

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra hodnocení textilií

Obor: Management jakosti



Hodnocení žmolkovitosti na základě 3D rekonstrukce obrazu textilií s využitím gradientních polí

Evaluation of pilling based on 3D reconstruction of fabric image with using gradient fields method

KHT – 211

Autor diplomové práce: Michal Kabátek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lenka Techniková

Rozsah práce:

Počet stran: 92

Počet příloh: 2

Počet obrázků: 42

Počet tabulek: 15

Prohlášení

Byl jsem seznámen 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 vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 24. 5. 2013

.....

podpis

vložit zadání originál

Poděkování

Děkuji své vedoucí diplomové práce Ing. Lence Technikové za odborné vedení, cenné rady, neuvěřitelnou trpělivost a veškerý čas, který mi věnovala. Dále děkuji svým nejbližším za podporu při psaní diplomové práce.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá objektivním hodnocením žmolkovitosti textilních materiálů na základě 3D rekonstrukce povrchu textilie s využitím metody gradientních polí. Základem 3D rekonstrukce povrchu textilie je sada 4 obrazů pro každý vzorek, které byly v temné komoře za umělého osvětlení ze čtyř stran nasvíceny a nasnímány. Obrazy byly předzpracovány a následně se podle Frankot – Chellapova algoritmu provedl výpočet hodnot gradientních polí na jejichž základě vznikla 3D rekonstrukce povrchu textilie. Následná detekce žmolků byla založena na technikách zpracování obrazu v prostředí softwaru MATLAB. Globálním prahováním se v obraze segmentovaly žmolky od pozadí. Následně byly morfologickými operacemi upraveny tvary detekovaných žmolků v obraze. Z naměřených charakteristik žmolkovitosti, které měly nejvyšší koeficienty determinace, jako je počet žmolků, celková plocha žmolků, hustota D_1 a hustota D_2 bylo provedeno kvantitativní hodnocení žmolkovitosti. Stupeň žmolkovitosti byl automaticky určen z rovnic lineární regrese daných charakteristik. V závěru práce je porovnána objektivní metoda se subjektivní a dvě různé metody objektivního hodnocení.

Klíčová slova: žmolkovitost, charakteristiky žmolkovitosti, obrazová analýza, 3D rekonstrukce povrchu textilií, gradientní pole, subjektivní a objektivní hodnocení žmolkovitosti materiálu

Annotation

This diploma thesis deals with objective evaluation of textile pilling based on 3D surface reconstruction using the gradient fields method. The 3D surface reconstruction is based on four images, which were taken in the dark room with artificial lightning from four sides. Images were preprocessed and Frankot – Chellappa algorithm was applied, that had calculated values of gradient fields and based on these reconstructed the fabric 3D image. Pill detection was done using image analysis tools in the application MATLAB. Pills on the surface were separated from the fabric background using global thresholding. Morphological operations were used to detect pills from in the image and calculated their characteristics. Four main characteristics were chosen based on the determination coefficient – quantity of pills, total pill area, density D_1 and density D_2 . The pilling grade was automatically calculated from linear regression equations. In the conclusion values from objective and subjective evaluations are compared together with other objective methods.

Keywords: fabric pilling, pilling characteristics, image analysis, 3D surface reconstruction of fabrics, gradient field, subjective and objective pilling evaluation

Obsah

1	Úvod	9
2	Souhrn současné situace	10
3	Žmolkovitost.....	14
3.1	Princip vzniku žmolků	14
3.2	Faktory ovlivňující vznik žmolků	16
3.3	Snižování žmolkovitosti	18
3.4	Metody stanovení žmolkovitosti a subjektivní hodnocení	18
3.5	Přístroj Martindale	19
3.6	Komorový žmolkový přístroj	21
4	Digitální obraz.....	24
4.1	RGB obraz.....	25
4.2	Monochromatický obraz.....	26
4.3	Binární obraz	26
5	Obrazová sada vzorků.....	27
6	Subjektivní metoda hodnocení žmolkovitosti.....	29
7	Objektivní metoda hodnocení žmolkovitosti textilií.....	31
7.1	Způsob pořízení obrazu textilií	31
7.2	Obrazová analýza.....	32
7.2.1	Postup předzpracování a zpracování obrazu	32
7.2.2	Jasové korekce a transformace obrazu.....	33
7.3	3D rekonstrukce povrchu textilií pomocí metody gradientních polí.....	37
7.3.1	Filtrace 3D obrazu.....	40
7.4	Detekce žmolků v 3D obraze textilií	41
7.5	Morfologické operace.....	43
7.6	Charakteristiky žmolkovitosti.....	47
7.6.1	Počet žmolků.....	48
7.6.2	Velikost žmolků	49
7.6.3	Hustota žmolkovitosti	50
7.6.4	Kontrast.....	52
7.7	Extrakce tvaru žmolků	53
7.8	Vyhodnocení stupně žmolkovitosti	54

8	Objektivní vyhodnocení žmolkovitosti.....	59
8.1	Diskuze k výsledkům.....	59
8.2	Porovnání výsledků objektivního a subjektivního hodnocení.....	69
8.3	Porovnání výsledků různých metod	72
9	Závěr	76
10	Literatura	78
	Seznam příloh.....	80

Seznam použitých symbolů

SFS	Shape for Shading
PS	Photo Stereovision
CCD	CCD – Charged Coupled Device – zařízení s vázanými náboji
α	Alfa – výpočet alfa povrchu
ISO	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro standardizaci
ASTM	American Society for Testing and Materials – Americká společnost pro testování a materiály
$f(x, y)$	Obrazová funkce
dpi	Dots per inch – počet bodů na palec
RGB	Barevný obraz R – red, G – green, B – blue
M	Počet řádků obrazové matice
N	Počet sloupců obrazové matice
r	Row – řádek matice
c	Column – sloupec matice
D_o	Dostava osnovy
D_u	Dostava útku
PAN	Polyakrylnitrát
PES	Polyester
h	Velikost Gaussova filtru
σ	Sigma – směrodatná odchylka filtru
n_1, n_2	Souřadnice pixelů
P	Parametr velikosti žmolku
N	Počet žmolků v obraze
S	Plocha vzorku
x, y	Souřadnice pixelů
x_i	Poloměr kružnice x_i
r_i	Poloměr kružnice r_i
g_p	Průměrný kontrast žmolku
g_b	Průměrný kontrast okolí žmolku
G	Celkový kontrast
C	Kruhovitost
S_i	Plocha žmolku
O_i	Obvod žmolku

1 Úvod

Žmolkovitost je negativní vlastnost vyskytující se na povrchu textilních materiálů, která přímo ovlivňuje kvalitu materiálu. Vlivem zpracování a běžného používání textilního materiálu dochází k uvolnění vláken. Tato vlákna se začnou vytahovat z textilie a zaplétat do dalších vláken ve svém okolí, ze kterých postupně vznikají na povrchu materiálu žmolky. Velikosti žmolků vyskytujících se na povrchu textilního materiálu mají poměrně malé rozměry a lidským okem jsou některé jen těžce viditelné, natož přesně měřitelné.

V textilním průmyslu se dnes nejčastěji používá hodnocení žmolkovitosti subjektivní metodou, které je založeno na porovnávání vzorků s fotografickými etalony. Vzhledem k individuálnímu přístupu každého hodnotitele je možné dojít ke zcela odlišným výsledkům hodnocení žmolkovitosti stejného vzorku textilie. Proto je snaha přejít k objektivnímu hodnocení žmolkovitosti, které je schopno eliminovat lidskou chybu a zajistit reprodukovatelnost výsledků. Ve většině případů se pro objektivní hodnocení žmolkovitosti využívají techniky zpracování obrazu a obrazová analýza realizovaná pomocí různých softwarů. Výhodou obrazové analýzy jsou velmi přesné údaje o detekovaných žmolcích. Jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti, jako například plocha, obvod, kontrast či hustota, jsou velmi přesně měřitelné pomocí obrazové analýzy, na rozdíl od subjektivní metody, kdy lidské oko není schopno rozeznat a přesně vyhodnotit tyto veličiny.

Hlavním cílem této práce je vytvořit algoritmus pro objektivní a automatické hodnocení žmolkovitosti textilií s různými vazbami, vzory a barvami. Prvním krokem v této práci bude 3D rekonstrukce povrchu textilie se žmolky na základě sady 4 obrazů pomocí metody gradientních polí. Ve vytvořeném 3D obraze je možné pomocí globálního prahování segmentovat žmolky od pozadí. Následně v binárním obraze s detekovanými žmolky budou vypočteny jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti. Podle výsledků všech charakteristik bude vzorku automaticky na základě algoritmu přiřazen stupeň žmolkovitosti. V závěrečné části budou vyhodnoceny výsledky objektivního hodnocení v porovnání s výsledky subjektivního hodnocení žmolkovitosti.

2 Souhrn současné situace

V rámci hodnocení žmolkovitosti v textilním průmyslu se stále nejběžněji používá subjektivní hodnocení žmolkovitosti. Počátkem 90. let minulého století se začaly rozvíjet metody objektivního hodnocení žmolkovitosti pomocí obrazové analýzy. Využitím obrazové analýzy pro hodnocení žmolkovitosti se zabývá několik studií, jednotlivé metody se ovšem liší. Níže jsou stručně popsány studie zabývající se objektivním hodnocením žmolkovitosti.

Ve studii [1] se autoři zaměřili na hodnocení žmolkovitosti na základě technik zpracování digitálního obrazu. Předchozí studie autorů vyvinuly algoritmus, který dokázal detekovat žmolky na povrchu textilního materiálu. Na základě vytvořeného algoritmu autoři ve své práci detekovali žmolky, zároveň však zjišťovali vlastnosti žmolkovitosti jako je výška, povrch a objem. Toto jsou vlastnosti, které při subjektivním hodnocení nelze přesně stanovit. V této práci byla použita bavlněná textilie, která byla podrobena testu žmolkovitosti na stroji Martindale dle příslušné normy. Obrazy vzorků byly následně pořízeny pomocí skeneru. Po předzpracování obrazu byl aplikován Wienerův filtr ke snížení obrazového šumu. V obraze byly detekovány hrany podle Harrisova hranového detektoru, který zviditelněl vazné body a zároveň i vady na povrchu textilie – žmolky. Žmolky byly v obraze podstatně větší než vazné body. Dále se prahováním odfiltrovaly žmolky od povrchu textilie. Výsledným obrazem byla matice, která měla hodnoty 0 a 1, kde hodnota 1 reprezentuje objekty v obraze – žmolky a hodnota 0 reprezentuje pozadí – povrch textilie. Matice byla vynásobena původním obrazem a tato nová matice byla základem pro 3D obraz. Na základě získaného 3D obrazu byly hodnoceny zmíněné vlastnosti.

Využití obrazové analýzy jako nástroje pro objektivní hodnocení žmolkovitosti textilií shrnuje článek [2]. Jako základ pro získání obrazů textilií byl použit fotoaparát s CCD čipem, stativ a počítačový software. Obraz bylo zapotřebí vhodně předzpracovat, aby došlo k co nejpresnější detekci žmolků na povrchu textilie. Pro odstranění šumu z obrazu byla v této metodě využita Fourierova transformace. Z filtrovaného obrazu byly následně separovány žmolky prahováním monochromatického obrazu s vhodnou prahovou hodnotou. Dále se z binárního obrazu vypočítaly charakteristiky žmolkovitosti, na jejichž základě se stanovil stupeň žmolkovitosti.

Autoři práce [3] se zabývali objektivním hodnocením žmolkovitosti a stanovením dalších parametrů, jako jsou průměrná plocha žmolků, celková plocha žmolků, kontrast a hustota. Na komorovém žmolkovacím stroji byly připraveny vzorky zastupující všechny stupně žmolkovitosti. Vzorky byly uměle osvětleny, aby bylo zajištěno konstantní světlo po dobu snímání. Při předzpracování obrazu byl každý obraz oříznut a převeden do monochromatického obrazu. Nasvícené žmolky měly vyšší hodnotu jasu než povrch textilie. Porovnáním histogramu původního obrazu a obrazu po aplikování Gaussova filtru byla zvolena vhodná prahová hodnota. Vytvořený binární obraz byl základem pro výpočet již zmíněných charakteristik. Výsledky této metody se prokázaly jako přibližně přesné, ale metoda byla testována pouze na jednobarevných pleteninách.

Autoři ve své práci [4] o hodnocení žmolkovitosti aplikovali na textilní vzorky metodu edge flow. Tato metoda umožňuje detekovat hrany objektů – žmolků v obraze, kde hrany objektů jsou určeny pomocí edge flow vektorů. Edge flow vektory určují hranice objektů, zároveň ale obsahují i dodatečné informace, které byly použity při výpočtech množství, plochy a optického objemu žmolků. Při detekci žmolků byly použity morfologické operace, které odstranily šum a zvýraznily hrany objektů v obraze. Po převedení monochromatického obrazu na binární obraz byly zjištěny charakteristiky žmolků. Na základě zmíněných charakteristik byl určen stupeň žmolkovitosti vzorků. V 3D rekonstrukci obrazu textilie byla žmolkovitost ohodnocena metodou nejmenší vzdálenosti. Podle výsledků práce je tato metoda použitelná pro širokou škálu materiálů.

3D rekonstrukci povrchu textilií za použití dvou digitálních fotoaparátů a bez potřeby speciálního nasvícení představili autoři práce [5]. Cílem jejich práce bylo navrhnout jednoduché řešení, jak vytvořit 3D model textilie nezávislý na materiálu, struktuře a barvě. Správné umístění fotoaparátů a zpracování snímků z obou fotoaparátů bylo nezbytným požadavkem pro přesnost této metody. Fotoaparáty snímaly vzorek zhora, každý z jedné strany pod úhlem přibližně 13°. Obrazy z obou fotoaparátů byly poté pomocí softwaru sloučeny v jeden. Pro následné vyrovnaní modelu povrchu textilie do roviny a detekování žmolků testovaného materiálu bylo nutné najít optimální parametry, které žmolky separovaly od pozadí materiálu. Následně po detekci žmolků v obraze byly zjištěny jejich charakteristiky. Výsledky této metody jsou v rámci experimentu vcelku přesné a metoda je tedy aplikovatelná na různé druhy materiálů.

Studie [6] hodnotila žmolkovitost pletenin na základě barevného obrazu (*RGB*). Obraz *RGB* se skládá ze tří kanálů a každý z těchto kanálů byl samostatně prozkoumán a upraven operátorem. Veškeré úpravy byly provedeny na základě operátorova rozhodnutí. Upravené kanály byly sloučeny zpět do jednoho obrazu, kde při správných úpravách došlo ke zvýraznění žmolků na povrchu textilie. Zvýrazněné žmolky byly separovány od textilie prahováním. Získaný obraz byl použit ke zjištění vlastností žmolkovitosti. Pro použití v praxi by bylo nutné metodu aplikovat na větší množství vzorků a na jejich základě vytvořit algoritmus, který by celý proces zpracoval zcela automaticky.

Srovnáním výsledků objektivního a subjektivního hodnocení žmolkovitosti se zabývali autoři článku [7]. Cílem bylo zjistit, zda byla mezi těmito hodnoceními shoda a pokud ne, tak určit, kde se chyby vyskytly. Jako hodnotící faktor vybrali celkový objem žmolků. Referenční sada vzorků byla v laboratoři objektivně ohodnocena. Stejnou sadu vzorků ohodnotili specialisté v laboratoři za pomoci fotografických etalonů. Byla provedena důkladná analýza všech výsledků hodnocení, kde se autoři zaměřili zejména na vzorky, které měli hodnocení rozdílné o více než půl stupně. Ve sporných případech bylo objektivní hodnocení blíže hodnocení referenčnímu. Ze závěru této práce vyplynulo, že objektivní hodnocení bylo v tomto článku věrohodnější než hodnocení subjektivní.

3D rekonstrukcí povrchu objektů na základě metody gradientních polí se věnují autoři práce [8]. V této práci bylo navrženo řešení 3D rekonstrukce povrchu pro metody *Shade for Shading (SFS)* a *Photo Stereovision (PS)*, které při rekonstrukci povrchu potřebují znát odhad gradientního pole. Gradientní pole mají většinou nulové hodnoty, tzn. neintegrovatelné, a není možné zjistit zakřivení povrchu. Autoři navrhli algebraické řešení, které zvýšilo integrovatelnost nalezením zbytkového gradientního pole. Zbytkové gradientní pole a zakřivení tvoří lineární systém, díky kterému je možné dosáhnout přesnější rekonstrukce, jelikož lineární systém je možné integrovat. Řešení navržené autory v této studii opravilo zakřivení v nulových gradientních polích a byl vytvořen reálný model, na rozdíl od případů, kdy byly použity metody *SFS* a *PS*, které byly nepřesné zejména při výraznějších změnách v prostoru.

V další práci [9] navrhli autoři zcela jiný přístup k vytvoření 3D povrchu na základě metody gradientních polí. Navržen byl obecný výpočet rekonstrukce povrchu z neintegrovatelného gradientního pole. V rámci této práce byl použit Frankot-Chellappův algoritmus pro Poissonovo řešení integrovatelnosti gradientních polí, ale výsledky experimentu nebyly ovšem tak přesné. Práce byla založena na přiřazení různých vah gradientům v průběhu integrace. Použitím této metody bylo dosaženo značného zpřesnění při rekonstrukci povrchu. Práce navrhla a otestovala tři metody pro rekonstrukci povrchu, a to α – povrch, M – odhad a rozptylové tenzory. Všechny tři způsoby zrekonstruovaly povrch obrazu velmi dobře oproti Poissonovu řešení a Frankot-Chellapově metodě. Nejvěrohodnější obrazy byly zrekonstruovány pomocí α –povrchu a rozptylovými tenzory.

3 Žmolkovitost

Žmolkovitost je jev vyskytující se u většiny textilií, při kterém se v důsledku mechanického působení na povrchu textilií vytvářejí nevzhledné spleť vláken vyčnívající z povrchu – žmolky. Jedná se tedy o negativní vlastnost s následkem poruchy vzhledu textilií. Žmolkovitost je velmi komplikovaný proces, na který má vliv již počáteční zpracování příze. Žmolkovitost se projevuje u všech druhů vláken, nejčastěji se vyskytuje u syntetických vlákních, jelikož mají větší odolnost v ohybu a krutu, proto žmolky zůstávají na povrchu déle. Naopak přírodní materiály vzhledem k nižší odolnosti v ohybu a krutu žmolkují méně. To je způsobeno tím, že jejich vlákna se zlomí při namáhání dříve a dojde k rychlejšímu odpadnutí žmolků z povrchu materiálu.

3.1 Princip vzniku žmolků

Všechny textilie obsahují volná vlákna, která vyčnívají svou částí na povrch textilie. Vlivem tření, oděru, a dalších mechanických vlivů dochází k rozvláknění povrchu textilie. Tato rozvlákněná vlákna jsou prvotním stádiem při tvorbě žmolků. Vyčnívající vlákna se mezi sebou, či mezi vlákny z jiné textilie, ale i nečistotami z okolí, postupně zaplétají do sebe a vytvářejí tak žmolek. Žmolky nabývají na svém objemu pouze do určité úrovně. Tato úroveň nastává, když jsou uvolněná vlákna již zapletena ve žmolcích a žmolek již nemá další volná vlákna ve svém okolí. Podle vlastností materiálu vláken a velikosti namáhání při oděru či tření dochází následně k odpadnutí žmolků nebo jejich setrvání na povrchu. Model vzniku žmolků popsali autoři ve své práci [10]. Na obrázku 1 je uveden příklad modelu tvorby žmolků podle práce [10].

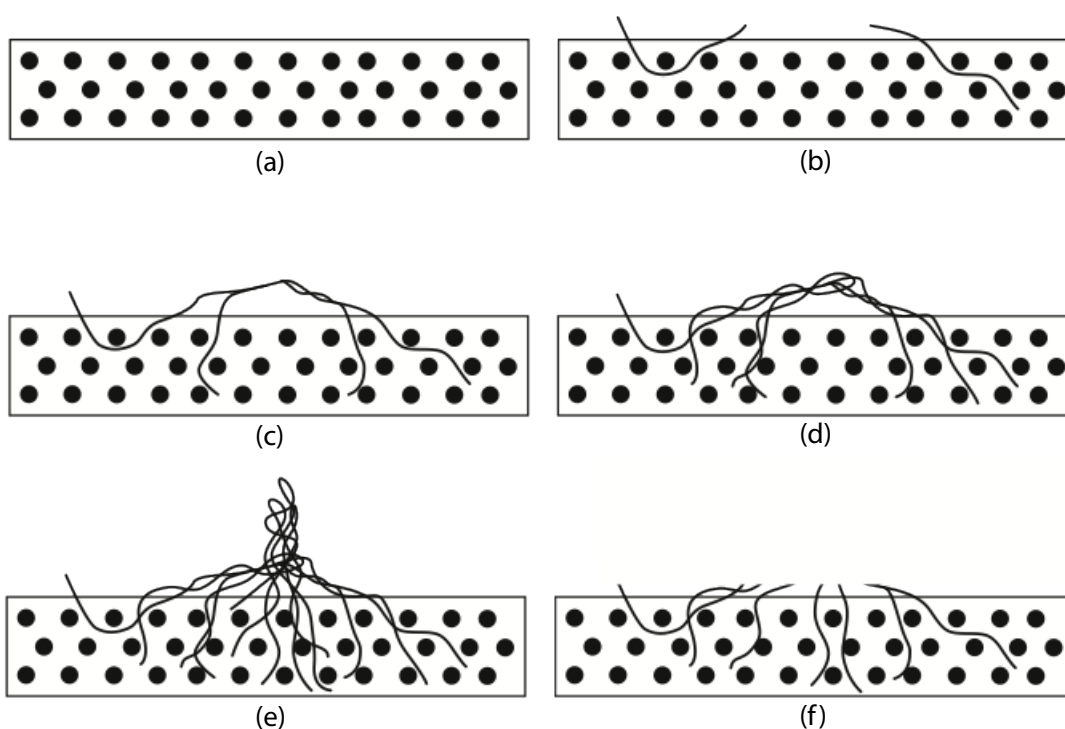


The diagram consists of a horizontal line. Below this line, there are several wavy lines and dots. The wavy lines are drawn in a way that they appear to be interacting with the dots. There are three distinct wavy lines, each starting from the left and moving towards the right. The dots are arranged in a somewhat regular pattern, with some dots appearing to be on the wavy lines and others below them. The overall impression is that of a physical system, possibly a fluid or a gas, with some external influence represented by the wavy lines.

15

Na obrázku 3 jsou znázorněny jednotlivé fáze vzniku žmolku, tak jak je popsal ve své práci Staněk [12]:

1. fáze – nerozvlákněný povrch textilie
2. fáze – rozvláknění povrchu a uvolňování vláken z textilie
3. fáze – zaplétání prvních vláken
4. fáze – počátek vzniku žmolku
5. fáze – vytvořený žmolek
6. fáze – odpadnutí žmolku



Obrázek 3 Jednotlivé fáze vzniku žmolku dle [12] a) nerozvlákněná textilie, b) rozvláknění povrchu a uvolňování vláken z textilie, c) zaplétání prvních vláken, d) počátek vzniku žmolku, e) vytvořený žmolek, f) odpadnutí žmolku.

3.2 Faktory ovlivňující vznik žmolků

Faktory, jež ovlivňují vznik žmolků, jsou zpravidla mechanické vlivy působící na textilii. Jde o velmi komplikované procesy, jelikož síly působící na materiál nejsou konstantní, všude stejné a působí zároveň nebo proti sobě. Některé vlastnosti vláken vedou k nižší žmolkovitosti, ale jen do určité fáze. Níže jsou popsány hlavní faktory ovlivňující žmolkovitost.

Tření

Tření v textilních materiálech je důležité pro soudržnost vláken v přízi. Velmi vysoké tření má ovšem za následek přetržení vláken. Pokud jsou třecí síly působící na vlákna větší než pevnost vláken, dojde k jejich přetržení. Tato přetržená vlákna pak mají tendenci se uvolňovat a vystupovat z textilie, následně začínají tvořit žmolky. Třecí síly působí též na již vzniklé žmolky a ovlivňují jejich životnost na povrchu textilie.

Pevnost, pružnost vláken

Žmolky z vláken s vysokou pevností a pružností ulpívají na povrchu textilií mnohem déle. Všeobecně lze říci, že žmolkovitost je menší u vláken s nižší pevností a pružností, jelikož dochází k dřívějšímu odpadnutí žmolku.

Odolnost vláken v ohybu

Nižší odolnost v ohybu a krutu vláken způsobuje rychlejší odpadnutí žmolků. Jedná se zejména o křehká přírodní vlákna jako je bavlna. Naopak vlákna s vysokou odolností v ohybu a krutu produkují mnohem dlouhodobější žmolky, které setrvávají na povrchu textilie podstatně déle. V tomto případě se jedná o umělá vlákna s vysokou tuhostí jako je například polyester či polyamid.

Tvar průřezu vlákna

Hladká vlákna jejichž průřez je kruhový – jednodušší – mají mnohem větší náchylnost k vytažení mimo přízi. Naopak vlákna s komplikovanějším průřezem vykazují horší vytažení z příze a tím pádem nedochází tak často k uvolňování vláken a následnému vzniku žmolků.

Délka vláken

Kratší vlákna se mnohem snadněji dostávají z přízi na povrch než ta delší, a jsou prvním krokem ke tvorbě žmolků.

Zákrut příze

Při zvýšení počtu zákrutů dochází k větší stejnoměrnosti příze. Během zpracování dochází k silnějšímu upevnění vláken, což má za následek menší počet volných vláken, snížení možnosti na vypletení volných vláken a zvýšení pevnosti příze.

3.3 Snižování žmolkovitosti

Vzniku žmolkovitosti se snaží mnoho výrobců předcházet již při výrobě a zpracování přízí a výrobě textilního materiálu. Žmolkovitost nelze kompletně odstranit, ale jsou určité metody, které ji dokáží ovlivnit a snížit.

Chemické modifikace – uplatňují se již na začátku výroby při přípravě polymeru. Použitím různých technologických operací je cílem snížit relativní molekulovou hmotnost, ta vede k nižší tuhosti vlákna.

Fyzikální modifikace – používají se ke změně zvlákňovacích a dloužících podmínek. Další modifikace se zaměřují na výrobu vláken nekruhového tvaru.

Technologické spojovací procesy – předení, tkaní a pletení. Zaměření na co nejvhodnější vlastnosti vláken při výrobě příze dle následného zpracování.

Úpravářenské modifikace – snaží se snížit počet vláken vystupujících z textilie na minimum, a to jejich postříhováním nebo opalováním, samozřejmě bez znehodnocení textilie. Materiál má delší užitnou dobu, jelikož žmolky se začnou objevovat na jeho povrchu později.

3.4 Metody stanovení žmolkovitosti a subjektivní hodnocení

V praxi je zjišťování žmolkovitosti časově náročné, a proto se ke žmolkování používají simulační metody. K simulaci oděru textilie se používají speciální přístroje, na kterých se dají v poměrně krátkém časovém úseku získat vzorky se žmolky. Pro tyto testy se používají dva přístroje, a to Martindale a komorový žmolkovací přístroj. Zkoušky na obou přístrojích se provádějí podle příslušných norem za určených podmínek. Nejčastěji se používají dva typy norem, a to evropské *ISO* a americké *ASTM*. Podstata obou typů norem je stejná, liší se pouze v drobných detailech, např. počet otáček nebo metoda hodnocení. Hodnocení žmolkovitosti na přístroji Martindale se řídí normami *ČSN EN ISO 12945* a *D4970*, na komorovém *ČSN 80 0838* a *D3512* [13], [14], [15], [16].

3.5 Přístroj Martindale

Nejběžněji používanějším přístrojem pro testování odolnosti proti žmolkovitosti textilií je přístroj Martindale. Kromě testování žmolkovitosti je na tomto stroji možné též testovat odolnost textilií proti oděru.

