

Tanja Nuša Kočevar, Helena Gabrijelčič Tomc

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana

## 3-D vizualizacija zrcalnosti tkanin

### *3D Visualisation of Specularity of Woven Fabrics*

Izvirni znanstveni članek/*Original Scientific Article*

Prispelo/*Received* 08-2016 • /Sprejeto/*Accepted* 11-2016

#### Izvleček

Raziskava predstavlja razvoj delokroga izdelave mape zrcalnosti za 3-D upodobitev neenakomerne površine tkanine. Namen raziskave je bil analiza vpliva osvetlitve tkanine pri fotografiranju in analiza vpliva obdelave slike na pripravo tekstur. Izbrana tkanina je bila fotografirana pri sedmih različnih osvetlitvah. Fotografije so bile procesirane z dvema postopkoma obdelave. Prvi postopek je bil poenotenje histograma, drugi pa obdelava slik z algoritmom za odstranjevanje motečega ozadja. Tako so bile analizirane tri skupine slik. Za določanje območij zrcalnosti smo uporabili metodo upravljanja z algoritmom Percentile. Mape zrcalnosti in njihovi histogrami so bili analizirani s slikovno analizo. Pri tem smo raziskovali le zrcalna in delno zrcalna območja, preostali deli tkanine pa so bili maskirani. Določeni so bili pokritost površine z zrcalnimi površinami, povprečna velikost zrcalnih površin, število zrcalnih površin, povprečna vrednost intenzitete sivin, najpogostejša zastopana vrednost sivin in kontrast. Mape zrcalnosti so bile nato uporabljene za vizualizacijo tkanin v 3-D prostoru pri osvetljevanju iz štirih smeri. Končne upodobitve so bile ponovno analizirane s slikovno analizo zrcalnih površin ter histogramov, rezultate pa smo primerjali z analizo map zrcalnosti pred vizualizacijo. Rezultati so dokazali vpliv obdelave slik na rezultate slikovne analize in na porazdelitev zrcalnih območij na mapi zrcalnosti. Predstavljeni so bili tudi sovplivi, ki ga imajo vrste luči, in način osvetljevanja pri zajemu fotografij, usmerjenost vitja preje in relief tkanine ter smer osvetljevanja pri upodabljanju na parametre zrcalne mape – v smislu razporeditve in velikosti zrcalnih površin ter intenzitete (sivine) slikovnih točk. Ključne besede: zrcalnost, tkanina, tekstura, mapa, 3-D osvetljevanje, slikovna analiza

#### Abstract

*The research presents the workflow development for the creation of a specular map that serves for the visualisation of 3D specularity of a non-uniform, worn cloth surface. The aim of the experimental part was to analyse the influence of illumination settings during the image acquisition of the cloth data and the evaluation of the image processing techniques for a texture preparation. The analysed cloth was photographed at seven different illumination settings and the images were processed with two different image processing techniques, i.e. histogram equalisation and rolling ball algorithm. Including the original images, three groups of images were evaluated. To define the specular areas, the thresholding was performed with the Percentile algorithm and specular maps were evaluated with image analysis that was performed on specular and partially specular areas of interest (other parts were masked). The image analysis included the definition and evaluation of the area covered with specular surfaces, the average size of specular areas, the number of specular areas, the average value of pixel intensity, the most frequent value of pixel intensity and contrast. Further, specular maps were used in the cloth visualisations in 3D space at four different illumination directions. The specular areas of final visualisations after the rendering were analysed and the results were compared with the analysis of specular maps before the visualisation process. The findings confirmed the influence of the image processing technique on the image analysis results and on the distribution of specular areas in the specular map. Moreover, the influence of light direction and illumination settings during the image acquisition on optical phenomena on the cloth surface, and the relief effects of yarns and cloth (in the sense of distribution and size of specular area and pixel intensity of specular areas) are presented and discussed.*

*Keywords: specularity, woven fabric, texture, map, 3D illumination, image analysis*

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

Izr. prof. dr. Helena Gabrijelčič Tomc

E-pošta: helena.gabrijelcic@ntf.uni-lj.si

Telefon: +386 1 200 32 91

*Tekstilec*, 2016, 59(4), 335-349

DOI: 10.14502/Tekstilec2016.59.335-349

## 1 Uvod

Ko svetlobni žarek pade na tekstilni material, nastanejo naslednji optični pojavi [1]: refleksija (odboj svetlobe), lom svetlobe, absorpcija svetlobe, sipanje svetlobe in transmisija.

Refleksija ali odboj svetlobe na tekstilnem materialu je na splošno odvisen od dveh lastnosti površine, in sicer od teksture in sijaja, ki sta soodvisna. Izrazitejša tekstura ima za posledico manj sijaja in nasprotno. Lesk, ki je prav tako pomembna lastnost površine, označuje selektivni zrcalni odboj svetlobe. Percepcija refleksije materiala je pri tem odvisna od kota opazovanja ter kota in lastnosti svetlobnega vira. Refleksija se deli na zrcalni in difuzni (razpršeni) del, kar je določeno z deležem in razporeditvijo odbitih žarkov. Na splošno lahko refleksijo delimo na:

- Zrcalni odboj, kjer se žarki odbijajo v kotu, ki je enak vpadnemu. V tem primeru je videz odvisen od kota opazovanja.
- Delno zrcalni/difuzni odboj, kjer se določen delež žarkov odbija zrcalno, preostali delež pa difuzno. Razmerje med deležema določa, koliko je površina zrcalna oziroma difuzna.
- Difuzni odboj, kjer se žarki svetlobe z enakim deležem odbijajo v vse smeri. V tem primeru je videz neodvisen od kota opazovanja.

Za 3-D upodabljanje tekstila je treba modelirati geometrijo modela (geometrijsko modeliranje) in njegov videz. Nekatere študije obravnavajo to skupaj, medtem ko se večina raziskav zaradi kompleksnosti ločeno ukvarja z razvojem algoritmov in metod za obe področji [2, 3].

