízi od špatné podle označení vzhledu. Jako materiál příze byla použita 100%-ní bavlněná příze o délkové jemnosti 29.5 *tex*. Autoři tohoto výzkumu získali velký počet měření průměrných dat z této příze, klasifikované třídami A, B, C a D. Každá cívka byla testována pro délku 92.664 *metrů*. Kompletní sada dat byla uložena v ASCII formátu pro příští zpracování. Určili se již zmíněné průměrné charakteristiky pro 5 cívek z každé třídy, které byly náhodně vybrány. Při zvyšujícím se průměru příze a variačního koeficientu se snižuje třída příze. Ukázalo se, že by tento postup mohl být použit i pro rozdílné typy přízí.

O použití typu rozpoznání třídění textilních přízí se píše v práci [4]. Během procesů třídění textilních přízí může být vektor vlastností příze přenesen do hlavní osy vektoru *PAV* (*Principal Axis Vector*) ortonormální funkcí s *Karhunen-Loevým* rozpětím v dalších vybraných vlastnostech. S *Bayesovou* klasifikací nebo minimálním rozdílem metod může být získána rozhodovací funkce pro třídění textilní příze. Učící proces může být opakován k hledání transformační matice a rozhodující funkce s *PAVS* k nejnižší identifikované dimenzi. Tento systém je rychlý a efektivní k třídění textilních přízí s použitím *PAVS* jen v jediné velikosti. Jedná se o jednoduchý identifikační systém, poskytující objektivní výsledky. V jejich výzkumu úspěšně třídili příze s použitím *K – L* rozpětí, spojeným s *Bayesovou* klasifikací. Jejich výsledky ukazují lepší efektivitu, spolehlivost a reprodukovatelnost než existující metody. Vyhodnocení procesu je též objektivní od zahrnutí číselných hodnot s lidskou manipulací až po oddělení odlišných tříd. Operátor může díky jednoduchým výpočtům vytvořit vzorky a získat výsledky tříděných přízí s použitím metod, které mohou zlepšit dostupnost a provedení výsledné tříděné příze.

O studiu souvislostí mezi nestejnomyšlností a chlupatostí přízí pojednává práce [5]. Jako přístroj byl použit fluorescenční mikroskop XSZ-HY s digitální kamerou XM200 a fotografiemi s česanou a mykanou bavlněnou přízí se shodným zvětšením (x40). Byla nalezena slabá místa příze, mající větší chlupatost než silná místa. Jeden z vyčnívajících konců chlupů je umístěn na okraji silné části, zatímco přední konec směřuje na povrch slabého místa. Grafický důkaz by mohl prokázat, že nestejnomyšlná chlupatost je vždy kombinována s tělem příze tvořící lepší stejnoměrnost příze. Samozřejmě se nemohou popřít nějaké odchylky příze, které by mohly obsahovat těžší hmotu chlupů v tlustém místě. Nicméně tyto neobvyklé příze s těmito vlastnostmi jsou

vyřazeny. Obrazová analýza kompozice příze je zobrazena na obr. 1. Po analýze fotografií příze pomocí softwaru Photoshop byla struktura příze rozdělena na povrchové chlupy a tělo příze. Další výsledky potvrzují teorii, že kombinace nestejnomyšného těla příze a nestejnomyšné chlupatosti zlepšují nestejnomyšnost příze. Přesněji řečeno, koeficienty odchylek hmoty příze nemohou být větší než povrchová chlupatost příze a tělo příze. Podle jejich analýzy nemusí mít silná místa v těle příze těžší chlupy než tenčí místa v přízi, dokonce ačkoliv silná místa příze mohou obsahovat naprostou většinu chlupů.



Obr. 1. Obrazová analýza kompozice příze (a) originální fotografie příze, (b) upravená fotografie příze, (převzato z práce [5]).

O automatickém měření a rozpoznávací metodě vlastností smyčkové příze s použitím rychlé Fourierovy transformace *FFT* (*Fast Fourier Transform*) a adaptivního orientovaného ortogonálního projekčního rozložení *AOP* se zmiňuje práce [6]. Po vyjmutí příze z vodní lázně byl profil funkce příze extrahován z binárního obrazu, se kterým se pracuje jako s jednorozměrným signálem. Pracovníci výzkumu srovnali tuto metodu s manuální metodou za použití *twist testeru*. Navržená metoda nebyla schopná přesně identifikovat hodnotu sklonu smyčky, ale také poskytnout informace o výšce a šířce smyčky příze. Výsledky různých faktorů na profilovou funkci příze byly numericky vypočítané, včetně distribuce průměru příze, počtu zámotků a úrovně náhodného šumu.

Odhalení defektů příze pomocí nástrojů počítačového vidění a hodnocení kvality prstencové příze hodnotí článek [7]. V jádrové zakroucené přízi jsou šikmo uspořádané kompozitní vlákna, ve kterých je jádro obalené staplem. Rozmanitost této příze může být dosažena různou kombinací ovinutí staplovými a základními vlákny, které vedou k lepším mechanickým, tepelným a fyziologickým vlastnostem příze. Autoři použili prstencového spřádacího principu pro bavlněná a polyesterová vlákna. V této studii navrhli a instalovali měřicí systém k zhodnocení estetické vady jádrové příze. Systém se skládá ze strojového vidění, využívající *CCD* (*Charge-Coupled Device*) kameru, vzorků

a řídicí části zahrnující rychlou kontrolu. Experimentální zkouška demonstruje povrchové defekty měřicího systému, dávající schopnost reprodukce a důvěryhodnost výsledků. Kroutící efekt na povrchu vady příze je přímo související s pravděpodobností výskytu jádrových vláken na povrchu příze. Pro tento účel data obrazu musí být morfologicky filtrované a upravené, umožňující rozlišit mezi jádrovými a staplovými vlákny. Proces je založený na přeměně dat obrazu do binárního stavu pomocí hodnot v úrovních šedi. Kontrast obrazového vzorku byl zvýšen a poté vyčištěn od rušivých elementů. Filtrovaný obraz povrchu příze je dokonale černý a obraz filtrovaného jádra příze vyplývající z nedostatečného ovinutí se stane zcela bílý. Program pracuje s pohyblivým výřezem okna. Četnost jádra objevujícího se na povrchu příze může být měřítko, kterým je možné ohodnotit kvalitu jádrové příze. Číslo defektu se definuje jako četnost materiálu jádra objevujícího se na povrchu příze, vztažené na délku vzorku 1 m. Výška zákrutu může směřovat k vysoké hodnotě čísla defektu, protože vlákna v jádru se častěji dostanou na povrch příze. Se zvýšeným zakroucením se snižuje velikost migrace, která vede ke snížení defektového čísla. Proveditelnost testu demonstruje, že nový systém testuje a generuje data důvěryhodně a opakovatelnou cestou.

O hodnocení stejnoměrnosti přízí píše autoři práce [8]. Ta prezentuje automatický systém *MPSI (Mass Parameterization System)* pro stanovení hromadných charakteristik textilních přízí. Systém je založený na 1 mm paralelní kapacitě senzorů, pracujících v režimu online nebo offline. Tento nový přístup dovoluje přímé měření hromadných přízí v 1 mm rozsahu a zvýšení rozlišení až 8x. Dále poskytuje přesnou identifikaci chyb, hlavně nopků, které mohou být měřeny a odhalovat pravidelné chyby z 2 mm délky v kontrastu 2 cm tradičního systému. Všechny parametry, které se obvykle používají v textilním průmyslu, jsou určeny pro různé hodnoty citlivosti, definované interaktivně operátorem. V systému *MPSI* jsou nové parametry používané jako *IDR [%] (Integral of Deviation Rate)*, založené na rychlé *Walsh-Hadamardově transformaci* a rychlého zjištění frekvenčního impulsu *FDFI (Fast Impulse Frequency Determination)* a dalších úpravách (spektrogramech, četnostech, variačním koeficientu, průměrné odchylce atd.). Novou vlastností tohoto systému je také automatické vyhodnocení kvality velkého množství parametrů online. Systém *MPSI* je cenově výhodný, dovoluje výrobcům příze stanovit počet chyb příze, statisticky prezentovat hodnoty a přispět k celkovému zvýšení kvality příze.

Další studií, týkající se metody výběru vlastností pro třídění vzhledu příze s využitím efektivní vzdálenosti mezi shluky výběru charakteristik se zabírali autoři práce [9]. Využili efektivní vzdálenosti mezi shluky *EDC* (*Effective Distance between Cluster*) jako základ pro výběr vlastností. Vlastnost výběrového zpracování hlavní osy vektoru *PAVS* s použitím metody efektivní vzdálenosti mezi shluky výběru charakteristik ukázala, že vlastnosti průměrného čísla a průměrné celkové vzdálenosti chybného hodnocení *EDC* je jen 33.3% a 16.7% *Karhunen - Loeve K – L* rozpětí. Mimoto *EDC* může být aplikována přímo k charakteristikám výběru vlastností vektoru *PVS* (*Selection of property vectors*) a může tak snížit rozsah jeho bodů. V porovnání s jejich předchozí metodou textilního třídění příze, *EDC* poskytuje o 16.7% větší efektivitu než u měření *PVS* ve vypočtení doby *PAVI*. V tomto experimentu se odstraní nejméně důležité vlastnosti, přičemž zbytek *PVS* je přeneseno do *PAVS* a sníženo na jednu dimenzi, která je finálně použita na třídění vzhledu příze. Čísla klasifikovaných vzorků jsou po odstranění porovnány s *EDC*. Aplikace efektivní vzdálenosti mezi shluky *EDC* přináší nový přístup pro výběr charakteristik, které mohou být aplikovány buď na monitorovaném nebo nezajištěném systému. Výsledky také ukázaly, že metoda *EDC* ve spojení s *K – L* rozpětím snižuje měřené *PVS* body systému a zdokonaluje provozní efektivitu třídění textilní příze. Práce autorů zaznamenala významné vlastnosti pro textilní třídění příze a dále zdokonalila operační výkonost každého třídění.

3 Metodika hodnocení přízí dle ASTM

Bavlněná příze standardních vzhledů byla poprvé navržena a schválena v roce 1938 a posléze opět překontrolována v roce 1964, kdy se desky příze rozdělily na 4 třídy exemplářů. Pro vhodnější hodnocení bylo rozhodnuto revidovat všechny série pro střední vzdálenost počtu přízí a zúžit rozsah neaktivnějších sérií. Toho bylo dosaženo přidáním nové desky série VI. Metodika ASTM poté prodělala ještě řadu kontrol a změn, kde v dnešní době se využívá pro hodnocení příze 6 fotografických desek s třídami A až F, které se nazývají etalony. Tato metodika dále obsahuje *D123* terminologie, týkající se textilií, *D2258* postup pro odběr vzorků pro testování příze, *D2645* tolerance pro příze na bavlnářské nebo česané systémy, *D3888* terminologie pro systémy předení, *D3990* terminologie vad tkanin, *D4849* terminologie, zabývající se přízemi a vlákny, *ASTM* doplňky zahrnující standardy vzhledu příze. Bližší informace o této metodice jsou k dispozici v článku [10].

Celá kapitola 3, metodiky hodnocení přízí dle ASTM, čerpá informace z práce [10].

3.1 Popis tříd příze

Vzorky přízí se navinou na černé desky, které jsou posléze porovnány s fotografiemi etalonů, na základě nichž se daný vzorek přiřadí do třídy etalonu. Etalon je srovnávací deska nebo také schválený vzorek, sloužící k vyhodnocení úrovně vzhledu příze. [11] Třída je založena na chlupatosti, nopkovitosti, nestejnóměrnosti a patrných cizích příměsí v přízi. Bližší přiblížení jednotlivých tříd příze je popsáno níže.

Příze třídy A – nemůže obsahovat žádné velké defekty, které by byly více jak 3x větší než průměr příze, ale může mít několik defektů o velmi malých rozměrech. Musí mít dobrou stejnoměrnost a bez nadměrné chmýřivosti příze. Žádné cizí příměsí nemohou být přítomny u příze třídy A.

Příze třídy B – nemůže obsahovat velké defekty, ale jen několik velmi malých. Nesmí mít více než 3 malé kusy cizích příměsí na desku nebo poskytnutý vzorek, čím se nevytvářejí tlustá místa v přízi. Příze této třídy může být trochu více nestejnóměrná a obsahovat více odstávajících vláken než příze třídy A.

Příze třídy C – může obsahovat více defektů i ve větších rozměrech, chlupatost a větší množství cizích příměsí než příze třídy B. Rozdíl mezi tlustými, slabými místy a průměrem příze může být větší než u příze třídy B, což má za následek celkově hrubší vzhled.

Příze třídy D – může obsahovat nějaká silná místa, která jsou více než 3x větší než průměr příze, více defektů větších velikostí, chmýří a cizí příměsí, než u příze třídy C. Když jsou v této třídě přítomny silná místa nebo velké defekty, může mít tato příze méně nopků než příze třídy C.

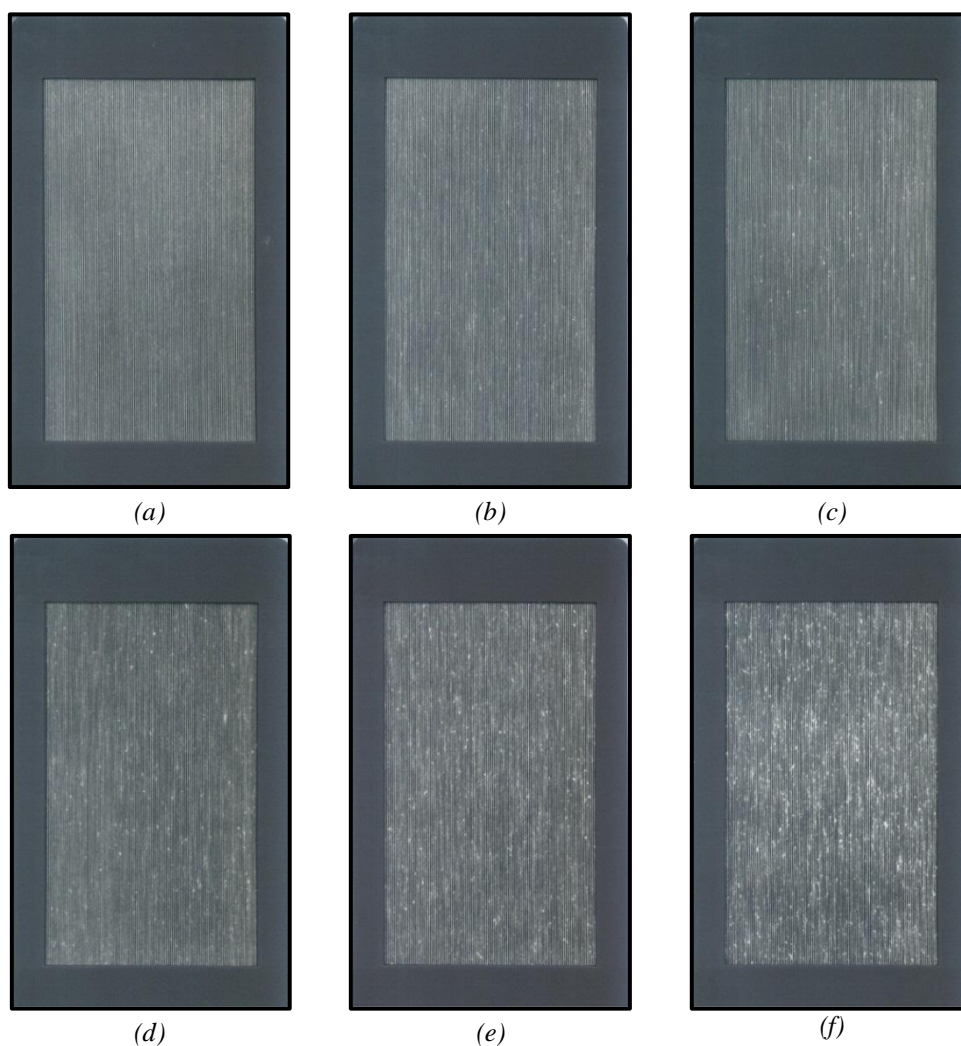
Příze pod třídou D – může obsahovat více nedostatků. Jedná se o hrubší přízi, než jak tomu bylo u třídy příze D.

Pro představu vzhledu jednotlivých tříd příze A až F jsou na obr. 2 zobrazeny etalony o délkové jemnosti 50 *tex*.

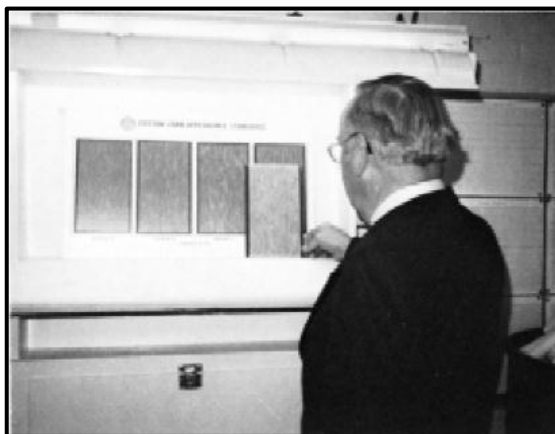
Metoda ASTM je prohlášena za vyhovující pro vzhled tříděných obchodních dodávek. Jestliže jsou rozdíly v praktickém významu mezi výsledky pro 2 laboratoře (nebo i více), srovnávací testy by měly být provedeny tak, aby se od sebe odlišily, pokud jsou mezi nimi statistické odchylky. Pro takové srovnávací testy se používá minimum vzorků, jež jsou stejnorodé a přijatelné. Test vycházející z laboratoří by měl být porovnán se statistickým testem. Jestliže je nalezena odchylka, tak se musí její příčina nalézt a odstranit. Vzhled tkané nebo pletené textilie závisí na velkém rozsahu poddajnosti, čistotě a hlavně na vzhledu příze, ze které je textilie vyrobená. Nástroje jsou k dispozici pro měření nestejnoměrnosti, počítání defektů a dalších nedokonalostí v přízi. Třída vzhledu příze poskytuje dostatečné informace, které výrobce tkaného nebo pleteného zboží může ze zkušeností srovnávat s očekávaným vzhledem textilie vyrobené z příze.

Příze je hodnocena v kabinetu se skladem pro vzhled standardů, s policí nebo regálem, na kterém je deska standardů a zkušební vzorky. Porovnání desky s etalonem jsou vyobrazené na obr. 3. Postup hodnocení příze spočívá v tom, že se deska posune o 300 mm (12 palců) dopředu, s jednou částí mírně nad a s druhou částí mírně pod etalon. Světla v kabinetu se skládají ze 2 částí, které jsou namířené na etalony. Každá část musí

být vybavena dvěma 150 W zářivkami, namontovanými v reflektoru, který osvětluje celý kabinet a poskytne stejnou intenzitu světla.



Obr. 2. Etalony tříd příze o délkové jemnosti 50 tex: (a) příze třídy A, (b) příze třídy B, (c) příze třídy C, (d) příze třídy D, (e) příze třídy E, (f) příze třídy F.



Obr. 3 Porovnání desky příze s etalonem, (převzato z práce [10]).

Planiskopová deska příze se skládá z tvrdého černého matného kartonu o velikosti minimálně 140 na 250 mm, což vyhovuje rozměrům obvyklého typu navíječe. Roh této desky příze by měl být zakulacený o průměru 20 mm. Pro namotání příze je ve středu dlouhé strany desky umístěný zářez, u krátké strany jsou zářezy nebo krátké drážky, které drží konce příze. Přízi navíjí na desku malý stroj pomocí navíječe s naváděčem. Stroj by měl být schopný navinout přízi na desku s rovnoměrnými mezerami, jak je uvedeno v tabulce 1. Index A v této tabulce značí aktuální počet jednotlivých přízí používaných na deskách a index B vyjadřuje předepsané číslo ovinutí podrobené toleranci $\pm 10\%$. Informace o požadavcích na přípravu vzorků příze lze nalézt také v dodatku ADJD2255. Všechny části navíjecího zařízení na navíječi, které přicházejí do kontaktu s přízí, musí být vyrobené z hladkého materiálu, například porcelánu nebo kovu, čímž se předchází přerušování vláken v přízi. Čím menší je rozteč navinuté příze, tím se namotá větší délka příze na desku, ale zároveň se tím zvětší i počet nedokonalostí v ploše.