Zkušební přístroj se skládá ze tří hlavních částí – základní deska, vodící deska a držáky vzorků. Na základní desce jsou nainstalovány oděrací stoly, pohonný mechanismus a multifunkční panel. Pohonný mechanismus pohybuje vodící deskou s držáky podle Lissajousova obrazce. Pohon je zajištěn třemi jednotkami, z toho dvě vnější a jedna vnitřní. Poměr otáček mezi vnějšími jednotkami a vnitřní jednotkou je 16:15, což zaručuje návrat do výchozí polohy Lissajousova obrazce. Počty oděracích stolů se liší podle modelu. Každý oděrací stůl se skládá z oděracího stolu a upínacího rámečku. Vodící deska obsahuje 3 drážky pro čepy pohonných mechanismů, díky kterým je deska pohybována ve tvaru Lissajousova obrazce. Nad oděracími stoly jsou v desce umístěny otvory s ložisky pro volný pohyb držáků. Držáky vzorků se skládají z čepu, tělesa, závaží, vložky a upínacího kroužku. Závaží je nutné k vytvoření příslušného přitlaku, který působí na vzorky během zkoušky. Přístroj Martindale je znázorněn na obrázku 4. Vzorky pro testování žmolkovitosti na přístroji Martindale mají rozměr minimálně 140 mm v průměru nebo čtverec o straně 140 mm. Pro test žmolkovitosti jsou potřeba dva vzorky, jeden se upne do držáků a druhý na oděrací stůl. Vodící deska se vzorkem v držáku kopíruje Lissajousův vzorec na textilii na oděracím stole. Tím je zajištěn pohyb držáku po ploše vzorku ve všech směrech.

Testování na žmolkovitosti se řídí podle normy ČSN EN ISO 12947-2 [13]. Podle druhu materiálu jsou vzorky rozděleny do tří kategorií a každá má jiné parametry zkoušky, jak je popsáno v tabulce 1. Hodnocení vzorků probíhá pomocí fotografických etalonů, které jsou na zobrazeny na obrázku 6 (a). Stupně hodnocení žmolkovitosti jsou popsány v tabulce 2 a je možné vzorky hodnotit i mezistupňově.



Obrázek 4 Příklad přístroje Martindale.

Tabulka 1 Kategorie pro hodnocení žmolovitosti na stroji Martindale [13].

Kategorie	Druh textilie	Oděrací prostředek	Zatěžovací závaží [g]	Stádium hodnocení	Počet otáček
1	Potahová textilie	Vlněná oděrací textilie	415± 2	1	500
				2	1000
				3	2000
				4	2500
2	Tkaniny s výjimkou potahových	Zkoušená tkanina (líc/líc) nebo vlněná tkanina	415± 2	1	125
				2	500
				3	1000
				4	2000
				5	5000
				6	7000
3	Pleteniny s výjimkou potahovaných	Zkoušená pletenina (líc/líc) nebo vlněná tkanina	155± 1	1	125
				2	500
				3	1000
				4	2000
				5	5000
				6	7000

Tabulka 2 Stupně hodnocení žmolovitosti pro přístroj Martindale [13].

Stupeň	Slovní popis povrchové změny
5	Beze změn
4	Slabé žmolování, lehké rozvláknění
3	Střední žmolování, střední rozvláknění
2	Silné žmolování, silné rozvláknění
1	Velmi silné žmolování, velmi silné rozvláknění

3.6 Komorový žmolkovací přístroj

Základem komorového žmolkovacího přístroje jsou zkušební komory. Počet komor se liší dle typu přístroje. Komory mají průměr 146 mm a hluboké jsou 152 mm. Ve středu každé komory jsou upevněny dvě lopatky o délce 120 mm. Lopatky se otáčejí rychlostí 1200 otáček za minutu. Komora se vyloží korkem, který slouží jako oděrový povrch. Do každé komory se uloží 3 vzorky textilie o rozměru 110 mm x 110 mm. Úhlopříčka vzorku je ve směru osnovy nebo útku. Vzorky jsou po obvodu zapraveny obnitkovacím stehem, aby nedocházelo ke třepení okrajů. Společně se vzorky se do komory uloží 25 mg bavlněných vláken o délce přibližně 5 mm, které slouží ke zvýraznění žmolků. Komory se uzavřou a přístroj se spustí s nastaveným časovačem na 30 minut. Každý vzorek se hodnotí po 30, 60, 90 a 120 minutách, přičemž po každých 30 minutách se vzorky vyjmou z komory, oklepou, odstraní se z nich nečistoty, a komory se vyčistí vysavačem. Následně jsou vzorky vráceny zpět do komory a jsou vložena nová bavlněná vlákna. Po 60 minutách se opakuje stejný postup a korkové obložení je otočeno vnější stranou dovnitř. Korkové obložení je nutné použít nové po 120 minutách. Komorový přístroj je zobrazen na obrázku 5.

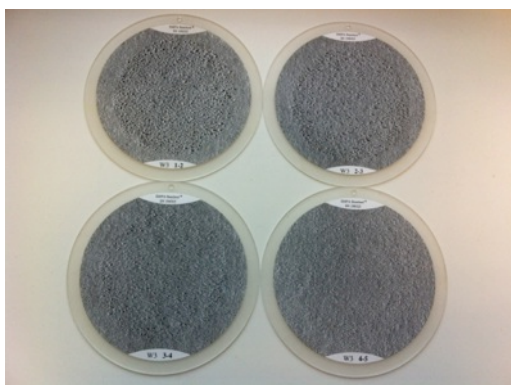
Vzhled povrchu textilií se hodnotí vizuálně a je vyjádřen stupněm odolnosti proti žmolkování a rozvláknění, viz tabulka 3. Vzorky jsou hodnoceny dvěma pracovníky nezávisle na sobě, celými stupni. Jako pomůcka při hodnocení žmolkovitosti slouží fotografické etalony. Fotografické etalony pro komorový přístroj jsou na obrázku 6 (b). Z šesti hodnot získaných z hodnocení 3 vzorků se vypočítá aritmetický průměr a zaokrouhlí se na celé číslo podle normy ČSN 01 1010. Tato hodnota se počítá pro každý interval zkoušky. Závěrem se provede zápis o zkoušce [12].



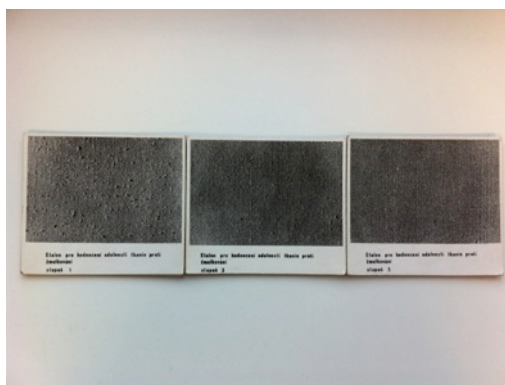
Obrázek 5: Komorový žmolkovací přístroj.

Tabulka 3 Stupně hodnocení žmolkovitosti pro komorový žmolkovací přístroj.

Odolnost proti žmolkování		Odolnost proti rozvláknění	
stupeň	slovní popis	stupeň	slovní popis
5	bez žmolků	5	žádné až nepatrné rozvláknění
4	nepatrné žmolkování	4	lehké rozvláknění
3	střední žmolkování	3	střední rozvláknění
2	silné žmolkování	2	silné rozvláknění
1	velmi silné žmolkování	1	velmi silné rozvláknění



(a)



(b)

Obrázek 6: Fotografické etalony pro přístroje Martindale (a), pro komorový žmolkovací přístroj (b).

4 Digitální obraz

Digitální obraz je dvourozměrná funkce $f(x,y)$, kde x a y jsou prostorové souřadnice. Amplituda f je intenzita jasu v daném bodě (x,y) . K získání digitálního obrazu je nutné souřadnice a amplitudu digitalizovat. Digitalizování souřadnic se nazývá vzorkování a digitalizování amplitudy kvantování. Pokud souřadnice x,y a amplituda jsou diskrétní veličiny, tak obraz nazýváme obrazem digitálním.

Vzorkování se skládá ze dvou kroků, první je určení intervalu vzorkování a druhý výběr vhodné vzorkovací mřížky. Interval vzorkování by měl splňovat předpoklady Shannonovy věty. Tedy, aby interval byl alespoň dvakrát menší než polovina rozměru nejmenšího detailu v obraze. Pro lepší kvalitu obrazu je ovšem vhodné vzorkovat alespoň 5-krát jemněji. Interval určuje vzdálenost mezi jednotlivými body v obraze. Vzorkovací mřížka je zpravidla pravidelná a slouží k plošnému uspořádání bodů. V praxi se nejčastěji používá čtvercová mřížka, i když přináší problémy se spojitostí oblastí při zavádění vzdáleností [17].

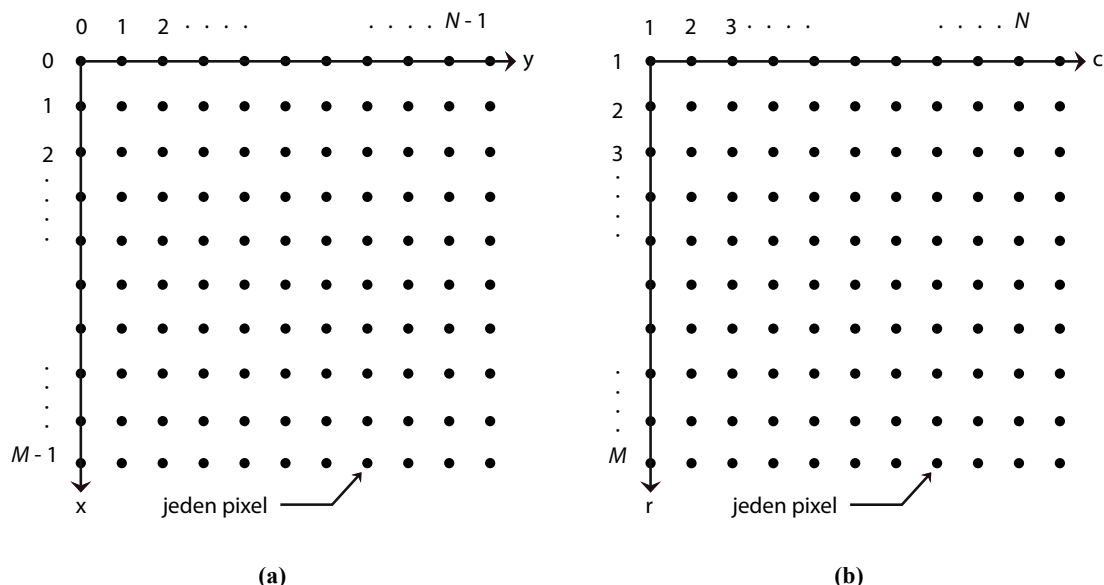
Kvantováním amplitudy v obraze dochází k její digitalizaci a tím nabývá celočíselných hodnot. Počet kvantovacích úrovní musí být dostatečně široký, aby byly co nejvěrohodněji zobrazeny detaily obrazu bez falešných obrysů. Kvantovací úrovně nabývají stejných k intervalů, které jsou určeny vztahem

$$k = 2^b \quad (1)$$

kde k značí úrovně jasu a b množství použitých bitů. Nejběžněji se používá 8 bitů, což odpovídá celkem 256 hodnot jasu. Nula vyjadřuje černou a 255 bílou.

Vzorkováním a kvantováním získáme matici reálných čísel, která vyjadřuje digitální obraz. Obraz $f(x, y)$ je digitalizován a výsledný digitální obraz má M řádků a N sloupců, tedy velikost matice je $M \times N$. Hodnoty souřadnic (x, y) jsou diskrétní veličiny. V souřadném systému je uváděn počátek obrazu v bodě $(x, y) = (0,0)$. Osa x nabývá hodnot od 0 do $M - 1$ a osa y od 0 do $N - 1$. Druhý bod v pořadí má souřadnice $(x, y) = (0, 1)$. Souřadnicový systém používaný v programu MATLAB je trochu odlišný. Místo souřadnic (x, y) se osy značí (r, c) , r (*row*) – řádek, c (*column*) – sloupec.

Druhým rozdílem je změna počátku obrazu, ten je v bodě $(r, c) = (1, 1)$. Osa r nabývá hodnot od 1 do M , a osa c od 1 do N . Označení bodu odpovídá i jeho souřadnicím v obraze. Na obrázku 7 jsou graficky znázorněny oba souřadnicové systémy.



Obrázek 7 (a) Běžně používaný souřadnicový systém obrazu, (b) souřadnicový systém používaný v programu MATLAB.

Jednotlivé body obrazu se nazývají obrazové elementy – pixely. Pixel je nejmenší jednotkou digitálního obrazu. Každý obraz se skládá z jednotlivých pixelů, které jsou umístěny v daných souřadnicích ve vzorkovací mřížce. Každý pixel má svou bitovou informaci danou svou barvou – hodnotou jasu. Rozlišení obrazu se udává v *dpi* (dots per inch), počet bodů na jeden palec. Rozlišujeme tři základní druhy obrazů, které jsou popsány níže [11].

4.1 RGB obraz

RGB obraz je barevný obraz ve tvaru $M \times N \times 3$. Jsou to v podstatě 3 jednotlivé matice obrazu na sobě, kde každá z nich reprezentuje jeden barevný kanál – *R* (red) – červený, *G* (green) – zelený, a *B* (blue) – modrý. Každý pixel obrazu je složen z těchto tří kanálů. Všechny body v každé vrstvě jsou 8-bitové a jsou schopny podle vztahu (1) znázornit $k = 2^8 = 256$ odstínů barvy. Po složení všech tří kanálů na sebe je každý pixel schopný zobrazit svou barevnou informaci v $k = 256^3$ barvách (1). Jednotlivý bod obrazu tedy dokáže vykreslit přibližně 16,7 milionů barev.

4.2 Monochromatický obraz

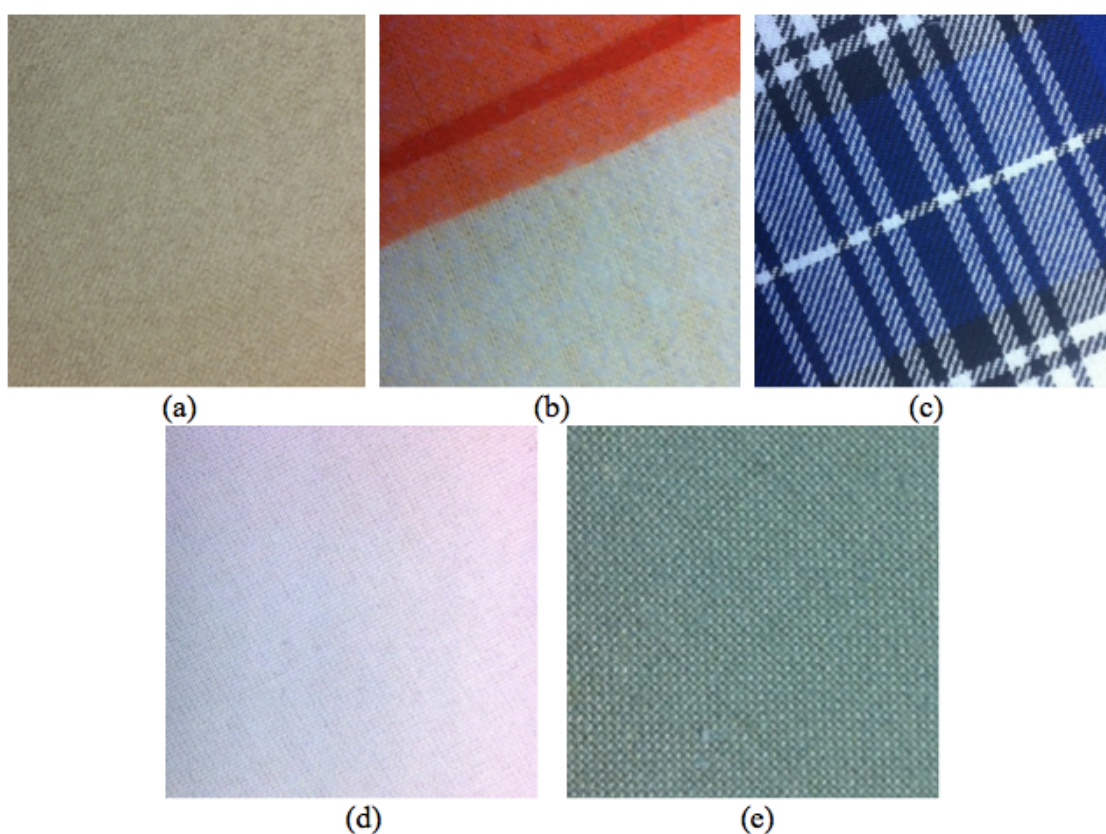
Monochromatický obraz neboli obraz šedotónový je obraz, kde je každá hodnota jasu pixelu definována ve stupních šedi. Stupně šedi představují hodnoty jasu a jejich škála je určena počtem použitých bitů. Zpravidla jsou tyto obrazy 8-bitové, dle vztahu (1) může tedy obraz obsahovat celkem $k = 2^8 = 256$ odstínů barvy. Jejich hodnoty jsou od 0 – 255. Nula zobrazuje černou a 255 bílou. Nejčastěji se tento obraz získá transformací z barevného obrazu.

4.3 Binární obraz

Binární obraz je nejjednodušším digitálním obrazem. Body obrazu jsou vyjádřeny pouze jedním bitem, tedy $k = 2^1 = 2$ (1). Body v obraze nabývají pouze dvou hodnot a to 0 a 1. Nuly představují černou – pozadí obrazu, a jedničky bílou – objekty v obraze. Binární obraz bývá většinou výsledkem prahování či segmentace monochromatického obrazu.

5 Obrazová sada vzorků

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti na základě 3D rekonstrukce povrchu podle metody gradientních polí bylo pro experiment použito 5 sad vzorků materiálu, které jsou zobrazeny na obrázku 8 (a) – (e). Vzorky se lišily v materiálovém složení, vzoru a vazbě. Vzorky A, B, C a D byly testovány na odolnost proti žmolkovitosti na přístroji Martindale. Vzorky D a E byly podrobeny testu žmolkovitosti na komorovém žmolkovacím přístroji. Pro každý druh materiálu byly zjištěny základní vlastnosti jako je materiálové složení, plošná hmotnost a dostava osnovy D_o a útku D_u . Postupně bylo vytvořeno 6 sad vzorků, kde každá sada obsahovala 5 vzorků reprezentující jednotlivé stupně žmolkovitosti v celém rozsahu hodnotící škály. V tabulce 4 jsou popsány již zmíněné základní parametry vzorků. Jedná se o materiálové složení, dále pak vazbu, plošnou hmotnost a dostavu útku a osnovy vzorků.



Obrázek 8 Obrazová sada vzorků.

Tabulka 4 Základní parametry použitých vzorků.

Vzorek	Materiálové složení	Vazba	Plošná hmotnost [kg/m²]	D_o[cm⁻¹]	D_u[cm⁻¹]
A	100% vlna	Kepr	0,236	33	29,2
B	100% bavlna	Plátňová	0,173	17,4	15,2
C	směs viskóza/PES	Kepr	0,206	28,2	24
D	100% PAN	Plátňová	0,155	20,8	16,6
E	100% PAN	Plátňová	0,155	20,8	16,6
F	100% bavlna	Plátňová	0,145	24,2	21,8

6 Subjektivní metoda hodnocení žmolkovitosti

Jak bylo již zmíněno, subjektivní metoda je stále nejčastěji používaná metoda pro hodnocení žmolkovitosti v textilním průmyslu. Subjektivní metoda je založena na porovnávání vzorků zkušeným odborníkem s fotografickými etalony, tak jak udává příslušná norma. Hledá se co nejpodobnější etalon, podle kterého je vzorku přiřazen daný stupeň žmolkovitosti. Nevýhodou této metody je subjektivní dojem hodnotitele, který může být za jiných okolností či změně hodnotitele různý a výsledky se mohou lišit. Počet žmolků je jediná poměrně snadno zjistitelná charakteristika žmolkovitosti při subjektivním hodnocení žmolkovitosti. Další charakteristiky žmolkovitosti není možné lidským okem změřit a získáváme pouze subjektivní dojem. Proto je v praxi snaha zavést objektivní hodnocení žmolkovitosti, které by eliminovalo názor hodnotitele a výsledek by byl zcela nezávislý a reprodukovatelný. Obrazová analýza je velmi účinný nástroj pro objektivní hodnocení žmolkovitosti, při které je možné objektivně změřit více charakteristik žmolkovitosti vzorku a zároveň zachovat reprodukovatelnost výsledků.

Vzorky použité v tomto experimentu, které byly podrobeny testu odolnosti proti žmolkování, byly subjektivně ohodnoceny dle příslušné normy. V tabulce 5 jsou uvedeny výsledky subjektivního hodnocení žmolkovitosti vzorků včetně počtu jejich žmolků, který bude v závěru porovnáván s výsledky z objektivního měření.

Tabulka 5 Hodnocení žmolkovitosti vzorků subjektivní metodou.

Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
A1	1	67	B1	1	114
A2	2	55	B2	2	63
A3	3	27	B3	3	22
A4	4	16	B4	4	7
A5	5	0	B5	5	0
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
C1	1	42	D1	1	97
C2	2	36	D2	2	76
C3	3	21	D3	3	51
C4	4	15	D4	4	28
C5	5	0	D5	5	0
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
E1	1	35	F1	1	41
E2	2	25	F2	2	19
E3	3	20			
E4	4	14			
E5	5	0			

Fotografické etalony pro hodnocení žmolkovitosti na přístroji Martindale a na komorovém žmolkovacím přístroji byly podrobeny též subjektivnímu hodnocení žmolkovitosti, aby je bylo možné následně porovnat s výsledky objektivního hodnocení. Tabulka 6 obsahuje stupeň žmolkovitosti fotografických etalonů podle dané normy a počet žmolků zjištěných při subjektivním hodnocení etalonů.

Tabulka 6 Subjektivní hodnocení žmolkovitosti fotografických etalonů.

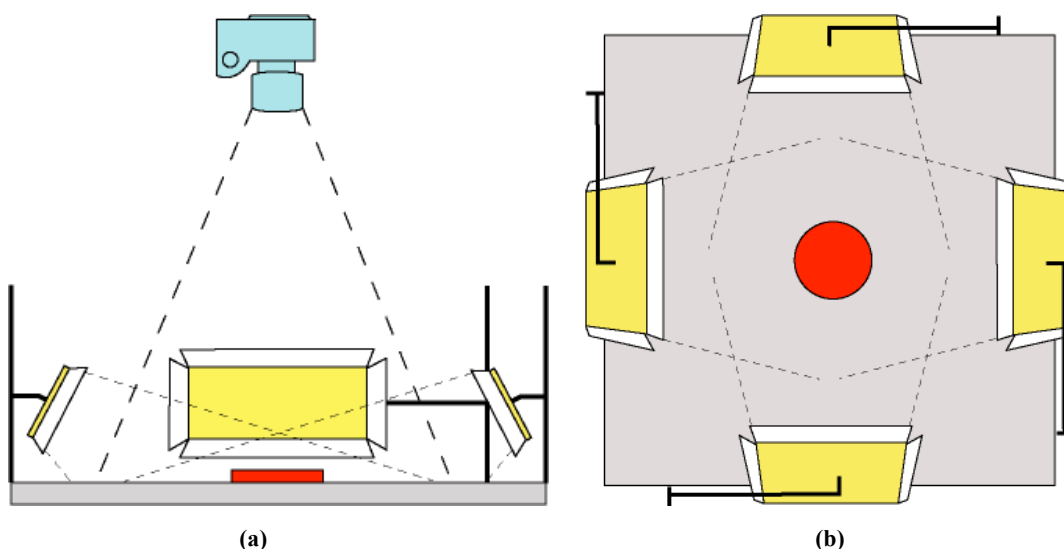
Martindale	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Komorový žmolkovací přístroj	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
W3 1-2	1-2	174	1	1	73
W3 2-3	2-3	129	2	3	24
W3 3-4	3-4	51	3	5	0
W3 4-5	4-5	4			

7 Objektivní metoda hodnocení žmolkovitosti textilií

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím metody gradientních polí byl vytvořen v programu MATLAB algoritmus, který je schopný automaticky vyhodnotit stupeň žmolkovitosti daného vzorku textilie. Po předzpracování obrazu byla provedena 3D rekonstrukce povrchu vzorků ze sady 4 obrazů vzniklých snímáním vzorku nasvíceného ze 4 stran. Následně po 3D rekonstrukci povrchu vzorků byla provedena segmentace žmolků od pozadí obrazu pomocí globálního prahování. Následným použitím morfologických operací se v obraze upravily tvary segmentovaných žmolků. Vzhledem k rozdílným vlastnostem každého materiálu bylo potřeba algoritmus v některých částech patřičně upravit dle potřeb každého vzorku tak, aby se dosáhlo co nejpřesnější detekce a extrakce tvaru žmolků. Níže jsou popsány jednotlivé kroky, které byly použity ve vytvořeném algoritmu pro automatické vyhodnocení žmolkovitosti pomocí objektivní metody.

7.1 Způsob pořízení obrazu textilií

V rámci získání 3D rekonstrukce povrchu textilie bylo zapotřebí nejdříve pořídit sadu 4 obrazů pro každý vzorek. Obrazy textilií byly získány pomocí fotoaparátu značky Canon EOS 400D s objektivem Canon Macro Lens EF 100mm 1:2.8 USM. Způsob pořízení obrazu byl následující. Vzorky byly umístěny na střed čtvercové podložky o velikosti jedné strany 48 cm. Na každé straně podložky bylo připevněno osvětlení rozptylového typu o velikosti 20 x 15 cm – 4 stejná světla umístěná ve vzdálenosti 24 cm od středu vzorku, ve výšce 7 cm a pod úhlem 30° vzhledem k podložce. Světla byla umístěna na středu každé hrany podložky a mezi sebou svírala úhel 90°, tak aby byly zachovány identické podmínky nasvícení z každé strany. K nasvícení byly použity světla značky Fomei, typ DESK-24, které disponují čtyřmi zářivkami o výkonu 6W a vyzařované teplotě světla 5000K. Snímání obrazů vzorků probíhalo v temné komoře, tak aby na vzorky dopadalo pouze světlo ze světelného zdroje a byly tak zajištěny vždy stejné světelné podmínky. Každý vzorek byl tedy nasnímán čtyřikrát, pokaždé při nasvícení vzorku z jedné strany. Fotoaparát byl umístěn na stativu nad podkladovou deskou ve výšce přibližně 120 cm a směřoval kolmo dolů na střed vzorku. Parametry nastavení fotoaparátu byly následující: ohnisková vzdálenost 4.5, doba expozice 1/8 sekundy, ISO 100. Popsaný systém pořízení obrazů je znázorněn na obrázku 9.



Obrázek 9 Systém pro pořizování obrazů, (a) pohled z boku, (b) pohled shora.

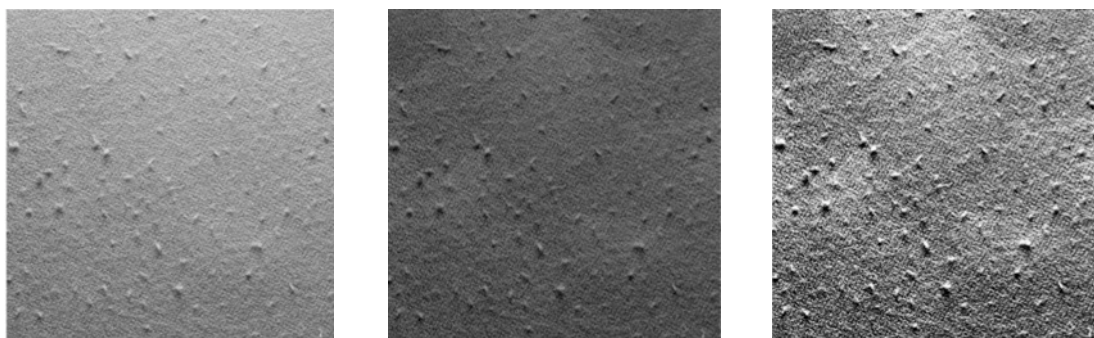
7.2 Obrazová analýza

Obrazová analýza je nejběžnějším způsobem pro systém objektivního hodnocení žmolovitosti a v praxi má široké využití, které v dnešní době pomalu, ale jistě nahrazuje subjektivní metody. Jedná se o extrakci informací z digitálního obrazu pomocí technik zpracování obrazu. Obraz je většinou nutné vždy předzpracovat, aby extrahované informace dosahovaly co největší shody s původním vzorkem. Následující kapitola popisuje jednotlivé kroky obrazové analýzy použité v této práci.

