

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**STUDENTSKÁ VĚDECKÁ A ODBORNÁ ČINNOST
TECHNICKÁ SEKCE 2013**



SEKCE TEXTIL

**HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI NA ZÁKLADĚ 3D
REKONSTRUKCE OBRAZU TEXTILIÍ S VYUŽITÍM GRADIENTNÍCH
POLÍ**

MICHAL KABÁTEK

LIBEREC 2013

HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI NA ZÁKLADĚ 3D REKONSTRUKCE OBRAZU TEXTILIÍ S VYUŽITÍM GRADIENTNÍCH POLÍ

Michal Kabátek

Sekce - TEXTIL,
Fakulta textilní, 2. ročník
Magisterský studijní program – MANAGEMENT JAKOSTI

Abstrakt: V práci se testovalo objektivní hodnocení žmolkovitosti textilních materiálů na základě 3D rekonstrukce povrchu textilie s využitím metody gradientních polí. Základem 3D rekonstrukce povrchu materiálu je Frankot – Chellapův algoritmus aplikovaný na sadu 4 obrazů pro každý vzorek, které byly v temné komoře za umělého osvětlení ze čtyř stran nasvíceny a nasnímány. Obrazy se předzpracovaly 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 programu MATLAB. Globálním prahováním se v obraze segmentovaly žmolky od pozadí. Následně byly morfologickými operacemi upraveny tvary detekovaných žmolků v obraze. Pomocí charakteristik žmolkovitosti bylo provedeno kvantitativní hodnocení žmolkovitosti a na základě koeficientů determinace byl přiřazen každému vzorku stupeň žmolkovitosti, který byl automaticky určen z rovnic lineární regrese daných charakteristik.

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

1. Úvod

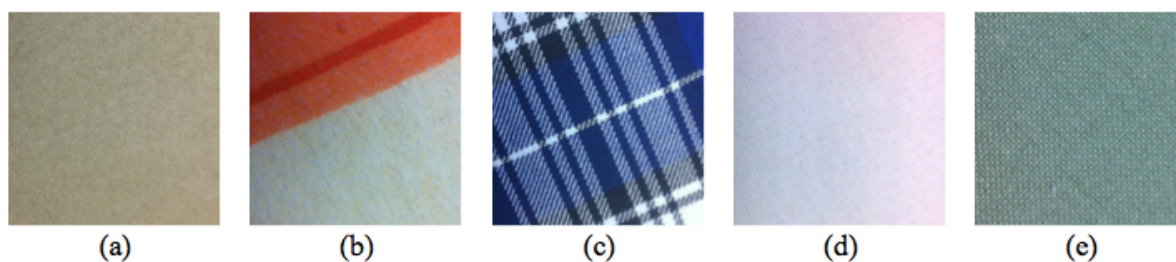
V textilním průmyslu se dnes nejčastěji používá hodnocení žmolkovitosti subjektivní metodou. V posledních letech se rozšiřuje možnost využití objektivního hodnocení žmolkovitosti, které je schopno eliminovat lidskou chybu a zajistit reprodukovatelnost výsledků. Ve většině případů se pro objektivní hodnocení 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. Cílem této práce bylo vytvořit algoritmus pro automatické objektivní hodnocení žmolkovitosti [1], [2], [3].

2. Experimentální část

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 obrazů byla na základě algoritmu vytvořeného v práci 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 žmolků. Níže jsou popsány jednotlivé kroky, které byly použity v algoritmu pro automatické vyhodnocení žmolkovitosti pomocí objektivní metody.

2.1. Obrazová sada vzorků

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti na základě 3D rekonstrukce povrchu podle metody gradientních polí bylo v práci testováno 30 vzorků různého materiálového složení, vzoru a vazby. 20 vzorků bylo připraveno na přístroji Martindale a 10 vzorků na komorovém žmolkovacím přístroji. Celkem bylo vytvořeno šest sad po 5 vzorcích reprezentujících jednotlivé stupně žmolkovitosti v celém rozsahu hodnotící škály. Na obrázku 1 (a) – (e) jsou znázorněny všechny vzorky materiálu. V této práci bude podrobně popsán popis objektivního hodnocení žmolkovitosti pro vzorky z přístroje Martindale. Pro ukázkou funkčnosti algoritmu byl vybrán jako reprezentativní vzorek vzorek plátňové vazby A1. Vzorek A1 představuje textilií obr. 1 (a) subjektivně ohodnocenou na stupeň žmolkovitosti 1, tedy nejvíce ožmolkovaný vzorek.



Obrázek 1 Obrazová sada vzorků.

3. Subjektivní hodnocení žmolkovitosti

V praxi dnes běžné subjektivní hodnocení žmolkovitosti s sebou nese chyby lidského faktoru. Každý vzorek testovaný v této práci byl nejdříve subjektivně ohodnocen. Subjektivní hodnocení žmolkovitosti bylo provedeno k porovnání s výsledky objektivní metody hodnocení žmolkovitosti. Subjektivně lze změřit v obraze pouze počet žmolků, ostatní údaje nám dávají pouze subjektivní dojem. Tabulka 1 obsahuje údaje o subjektivním stupni hodnocení a počtu žmolků v obraze při subjektivním hodnocení.