Tab. 1. Požadavky pro přípravu vzorků.

Série	Rozsah počtu přízí		Počet ^A	Počet ovinutí ^B	
	Jednotlivý počet bavlněných přízí	Jemnost [Tex]		[inch] ⁻¹	[cm] ⁻¹
1	1 ~ 12	590 ~ 50+	8	20	8
2	12+ ~ 24	50 ~ 25+	18	22	9
3	24+ ~ 36	25 ~ 16+	30	26	10
4	36+ ~ 50	16 ~ 12+	42	32	13
5	50+ ~ 75	12 ~ 8+	60	38	15
6	75+ ~ 135	8 ~ 4+	100	48	19

Co se týče výběru vzorků, doporučuje se hodnotit větší počet vzorků příze nebo se odkázat na dodatek D2258. Náhodně se vybere 5 balení (kužele, cívky, vřetena, atd.) pro laboratorní vzorek z každé bedny a připraví se jeden vzorek z každého balení laboratorního vzorku. Vzorky je nutné mít předzpracované a nadále udržované. Deska příze se upevní do otočného svěraku navíječe a pojízdny vozík se nastaví tak, aby mezery odpovídaly předepsané tab. 1. Jestliže jsou porovnány dvě nebo více částí, které se mírně liší v počtu přízí a spadají do rozdílných sérií (např.: 35. série a 37. série), navine se příze se stejným počtem mezer a porovná se stejnými sériemi standardů. Porovná se jen počet přízí, které nejsou více jak 10% nad horním a 10% nad dolním limitem sérií standardů, které jsou tříděny. Cívka se upevní při odvíjení volně, příze se volně povede přes brzdící zařízení a zabezpečí se konec v zářezu nebo blízké levé straně desky. Příze se tak navíjí rovnoměrně na desku v dostatečném napětí v 50 až 100

otáčkách/min. Navíjí se na desku tak pomalu, aby se nezamotala nebo nepřetrhla. V zářezu, přibližně 20 mm od pravé strany se zabezpečí konec příze.

3.2 Postup hodnocení příze

Vzorek příze se přiloží před vhodnou sérii standardů příze a pohybuje se jím ze strany na stranu pro srovnání s rozdílným standardem. Tlustá místa, chomáče nebo nopky jsou považované za nejhorší chyby v přízi, protože prakticky všechny případy způsobují přetrhnutí příze v pozdějším procesu. Příze s chomáči nebo tlustými místy nebudou přidělené třídám A ani B. Když se v přízi bude nacházet jeden z těchto defektů nebo jejich kombinace, přiřadí se k další nižší třídě vzorků. Každý vzorek musí být tříděn nezávisle na třech zkoušených vzorcích. Třída musí být přidělena všem třem vzorkům. Když jsou jeden nebo dva vzorky ve shodě, poskytnou třetímu vzorku se neodlišit o více než 1 třídu.

Pro přijetí obchodní dodávky se rozpoznává jen 5 tříd: A, B, C, D a pod třídou D. Jestli se 80% vzorků rovná nebo jsou lepší než určená třída, tak zbývajících 20% nepadne pod další nižší třídu (založeno na mnohaletých zkušenostech se tříděním). Pro kontrolu kvality jakostní odborník může stanovit + třídu u vzorků. To znamená, že lze hodnotit i půl body. Testování bude přijaté, jestli neklesne vzorek o více než 1 třídu pod tím, co bylo určené. Stanoví se procento vzorků, které jsou stejně kvalitní nebo lepší než určená třída. Jestli jeden nebo více vzorků klesne více než o 1 třídu pod tím, co je určené, všechno se odmítne. Pro zkoumání nebo experimentování průměru kvality mnoha různých přízí může být srovnáváno s třídou vzhledu příze každého vzorku o stejné velikosti příze a indexu. Bližší vyjádření hodnocení je uvedeno v tab. 2.

Tab. 2. Indexy vzhledu příze.

Třída	Index
A a nad	130
B+	120
B	110
C+	100
C	90
D+	80
D	70
Pod D	60

Průměrné třídy určené třemi experimentovanými přízemi se budou shodovat u vzorků na 90% a nebudou rozdílné více než o 1 třídu pro zbývajících 10%. Přesná data

jsou založena na obchodním třídění. Postup v testovací metodě *D2255* pro třídění přízí podle vzhledu nemá odchylku, protože hodnota takových to tříd může být vymezena jen v termínech testovací metody. V metodě ASTM existují 2 omezení. Jedno je chyba lidského vidění a druhé nedostatek standardů pro ostatní typy příze.

4 Metodika Československé státní normy ČSN 80 0704

Metodika Československé státní normy se za dobu své platnosti zabývala stanovením zkušební metody pro zjišťování vzhledu příze. Ke zkoušce je zapotřebí planiskop s elektrickým pohonem, s měnitelnou rychlostí a hustotou navinutí (4 – 22 nití na 1cm). Dále se využívají planiskopové navíjecí desky v klasifikační místnosti a etalony vzhledu příze. Vzorky přízí se odeberou dle normy ČSN 80 0071 v předem stanoveném rozsahu a klimatizují se podle ČSN 80 0061. Jakýmkoliv způsobem poškozené náviny přízí nejsou přijaté pro zkoušku vzhledu příze. [11]

Planiskopová deska, která musí být kontrastní k barvě zkoušené příze, se upne do čelistí přístroje, kde se nastaví hustota vinutí podle dané normy. Aby byla příze při vedení na navinovací desce stejnoměrně i mírně napínána, je třeba seřídít regulovatelné brzdící zařízení a rychlost navíjení. Konce příze se automaticky zajistí na navinovací desce po skončení zkoušky, vyjmou se s čelistí a položí na klasifikační stojan. Pokud by došlo k mechanickému posunutí příze, urovná se pomocí jehlice. Následuje vizuální porovnávání planiskopové navinovací desky s etalony, které jsou přiloženy kolmo k ose přímého pohledu při binokulárním pozorování. Cílem této zkoušky je přiřadit zkoušené vzorky přízí k takovému etalonu třídy příze, který se nejvíce přibližuje jejímu vzhledu. Obě navinovací strany desky hodnotí dva zkoušející nezávisle na sobě. Výpočet procentuálního podílu vzhledu příze, připadající jednotlivým etalonům x_j , je dána vztahem

$$x_j = \frac{n_j}{n} \cdot 100, \quad (1)$$

kde n_j je počet zjištěných hodnot odpovídajících etalonu j , n je celkový počet zjištěných hodnot. [11]

Hodnocení a klasifikace přízí subjektivní metodou srovnávání pomocí etalonu je pro kvalifikovanou obsluhu časově i zrakově náročné. Oproti tomu obrazová analýza je založena na objektivním vidění. Bližší přiblížení objektivního hodnocení přízí na planiskopu pomocí obrazové analýzy je uvedeno v následující kapitole 5.

5 Objektivní hodnocení příze na planiskopu pomocí nástrojů obrazové analýzy

Vzhled příze je důležitým pozorovaným znakem jakosti, u kterého se z hlediska zpracovatelských vlastností hodnotí například silná a slabá místa, hmotná nestejnomyšnost, smyčkovost, pevnost, a počet defektů v této délkové textili. Důsledkem toho je zavedena její kontrola kvality. Tu provádějí dva laboranti v místnosti s rovnoměrně rozmístěnou intenzitou světla, kteří na základě svým odborných zkušeností nezávisle na sobě porovnávají vzhled vzorků příze z planiskopu s etalonem. Tato metoda je založená na subjektivním hodnocení neboli podrobném očním prozkoumání planiskopové desky příze, kde se posuzuje například její chlupatost a celková defektnost, jejímž důsledkem dochází ke snížení jakosti příze. Defekty na povrchu příze mívají velikost jen několika málo milimetrů, tudíž jsou pro lidské oko hůře viditelné. Z těchto důvodů se subjektivní metoda hodnocení jeví pro obsluhu časově i zrakově dosti náročná. Snahou je nahradit subjektivní hodnocení objektivním s využitím počítačové techniky a nástrojů obrazové analýzy.

Jednou z možností metody objektivního hodnocení je použít přístroj *Uster Tester*, který vyhodnocuje nejen údaje o lineární i kvadratické nestejnomyšnosti délkového útvaru, ale i jeho počet silných, slabých míst, počet defektů atd. Jedná se o nepřímé měření měnící se hmotnosti délkové textilie, která prochází mezi deskami kondenzátoru. Výstupem z přístroje je graf zachycující údaje o kolísání relativní hmotnosti a spektrogram zobrazující statistické rozdělení spektra vlnových délek. [12]

Hlavním cílem této práce je navrhnout postup pro objektivní hodnocení defektů v přízi pomocí nástrojů obrazové analýzy. Tento postup bude testován na vzorcích přízi různých typů, které se liší svým materiálovým složením, délkovou jemností i zákrutem. Pro následnou obrazovou analýzu je vhodné vstupní digitální obrazy nejdříve předzpracovat. Pomocí dvourozměrné diskrétní Fourierovy transformace je obraz kvůli své rozdílné struktuře rozložen na obraz periodický, skládající se z textury příze a obraz neperiodický s náhodným šumem obsahující defekty příze, neboli nežádoucí objekty vyskytující se na planiskopové desce příze. Následně se u obrazu neperiodické struktury provede mediánová filtrace pro odstranění zbytkové struktury příze a oddělení objektů od pozadí pomocí segmentace, například globálním prahováním. Ze získaných objektů jsou vypočteny tvarové charakteristiky objektů, konkrétně počet objektů, jejich plocha,

obvod, ekvivalentní průměr, excentricita, orientace, tvarový faktor a plošné zaplnění, které jsou klíčové pro zařazení jednotlivých vzorků přízí do příslušných tříd etalonů. Základní popisy a operace, které budou použity pro objektivní hodnocení obrazů vzorků příze v prostředí programu *MATLAB*, jsou blíže rozepsány v kapitole 6.

5.1 Digitální obraz

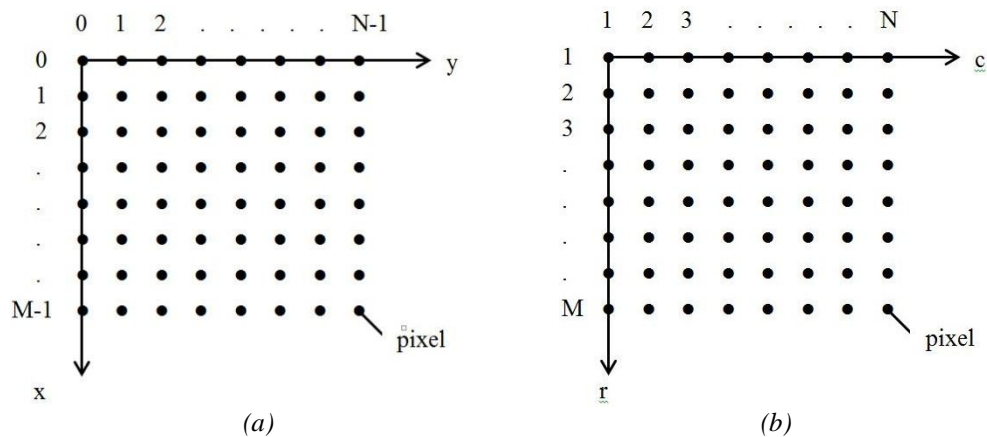
Sada nástrojů *IPT (Image Processing Toolbox)* je knihovna funkcí, zabývající se oborem zpracování obrazové analýzy v prostředí programu *MATLAB*. Obraz může být definovaný jako dvourozměrná funkce $f(x, y)$, kde x a y jsou prostorové (plošné) souřadnice a amplituda f obou souřadnic je nazvaná intenzita obrazu v daném bodě. Termín úroveň šedi je často používána jako zmíněná intenzita jednobarevného obrazu. Barvy obrazu jsou tvořené kombinací 2D obrázků. Například v *RGB* barevném systému se barva obrazu skládá ze tří barev – *red* (červené), *green* (zelené), *blue* (modré). Převádění takových obrázků do digitálního tvaru vyžaduje jak souřadnice, tak i amplitudu, aby mohly být digitalizovány. Digitalizace souřadnicových hodnot se nazývá *vzorkování* a digitalizace hodnot amplitudy *kvantování*. Tudiž, když x , y a hodnoty amplitudy f jsou všechny konečné, jedná se o digitální obraz. [13]

Obrazy z kamer se v *MATLABu* zapisují jako matice o rozměrech x , y a z . Rozměr x vyjadřuje počet sloupců (šířka obrazu), y je počet řádků (výška obrazu) a z počet složek barev v obraze. Pokud bude hodnota z rovna třem, jedná se o barevný obraz *RGB*. Jestli je hodnota jedna, obraz je ve stupních šedi. [14]

U vzorkování spojité obrazové funkce je třeba stanovit *interval vzorkování*. Je to vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Tento interval musí být menší nebo rovný polovině rozměru nejmenšího bodu v obraze. Dále je důležité stanovit *výběr vzorkovací mřížky*, což je plošné ustanovení bodů při vzorkování. Pro síť zcela pokrývající rovinu se používají čtverce (nejčastější varianta), rovnostranné trojúhelníky a pravidelné šestiúhelníky, kde pixely pokrývají celý digitální obraz. S digitalizací je spojeno i kvantování obrazové funkce, kde počet kvantovaných úrovní by měl být dostatečně velký kvůli přesnému zobrazení jemných detailů obrazu. Odpadá tak vznik falešných obrysů a citlivost daného zařízení se přiblíží citlivosti lidského oka. [15]

5.2 Souřadnicové konvence

Výsledky vzorkování a kvantování jsou matice skutečných čísel. Používají se dva hlavní způsoby znázorňující digitální obraz. Je předpoklad, že obraz $f(x, y)$ je vzorkován tak, že výsledný obraz má M řádků a N sloupců v matici. Z toho pak vznikne obraz o velikosti $M \times N$. [13] Čím větší je velikost M, N , tím jemnější je vzorkování (alespoň 5-krát jemnější než je teoretická mez) i kvantování a je lépe aproximován prvotní spojitý obrazový signál. [15] Hodnoty souřadnice (x, y) jsou konečná čísla. Obraz má počátek v souřadnicích $(x, y) = (0, 0)$. Další hodnota na řádku je v souřadnicích $(0, 1)$. Na obr. 4 (a) je ukázka konvence pixelů (zapsaná obecně) pro zpracování obrazu. V *IPT* se zavádí místo souřadnicového systému (x, y) označení (r, c) , přičemž r (*row*) znamená řádek a c (*column*) vyjadřuje sloupec. Počátek souřadnicového systému (r, c) je v $(1, 1)$, kde r je celé číslo od 1 do M a c od 1 do N . Ukázka je na obr. 4 (b). [13]



Obr. 4. Souřadnicové konvence: (a) konvence pixelů obecně, (b) konvence pixelů v *MATLABu*.

5.3 Typy obrazů

Základní typy obrazů je možné rozdělit:

- ✓ Intenzitní obraz
- ✓ Binární obraz
- ✓ Indexový obraz
- ✓ RGB obraz
- ✓ Monochromatický obraz

5.3.1 Intenzitní obraz

Jedná se o data matice, jejíž hodnoty reprezentují intenzitu obrazu. Když je hodnota intenzity obrazu typu *uint8* nebo *uint16*, obraz je v rozmezí hodnot [0; 255] a [0; 65535]. Jestliže je obraz typu *double*, tak se jedná o hodnoty s desetinnou čárkou a jsou v rozmezí [0, 1]. [13]

5.3.2 Binární obraz

Jedná se o obraz, kde obrazová funkce v každém pixelu nabývá hodnot 0 nebo 1, kde hodnota 0 značí černou barvu a 1 bílou. [13]

5.3.3 Indexový obraz

Skládá se ze dvou prvků: indexů v matici X (celá čísla) a matice barev *colormap matrix* – *map* (barevná paleta). Velikost matice barev je $M \times 3$ pole typu *double* v rozmezí [0, 1]. Délka M se rovná hodnotě definované barvy. Indexový obraz používá přímé zobrazení pixelů (*picture element*) intenzity hodnot barevné palety. Jestliže X je typu *double*, potom všechny prvky s hodnotami ≤ 1 jsou body prvního řádku v *map* a všechny prvky s hodnotou 2 jsou body druhého řádku, atd. [13]

5.3.4 RGB obraz

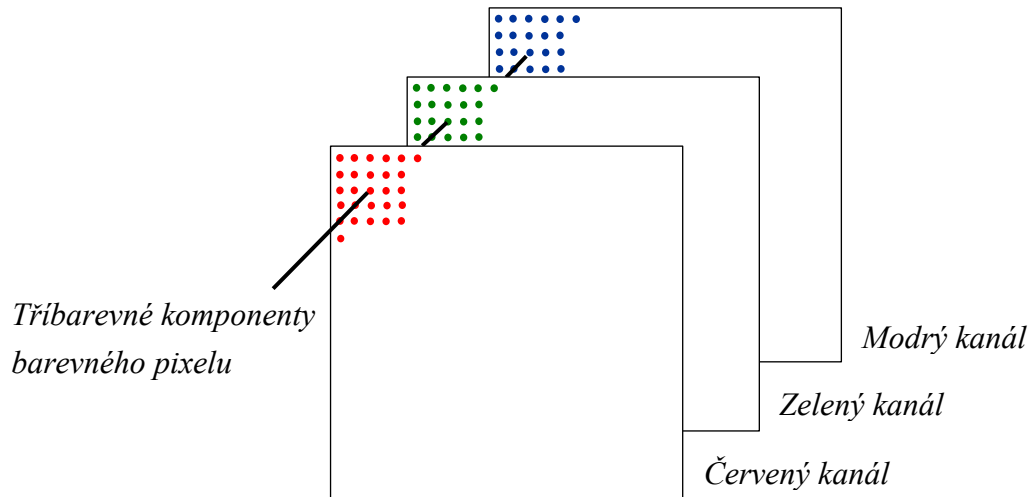
Plošným souřadnicím x, y odpovídá vektor hodnot (např. jasů) pro dané složky obrazu. Barva je vlastnost objektů, která je schopná odrážet elektromagnetické vlnění různých vlnových délek. Nelze pracovat se všemi vlnovými délkami obrazu při snímání a dalším počítačovým zpracováním. [15]

Barevný (multispektrální) signál se skládá ze tří spektrálních složek *RGB*. Velikost obrazu je $M \times N \times 3$ pole z barevných pixelů, kde každá barva pixelu je trojice odpovídající r (*red* – červená, vlnová délka 700 nm), g (*green* – zelená, vln. délka 546 nm) a b (*blue* – modrá, vln. délka 435,8 nm) složkám z *RGB* obrazu (viz obr. 5). Data prvků obrazů vymezují jejich rozpětí hodnot. Jestliže *RGB* obraz je tvořen datovým typem *double*, tak rozpětí hodnot je [0, 1]. Taktéž rozpětí hodnot je [0, 255] nebo [0, 65535] pro *RGB* obraz typu *uint8* nebo *uint16*. Počet bitů komponent určuje barevnou hloubku obrazu. [13] [15]

Například, jestli každý prvek obrázku je 8-bitový, tak odpovídající *RGB* obrázek je 24 bitový. Obecně hodnoty bitů ve všech prvcích obrázku jsou stejné. V případě, že hodnota určené barvy je v *RGB* obrazu, je vyjádřena vztahem

$$(2^b)^3, \quad (2)$$

kde b je hodnota bitu v každém prvku obrázku. [13]



Obr. 5. Schéma *RGB* obrazu.