### 1.1 Modeliranje tekstilij

Geometrijsko modeliranje določa geometrijo in osnovno topologijo tekstila in področje modeliranja mehanskih lastnosti. Te metode vključujejo zajemanje ustreznih podatkov tekstila, ki opisujejo njegove fizikalne lastnosti. Podatki so lahko pridobljeni na različne načine, na primer neposredno iz vizualnih podatkov [4], s kombinacijo vizualnih podatkov in podatkovno gnanih metod (*ang. data-driven method*), ter tudi z vpeljavo fizikalnih sil, implementiranih v nadzorovanih razmerah [5, 6].

Deformacije tekstila, kot deformabilnega dinamičnega objekta v 3-D prostoru se preračunavajo s fizikalnimi modeli, ki so bili razviti z upoštevanjem

gibanja in drapiranja tekstila glede na material in zunanje sile (gibanje človeške figure, gravitacija, kolizija itd.). Modeli so bili predstavljeni in analizirani v številnih študijah [7, 8]. Zaradi računske potratnosti fizikalno-eksaktnih modelov, ki za fizikalno točen izračun najfinejših detajlov drapiranja zahtevajo zelo veliko segmentov modela, se uporabljajo tudi t. i. hibridni modeli ter podatkovno gnani modeli simuliranja. Glavna ideja teh metod je vzpostavitev mapiranja med modelom tekstila z nizko ter visoko ločljivostjo, tako da je med upodabljanjem model z nizko ločljivostjo obogaten s predoločenimi finimi detajli, ki so bili izračunani in simulirani na modelih z visoko ločljivostjo [9, 10].

### 1.2 Modeliranje videza tekstila

Poleg geometrije je za raziskovalce poseben izziv tudi modeliranje videza tekstila, ki je vse prej kot trivialno, saj je le-ta definiran s kompleksnimi svetlobnimi interakcijami fine strukture površine, anizotropičnim sipanjem ter učinki samosenčenja, ki jih ustvarjajo deli tekstila na mikro- in makroravni [2].

Avtor Schröder [11] s soavtorji loči metode za modeliranje videza tekstila v tri glavne skupine: površinske (*ang. surface-based*), volumetrične (*ang. volumetric*) ter eksplicitne (*ang. explicit*). V pregledni raziskavi avtorji definirajo modele glede na sposobnost izračunavanja lastnosti, kot so: prosojnost (*ang. translucency*), silhueta, difuzija svetlobe (*ang. light diffusion*), upodabljanje v realnem času, možnost spreminjanja velikosti ter primernost za bližnjo, srednjo ali veliko razdaljo opazovanja objekta.

Modeli, ki generirajo videz tekstila na podlagi površinskih lastnosti (*ang. surface-based*), izračunavajo refleksijske lastnosti tekstila na podlagi dvosmerne refleksijske porazdelitvene funkcije BRDFs (*ang. Bidirectional reflectance distribution functions*) in dvosmerne teksturne funkcije BTFs (*ang. bidirectional texture functions*). BRDF je sicer na splošno v praksi v 3-D računalniški grafiki uporabljena funkcija, iz katere izhajajo številni računski modeli za izračun refleksijskih pojavov na objektih. BRDF modelira poenostavljene refleksijske lastnosti materiala kot funkcijo smeri opazovanja in osvetljevanja ter optičnih lastnosti 3-D objektov. Uporaba BRDF ima nekaj slabosti: problematika difuzije svetlobe v temnih predelih senc, transparenca in problematika upodabljanja nekaterih finjših predelov silhuet [12].

Volumetrični modeli omogočajo nadgradnjo prej omenjenih metod ter rešujejo nekatere slabosti, saj računajo tudi debelino tekstila, kar izboljša vizualizacijo pri opazovanju s srednje velikih razdalj in iz bližine. Tak model je predstavila raziskava avtorja Shuang Zhao s kolegi [13], in sicer kombinacijo tomografije (CT) z x-žarki in referenčnih fotografij za volumetrično modeliranje videza tekstila. Eksplicitni modeli opisujejo refleksijske lastnosti s točnim računanjem presečišč svetlobe z aktualno geometrijo vlaken [14, 15].

Pri vizualizacijah tekstila v arhitekturi, modi, avtomobilizmu, zabavni industriji itn. se uporabljajo tudi preprostejši modeli, ki vključujejo veliko poenostavitvev za predstavitev optičnih lastnosti, zato se za vizualizacijo površine tekstila najpogosteje uporablja lepljenje tekstur na geometrijske modele. Končni videz teksture je odvisen od seštevka map. Za upodabljanje tekstila se najpogosteje uporabljajo spodaj naštetje [16]:

- Difuzna mapa, ki predstavlja difuzni del odbite svetlobe ter posledično barvno informacijo površine tkanine.
- Zrcalna mapa, ki določa razmerje deležev difuznih in zrcalno odbitih žarkov. Mapa je sivinska, svetlejša vrednost slikovne točke pri tem pomeni bolj zrcalen odboj svetlobnega žarka. V raziskavi nas je zanimal delež zrcalnega in delno zrcalnega odboja, popolnoma difuzni odboj, ki določa barvo, pa ne.
- Uporabljajo se tudi reliefne mape (bump, normal, displacement) in mape porznosti.

Poleg map je za ustvarjanje ustreznega videza površine tekstila pomemben tudi izbor algoritmov za senčenje. Te delimo na tri skupine, in sicer za pretežno zrcalne površine (algoritem Phong, Blinn), za pretežno difuzne površine (algoritem Lambert, Oren-Nayar) in za površine specifičnih materialov (kovine, anizotropne in prosojne površine).