Tabulka 1 Subjektivní hodnocení žmolkovitosti všech vzorků.

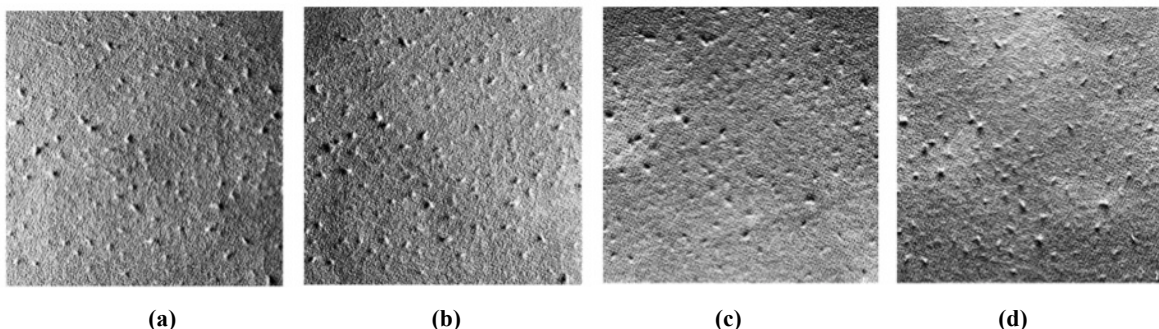
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků
A1	1	67	B1	1	114	C1	1	42
A2	2	55	B2	2	63	C2	2	36
A3	3	27	B3	3	22	C3	3	21
A4	4	16	B4	4	7	C4	4	15
A5	5	0	B5	5	0	C5	5	0
Vzorek	Hodnocení žmolkovitosti	Počet žmolků	Vzorek	Hodnocení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

4. Objektivní hodnocení žmolkovitosti

V této práci byl vyvinut algoritmus pro automatické hodnocení stupně žmolkovitosti pro textilie na základě 3D rekonstrukce povrchu s využitím metody gradientních polí. Níže jsou popsány jednotlivé kroky vytvořeného algoritmu.

4.1. Pořízení obrazu

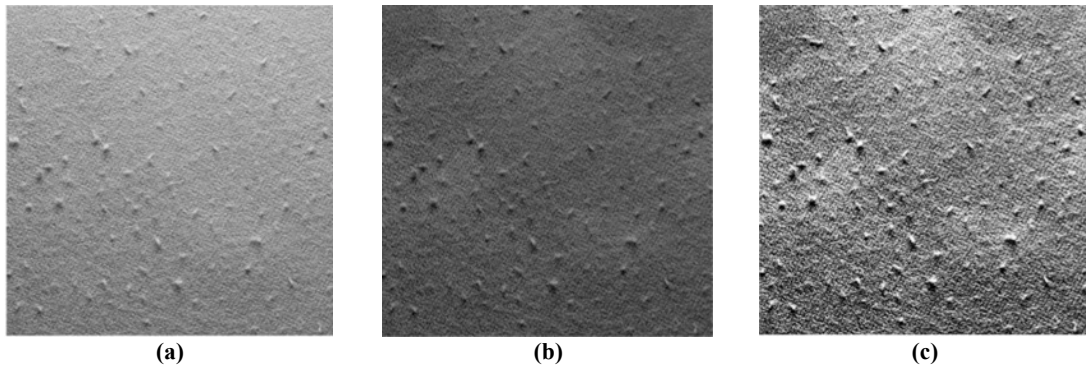
V rámci získání 3D rekonstrukce povrchu textilie bylo zapotřebí nejdříve pořídit sadu 4 obrazů pro každý vzorek. Ty byly získány pomocí fotoaparátu značky Canon EOS 400D. Způsob pořízení obrazu byl následující. Vzorky byly umístěny na střed čtvercové podložky. Na každé straně podložky byla připevněna 4 stejná světla, svírající mezi sebou úhel 90° tak, aby byly zachovány identické podmínky nasvícení z každé strany. 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 pokladovou deskou a směřoval kolmo dolů na střed vzorku. Na obrázku 2 (a) – (d) je zobrazena sada obrazů vzorku A1.



Obrázek 2 Sada 4 obrazů vzorku A1, nasvícení (a) zleva, (b) zprava, (c) zespoda, (d) ze shora.