5.3.5 Monochromatický obraz

Monochromatický neboli šedotónový obraz je definován pouze odstíny jedné barvy. Každému pixelu ve dvourozměrné matici je přiřazena hodnota jasu ve stupních šedi. Jako příklad lze uvést hodnoty jasu v rozmezí 0 (černá) až 255 (bílá), které odpovídají 8 bitové hloubce obrazu. Pokud barevná informace v obraze není pro další zpracování příliš podstatná, může se *RGB* obraz převést do monochromatického obrazu při použití příkazu `rgb2gray.m`. [13]

5.4 Filtrace obrazu

Filtrace je jakési předzpracování obrazu, kde se celý obraz, například po řádcích, systematicky prochází a je zjišťováno malé okolí kolem reprezentativního bodu (pixelu). Výsledek toho zkoumání je do vstupního obrazu zapsán jako hodnota reprezentativního pixelu. Dle účelu se tato filtrace obrazu dále rozděluje do skupiny *detekce hran* a *vyhlazování*. Obě dvě skupiny jsou v lineární podobě jakými

protiklady. Lépe je na tom nelineární filtrace, kde je vyhlazování zároveň šetrné k hranám a detailům objektů v obraze. [15]

U nelineární filtrace na rozdíl od lineární nelze provádět vyšetřování signálu s aditivním šumem samostatně pro signál i šum a dále vypočítat výsledek filtrace jako sumu dvou výstupů filtrů. Do této skupiny filtrů se řadí *mediánový filtr*. Jedná se o statistickou operaci stanovení mediánové hodnoty dané posloupnosti vzorků signálů, která se po posloupnosti signálu posouvá. Jinak řečeno na signálovou posloupnost aplikuje tzv. klouzavé okno, které změní střední hodnotu okna na hodnotu mediánu všech hodnot v okně. Odstraňuje ze signálu krátké skupiny impulsů rozdílné amplitudy od ostatních signálů. Výhodou tohoto filtru je v potlačení impulsního rušení, které zkreslovalo daný měřený signál. [15]

5.5 Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je důležitou operací pro další zpracování, například pro extrakci objektů z obrazu, stanovení detekce hran nebo celých oblastí objektů. [16] Hrana udává, jak se lokálně mění obrazová funkce. Pro tuto dvourozměrnou funkci $f(x, y)$ je hrana dána velikostí a směrem, kde velikost hrany se rovná gradiendu spojitě obrazové funkce v daném pixelu a směr hrany svírá s gradientem pravý úhel, směřující ve směru největšího stoupání obrazové funkce. [17] Jednotlivé objekty se skládají ze směsice bodů po obvodě, jejímž spojením vzniknou hrany. Stanovení hran, například u těla příze, se může provést pomocí hranového operátora dle následující syntaxe ve tvaru

$$\text{Výstupní obraz} = \text{edge}(\text{vstupní obraz}, \text{hranový detektor}, \text{práh citlivosti}), \quad (3)$$

kde vstupní obraz se zobrazuje ve stupnici šedi a výstupní obraz je obrazem binárním, ale se stejným rozměrem jako předchozí obraz. Hodnota jedna (bílá barva) zobrazuje nalezené hrany a naopak hodnota nula (černá barva) vyjadřuje pozadí. [14]

Oblast objektů je množina pixelů vzájemně vázaných relací sousedství. [15] Používá se často tehdy, kdy detekce hran je vlivem nekvalitního obrazu nespolehlivá. [16]

5.6 Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace 2D DFT

Nechť $f(x, y)$ je dvourozměrná obrazová funkce pro $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ a $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$, kde $M \times N$ označuje velikost obrazu. Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace 2D DFT (2 Dimensional Discrete Fourier Transform), označená jako funkce $F(u, v)$ je poté dána rovnicí

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}, \quad (4)$$

pro $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ a $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$. [11] Frekvenční oblast je definovaná jako souřadnicový systém v rozsahu $F(u, v)$, kde u a v jsou frekvenční proměnné. Prostorová oblast je dána souřadnicovým systémem s prostorovými proměnnými x a y . Pravoúhlá oblast $M \times N$, označována jako frekvenční trojúhelník, je definovaná pomocí frekvenčních proměnných $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ a $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ a má stejný rozměr jako vstupní obraz. [18]

Je-li dána $F(u, v)$, s pomocí diskrétní inverzní Fourierova transformace 2D DIFT (2 Dimensional Discrete Inverse Fourier Transform) lze získat $f(x, y)$ pro $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ a $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ podle vztahu

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}. \quad (5)$$

Funkční hodnoty $F(u, v)$ v této rovnici jsou někdy nazývané také jako Fourierovy koeficienty rozvoje. Hodnota transformace v počátku frekvenční oblasti $F(0, 0)$ je nazývaná jako komponenta Fourierovy transformace DC (Direct Current), která se rovná průměrné hodnotě úrovně šedi obrazového bodu, neboli průměrné hodnotě $f(x, y) \times M \times N$. [18] [13] Jestliže $f(x, y)$ je funkce reálná, potom její transformace je funkcí komplexní. Hlavní metodou vizuální analýzy transformace je odhadnout její spektrum (velikost $F(u, v)$) a zobrazit jako obrázek. Nechť $R(u, v)$ a $I(u, v)$ představuje reálné i imaginární komponenty $F(u, v)$ a Fourierovo frekvenční spektrum poté je definováno podle [13] jako

$$|F(u, v)| = \left[\sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)} \right]. \quad (6)$$

Následující kapitoly 5.7 až 5.7.2 vycházejí z literatury [13].

5.7 Morfologické operace

Výraz matematická morfologie („*mathematic morphology*“) je nástroj pro extrahování obrazu, jenž je vhodný k znázornění, popsání tvaru, odstranění, popřípadě vyplnění malých součástí.

Existuje 2 základní typy morfologických operací, které jsou základem morfologického zpracování obrazu:

- ✓ Dilatace (*dilation*)
- ✓ Eroze (*erosion*)

5.7.1 Dilatace

Je to operace, která „roztahuje“ nebo „zhušťuje“ objekty v binárním obraze. Zvláštní způsob a míra toho zesilování je kontrolována tvarem uvedeným jako strukturní element, kde jeho výpočet je prezentován maticí (0, 1). V prostředí programu *MATLAB* vykonává dilataci funkce `imdilate.m`, která může být např. v následujícím tvaru

$$A2 = \text{imdilate}(A, B), \quad (7)$$

kde vstupem A a výstupem $A2$ je binární obraz a B je matice s 0 a 1 určující strukturní element.

5.7.2 Eroze

Eroze je jakési „zmenšení“ nebo „ztenčení“ objektů v binárním obraze. Je předpoklad v odstranění tenkých čar v obraze, ale také uchování zbývajících struktury. Vybere se strukturovaný element dost malý na to, aby se vešel do středu čtverce i s obrysem. Stejně jako dilatace je tato metoda ovládaná strukturním elementem. Výstup obrazu má hodnotu 1 v každém umístění originálu strukturního elementu, kde element překrývá jen 1 hodnotu pixelů vstupního obrazu. V prostředí programu *MATLAB* existuje pro erozi zaimplementovaná funkce `imerode.m`.

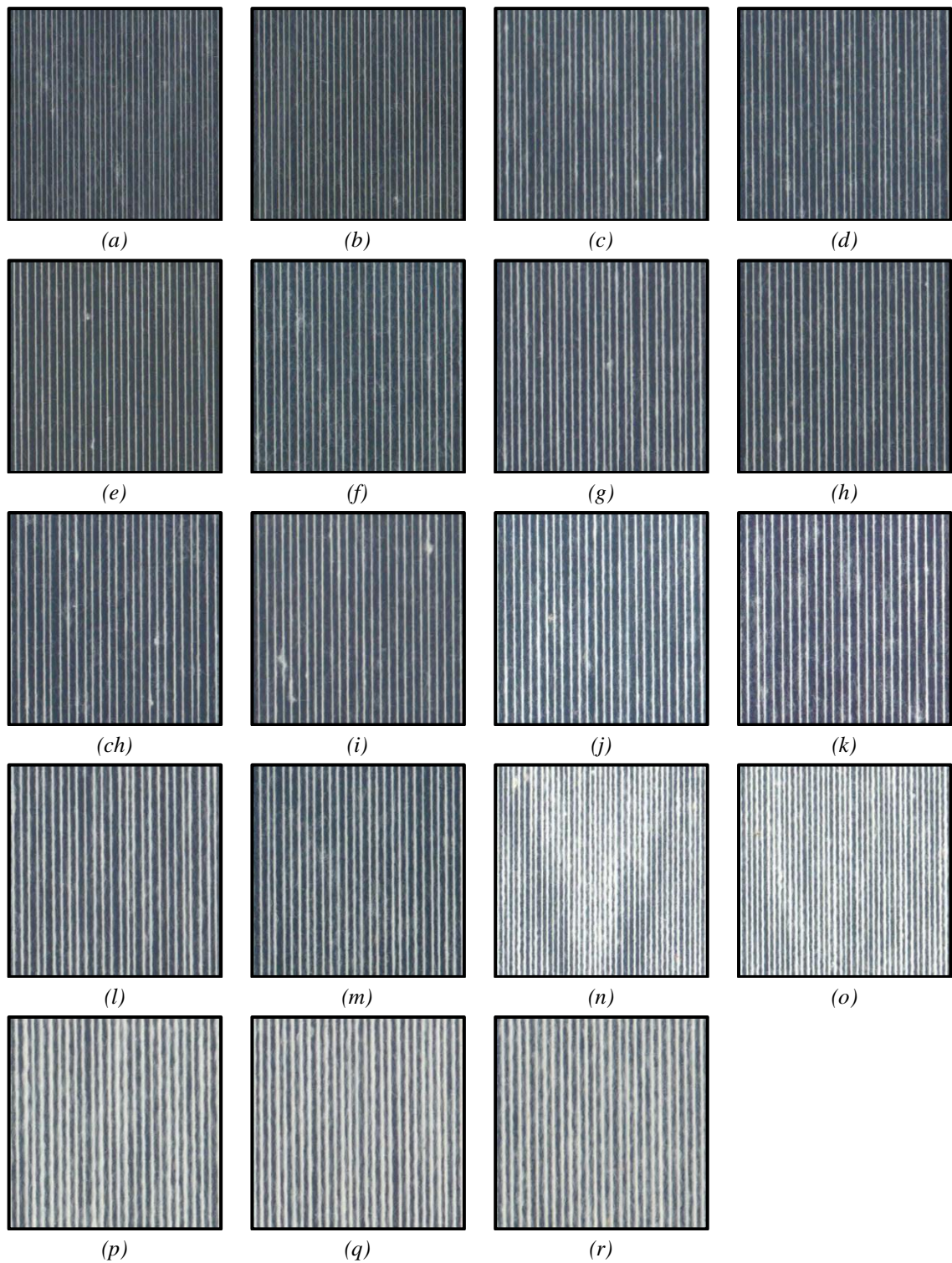
6 Obrazová sada vzorků pro obrazovou analýzu

Pro objektivní hodnocení příže bylo experimentálně vybráno 19 různých vzorků příže a 4 sady etalonů, navinutých na desku příže, lišící se délkovou jemností, zákrutem a materiálovým složením. Velikost digitálních obrazů vzorků planiskopové desky příže je dána rozměry $2440 \times 1670 \text{ px}$, velikosti digitálních obrazů etalonů jednotlivých tříd mají rozměry $2480 \times 3507 \text{ px}$. Pro lepší představu je jeden výřez obrazu z každého vzorku příže o velikosti okna $350 \times 350 \text{ px}$ zobrazen na obr. 6. Taktéž se vytvořil výřez obrazu z etalonů jednotlivých tříd příže o velikosti okna $1410 \times 2552 \text{ px}$, kde pro ukázkou jsou na obr. 7 zobrazeny pouze obrazy etalonů s jemností 50 tex . Podrobné informace o jednotlivých vzorcích příže a etalonech jsou uvedeny v tabulce 3. Sada vzorků a etalonů byla nasnímána za pomoci skeneru s rozlišením obrazu 300 dpi , což odpovídá 300 bodům na anglický palec.

Tab. 3. Parametry zkoumaných vzorků a etalonů.

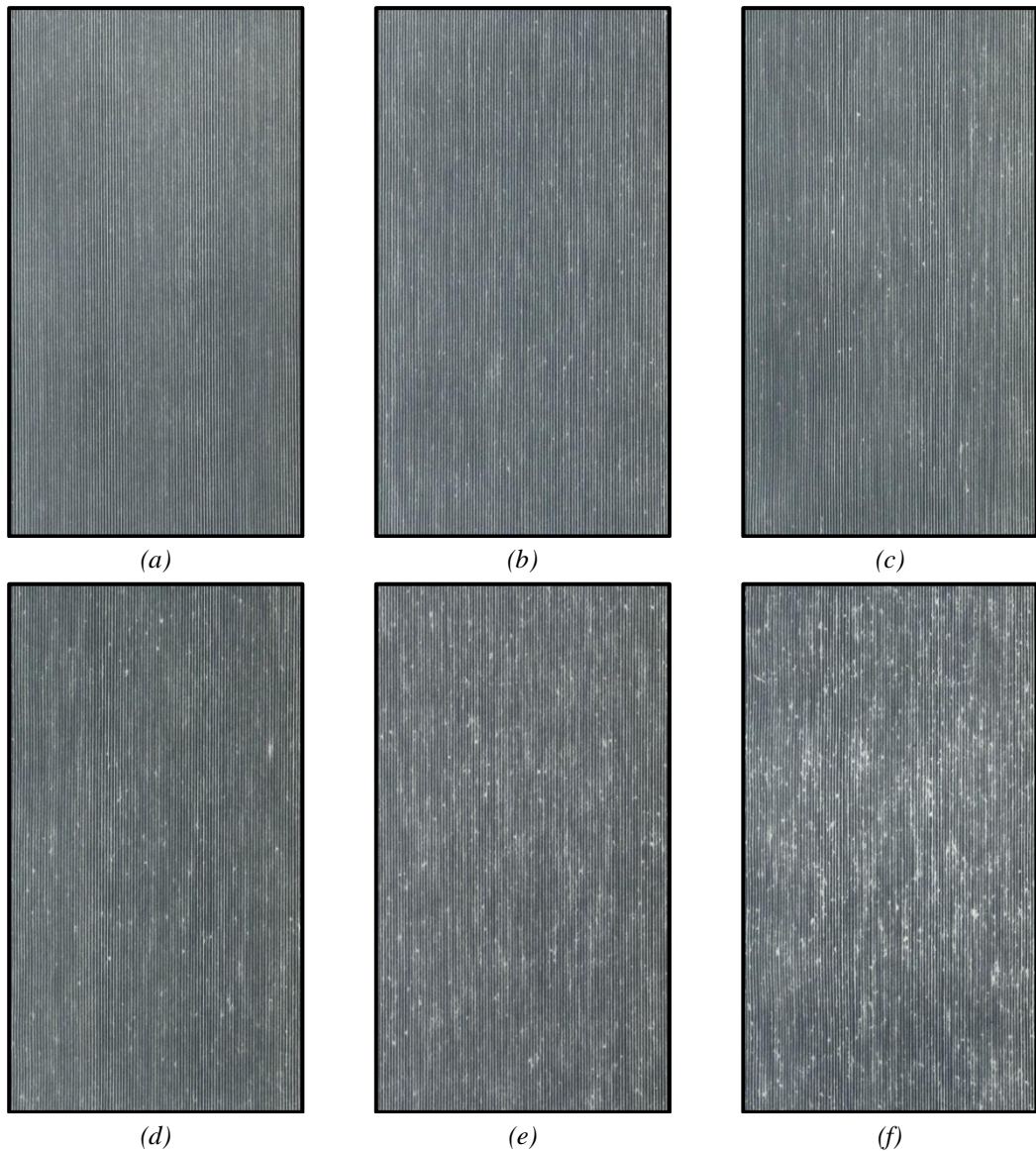
č. v.	T [Tex] vzorků	α [$\text{m}^{-1}\text{Mtex}^{\frac{1}{2}}$]	T [Tex] etalonu	Třídy etalonu
1.	4 - 7	-	7 - 13	A - C
2.	12	-		
3.	5 - 14	55	14 - 20	A - F
4.	5 - 14	85		
5.	15	-		
6.	20	-		
7.	25	65	22 - 46	A - F
8.	25	95		
9.	5 - 29	-		
10.	5 - 29	-		
11.	35	65		
12.	35	95		
13.	50	65	50	A - F
14.	50	95		
15.	50	-		
16.	50	-		
17.	100	65		
18.	100	75		
19.	100	85		

Vysvětlivky: č. v. (číslo vzorku), T (délková jemnost), α (zákrutový koeficient).



Obr 6. Sada vzorků příže o jemnosti: (a) 7-4 tex, (b) 12 tex, (c) 14-5 tex, 55 α , (d) 14-5tex, 85 α , (e) 15 tex, (f) 20 tex, (g) 25 tex, 65 α , (h) 25 tex, 95 α , (ch) 29-5 tex, (i) 29-5 tex, (j) 35 tex, 65 α , (k) 35 tex, 65 α , (l) 50 tex, 65 α , (m) 50 tex, 95 α , (n) 50 tex, (o) 50 tex, (p) 100 tex, 65 α , (q) 100 tex, 75 α , (r) 100 tex, 85 α .

Vzorky příže č. 15 až 19 na obr. 6 (n) až (r) vykazují efekt moaré, což je vzhledová vada vyznačující se vyšší neregulárností příže.



Obr. 7. Etalony tříd příze o jemnosti 50 tex: (a) příze třídy A, (b) příze třídy B, (c) příze třídy C, (d) příze třídy D, (e) příze třídy E, (f) příze třídy F.

6.1 Nasnímání a načtení obrazu

Základním klíčem pro zpracování obrazu je převod reálného světa do digitální formy. Pro zpracování dat obrazu v počítači je spojitý analogový signál převeden na signál digitální. Tento proces se nazývá digitalizování. Digitální obraz je možné chápat jako spojitou obrazovou funkci $f(x, y)$, kde x a y vyjadřují souřadnice v prostoru. V dnešní době existuje řada přístrojů, kterými lze obraz nasnímat, kde nejčastěji se využívají fotoaparáty, skenery a jiná snímací zařízení. Mezi nejpoužívanější formáty obrázků patří např. *png*, *jpg*, *bmp*, *gif* a další. Pro načtení obrazů příze byl použit formát *jpg*. [19]

Jedním ze zásadních kroků digitalizace je vhodné nastavení rozlišení. Při zvolení nízké hodnoty rozlišení se mohou ztratit některé podstatné informace o detailech v obraze. U vysokých hodnot rozlišení by se dalo další zpracování obrazu označit jako náročnější kvůli výpočetní náročnosti. Velikost rozlišení je dána v jednotkách *dpi*, které označují počet pixelů (bodů) na 1 anglický palec. Pro nasnímání obrazu vzorků a etalonů příze byla zvolena velikost rozlišení 300 *px*. [19]

Po úspěšném nasnímání obrazu byly vstupní obrazy vzorků a etalonů načteny do prostředí programu *MATLAB* zabudovaným příkazem `imread.m`.

6.2 Předzpracování obrazu

Způsobem snímání nebo vlivem nevhodných podmínek při pořízení obrazu může docházet ke zkreslování informací v obraze. Existuje řada metod sloužících k odstranění těchto zkreslení, usnadnění pozdější obrazovou analýzu, nalezení defektů (objektů) v obraze, zvýraznění důležitých struktur nebo naopak potlačení či odstranění některých částí z obrazu. Vlivem předzpracování obrazu může dojít k částečným ztrátám obrazových informací oproti originálnímu vstupnímu obrazu. Nelze přesně stanovit jednotný postup pro předzpracování všech obrazů, jelikož každý obraz může vyžadovat individuální přístup zpracování. Záleží na kvalitě vstupního obrazu a požadavkách výstupního obrazu. [19]

Jako nejvhodnější metody zpracování obrazu se v této práci jevily:

- ✓ Převedení RGB obrazu na obraz monochromatický
- ✓ Ekvalizace histogramu

6.2.1 Převedení RGB obrazu na obraz monochromatický

Vstupní obraz obsahuje barevné informace, které nemusí být pro další zpracování stěžejní. Navíc samotný obraz se skládá z navinuté příze světlé barvy a tmavého pozadí. Z tohoto důvodu je možné obraz skládající se ze tří barevných komponentů *RGB* (o hloubce 24 bitů) převést do obrazu monochromatického (o hloubce 8 bitů), který je definován pouze odstíny jedné barvy. Lze také říci, že obraz o trojrozměrném poli je převeden do stupňů šedi, který využívá při 8 bitové hloubce 256 stupňů šedi (v rozmezí hodnot jasu 0 – 255). V *MATLABu* pro tuto transformaci slouží příkaz `rgb2gray.m`.