### 1.3 Zrcalnost

V številnih raziskavah je zrcalnost obravnavana z vidika razvoja ustreznih algoritmov in matematičnih modelov za napoved in simulacijo videza tekstila (tkane in pletene tekstilije). Avtorja Irawan and Marschner [17] predstavljata analizo odboja svetlobe in teksture tkanine, ki določa in modelira njene optične značilnosti. V njuni raziskavi je predstavljen nov proceduralni model razpršenega odboja svetlobe,

ki opisuje odboj svetlobe odvisno od teksture. Model temelji na analizi zrcalnega odboja svetlobe od vlaken in simulira fine površine tekstila. Parametri algoritma so odvisni od značilnosti vlaken ter od geometrije preje in tkanine. Končne simulacije pa so primerljive z rezultati posnetkov visokoločljivostne videotehnologije ter z metodo BTFs (*ang. Bidirectional Texture Functions*). Avtorji Sadeghi in drugi [18] so predstavili izkustveni model senčenja, ki temelji na meritvah profila svetlobe, odbite od različnih tekstilnih prej. Model napoveduje profil svetlobe, odbite od posameznih niti, in sestavi končni model tkanine glede na parametre kompozicije tkanine in vrsto preje. Avtor Iwasaki je s skupino raziskovalcev [19] predstavil interaktivno upodabljanje (in interaktivno urejanje parametrov funkcije sipane svetlobe) statičnega tekstila z dinamičnimi položaji pogleda opazovalca in osvetljevanja. Uporabljen je t. i. mikrocilindrični model (*ang. microcylinder*) za izračun odboja svetlobe od tekstila z integracijo osvetljevanja z okolico, funkcije vidljivosti (*ang. visibility function*) in funkcije sipanja svetlobe na preji (*ang. light scattering function*). Avtor Sadeghi [20] je v svojem doktoratu predstavil vizualni model za upodabljanje tekstila. V okviru raziskave so bile opravljene številne meritve BRDF različnih vzorcev tekstila in preje. Predstavljen je bil nov analitični model BRDF za niti, ki vključuje algoritem za senčenje in metodo maskiranja.

### 1.4 Slikovna analiza in analiza optičnih pojavov na tekstilu

Slikovna analiza in procesiranje sta uveljavljeni metodi za določanje in vrednotenje optičnih in svetlobnih pojavov na realnem tekstilu. Med raziskavami, ki obravnavajo porznost tekstila ter vključujejo slikovno analizo, lahko omenimo le nekatere raziskave: raziskovalec Kang je s kolegi v svoji metodi predstavil postopek, pri katerem je bil vzorec tekstila osvetljen s transmisijo, prag pa je bil določen kot povprečje intenzitete ozadja slike brez upoštevanja vzorca tekstila [21]. Avtor Cardamone je s skupino kolegov [22] razvil metodo, ki po zajemu slik pri osvetljevanju z refleksijo in transmisijo določa prag z ločevanjem ustreznih vrednosti bimodalnih razporeditev sivinskih intenzitet histogramov digitalnih slik tkanin. Raziskovalec Tãpias in drugi [23] so za določanje pokritosti površine tkanin uporabili CCD-kamero in osvetljevanje s transmisijo.

Poleg poroznosti se slikovna analiza uporablja tudi za določanje leska in sijaja tkanin. Pionir na tem področju je gotovo raziskovalec Anton s skupino [24], čigar metoda je negative fotografij računalniško procesirala in analizirala ter ovrednotila sijaj. Postopek je bil uporabljen na vzorcih preprog. Raziskovalec Hadjianfar je s skupino kolegov [25] razvil novo metodo merjenja sijaja, ki temelji na slikovnem procesiranju ter omogoča primerljive rezultate vrednosti sijaja kot človeško opazovanje. Pri tej metodi se uporabljajo fotografije tekstilij iz različnih zornih kotov pri konstantnih razmerah ter določajo vrednosti intenzitete svetlosti slik, iz katerih se določi indeks sijaja tekstila. Raziskovalec In Shin je s skupino kolegov [26] objavil metodo uporabe slikovne analize za določanje leska tekstilij z vlakni, katerih presek je bil modificiran. Tako so avtorji poskusili ovrednotiti vpliv modificiranja vlaken na videz tekstilije. Prav tako je slikovno analizo uporabila avtorica Jong-Jun [27], ki je za bombažne, svilene in žametne vzorce izdelala histograme in 3-D podatkovne reprezentacije za analizo optičnih pojavov. Rezultate je v nadaljevanju uporabila tudi za modeliranje 3-D struktur.

Resnejših raziskav, pri katerih bi slikovno analizo in procesiranje implementirali tudi na druge oblike optičnih pojavov na tekstilu (difuzni odboj, anizotropija, študij senc na mikro- in makroravni strukture tekstilij) pa v literaturi ni. Prav tako v literaturi ni raziskav, ki bi poleg zrcalnega obravnavale tudi delno zrcalni in delno difuzni odboj. Zadnja namerč poleg difuznega odboja svetlobe največ pripomoreta k informaciji barve in reliefa na končni vizualizaciji.

Cilj naše raziskave je bil študij delokroga izdelave mape zrcalnosti za 3-D upodobitev neenakomerne površine tkanine. Namen raziskave sta bila uporaba slikovne analize in izbor ustreznega algoritma za določanje mape zrcalnosti na vzorcih, ki so bili različno osvetljeni tako pri zajemu informacij s fotografiranjem kot pri njegovem 3-D upodabljanju. Proučeni sta bili tudi dve metodi obdelave fotografij in njun vpliv na slikovne informacije v mapi za zrcalnost, saj nas je zanimal vpliv dveh ustaljenih postopkov obdelave fotografij (poenotenje histograma in odstranjevanje motečega ozadja) na numerične in vizualne rezultate zrcalne mape.

Razvijali smo delokrog, ki 3-D ustvarjalcu omogoča bolj nadzorovano izdelavo mape zrcalnosti v primerjavi s postopki, ki se po navadi uporabljajo v

3-D produkciji s specializiranimi programskimi orodji. Poleg tega pa je ta metoda cenejša in računsko manj potratna, saj ne vključuje visokoločljivostnih modelov in tekstur, ki naredijo postopek vizualizacije zelo kompleksen. Metoda je primerna za določena področja 3-D vizualizacij, kot so 3-D animiranje pri manjših razdaljah opazovanja, vizualizacija in animacija pri srednje veliki razdalji opazovanja, reprodukcija modelov okolice in ozadja.