4.2. Předzpracování obrazu

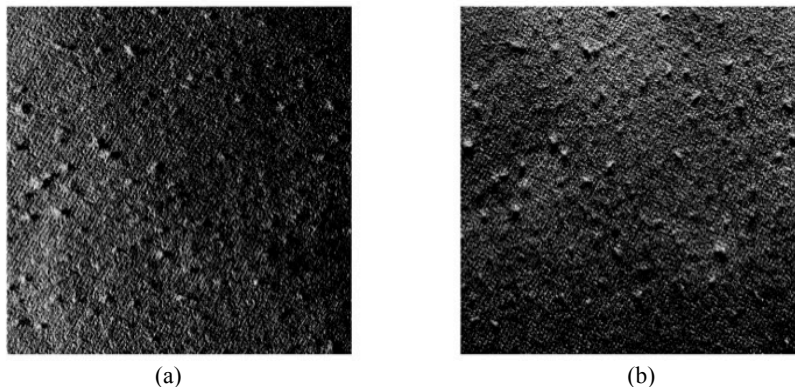
Předzpracování a zpracování obrazu vzorků bylo provedeno v programu MATLAB. Prvním krokem je načtení sady 4 obrazů vzorku do programu MATLAB. Dalším krokem je oříznutí všech obrazů vzorků z původní velikosti 2592x3888 pixelů na 1600x1600 pixelů. Dále se transformoval barevný obraz vzorku na monochromatický obraz. V monochromatickém obraze byl odstraněn vliv nerovnoměrného nasvícení vzorků a byl získán obraz s vyváženým kontrastem mezi objekty. Dále bylo zapotřebí zvýšit kontrast mezi žmolky a pozadím na povrchu vzorku, aby došlo k přesné a jednoduché segmentaci. V této práci se kontrast v obraze zvýšil pomocí ekvalizace histogramu. Na obrázku 3 (a) je znázorněn původní monochromatický obraz vzorku A1, (b) obraz vzorku A1 po odstranění nerovnoměrného nasvícení a (c) obraz vzorku A1 po ekvalizaci histogramu, kde je zřetelně vidět zvýšení kontrastu mezi žmolky a pozadím obrazu.



Obrázek 3 (a) Původní monochromatický obraz textilie, (b) obraz textilie po odstranění vlivu nasvícení, (c) obraz textilie po ekvalizaci histogramu.

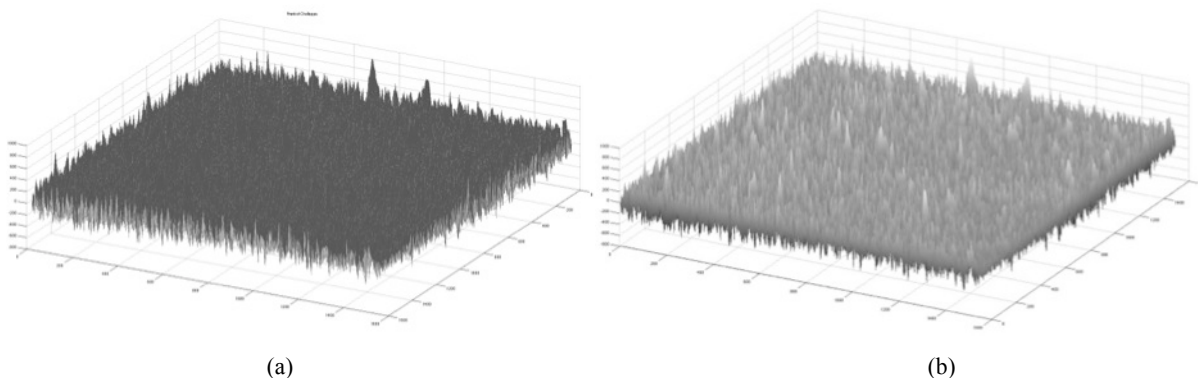
4.3. 3D rekonstrukce povrchu

Pro získání 3D rekonstrukce povrchu textilních vzorků byla použita metoda gradientních polí, vycházející z vypočtených hodnot gradientů v jednotlivých bodech v obraze. Hodnoty gradientů udávají změnu oproti svému okolí. 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 Frankot – Chellapova algoritmu. V této práci byl použit Frankot – Chellapův algoritmus, jehož základem byly dva obrazy, které vznikly ze sady 4 obrazů vždy odečtením protilehlých obrazů od sebe – obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava – a obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného zeshora. Obrazy vzorku A1 použité pro rekonstrukci povrchu jsou znázorněny na obrázku 4 (a) a (b). [4], [5], [6], [7].



Obrázek 4 Odečtené obrazy vzorku A1 pro 3D rekonstrukci povrchu, (a) obraz nasvícený zespoda od obrazu nasvíceného zeshora, (b) obraz nasvícený zleva od obrazu nasvíceného zprava.