Při přepočtení barevného obrazu do stupňů šedi se komponentě jasu každé ze složek *RGB* přiřadí určité zastoupení vah. Existuje celá řada výpočtů váhových koeficientů, kde jedna z nich je podle práce [20] popsána jako

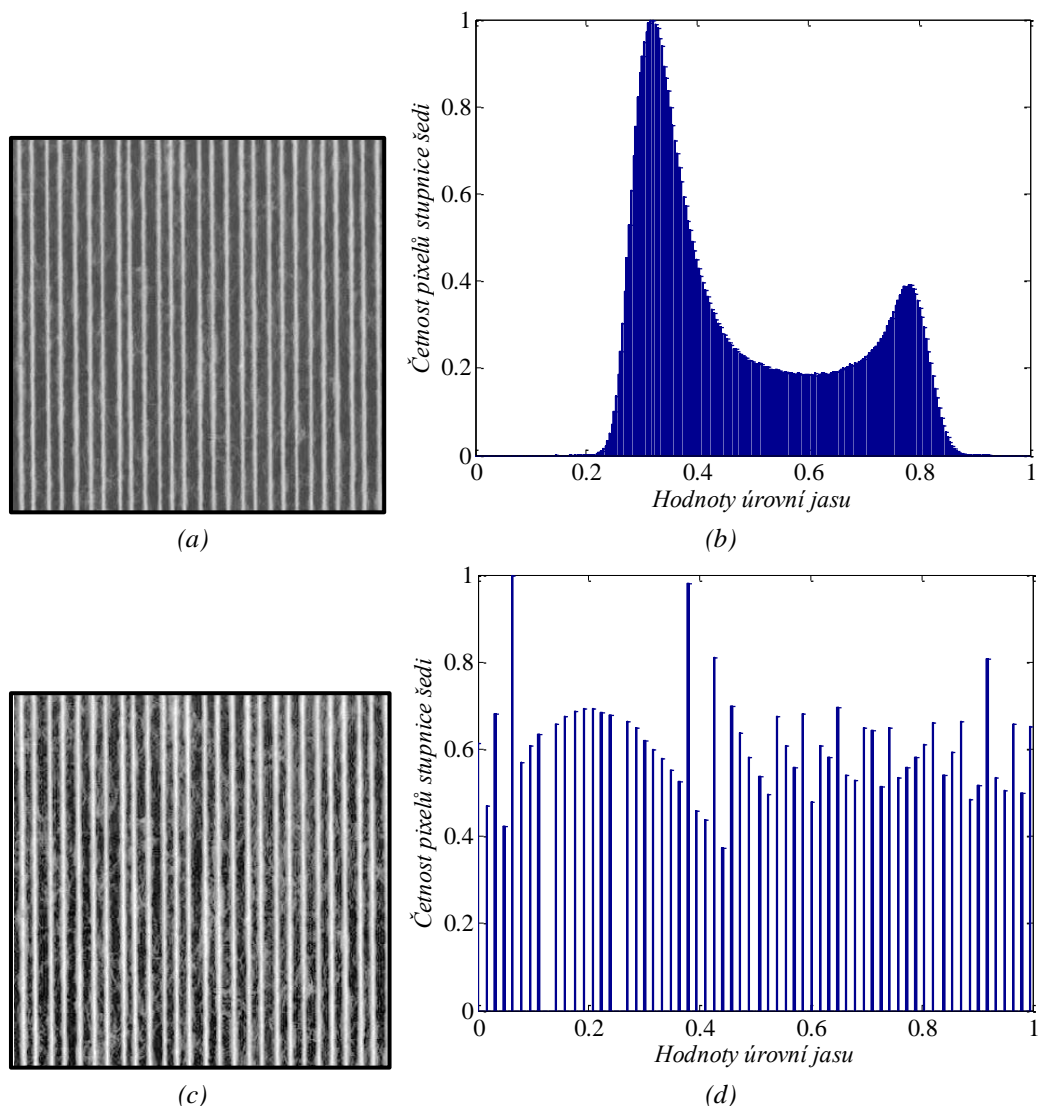
$$0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B. \quad (8)$$

Vzhledem k tomu, že lidské oko je nejcitlivější na zelenou barvu, váha zelené komponenty se proto často volí jako nejvyšší. Bílá a světlá barva reprezentuje v tomto převedeném dvourozměrném obraze tělo příze, hustší místa odstávajících vláken, defekty (objekty), okolní náhodný šum a tmavá barva představuje pozadí (rozteč mezi navinutou přízí). Blíže je o této problematice popsáno v kapitole 5.3.4.

6.2.2 Ekvalizace histogramu

Při analýze histogramu rozdělení úrovní šedi nemusí vždy hodnoty jasu pokrývat celou škálu stupnice šedi rovnoměrně. To znamená, že vstupní obraz se může jevit na pohled jako příliš světlý nebo tmavý. Existuje celá řada jasových transformací na úpravu rozložení úrovní šedi, kde jednou z nich je např. ekvalizace histogramu obrazu. Histogram je sloupcový graf, který vyjadřuje četnost výskytu jednotlivých úrovní šedi, ale nezobrazuje informace o umístění barev v obraze. Na horizontální osu se vynášejí hodnoty úrovní jasu buď v rozmezí hodnot 0 – 255, nebo jako v tomto případě normalizované hodnoty v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. [15] Četnost pixelů stupnice šedi je zakreslena na vertikální ose. Ukázka monochromatického obrazu a jeho příslušného histogramu je zobrazena na obr. 8 (a), (b).

Využitím ekvalizace histogramu dojde k vyrovnání histogramu, což znamená, že jednotlivé jasové úrovně jsou zastoupeny v histogramu přibližně se stejnou četností (viz obr. 8 (d)). [15] Z obr. 8 (c) je patrné, že došlo ke zvýšení kontrastu mezi nesnadno identifikovanými detaily objektů (nežádoucími defekty), tělem příze a pozadím obrazu. Rozložení daných četností úrovní šedi se v programu prostředí *MATLAB* zjišťuje za pomoci příkazu *imhist.m*. Pro vyrovnání histogramu se může použít např. funkce *histeq.m*.



Obr. 8. Výřez vzorku příze č. 14 o délkové jemnosti 50 tex: (a) vstupní monochromatický obraz, (b) a jeho příslušný normalizovaný histogram hodnot šedi, (c) ekvalizovaný obraz, (d) a jeho vyrovnaný normalizovaný histogram hodnot šedi.

6.3 Výřezy z obrazu

Rozměry vstupních monochromatických obrazů jednotlivých vzorků a sérií etalonů jsou rozdílné. Velikost obrazu vzorků je dána rozměry $2440 \times 1670 \text{ px}$, zatímco velikost obrazu etalonu má rozměry $1410 \times 2552 \text{ px}$. Z důvodu lepší přehlednosti a viditelnosti struktury příze a jejich defektů se v této práci dále nebudou prezentovat obrázky celých vzorků ale pouze 1 náhodný výřez ze vzorku příze č. 14, s délkové jemnosti 50 tex, o velikosti okna $350 \times 350 \text{ px}$. Tvarové charakteristiky nalezených objektů, uvedené v kapitole 6.8, se nebudou počítat z tohoto ukázkového náhodného výřezu, nýbrž z

celých obrazů vzorků příze o velikosti okna 2440×1670 px a obrazů etalonů o velikosti okna 1410×2552 px.

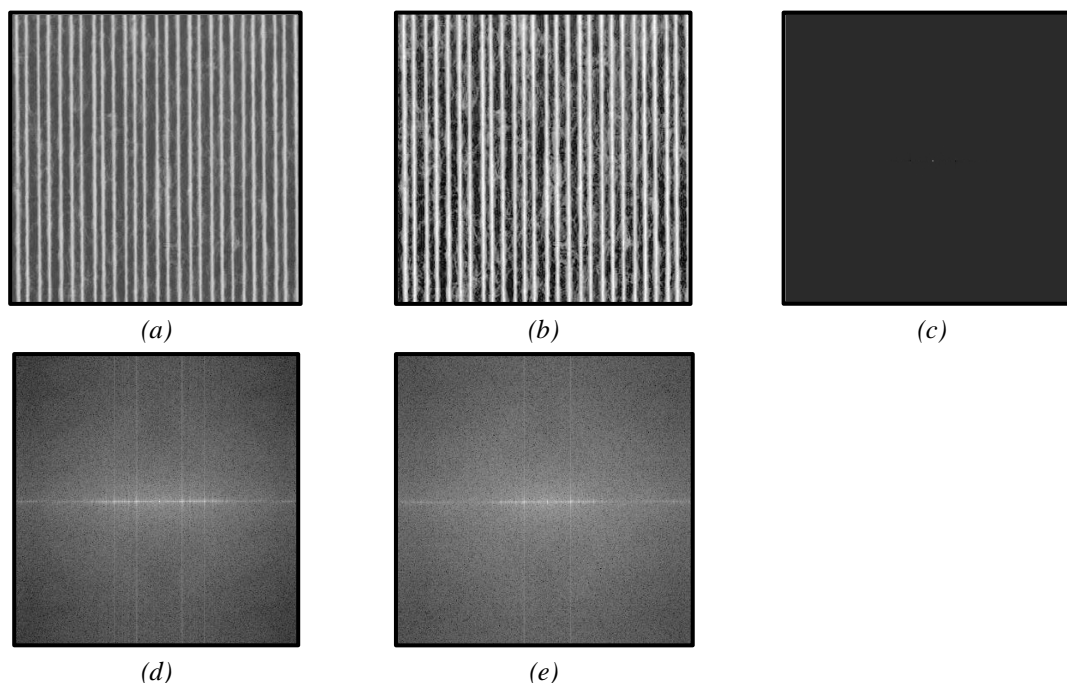
6.4 Detekce objektů z obrazu příze pomocí *2D DFT* a *2D DIFT*

Předcházející předzpracování obrazu zvýšilo sice kontrast obrazu, ale stále jsou hledané objekty zobrazeny v porovnatelných hodnotách jasu jako tělo příze či pozadí obrazu. Kdyby se v této fázi použila operace prahování takového obrazu, segmentace objektů by se nemusela podařit, jelikož tyto objekty nejsou oddělené od pozadí obrazu. Z tohoto důvodu je vhodné pro správnou segmentaci objektů oddělit tyto defekty od zbylého pozadí obrazu. [18] Jinak řečeno, rozdělit monochromatický obraz na skládající se z pravidelné svíslé struktury těla příze a obraz se šumem, obsahující defekty příze. Toho lze dosáhnout díky periodické struktuře v obraze, neboli vysokých frekvenčních hodnot ve spektru. Tuto pravidelnost ruší nahodilé objekty a okolní šum, které mohou být na základě odlišné struktury objeveny a z obrazu detekovány. Vysoké hodnoty v obraze představují tělo příze, nízké hodnoty definují pozadí za ním.

Pro detekci objektů z obrazu se může využít několik druhů transformací, kde jednou z nich je například dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace, označovaná dále jako *2D DFT* (*2 Dimensional Discrete Fourier Transform*). Tato transformace byla již částečně popsána v kapitole 5.6. Slouží k převedení prostorového souřadnicového systému (x, y) do frekvenčního souřadnicového systému. [17] V prostředí programu *MATLAB* je k užití *2D DFT* a její *2D DIFT* používáno algoritmu tzv. rychlé Fourierovi transformace *FFT* (*Fast Fourier Transform*) se zabudovaným příkazem *fft2.m* a *ifft2.m*. Mezi další neméně důležité funkce se řadí *fftshift.m* (pro *2D DFT*) a *ifftshift.m* (pro *2D DIFT*), které přemísťují počátek frekvenční oblasti do jeho středu. [18] Ačkoli posun do středu obrazu byl proveden podle očekávání, dynamický rozsah hodnot ve spektru je tak velký (0 až 204000) ve srovnání se zobrazenými 8 bity, že jasné hodnoty v centru dominují výsledku. Pro zobrazení výkonového spektra ve škále úrovní šedi při 8 bitové hloubce se provede logaritmická transformace podle tvaru

$$S2 = \text{mat2gray}(\log(1 + \text{abs}(FC))), \quad (9)$$

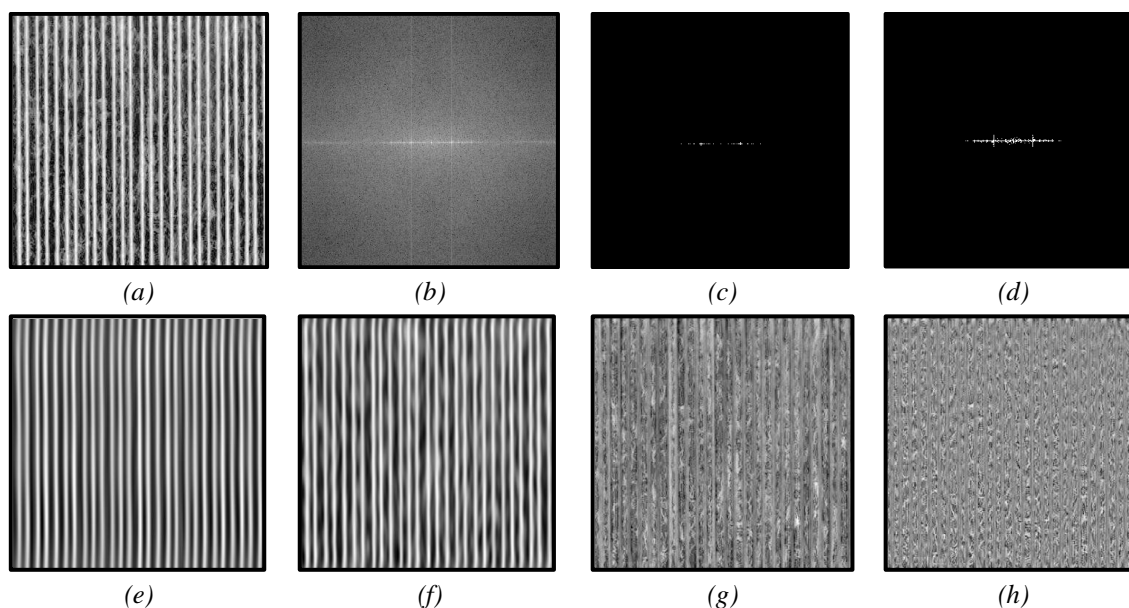
kteřá daný dynamický rozsah sníží. Proměnná ve výše zmíněném vztahu FC vyjadřuje vycentrované Fourierovo spektrum. Příkaz `mat2gray` převádí matici obrazu do úrovní šedi. [13]



Obr. 9. Výřez vzorku přize č. 14 o délkové jemnosti 50 tex: (a) vstupní obraz, (b) obraz přize po ekvalizaci histogramu, (c) obraz přize po aplikaci 2D DFT, (d) centrované výkonové spektrum po aplikaci logaritmické transformace bez předchozí ekvalizace histogramu, (e) centrované výkonové spektrum po aplikaci logaritmické transformace po předchozí ekvalizaci histogramu.

Na obr. 9 (a) je zobrazený náhodný výřez vzorku č. 14 o délkové jemnosti přize 50 tex bez jakéhokoliv předchozího zpracování, na obr. 9 (b) ekvalizace tohoto obrazu. Obraz přize po aplikaci 2D DFT je na obr. 9 (c). Na obr. 9 (d) a (e) je uveden rozdíl mezi obrazem po aplikaci výkonového spektra bez předzpracování obrazu ekvalizací histogramu a po této úpravě. Vysoké hodnoty frekvenčních komponent odpovídají periodické struktuře přize a jejich nízké hodnoty pozadí obrazu. Je vhodné tyto vysoké komponenty nalézt a obraz rozdělit na pravidelný, skládající se z těla přize a nepravidelný, obsahující objekty a prvky šumu. Jednou z možností, jak obraz rozložit na periodickou a neperiodickou strukturu je použít prahovacího spektra, kde se všem pixelům s hodnotami většími jak stanovený práh se přidělí hodnota 1 a bodům s menší hodnotou než je daný práh nastaví 0. Velikost prahu u jednotlivých obrazů vzorků a etalonů přize byla experimentálně stanovena v rozsahu hodnot 0.7 – 0.75. Konkrétně u vzorku přize č. 14 se jevila jako nejvýhodnější velikost prahu 0.73. V prostředí programu *MATLAB* se k operaci prahování používá zabudovaná funkce `im2bw.m`.

Z takto upraveného spektra byly po aplikaci inverzní Fourierovy transformace získány zrekonstruované obrazy. Ty byly rozloženy na neperiodický obraz s potlačeným tělem příze, obsahující hledané defekty příze spolu s okolním šumem a obraz periodický, skládající se z těla příze. [18] Poté se matice obou těchto obrazů převedou do úrovně šedi.



Obr. 10. Výřez vzorku příze č. 14 o délkové jemnosti 50 tex: (a) obraz příze po ekvalizaci histogramu, (b) centrované výkonové spektrum po aplikaci logaritmické transformace, (c), binární obraz příze po aplikaci výkonového spektra se správným prahem 0.73, (d), binární obraz příze po aplikaci výkonového spektra s nízkým prahem 0.65, (e), (f), zrekonstruovaná periodická struktura příze s předchozími prahy 0.73 a 0.65, (g), (h) zrekonstruovaná neperiodická struktura s předchozími prahy 0.73 a 0.65.

Obrázek 10 (a) představuje výchozí obraz příze po použití ekvalizace histogramu. Centrované výkonové spektrum po aplikaci logaritmické transformace zobrazuje obr. 10 (b), kde vysoké hodnoty frekvenčních komponent odpovídají periodické struktuře příze a jejich nízké hodnoty pozadí obrazu. Nalezením těchto vysokých komponent a segmentací obrazu prahováním s velikostí prahu 0.73 si všechny pixely mající hodnotu vyšší jak tento nastavený práh ponechají svojí stávající hodnotu 1 a pixely s hodnotou nižší jak určený práh se nastaví na 0 (obr. 10 (c)). Zpětnou transformací obrazu s pomocí *2D DIFT* je obraz rozdělen na periodickou část struktury příze (obr. 10 (e)) a neperiodickou část struktury obsahující hledané objekty a rozptýlený okolní šum (obr. 10 (g)). Ukázka prahování výkonového spektra s příliš nízkou velikostí prahu je zobrazena na obr. 10 (d), kde zpětným vyvolám obrazu prostřednictvím *2D DIFT* je

obraz periodické struktury příze neostrý se stopy po objektech (obr. 10 (f)) a obraz neperiodické struktury vykazuje kromě hledaných objektů i značné množství okolního (obr. 10 (h)).

6.5 Zjištění průměrné rozteče mezi přízí navinutou na planiskopovou desku

Rozteč příze neboli hustota jejího navinutí na planiskopovou desku může zásadně ovlivnit subjektivní i objektivní hodnocení vzhledu příze. Čím je totiž rozteč příze, navinuté na planiskopovou desku menší, tím se namotá větší délka příze na desku, což může způsobit zvýšení počtu nedokonalostí v ploše desky. Defekty příze se rozumí nežádoucí objekty vyskytující se na planiskopové desce, jejímž důsledkem se snižuje jakost této délkové textilie. Příze o stejné délkové jemnosti a zákrutu, navinuté s odlišnou roztečí na planiskopovou desku, mohou být vlivem rozdílného počtu defektů v ploše desky zařazeny do jiného etalonu třídy příze. Z tohoto důvodu bude vypočítána průměrná rozteč mezi přízí navinutou na planiskopovou desku u zkoumaných vzorků a následně porovnána s průměrnou roztečí navinutých přízí u jednotlivých tříd etalonů.