7.2.1 Postup předzpracování a zpracování obrazu

Předzpracování a zpracování obrazu vzorků bylo provedeno v programu MATLAB. Prvním krokem je načtení sady 4 obrazů vzorku do programu MATLAB pomocí funkce *imread.m*. Před samotnou 3D rekonstrukcí obrazů je však nutné obrazy nejprve předzpracovat. Prvním krokem je oříznutí obrazu pomocí funkce *imcrop.m*. Všechny obrazy vzorků byly oříznuty z původní velikosti 2592x3888 pixelů na 1600x1600 pixelů. Dalším krokem je transformace barevného obrazu vzorku na obraz monochromatický použitím funkce *rgb2gray.m*. Pomocí funkce *imtophat.m* byl v monochromatickém obraze odstraněn vliv nerovnoměrného nasvícení vzorků. Funkce *imtophat.m* se skládá ze dvou samostatných funkcí. První funkcí dochází k otevření obrazu – *imopen.m* – pomocí strukturního elementu. Druhou funkcí je *imsubtract.m*, která odečte nový obraz od původního obrazu. Funkcí *imtophat.m* byl získán obraz s vyváženým kontrastem mezi objekty a pozadím a tím byl eliminován vliv

nerovnoměrného nasvícení, který vznikl při nasvícení vzorků během snímání obrazů. Dále bylo zapotřebí zvýšit kontrast vzorků pomocí funkce *histeq.m*. Pomocí této funkce se zvýšil kontrast mezi žmolky a pozadím na povrchu vzorku a segmentace žmolků se tak stala přesnější a jednodušší. Použité jasové korekce budou popsány podrobněji v další kapitole. Na obrázku 10 (a) je znázorněn původní monochromatický obraz vzorku A1, (b) obraz vzorku A1 po aplikaci funkce *imtophat.m* a (c) obraz vzorku A1 po ekvalizaci histogramu, kde je jasně vidět zvýšení kontrastu mezi žmolky a pozadím obrazu.



Obrázek 10 (a) původní monochromatický obraz textilie, (b) obraz textilie po aplikaci funkce *imtophat.m*, (c) obraz textilie po ekvalizaci histogramu.

7.2.2 Jasové korekce a transformace obrazu

Jasové transformace se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinou jsou tzv. jasové korekce, kde jas bodu závisí na hodnotě vstupního obrazu a případně na hodnotě jasu v jeho okolí. Druhou skupinou jsou modifikace jasových hodnot, kde dochází k transformaci jasových hodnot na jinou hodnotu jasu pro všechny body bez ohledu na polohu a okolí v obraze [11].

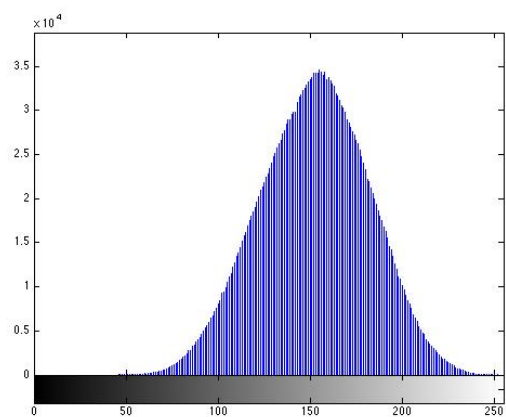
Mezi první skupinu lze zařadit úpravu intenzity jasu bodů pomocí implementované funkce v programu MATLAB *imadjust.m*. Funkce zmapuje intenzity obrazu a následně vytvoří nový obraz, ve kterém je odstraněno 1 % minimálních a 1 % maximálních intenzit jasu. Ostatní hodnoty intenzity byly rovnoměrně roztaženy do původního rozsahu jasových hodnot. Touto úpravou došlo ke zvýšení kontrastu nového obrazu, jelikož světlejší objekty budou ještě světlejší. Opačný jev se vyskytne u tmavých objektů, které budou ještě tmavší.

Nejběžnější úpravou ze skupiny modifikací jasových hodnot pixelů je ekvalizace histogramu. V ideálním případě by byl získán obraz s histogramem, kde jsou zastoupeny všechny hodnoty rovnoměrně, to se ovšem zřídka kdy stává. Proto byla použita ekvalizace histogramu, kdy dochází k optimalizaci kontrastu v monochromatickém obraze. Jasové hodnoty se v histogramu rozloží rovnoměrně napříč celou škálou stupnice jasu pixelů. Tím dojde ke zvýšení kontrastu pro hodnoty blízko maxima a naopak ke snížení kontrastu blízko minima [11]. V programu MATLAB jsou dvě funkce, které se týkají histogramu a jeho ekvalizace. První funkcí je *imhist.m*, který zobrazí histogram četností jasů pixelů obrazu. Pro následnou ekvalizaci histogramu se používá funkce *histeq.m*. Ekvalizace histogramu zpravidla zvýší kontrast obrazu a obraz se stává jasnějším a zřetelnějším. Jsou ovšem i případy, kdy po ekvalizaci histogramu se kvalita obrazu snižuje, např. když jsou kontrasty mezi objekty sníženy.

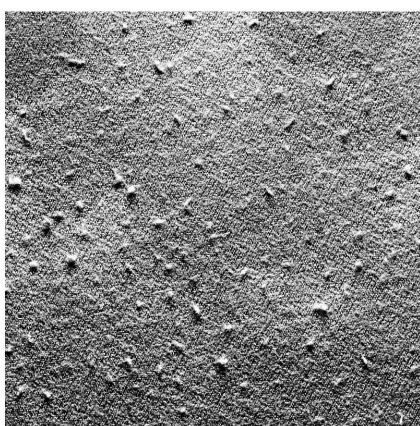
Níže na obrázku 11 jsou zobrazeny příklady popsaných transformací obrazů vzorků z přístroje Martindale. Na obrázku 12 jsou stejné příklady transformací obrazů testovaných vzorků z komorového žmolkovacího přístroje. Obrazy (a1) jsou výchozí monochromatické obrazy testovaných vzorků A1 a E1, (b2) jsou obrazy po ekvalizaci jejich histogramu, a (c1) jsou obrazy vzorků po transformaci pomocí funkce *imadjust.m*. Na obrazech (a2), (b2) a (c2) jsou znázorněny histogramy zmíněných obrazů po jejich ekvalizaci.



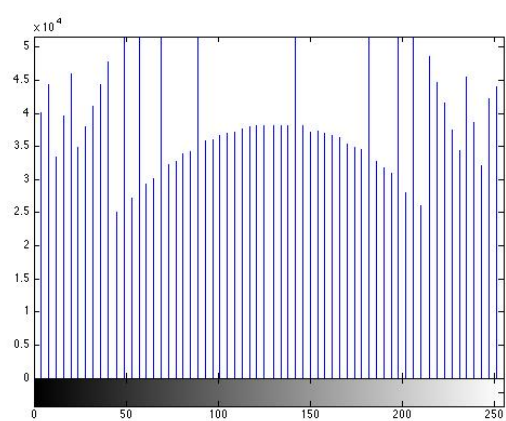
(a1)



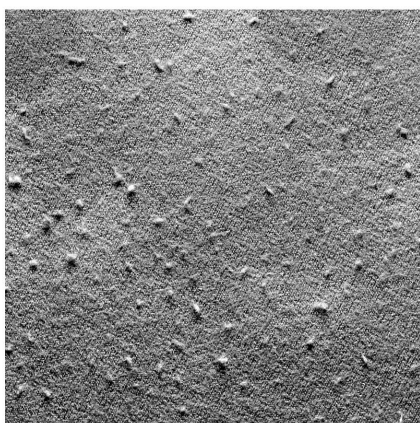
(a2)



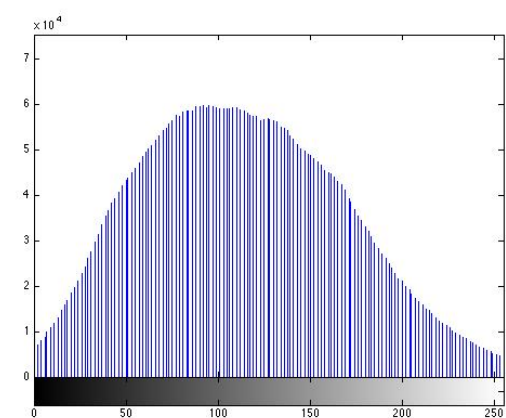
(b1)



(b2)

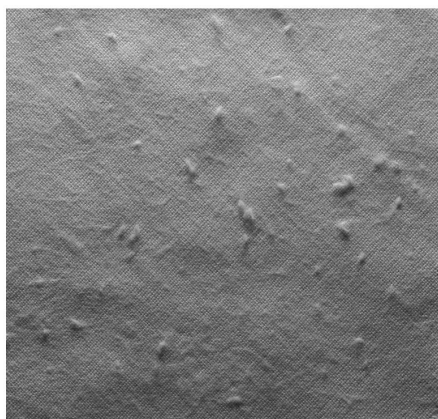


(c1)

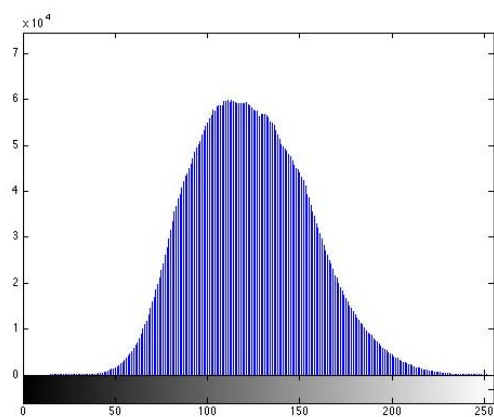


(c2)

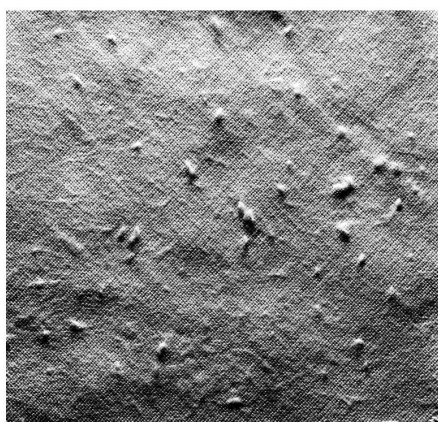
Obrázek 11 Jasové transformace obrazů vzorku A1 z přístroje Martindale; (a1) původní monochromatický obraz textile vzorku A1, (a2) histogram monochromatického obrazu, (b1) obraz po ekvalizaci histogramu, (b2) ekvalizovaný histogram, (c1) obraz vzorku A1 po aplikaci funkce *imadjust.m*, (c2) histogram po transformaci obrazu vzorku A1.



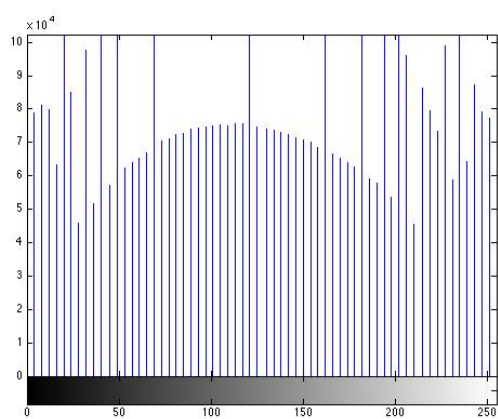
(a1)



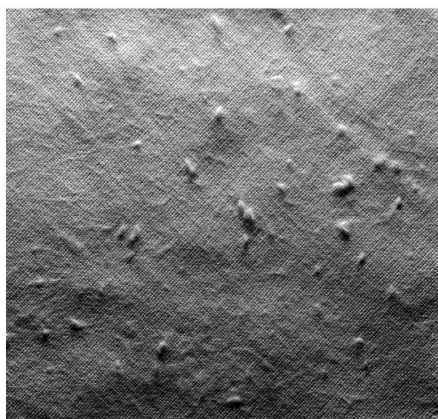
(a2)



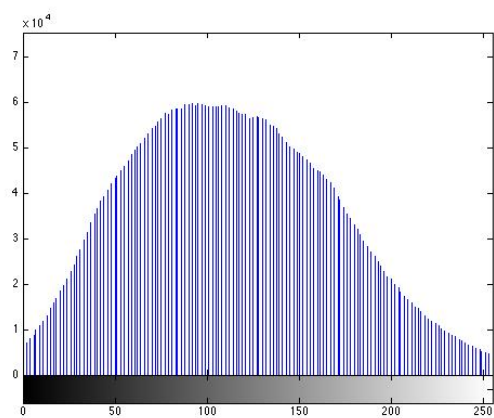
(b1)



(b2)



(c1)



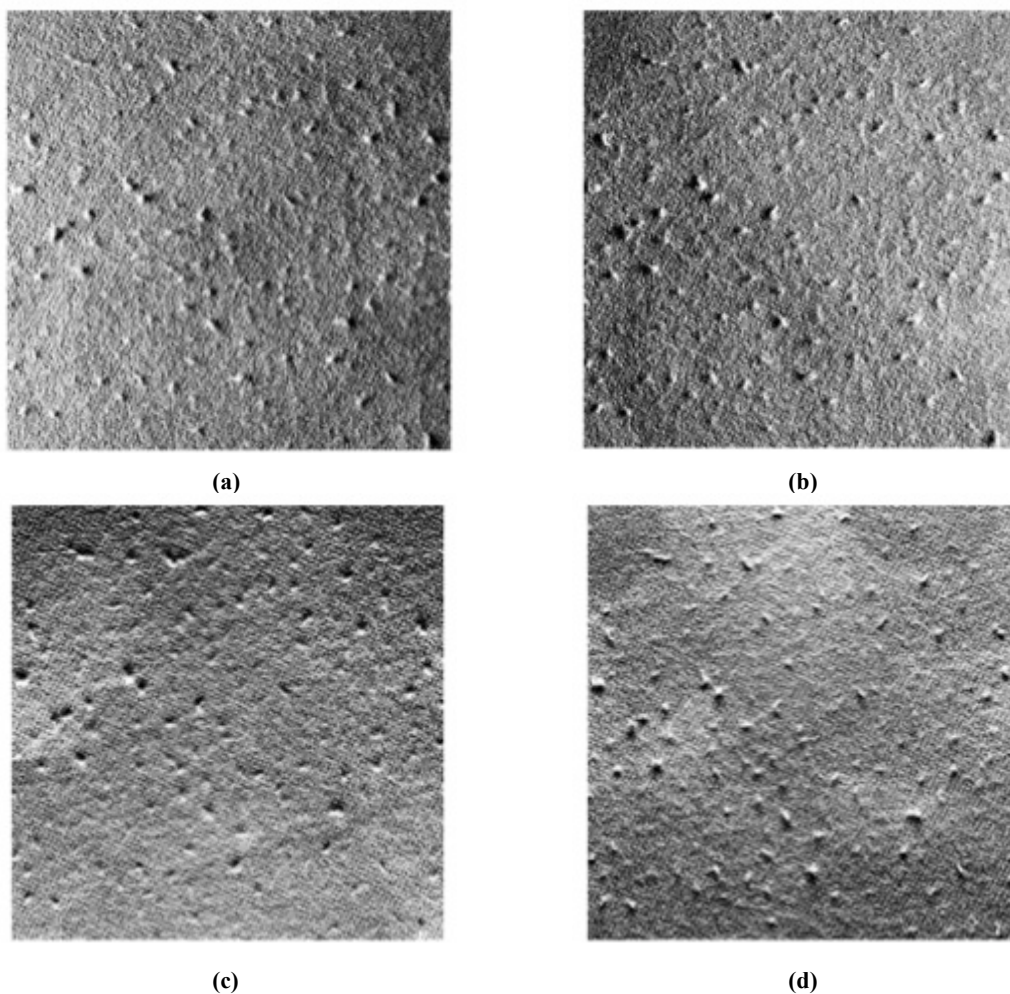
(c2)

Obrázek 12 Jasové transformace obrazů vzorku A1 z přístroje Martindale; (a1) původní monochromatický obraz textilie vzorku A1, (a2) histogram monochromatického obrazu, (b1) obraz po ekvalizaci histogramu, (b2) ekvalizovaný histogram, (c1) obraz vzorku A1 po aplikaci funkce *imadjust.m*, (c2) histogram po transformaci obrazu vzorku A1

7.3 3D rekonstrukce povrchu textilií pomocí metody gradientních polí

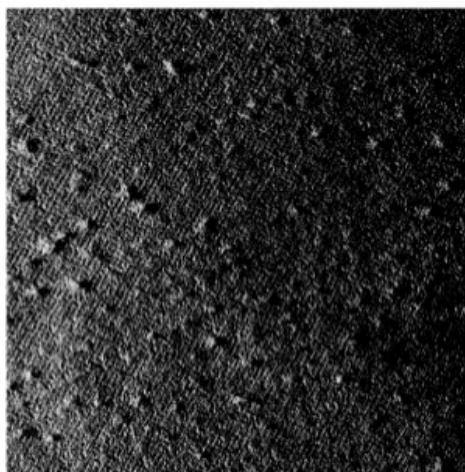
Pro získání 3D rekonstrukce povrchu textilních vzorků byla použita metoda gradientních polí. Metoda gradientních polí vychází z vypočtení hodnot gradientů v jednotlivých bodech v obraze. Hodnoty gradientů udávají změnu oproti svému okolí. Hodnoty sousedících gradientních polí udávají vztah se sousedními body, zda se hodnota zvětšuje či zmenšuje, a o kolik. Hodnoty gradientů si lze vysvětlit jako hodnoty jasu v obraze, jejich změny tedy lze převést na změny jasových hodnot v jejich okolí. Čím vyšší hodnota gradientu, tím vyšší změna v hodnotě jasu daného pole. Gradientní pole by mělo mít nulové zakřivení a nebo by mělo být integrovatelná. V praxi bývají gradientní pole zpravidla nulová a nejsou integrovatelná. Ke zjištění hodnot gradientních polí je potřeba dosáhnout integrovatelnosti hodnot v gradientních polích pomocí jednotlivých funkcí. Pokud bylo dosaženo integrovatelných hodnot, tak je možné přistoupit k samotné rekonstrukci povrchu. Z hodnot gradientních polí se vytvoří 3D rekonstrukce povrchu materiálu např. podle Poisson – Neumannovy funkce nebo podle Frankot – Chellapova algoritmu [11].

V této práci byly základem 3D rekonstrukce povrchu materiálu podle metody gradientních polí použity dva obrazy, které vznikly ze sady 4 obrazů pro každý vzorek vždy odečtením protilehlých obrazů od sebe – obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava, a obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného ze shora. Ačkoliv stíny v obraze jsou u většiny metod nevýhodou, v testované metodě jsou důležitým faktorem. Stíny okolo žmolků vzniklé nasvícením vzorku zviditelnily žmolky a jsou základem pro detekci žmolků v obraze. Sada nasvícených 4 obrazů vzorku A1 je zobrazena na obrázku 13 (a) – (d).

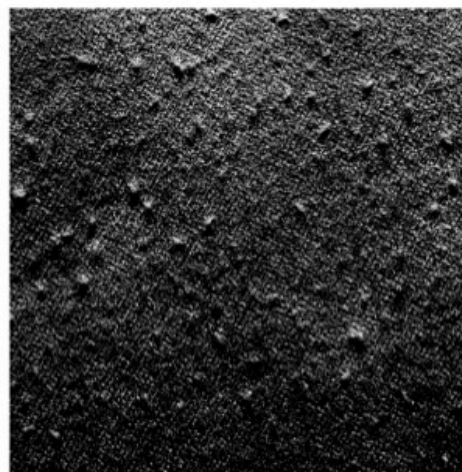


Obrázek 13 Sada 4 obrazů vzorku A1, nasvícení (a) zleva, (b) zprava, (c) zespoda, (d) ze shora.

Ze sady 4 obrazů vznikly odečtením obrazů od sebe dva nové obrazy, které byly použity k vypočtení hodnot gradientních polí. Obrazy vzorku A1 použité pro rekonstrukci povrchu jsou znázorněny na obrázku 14 (a) a (b). Na obrazech jsou zřetelně viditelné žmolky, u kterých se zvýšil kontrast díky odečtením obrazů. Zvýšením kontrastu v obrazech dojde k větším rozdílům hodnot gradientních polí a následná 3D rekonstrukce povrchu bude vykreslena mnohem přesněji.



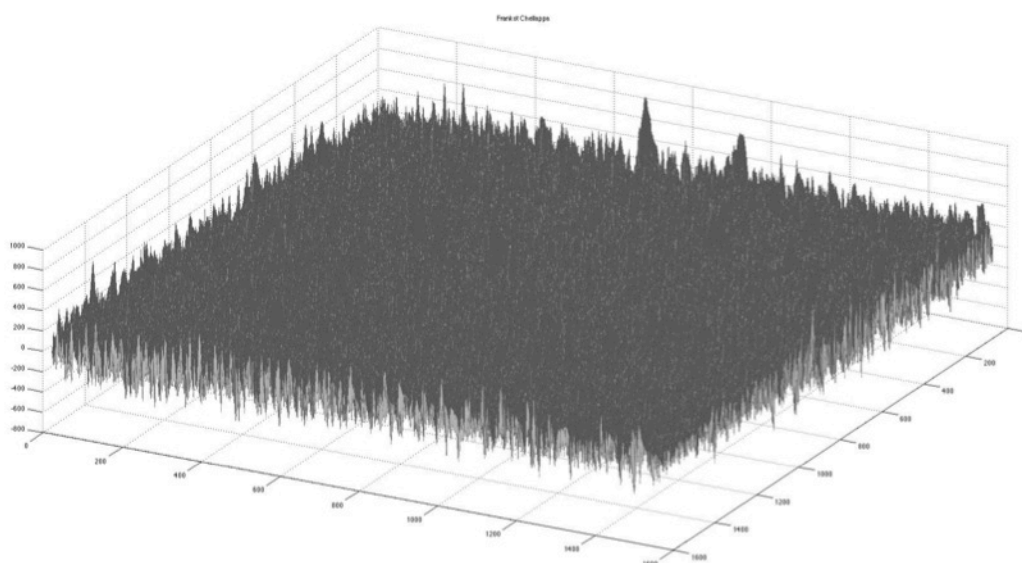
(a)



(b)

Obrázek 14 Odečtené obrazy vzorku A1 pro 3D rekonstrukci povrchu, (a) obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného ze shora, (b) obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava.

V této práci byl použit Frankot – Chellapův algoritmus, který navrhnul neintegrovatelné pole na sadu integrovatelných cest pomocí Fourierovy dvourozměrné transformace funkce aplikované na každý obraz zvlášť. Následně byl z hodnot gradientních polí vytvořen zrekonstruovaný 3D obraz povrchu vzorku materiálu. Zrekonstruovaný 3D obraz textilie byl vypočten pomocí zjištěných gradientů podle Frankot – Chellapova algoritmu a je znázorněn na obrázku 15. Na obraze jsou viditelné vrcholy jednotlivých objektů, avšak v obraze se vyskytuje také šum, který zde vznikl během aplikace Frankot – Chellapova algoritmu a je potřeba ho z obrazu odstranit.



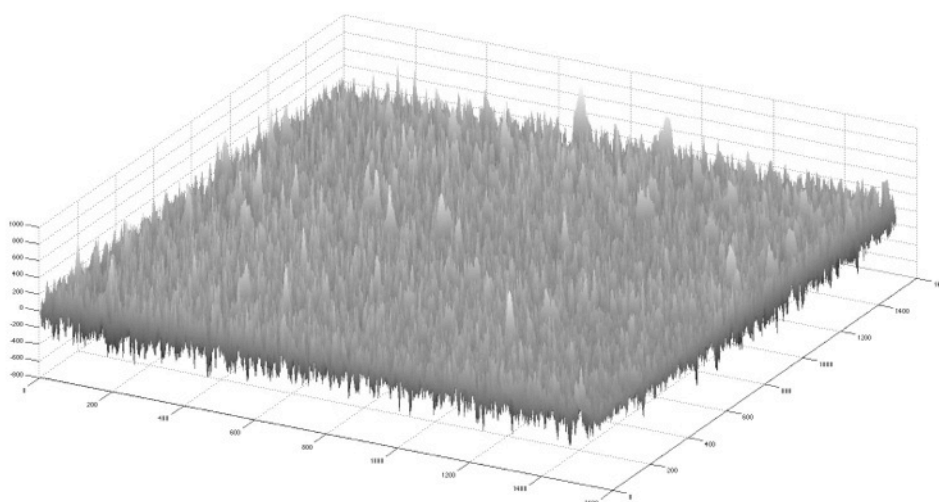
Obrázek 15 3D rekonstrukce vzorku textilie A1 pomocí metody gradientních polí.

7.3.1 Filtrace 3D obrazu

Zrekonstruovaný 3D povrch textilie pomocí Frankot – Chellapova algoritmu obsahuje ještě šum. Šum patří k negativním jevům každého obrazu a snižuje jeho přesnost. Nejsnadnější způsob, jak odstranit šum v obraze je filtrace obrazu průměrováním. Pořizením obrazu v několika stejných kopiích dojde ke zprůměrování jasových hodnot se stejnými souřadnicemi. Výsledkem je průměrná hodnota ze všech kopií, tímto se eliminuje šum a rozmazanost obrazu. V praxi se tato metoda nepoužívá často, jelikož většinou bývá k dispozici pouze jedna kopie obrazu. V tomto případě se používají různé filtry k odstranění šumu. Všeobecně, filtr vypočítá nové hodnoty pixelů v rozsahu velikosti masky filtru. Pomocí funkce *fspecial.m* byl vygenerován filtr daného typu, v této práci byl zvolen Gaussův filtr, jelikož se jedná o nejvhodnější filtr pro tento typ obrazu. Gaussův filtr má nízkou propustnost o velikosti h a směrodatné odchylky σ , n_1 a n_2 jsou souřadnice pixelů. V programu MATLAB je Gaussův filtr počítán podle vztahu (2).

$$h_g(n_1, n_2) = e^{\frac{-(n_1^2 + n_2^2)}{2\sigma^2}}. \quad (2)$$

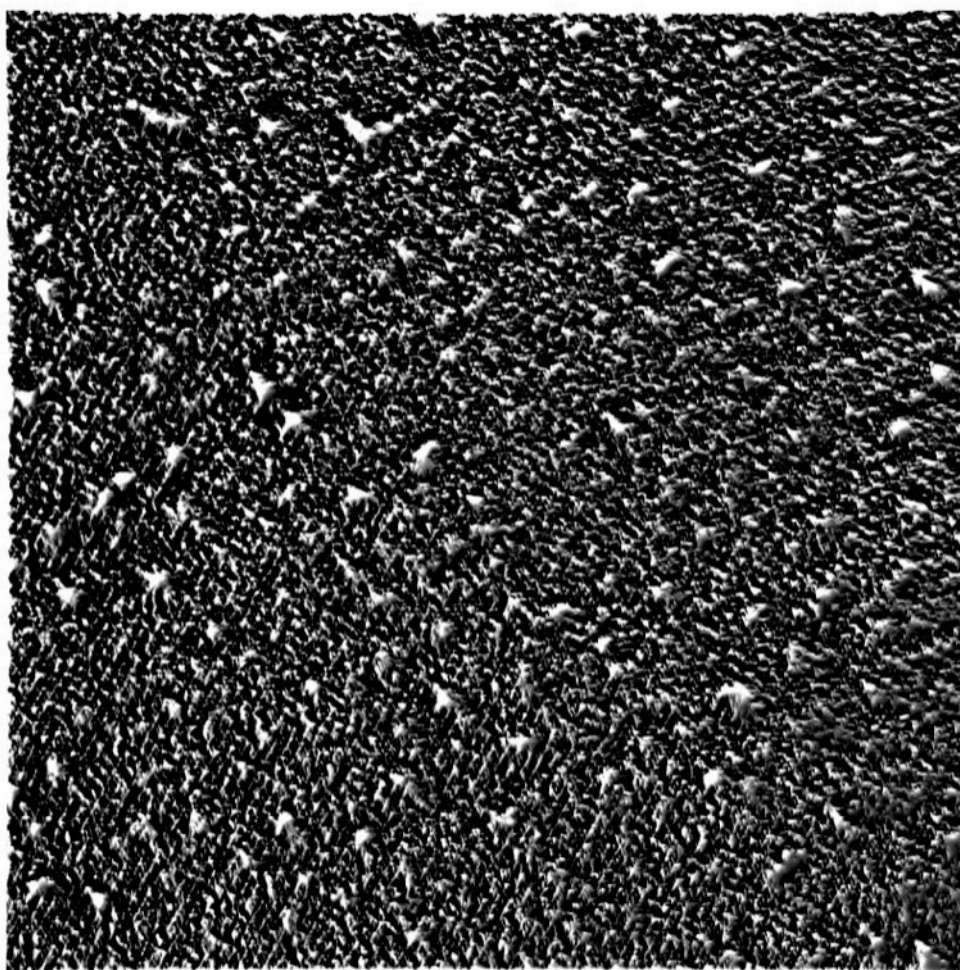
Výstupem funkce *fspecial.m* je matice, ve které je definován zvolený filtr. Filtr se aplikuje na obraz pomocí příkazu *imfilter.m* s parametrem daného filtru, který byl vytvořen v předchozím kroku. Výsledkem byl obraz, kde došlo k odstranění šumu. 3D obraz vzorku A1 po aplikaci Gaussova filtru je znázorněn na obrázku 16.