## 2 Eksperimentalni del

V eksperimentalnem delu smo razvijali delokrog priprave zrcalnih map na delu rokavcev gorenjske ljudske noše [28], ki je imela zaradi uporabe neenakomerno strukturo in znake nošenja. Za upodobitev tkanine s tako neenakomerno površino smo potrebovali zajem čim večje površine vzorca. Tkanina, ki smo jo analizirali, je bila 100-odstotna bombažna tkanina (platnova vezava, gostota osnovnih niti = 20 niti/cm, gostota votkovnih niti = 15 niti/cm, Z-vitje osnovnih in votkovnih niti). Vzorce smo fotografirali s fotoaparatom Nikon (105 mm) pri sedmih različnih osvetlitvah (ene in kombinacije dveh ali treh luči) v fotostudiu Oddelka za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje. Lastnosti luči so bile: moč 1000 W, tip IFF Q 1250, izdelovalec OSRAM. Na luči z razpršenim osvetljevanjem (difuzne) je bil nameščen razpršilec svetlobe Softbox, na direktne luči pa senčilo za svetlobo. Vzorci velikosti 1500×1500 slikovnih točk so bili za nadaljnjo analizo izrezani iz sredine originalnih vzorcev formata .raw ter pretvorjeni v format .tiff.

Po zajemu sta bila uporabljena dva postopka slikovnega procesiranja originalnih slikovnih informacij (v nadaljevanju OR). Prvi postopek je bilo poenotenje histograma (*ang. histogram equalisation*), vzorci te skupine so v nadaljevanju poimenovani EQ. Drugi postopek je bila obdelava slik z algoritmom za odstranjevanje motečega ozadja (*ang. background subtraction*). Ta vključuje korekcijo neenakomerno osvetljenega ozadja s pomočjo t. i. algoritma kotaleče se žoge (*ang. rolling ball*) [29]. Vzorci te skupine so v nadaljevanju poimenovani RB.

Eksperimentalni del je v nadaljevanju vključeval določanje ustreznega algoritma za izločanje informacij zrcalne mape. V programu za slikovno analizo *ImageJ* so bili testirani vsi algoritmi za upravljanje, ki jih ponuja funkcija *AutoThreshold*. Testirani so bili

Preglednica 1: Imena vzorcev z ustreznimi kombinacijami luči, ki so bile uporabljene za osvetljevanje pri zajemu fotografij

Table 1: Sample names with corresponding combinations of lights that were used at photography acquisition

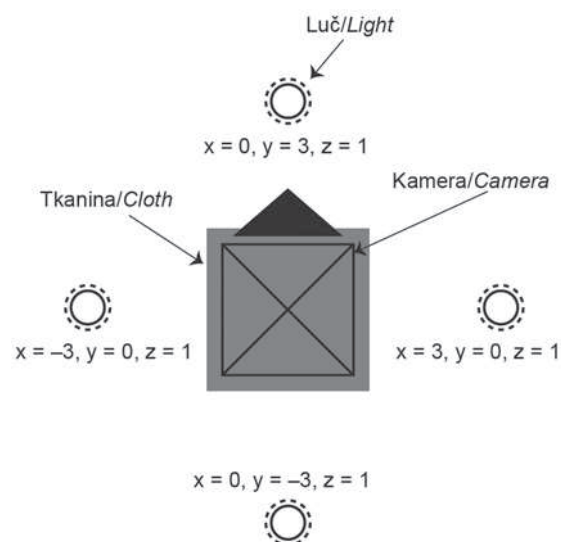
Vzorec/Sample	Tip luči/Type of light	
	Razpršena osvetlitev/Diffuse lighting	Direktna osvetlitev/Direct lighting
1	desna in leva luč/right and left light	–
2	desna luč/right light	–
3	leva luč/left light	–
4	desna luč/right light	direktna luč/direct light
5	leva luč/left light	direktna luč/direct light
6	desna in leva luč/right and left light	direktna luč/direct light
7	–	direktna luč/direct light

algoritmi: *Huang, Intermodes, Isodata, Li, MaxEntropy, Mean, Min Error, Minimum, Moment, Otsu, Percentile, RenyEntropy, Shanbhag, Triangle*. Pregledali smo rezultate vseh algoritmov ter izbrali algoritem Percentile [30], ki v vseh primerih različno osvetljenih in procesiranih slik izloči zrcalni ter delno zrcalni in delno difuzni del odbite svetlobe. Uporabljanje z drugimi algoritmi je namreč pripeljalo do prevelike ali premajhne pokritosti. Za izločene površine so bile s slikovno analizo izračunani podatki o pokritosti površine (%), o številu površin in o njihovi velikosti (število slikovnih pik). V programu Adobe Photoshop smo upravljalno črno-belo sliko postavili na ustrezno fotografijo, iz katere je bila le-ta narejena, in iz nje s pomočjo maske izvzeli sivinski del, ki ustreza območjem upravljalne zrcalnosti. Ta je bila uporabljena kot mapa zrcalnosti v postopku 3-D vizualizacije.

Tkanine smo vizualizirali v 3-D računalniškem programu Blender. Za vizualizacijo tkanine smo uporabili tri mape, in sicer difuzno mapo (fotografija), mapo normal, ki smo jo generirali s pomočjo programa CrazyBump, ter mapo zrcalnosti, za izdelavo in analizo katere smo v tej raziskavi razvili delokrog. Izbran je bil tip svetlobnega vira »sonce« (*ang. Sun*). V virtualni 3-D sceni smo spreminjali položaj svetlobnega vira, in sicer so bili položaji naslednji (slika 1): scena 1:  $x = 3, y = 0, z = 1$ ; scena 2:  $x = -3, y = 0, z = 1$ ; scena 3:  $x = 0, y = 3, z = 1$ ; scena 4:  $x = 0, y = -3, z = 1$ . Scene so bile upodobljene z blenderjevim upodobljevalnikom Cycles Render.