Prvním krokem pro stanovení rozteče příze pomocí nástrojů obrazové analýzy je určit hrany těla příze. Každý objekt v obraze je prezentován souvislou oblastí, která je obklopena hranicí. [16] Výchozím obrazem pro vypočtení rozteče příze je monochromatický obraz se zrekonstruovanou periodickou strukturou příze (viz obr. 11 (b)), získaný zpětnou transformací s použitím *2D DIFT*. Pro srovnání, jak vypadá vstupní monochromatický obraz po ekvalizaci histogramu, je tento obraz zobrazený na obr. 11 (a). Kvůli dalšímu zpracování je žádoucí převést zrekonstruovaný obraz s periodickou strukturou příze do obrazu binárního, kde si všechny pixely mající hodnotu vyšší jak určený práh ponechají svojí stávající hodnotu 1 a pixely s hodnotou nižší jak určený práh se nastaví na 0. Jako nejvýhodnější velikost prahu se jevila hodnota 0.55, kde se hrany těla příze zdály být nejstejněměrnější (viz obr. 11 (c)). Příklad jedné z možností, jak vypočítat rozteč navinuté příze je znázorněn na obr. 11 (d), kde pixely označené hodnotou 1 představují tělo příze a pixely s hodnou 0 pozadí obrazu. Celý algoritmus vypočtení rozteče příze spočívá ve stanovení počtu černých pixelů v jednotlivých řádkách obrazu. Za začátek bod hrany se považuje místo, kde je přechod mezi hodnotami 1 a 0. Tím začíná počítání černých pixelů v jednotlivých řádcích obrazu a končí až v případě, kdy je přechod mezi hodnotami 0 a 1. Průměrná rozteč

Tab. 4. Průměrná rozteč mezi přízí navinutou na planiskopovou desku u obrazů všech zkoumaných vzorků a etalonů, při velikosti náhodného okna 350 × 350 px.

Průměrná rozteč mezi přízí navinutou na planiskopovou desku u zkoumaných vzorků a etalonů s různou délkovou jemností příze [mm]												
<i>Délková jemnost příze 7 – 14 tex</i>												
Etalony třídy příze						Vzorky příze č.						
A		B		C		1			2			
0.45		0.34		0.37		0.46			0.54			
<i>Délková jemnost příze 14 – 20 tex</i>												
Etalony třídy příze						Vzorky příze č.						
A	B	C	D	E	F	3		4	5	6		
0.36	0.35	0.33	0.36	0.37	0.33	0.63		0.68	0.56	0.63		
<i>Délková jemnost příze 22 – 46 tex</i>												
Etalony třídy příze						Vzorky příze č.						
A	B	C	D	E	F	7	8	9	10	11	12	
0.52	0.48	0.50	0.50	0.47	0.47	0.56	0.71	0.71	0.80	0.71	0.73	
<i>Délková jemnost příze 50 – 100 tex</i>												
Etalony třídy příze						Vzorky příze č.						
A	B	C	D	E	F	13	14	15	16	17	18	19
0.82	0.77	0.80	0.79	0.76	0.79	0.67	0.61	0.40	0.39	0.62	0.63	0.62

Poznámky: Červeně zvýrazněné hodnoty vyjadřují průměrné hodnoty roztečí navinutých přízí u vzorků a etalonů. V červeném ohraničení této tabulky se jsou zaneseny hodnoty roztečí navinutých přízí s efektem moaré. U rozteče navinutých přízí na planiskopové desky se porovnávají vždy vzorky příze a etalony o stejné délkové jemnosti.

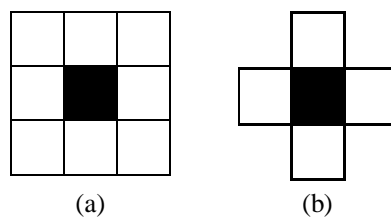
Z tabulky 4 vyplývá, že průměrná rozteč navinutých přízí se u jednotlivých vzorků výrazně liší od průměrné rozteče navinutých přízí u etalonů. Například rozteč navinutých přízí u vzorků číslo 3 až 6 (s délkovou jemností příze 14 – 20 tex) je téměř 2x větší než rozteč navinutých přízí u jednotlivých etalonů A až F se stejnou délkovou jemností příze. Naopak rozteč navinutých přízí u vzorků s číslem 1 a 2 (o délkové jemnosti příze 7 – 14 tex) byla v porovnatelných hodnotách s roztečí navinutých přízí u etalonů A až C (o délkové jemnosti příze 7 – 14 tex). Rozteč navinutých přízí s efektem moaré (červené ohraničení v tab. 4), se kromě vzorků s čísly 15 a 16 výrazně neodlišila od rozteče navinutých přízí bez tohoto efektu (respektive vzorků příze s číslem 13 a 14).

Vzhledem k tomu, že jednotlivé vzorky přízí nejsou navinuté na planiskopové desky se stejnou roztečí jako u etalonů, výsledky hodnocení vzhledu přízí těchto vzorků nemusejí být příliš přesné. Hustěji navitá příze na planiskopovou desku může totiž vykazovat více nedokonalostí neboli defektů příze v ploše této desky.

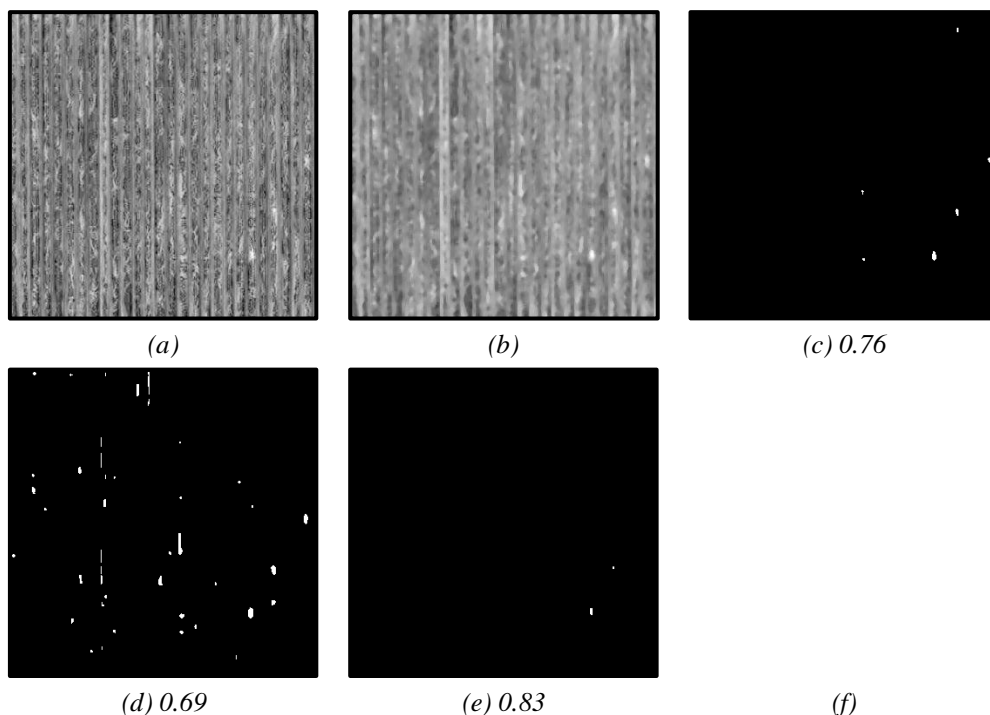
6.6 Nelineární mediánová filtrace obrazu

Zrekonstruovaný obraz po aplikaci *2D DIFT* s potlačenou texturou těla příze obsahuje nejen defekty příze, ale i prvky okolního šumu a částečné zbytkové informace o pravidelné struktuře těla příze. Šum představuje nežádoucí jev, který se vyskytuje téměř v každém obraze. Tento prvek je vhodné z obrazu odstranit nebo alespoň zmírnit jeho dopad na kvalitu obrazu. V nabídce je celá řada metod filtrací sloužící k odstranění šumu nebo zvýraznění objektů v obraze. Jednou z nich je například nelineární mediánová filtrace, která byla použita na obrazech neperiodické struktury k odstranění nebo alespoň částečnému vyhlazení okolního šumu. Mediánový filtr je nejčastěji používán ke snížení bodového šumu v obraze, nazývaného někdy také jako šum typu „pepř a sůl“. [18]

Medián je označován jako 50%-ní kvantil neboli prostřední hodnota u vzestupně seřazených dat. Mediánová filtrace vypočítá medián z hodnot jasu bodů v okolí reprezentativního bodu. Pro určení 50%-ního kvantilu se nejčastěji používá čtvercového okolí (masky) s lichým počtem řádků i sloupců, kde reprezentativní bod leží s jistotou uprostřed. Masky postupně přechází přes celý obraz neperiodické struktury a vypočítá medián z hodnot jasu bodů v lokálním okolí. Zkoumaný reprezentativní bod je poté nahrazen vypočtenou hodnotou mediánu. Při stanovení příliš malých hodnot masky zůstávají v obraze částečné zbytky struktury příze a šum, který je při další úpravě obrazu, např. prahováním ještě více zvýrazněn. Naopak při nadefinování většího rozměru masky dochází nejen k potlačení šumu, ale i k rozostření důležitých objektů. Tento nedostatek lze částečně zmírnit přeměnou tvaru čtvercového okolí (obr. 12 (a)) na tvar například kříže (obr. 12 (b)). [18] Vzhledem k hustotě nashromážděného šumu byla velikost masky nastavená na rozměry 5×5 px. V prostředí programu *MATLAB* se pro mediánovou filtraci jakožto pro dvourozměrný obraz používá funkce `medfilt2.m`.



Obr. 12. (a) velikost masky 3×3 ve tvaru čtverce, (b) maska ve tvaru kříže.



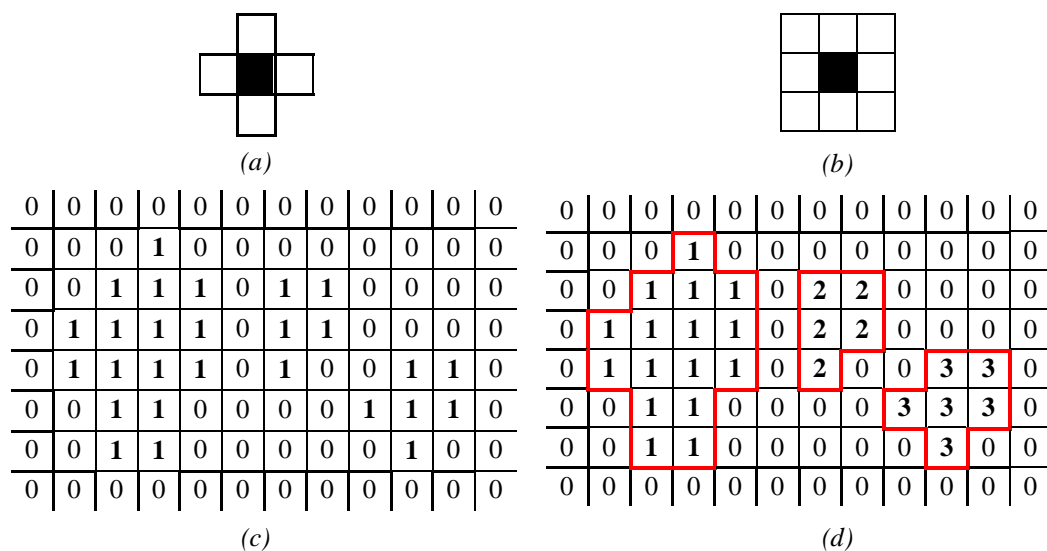
Obr. 13. Výřez vzorku příze č. 14 o délkové jemnosti 50 tex: (a), výchozí obraz 10 (g) zobrazující zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury, (b) obraz po mediánové filtraci o velikosti masky 5x5 px, (c) binární obraz po mediánové filtraci s hodnotou prahu 0.76, (d) binární obraz po mediánové filtraci s hodnotou prahu 0.69, (e) binární obraz po mediánové filtraci s hodnotou prahu 0.83.

6.7 Segmentace obrazu, morfologické operace

Výstupem nelineární mediánové filtrace je upravený obraz neperiodické struktury z obrazu příze zbavený zbytkových detailů příze a většiny prvků šumu (viz obr. 13 (b)). Pro porovnání je na obr. 13 (a) zobrazen i zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury bez použití mediánové filtrace. Obrázek 13 (b) obsahuje hledané defekty příze, které je pro vyhodnocení vlastností objektů vhodné oddělit od pozadí obrazu neboli provést tzv. segmentaci obrazu, například globálním prahováním. Pixely mající hodnotu jasu vyšší než daný práh jsou detekovány jako body hledaných oblastí, zatímco pixely s hodnotou nižší jak určený práh se stávají tmavým pozadím. Stanovení optimálního prahu je velmi podstatné pro další analýzu objektů a závisí na tom úspěšnost prahování. Daný práh nemusí vždy vyhovovat všem obrazům a může vyžadovat individuální nastavení prahu pro každý obrázek zvlášť. [18] Hodnota prahu byla experimentálně stanovena jako 0.76. Na obrázku 13 (c) je zobrazen binární obraz s optimálním prahem 0.76. Aplikováním příliš nízkého prahu (0.69) se zobrazí spolu s hledanými objekty i zbytky struktury

příze. Určení příliš vysokého prahu (0.83) způsobí ztrátu některých důležitých objektů, jak je vidět na obr. 13 (d).

Některé objekty mohou částečně zasahovat do hran obrazu, čím vznikají nekompletní objekty, které podávají zkreslené výsledky o jejich velikosti a tvaru a je třeba je z obrazu odstranit. K tomuto účelu slouží v *MATLABu* zaimplementovaná funkce `imclearborder.m`. Dalším důležitým krokem po segmentaci obrazu je odstranit objekty s plochou menší jak $4 px$, které se vizuálně jeví jako zbytkový šum v obraze po mediánové filtraci. Tato morfologická operace je pro program *MATLAB* zastoupena příkazem `bwareaopen.m`. Zadáním velikosti oblasti, která má být potlačena se objekty menší jak zadaná hodnota ($4 px$) nenačtou do výsledné matice a nejsou v obraze zobrazeny. Výsledkem těchto zvolených úprav je binární obraz s ucelenými objekty většími než $4 px$. [18]



Obr. 14. Ukázka aplikace spojených komponentů v 2D binárním obraze, (a) čtyřsousednost, (b) osmisousednost, (c) matice binárního obrazu, (d) matice binárního obrazu s oindexovanými oblastmi.

Pro vyhodnocení vlastností objektů binárního obrazu může být někdy vhodné provést tzv. *indexování oblastí*. Indexování je vyjádřeno jako přiřazení přirozeného čísla každé oblasti neboli každému rozpoznávanému objektu. Toto číslo je pak zapsáno do každého pixelu oblasti. Jako jedna oblast se považuje množina vzájemně sousedících pixelů, kde v původním binárním obraze byla tato hodnota zapsána jako hodnota 1. Při určení, zda se pixely řadí do stejné oblasti, se rozlišuje, jedná-li se o tzv. *čtyřsousednost* nebo *osmisousednost*. U *čtyřsousednosti* jsou dva pixely považovány za sousedící,

pakliže mají společnou hranu bodu, jak je tomu vidět na obr. 14 (a). To znamená, že každý pixel tak má pouze 4 sousedy. V případě osmisousednosti se považuje za sousedy všech osm pixelů, jsou-li s daným pixelem spojeny rohem nebo hranou (obr. 14 (b)). [16] V *MATLABu* se pro oindexování pixelů zavolá funkce `bwlabel.m`, kde se každé oblasti mající dříve v binárním obraze hodnotu pixelu 1 přiřazení pořadové číslo (index) v závislosti na susednosti pixelů. Bod, který měl v binárním obraze hodnotu pixelu 0, zůstává nadále pozadím a není mu přiřazen žádný index. Binární obraz a jeho oindexované pixely oblasti jsou zobrazené na obr. 14 (c) a (d).

6.8 Výpočet jednotlivých charakteristik defektů příze

Cílem segmentace a morfologických operací bylo oddělit oblast zájmu, čili defekty příze od pozadí obrazu, vyčistit hrany od necelých oblastí a odstranit objekty menší jak 4 *px*. U takto připravených objektů je nyní možné stanovit jejich jednotlivé vlastnosti. K tomuto účelu bylo využito funkce `regionprops.m`, která obsahuje řadu parametrů, které mohou číselně popsat tvarové charakteristiky nalezených objektů. Mezi tyto vybrané parametry, které budou popisovat tvarové charakteristiky objektů, se řadí 'Area' (plocha), 'Perimeter' (obvod), 'EquivDiameter' (ekvivalentní průměr), 'Eccentricity' (excentricita) a 'Orientation' (orientace). Dalšími neméně důležitými vlastnostmi, které však nejsou součástí funkce `regionprops.m`, jsou počet objektů ve výřezu obrazu, tvarový faktor podle Malinowské a plošné zaplnění objektů. Podrobnější popis jednotlivých vlastností je uveden v následujícím textu.

✓ *Počet objektů*

Počet defektů výrazně ovlivňuje celkový vzhled příze. Čím více je objektů v obraze, tím nižší je jakost příze a tím může způsobit pokles prodejní ceny.

✓ *Plocha objektů*

Čím větší je hodnota plochy objektů, tím horší je defektnost vzorku a větší pravděpodobnost, že bude daný vzorek přiřazen nižší třídě příze (např. etalonu příze třídy D, E, F).

✓ *Obvod objektů*

Pro určení obvodu objektu je nutné znát hranice objektu. Pixely jsou procházeny po řádcích a sloupcích tak dlouho, dokud se nenalezne první pixel objektu, který je s

určitostí bodem ležící na hranici objektu. Proces končí nalezením uzavřené hranice objektu. Obvod objektu se poté vypočítá jako počet pixelů kolem ohraničené oblasti. [16] Čím je větší obvod objektů, tím je objekt členitější a více se odchyluje od kruhu. Ukázka zobrazené hranice oblasti je na obr. 15, zvýrazněna červeně.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 15. Hranice objektu.

✓ **Excentricita objektů**

Excentricita je vzdálenost mezi ohniskem elipsy a jeho hlavní osou. Hodnoty se nacházejí v rozmezí 0 a 1. Elipsa, jejíž excentricita se rovná 0 je ve skutečnosti kruh, zatímco elipsa, jejíž excentricita se rovná 1 je úsečka). [20]

✓ **Ekvivalentní průměr objektů**

Ekvivalentní průměr určuje pomyslný průměr kruhu se stejnou plochou objektu, ale jiným obvodem. Vypočítá se jako

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}, \quad (11)$$

kde označení A symbolizuje plochu objektů a d ekvivalentní průměr objektu. [20]

✓ **Tvarový faktor objektů**

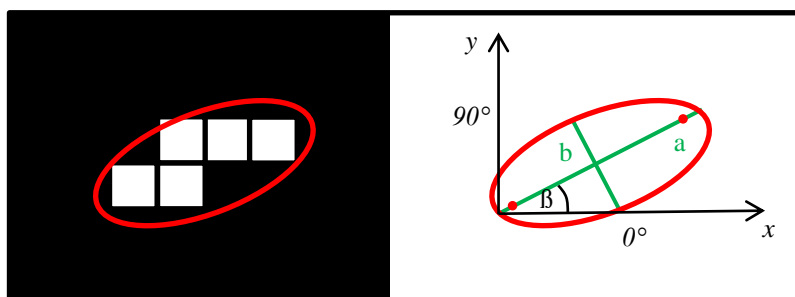
Už podle názvu je patrné, že tvarový faktor průřezu q vypovídá o členitosti průřezu vlákna. Ideální válcové vlákno kruhového průřezu má tvarový faktor 0. Čím vyšší je hodnota tvarového faktoru, tím více se jeho tvar odchyluje od kruhu a objekt je členitější. Touto problematikou se zabývala řada autorů. Jedním z nejznámějších je tvarový faktor průřezu podle Malinowské, který byl zde použit pro popsání tvaru objektu. Vzorec je vyjádřen jako

$$q = \frac{P}{\pi d} - 1, \quad (12)$$

kde hodnota p vyjadřuje obvod skutečného průřezu a jmenovatel πd obvod pomyslného kruhu. [21]

✓ **Orientace objektů**

Je to úhel v rozsahu od -90 do 90 stupňů mezi osou x a hlavní osou elipsy a , která má stejný druhý moment jako oblast. Na obr. 16 je zobrazena orientace objektu, kde levá strana obrázku zobrazuje obraz oblasti a jeho odpovídající elipsu. Na pravé straně obrázku je stejná elipsa s charakteristickým grafickým označením, kde zelené linie označují hlavní osu a , vedlejší osu b a červené body jsou ohniska elipsy. Sklon elipsy je úhel β mezi horizontální osou x a hlavní osou a . [20]



Obr. 16. Orientace objektů – sklon elipsy.