Obrázek 16 3D obraz vzorku A1 po aplikaci Gaussova filtru.

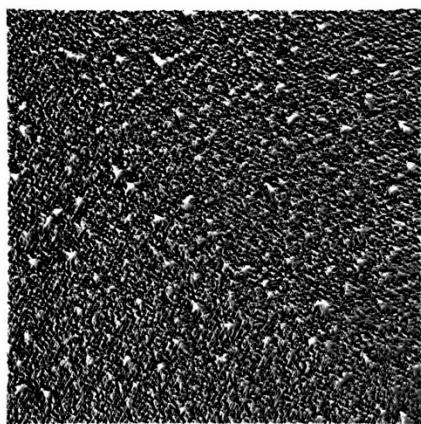
7.4 Detekce žmolků v 3D obraze textilií

V získaném 3D obraze textilie je možné zpozorovat významné vrcholy vyčnívající z povrchu textilie. Tyto vrcholy jsou žmolky v obraze textilie. Následné převedení získaného 3D obrazu vzorku po aplikaci Gaussova filtru do monochromatického obrazu bylo dalším krokem k detekci žmolků v obraze. Na rozdíl od 2D obrazu je možné v 3D obraze detekovat žmolky mnohem přesněji včetně jejich okolí a zjistit mnohem přesnější informace o jejich charakteristikách. Porovnání obrazů získaných pomocí 3D rekonstrukce povrchu vzorku a obrazů získaných běžnou detekcí se věnuje kapitola 8.3. Na obrázku 17 je znázorněn monochromatický obraz získaný pomocí 3D rekonstrukce povrchu podle metody gradientních polí. V obraze jsou již dobře viditelné větší bílé objekty – žmolky, které bude nutné segmentovat od pozadí obrazu – povrchu materiálu, kde menší pravidelné bílé objekty znázorňují vazné body materiálu.

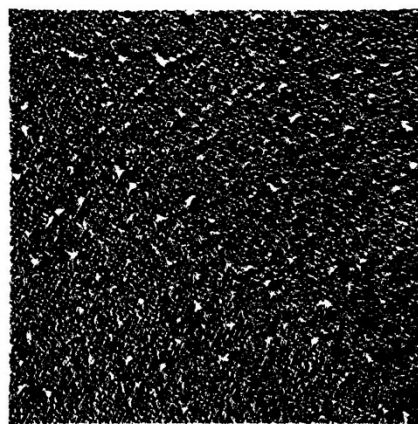


Obrázek 17 Monochromatický obraz vzorku A1 získaný převedením z 3D obrazu.

Ze získaného monochromatického obrazu materiálu byl následně pomocí příkazu *im2bw.m* získán binární obraz, který byl základem pro výpočet základních charakteristik žmolkovitosti. V tomto případě byla aplikována segmentace – operace globální prahování, která slouží k oddělení objektů od pozadí obrazu. Důležitým faktorem v rámci globálního prahování bylo nastavení vhodné velikosti prahové hodnoty. Binární obraz obsahuje informaci pouze o 2 bitech – 0 a 1, nula je černá a jednička bílá. Bílé pixely značí objekty – v našem případě žmolky. Prahová hodnota je číslo od 0 do 1, které určuje hraniční hodnoty jasu pixelů. Hodnoty nad touto hranicí budou transformovány na hodnotu 1 – objekty, a naopak hodnoty pod touto hranicí budou transformovány na hodnotu 0, tedy pozadí. Např. prahovací hodnota 0,5 určuje, že hodnoty monochromatického obrazu od 0 do 127 budou 0 a 128 až 255 budou 1. V této práci se prahovací hodnota pohybovala v intervalu 0.57 – 0.7. Na obrázku 18 (a) je zobrazen monochromatický obraz vzorku A1 a na obrázku 18 (b) je monochromatický obraz vzorku A1 převedený na binární obraz prahovou hodnotou 0.66.



(a)



(b)

Obrázek 18 (a) Monochromatický obraz testovaného vzorku A1, (b) binární obraz vzorku A1 převedený prahovou hodnotou 0.66.

7.5 Morfologické operace

V binárním obraze jsou již žmolky rozlišeny jako bílé objekty na černém pozadí pomocí segmentace obrazu na základě globálního prahování. Pouhým prahováním ovšem nezískáme pouze žmolky, ale i další menší objekty, které jsou šum v obraze a další nevýznamné vyšší body jako třeba vazné body textilie. Pro určení přesnějšího tvaru žmolků se používají jednotlivé morfologické operace. Většina morfologických operací je založena na úpravě obrazu pomocí definovaného strukturního elementu. Strukturní element se posouvá postupně celým obrazem a dochází k porovnání hodnot obrazu a strukturního elementu. Pokud nastanou dané podmínky příslušné operace, tak dochází k přepsání hodnot 1 a 0 [18].

Použitím morfologických operací jako jsou eroze – *imerode.m* a dilatace – *imdilate.m* bylo možné velmi přesně odfiltrovat šumy v obraze a docílit přesnějšího získání tvaru a velikosti objektů. Pro možnost aplikace obou funkcí je nutné definovat strukturní element. Strukturní element je matice s hodnotami 0 a 1. Velikost a tvar strukturního elementu ovlivňuje podobu výsledného obrazu. Střed strukturního elementu je systematicky posouván po jednotlivých bodech obrazu a podle velikosti a tvaru elementu dochází ke zvětšení či zmenšení objektu o velikost strukturního elementu. V této práci byl použit strukturní element typu *diamond* o velikosti 4 – 12. Na obrázku 19 je znázorněn strukturní element typu *diamond* o velikosti 5 použitý v této práci.

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

Obrázek 19 Strukturní element typu "diamond" o velikost 5.

Eroze je morfologická operace, díky níž dochází k zeštíhlení objektů v binárním obraze o velikost strukturního prvku. Zeštíhlení objektů je řízeno velikostí strukturního elementu. V případě, že strukturní element bude celou svou plochou na objektu, tak body s hodnotou 1 zůstanou zachovány a hodnota pixelu zůstane stejná. Pokud jsou objekty menší než strukturní element, tak při erozi dojde k přepsání hodnot a objekt zaniká. Takto lze eliminovat malé objekty v obraze, které zpravidla reprezentují šum.

V obraze tedy zůstanou pouze větší objekty, které reprezentují žmolky. Eroze tedy slouží i pro filtrování obrazu.

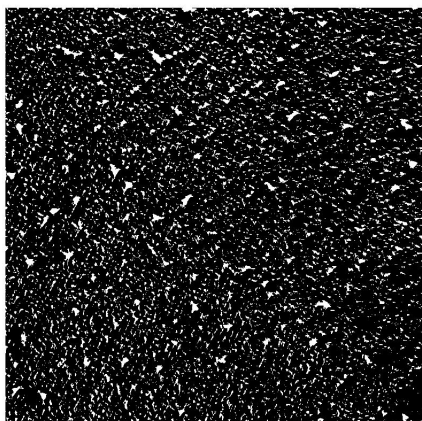
Opakem eroze je dilatace. Dilatace funguje na stejném principu jako eroze, ale při jejím použití dochází k rozšíření objektu. Rozšíření je opět závislé na velikosti strukturního elementu, který je systematicky posouván v obraze. V případě dilatace se strukturní element posouvá obrazem, a když se střed strukturního elementu kryje s bodem s hodnotou 1, tak dojde ke změně hodnot podle strukturního elementu z 0 na 1. Změnou hodnot v okolí objektu dojde k rozšíření hranice objektu o velikosti strukturního elementu. Dále dilatace slouží i pro vyplnění menších děr v objektech.

Jak eroze, tak i dilatace se vzájemně doplňují a zřídka se používá pouze jedna z těchto funkcí. V této práci byla nejdříve použita eroze k filtraci šumu, kdy objekty menší než strukturní elementy byly odstraněny. Následnou dilatací za použití stejného strukturního elementu byla vrácena objektům původní velikost a došlo k vyplnění děr v objektech. V případě vzorků z komorového žmolkovacího přístroje byl aplikován proces eroze, dilatace a znovu eroze. Žmolky na vzorcích připravených na komorovém žmolkovacím přístroji jsou větší než žmolky na vzorcích připravených na přístroji Martindale. Při jejich detekci se ne vždy detekoval jeden ucelený žmolek, ale několik menších objektů vedle sebe na ploše celého žmolku. Dilatace byla proto provedena se strukturním elementem dvakrát větším, tak aby došlo k rozšíření a spojení více blízkých objektů v jeden objekt. Následnou aplikací eroze se objektům vrátila jejich původní velikost.

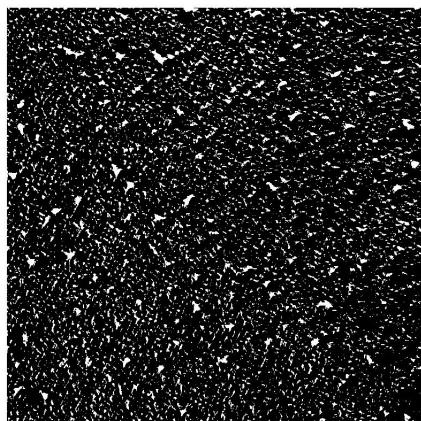
Další důležité operace, které jsou zapotřebí pro správnou detekci žmolků patří mimo jiné odstranění objektů zasahujících do krajů obrazu, vyplnění děr a odstranění malých objektů. Objekty dotýkající se hranic objektu mohou zkreslit výsledky jednotlivých charakteristik, jelikož nemusí být kompletní a charakteristiky by byly počítány pouze pro část objektu. Proto byla v programu MATLAB použita funkce *imclearborder.m*, která odstranila veškeré objekty dotýkající se hran obrazu. Výstupem této funkce byl nový obraz - matice, kde byly odstraněny všechny objekty, které byly v kontaktu s hranou obrazu. Pro zjištění charakteristik jednotlivých objektů je nutné upravit všechny objekty v obraze, tak aby každý objekt tvořil ucelenou plochu. V některých případech zůstane v uzavřeném objektu několik pixelů s hodnotou 0, které je nutné

nahradit hodnotou 1 a tím zaplnit objekt. K tomu se používá funkce *imfill.m* s parametrem *holes*. Tato funkce zaplní všechny díry v objektech. Díra je definována jako pixely s hodnotou 0, které jsou obklopeny pixely s hodnotou 1 a zároveň nejsou propojeny s hranou obrazu. Další funkcí je *bwareaopen.m*, která v binárním obraze odstraní všechny spojené pixely, tedy objekty, které jsou menší než parametr P . Parametr P je číselná hodnota udávající počet pixelů, ze kterých se objekt skládá. Parametr P je nutné správně nastavit, tak aby se v obraze eliminovali pouze malé objekty odpovídající šumu a nedošlo k eliminaci žmolků. Hodnoty objektů, které jsou menší než P , jsou přepsány z 1 na 0. Výstupem funkce je nový binární obraz, kde zůstaly pouze objekty větší než nastavený parametr P .

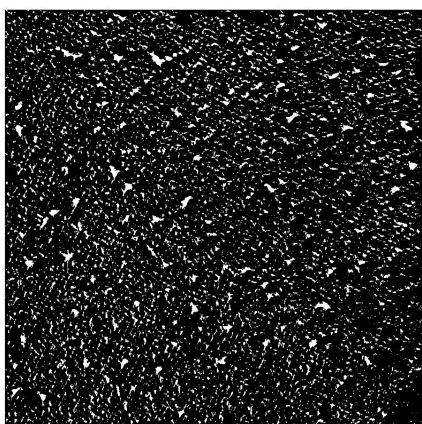
Níže na obrázku 20 (a) je zobrazen binární obraz vzorku A1, na 20 (b) je obraz s vyplněnými objekty pomocí příkazu *imfill.m* – „holes“, na 20 (c) jsou vymazány objekty dotýkající se hranic obrazu, na 20 (d) jsou v obraze objekty zeštíhleny erozí o velikost strukturního elementu, na 20 (e) jsou v obraze vymazány objekty menší než 15 pixelů a nakonec na obrázku 20 (f) obraz rozšířen dilatací o velikost strukturního elementu.



(a1)



(a2)



(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

Obrázek 20 (a) binární obraz vzorku A1, (b) binární obraz po vyplnění objektů, (c) binární obraz s eliminovanými objekty dotýkající se hranic obrazu, (d) binární obraz po erozi, (e) binární obraz po odstranění objektů menších než 15 pixelů, (f) binární obraz po dilataci.

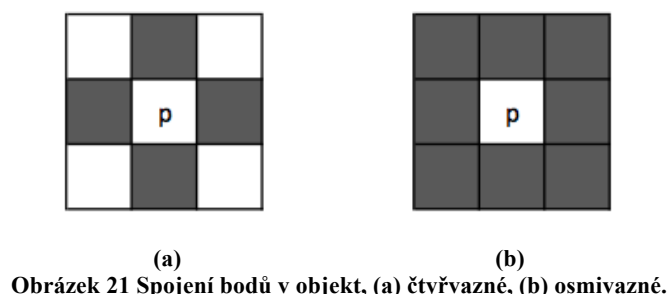
7.6 Charakteristiky žmolkovitosti

Pro objektivní hodnocení stupně žmolkovitosti textilií je zapotřebí získat charakteristiky žmolkovitosti, mezi něž patří počet žmolků, velikost žmolků, hustota žmolků a jejich kontrast s okolím. Většinu z těchto charakteristik lze získat velmi snadno pomocí obrazové analýzy. V případě subjektivního hodnocení lze získat jednoduše pouze počet žmolků. Níže jsou detailně popsány jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti, které se hodnotily při objektivním hodnocení v této práci. Na základě těchto zjištěných charakteristik se následně vytvořili intervaly pro jednotlivé stupně žmolkovitosti.

Pixely jsou základní jednotkou digitálních obrazů, čím více pixelů, tím má obraz vyšší rozlišení a je detailnější. Pro běžné oko jsou pixely jen těžce viditelné a už vůbec ne měřitelné. Všechny charakteristiky žmolkovitosti byly programem MATLAB vypočteny v pixelech. Pro porovnání s reálnými hodnotami je tedy nutné provést kalibraci a pixely převést na standardizovanou jednotku SI, v našem případě mm a mm^2 . Z tohoto důvodu bylo při pořizování fotografií vzorků umístěno na kraj každé fotografie vzorku textilie pravítko, které slouží jako nástroj pro převod pixelů na milimetry. V programu MATLAB se v takovýchto případech používá funkce *imdistline.m*. Tato funkce je měřicím nástrojem, který se v obraze zobrazí jako přímka s číselnou hodnotou. Číselná hodnota vyjadřuje délku přímky v pixelech. Přesunutím přímky na pravítko a nastavením přesně 1 cm je možné zjistit počet pixelů na 1 cm. U vzorků z přístroje Martindale se 1 pixel v obraze rovnal 0,0474 mm. V případě vzorků z komorového žmolkovacího přístroje byl 1 pixel roven 0,0413 mm.

Prvním krokem při zjišťování charakteristik jednotlivých objektů v obraze je indexace objektů. K tomu se používá v programu MATLAB funkce *bwlabel.m*. Tato funkce nalezne v binárním obraze pixely s hodnotou 1 – objekty. Výstupem této funkce je nová matice o stejné velikosti původního binárního obrazu obsahující vzestupné označení pro všechny objekty v obraze. Pixely s hodnotou 0 jsou stejně jako v původním obraze definovány jako pozadí objektu. Všechny ostatní pixely s hodnotou 1, které tvoří jednotlivé a ucelené objekty jsou očíslovány od 1 do N , kde je N je počet objektů v obraze. Tímto dojde k indexaci jednotlivých objektů a je možné s nimi pracovat jednotlivě. Při použití funkce *bwlabel.m* je možné stanovit ještě parametr propojení jednotlivých bodů. Spojení bodů se svými sousedy může být čtyřvazné nebo osmivazné. Čtyřvazné spojení je spojení sousedních bodů na osách x a y . Osmivazné spojení je

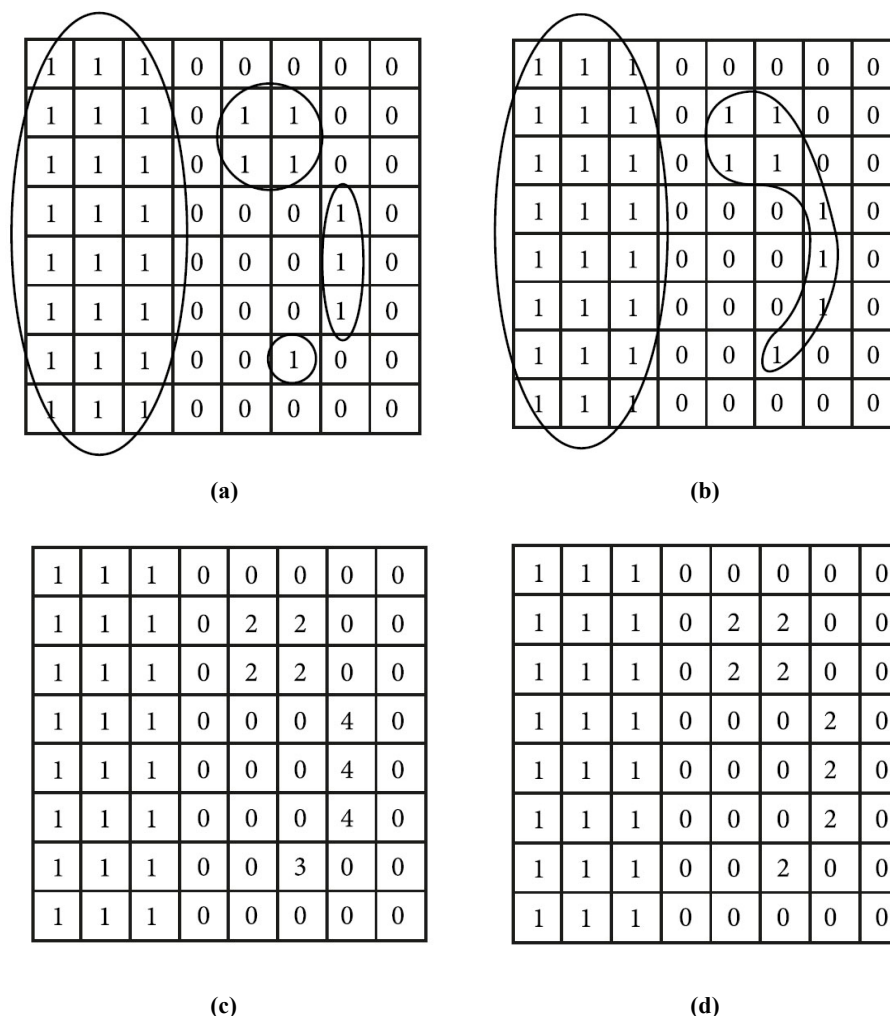
definováno jako čtyřvazné a k tomu ještě spojení sousedních bodů diagonálně. Na obrázku číslo 21 je znázorněno čtyřvazné a osmivazné spojení bodů. Na obrázku 21 (a) je čtyřvazné a na obrázku 21 (b) je osmivazné se všemi sousedy v okolí bodu.



7.6.1 Počet žmolků

První základní charakteristikou je počet žmolků na povrchu sledovaného vzorku textilie. Je to také jediná charakteristika, která se dá objektivně měřit i při subjektivní metodě. Aby bylo možné obě dvě metody mezi sebou správně porovnat, je důležitým faktorem zachování stejně velké hodnotící plochy vzorku při obou hodnoceních.

Po oindexování jednotlivých objektů v obraze bylo dalším krokem použití funkce *bwconncomp.m*, která mimo jiné spočítá jednotlivé objekty v obraze na základě jejich indexů. Na obrázku číslo 22 (a) je znázorněný obraz zapsaný v binárním kódu se čtyřmi objekty spojenými čtyřvazně. Na obrázku 22 (b) je obraz v binárním kódu pouze s dvěma objekty, jež jsou spojeny osmivazně. Obrázky 22 (c) a 22 (d) znázorňují matici binárního obrazu po indexaci objektů v obraze použitím funkce *bwlabel.m* a velmi dobře je zde vidět rozlišení spojení objektů na čtyřvazné a osmivazné.



Obrázek 22 (a) Matice binárního obrazu – čtyřvazné spojení objektů, (b) matice binárního obrazu – osmivazné spojení objektů, (c) a (d) matice obrazu po aplikaci funkce *bwlabel.m* se znázorněnou indexací objektů v obraze.

7.6.2 Velikost žmolků

Dalším důležitým faktorem je velikost žmolků, která ovlivňuje i celkový vzhled materiálu. Využitím obrazové analýzy při hodnocení žmolkovitosti je možné získat velmi přesné výsledky o velikosti jednotlivých žmolků jako je plocha a obvod žmolku. Ke zjištění velikosti objektů slouží příkaz *regionprops.m*, který měří definované vlastnosti jednotlivých objektů v binárním obraze. Jedny z výstupních dat z funkce *regionprops.m* jsou *Area* – plocha a *Perimetre* – obvod.

Plocha

Plocha žmolku je skalární veličina, která určuje množství pixelů v daném regionu – objektu. Jednoduchým sečtením pixelů dostaneme velikost žmolku v pixelech. Sečtením velikosti všech žmolků dostaneme celkovou plochu objektů v obraze v pixelech.

Obvod

Obvod je též skalární veličinou a je definován jako délka hranice objektu. Program MATLAB počítá dotýkající se pixely objektu na jeho hranici s pozadím. Výstupem je celkový počet žmolků tvořící hranici mezi objektem a pozadím obrazu.

Souhrnné údaje o všech žmolcích nám mohou poskytnout ucelené údaje o žmolkovitosti vzorku jako je např. celková plocha žmolků, poměr žmolků k celkové ploše, průměrná velikost žmolku a další. Hodnota celkové plochy, kterou žmolky zaplnily v obraze byla v této práci použita pro stanovení stupně žmolkovitosti.

7.6.3 Hustota žmolkovitosti

Hustota žmolků je jeden z prvních vjemů, které člověk získá při subjektivním hodnocení. V objektivním hodnocení je hustota vyjádřena jako počet žmolků N na jednotku plochy S podle rovnice (3).

$$D_1 = \frac{N}{S}. \quad (3)$$

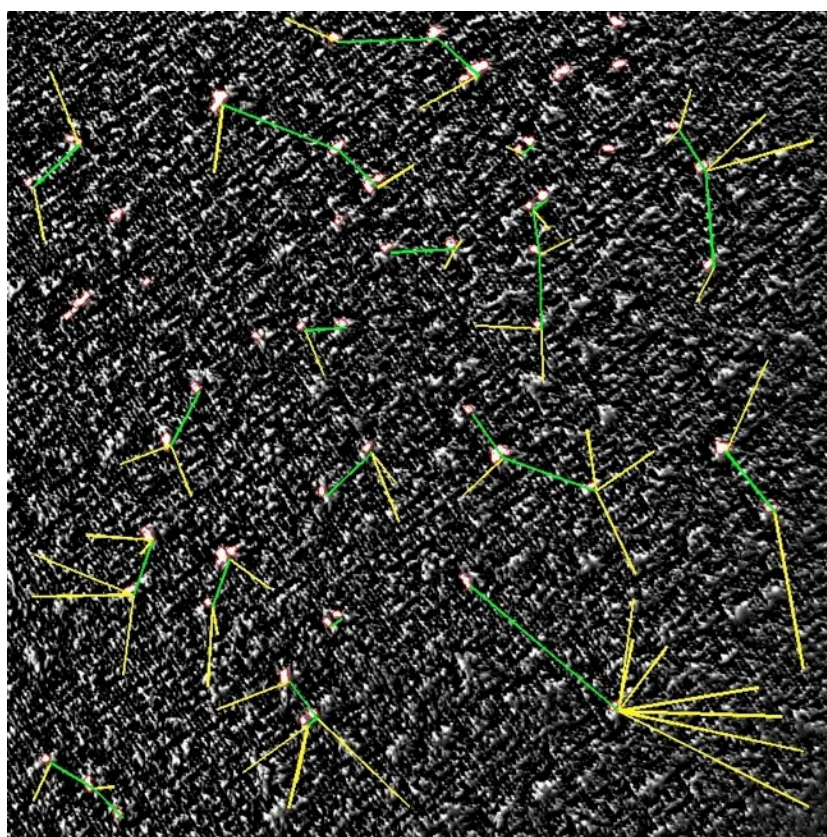
Hustotu žmolkovitosti je možné stanovit i jiným způsobem. Tato metoda je založena na náhodně generovaných bodech v obraze a hledání žmolků v nejbližším sousedství. Ve vzdálenosti r_i od vygenerovaného bodu k nejbližšímu žmolku se nachází vždy pouze jeden žmolek. Od nejbližšího bodu se pak hledá jeho nejbližší soused, který se nachází ve vzdálenosti x_i . Vzdálenosti mezi těmito žmolky jsou dány délkou mezi jejich těžišti a počítány pomocí Euklidovské vzdálenosti D_E , která je dána vztahem (4). Jedná se o nejkratší vzdálenost mezi body (x, y) a (i, j) .

$$D_E((x, y), (i, j)) = \sqrt{(y - i)^2 + (y - j)^2}. \quad (4)$$

Těžiště žmolků se získávají v programu MATLAB opět pomocí příkazu *regionprops.m* a funkce *centroid.m*. Euklidovská vzdálenost je v MATLABu počítána pomocí funkce *euclidean.m*. Z vygenerovaných bodů a zjištěných vzdáleností se počítá hustota žmolkovitosti D_2 daná vztahem (5).

$$D_2 = \frac{\sqrt{2n}}{\pi \sqrt{\Sigma(r_i^2) \Sigma(x_i^2)}}. \quad (5)$$

Na obrázku 23 je znázorněn monochromatický obraz vzorku A1 s detekovanými žmolky, které jsou červeně ohraničeny. V obraze jsou náhodně zvoleny body, vždy je stejný počet bodů a žmolků, od kterých je žlutou čarou vedena přímka r_i k nejbližšímu žmolku v jejich okolí. Zeleně je znázorněna přímka x_i od nalezeného žmolku k jeho nejbližšímu sousedovi.



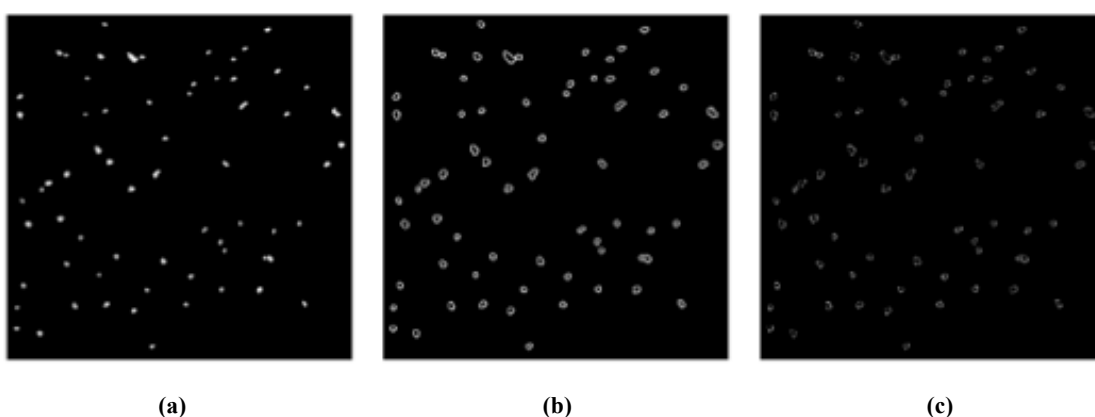
Obrázek 23 Grafické znázornění metody pro stanovení hustoty žmolků. Náhodně generované body jsou spojeny s nejbližším žmolkem žlutou čarou a jejich nejbližší soused je spojen zelenou čarou.