Tudi vizualizacije so bile obdelane z algoritmom Percentile ter s slikovno analizo. Za zrcalna, delno zrcalna ter delno difuzna področja vzorcev so bili

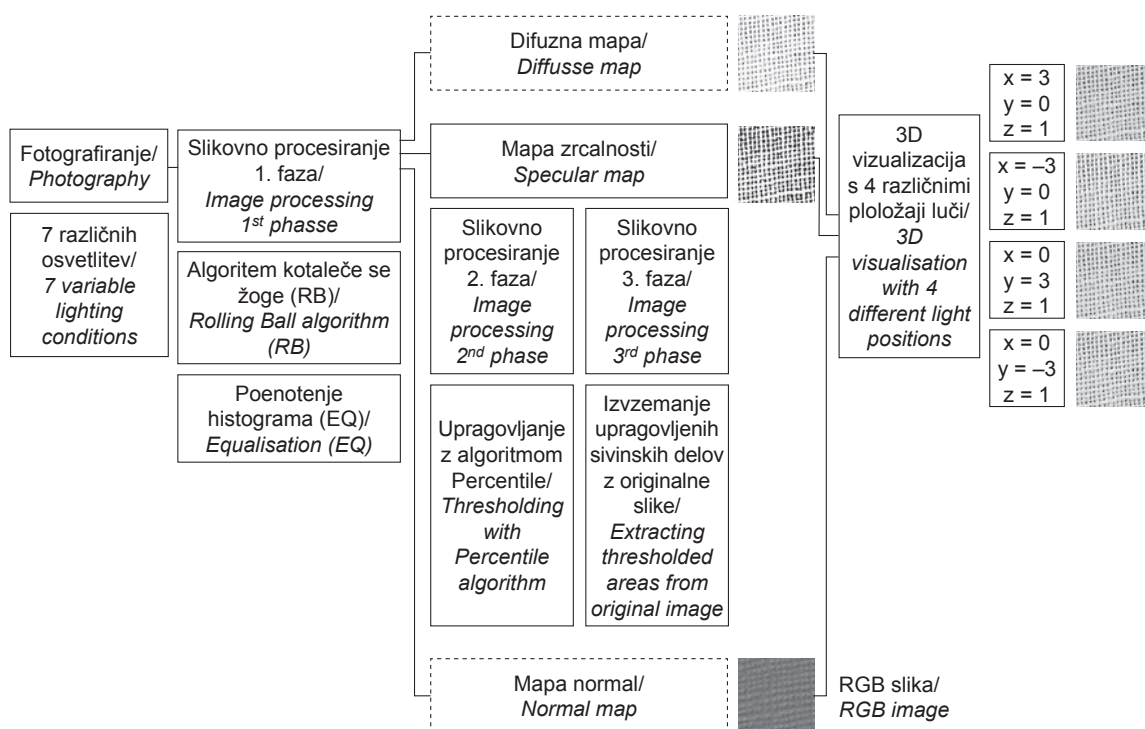
izračunani rezultati o pokritosti površine (%), o številu površin in o njihovi velikosti (število slikovnih pik). Za ta območja so bili tako na teksturah treh skupin vzorcev pred vizualizacijo (OR, EQ in RB) ter na upodobitvah po vizualizaciji določeni histogrami ter izračunane vrednosti: kontrasta (pri tem smo kontrast izračunali kot razliko med maksimalno in minimalno vrednostjo intenzitete sivine), povprečne vrednosti intenzitete sivin na histogramu ter najpogosteje zastopano vrednost intenzitet sivin na histogramu (ali tudi vrh histograma). Shema delokroga je prikazana na sliki 2.



Slika 1: Shema položajev tkanine, luči in kamere pri 3-D upodabljanju v programu Blender

Figure 1: Scheme of cloth, light and camera position at 3D visualisation in computer program Blender





Slika 2: Shema delokroga vizualizacije tekstila, pri čemer je poudarjena priprava mape zrcalnosti  
 Figure 2: Workflow scheme of cloth visualisation with emphasised preparation of specular map

### 3 Rezultati z razpravo

Rezultati z razpravo so razdeljeni na naslednja podglavja:

- Analiza točk praga določenega pri upragovljanju slik OR, EQ in RB pred in po vizualizaciji,
- Slikovna analiza števila in velikosti zrcalnih površin pred upodobljanjem tkanin in po njem,
- Slikovna analiza celotne pokritost površine tkanine z območji z zrcalnim odbojem svetlobe ter slikovna analiza števila in velikosti zrcalnih površin pred vizualizacijo tkanin in po njej,
- Analiza histogramov (intenziteta sivin slikovnih točk) z maskiranjem določenih zrcalnih, delno zrcalnih in delno difuznih površin pred vizualizacijo in po njej.

Krajšave vzorcev v razlagi pomenijo: OR – originalno zajete fotografije ter vzorci, ki so bili generirani z originalno zajetimi fotografijami; EQ – slike, obdelane s funkcijo za poenotenje histograma, ter vizualizacije, ki so bile generirane s fotografijami, obdelanimi s funkcijo za poenotenje histograma; RB – slike, obdelane s funkcijo kotaleče se krogle, ter vizualizacije,

ki so bile generirane s fotografijami, obdelanimi s funkcijo za odstranjevanje motečega ozadja (kotaleče se krogle).

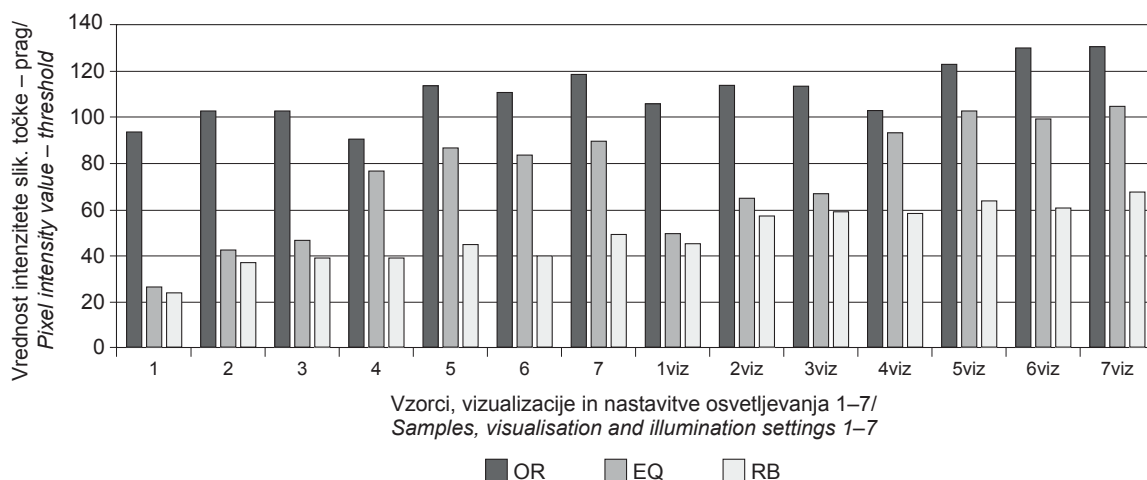
V preglednici 2 so za vzorce 1 in 7 (postavitev luči pri zajemu: 1 - leva in desna razpršena, 7 - direktna luč) vseh treh skupin OR, EQ in RB, prikazane vizualizacije, histogrami zrcalnih območij ter upragovljene slike z detajli po osvetljevanju iz štirih smeri virtualnega prostora (spredaj:  $x = 0, y = 3, z = 1$ , zadaj:  $x = 0, y = -3, z = 1$ , leva:  $x = -3, y = 0, z = 1$ , desna:  $x = 3, y = 0, z = 1$ ).