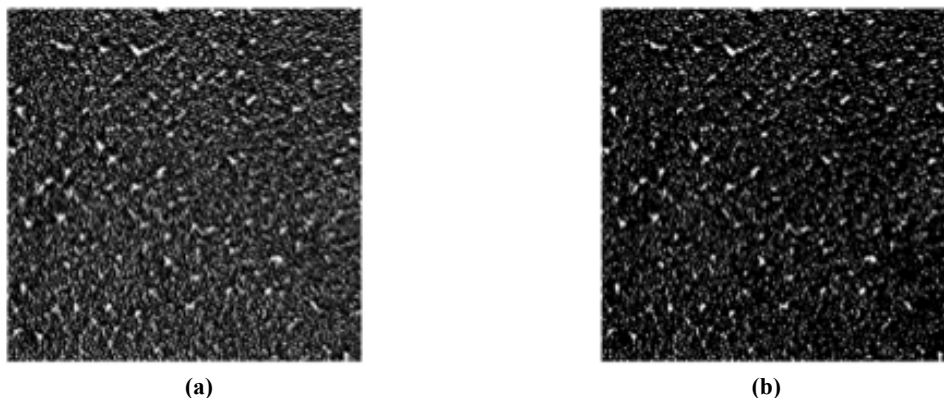
Frankot – Chellapův algoritmus navrhnul neintegrovatelné pole na sadu integrovatelných cest pomocí Fourierovy dvourozměrné transformace funkce aplikované na každý obraz zvlášť. Následně byl z hodnot gradientních polí vytvořen zrekonstruovaný 3D obraz povrchu vzorku materiálu, zobrazený na obrázku 5 (a). Na obraze jsou viditelné vrcholy jednotlivých objektů, avšak v obraze se vyskytuje také šum, který zde vznikl během aplikace Frankot – Chellapova algoritmu. Šum byl z obrazu odstraněn aplikací Gaussova filtru. Obraz po aplikaci Gaussova filtru je na obrázku 5 (b).



Obrázek 5 (a) Zrekonstruovaný 3D obraz podle Frankot - Chellapova algoritmu, (b) 3D zrekonstruovaný obraz po aplikaci Gaussova filtru.

4.4. Detekce žmolků

V získaném 3D obrazu textilie je možné zpozorovat významné vrcholy vyčnívající z povrchu textilie - žmolky. Následné převedení získaného 3D obrazu po aplikaci Gaussova filtru do monochromatického obrazu bylo dalším krokem k detekci žmolků v obraze. Na rozdíl od běžné detekce je možné z 3D obrazu detekovat žmolky mnohem přesněji včetně jejich okolí. V obraze jsou již dobře viditelné větší bílé objekty – žmolky, které bude nutné segmentovat od pozadí obrazu – povrchu materiálu, kde menší bílé objekty znázorňují vazné body materiálu. Segmentace se provádí globálním prahováním, kdy se stanoví prahová hodnota. 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. V této práci byla prahová hodnota v intervalu 0.55 – 0.7. Na obrázku 6 (a) je zobrazen monochromatický obraz vzorku A1 a na obrázku 6 (b) je binární obraz vzorku A1 převedený z monochromatického obrazu s prahovou hodnotou 0.66.

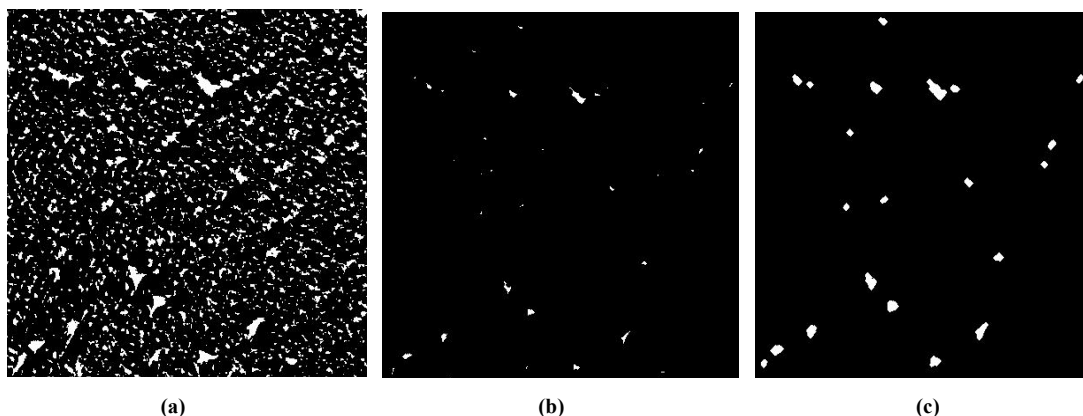


Obrázek 6 (a) Monochromatický obraz testovaného vzorku, (b) binární obraz segmentovaný prahovou hodnotou 0.66.

4.5. Extrakce tvaru žmolků

V binárním obraze jsou již žmolky rozlišeny jako bílé objekty na černém pozadí pomocí segmentace obrazu na základě globálního prahování. Pouhým prahováním ovšem nedostaneme pouze žmolky, ale i další menší objekty jako šum a vazné body. Pro určení přesnějšího tvaru žmolků se používají jednotlivé morfologické operace. Většina morfologických operací je založena na úpravě obrazu pomocí strukturního elementu. Velikost a tvar strukturního elementu ovlivňuje výsledný tvar objektů v obraze. V práci byl použit strukturní element typu *diamond* o velikosti 5 pixelů. Použitím morfologických operací jako jsou eroze a dilatace bylo možné velmi přesně odfiltrout šumy v obraze a docílit přesnějšího

tvaru a velikosti žmolků. Na obrázku 7 jsou znázorněny binární obrazy (a) po globálním prahování, (b) po aplikaci eroze a (c) po dilataci obrazu [8].