7.6.4 Kontrast

Kontrast G určuje výšku žmolku v obraze. Kontrast se získává z monochromatického obrazu a je dán jako poměr průměrné hodnoty šedi žmolků a průměrné hodnoty šedi okolí žmolků dle vztahu (6).

$$G = \frac{g_p}{g_b}. \quad (6)$$

K měření kontrastu je nutné nejprve binární obraz vynásobit původním monochromatickým, tím získají objekty své původní hodnoty šedi, ze kterých se vypočítá průměrná hodnota šedi g_p . Následně je potřeba zjistit průměrnou hodnotu šedi okolí žmolku. K tomu je zapotřebí nejprve detekovat okolí žmolku a k tomu byla použita morfologická operace dilatace. Při dilataci se používá strukturní element, kterým je obraz rozšiřován. V práci byl použit strukturní element tvaru diamant o velikost 5 pixelů. Detekované žmolky v binárním obraze byly dilatací zvětšeny, následně se od dilatovaného obrazu odečetl původní binární obraz. Výsledkem je obraz pouze s okolím žmolku o šířce strukturního elementu. Poté je obraz ještě vynásoben původní monochromatickým obrazem, aby objekty získaly původní hodnoty šedi. Z těchto objektů v okolí žmolků se určí hodnota průměrné šedi g_b . Výsledný kontrast G je podílem g_p a g_b . Původní monochromatický obraz vzorku A1 je znázorněn na obrázku 24 (a), obraz g_p na obrázku 24 (b) a obraz g_b na obrázku 24 (c).



Obrázek 24 (a) obraz vzorku A1 vynásobený monochromatickým – g_p , (b) okolí detekovaných žmolků, (c) vynásobené okolí žmolků monochromatickým obrazem – g_b .

7.7 Extrakce tvaru žmolků

Detekované žmolky v binárním obraze a jejich zjištěné charakteristiky nám dávají možnost zjistit jejich tvar. Dalším logicky vyplývajícím krokem je tedy extrakce tvaru žmolků. V této práci byla jako tvarový faktor hodnocena kruhovitost žmolků. Kruhovitost daná vztahem (7) se značí C , nabývá hodnot od 0 do 1, kdy 1 značí pravidelný kruh a 0 přímku. Ve vztahu s_i vyjadřuje plochu žmolku a o_i obvod daného žmolku.

$$C = \frac{s_i}{o_i^2} * 4 * \pi \quad (7)$$

V tabulce 7 jsou uvedeny výsledné hodnoty kruhovitosti pro všechny vzorky textilií. Z výsledných hodnot kruhovitosti je možné jasně stanovit rozdíl mezi žmolky připravenými na přístroji Martindale a mezi žmolky z komorového žmolkovacího přístroje. Jelikož při testování na komorovém žmolkovacím přístroji se do komory přidávají bavlněná vlákna pro zvýraznění žmolku, tak žmolky nabývají větších rozměrů s menší pravidelností. Jejich tvar spíše připomíná elipsu než kruh, což dosvědčují i naměřené hodnoty. Průměrná kruhovitost na přístroji Martindale se pohybuje kolem 0,85 a naopak na komorovém žmolkovacím přístroji je 0,75. Pro porovnání naměřených hodnot kruhovitosti jsou v tabulce 8 hodnoty kruhovitosti pro jednotlivé tvary.

Tabulka 7 Tabulka s hodnotami kruhovitosti pro jednotlivé vzorky.

Martindale								Komorový žm. přístroj			
Vzorek	C	Vzorek	C	Vzorek	C	Vzorek	C	Vzorek	C	Vzorek	C
A1	0.812	B1	0.841	C1	0.887	D1	0.836	E1	0.697	F1	0.776
A2	0.798	B2	0.828	C2	0.911	D2	0.818	E2	0.793	F2	0.755
A3	0.811	B3	0.831	C3	0.928	D3	0.812	E3	0.721		
A4	0.832	B4	0.844	C4	0.902	D4	0.842	E4	0.758		
A5	0	B5	0.814	C5	0	D5	0	E5	0		
Průměr	0.813		0.832		0.907		0.827		0.742		0.765

Tabulka 8 Tvary kruhovitosti pro jednotlivé hodnoty.

Kruhovitost	
Kruh	1
Elipsa	0,84
Obdélník	0,785
Rovnostranný trojúhelník	0,605

7.8 Vyhodnocení stupně žmolkovitosti

Cílem práce bylo navrhnout algoritmus pro automatické objektivní hodnocení žmolkovitosti. Ze zjištěných charakteristik žmolkovitosti bylo nutné zjistit jejich závislost na stupni žmolkovitosti. Proto byly vytvořeny sady pěti vzorků v celé škále žmolkovitosti podle norem pro přístroj Martindale a pro komorový žmolkovací přístroj. Z vytvořených sad byla zvolena jako vzorová sada sada A pro vzorky připravené na přístroji Martindale a sada E připravená na komorovém žmolkovacím přístroji. Obě sady vykazovaly vysokou míru závislosti na stupních žmolkovitosti a u vybraných charakteristik byly zjištěny vysoké koeficienty determinace. Níže v tabulce 9 jsou všechny zjišťované charakteristiky pro sadu A. Tabulka 10 obsahuje tytéž charakteristiky pro sadu E.

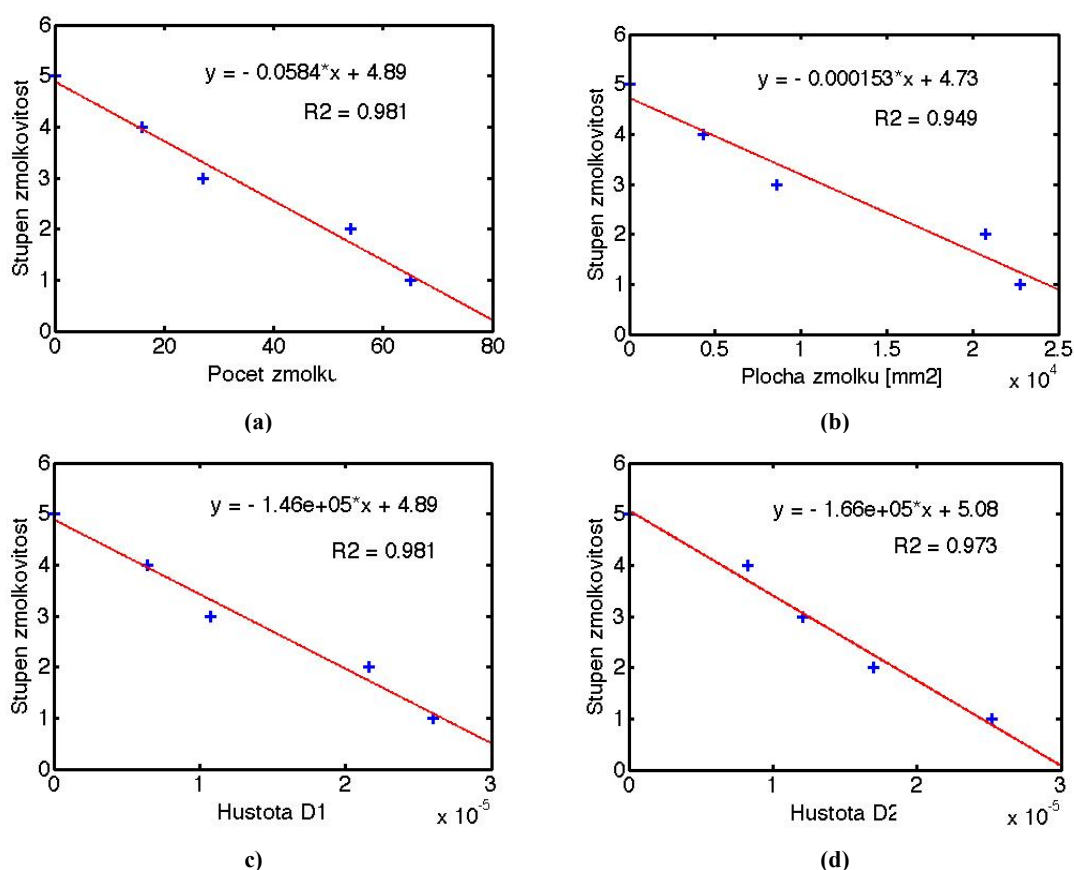
Tabulka 9 Charakteristik pro sadu A - Martindale.

Sada A	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
		Max	Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr S_z/S_c	\bar{O}	Max	Min	D_1	D_2		
A1	65	2.355	0.357	0.786	0.368	51.107	0.909	3.477	7.388	2.161	0.012	0.013	1.831	0.812
A2	54	2.584	0.411	0.862	0.463	46.571	0.828	3.694	8.549	2.402	0.010	0.012	2.053	0.798
A3	27	1.539	0.360	0.715	0.351	19.300	0.343	3.307	5.472	2.200	0.005	0.006	1.914	0.811
A4	16	1.469	0.443	0.607	0.250	9.704	0.173	3.040	5.858	2.457	0.003	0.004	1.878	0.832
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

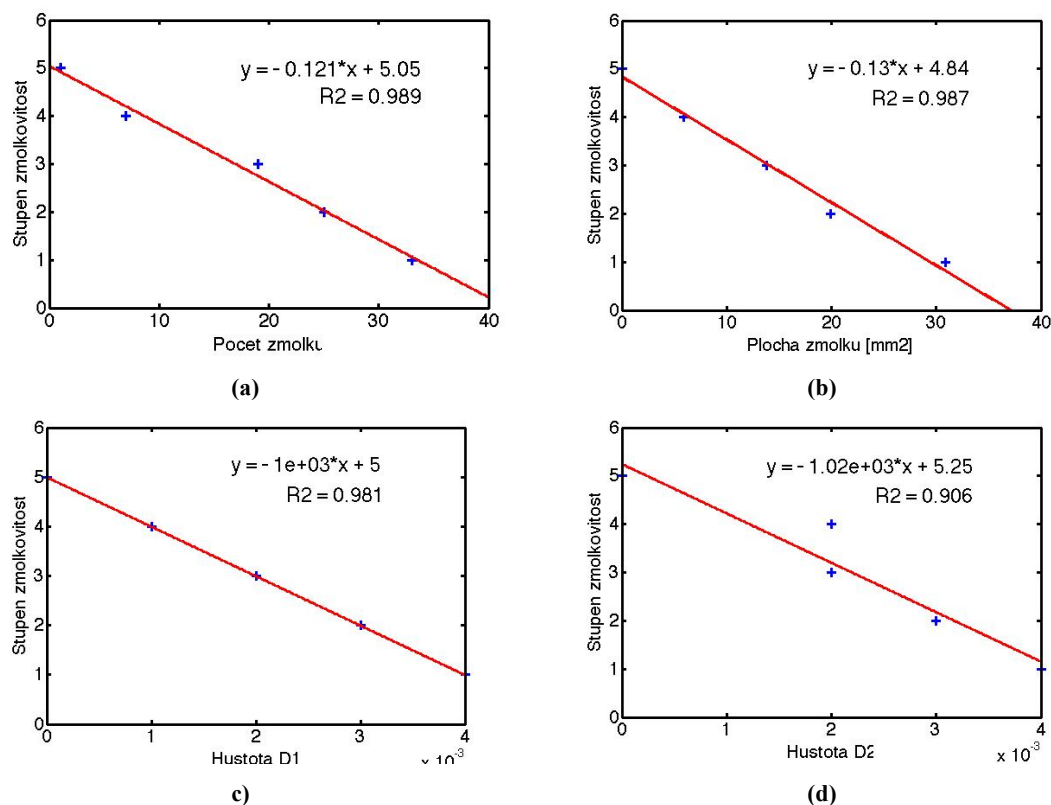
Tabulka 10 Tabulka charakteristik pro sadu E - Martindale.

Sada E	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
		S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr S_z/S_c	\bar{O}	Max	Min	D_1	D_2		
E1	33	2.442	0.332	0.937	0.552	30.908	0.395	4.261	9.690	2.127	0.004	0.004	1.758	0.697
E2	25	1.757	0.333	0.795	0.471	19.883	0.224	3.535	6.355	2.117	0.003	0.003	2.262	0.793
E3	19	2.071	0.177	0.729	0.489	13.855	0.171	3.593	8.357	1.543	0.002	0.002	1.510	0.721
E4	7	1.858	0.341	0.846	0.591	5.919	0.097	3.745	6.410	2.141	0.001	0.002	1.896	0.758
E5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Jak je z tabulek 9 a 10 znatelné, tak pouze čtyři charakteristiky mají sestupnou tendenci v závislosti na nižším stupni hodnocení žmolkovitosti. Zároveň tyto charakteristiky vykazovaly velmi vysoký koeficient determinace. Jako hodnotící faktory byly tedy vybrány čtyři charakteristiky, které byly počet žmolků, celková plocha žmolků, hustota D_1 a hustota D_2 . Ostatní charakteristiky nejsou vhodné pro objektivní hodnocení, jelikož se nedá určit jejich souvislost se stupněm na stupni žmolkovitosti. Zjištěné hodnoty vybraných čtyř charakteristik byly vyneseny do grafu a pomocí regresní analýzy byla znázorněna lineární závislost. Lineární závislost je znázorněna regresní přímkou, která je definována svou rovnicí. Na obrázku 25 jsou znázorněny grafy závislostí zmíněných charakteristik pro sadu A připravenou na přístroji Martindale včetně rovnic regresní přímky a koeficientů determinace. Na obrázku 26 jsou znázorněny tytéž údaje pro sadu E připravenou na komorovém žmolkovacím přístroji.



Obrázek 25 Grafy vynesných charakteristik proti stupni žmolkovitosti a jejich regresní přímky pro sadu A - Martindale, (a) počet žmolků, (b) celková plocha žmolků, (c) hustota D_1 , (d) hustota D_2 .



Obrázek 26 Grafy vynesených charakteristik proti stupni žmolovitosti a jejich regresní přímky pro sadu E – komorový žmolkovací přístroj, (a) počet žmolků, (b) celková plocha žmolků, (c) hustota D₁, (d) hustota D₂

Zjištěné rovnice regresních přímek z regresní analýzy byly použity ke stanovení jednotlivých stupňů žmolovitosti dle příslušné charakteristiky. Doplněním proměnné do vztahu zjistíme stupeň žmolovitosti, ke kterému dle dané charakteristiky vzorek připadá. Níže jsou uvedeny vztahy (8 – 11) pro hodnocení žmolovitosti pro vzorky z přístroje Martindale a vztahy (12 – 15) pro komorový žmolkovací přístroj. Vztahy (8) a (12) se patří k počtu žmolků N v obraze. Vztahy (9) a (13) patří k celkové ploše všech žmolků v obraze, zde definována jako suma všech ploch (AR). D_1 ve vztazích (10) a (14) vyjadřuje hustotu definovanou jako počet žmolků na plochu. Nakonec vztah vyjadřující hustotu D_2 je definován vztahy (11) a (15).

$$y_1 = 4,89 - 0,0584 * N \quad (8)$$

$$y_2 = 4.73 - 0,0683 * sum(AR) \quad (9)$$

$$y_3 = 4.89 - 327,11 * D_1 \quad (10)$$

$$y_4 = 4.93 - 277,85 * D_2 \quad (11)$$

$$y_1 = 5,05 - 0,12 * N \quad (12)$$

$$y_2 = 4,84 - 0,13 * \text{sum}(AR) \quad (13)$$

$$y_3 = 5,04 - 971,15 * D_1 \quad (14)$$

$$y_4 = 5,14 - 1018,3 * D_2 \quad (15)$$

Každý z těchto vztahů udává rozlišovací interval pro zařazení vzorku dle stupně žmolkovitosti podle dané charakteristiky. Vzhledem k velmi vysokému koeficientu determinace, lze považovat všechny čtyři charakteristiky za sobě rovné. Výsledný stupeň žmolkovitosti je tedy dán aritmetickým průměrem výsledných stupňů ze všech čtyř vztahů $y_1 - y_4$ (16).

$$Y = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} \quad (16)$$

Pro použití automatického hodnocení žmolkovitosti v praxi by bylo potřeba použít několik vzorových sad, které by sloužily jako základ pro regresní analýzu všech výsledků měření. Zjištěné vztahy by zpřesnily intervaly jednotlivých stupňů a algoritmus by se dal využít na mnohem více materiálu.

8 Objektivní vyhodnocení žmolkovitosti

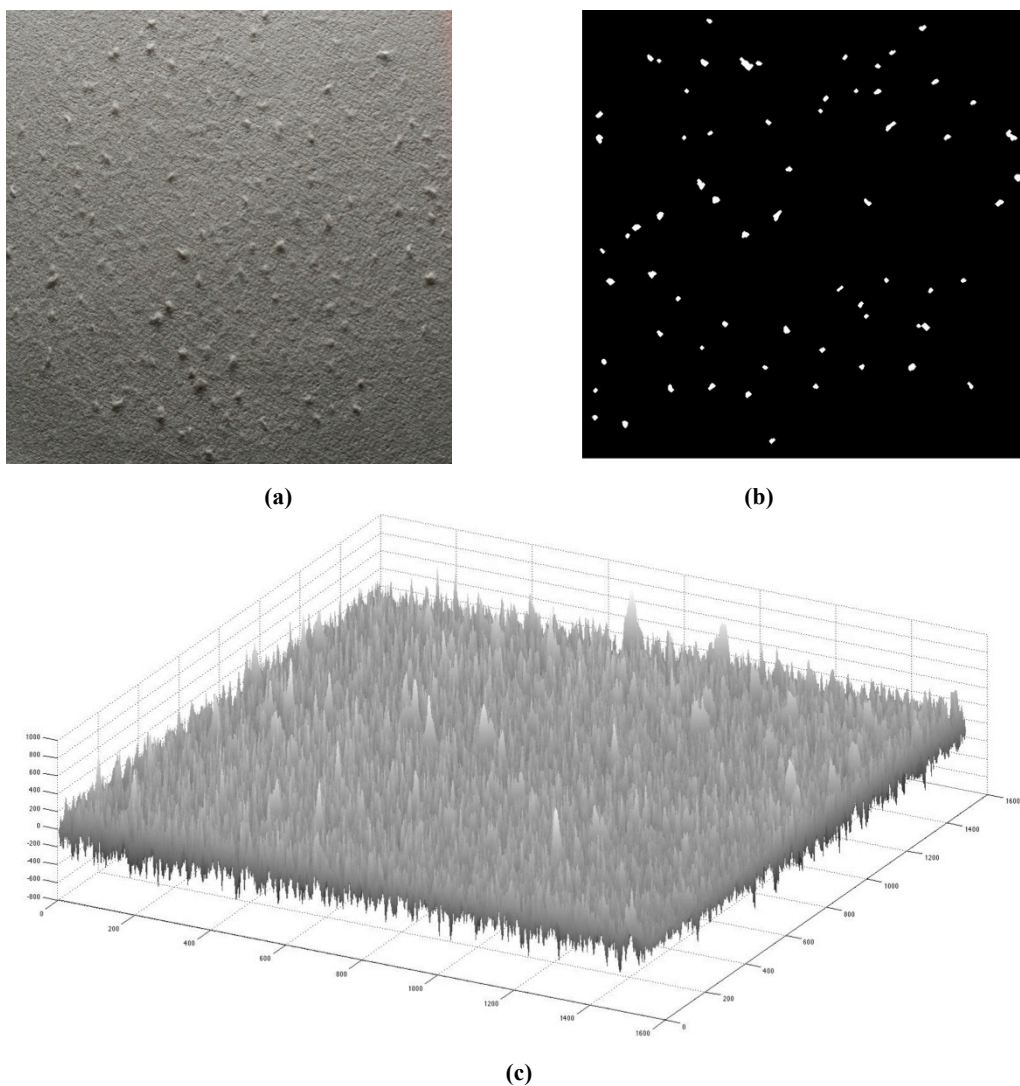
Pomocí vytvořeného algoritmu byly všechny připravené vzorky objektivně ohodnoceny. Pro každý vzorek bylo nutné mírně upravit některé parametry algoritmu, jako prahovou hodnotu a velikosti strukturních elementů tak, aby fungoval co nejpřesněji a nejefektivněji. V binárním obraze s detekovanými žmolky byly na základě indexace jednotlivých objektů zjištěny hodnoty charakteristik žmolkovitosti. Následně podle vztahů, zjištěných z regresní analýzy, daných v předešlé kapitole, byl automaticky určen stupeň žmolkovitosti vzorku textilie. Níže jsou uvedeny a popsány výsledky objektivního hodnocení žmolkovitosti, porovnání subjektivní a objektivní metody pro hodnocení žmolkovitosti a porovnání výsledků při použití metody 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí oproti běžné detekci obrazové analýzy.

8.1 Diskuze k výsledkům

Výsledky všech měřených charakteristik jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulkách 11, 12, 13 a 14. Některé vzorky vykázaly velmi dobré výsledky automatického objektivního hodnocení na základě vytvořeného algoritmu. Některé vzorky se naopak ukázaly jako nevhodné pro hodnocení žmolkovitosti na základě vytvořeného algoritmu. Konkrétněji bude pojednáno o každé sadě vzorků zvlášť níže. U hodnocení každé sady jsou na přiloženém obrázku znázorněny 3 obrazy vždy pro nejvíce ožmolkováný vzorek – (a) původní barevný obraz vzorku, (b) binární obraz s detekovanými žmolky a (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie po aplikaci Gaussova filtru.

Sada vzorků A

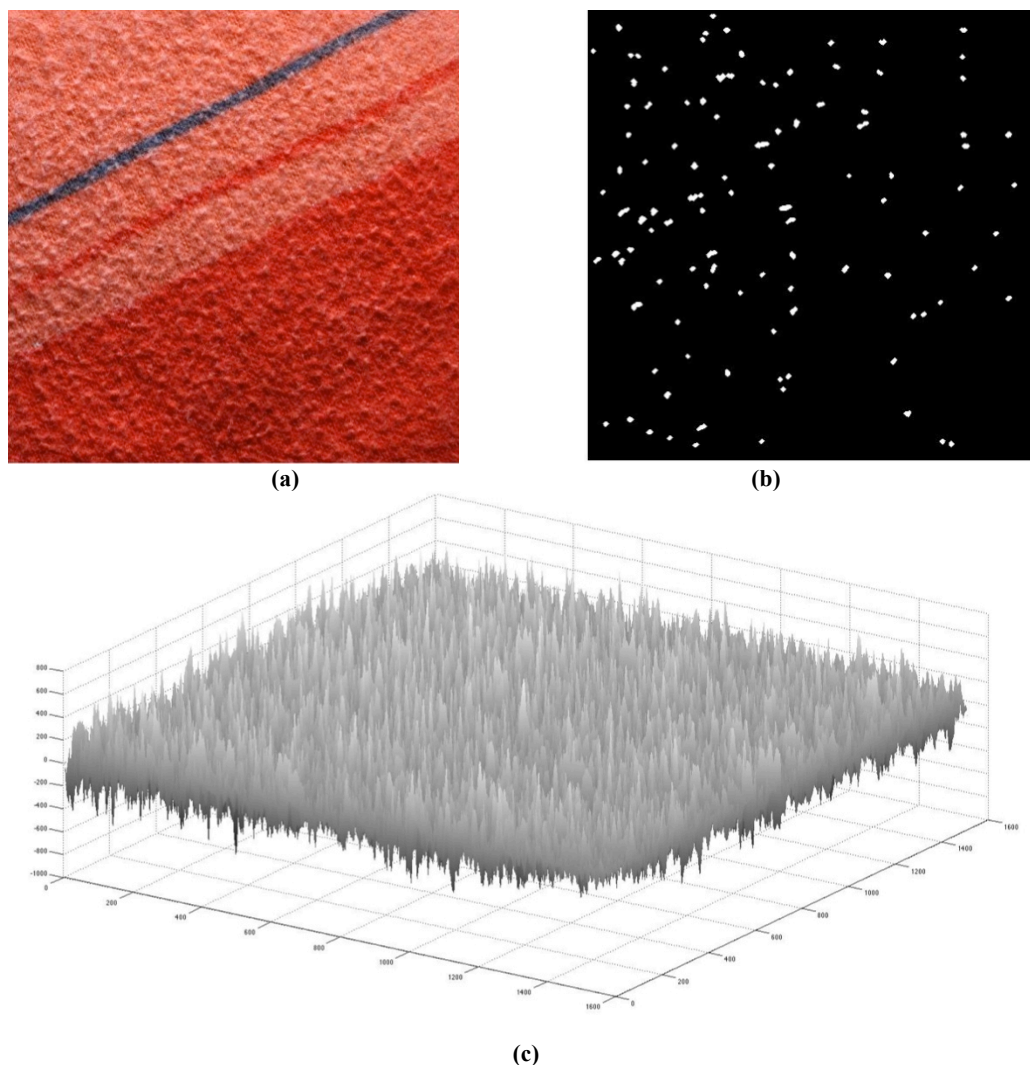
Sada A byla použita jako referenční pro vzorky připravené na přístroji Martindale, jelikož výsledky objektivní metody byly velmi uspokojivé. Vztahy lineární závislosti stupňů žmolkovitosti a vybraných naměřených charakteristik byly použity ke stanovení stupně žmolkovitosti pro další vzorky připravené na přístroji Martindale. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek A1 je znázorněno na obrázku 27.



Obrázek 27 Sada A, vzorek A1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie.

Sada vzorků B

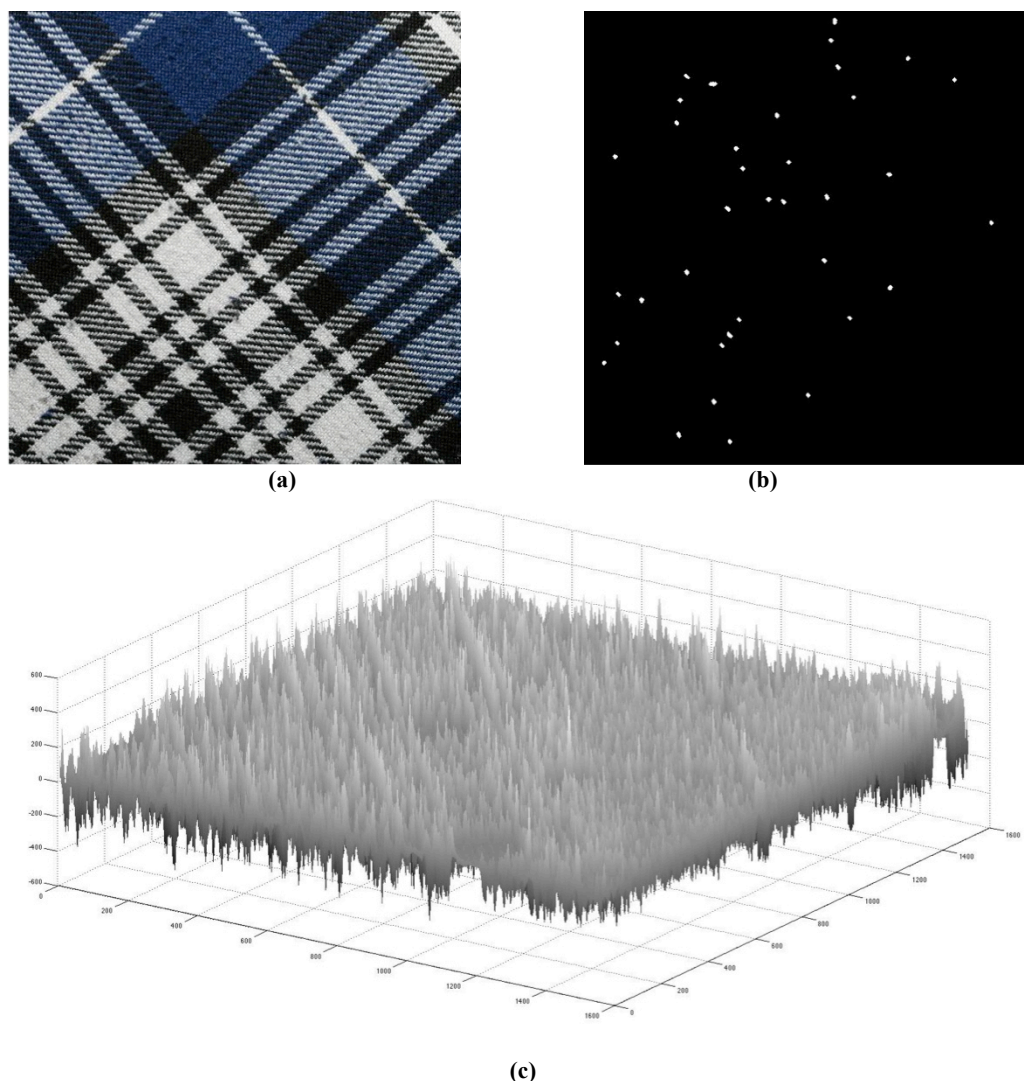
Povrch textilního materiálu sady B byl velmi rozvlákněný už v původní fázi. Na povrchu materiálu se tvořily žmolky pouze omezeně, spíše se celý povrch ještě více rozvláknil. Po segmentaci obrazu bylo velmi těžké definovat objekty, jelikož nedocházelo k oddělení objektů od pozadí. Daný výsledek je dán především materiálem, který svým velkým rozvlákněním znemožňoval přesnou segmentaci a následnou detekci žmolků. Vzhledem k dvoubarevnosti materiálu zde hrála roli též barva. V tmavších částech obrazu byla detekce úspěšnější než ve světlejších, kde nedošlo k segmentaci objektů. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek B1 je znázorněno na obrázku 28.