#### 3.1 Analiza vrednosti praga, določenega pri upragovljanju slik OR, EQ in RB pred vizualizacijo in po njej

Vrednost intenzitete slikovne točke, na kateri izbrani algoritem Percentile določi prag, je pri vzorcih OR, EQ in RB različna na fotografijah pred vizualizacijo in tudi na upodobitvah. Pri vzorcih OR so vrednosti najvišje ter se gibljejo med 91,0 in 119,0 pred vizualizacijo ter med 103,3 in 131,0 po upodobljanju. Pri vzorcih EQ so vrednosti med 27 in 90 pred vizualizacijo ter med 50 in 105,3 po upodobljanju, medtem

Preglednica 2: Upragovljene slike z detajli za vzorce 1 in 7 vseh treh skupin, OR, EQ in RB, vizualizacije vzorcev pri osvetljevanju iz štirih smeri virtualnega prostora ter histogrami zrcalnih območij  
 Table 2: Thresholded images with details for samples 1 and 7 of all three groups, OR, EQ and RB, visualisations of samples at lighting from four directions of virtual space and histograms of specular areas

Vzorec/ Sample	Obdelava slik/ Image processing		Smer virtualne osvetlitve/Direction of virtual lighting			
			$x = 3, y = 0, z = 1$	$x = -3, y = 0, z = 1$	$x = 0, y = 3, z = 1$	$x = 0, y = -3, z = 1$
			Histogrami in vizualizacije/Histograms and visualisations			
1	OR	Upragovljena slika, detajl image, detail				
	RB	Upragovljena slika, detajl image, detail				
	EQ	Upragovljena slika, detajl image, detail				
7	OR	Upragovljena slika, detajl image, detail				
	RB	Upragovljena slika, detajl image, detail				
	EQ	Upragovljena slika, detajl image, detail				



Slika 3: Primerjava vrednosti intenzitete slik. točk praga različno osvetljenih in obdelanih vzorcev pred (vzorci 1–7) in po upodabljanju (1viz–7viz)

Figure 3: Comparison of threshold value of differently illuminated and processed samples before (samples 1–7) and after visualisation (samples 1viz–7viz)

ko so vrednosti praga najmanjše pri vzorcih, obdelanih z RB, kjer se gibljejo med 24 in 49 pred upodabljanjem ter med 45,3 in 67,8 po njem. Proces obdelave EQ in RB pripeljeta do manjših vrednosti intenzitete slik. točk – praga pri vzorcih, ki so bili pri zajemu fotografij osvetljeni z difuzno lučjo (1–3), kot pri vzorcih, osvetljenih z direktno lučjo (4–7). Pojav je še posebej očiten pri vzorcih EQ in sledi trendu, ki ga imajo tudi originalni vzorci (z izjemo vzorca 4, ki je bil pri zajemu osvetljen z direktno in razpršeno desno lučjo). To je prikazano na sliki 3 za vse vzorce pred vizualizacijo in po njej, pri čemer je na sliki 3 vidno, da so vrednosti intenzitete slik. točk, kjer je bil z algoritmom Percentile določen prag na vzorcih od 1–7 pred vizualizacijo na splošno manjše kot na upodobitvah.

### 3.2 Analiza histogramov pred vizualizacijo v 3-D in po njej

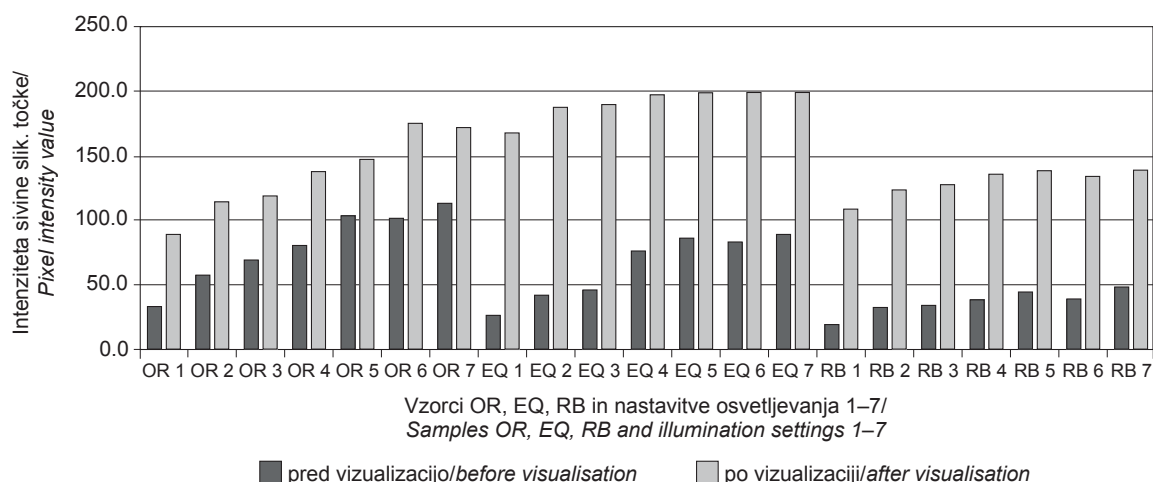
Obdelava slik vpliva na to, da so histogrami po vizualizacijah širše intenzitete, torej so slike bolj kontrastne pri vzorcih EQ, ter bistveno ožje pri OR in RB, kot je razvidno iz številčnih rezultatov kontrastov v preglednici 3, ter grafično in slikovno v preglednici 2 in na sliki 4. Pri tem se pri vzorcih EQ in RB (torej obdelanih) največje število slik. točk določene intenzitete po pričakovanjih nahaja v svetlejšem delu, medtem ko je pri originalu večina slikovnih točk v srednjesivinskem delu. Upodobitve imajo po vizualizaciji v 3-D prostoru tudi pri vseh treh skupinah (še predvsem pa pri vzorcih, ki so

bili obdelani z EQ in RB) bistveno večji kontrast kot slike pred vizualizacijo, kar dokazuje učinkovnost virtualnega osvetljevanja na kompleks 3-D modelov, tekstur za barvne učinke ter map za optične učinke. Povečanje kontrasta na vizualizacijah je vzrok predvsem v manjših vrednostih najtemnejših intenzitet slikovnih točk.