✓ **Plošné zaplnění**

Plošná interpretace zaplnění je definována jako podíl obsahu všech objektů vztažený k celkové ploše výřezu obrazu. Příliš vysoká hodnota zaplnění defektů (vysoký počet defektů v ploše výřezu obrazu) má negativní vliv na výslednou jakost příze.

Pro každou charakteristiku objektů, konkrétně obsah, obvod, ekvivalentní průměr, excentricitu, orientaci a tvarový faktor byly vypočteny statistické charakteristiky polohy a variability, zahrnující průměr, medián, směrodatnou odchylku a odhad intervalu spolehlivost pro střední hodnotu. Výjimku tvořili jen charakteristiky počet objektů a plošné zaplnění. Výsledky těchto spočtených hodnot pro etalony tříd A až F jsou uvedené v tab. 5. Pro vzorek příze č. 14 o délkové jemnosti 50 tex je v tabulce 6 uvedeno porovnání vypočtených charakteristik objektů mezi vstupním obrazem, obsahující objekty příze o velikosti obrazu $2440 \times 1670 \text{ px}$ a jeho náhodným výřezem o velikosti okna $350 \times 350 \text{ px}$.

Tab. 5. Charakteristiky objektů pro etalony tříd příze A až F o délkové jemnosti příze 50 tex.

Charakteristiky defektů	Statistické charakteristiky polohy a variability pro etalony tříd příze											
	A		B		C		D		E		F	
Počet $N [-]$	-	74	-	41	-	78	-	113	-	123	-	442
Zaplnění $Z [-]$	-	0.004	-	0.003	-	0.007	-	0.014	-	0.013	-	0.054
Plocha $A [mm^2]$	\bar{x}	1.77	\bar{x}	1.09	\bar{x}	2.87	\bar{x}	3.12	\bar{x}	2.57	\bar{x}	3.13
	\tilde{x}	0.89	\tilde{x}	1.33	\tilde{x}	1.52	\tilde{x}	2.29	\tilde{x}	2.12	\tilde{x}	2.83
	s	1.02	s	1.22	s	2.16	s	2.85	s	1.24	s	2.76
	IS	<0.99,1.46>	IS	<1.49,2.26>	IS	<1.80,2.92>	IS	<2.59,3.65>	IS	<2.29,2.99>	IS	<2.87,3.39>
Obvod $P [mm]$	\bar{x}	1.00	\bar{x}	1.05	\bar{x}	1.56	\bar{x}	1.76	\bar{x}	1.37	\bar{x}	1.67
	\tilde{x}	0.80	\tilde{x}	1.59	\tilde{x}	1.17	\tilde{x}	1.45	\tilde{x}	1.54	\tilde{x}	1.49
	s	0.62	s	0.59	s	01.00	s	1.14	s	0.76	s	1.07
	IS	<0.86,1.14>	IS	<1.06,1.43>	IS	<1.16,1.61>	IS	<1.54,1.97>	IS	<1.42,1.69>	IS	<1.66,1.86>
Ekviv. průměr $Eq [mm]$	\bar{x}	0.34	\bar{x}	0.43	\bar{x}	0.45	\bar{x}	0.53	\bar{x}	0.50	\bar{x}	0.54
	\tilde{x}	0.31	\tilde{x}	0.43	\tilde{x}	0.41	\tilde{x}	0.50	\tilde{x}	0.48	\tilde{x}	0.50
	s	0.13	s	0.14	s	0.23	s	0.24	s	0.18	s	0.22
	IS	<0.31,0.37>	IS	<0.38,0.47>	IS	<0.40,0.50>	IS	<0.48,0.57>	IS	<0.47,0.53>	IS	<0.51,0.56>
Excentricita $Ec [-]$	\bar{x}	0.68	\bar{x}	0.68	\bar{x}	0.67	\bar{x}	0.76	\bar{x}	0.73	\bar{x}	0.77
	\tilde{x}	0.75	\tilde{x}	0.69	\tilde{x}	0.75	\tilde{x}	0.83	\tilde{x}	0.80	\tilde{x}	0.82
	s	0.30	s	0.20	s	0.30	s	0.24	s	0.23	s	0.21
	IS	<0.61,0.75>	IS	<0.62,0.75>	IS	<0.60,0.73>	IS	<0.71,0.81>	IS	<0.69,0.77>	IS	<0.75, 0.79>
Orientace $O [°]$	\bar{x}	5.11	\bar{x}	13.50	\bar{x}	13.62	\bar{x}	20.12	\bar{x}	20.99	\bar{x}	16.24
	\tilde{x}	0	\tilde{x}	0	\tilde{x}	0	\tilde{x}	74.10	\tilde{x}	70.19	\tilde{x}	67.97
	s	67.37	s	70.75	s	71.37	s	75.98	s	73.97	s	76.11
	IS	<-10.50,20.72>	IS	<-8.83,35.83>	IS	<-2.47,29.71>	IS	<5.96,34.29>	IS	<7.78,34.19>	IS	<9.13,23.36>
Tvarový faktor $Tf [-]$	\bar{x}	0.88	\bar{x}	0.89	\bar{x}	0.89	\bar{x}	0.98	\bar{x}	0.94	\bar{x}	0.98
	\tilde{x}	0.84	\tilde{x}	0.90	\tilde{x}	0.88	\tilde{x}	0.97	\tilde{x}	0.94	\tilde{x}	0.96
	s	0.21	s	0.14	s	0.18	s	0.20	s	0.15	s	0.18
	IS	<0.83,0.92>	IS	<0.85,0.93>	IS	<0.85,0.94>	IS	<0.94,1.02>	IS	<0.92,0.97>	IS	<0.96,0.99>

Poznámky: velikost vstupního obrazu etalonů je 1410 × 2552px, kalibrace 1px = 0.0847 mm, \bar{x} (průměr), \tilde{x} (medián), s (směrodatná odchylka), IS (interval spolehlivosti střední hodnoty), ekviv. průměr (ekvivalentní průměr).

Tab. 6. Ukázka vypočtených charakteristik objektů u vzorku č. 14 o délkové jemnosti 50 tex u rozdílných velikostí obrazu.

Charakteristiky defektů	Statistické zpracování charakteristik defektů	Vstupní obraz vzorku o velikosti okna 2440x1670px	Náhodný výřez ze vstupního obrazu vzorku o velikosti 350x350px
Počet N [-]	-	58	6
Zaplnění Z [-]	-	0.002	0.010
Plocha A [mm^2]	\bar{x}	1.26	1.58
	\tilde{x}	1.02	1.14
	s	0.74	1.08
	IS	<1.00,1.39>	<0.37, 2.63>
Obvod P [mm]	\bar{x}	1.00	1.16
	\tilde{x}	0.94	0.99
	s	0.51	0.52
	IS	<0.87,1.14	<0.62, 1.70>
Ekviv. průměr E_q [mm]	\bar{x}	0.34	0.38
	\tilde{x}	0.33	0.35
	s	0.10	0.13
	IS	<0.32,0.37	<0.24, 0.52>
Excentricita E_c [-]	\bar{x}	0.65	0.82
	\tilde{x}	0.79	0.88
	s	0.36	0.13
	IS	<0.55,0.74>	<0.69, 0.96>
Orientace O [°]	\bar{x}	31.3501	-47.10
	\tilde{x}	80.79	-78.73
	s	68.40	68.86
	IS	<13.37,49.33>	<-119.37, 25.17>
Tvarový faktor T_f [-]	\bar{x}	0.89	0.94
	\tilde{x}	0.88	0.96
	s	0.19	0.13
	IS	<0.83,0.94>	<0.81, 1.08>

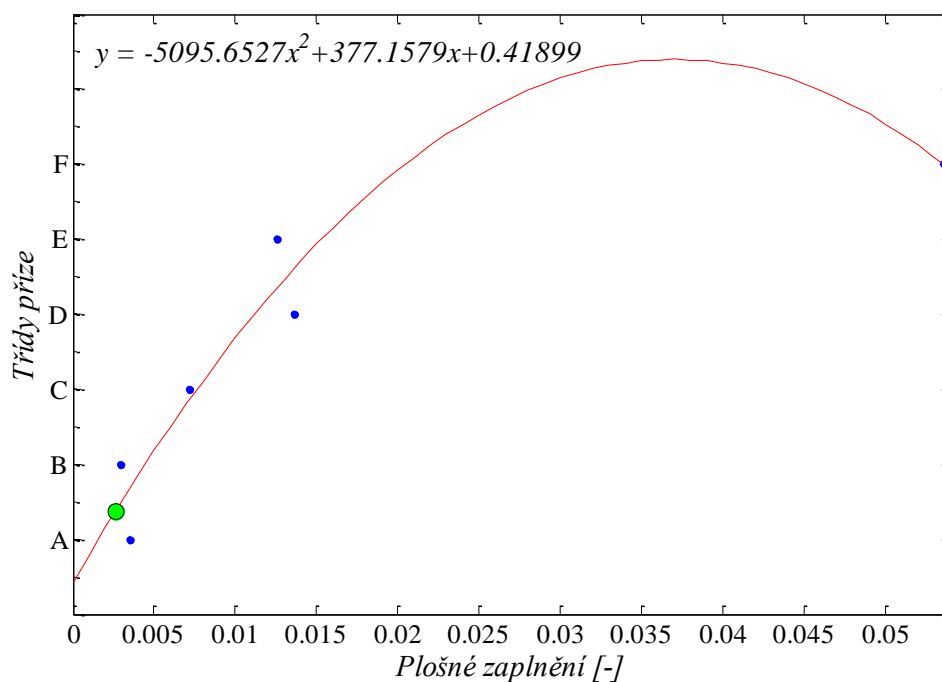
Poznámky: Kalibrace $1px = 0.0847$ mm, \bar{x} (aritmetický průměr), \tilde{x} (medián), s (směrodatná odchylka), IS (interval spolehlivosti střední hodnoty), Ekviv. průměr (ekvivalentní průměr).

Z výsledků tabulky 5 vyplývá, že se snižující se třídou příze etalonu statistické hodnoty jednotlivých charakteristik objektů stoupají. Výjimku tvoří statistické hodnoty u jednotlivých charakteristik etalonu třídy příze B, které vykazují převážně vyšší hodnoty než jak je tomu u třídy příze A. Charakteristiky mediánu, směrodatné odchylky ani 95%-ního intervalu spolehlivosti střední hodnoty nejsou pro objektivní hodnocení přízí příliš ideální z důvodu rozdílné velikosti obrazu objektů u vzorků příze a etalonů. Podobně je na tom i aritmetický průměr, který z důvodu velké variability velikosti objektů může podávat zkreslující informace u všech tvarových charakteristik.

Jako nejméně vhodné charakteristiky pro objektivní hodnocení přízí se jeví vlastnosti ekvivalentního průměru, excentricity, orientace a tvarového faktoru objektů, kde jejich hodnoty se zvyšujícím počtem objektů nevykazovaly žádnou zvyšující se posoupnost. Kvůli rozdílné velikosti vstupních obrazů vzorků a etalonů jednotlivých tříd nejsou ideální ani charakteristiky počet objektů, jejich plocha a obvod. Tento problém odpadá u charakteristiky plošného zaplnění, které je vyjádřené jako součet všech ploch objektů vztažených k celkové ploše obrazu. Tato charakteristika je tedy pro objektivní hodnocení vzorků příze vyhodnocena jako nejideálnější.

6.9 Zařazení jednotlivých obrazových vzorků příze do příslušných tříd etalonu

Pro objektivní hodnocení vzorků příze se jako nevhodnější jeví charakteristika plošného zaplnění. Závislost mezi jednotlivými třídami příze a touto charakteristikou popisuje lineární regrese ve tvaru kvadratické funkce. Za pomoci metody nejmenších čtverců, kde součet všech kvadrátů odchylek musí být minimální, se vypočítaly koeficienty regrese a_0 , a_1 , a_2 , z nichž se stanovila výsledná rovnice funkce y . Vztah mezi jednotlivou třídou příze a charakteristikou plošného zaplnění je zobrazen na obr. 17.



Obr. 17. Vztah mezi jednotlivou třídou příze a charakteristikou plošného zaplnění u vzorku č. 14 o délkové jemnosti příze 50 tex.

Modře označené body na obr. 17 vyjadřují vztah mezi jednotlivými třídami příze A až F a charakteristikou plošného zaplnění, zelený bod vyjadřuje hodnotu plošného zaplnění pro vzorek číslo 14. Červená křivka znázorňuje aproximaci těchto bodů a je dána rovnicí funkce y . Z tohoto obrázku vyplývá, že při využití charakteristiky plošného zaplnění byl vzorek příze č. 14 o délkové jemnosti 50 tex přiřazen třídě příze B.

Celkové výsledky objektivního hodnocení vzorků příze podle charakteristiky plošného zaplnění jsou vyneseno do tabulky 7.

Tab. 7. Výsledky objektivního hodnocení jednotlivých vzorků příze pomocí nástrojů obrazové analýzy.

Zařazení jednotlivých vzorků příze do příslušných tříd etalonů za použití charakteristiky plošného zaplnění																			
Č. vz. př.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T [Tex]	4-7	12	5-14	5-14	15	20	25	25	5-29	5-29	35	35	50	50	50	50	100	100	100
Přř. tř. příze	A	C	B	C	D	D	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	A	B	C

Poznámky: T (délková jemnost), č. vz. př. (číslo vzorku příze), přř. tř. (přirazená třída).

Z tabulky 7 je patrné, že do třídy příze A, což je příze s nejnižším počtem a velikostí defektů, byly zařazeny pouze vzorky příze s číslem 1 a 17. Jedenácti vzorkům byla přiřazena třída B a čtyřem vzorkům třída C. Nejhůře hodnocené vzorky byly klasifikovány třídou D, konkrétně vzorek číslo 5 a 6. Žádný ze vzorků nebyl ohodnocen třídou E ani F, což značí, že jednotlivé vzorky nebyly shledány jako velmi defektní příze. Efekt moaré ani délková jemností příze u vzorků 15 až 19 neměli na obrazovou analýzu objektivního hodnocení velký vliv.

V příloze 1 a na *CD* je přiložený zdrojový kód algoritmu pro objektivní hodnocení vzhledu příze, který je pro přehlednost rozdělen do několika funkcí. Stručné popsání jednotlivých funkcí je uvedeno v následujícím textu.

Hlavni.m – hlavní zdrojový kód, který volá funkce VypocetiVyrez.m, IS.m, zobrazuje graf lineární regrese (vztah mezi charakteristikou plošného zaplnění objektů a třídami příze),..

NahrajObrazek.m – funkce slouží k načtení obrazů tříd příze ze souborů do programového prostředí *MATLAB*.

VypocetPozicVyrezu.m – funkce vypočítá všechny možné pozice na obrázku dle zadaných parametrů.

VypocetiVyrez.m – funkce slouží k vypočtení jednotlivých charakteristik objektů.

ParamVyrezu.m – funkce slouží k rozdělení obrazu příze na část periodickou a neperiodickou,..

RoztecPrize.m – funkce, která počítá rozteč příze.

IS.m – funkce vypočítá 95%-ní intervaly spolehlivosti střední hodnoty pro některé tvarové charakteristiky objektů.

7 Subjektivní hodnocení vzhledu příze pomocí fotografických etalonů

Subjektivní hodnocení vzhledu příze je založené na vizuálním pozorování objektů příze planiskopové desky hodnotitelem, který na základě vlastních pocitů přiřadí daný vzorek k příslušné třídě etalonu. Defektem příze se rozumí nežádoucí objekt vyskytující se na planiskopové desce, jehož důsledkem se snižuje jakost této délkové textilie. Etalon je schválený vzorek, sloužící k vyhodnocení úrovně vzhledu příze. K dispozici jsou většinou etalony přízí tříd A až F, kde třída A vykazuje nejmenší počet defektů a postupem k třídě F se počet vad zvyšuje. Názory hodnotitelů na vzhled příze se mohou rozcházet, kde určitou roli hraje například jejich aktuální duševní rozpoložení nebo citlivost zraku na menší detaily vad v přízi. Vzorky příze navíjené s menší roztečí neboli větší hustotou navinutí se mohou na pohled zdát jako více defektní. Jedním z důvodů je možnost většího seskupení vad na celkovou plochu planiskopové desky příze.

Na základě subjektivní hodnocení vzhledu příze bylo osloveno 15 respondentů různého věku a pohlaví, jejichž úkol spočíval v zařazení 19 fotografických vzorků příze do příslušné třídy etalonu A až F o stejné délkové jemnosti. Výjimku tvořili vzorky číslo 17 – 19 o délkové jemnosti 100 *tex*, které se porovnávají se sérií etalonů příze o délkové jemnosti 50 *tex*. Podrobný popis postupu hodnocení vzhledu příze podle metodiky ASTM se nachází v kapitole 3.2.

Respondenti porovnávali dané vzorky s etalony tříd příze v digitální podobě obrazu. To mohlo způsobit určité nepřesnosti výsledků vlivem rozdílných domácích podmínek při hodnocení příze, kterými jsou např. odlišné nastavení monitoru počítače (jas, kontrast, barvy) a zvětšování či zmenšování velikosti digitálního obrazu. Výsledky subjektivního hodnocení vzhledu příze byly zaneseny do následující tabulky 8.

Tab. 8. Výsledky subjektivního hodnocení vzorků příze srovnávací metodou za pomoci fotografických etalonů.

Etalon s T [Tex]	Parametry vzorků			Odpovědi respondentů														
	č. vz.	T [Tex]	α [m ⁻¹ Mtex ^{1/2}]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
7-14	1.	4 – 7	–	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	B	A
	2.	12	–	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
14-20	3.	5 – 14	55	B	B	C	A	C	C	B	C	C	B	A	A	B	B	B
	4.	5 – 14	85	B	B	B	C	A	A	B	B	A	A	A	A	A	B	B
	5.	15	–	A	B	A	B	B	B	A	A	B	C	A	A	B	A	B
	6.	20	–	C	D	D	E	D	D	C	D	D	A	A	B	C	C	C
22-46	7.	25	65	A	A	C	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A
	8.	25	95	B	C	B	C	A	B	A	B	C	A	A	A	B	B	C
	9.	5 – 29	–	C	D	C	B	C	C	B	C	D	B	A	B	C	D	C
	10.	5 – 20	–	D	D	C	D	D	C	B	D	E	B	A	B	C	B	B
	11.	35	65	B	C	B	F	E	B	B	E	B	A	A	A	B	B	B
	12.	35	95	C	E	D	E	F	D	D	F	F	B	B	B	D	C	C
50	13.	50	65	A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	14.	50	95	B	C	A	A	B	B	B	B	B	A	A	A	B	A	B
	15.	50	–	C	E	A	D	E	D	D	E	F	B	C	B	C	C	C
	16.	50	–	B	F	B	C	F	D	C	F	E	B	C	B	E	C	C
	17.	100	65	B	C	B	B	E	B	B	D	E	A	A	A	C	C	C
	18.	100	75	C	D	B	D	D	C	C	F	F	A	B	A	C	B	B
	19.	100	85	C	C	A	C	B	D	D	E	D	A	C	A	B	C	C

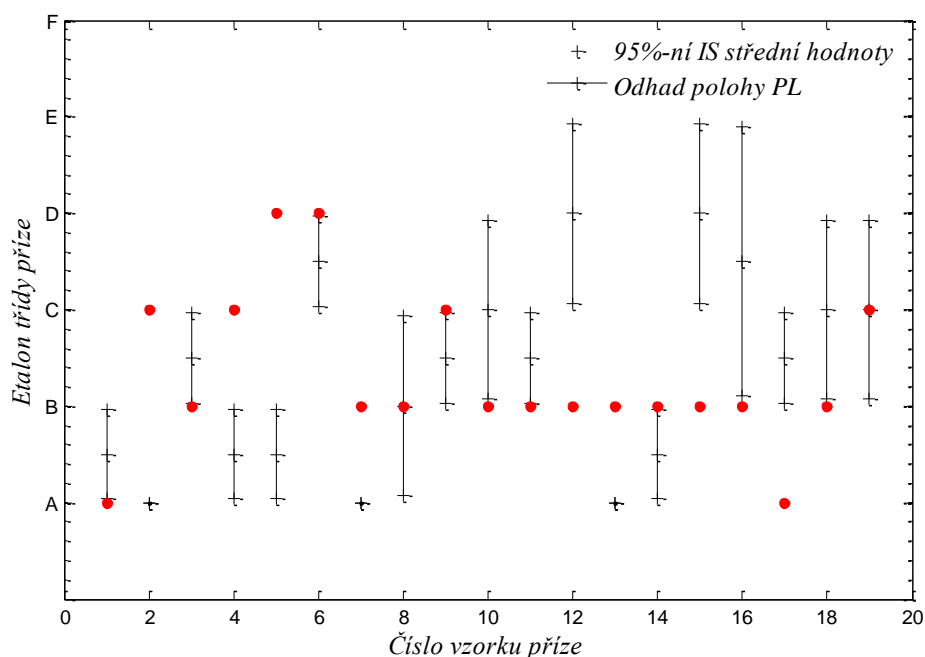
Vysvětlivky: č. vz. (číslo vzorku), T (délková jemnost), α (zákrutový koeficient), třída A nemůže mít žádné velké defekty, třída F obsahuje nejvíce defektů.