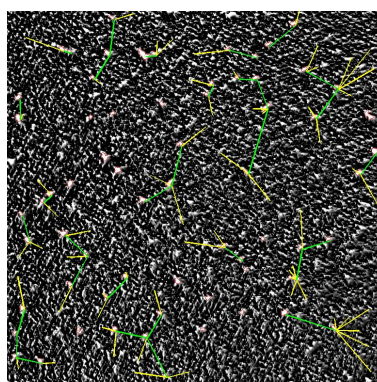


Obrázek 7 (a) Binární obraz vzorku A1 po prahování, (b) obraz vzorku A1 po aplikaci eroze, (c) obraz vzorku A1 po aplikaci dilatace.

4.6. Charakteristiky žmolkovitosti

Pro objektivní hodnocení žmolkovitosti textilií bylo zapotřebí získat charakteristiky žmolkovitosti, mezi něž patří počet žmolků, jejich velikost, hustota a jejich kontrast. Všechny jmenované charakteristiky lze změřit velmi přesně pomocí nástrojů technik zpracování obrazu v programu MATLAB. Kontrast žmolku k jeho okolí se počítá odečtením binárního obrazu od dilatovaného binárního obrazu s rozšířenými žmolky, kdy v obraze zůstává jen okolí žmolku. Tento obraz s okolím žmolků se vynásobí monochromatickým obrazem pro získání původních hodnot jasu. První jednoduše definovaná hustota D_1 je počet žmolků na plochu obrazu. Na obrázku 8 (b) je znázorněn obraz vzorku A1, kde je znázorněna hustota žmolkovitosti D_2 , která na základě náhodně generovaných bodů vyhledá nejbližší žmolek, a od něj druhý nejbližší, a je dána vztahem (1), kde n je počet žmolků, r_i je poloměr od náhodně generovaného bodu ke žmolku a x_i je poloměr od žmolku k jeho nejbližšímu sousedu.

$$D_2 = \frac{\sqrt{2n}}{\pi \sqrt{\sum(r_i^2) \sum(x_i^2)}} \quad (1)$$



Obrázek 8 Obraz vzorku A1 se zakreslenými detaily k hustotě D_2 .

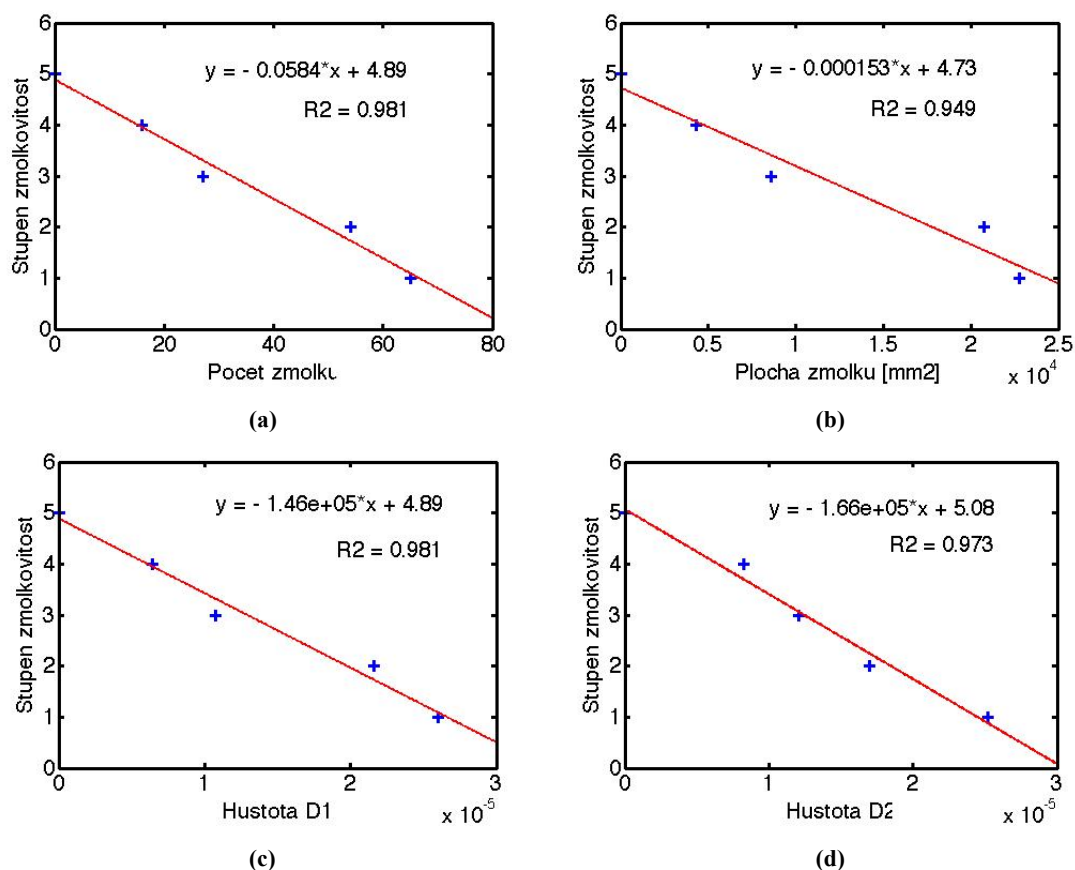
4.7. Vyhodnocení stupně žmolkovitosti

Ze zjištěných charakteristik žmolkovitosti bylo nutné zjistit jejich závislost na stupni žmolkovitosti, proto byly vytvořeny sady pěti vzorků v celé škále žmolkovitosti. Pouze čtyři charakteristiky žmolkovitosti vykazovaly vzestupnou závislost na stupních žmolkovitosti a