Predvsem pri vzorcih OR je kontrast upodobitve (slikovnih točk na vizualizaciji) zelo odvisen od vrste vzorca oz. načina osvetljevanja pri zajemu slike (1–7). Iz analize histogramov lahko na splošno ugotovimo, da so prisotne razlike med histogrami (kontrastom med najsvetlejšo in najtemnejšo točko) vizualizacij, ki so bile generirane iz slik brez (1–3) in z direktno osvetlitvijo (4–7). Lahko rečemo, da so porazdelitve intenzitet pri vzorcih z razpršeno osvetlitvijo na splošno ožje kot tiste z direktno (preglednica 2, prikaz za vzorca 1 in 7). Omenjeno je očitno pri vseh skupinah vzorcev tako pred vizualizacijo kot po njej, vendar najbolj pri vzorcih OR, EQ pred vizualizacijo in OR po njej. Razlike med kontrasti vzorcev od 1 do 7 so za skupini vzorcev EQ in RB po vizualizaciji manjše. To dokazujejo tudi številčni rezultati kontrasta (maks.–min.), ki so prikazani na sliki 4 in v preglednici 3.

Analiza vrednosti v histogramih kaže tudi na to, da tako pred vizualizacijami kot po njih z obdelavo slik EQ in RB dosežemo večje povprečne vrednosti intenzitete sivin in večjo vrednost najpogostejše zastopane intenzitete v histogramu (torej vrh histograma).





Slika 4: Kontrast (maks.-min. vrednost intenzitete sivin slikovnih točk histograma) vzorcev OR, EQ in RB pri sedmih načinih osvetljevanja pri zajemu pred vizualizacijo in po njej (povprečje za vse štiri smeri osvetljevanja v virtualnem prostoru)

Figure 4: Contrast (max.-min. value of pixel intensity) of samples OR, EQ and RB at seven different illumination settings during image acquisition (average value of results of four different directions of virtual illumination)

Na te iste vrednosti vpliva tudi način osvetljevanja pri zajemu fotografij, vendar izraziteje le pri vzorcih OR in EQ, tako da imajo vzorci od 1 do 3 večje povprečne vrednosti intenzitete sivin in večjo vrednost vrha histograma kot vzorci od 4 do 7. To je prikazano v preglednici 3, kjer so predstavljeni rezultati povprečne vrednosti sivin (Povp.) in vrednosti vrha

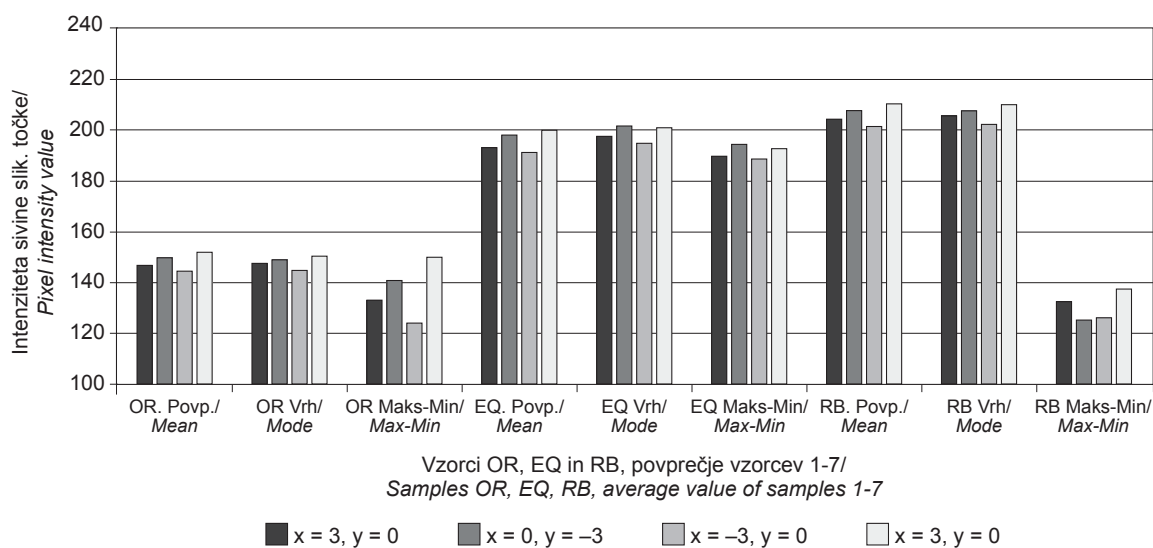
histograma (Vrh, najpogosteje zastopane intenzitete sivin) za vse tri skupine vzorcev OR, EQ in RB.

Iz slike 5 lahko razberemo tudi vpliv smeri osvetljevanja v 3-D prostoru na kontrast, povprečno vrednost intenzitete sivin histograma in vrh histograma. Te tri vrednosti so pri osvetljevanju po osi x, natančneje iz leve strani ( $x = -3$ ), na splošno največje.