Obrázek 28 Sada B, vzorek B1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textile.

Sada vzorků C

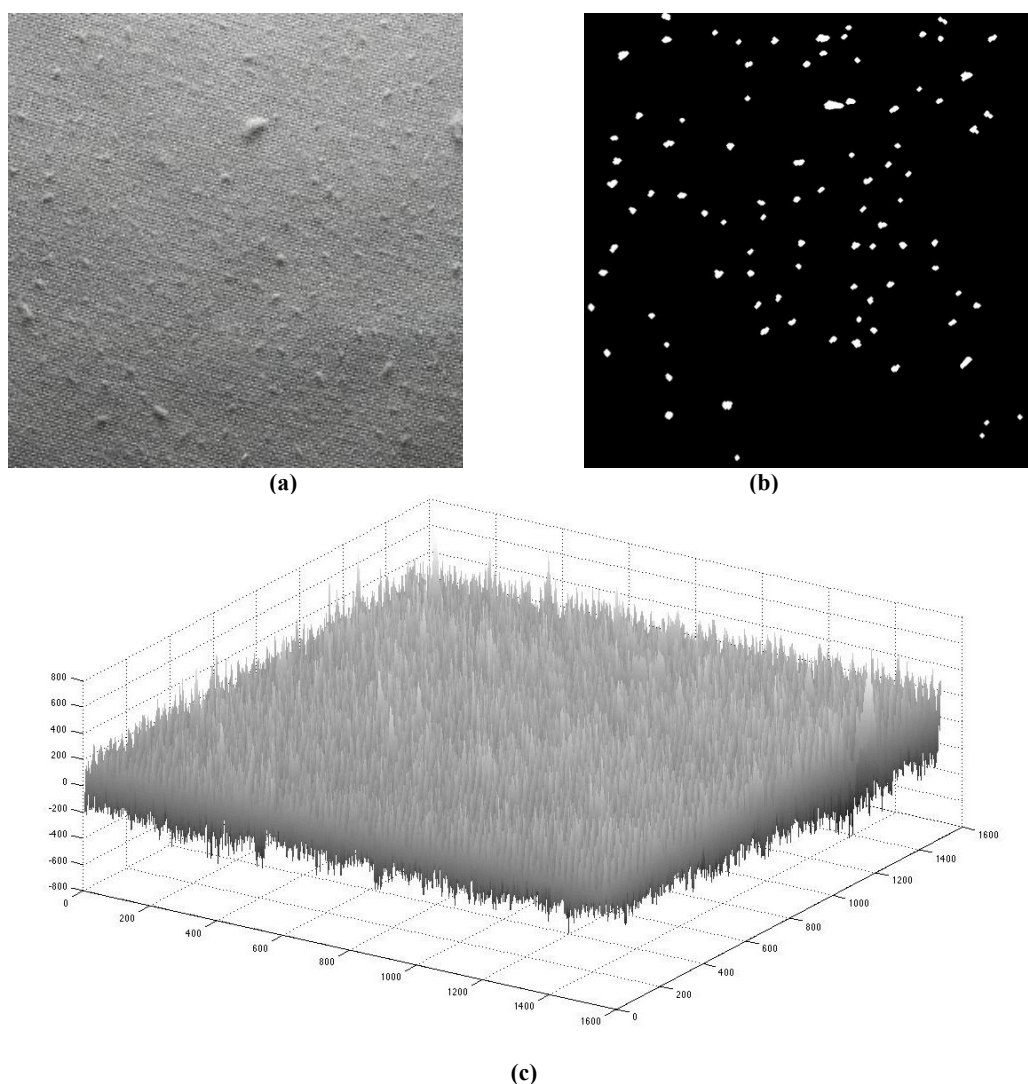
Algoritmus se ukázal jako nevhodný pro hodnocení žmolkovitosti tohoto typu materiálu. Materiál tvořil velmi malé žmolky, které se velmi těžko segmentovaly. Zároveň segmentaci zhoršoval zejména výrazný vzor materiálu bílé, černé a tmavě modré barvy. Bílá část materiálu byla segmentována jako objekty v obraze. Ani při využití jasových úprav obrazu nedocházelo k ideální segmentaci žmolků. Vzorky, kde se vyskytovala převážné modrá a černá barva vykazovaly mnohem větší přesnost v detekci žmolků. Naopak vzorky s větší částí bílého materiálu, jako např. vzorek C2, segmentovaly více objektů než v obraze bylo. Hlavním problémem při použití této metody byl velký kontrast mezi barvami textilie a malá velikost žmolků. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek C1 je znázorněno na obrázku 29.



Obrázek 29 Sada C, vzorek C1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie.

Sada vzorků D

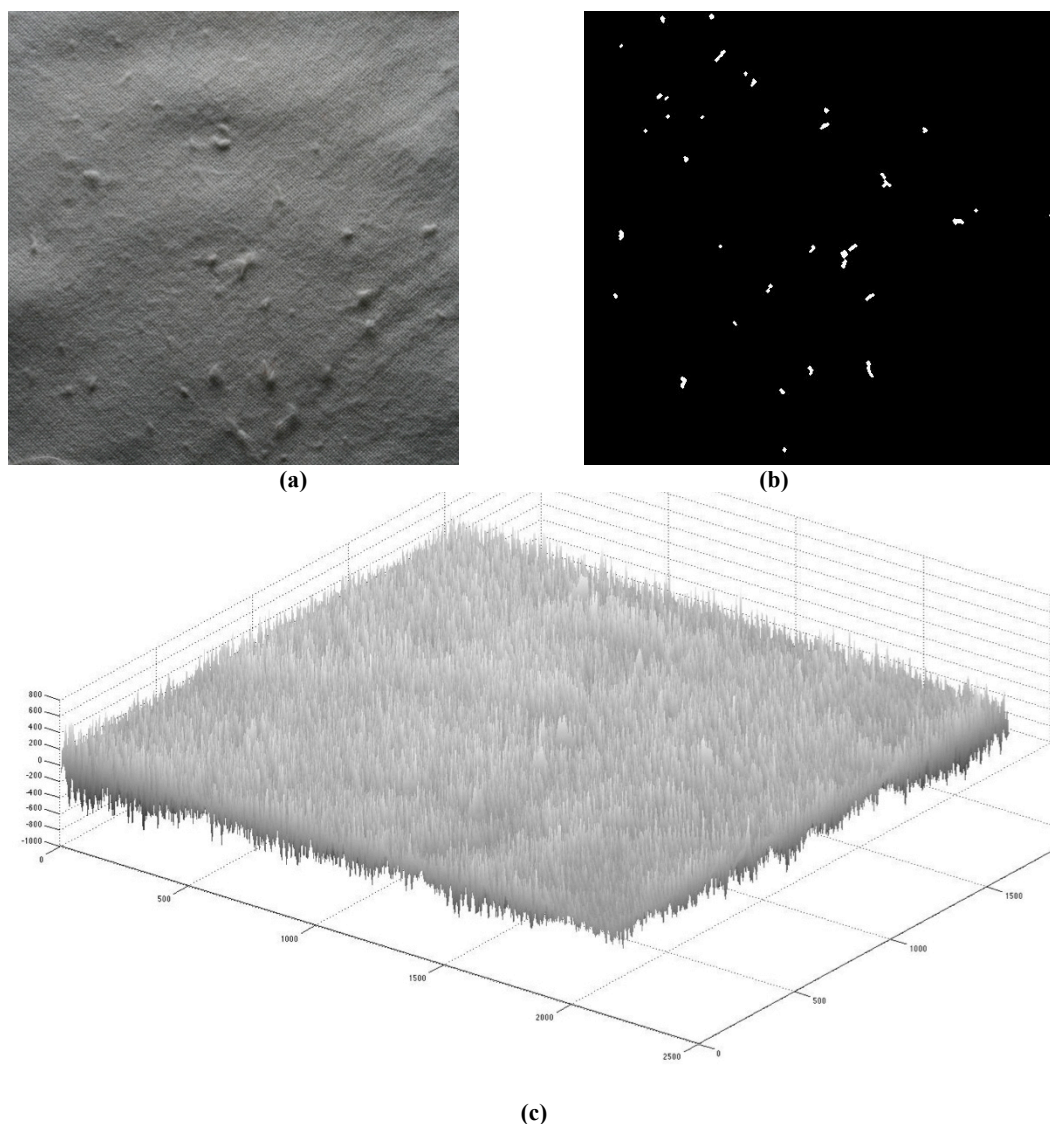
Výsledky na sadě D jsou uspokojivé. Funkčnost vytvořeného algoritmu se pozitivně potvrdila na jednobarevném materiálu. Segmentace žmolků byla velmi jednoduchá v porovnání se sadou B a C a výsledky ukázaly velmi přesnou detekci původních žmolků. Z tabulky 13 je možné vyčíst sestupnou závislost u hodnocených charakteristik v závislosti na stupni žmolkovitosti. Velikost žmolků na vzorcích v sadě D byla velmi malá oproti sadě A. Ač je zde vidět poměrně velká závislost stupně žmolkovitosti na jednotlivých charakteristikách žmolkovitosti, tak byl algoritmus nastaven na menší počet žmolků ze sady A. Pro lepší stanovení jednotlivých stupňů žmolkovitosti by bylo zapotřebí podrobit objektivnímu hodnocení více vzorků a z jejich průměrných výsledků regresní analýzou stanovit nové přesnější vztahy. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek D1 je znázorněno na obrázku 30.



Obrázek 30 Sada D, vzorek D1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie.

Sada vzorků E

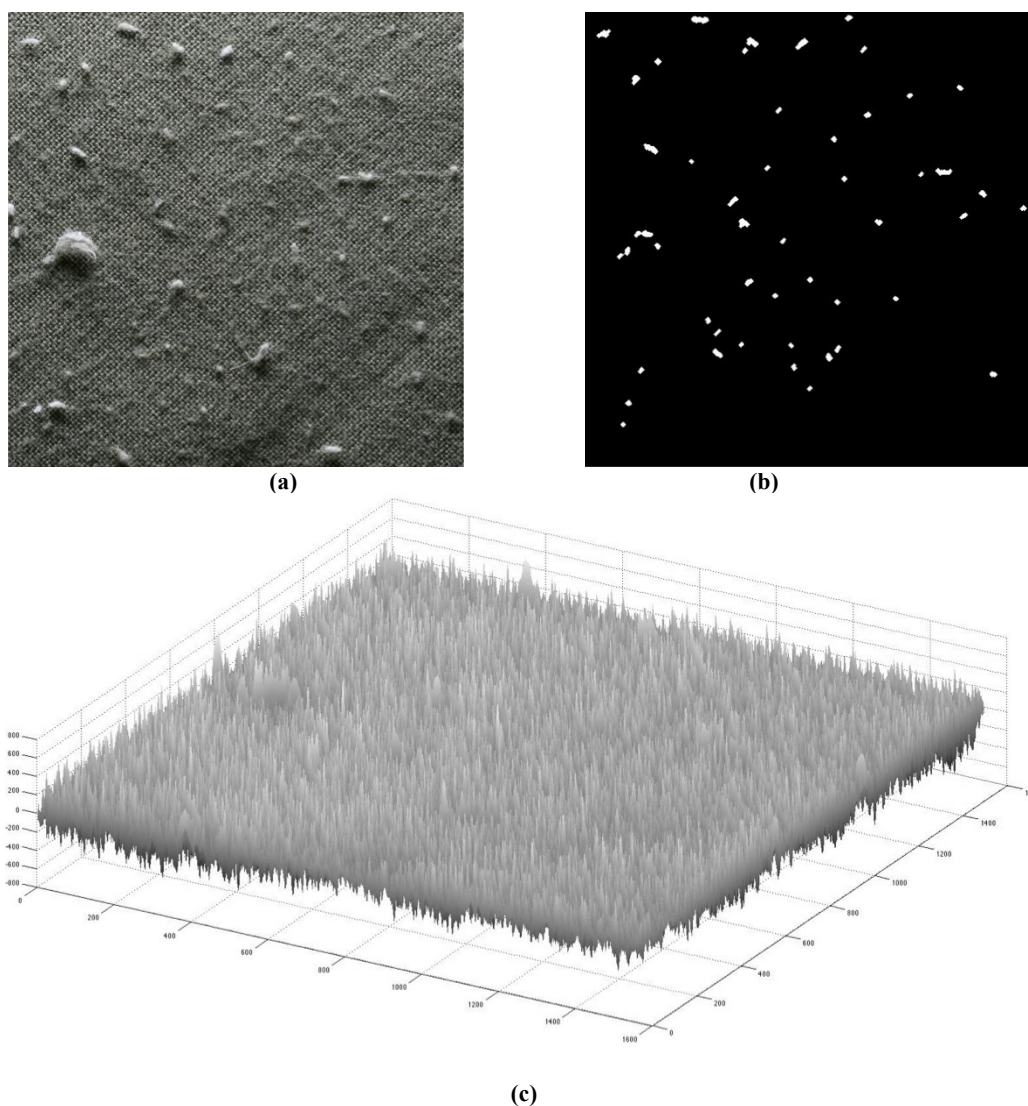
Sada E byla vytvořena na komorovém žmolkovacím přístroji. Přidáním bavlněných vláken do komor žmolkovacího přístroje se vytvořily bílé žmolky na bílém pozadí. Žmolky z komorového žmolkovacího přístroje tvoří velmi husté žmolky a při nasvícení světlo projde skrz a nevznikl stín potřebný pro správnou detekci. Vzhledem ke kombinaci bílá – bílá a prosvícení žmolků bylo náročné vhodně stanovit prahovou hodnotu. Algoritmus dokáže detekovat žmolky v obraze, ale kvůli prosvícení žmolků nebylo možné získat přesné tvary žmolků. Sada E byla vybrána jako referenční pro vzorky z komorového žmolkovacího přístroje a stejně jako u sady A se vztahy lineární závislosti použily ke stanovení stupně žmolkovitosti u dalších vzorků. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek E1 je znázorněno na obrázku 31.



Obrázek 31 Sada E, vzorek E1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie.

Sada vzorků F

U sady F byl předpoklad, že segmentace žmolků bude jednodušší a přesnější oproti sadě E, jelikož materiál byl tmavé barvy a žmolky bílé. Tento předpoklad se při testování projevil jako nesprávný. Jako u sady E se při správné prahové hodnotě segmentovaly žmolky, ale ne kompletně. Větší žmolky, které nebyly dostatečně husté nepohltily šířené světlo a za žmolkem nevznikl stín, proto byly detekovány pouze z části nebo jako několik žmolků blízko sebe. Objektivní hodnocení žmolkovitosti aplikované na vzorek F1 je znázorněno na obrázku 32.



Obrázek 32 Sada F, vzorek F1, (a) původní barevný obraz, (b) binární obraz po detekci žmolků, (c) 3D rekonstrukce povrchu textilie.

Vyvinutý algoritmus fungoval velmi uspokojivě na všech jednobarevných vzorcích z přístroje Martindale. Detekce žmolků včetně jejich tvaru odpovídala skutečnosti. Na vzorcích z komorového žmolkovacího přístroje použitá metoda nevykázala tak uspokojivé výsledky. Hlavní dva důvody, kvůli kterým vytvořený algoritmus nedosahoval přesných výsledků byly barevnost a vzor na materiálu, a struktura žmolků z komorového žmolkovacího přístroje. Pro barevné vzorky B a C byl největším problémem kontrast dvou barev. Sada B měla místy vzor, který rušil celkový výsledek, ale nejvíce ovlivnila výsledek kombinace světle oranžové a červené. Zde docházelo k horší segmentaci žmolků od pozadí. U sady C to byla kombinace bílé a černé, kde při globálním prahování byl obraz rozdělen na dvě části a žmolky v obraze zanikly. Sady E a F z komorového žmolkovacího přístroje měly největší problém ve struktuře vytvořených žmolků. Žmolky nebyly tak husté a při snímání skrz ně procházelo světlo a nedošlo k vytvoření reálného stínu žmolků. Segmentace obrazu a následná detekce žmolků nedokázala přesně určit tvar a velikost žmolku.

Tabulka 11 Tabulka charakteristik pro sadu B - Martindale.

Sada B	Objektivní stupeň žmolkovitosti	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
			S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr S_z/S_c	\bar{O}	Max	Min	D_1	D_2		
B1	1	104	2.259	0.439	0.738	0.309	76.802	1.377	3.316	8.519	2.486	0.019	0.019	2.002	0.846
B2	1	86	2.856	0.597	1.015	0.390	87.300	1.567	3.916	8.218	2.887	0.015	0.012	1.904	0.828
B3	3	29	1.285	0.597	0.817	0.169	23.680	0.425	3.453	4.537	2.847	0.005	0.006	1.586	0.856
B4	4	20	1.733	0.624	0.873	0.278	17.466	0.313	3.583	5.122	2.953	0.004	0.003	1.665	0.844
B5	4	16	1.780	0.644	0.916	0.313	14.661	0.263	3.764	5.695	3.020	0.003	0.004	1.591	0.814

Tabulka 12 Tabulka charakteristik pro sadu C - Martindale.

Sada C	Objektivní stupeň žmolkovitosti	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
			S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr S_z/S_c	\bar{S}	Max	Min	D_1	D_2		
C1	3	36	0.795	0.368	0.458	0.085	16.486	0.296	2.546	3.669	2.180	0.007	0.007	2.295	0.887
C2	2	40	0.615	0.200	0.321	0.109	12.837	0.230	2.077	3.025	1.590	0.007	0.007	2.348	0.922
C3	3	28	0.613	0.258	0.353	0.086	9.869	0.177	2.177	2.903	1.819	0.005	0.003	2.401	0.928
C4	4	22	0.668	0.345	0.457	0.099	10.061	0.180	2.517	3.209	2.152	0.004	0.003	2.414	0.902
C5	5	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabulka 13 Tabulka charakteristik pro sadu D - Martindale.

Sada D	Objektivní stupeň žmolkovito sti	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
			S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr s_z/s_c	\bar{S}	Max	Min	D_1	D_2		
D1	1	90	3.323	0.443	0.947	0.429	85.208	1.528	3.803	8.037	2.486	0.016	0.016	1.817	0.809
D2	1	71	1.613	0.289	0.523	0.301	37.163	0.666	2.885	6.961	1.952	0.013	0.013	2.035	0.821
D3	3	34	1.847	0.289	0.515	0.269	17.528	0.314	2.793	7.366	1.991	0.006	0.006	2.084	0.828
D4	4	21	1.511	0.383	0.601	0.278	12.627	0.226	2.984	5.882	2.286	0.004	0.003	2.107	0.842
D5	5	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabulka 14 Tabulka charakteristik pro sadu F - Martindale.

Sada F	Objektivní stupeň žmolkovitosti	Počet žmolků	Plocha žmolků S [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolkovitosti		Kontrast <i>G</i>	Kruhovitost <i>C</i>
			S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum s$	Poměr s_z/s_c	\bar{S}	Max	Min	D_1	D_2		
F1	1	48	1.933	0.336	0.744	0.423	35.715	0.837	3.485	7.044	2.185	0.011	0.012	2.003	0.776
F2	2	17	3.372	0.423	0.983	0.750	16.709	0.391	4.014	9.236	2.443	0.004	0.003	1.982	0.755

8.2 Porovnání výsledků objektivního a subjektivního hodnocení

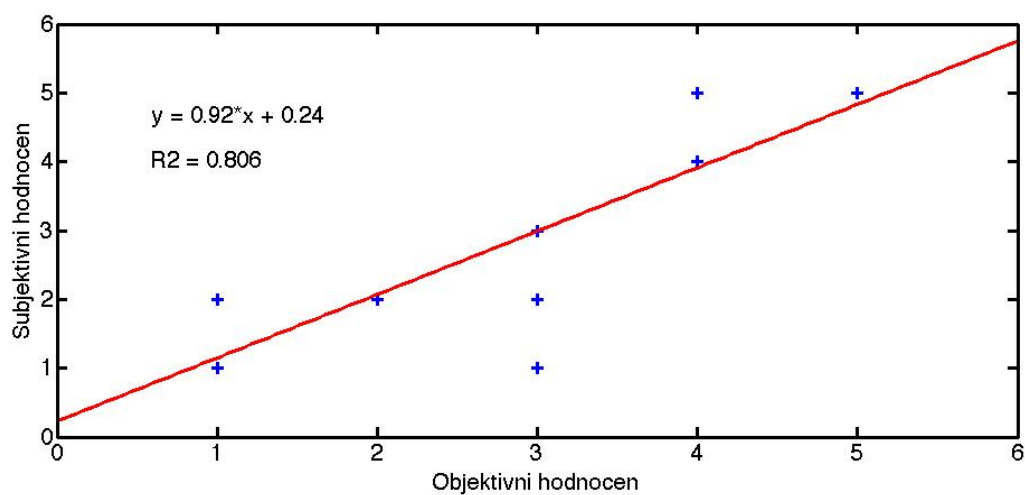
V rámci práce byly vzorky textilií podrobeny subjektivnímu a objektivnímu hodnocení žmolkovitosti. Pro porovnání a zjištění efektivity objektivní metody byly zvoleny pouze dva faktory, a to počet žmolků a stupeň žmolkovitosti. Počet žmolků byl jedinou společnou charakteristikou, která byla měřitelná jak objektivní, tak i subjektivní metodou. Stupeň žmolkovitosti byl u objektivní metody automaticky určen ze zjištěných vztahů pomocí vypracovaného algoritmu. U subjektivní metody byl stupeň žmolkovitosti určen na základě porovnání vzorků s fotografickými etalony dle příslušné normy. V tabulce 14 jsou pro porovnání zobrazeny výsledky hodnocení žmolkovitosti obou metod včetně počtu žmolků v obraze.

Tabulka 15 Porovnání počtu žmolků jednotlivých vzorků textilií subjektivní a objektivní metodou.

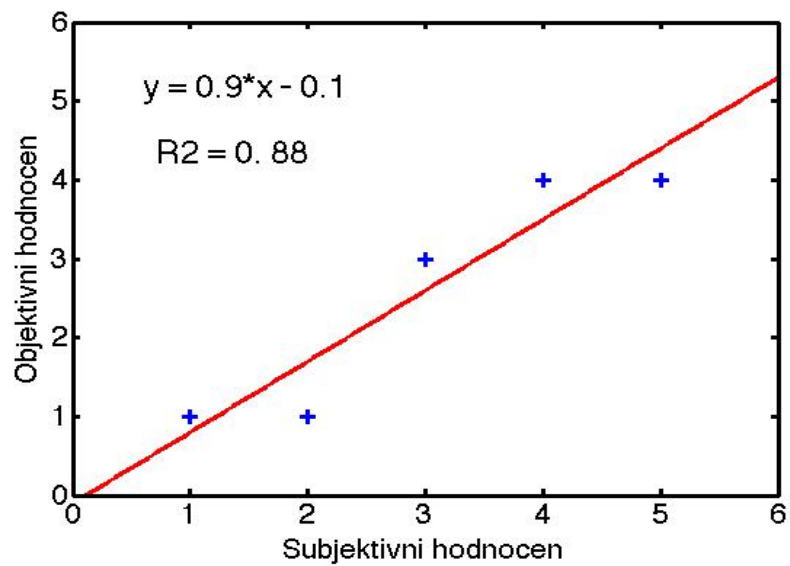
S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti		S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti		S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti	
	Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda		Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda		Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda
A1	65	67	1	1	B1	104	114	1	1	C1	36	42	3	1
A2	54	55	2	2	B2	86	63	1	2	C2	40	36	3	2
A3	27	27	3	3	B3	29	22	3	3	C3	28	21	3	3
A4	16	16	4	4	B4	20	7	4	4	C4	22	15	4	4
A5	0	0	5	5	B5	16	0	4	5	C5	0	0	5	5
S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti		S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti		S a d a	Počet žmolků		Stupeň žmolkovitosti	
	Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda		Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda		Obj. metoda	Sub. metoda	Obj. metoda	Sub. metoda
D1	90	97	1	1	E1	33	35	1	1	F1	48	41	1	1
D2	71	76	1	2	E2	25	25	2	2	F2	17	19	2	2
D3	34	51	3	3	E3	19	20	3	3					
D4	21	28	4	4	E4	7	14	4	4					
D5	0	0	5	5	E5	0	0	5	5					

Z výsledků je možné vyčíst, že sady A, D, E a F vykazují poměrně vysokou závislost mezi objektivním a subjektivním hodnocením. Naopak sady B a C, které reprezentují vícebarevné materiály, vykazují určité rozdíly u některých vzorků. Na obrázku 33 je znázorněn graf porovnání výsledků objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky z přístroje Martindale. Celkem se jedná o 20 vzorků s poměrně vysokým

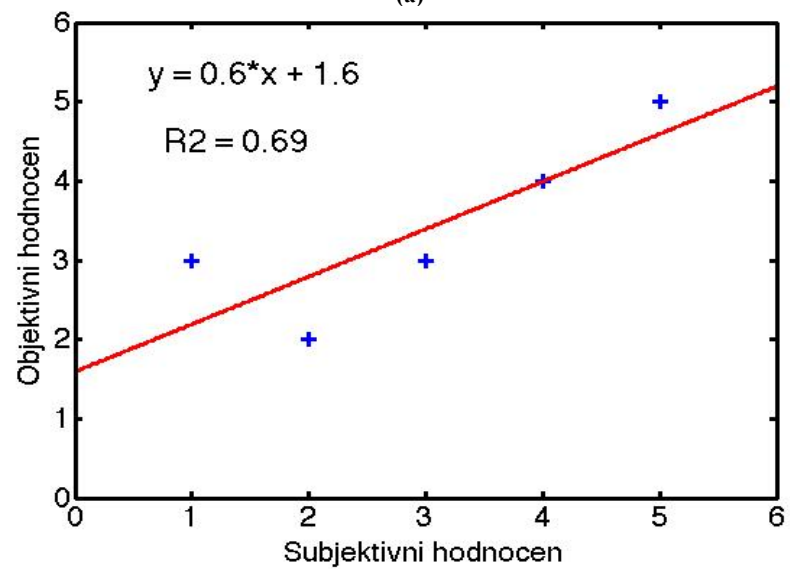
koeficientem determinace 0,8, vezmeme-li v úvahu, že polovina vzorků byly vícebarevné materiály, u kterých nebylo objektivní hodnocení perfektní. Dále na obrázku 34 jsou znázorněny grafy porovnání mezi objektivním a subjektivním hodnocením pro jednotlivé sady, sada B 34 (a), C 34 (b) a D 34 (c).



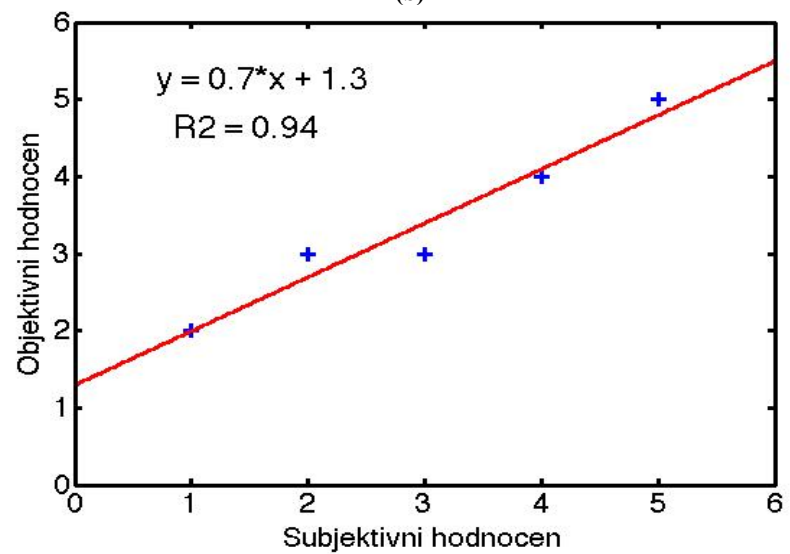
Obrázek 33 Graf porovnání objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky z přístroje Martindale.