7.1 Zpracování výsledků subjektivního hodnocení příze podle Hornova postupu

Třídy etalonu příze A až F jsou ordinální škály, které se dají vyjádřit také jako hodnoty známek od 1 do 6, kde v tomto případě známka 1 vyjadřuje nejkvalitnější přízi a známka 6 nejméně kvalitní. [22]. Rozhodnutí, jaký postup zvolit pro vyhodnocení dat subjektivního hodnocení vzhledu příze se odvíjelo od malého počtu měření. Volba padla na vyhodnocení dat podle Hornova postupu, který se používá převážně tehdy, jsou-li k dispozici jen 4 až 20 měření. V prostřední programu *MATLAB* byly podle navrženého algoritmu pod názvem funkce *HornuvPostup.m* zpracovány výsledky subjektivního hodnocení pro 15 měření. Zdrojový kód programu *HornuvPostup.m* je přiložený na CD. V tabulce 9 je pro ukázkou uveden podrobný výpočet 95%-ního intervalu spolehlivosti střední hodnoty podle Hornova postupu. Prvním krokem v Hornově postupu je zavést pořádkovou statistiku dat, což znamená seřadit data měření $\{X_i\}_{i=1, 2, \dots, N}$ vzestupně od nejmenší hodnoty po největší $\{X_{(i)}\}$. Z takto seřazené posloupnosti hodnot se vyčíslí hloubka pivotu H , z níž se stanoví dolní X_D a horní pivot X_U , které jsou v tab. 9 zvýrazněny červeně. Odhad polohy P_L , neboli střed 95%-ního intervalu spolehlivosti střední hodnoty se poté spočítá jako průměr horního X_D a dolního pivotu X_U . Podle počtu měření se v tabulce kritických hodnot pro Hornův postup vyhledá příslušná hodnota kvantilu $K_{0,975(15)}$, která slouží ke stanovení 95%-ního intervalu spolehlivosti střední hodnoty. Na obr. 18 jsou zobrazeny vypočtené 95%-ní intervaly spolehlivosti střední hodnoty IS , které udávají rozmezí, kde s předepsanou pravděpodobností leží střední hodnota souboru. Všechny zorce v tabulce 9 čerpají z literatury [22].

Tab. 9. Příklad výpočtu Hornova postupu na vzorku příze č. 11.

Naměřená data $\{X_i\}_{i=1,2,\dots,N}$	2	3	2	6	5	2	2	5	2	1	1	1	2	2	2
Seřazená data $\{X_{(i)}\}$	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	5	5	6
Hloubka pivotů H pro liché číslo	$H = \frac{(N+1)/2}{2} = \frac{(15+1)/2}{2} = 4$														
Dolní pivot X_D	$X_D = X_{(H)} = 2$														
Horní pivot X_U	$X_U = X_{(N+1-H)} = X_{(15+1-4)} = 3$														
Odhad polohy P_L	$P_L = \frac{X_D + X_U}{2} = \frac{2+3}{2} = 2.5$														
Odhad rozptýlení R_L – pivotové rozpětí	$R_L = X_U - X_D = 3 - 2 = 1$														
Kvantil $K_{0.975(N)}$	$K_{0.975(15)} = 0.466$														
Odhad 95%-ního IS střední hodnoty	$P_L - R_L \cdot K_{0.975(N)} \leq \mu \leq P_L + R_L \cdot K_{0.975(N)}$ $2.5 - 1 \cdot 0.466 \leq \mu \leq 2.5 + 1 \cdot 0.466$ $2.03 \leq \mu \leq 2.97$														



Obr. 18. Zařazení 19- ti vzorků příze do příslušných tříd etalonů A až F pomocí 95%-ního intervalu spolehlivosti střední hodnoty.

Na horizontální ose x jsou vyznačeny čísla hodnocených vzorků příze 1 až 19, na vertikální osu y jsou vyneseny 95%-ní intervaly spolehlivosti střední hodnoty. Z předchozího výpočtu 95%-ního IS střední hodnoty z tab. 9 vyplývá, že 15 zodpovězených respondentů by s 95%-ní pravděpodobností přiřadilo vzorek příze číslo 11 (což je příze s délkovou jemností 35 *tex*) do třídy etalonu B nebo C. Ze vzorku číslo 16 (příze s délkovou jemností 50 *tex*) je patrné největší rozpětí 95%-ního IS střední hodnoty, které je v rozmezí tříd příze B až E, což je způsobeno rozdílným hodnocením

respondentů na tento vzorek příze. Jako odpověď se nabízí fakt, že vzorek příze č. 16 je s efektem moaré, který je znám svou nestejnou měrností příze a tudíž netrénovanému oku se může zdát svou objemností příze jako velmi defektní. Naopak nejvíce se respondenti shodovali v odpovědích u vzorků č. 2, 7 a 13, mající délkou jemnost příze 12 *tex*, 25 *tex* a 50 *tex*. Z odpovědí nelze přesně stavit, že by délková jemnost měla jednoznačně vliv na subjektivní hodnocení přízí. Z obr. 18 vyplývá, že vzorky příze obsahující efekt moaré (vzorky č. 15 až 19 s jemností 50 až 100 *tex*) byly respondenty zařazené do tříd B až E.

Červeně označené body v obr. 18 znázorňují výsledky objektivní hodnocení totožných vzorků příze z tab. 7, neboli zařazení vzorků příze do jednotlivých tříd etalonů podle vzhledu příze.

7.2 Srovnání metody subjektivního a objektivního hodnocení vzorků příze za pomocí fotografických etalonů

Kvůli ověření efektivnosti navrženého postupu pro objektivní hodnocení přízí pomocí nástrojů obrazové analýzy bylo provedeno pro srovnání také subjektivní hodnocení vzhledu příze s využitím fotografických etalonů. Výsledky subjektivního i objektivního hodnocení vzorků přízí byly již zvláště vyhodnoceny v kapitolách 6.8 až 7.1. Srovnání těchto metod bylo zobrazeno v předchozím obr. 18. Z tohoto obrázku vyplývá, že výsledky objektivního i subjektivního hodnocení přízí se ve většině případů shodují nebo alespoň přibližují. To znamená, že jednotlivé vzorky u objektivního i subjektivního hodnocení jsou přiděleny do přibližně stejné třídy příze. Nelze říci, že by délková jemnost příze měla podstatný vliv na výsledky subjektivního nebo objektivního hodnocení. Efekt moaré u vzorků s jemností 50 *tex* a 100 *tex* měl vliv pouze na subjektivní hodnocení vzhledu vzorků příze. Rozdílnost některých výsledků u těchto dvou metod hodnocení může způsobovat řada faktorů. U obrazové analýzy příze hraje důležitou roli například vhodná segmentace a filtrace obrazu. Co se týče subjektivního hodnocení, velký vliv na jeho výsledky měla zřejmě digitální podoba vzorků i etalonů příze a rozdílné domácí podmínky hodnocení vzhledu příze u dotázaných respondentů. Velký vliv na subjektivní i objektivní hodnocení měla zcela jistě i rozdílná rozteč mezi navinutou přízí na planiskopovou desku vzorků a etalonů příze.

8 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala klasifikací vzhledu příze a kontrolou její kvality na planiskopu. Jejím hlavním cílem bylo navrhnout postup pro objektivní hodnocení přízí s využitím nástrojů obrazové analýzy v prostředí programu *MATLAB* a aplikovat zkoumaný postup na obrazech přízí s různým materiálovým složením, jemností a zákrutem.

Na základě obecných poznatků z analýzy obrazu, popsanych v teoretické části, byl navržen postup pro objektivní hodnocení vzhledu přízí na planiskopu, který byl založený na spektrálním přístupu za použití dvourozměrné diskrétní Fourierovy transformace *2D DFT*. Tělo příze v obrazu jeví určité známky periodické struktury a vykazuje vysoké frekvenční hodnoty ve spektru. Převedením obrazu do frekvenčního spektra a stanovením jeho významných hodnot byl obraz převeden pomocí inverzní Fourierovy transformace na obraz příze a obraz šumu spolu s detekovanými objekty. Neperiodický obraz obsahoval kromě defektů i stopy textury příze a šumu, které byly poté vyhlazeny mediánovým filtrem. Jednotlivé objekty defektů byly následně odděleny od pozadí segmentací obrazu globálním prahováním. Na výsledném obrazu se aplikovaly morfologické operace, které vyčistily hrany obrazu a odstranily objekty menší jak 4 *px*. Pro nalezené objekty se vypočítala charakteristika plošného zaplnění, na základě které se pomocí navrženého algoritmu pro objektivní hodnocení přízí přiřadil daný vzorek do příslušného etalonu třídy příze. Výsledky objektivního hodnocení vzhledu příze byly posléze porovnány s výsledky subjektivního hodnocení. Jednotlivé vzorky přízí u obou metod hodnocení byly přiděleny do přibližně stejné třídy příze. Délková jemnost příze neměla vliv na objektivního ani subjektivního hodnocení příze. Efekt moaré, vyskytující u vzorků s délkovou jemností 50 a 100 *tex* měl vliv pouze na subjektivní hodnocení vzorků příze. Rozdílnost některých výsledků u těchto dvou metod hodnocení může způsobovat řada faktorů. U obrazové analýzy vzhledu příze hraje důležitou roli například vhodná segmentace a filtrace obrazu. Co se týče subjektivního hodnocení, velký vliv na jeho výsledky měla zřejmě digitální podoba vzorků i etalonů příze a rozdílné domácí podmínky hodnocení u dotázaných respondentů. Velký vliv na obě hodnocení měla rozdílná rozteč navinutých přízí u vzorků a etalonů. Kdyby se subjektivní hodnocení u planiskopových desek přízí provádělo v laboratorních podmínkách, např. podle metodiky ASTM, rozdíly ve výsledcích tohoto hodnocení vzhledu přízí by nemusely být tak odlišné.

Seznam použité literatury

- [1] SEMNANI D., IATIFI M., TEHRAN M. A., POURDEYHIMI B., MERATI A. A. Development of Appearance Grading Method of Cotton Yarns for Various Types of Yarns. *Research Journal of Textile and Apparel* (2005), Vol. 9, No. 4, 86-93.
- [2] SEMNANI D., IATIFI M., TEHRAN M. A., POURDEYHIMI B., MERATI A. A. Grading of Yarn Appearance Using Image Analysis and an Artificial Intelligence Technique. *Textile Research Journal* (2006), Vol. 76, No. 3, 187-196.
- [3] KIM Y.K., LANGLEY K.D., AVSAR, F. Quantitative Grading of Spun Yarn for Appearance. *Journal of Textile Engineering* (2006), Vol. 52, No. 1, 13-18.
- [4] LIEN H. C., LEE S. Applying Pattern Recognition Principles to Grading Textile Yarns. *Textile Research Journal* (2002), Vol. 72, No. 4, 320-326.
- [5] ZHIGANG X., HONGSHAN W., XIN W., WENXIANG Y., WEILIN X. A study on the relationship between irregularity and hairiness od spun yarns. *Textile Research Journal* (2011), Vol. 81, No. 3, 273-279.
- [6] XU B.G., MURRELLS CH. M., TAO X.M. Automatic Measurement and Recognition of Yarn Snarls by Digital Image and Signal Processing Methods. *Textile Research Journal* (2008), Vol. 78, No. 5, 439-456.
- [7] KIM H.J., KIM J.S., LIM J.H., HUH Y. Detection of Wrapping Defects by a Machine Vision and this Application to Evaluate the Wrapping Quality of the Ring Core Spun Yarn. *Textile Research Journal* (2009), Vol. 79, No. 17, 1616-1624.
- [8] CALVALHO V., MONTERIO J. L., SOARES F. O., VASCONCELOS R. M. Yarn Evenness Parameters Evaluation: A New Approach. *Textile Research Journal* (2008), Vol. 78, No. 2, 119-127.
- [9] LIEN H. C., LEE S. A Method of Feature Selection for Textile Yarn Grading Using the Effective Distance Between Clusters. *Textile Research Journal* (2002), Vol. 72, No. 10, 870.
- [10] ASTM D2255. Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance.
- [11] KREJČÍ J., PTÁČEK L., AL-DOURI A. *Československá státní norma 80 0704*.

- [12] MILITKÝ J., KOVAČIČ V. *Zkoušení textilií: Vlastnosti přízí a nití, přednáška 8.* [online]. str. 29-31, [cit. 16.4.2012]. Dostupné na internetu http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20080514/ZKB_prednaska_8.pdf.
- [13] GONZALEZ R. C., WOODS R. E., EDDINS S. L. *Digital Image Processing Using Matlab.* Pub. 3rd edition. Pearson Prentice Hall. 2003. 609 pages. ISBN 0-13-008519-7.
- [14] NAVRÁTILOVÁ J. *Fúze obrazových dat dvou kamer pracujících na různých vlnových délkách.* [online]. 2008, [cit. 7.11.2011]. Dostupné na internetu http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/5026/n%C3%A1vratov%C3%A1_2008_dp.pdf?sequence=1.
- [15] HLAVÁČ V., SEDLÁČEK M. *Zpracování signálů a obrazů.* 3. vyd. České vysoké učení technické v Praze. 2009. ISBN 978-80-01-04442-1.
- [16] SOJKA E. *Digitální zpracování a analýza obrazů.* [online]. 2000, [cit. 5.11.2011]. Dostupné na internetu http://mrl.cs.vsb.cz/people/sojka/dzo/digitalni_obrazu.pdf.
- [17] HALOUNOVÁ L. *Zpracování obrazových dat.* 1. vyd. České vysoké učení technické v Praze. 2009. ISBN 978-80-01-04253-3.
- [18] MALÍNKOVÁ A., *Objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy.* Diplomová práce. TUL 2011.
- [19] HOLOTA R., FÍRT J. *Digitalizace a zpracování obrazů.* [online], 2002, [cit. 17.4.2012]. Dostupné na internetu <http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>.
- [20] HELP v prostředí programu *MATLAB.*
- [21] NECKÁŘ B. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů.* 1. vyd. TUL 1998. ISBN 80-7083-318-1.
- [22] MILITKÝ J., KŘEMENÁKOVÁ D., *Techniky řízení jakosti s aplikací v textilu.* [online], TUL, Fakulta Textilní, [cit. 18.4.2012]. Dostupné na internetu <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/japis.pdf>.

Seznam příloh

Zdrojové kódy vytvořených funkcí v prostředí programu *MATLAB* pro objektivní hodnocení vzhledu přízí srovnávací metodou pomocí etalonů jsou přiloženy v příloze 1 a na *CD*.

Zdrojový kód programu *HornuvPostup.m* pro subjektivní hodnocení vzhledu přízí pomocí Hornova postupu je přiložen na *CD*.

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

Příloha 1

Hlavní zdrojový kód Hlavni.m

```
clear,clc,close all
delete('tabulkaCharakteristik.xls')
warning('off','all');
cesta = 'etalony\jemnost50\';
obrazky = {'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F'};
grafPlocha = figure();
grafObvod = figure();
grafEccentricita = figure();
grafEkvivPrumer = figure();
grafOrientace = figure();
vsechnyParams = {};
gdata= [];

for Tobr = 1:6
    obrazkyTrid = NahrajObrazek ([cesta obrazky{Tobr} '.jpg' ]);
    prumernyPocetNopku = 0;
    [prumerVyrezu,params,prumernyPocetNopku]=VypoctiVyrez(obrazkyTrid,1,1,
    0.76);
    iS = IS(params);
    vsechnyParams{Tobr} = params;
    set(0,'CurrentFigure',grafPlocha);
    hold on
    errorbar( Tobr, iS.plochaXS(1), iS.plochaISx(2)-iS.plochaXS(1),
    iS.plochaISx(1)-iS.plochaXS(1), 'xr' );
    title ('IS pro plochu');
    xlabel ('Třidy příze');
    ylabel ('IS');
    set(0,'CurrentFigure',grafObvod);
    hold on
    errorbar( Tobr, iS.obvodXS(1), iS.obvodISx(2)-iS.obvodXS(1),
    iS.obvodISx(1)-iS.obvodXS(1), 'xr' );
    title ('IS pro obvod');
    xlabel ('Třidy příze');
    ylabel ('IS');
    set(0,'CurrentFigure',grafEccentricita);
    hold on
    errorbar( Tobr, iS.eccentricitaXS(1), iS.eccentricitaISx(2)-
    iS.eccentricitaXS(1), iS.eccentricitaISx(1)-iS.eccentricitaXS(1), 'xr' );
    title ('IS pro eccentricitu');
    xlabel ('Třidy příze');
    ylabel ('IS');
    set(0,'CurrentFigure',grafEkvivPrumer);
    hold on
    errorbar( Tobr, iS.ekvivalentniPrumerXS(1), iS.ekvivalentniPrumerISx(2)-
    iS.ekvivalentniPrumerXS(1), iS.ekvivalentniPrumerISx(1)-
    iS.ekvivalentniPrumerXS(1), 'xr' );
    title ('IS pro ekvivalentní průměr');
    xlabel ('Třidy příze');
    ylabel ('IS');
    set(0,'CurrentFigure',grafOrientace);
    hold on
    errorbar( Tobr, iS.orientaceXS(1), iS.orientaceISx(2)-iS.orientaceXS(1),
    iS.orientaceISx(1)-iS.orientaceXS(1), 'xr' );
    title ('IS pro orientaci');
    xlabel ('Třidy příze');
    ylabel ('IS');
    currparams = vsechnyParams{Tobr};
    zaplnenil =(currparams{1,6});
    gdata = [gdata; Tobr zaplnenil];
end

figure(100), plot(gdata(:,2),gdata(:,1),'ob',
'LineWidth',1,'MarkerFaceColor','b','MarkerSize',4),hold on
```

```

a=polyfit(gdata(:,2),gdata(:,1),2);
xx=0:0.001:max(gdata(:,1));
yy=polyval(a,xx);
plot(xx,yy,'r')

%%%%%% Zařazení jednotlivých vzorků příze do příslušných tříd etalonů %%%%%%
rrr=1;sss=1;
I=imread('vzorky\jemnost50\vzorek14.png');
I=rgb2gray(I);
I = histeq(I);
figure,imshow(I,[])
[oknoy oknox]=size(I);
rectangle('Position',[sss rrr oknox-1 oknoy-1],'EdgeColor','r','LineWidth',2)
Ic=I(rrr:rrr+oknoy-1,sss:sss+oknoy-1);
figure,imshow(Ic,[])
kalibraceMM = (2.54/300)*10;
[rrrr ssss]=size(Ic);
rrrr = rrrr * kalibraceMM;
ssss = ssss * kalibraceMM;
plochaVyrezu=rrrr*ssss;
F=fftshift(fft2(double(Ic))); % Fourierova transformace
S=mat2gray(log(1+abs(F))); % frekvenční spektrum
% figure,imshow(S,[])
P=im2bw(S,0.73);
% figure,imshow(P,[])
[r c]=find(P==1);
R=zeros(size(Ic));
R(r,c)=F(r,c);
R=ifft2(ifftshift(R)); % inverzní Fourierova transformace
R=mat2gray(real(R)); % převedení obrazu do stupňů šedi z matice
T=F;
T(r,c)=0;
T=ifft2(ifftshift(T)); % inverzní Fourierova transformace
T=mat2gray(real(T)); % převedení obrazu do stupňů šedi z matice
M=medfilt2(T, [5 5]); % mediánový filtr s maskou 5 x 5
% figure,imshow(M,[])
IM=im2bw(M,0.75);
invmatice = ~im2bw(R,0.51);
prahovani = IM&invmatice;
matice2 = T.*invmatice;
% figure,imshow(matice2);
IM=imclearborder(IM); % odstranění objektů, zasahujících do hran
obrazu
IMM=bwareaopen(IM,4);
BWL=bwlabel(IMM); % oindexování objektů
parametre=regionprops(BWL,'Area','Centroid','Perimeter','EquivDiameter','Eccentricity','Orientation');
N=max(BWL(:)); % počet objektů
C=round(cat(1, parametre.Centroid));
IG=Ic;IG(:,:,2)=Ic;IG(:,:,3)=Ic;

for k=1:N
    IG(C(k,2),C(k,1),1)=0;
    IG(C(k,2),C(k,1),2)=255;
    IG(C(k,2),C(k,1),3)=0; % označení těžiště zelenou barvou
End

SE=[0 1 0;1 1 1;0 1 0];
IM2=imerode(IMM,SE); % eroze
RR=IMM-IM2;
figure,imshow(RR,[])
[r c]=find(RR==1);

for i=1:length(c)
    IG(r(i),c(i),1)=255;
    IG(r(i),c(i),2)=0;
    IG(r(i),c(i),3)=0; % označení obvodu objektů červenou barvou
end