vysoké koeficienty determinace. Mezi tyto charakteristiky patřily počet žmolků, celková plocha žmolků, hustota žmolokovitosti D_1 a hustota žmolokovitosti D_2 . Na obrázku 9 jsou graficky znázorněny závislosti daných charakteristik na stupni žmolokovitosti pro sadu A, která byla zvolena jako reprezentativní pro vzorky z přístroje Martindale. Rovnice lineárních závislostí byly použity ke stanovení stupně žmolokovitosti pro dané charakteristiky. Výsledný stupeň žmolokovitosti byl průměrem výsledků čtyř rovnic. Tabulka 2 obsahuje hodnoty všech měřených charakteristik pro vzorky sady A.

Tabulka 2 Naměřené charakteristiky žmolokovitosti pro sadu A.

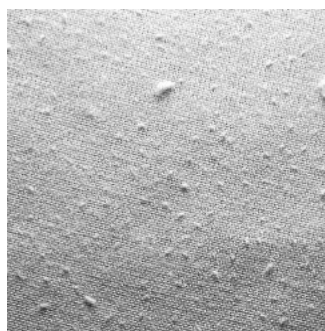
Sada A	Počet žmolků	Plocha žmolků [mm ²]						Obvod žmolků [mm]			Hustota žmolokovitosti		Kontrast G	Kruhovitosť C
		S Max	S Min	\bar{S}	σ	$\sum S$	$\frac{S_z}{S_c}$	\bar{O}	Max	Min	D_1	D_2		
A1	65	2.35	0.36	0.79	0.37	51.10	0.909	3.47	7.39	2.16	0.012	0.013	1.831	0.812
A2	54	2.58	0.41	0.86	0.46	46.57	0.828	3.69	8.55	2.40	0.010	0.012	2.053	0.798
A3	27	1.54	0.36	0.71	0.35	19.30	0.343	3.31	5.47	2.20	0.005	0.006	1.914	0.811
A4	16	1.47	0.44	0.61	0.25	9.70	0.173	3.04	5.86	2.46	0.003	0.004	1.878	0.832
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Obrázek 9 Grafy vynesných charakteristik proti stupni žmolokovitosti a jejich regresní přímky pro sadu A - Martindale, (a) počet žmolků, (b) celková plocha žmolků, (c) hustota D_1 , (d) hustota D_2 .

5. Ukázka postupu obrazové analýzy

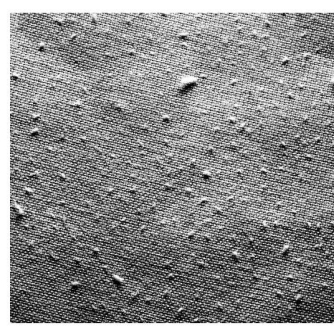
Vyvinutý algoritmus byl aplikován na různé textilie lišící se materiálem, barvou a vzorem. Na obrázku 10 je graficky zpracován postup pro objektivní hodnocení žmolokovitosti dle vyvinutého algoritmu pro jednobarevný vzorek D1. Na obrázku 11 je pro porovnání identicky zpracován vícebarevný vzorek C1. Jednotlivé obrazy jdou chronologicky po sobě přesně tak, jak byly zpracovávány a jak byly popsány v této práci.



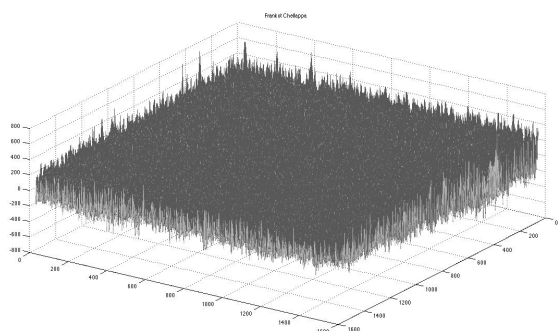
(a)



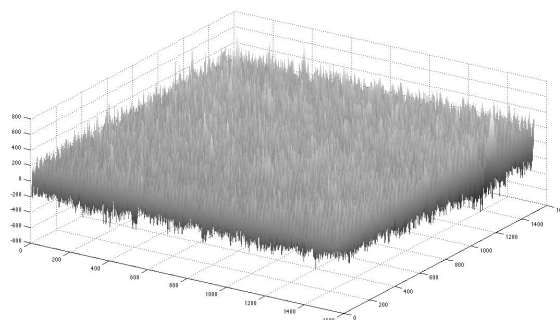
(b)