(a)



(b)



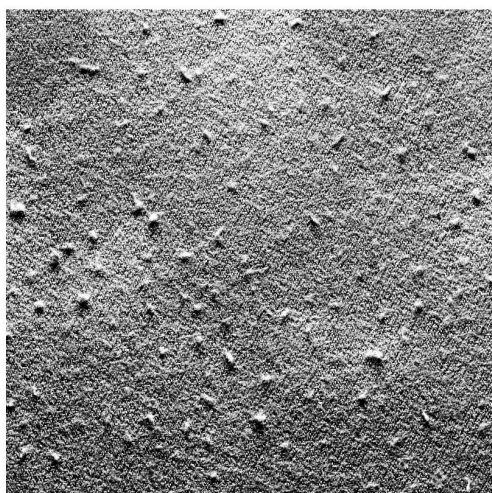
(c)

Obrázek 34 Grafy závislosti mezi objektivním a subjektivní hodnocení, (a) pro sadu B, (b) pro sadu C, (c) pro sadu D.

8.3 Porovnání výsledků různých metod

Pro objektivní porovnání v rámci obrazové analýzy byla metoda 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí porovnána metodou běžné detekce. Běžná detekce obrazové analýzy vychází z jednoho dvourozměrného obrazu, který je převeden na binární obraz např. globálním prahováním. V tomto případě byl upraven vyvinutý algoritmus pouze pro jednu fotografii, ze kterého byla odstraněna 3D rekonstrukce obrazu textilie. Kritériem pro hodnocení metod bylo porovnání binárních obrazů s detekovanými žmolky oproti původnímu vzorku textilie. Porovnání obou metod vykazuje objektivní výsledky ve prospěch použití metody s 3D rekonstrukcí povrchu textilie. Na níže uvedených obrazech 35, 36 a 37 jsou znázorněny výsledné obrazy po detekci žmolků pro všechny sady testované v této práci. Obrazy (a) a (d) jsou původní monochromatické obrazy, ze kterých bylo v práci vycházeno. Obrazy (b) a (e) jsou binární obrazy s detekovanými žmolky po aplikaci algoritmu. Na obrazech (c) a (f) jsou binární obrazy po detekci žmolků podle vyvinutého algoritmu s využitím metody 3D rekonstrukce povrchu dle gradientních polí.

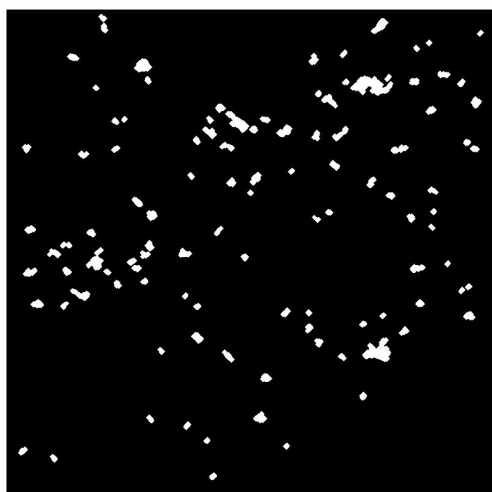
Viditelné výhody metody 3D rekonstrukce povrchu podle metody gradientních polí jsou vidět zejména na obrazech 35 (e), 36 (b) a 37 (e). Na těchto obrazech je zřetelně vidět špatná segmentace žmolků od pozadí, které má negativní vliv na následnou detekci žmolků v obraze. Metoda použitá v této práci dokáže při správném nastavení jednotlivých parametrů eliminovat barevný vzor a velké kontrastní rozdíly materiálů, ale jen v určité míře. Největší rozdíly v detekci žmolků byly zjištěny u vícebarevných materiálů a materiálů se vzorem. Použití metody 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí vede k přesnější segmentaci a následné detekci žmolků v obraze u vzorků z přístroje Martindale. V případě komorového žmolkovacího přístroje z důvodu prosvícení žmolků nedochází k přesné detekci tvaru žmolků [19].



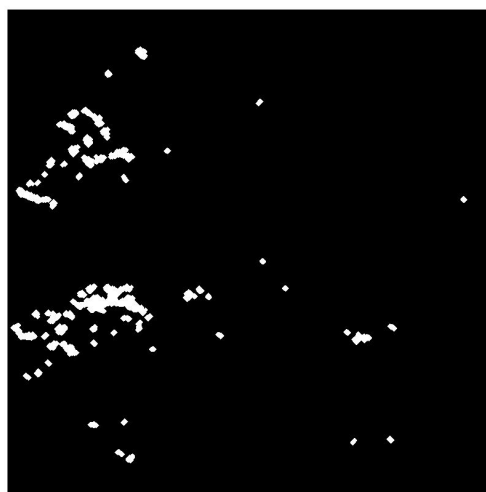
(a)



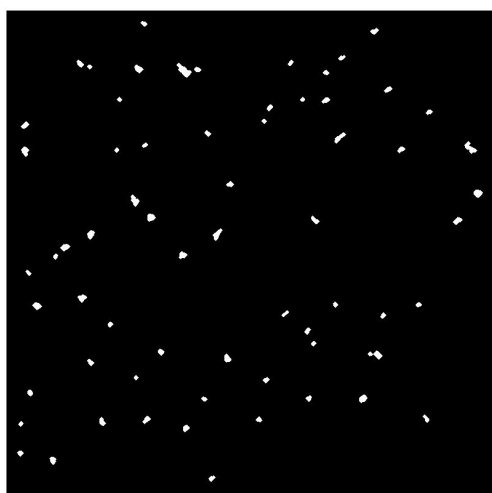
(d)



(b)



(e)

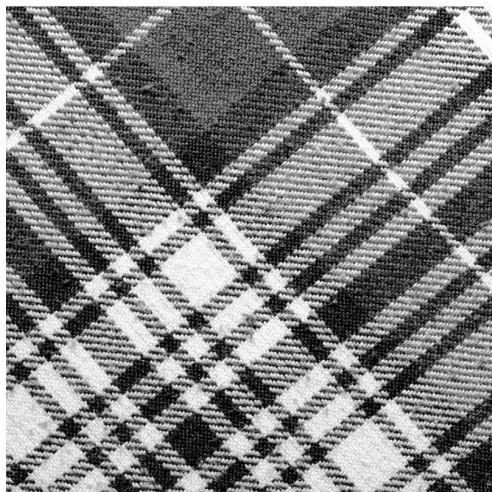


(c)

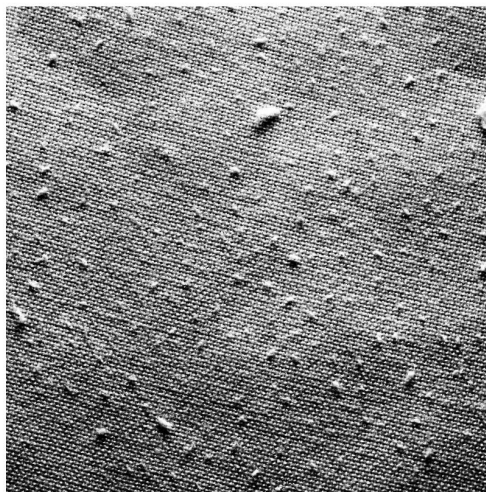


(f)

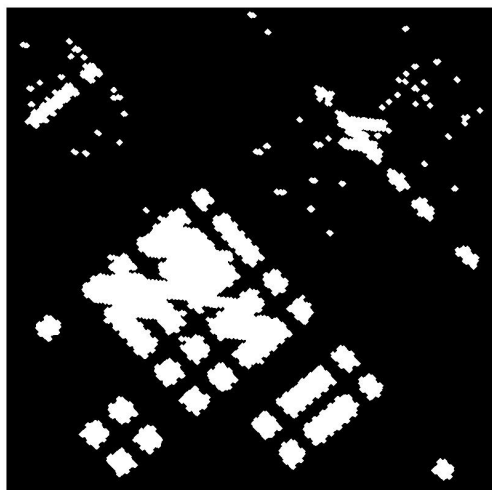
Obrázek 35 (a) monochromatický obraz vzorku A1, (b) binární obraz získaný z jednoho obrazu A1, (c) binární obraz vzorku A1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí, (d) monochromatický obraz vzorku B1, (e) binární obraz získaný z jednoho obrazu B1, (f) binární obraz vzorku B1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí.



(a)



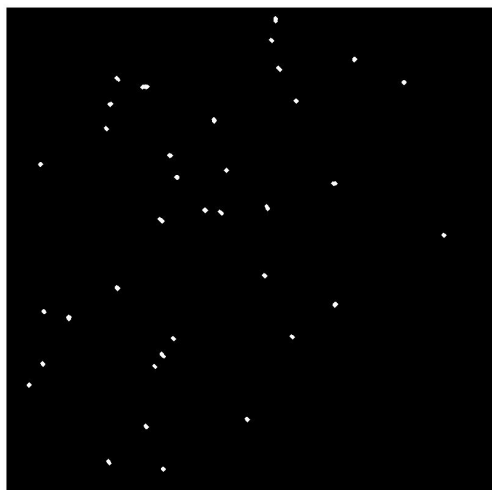
(d)



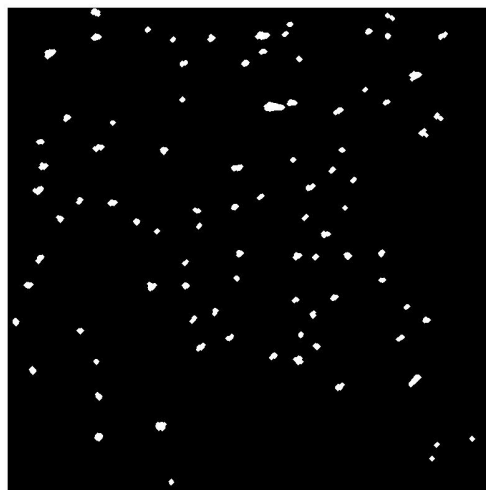
(b)



(e)

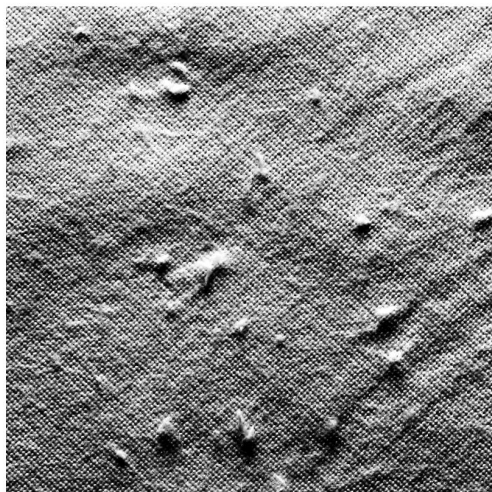


(c)

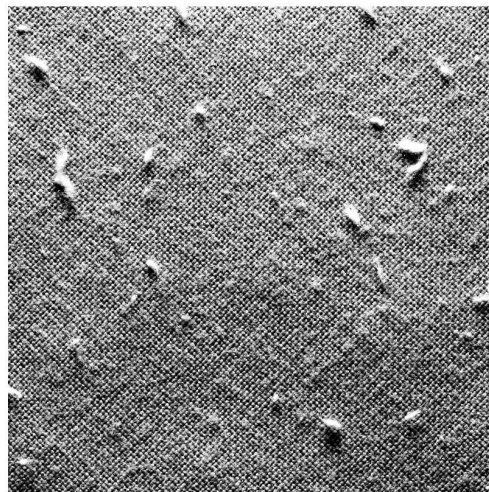


(f)

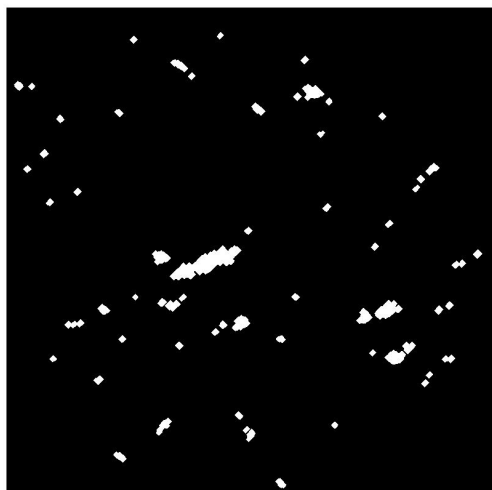
Obrázek 36 (a) monochromatický obraz vzorku C1, (b) binární obraz získaný z jednoho obrazu C1, (c) binární obraz vzorku C1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí, (d) monochromatický obraz vzorku D1, (e) binární obraz získaný z jednoho obrazu D1, (f) binární obraz vzorku D1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí.



(a)



(d)



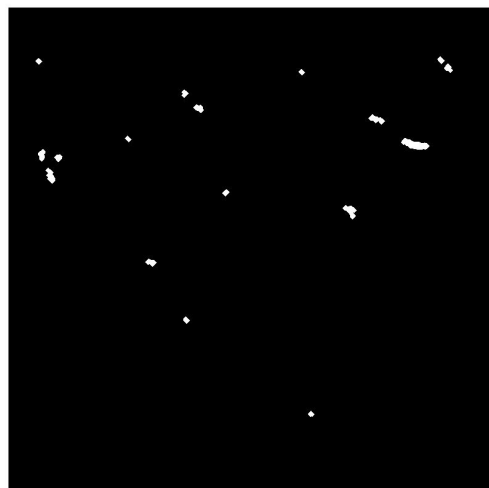
(b)



(e)



(c)



(f)

Obrázek 37 (a) monochromatický obraz vzorku E1, (b) binární obraz získaný z jednoho obrazu E1, (c) binární obraz vzorku E1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí, (d) monochromatický obraz vzorku F1, (e) binární obraz získaný z jednoho obrazu F1, (f) binární obraz vzorku F1 získaný metodou 3D rekonstrukce povrchu s využitím gradientních polí.

9 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit algoritmus pro automatické objektivní hodnocení žmolkovitosti pomocí 3D rekonstrukce obrazu textilií s využitím metody gradientních polí. Vytvoření algoritmu a zpracování obrazu probíhalo v programu MATLAB. Pro experiment byly použity vzorky tkaniny různého materiálu, barvy a vzoru. Všechny vzorky byly nejprve subjektivně ohodnoceny a následně i objektivně, pomocí vytvořeného algoritmu, aby se mohly porovnat výsledky a zjistit efektivita testované metody.

3D rekonstrukce povrchu s využitím metody gradientních polí je založena na výpočtu hodnot gradientních polí v obraze. Hodnoty gradientních polí bývají většinou nulové a neintegrovatelné. Aplikací Frankot – Chellapova algoritmu došlo k transformaci hodnot na integrovatelná a vypočetly se hodnoty gradientních polí, na jejichž základě vznikla rekonstrukce povrchu materiálu.

3D rekonstrukce povrchu dle testované metody byla velmi rychlá oproti jiným metodám, např. 3D skenování. K rekonstrukci byly potřeba pouze 4 obrazy nasvícené ze 4 různých stran. Základem testované metody bylo využití stínů, které vznikly při snímání nasvícených vzorků. Stíny jsou u většiny metod nežádoucí a zkreslují obraz, v tomto případě byly naopak využity k přesnější detekci žmolků v obraze. Podstatnou částí před samotnou 3D rekonstrukcí povrchu textilie je předzpracování pořízené sady 4 obrazů, které dokáže zpřesnit a zjednodušit segmentaci žmolků od pozadí. Základní operací ve fázi předzpracování byla ekvalizace histogramu, kdy došlo ke zvýšení kontrastu v obraze. Z upravených obrazů se pomocí Frankot – Chellapova algoritmu vytvořila 3D rekonstrukce povrchu s využitím metody gradientních polí. Na vytvořený obraz byl aplikován Gaussův filtr, který snížil šumy v obraze. Převedením 3D obrazu do dvourozměrného monochromatického obrazu byl vytvořen základní dvourozměrný obraz pro segmentaci žmolků od pozadí. Segmentace žmolků byla provedena globálním prahováním. Získaný binární obraz bylo nutné pomocí technik zpracování obrazu, jako jsou dilatace a eroze, upravit tak, aby došlo k co nejpřesnější detekci žmolků v obraze. Následně byly u každého vzorku zjištěny jednotlivé charakteristiky žmolků za účelem hodnocení stupně žmolkovitosti. K automatickému vypočtení stupně žmolkovitosti byly vybrány čtyři charakteristiky žmolkovitosti s největším koeficientem determinace, a to

počet žmolků, celková plocha žmolků, hustota žmolkovitosti D_1 a hustota žmolkovitosti D_2 . Rovnice regresních závislostí zmíněných charakteristik na stupni žmolkovitosti byly použity k automatickému vypočtení stupně žmolkovitosti.

Výsledky objektivní metody byly porovnány se subjektivním hodnocením a s metodou detekce v dvourozměrném obraze pro srovnání efektivity použité metody v této práci. Vyvinutý algoritmus založený na 3D rekonstrukci povrchu s využitím metody gradientních polí vykázal v práci velmi dobré výsledky u vzorků z přístroje Martindale. Z výsledků je patrné, že aplikace velmi dobře fungovala na jednobarevné materiály jakékoli vazby. V porovnání s detekcí žmolků v dvourozměrném obraze došlo k mnohem přesnější segmentaci žmolků v obraze a detekce žmolků v obraze byla velmi přesná. Horších výsledků bylo dosaženo u vzorovaných vzorků. Ačkoliv vyvinutý algoritmus vykazoval lepší výsledky než segmentace žmolků z dvourozměrného obrazu, tak byly výsledky vyhodnoceny jako nepřesné. V obraze vzorovaných vzorků nedošlo ke správné segmentaci žmolků od pozadí obrazu a následná detekce vykázala odlišné výsledky. Negativní výsledky byly dány zejména vysokým kontrastem barev. U vzorků z komorového žmolkovacího přístroje nedošlo k tak přesným výsledkům jako u vzorků z přístroje Martindale. Žmolky na vzorcích z komorového žmolkovacího přístroje nepohltily vyzařované světlo, tak nevznikly za žmolky stíny potřebné k jejich detekci. Lepších výsledků při detekci žmolků testovaných na komorovém žmolkovacím stroji lze dosáhnout použitím detekce dvourozměrného obrazu.

Na základě výsledků a porovnání objektivního a subjektivního hodnocení v této práci lze konstatovat, že metodu 3D rekonstrukce povrchu textilií s využitím gradientních polí lze efektivně použít pro jednobarevné materiály testované na přístroji Martindale. Aplikace na vícebarevné a vzorované materiály vykázala určité nepřesnosti ve výsledcích detekce, proto je zde prostor pro další výzkum. Pro vzorky z komorového žmolkovacího přístroje se testovaná metoda neprokázala jako vhodná, lepších výsledků dosahuje detekce z dvourozměrného obrazu, např. dvourozměrná diskretní Fourierova transformace. Objektivní metody hodnocení žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy jsou zajisté nedalekou budoucností, v praxi bude ale nutné zdokonalit zejména metody v oblasti barevných a vzorovaných materiálů, kde hodnocení žmolkovitosti nebylo přesné – efektivní. Pro další výzkumy pro barevné a vzorované materiály by jednou z možností mohla být například segmentace žmolků z jednotlivých vrstev RGB obrazu.

10 Literatura

- [1] Semnani D., Ghayoor H.: Detecting and Measuring Fabric Pills Using Digital Image Analysis. *Engineering and Technology*. 2009, Vol. 49, s. 897-900.
- [2] Xu, B. Instrumental Evaluation of Fabric Pilling. *Journal of Textile Institute*. 1997, 488, s. 488-500.
- [3] Xin, B.; Hu, J.: Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques. *Textile Research Journal*. December 2002, Vol. 72 (12), s. 1057-1064.
- [4] Xiaojun, L., Huabing, H., Yushu, L., Hong, Z.: The Evaluation System of Fabric Pilling Based on Image Processing Technique, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009.
- [5] Xu, B., Yu, W., Wang, R.: Stereovision for Three – Dimensional Measurements of Fabric Pilling. *Textile Res J*. 81 (20), s. 2168 – 2179, 2011.
- [6] Jasińska, I.. Assessment of a Fabric Surface after the Pilling Process Based on Image Analysis. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, Vol. 17, No 2 (73), s. 55-58.
- [7] Mendes, A.O., Fiadeiro, P.T.: Subjective and Objective Pilling Evaluation of Textile Fabrics: A Comparison. *Textile Research Journal*, Vol 80 (18), 1887 – 1897, 2010.
- [8] Agrawal, A., Chellappa, R.: An Algebraic Approach to Surface Reconstruction from Gradient Fields. *8th European Conference on Computer Vision*. Vol. 1, s. 174-181, USA, 2005.
- [9] Agrawal, A., Raskar, R., Chellappa, R.: What is the Range of Surface Reconstructions from a Gradient Field? *9th European Conference on Computer Vision*. Vol. 2, s. 578-591, Austria, 2006.
- [10] Hearle, J.W.S., Wilkins, A.H.: Mechanistic modelling of pilling. Part 1: Detailing of mechanism., *Journal of the Textile Institute*, 97:4, 359-368, 2006.

- [11] Frankot, R. T., Chellappa, R.: A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading Algorithms, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 10, No. 4, July 1988.
- [12] Staněk, J.: Nauka o textilních materiálech, díl 1., část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988.
- [13] ČSN 80 0838. Zjišťování odolnosti plošných textilií proti žmolkování na komorovém žmolkovacím přístroji, ÚMN, 1976.
- [14] ČSN EN ISO 12945-2. Textilie - zjišťování sklonu plošných textilií k rozvláknění povrchu a ke žmolkování - Část 2: Modifikovaná metoda Martindale, Český normalizační institut, 2001.
- [15] ASTM D4970. Standard Test method for pilling resistance and other related surface changes of textile fabrics – Martindale, 2012
- [16] ASTM D3512. Standard Test method for pilling resistance and other related surface changes of textile fabrics – tumble pilling tester, 2012
- [17] Hlaváč, V., Sedláček, M.: *Zpracování signálů a obrazů*, ČVUT, Praha, 2009.
- [18] Gonzales, R.C., Wood, R.E.: *Digital Image Processing*. 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.
- [19] Malínková, A.: Objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy, Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, 2011.

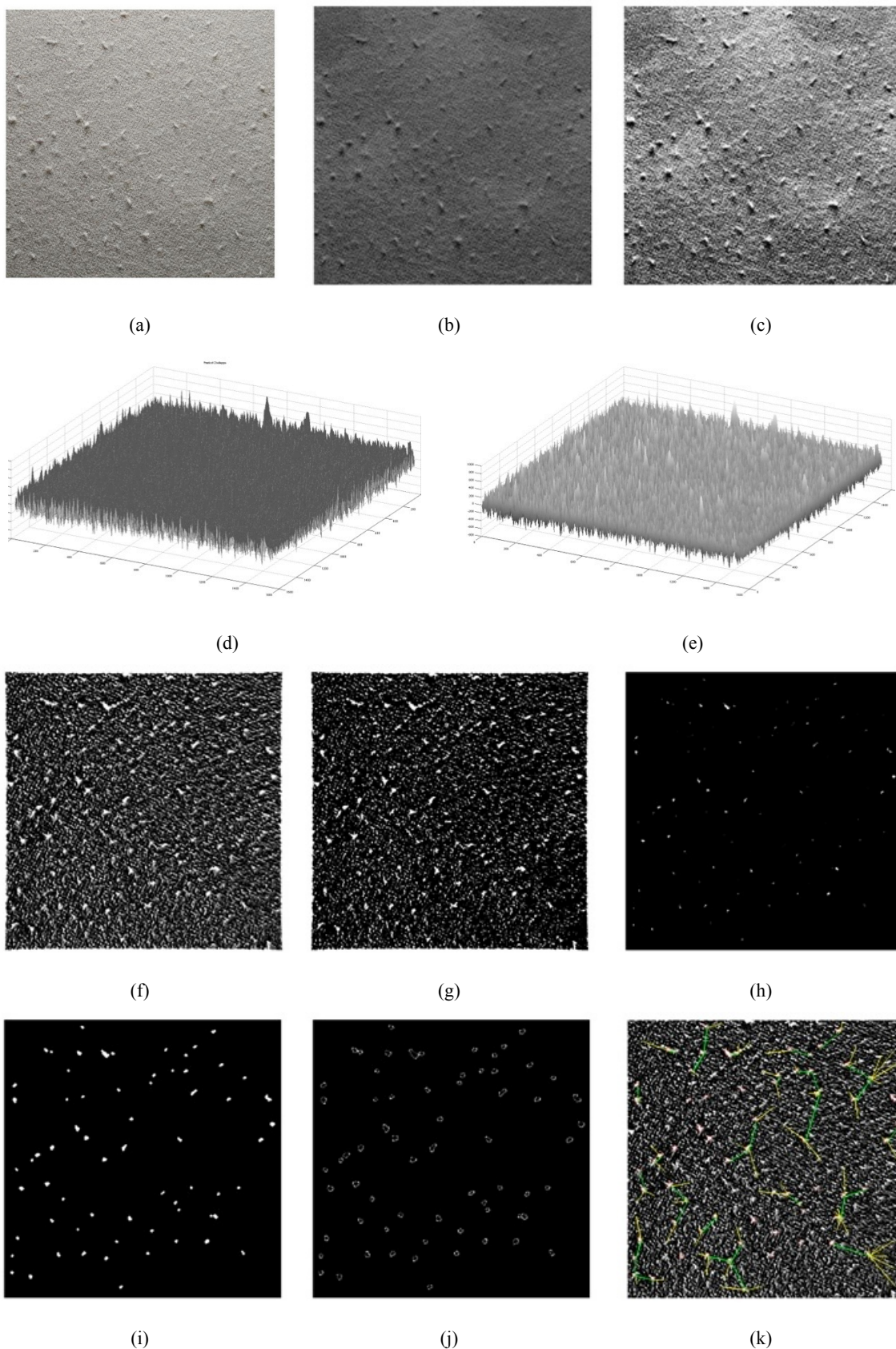
Seznam příloh

Příloha 1: Zpracované obrazy při objektivním hodnocení

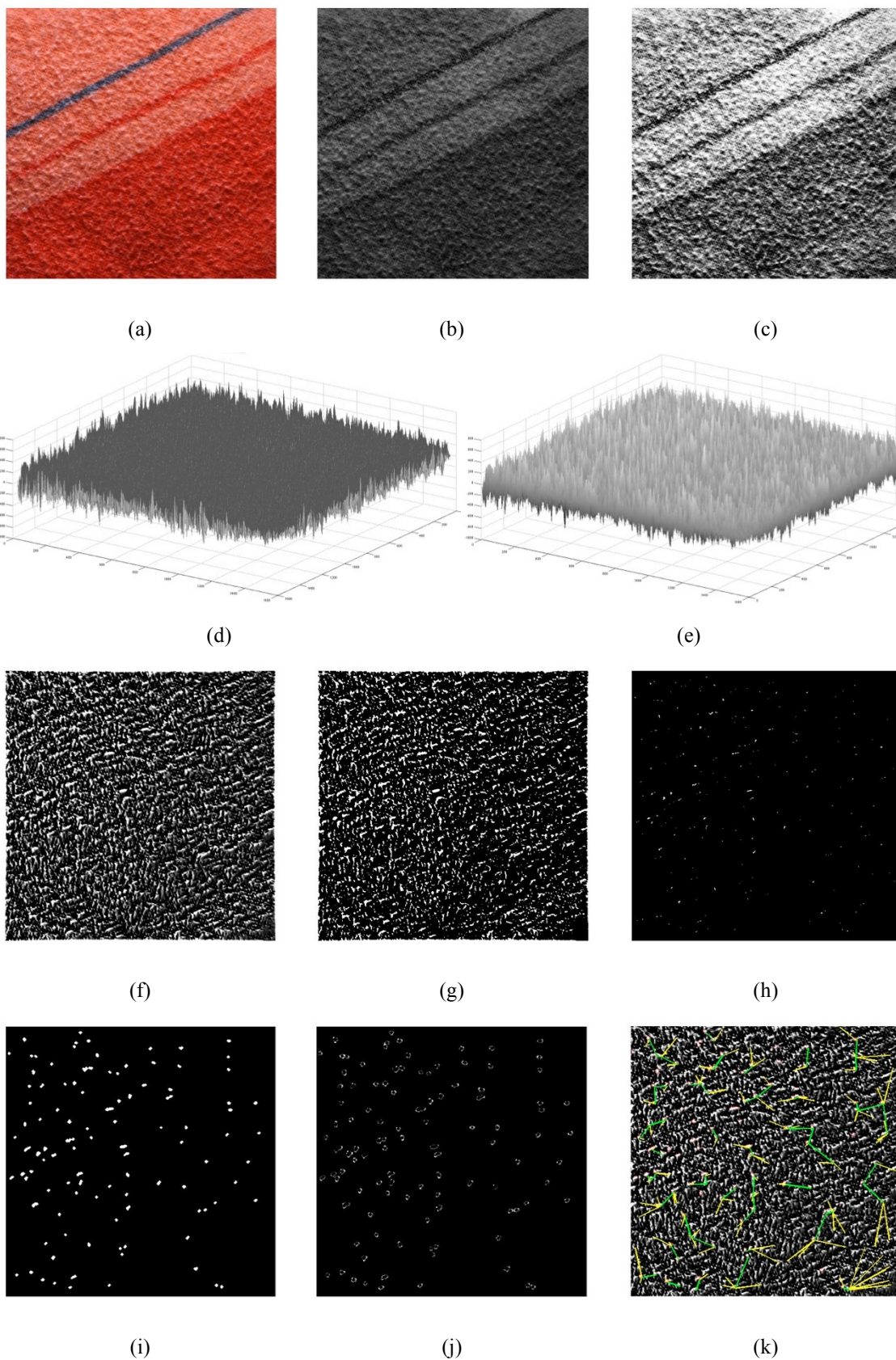
Příloha 2: Zdrojový kód algoritmu pro objektivní hodnocení

Na přiloženém CD jsou uloženy všechny původní obrazy testovaných sad včetně zdrojových kódů pro jednotlivé vzorky.