```

```

figure,imshow(IG,[])
Dl=N/(size(IG,1)*size(IG,2));

        %%%%%%%%%%% Charakteristiky objektů %%%%%%%%%%%
plocha = cat(1, parametre.Area);                % plocha objektů v px
plocha = plocha * kalibraceMM;                  % plocha objektů v mm
sumPlocha = sum(plocha);
obvod = cat(1, parametre.Perimeter);           % obvod objektů v px
obvod = obvod * kalibraceMM;                   % obvod objektů v mm
eccentricita = cat(1, parametre.Eccentricity);  % excentricita objektů
ekvivalentniPrumer = cat(1, parametre.EquivDiameter); % ekvivalentní průměr ob.
orientace = cat(1, parametre.Orientation);      % orientace objektů
tvarovyFaktor = (obvod./(pi.*(ekvivalentniPrumer))); % tvarový faktor objektů
zaplneni = sum(plocha)/plochaVyrezu;           % plošné zaplnění objektů

        %%%%%%%%%%% Statistické charakteristiky objektů %%%%%%%%%%%
mA = median (plocha);
mP = median (obvod);
mEc = median (eccentricita);
mEq = median (ekvivalentniPrumer);
mO = median (orientace);
mTf = median (tvarovyFaktor);
[xA,sA,ISAx,ISAs] = normfit(plocha);
[xP,sP,ISPx,ISPs] = normfit(obvod);
[xEc,sEc,ISEcx,ISEcs] = normfit(eccentricita);
[xEq,sEq,ISEqx,ISEqs] = normfit(ekvivalentniPrumer);
[xO,sO,ISOx,ISOs] = normfit(orientace);
[xTf,sTf,ISTfx,ISTfs] = normfit(tvarovyFaktor);
        %%%%%%%%%%%

X=polyval(a,zaplneni);
figure(100),plot(zaplneni,X,'og',
'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',8);
plottext= ['y = ' num2str(a(1)) 'x^2+' num2str(a(2)) 'x+' num2str(a(3))];
text( 0.0025,6.5, plottext,'FontSize',12, 'FontAngle','italic',
'FontName','times new roman');
axis([0 0.054 0 8]);
xlabel('Plošné zaplnění [-]', 'FontSize',12, 'FontAngle','italic',
'FontName','times new roman');
ylabel('Třídy příze', 'FontSize',12, 'FontAngle','italic', 'FontName','times
new roman');
set(gca,'FontSize',12, 'FontName','times new roman')

```

Zdrojový kód pro funkci NahrajObrazek.m

```

function [ obrazek ] = NahrajObrazek( jmenoSouboru )

obrazek = imread(jmenoSouboru);
obrazek1 = rgb2gray(obrazek);
obrazek = histeq(obrazek1);                % ekvalizace histogramu
%figure, imshow (obrazek, []);
histogram1 = imhist(obrazek1,256);
histogram1 = histogram1/max(histogram1);
bar(0:(1/256):1-1/256, histogram1);
axis([0 1 0 1]);
xlabel('Hodnoty úrovní jasu', 'FontSize',14, 'FontName','times new roman',
'FontAngle','italic');
ylabel('Četnost pixelů stupnice šedi', 'FontSize',14, 'FontName','times new
roman', 'FontAngle','italic');
set(gca,'FontSize',14, 'FontName','times new roman');
histogram2 = imhist(obrazek,256);
histogram2 = histogram2/max(histogram2);
bar(0:(1/256):1-1/256, histogram2);
axis([0 1 0 1]);
xlabel('Hodnoty úrovní jasu', 'FontSize',14, 'FontName','times new roman',
'FontAngle','italic');
ylabel('Četnost pixelů stupnice šedi', 'FontSize',14, 'FontName','times new
roman', 'FontAngle','italic');

```

```
set(gca, 'FontSize',14, 'FontName','times new roman');
end
```

Zdrojový kód pro funkci VypocetPozicVyrezu.m

```
function [ velikost, pozice ] = VypocetPozicVyrezu(vyska, sirka,pocetVyrezuX,
pocetVyrezuY)

vyrezyX = sirka/pocetVyrezuX;           % počet výřezů na ose x
vyrezyY = vyska/pocetVyrezuY;         % počet výřezů na ose y
velikost(1) = vyrezyY;
velikost(2) = vyrezyX;

pozice = [];

for y = 1:pocetVyrezuY
    for x = 1:pocetVyrezuX
        pozice = [pozice; vyrezyY*(y-1)+1,vyrezyX*(x-1)+1 ];
    end
end
end
```

Zdrojový kód pro funkci VypoctiVyrez.m

```
function [ dataPrumer, params, prumernyPocetNopku] = VypoctiVyrez( obrazek,
pocetVyrezuX, pocetVyrezuY, prahBW )

rozliseni = 300;
kalibraceMM = (2.54/rozliseni)*10;
dataPrumer = [];
params = [];
[v s] = size(obrazek);
obrfig = figure; imshow(obrazek, []);
obrfig2 = figure; imshow(obrazek, []);

[velikost, pozice] = VypocetPozicVyrezu( size(obrazek,1), size(obrazek,2),
pocetVyrezuX, pocetVyrezuY );
data2 = {'Počet' 'Zaplnění' 'Plocha p.' 'Plocha m.' 's' 'IS' 'Obvod p.' 'Obvod
m.' 's' 'IS' 'Ekvivalentní průměr p' 'Ekvivalentní průměr m' 's' 'IS'
'Excentricita p' 'Excentricita m' 's' 'IS' 'Orientace p' 'Orientace m' 's'
'IS' 'Tvar.Faktor p' 'Tvar.Faktor m' 's' 'IS'};

for j = 1:size(pozice,1)

    [v s] = size(obrazek);
    pozicex = pozice(j,1);
    pozicey = pozice(j,2);
    % velikostnahodnehookna = 350;
    % pozicey = round(unifrnd(1,s - velikostnahodnehookna));
    % pozicex = round(unifrnd(1,v - velikostnahodnehookna));
    % velikost(1) = velikostnahodnehookna;
    % velikost(2) = velikostnahodnehookna;

    set(0, 'CurrentFigure', obrfig2);
    rectangle('Position', [pozicey pozicex velikost(2)-1 velikost(1)-1],
'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 1);
    set(0, 'CurrentFigure', obrfig);
    vyrez = imcrop(obrazek, [pozicey pozicex velikost(2)-1 velikost(1)-1]);
    % figure, imshow (vyrez);
    [rr ss] = size(vyrez);
    rr = rr * kalibraceMM;
    ss = ss * kalibraceMM;
    plochaVyrezu = rr*ss;
    [parametry,pocetNopku(j)] = ParamVyrezu(vyrez, prahBW);
end
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Charakteristiky objektů %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
plocha = cat(1, parametry.Area); % plocha objektů v px
plocha = plocha * kalibraceMM; % plocha objektů v mm
plochaSum = sum(plocha);
obvod = cat(1, parametry.Perimeter); % obvod objektů v px
obvod = obvod * kalibraceMM; % obvod objektů v mm
eccentricita = cat(1, parametry.Eccentricity); % excentricita obj.
ekvivalentniPrumer = cat(1, parametry.EquivDiameter); % ekviv. průměr obj.
ekvivalentniPrumer = ekvivalentniPrumer * kalibraceMM;
orientace = cat(1, parametry.Orientation); % orientace objektů
tvarovyFaktor = (obvod./(pi.*(ekvivalentniPrumer))); % tvarový faktor obj.
zaplneni = sum(plocha)/plochaVyrezu; % plošné zaplnění obj.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Statistické charakteristiky %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
mA = median (plocha);
mP = median (obvod);
mEc = median (eccentricita);
mEq = median (ekvivalentniPrumer);
mO = median (orientace);
mTf = median (tvarovyFaktor);
[xA,sA,ISAx,ISAs] = normfit(plocha);
[xP,sP,ISPx,ISPs] = normfit(obvod);
[xEc,sEc,ISEcx,ISEcs] = normfit(eccentricita);
[xEq,sEq,ISEqx,ISEqs] = normfit(ekvivalentniPrumer);
[xO,sO,ISOx,ISOs] = normfit(orientace);
[xTf,sTf,ISTfx,ISTfs] = normfit(tvarovyFaktor);
MinA = min(plocha);
MaxA = max(plocha);
MinP = min(obvod);
MaxP = max(obvod);
MinEc = min(eccentricita);
MaxEc = max(eccentricita);
MinEq = min(ekvivalentniPrumer);
MaxEq = max(ekvivalentniPrumer);
MinO = min(orientace);
MaxO = max(orientace);
MinTf = min(tvarovyFaktor);
MaxTf = max(tvarovyFaktor);

minMax = struct('plochaMin', MinA, 'plochaMax', MaxA, 'obvodMin', MinP,
'obvodMax', MaxP, 'eccentricitaMin', MinEc, 'eccentricitaMax', MaxEc,
'ekvivalentniPrumerMin', MinEq, 'ekvivalentniPrumerMax', MaxEq,
'orientaceMin', MinO, 'orientaceMax', MaxO, 'tvarFaktorMin', MinTf,
'tvarFaktorMax', MaxTf);
IS=struct('plochaXS', [xA, sA], 'plochaISx', ISAx, 'plochaISs', ISAs,
'obvodXS', [xP, sP], 'obvodISx', ISPx, 'obvodISs', ISPs,
'eccentricitaXS', [xEc, sEc], 'eccentricitaISx', ISEcx,
'eccentricitaISs', ISEcs, 'ekvivalentniPrumerXS', [xEq, sEq],
'ekvivalentniPrumerISx', ISEqx, 'ekvivalentniPrumerISs', ISEqs,
'orientaceXS', [xO, sO], 'orientaceISx', ISOx, 'orientaceISs', ISOs,
'Qxs', [xTf, sTf], 'QISx', ISTfx, 'QISs', ISTfs);

params{j,1} = parametry;
params{j,2} = minMax;
params{j,3} = IS;
params{j,4} = pocetNopku(j);
params{j,5} = tvarovyFaktor;
params{j,6} = zaplneni;
params{j,7} = plochaSum;

data2 = [data2; {num2str(pocetNopku(j)), num2str(zaplneni), num2str(xA),
num2str(mA), num2str(sA), [num2str(ISAx(1)), ',', num2str(ISAx(2))]},
num2str(xP), num2str(mP), num2str(sP),
[num2str(ISPx(1)), ',', num2str(ISPx(2))]}, num2str(xEq), num2str(mEq),
num2str(sEq), [num2str(ISEqx(1)), ',', num2str(ISEqx(2))]}, num2str(xEc),
num2str(mEc), num2str(sEc), [num2str(ISEcx(1)), ',', num2str(ISEcx(2))]},
num2str(xO), num2str(mO), num2str(sO), [num2str(ISOx(1)), ',', num2str(ISOx(2))]},

```



```
num2str(xTf), num2str(mTf), num2str(sTf), [num2str(ISTfx(1)), ',', num2str(ISTfx(2)) ] ]];
```

```
end
```

```
prumernyPocetNopku = ceil(mean( pocetNopku(1,:) ));
prumernyPocetNopku = ceil(mean( pocetNopku(1,:) ));
xlswrite('tabulkaCharakteristik.xls', data2);
```

```
end
```

Zdrojový kód pro funkci ParamVyrezu.m

```
function [ parametre,pocetNopku] = ParamVyrezu( obrazek, prahBW )

prah1 = 0.73;
prah2 = prahBW;
rozliseni = 300;
kalibraceMM = (2.54/rozliseni)*10;

fourierovaTransformace = fftshift(fft2(double(obrazek)));
%figure,imshow(fourierovaTransformace, [])
frekvencnispektrum = mat2gray(log(1+abs(fourierovaTransformace)));
% figure,imshow(frekvencnispektrum, [])
binarniObraz = im2bw(frekvencnispektrum, prah1);
% figure,imshow(binarniObraz, [])
[r c]=find(binarniObraz==1);
matice = zeros(size(obrazek));
matice(r,c) = fourierovaTransformace(r,c);
matice = ifft2(ifftshift(matice));
% figure,imshow(matice, [])
matice = mat2gray(real(matice));
% figure,imshow(matice, []);
imwrite(matice, 'teloPrize.bmp', 'bmp');

[ prumerDelka, roztecMM ] = RoztecPrize(matice, 0.55);

transformace = fourierovaTransformace;
transformace(r,c) = 0;
transformace = ifft2(ifftshift(transformace));
% figure,imshow(transformace, []);
transformace = mat2gray(real(transformace));
medianovyFiltr = medfilt2(transformace, [5 5]);
% figure,imshow(medianovyFiltr, [])
prahovani = im2bw(medianovyFiltr, prah2);
% figure,imshow(prahovani, [])
invmatice = ~im2bw(matice, 0.51);
prahovani = prahovani&invmatice;
maticel = transformace.*invmatice;
%figure,imshow(maticel);
prahovani = imclearborder(prahovani);
%figure,imshow(prahovani, [])
imwrite(prahovani, 'objektyPrahovani.bmp', 'bmp');
hledaniObjektu = bwareaopen(prahovani, 4);
%figure,imshow(hledaniObjektu, [])
oznaceniObjektu = bwlabel(hledaniObjektu);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Charakteristiky objektů %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
parametre = regionprops(oznaceniObjektu, 'Area', 'Centroid', 'Perimeter',
'EquivDiameter', 'Eccentricity', 'Orientation');
pocetNopku = max(oznaceniObjektu(:));
figure,imshow(obrazek);
CC = round(cat(1, parametre.Centroid));

for k = 1:pocetNopku
    line([CC(k,1)-2 CC(k,1)]+2, [CC(k,2)-2 CC(k,2)+2], 'Color', 'g',
'LineWidth', 2)
end
```

```

SE = [0 1 0;1 1 1;0 1 0];
IM2 = imerode(hledaniObjektu,SE); % eroze
RR = hledaniObjektu-IM2;
[y x]= find(RR==1);

for i=1:length(x)
    line([x(i) x(i)], [y(i) y(i)], 'Color', 'r')
end

end

```

Zdrojový kód pro funkci RoztecPrize.m

```

function [ prumerDelka, roztecMM ] = RoztecPrize( matice, prah )

rozliseni = 300;
kalibraceMM = (2.54/rozliseni)*10;

teloPrize = im2bw(matice, prah);
figure, imshow(teloPrize, []);

pocetvz = 0; celkovavzdalenost = 0; delka = 0;

for jjjj = size(teloPrize,1)
    VsechnyRadky = teloPrize(jjjj,:);
    start = 0;

    for iiii = 2:length(VsechnyRadky)
        if (VsechnyRadky(iiii-1)==1 && VsechnyRadky(iiii)==0)
            start = 1;
        end

        if (VsechnyRadky(iiii-1)==0 && VsechnyRadky(iiii)==1)
            start = 0;
            celkovavzdalenost = celkovavzdalenost + delka;
            pocetvz = pocetvz + 1;
            delka = 0;
        end

        if( start == 1 )
            if( VsechnyRadky(iiii)==0 )
                delka = delka+1;
            end
        end
    end

end

prumerDelka = celkovavzdalenost/pocetvz; % průměrná rozteč navinuté příze v px
roztecMM = prumerDelka*kalibraceMM; % průměrná rozteč navinuté příze v mm
disp(roztecMM);

end

```

Zdrojový kód pro funkci IS.m

```

function [ intervalSpolehlivosti ] = IS( params )

plochaXS = 0; plochaISx = 0;
obvodXS = 0; obvodISx = 0;
eccentricitaXS = 0; eccentricitaISx = 0;
ekvivalentniPrumerXS = 0; ekvivalentniPrumerISx = 0;
orientaceXS = 0; orientaceISx = 0;

for prumerIS = 1:size(params,1)
    plochaXS = plochaXS + params{prumerIS, 3}.plochaXS;

```

```

plochaISx = plochaISx + params{prumerIS, 3}.plochaISx;
obvodXS = obvodXS + params{prumerIS, 3}.obvodXS;
obvodISx = obvodISx + params{prumerIS, 3}.obvodISx;
eccentricitaXS = eccentricitaXS + params{prumerIS, 3}.
eccentricitaXS;
eccentricitaISx = eccentricitaISx + params{prumerIS, 3}.
eccentricitaISx;
ekvivalentniPrumerXS = ekvivalentniPrumerXS + params{prumerIS, 3}.
ekvivalentniPrumerXS;
ekvivalentniPrumerISx = ekvivalentniPrumerISx + params{prumerIS,
3}.ekvivalentniPrumerISx;
orientaceXS = orientaceXS + params{prumerIS, 3}.orientaceXS;
orientaceISx = orientaceISx + params{prumerIS, 3}.orientaceISx;

end

plochaXS = plochaXS ./ size(params,1);
plochaISx = plochaISx ./ size(params,1);
obvodXS = obvodXS ./ size(params,1);
obvodISx = obvodISx ./ size(params,1);
eccentricitaXS = eccentricitaXS ./ size(params,1);
eccentricitaISx = eccentricitaISx ./ size(params,1);
ekvivalentniPrumerXS = ekvivalentniPrumerXS ./ size(params,1);
ekvivalentniPrumerISx = ekvivalentniPrumerISx ./ size(params,1);
orientaceXS = orientaceXS ./ size(params,1);
orientaceISx = orientaceISx ./ size(params,1);

intervalSpolehlivosti = struct('plochaXS', plochaXS, 'plochaISx', plochaISx,
'obvodXS', obvodXS, 'obvodISx', obvodISx, 'eccentricitaXS', eccentricitaXS,
'eccentricitaISx', eccentricitaISx, 'ekvivalentniPrumerXS',
ekvivalentniPrumerXS,
'ekvivalentniPrumerISx', ekvivalentniPrumerISx, 'orientaceXS', orientaceXS, 'orien
taceISx', orientaceISx);

end

```