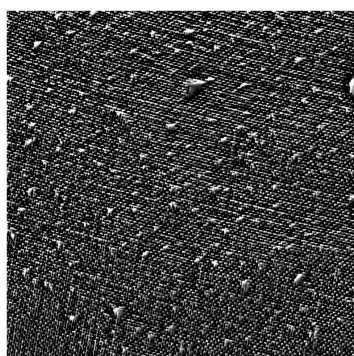
(c)



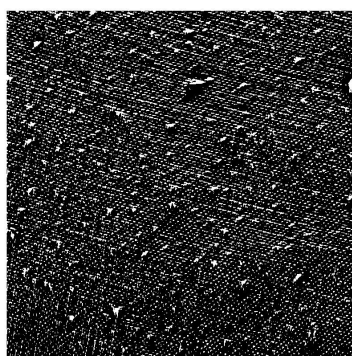
(d)



(e)



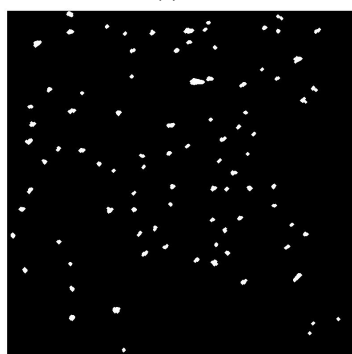
(f)



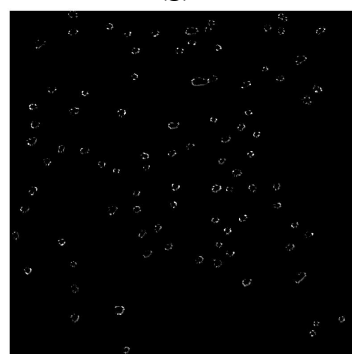
(g)



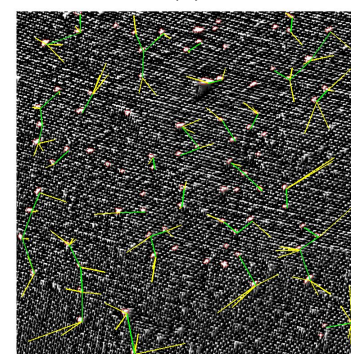
(h)



(i)