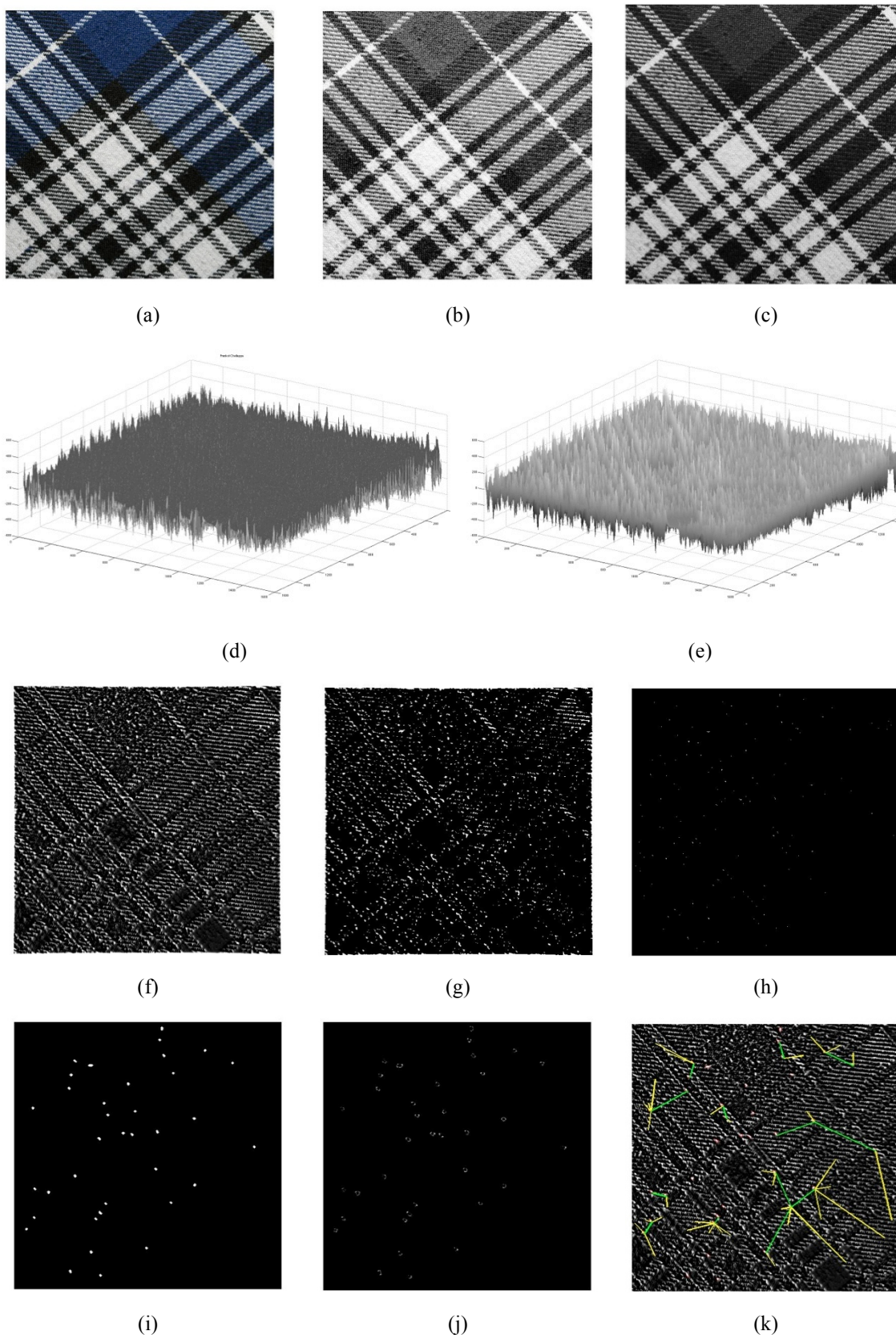
PŘÍLOHOVÁ ČÁST



Obrázek 38 Obrazová analýza vzorku A1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



Obrázek 39 Obrazová analýza vzorku B1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



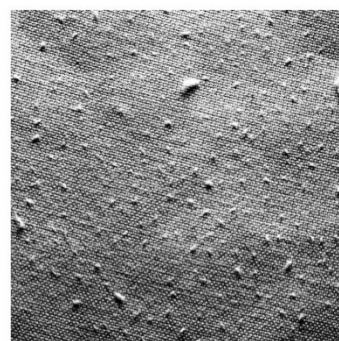
Obrázek 40 Obrazová analýza vzorku C1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



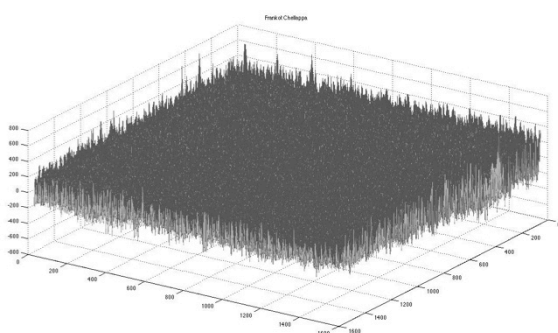
(a)



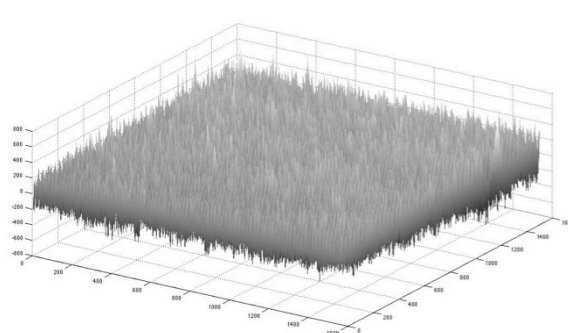
(b)



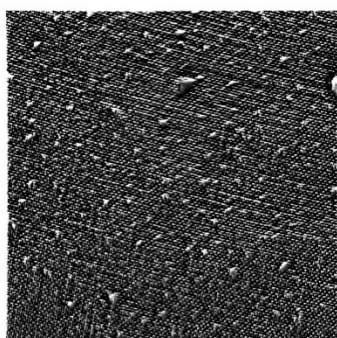
(c)



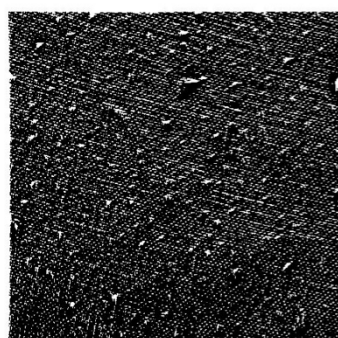
(d)



(e)



(f)



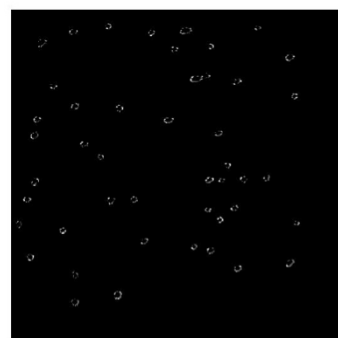
(g)



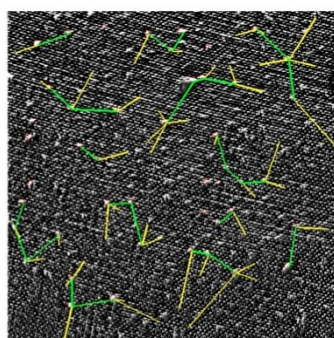
(h)



(i)

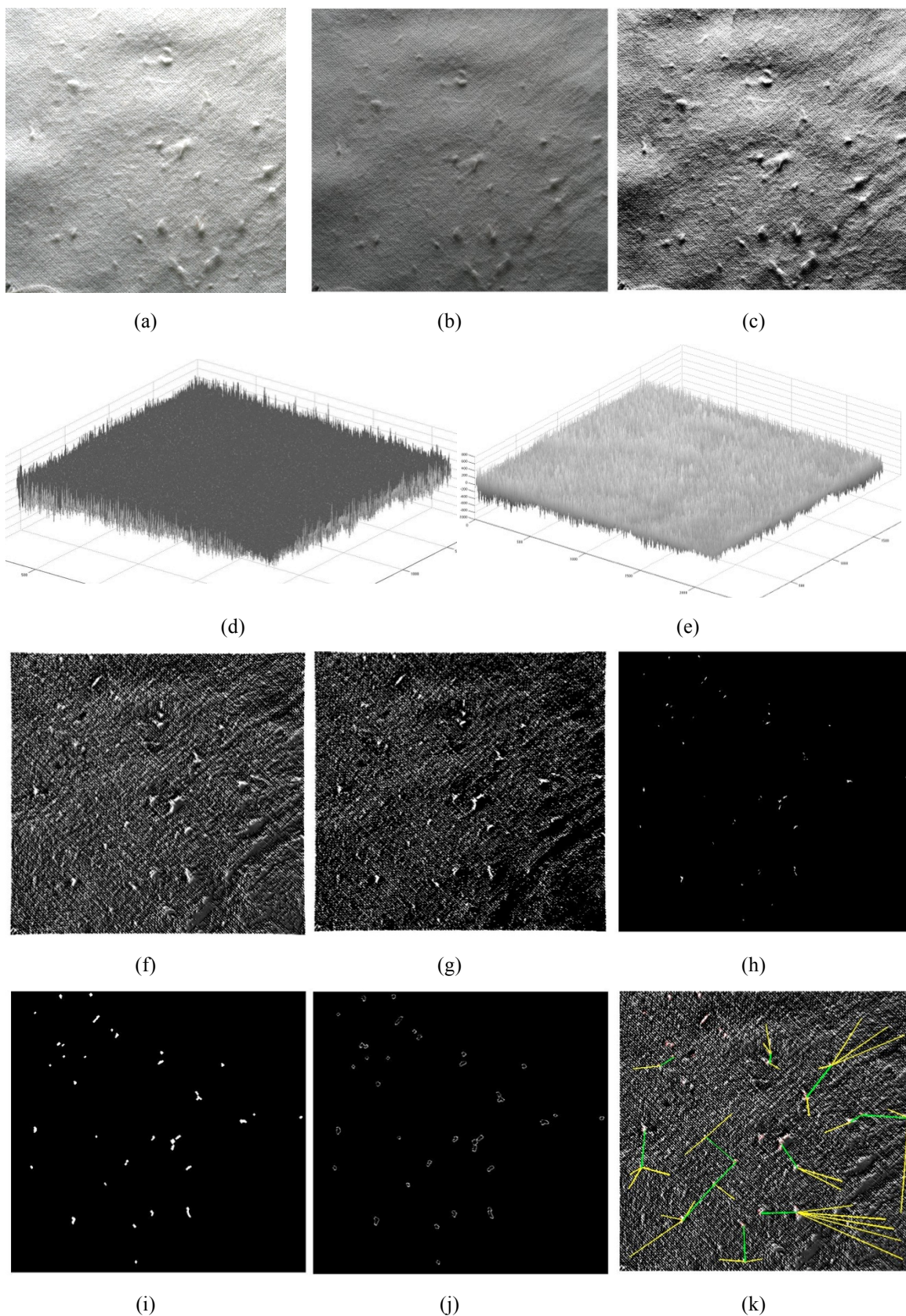


(j)

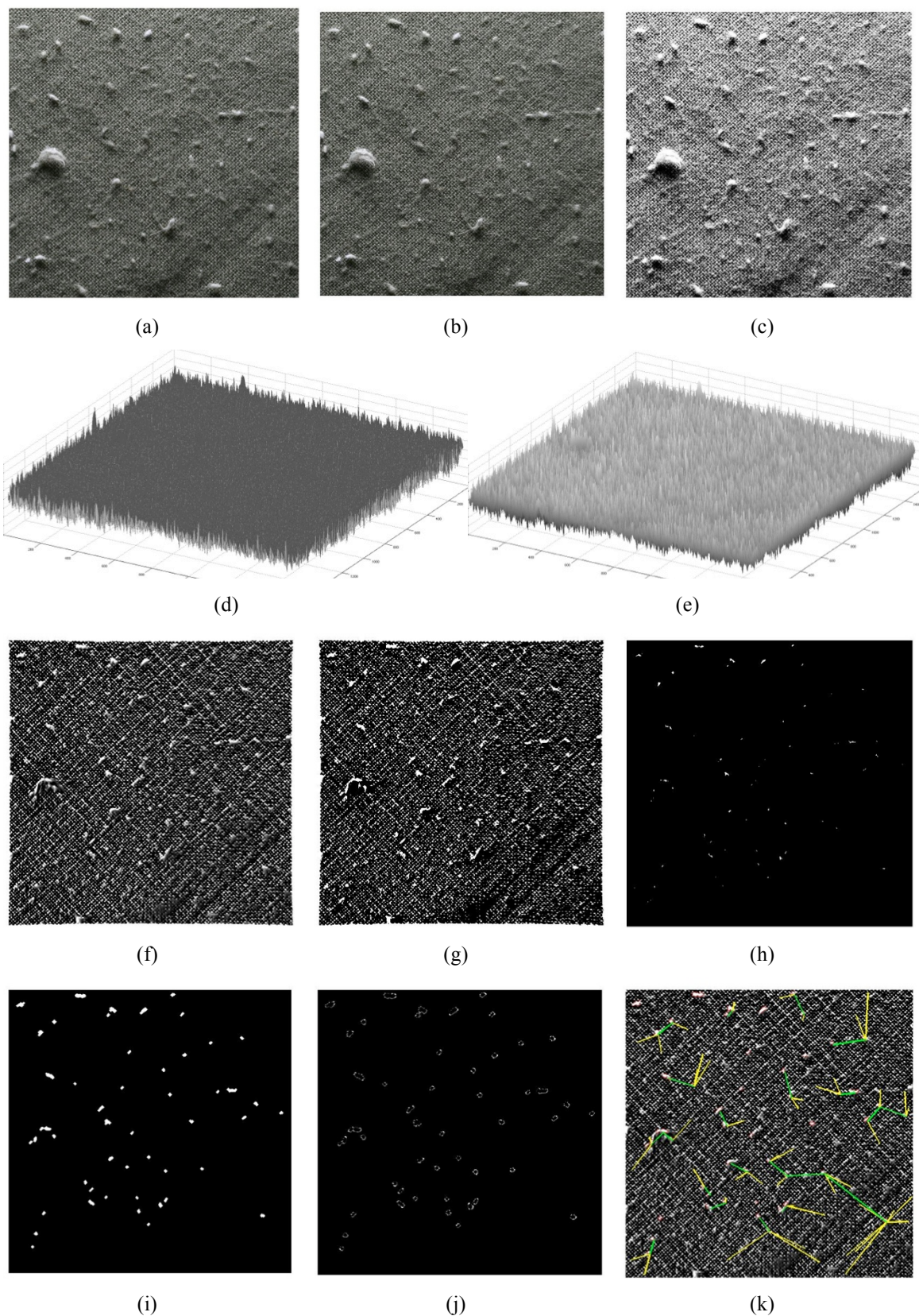


(k)

Obrázek 41 Obrazová analýza vzorku D1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



Obrázek 42 Obrazová analýza vzorku E1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.



Obrázek 43 Obrazová analýza vzorku F1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární obraz po dilataci, (i) binární obraz po finální úpravě, (j) oříznuté objekty v obraze pro zjištění kontrastu, (k) obraz s vynásobenými hodnotami okolí žmolků, (l) detekované žmolky se zobrazením postupu výpočtu hustoty D_2 v obraze.

Zdrojový kód algoritmu

```

%% Diplomová práce

%% Načtení obrazu
clc,clear,close all; % vymazat příkazové okno, uložené
prvky, zavřít vše

name='.jpg'; % name je definován jako '.jpg'
name1='A_1-2_'; % name1 je definován jako 'A_1-2_'

se=strel('disk',200); % nastavení strukturního elementu
pix=0.0474; % Pomocí imdistline zjištěna
velikost lpix=0.0474mm

L=imread([name1 'L' name]); % načtení obrazu
L=imcrop(L,[1102 522 1600 1600]); % oříznutí obrazu
L1=rgb2gray(L); % převedení rgb obrazu na
monochromatický obraz
L2=imtophat(L1, se); % upraví původní obraz strukturním
elementem a odečte je od sebe - omezí vliv světla v obraze
L3=histeq(L2); % ekvalizace histogramu
figure,imshow(L3,'InitialMagnification', 50) % zobrazí obraz L3

P=imread([name1 'P' name]); % načtení obrazu
P=imcrop(P,[1102 522 1600 1600]); % oříznutí obrazu
P1=rgb2gray(P); % převedení rgb obrazu na
monochromatický obraz
P2=imtophat(P1, se); % upraví původní obraz strukturním
elementem a odečte je od sebe - omezí vliv světla v obraze
P3=histeq(P2); % ekvalizace histogramu
figure,imshow(P3,'InitialMagnification', 50) %
zobrazí obraz P3

H=imread([name1 'H' name]); % načtení obrazu
H=imcrop(H,[1102 522 1600 1600]); % oříznutí obrazu
H1=rgb2gray(H); % převedení rgb obrazu na
monochromatický obraz
H2=imtophat(H1, se); % upraví původní obraz strukturním
elementem a odečte je od sebe - omezí vliv světla v obraze
H3=histeq(H2); % ekvalizace histogramu
figure,imshow(H3,'InitialMagnification', 50) % zobrazí obraz H3

S=imread([name1 'S' name]); % načtení obrazu
S=imcrop(S,[1102 522 1600 1600]); % oříznutí obrazu
S1=rgb2gray(S); % převedení rgb obrazu na
monochromatický obraz
S2=imtophat(S1, se); % upraví původní obraz strukturním
elementem a odečte je od sebe - omezí vliv světla v obraze
S3=histeq(S2); % ekvalizace histogramu
figure,imshow(S3,'InitialMagnification', 50) % zobrazí obraz S3

%% 3D obraz
gy=L3-P3; % odečtení levého obrazu od pravého
gx=S3-H3; % odečtení spodního obrazu od
horního
figure,subplot(1,2,1),imshow(gx)
subplot(1,2,2),imshow(gy) % zobrazí odečtené obrazy

```

Příloha 1

```
disp('Algorithm II. Frankot-Chellappa Algorithm')

r_ls = frankotchellappa(gx,gy); % aplikace Frankot-Chellappova filtru
r_ls = r_ls - min(r_ls(:));

h = fspecial('gaussian',60,8); % nastavení Gaussova filtru
k=imfilter(r_ls,h); % filtrování r_ls podle h
o=r_ls-k; % obraz o: odečtení r_ls od
filtrovaného k
o=o(10:end-10,10:end-10); % oříznutí obrazu o 20 na každé
straně
mydisplay(o); % zobrazí o
axis on;title('Frankot-Chellappa'); % zobrazí osy a název
view(0,90) % nastavení pohledu
figure,surf(flipud(o)) % zobrazí 3D povrch obrácených
hodnot matice o
shading interp% vyhladí celý graf
colormap gray% odstíny šedé
view(0,90) % stínování "přechodové", barva
šedá, uhlí pohledu

o1=uint8(o); % převedení obrazu do uint8
figure,imshow(o1,[],'InitialMagnification', 50) % zobrazí obraz o1

level=graythresh(o1); % Určení prahovací hodnoty
IM=im2bw(o1,0.66); % Převedení obrazu do binárního
figure, imshow(IM,'InitialMagnification', 50) % Zobrazení obrazu IM

%% Extrakce žmolku
IM=imfill(IM,'holes'); % Zaplnění der v objektech
IM=imclearborder(IM); % Odstranění objektu na okrajích
IM=bwareaopen(IM,15); % Odstraní? objekty menší než 9
pixelu
see=[0 1 0;1 1 1;0 1 0]; % Strukturní element 010;111;010
se1=strel('diamond',4); % Strukturní element diamant o r=4
se2=strel('diamond',6); % Strukturní element diamant o r=6
IE=imerode(IM,se2); % Eroze obrazu podle strukturního
elementu
figure,imshow(IE,'InitialMagnification', 50) % Zobrazí obraz IE
ID=bwareaopen(IE,15); % Odstraní objekty menší než 15
pixelu
ID=imdilate(ID,se2);
figure, imshow(ID,'InitialMagnification', 50) % Zobrazí obraz ID

imwrite(L,'zmolky12.jpg','jpg');% Uloží soubor LZ ze kterého se
počítají žmolky pro subjektivní metodu

%% Indexace objektu
BW=bwlabel(ID); % Očíslování objektu v obraze
[r s]=size(BW);
stats=regionprops(BW,'Area','Perimeter','Centroid');% Vlastnosti
objektu - plocha, těžiště, obvod
Ar=cat(1,stats.Area); % Soubor s údaji o velikosti objektu
ii=1:length(Ar);
AR=(Ar(ii).*(pix^2));
Pe=cat(1,stats.Perimeter); % Soubor s údaji o obvodech objektu
PE=(Pe(ii).*pix);
Ce=cat(1, stats.Centroid); % Soubor s údaji o těžišti objektu

%% Kontrast
```

Příloha 1

```
IG=ID.*double(o1); % Násobení binárního obrazu
monochromatickým obrazem
figure,imshow(IG,[]) % Zobrazení obrazu IG
SEE1 = strel('rectangle',[10 10]); % Strukturní element ve tvaru
čtverce od hraně 10
IMD=imdilate(ID,SEE1); % Dilatace obrazu pomocí strukturního
elementu
IMD=IMD-ID; % Odečtení obrazu
IGG=IMD.*double(o1); % Násobení dilatovaného obrazu
monochromatickým
figure,imshow(IGG,[]) % Zobrazení obrazu
ig1=find(IG>0); % Množina objektu - větších než 0 z
původního obrazu
ig2=find(IGG>0); % Množina objektu - větších než 0 z
dilatovaného obrazu
g1=sum(IG(:))/length(ig1); % Průměrná hodnota šedi objektu
g2=sum(IGG(:))/length(ig2); % Průměrná hodnota šedi dilatovaného
obrazu
G=g1/g2; % Kontrast - poměr šedi mezi objektem
a pozadím

%% Obtažení žmolků červeně
see=[0 0 1 0 0;0 1 1 1 0;1 1 1 1 1;0 1 1 1 0;0 0 1 0 0]; % Strukturní
element 00100;01110;11111;01110;000100
IR=imerode(ID,see); % Eroze podle strukturního elementu
see
figure,imshow(IR); % Zobrazí obraz IR
IRR=ID-IR; % Odečtení erodovaného obrazu od
původního
figure,imshow(IRR); % Zobrazí obraz RED
[rr ss]=find(IRR==1); % Souřadnice bodu, kde je objekt (pole
= 1)
RED=o1;
RED(:, :, 2)=o1;
RED(:, :, 3)=o1;
for i=1:length(ss); % Cyklus, kde pro souřadnici objektu se
vybarvi na červeně - 3 vrstvy obrazu
    RED(rr(i),ss(i),1)=255;
    RED(rr(i),ss(i),2)=0;
    RED(rr(i),ss(i),3)=0;
end
RED=RED(10:end-10,10:end-10,:);
figure,imshow(RED,'InitialMagnification', 50) % Zobrazí obraz RED

%% Hustota žmolků
N=max(BW(:)); % N je max hodnota z BW
n=N;% n je N
gen=[]; % gen je prázdná matice
ri=[]; % ri je prázdná matice
xi=[];% xi je prázdná matice
for j=1:n; % j je od 1 do n
    x=randi([1 size(RED,1)],1,1);% Generuje rovnoměrně náhodná čísla s
parametry 1 a size z RED(1)
    y=randi([1 size(RED,2)],1,1); % Generuje rovnoměrně náhodná čísla s
parametry 1 a size z RED(2)
    pole=[]; % pole je prázdná matice
    for jj=1:N % jj je od 1 do N
        pole=[pole; jj pdist([y x; Ce(jj,:)], 'euclidean')]; % Matice s
pdist těžiště jednotlivých objektu
    end
    mm=find(pole(:,2)==min(pole(:,2))); % mm je minimální hodnota z
pole ve druhém sloupci
    ri=[ri; pole(mm,2)]; % ri obsahuje těžiště objektu
```


Příloha 1

```

    line([y Ce(mm,1)], [x Ce(mm,2)], 'color', 'y', 'Linewidth', 2); %
    Nakresli přímku mezi náh. body a těžiště nejbližšího objektu
    C1=Ce; % C1 je Ce
    C1(mm,:)=[]; % Vymaže min hodnotu mm
    xx=Ce(mm,2); % xx je souřadnice z Ce(mm,2)
    yy=Ce(mm,1); % yy je souřadnice z Ce(mm,1)
    pole1=[]; % pole1 je prázdná matice
    for jjj=1:N-1 % jjj je od 1 do N-1
        pole1=[pole1; jjj pdist([yy xx; C1(jjj,:)], 'euclidean')]; %
        Matice s pdist těžiště jednotlivých objektu
    end
    mm1=find(pole1(:,2)==min(pole1(:,2))); % Nalezne min hodnotu z
    pole1 ve druhém sloupci
    xi=[xi; pole1(mm1,2)]; % xi vypíše pdsit těžišť
    line([yy C1(mm1,1)], [xx C1(mm1,2)], 'color', 'g', 'Linewidth', 2); %
    Nakresli přímku mezi body - těžiště dvou objektu
    end
    D2=(sqrt(2)*n)/(pi*sqrt(sum((ri*pix).^2)*sum((xi*pix).^2))); % D2 -
    výsledná hodnota hustoty dle vypočtu
    D1=N/((r*pix)*(s*pix)); % D1 - hustota žmolků na plochu
    %% Kruhovitost
    kruh=[];
    for kk=1:1:n;
        kruhh=(Ar(kk,1)/Pe(kk,1)^2)*4*pi;
        kruh=[kruh; kruhh];
    end
    KR=sum(kruh)/n;

    %% Parametry
    Hodnoty.Pocet_zmolku=length(stats); % Počet žmolků
    Hodnoty.Plochamax=max(AR); % Max plocha
    Hodnoty.Plochamin=min(AR); % Min plocha
    Hodnoty.Plocha_prum=mean(AR); % Průměrná plocha
    Hodnoty.Plocha_std=std(AR); % Směr. odchylka plochy
    Hodnoty.Plocha_sum=sum(AR); % Plocha žmolků celkem
    Hodnoty.Plocha_pomer=sum(AR)*100/((r*pix)*(s*pix)); % Poměr žmolků ku
    ploše
    Hodnoty.Prum_obvod=mean(PE); % Průměrný obvod žmolků
    Hodnoty.Obvodmax=max(PE); % Max obvod žmolků
    Hodnoty.Obvodmin=min(PE); % Min obvod žmolků
    Hodnoty.Hustota_zmolku=D1; % Hustota D1
    Hodnoty.Hustota_zmolku2=D2; % Hustota D2
    Hodnoty.Kontrast=G; % Kontrast
    Hodnoty.Kruhovitost=KR; % Kruhovitost

    %% Vyhodnocení stupně žmolkovitosti
    y1=4.89-0.0584*Hodnoty.Pocet_zmolku;
    y2=4.73-0.0683*Hodnoty.Plocha_sum;
    y3=4.89-327.11*D1;
    y4=4.93-277.85*D2;

    Y=[y1;y2;y3;y4]
    Yp=round(mean(Y)) % Průměrná hodnota y1-y4
    if (Yp<1)
        Yp=1
    if (Yp>5)
        Yp=5
    end
    end

```