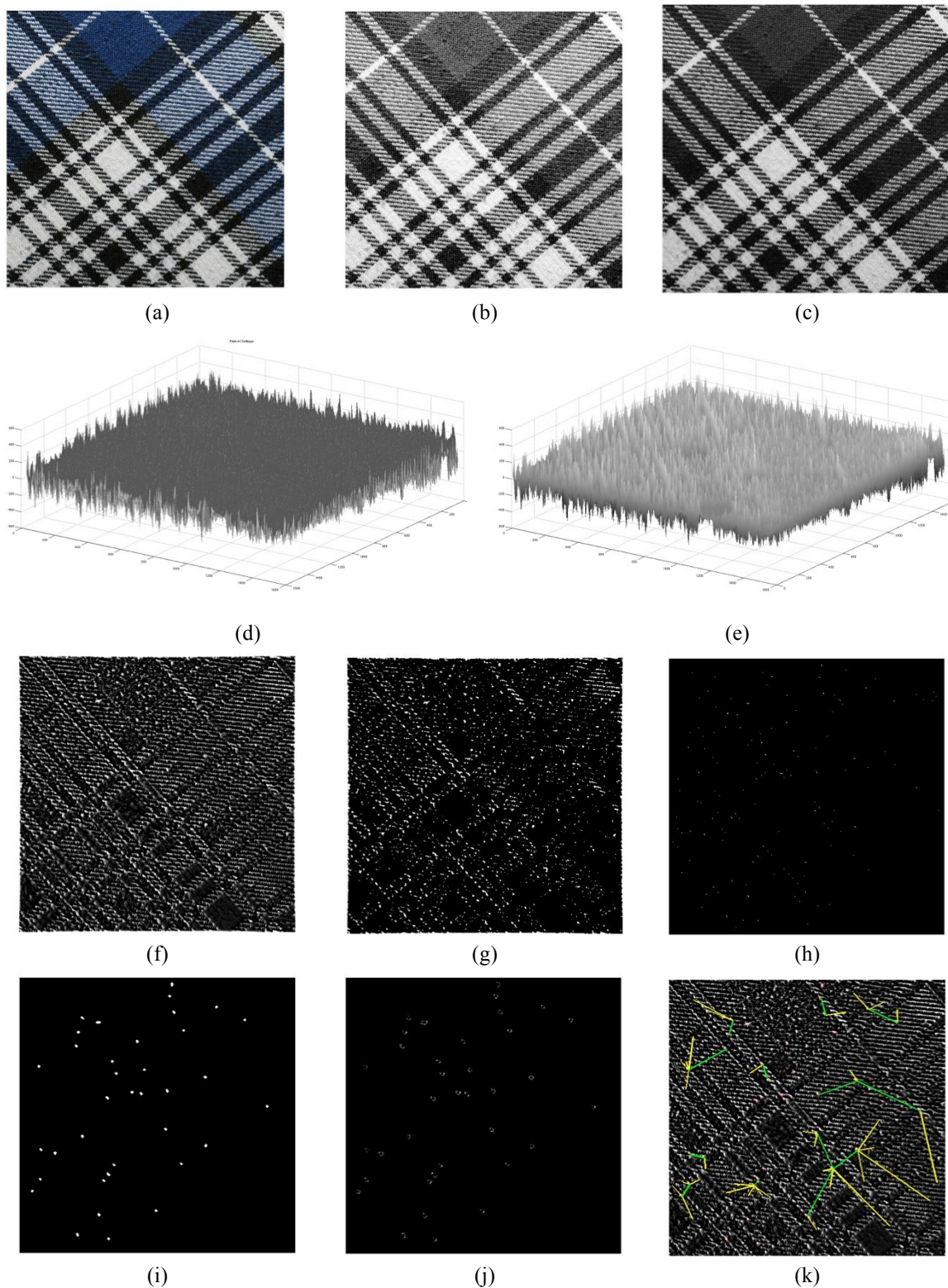


(j)



(k)

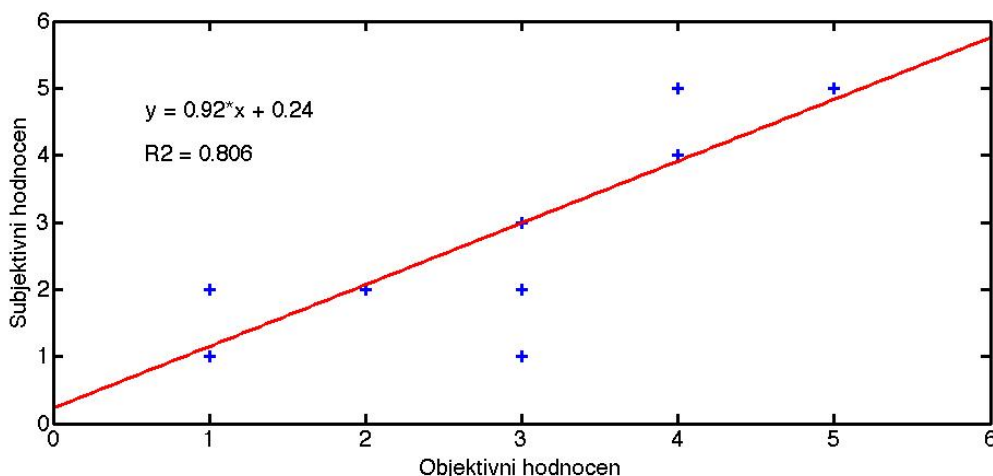
Obrázek 10 Obrazová analýza vzorku D1, (a) monochromatický obraz, (b) monochromatický obraz po jasové korekci, (c) Frankot – Chellapa, (d) úprava Gaussovým filtrem, (e) monochromatický obraz po 3D rekonstrukci povrchu, (f) binární obraz po globálním prahování, (g) binární obraz po erozi, (h) binární 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 11 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.

6. Hodnocení výsledků objektivní metody

Výsledky experimentu vykazují velmi vysokou shodu objektivního hodnocení žmolkovitosti se subjektivním hodnocením v případě jednobarevných textilií. V případě vzorovaných materiálů je zde ještě rezerva pro zlepšení. Zejména velké kontrasty barev v rámci vzorku vykazují určité nepřesnosti na základě zhoršené segmentace vzorku. Na obrázku 12 je graficky znázorněno porovnání objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky testované na přístroji Martindale.



Obrázek 12 Graf porovnání objektivního a subjektivního hodnocení pro všechny vzorky z přístroje Martindale.

7. Závěr

V práci se testovala efektivita metody gradientních polí pro 3D rekonstrukce povrchu textilií. Pro detekci žmolků byly použity techniky zpracování obrazu v programu MATLAB. Z výsledků vyplývá, že tato metoda vykazuje výrazně lepší výsledky detekce žmolků nezávislých na druhu vazby. Vytvořený algoritmus aplikovaný na jednobarevné vzorky dosahuje výrazně přesnější detekce žmolků oproti běžné detekci v obrazové analýze. U barevných a vzorovaných vzorků dochází k horší segmentaci žmolků, která je ovlivněna zejména kontrastem dvou barev a vzorem materiálu. Metodu lze bez problémů aplikovat na jednobarevné materiály, ale u vícebarevných je stále prostor pro budoucí zkoumání.

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] Xin, B.; Hu, J.: Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques. *Textile Research Journal*. December 2002, Vol. 72 (12), s. 1057- 1064.
- [3] 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.
- [4] Xu, B., Yu, W., Wang, R.: Stereovision for Three – Dimensional Measurements of Fabric Pilling. *Textile Res J*. 81 (20), s. 2168 – 2179, 2011.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Gonzales, R.C., Wood, R.E.: Digital Image Processing. 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.