Preglednica 3: Rezultati povprečnih vrednosti intenzitete sivin (Povp), vrednosti vrha histograma (Vrh) ter kontrastov slik (Kont) pred vizualizacijo in po njej za vzorce OR, EQ in RB pri različnih načinih osvetljevanja 1–7 (po vizualizaciji je za vzorce 1–7 predstavljeno povprečje vrednosti vseh štirih smeri osvetljevanja)

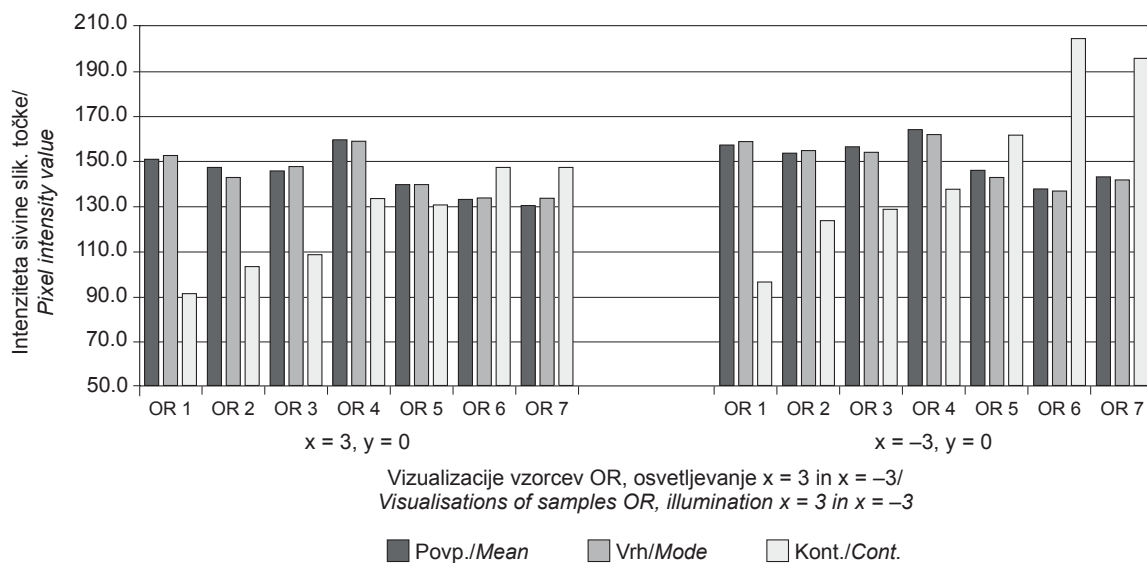
Table 3: Results of average values of pixel intensity (Mean), most frequent value of pixel intensity (Mode) and contrast (Cont) before and after visualisation of samples OR, EQ and RB at different illumination settings 1–7 (after visualisation, average value of all four illumination directions is presented)

Vzorec/ Sample	Pred vizualizacijo/Before visualisation												Po vizualizaciji/After visualisation											
	OR				EQ				RB				OR				EQ				RB			
	Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont		Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont		Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont		Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont		Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont		Povp/ Mean	Vrh/ Mode	Kont/ Cont	
1	167,9	165,0	34,0		240,6	237,0	27,0		237,1	237,0	20,0		154,7	155,8	90,0		216,7	220,0	167,75		214,6	217,0	109,75	
2	164,1	154,0	58,0		231,9	216,0	43,0		229,4	221,0	33,0		151,1	148,8	115,0		208,3	212,8	188,0		207,2	206,0	124,0	
3	165,1	155,0	70,0		229,8	215,0	47,0		228,	219,0	35,0		151,8	149,8	119,25		206,3	212,0	189,75		206,0	207,5	128,0	
4	177,6	173,0	81,0		212,1	203,0	77,0		229,3	221,0	39,0		162,4	161,3	138,5		189,8	191,8	197,5		207,1	207,8	136,25	
5	155,6	145,0	104,0		205,2	180,0	87,0		224,8	218,0	45,0		143,4	141,8	147,5		183,1	185,8	199,0		202,9	202,8	138,75	
6	157,3	151,0	102,0		207,1	193,0	84,0		228,1	218,0	40,0		136,0	138,0	175,75		184,5	187,3	198,75		204,8	205,0	134,75	
7	152,3	143,0	114,0		203,2	184,0	90,0		222,2	216,0	49,0		137,3	139,5	172,25		181,3	183,0	199,0		200,4	199,5	139,5	



Slika 5: Primerjava povprečnih vrednosti intenzitet sivin (Povp), najpogosteje zastopane vrednosti (Vrh) ter kontrasta (Maks-Min) za štiri smeri osvetljevanja v 3-D prostoru po upodabljanju (spredaj:  $x = 0, y = 3, z = 1$ , zadaj:  $x = 0, y = -3, z = 1$ , leva:  $x = -3, y = 0, z = 1$ , desna:  $x = 3, y = 0, z = 1$ )

Figure 5: Comparison of average values of pixel intensities (Mean), most frequent value of pixel intensity (Mode) and contrast (Max-Min) for four illumination directions in 3D space after rendering (front:  $x = 0, y = 3, z = 1$ , back:  $x = 0, y = -3, z = 1$ , left:  $x = -3, y = 0, z = 1$ , right:  $x = 3, y = 0, z = 1$ )



Slika 6: Primerjava povprečnih vrednosti intenzitet sivin (Povp.), vrednosti vrha (Vrh) histograma ter vrednosti kontrasta (Kont.) za OR-vzorke pri osvetljevanju z leve in desne ( $x = -3, y = 0, z = 1$  in  $x = 3, y = 0, z = 1$ ) v virtualnem prostoru

Figure 6: Comparison of average values of pixel intensities (Mean), most frequent value of pixel intensity (Mode) and contrast (Cont.) for OR samples at virtual illumination from left and right ( $x = -3, y = 0, z = 1$  and  $x = 3, y = 0, z = 1$ )

Sovpliv osvetljevanja vzorcev pri zajemu fotografij in osvetljevanja v 3-D prostoru je očiten še predvsem

za vzorce, ki so bili vizualizirani s fotografijami, zajetimi pri direktni luči (vzorci od 4 do 7), saj je

porazdelitev intenzitet (kontrast) upodobitev pri osvetljevanju iz smeri  $x = -3$  večja kot pri osvetljevanju iz smeri  $x = 3$ . Pojav je očiten predvsem za vzorce OR in EQ in manj za RB ter je v obliki vizualizacij in detajlov uprakovljenih slik predstavljen za vzorec 7 v preglednici 2.

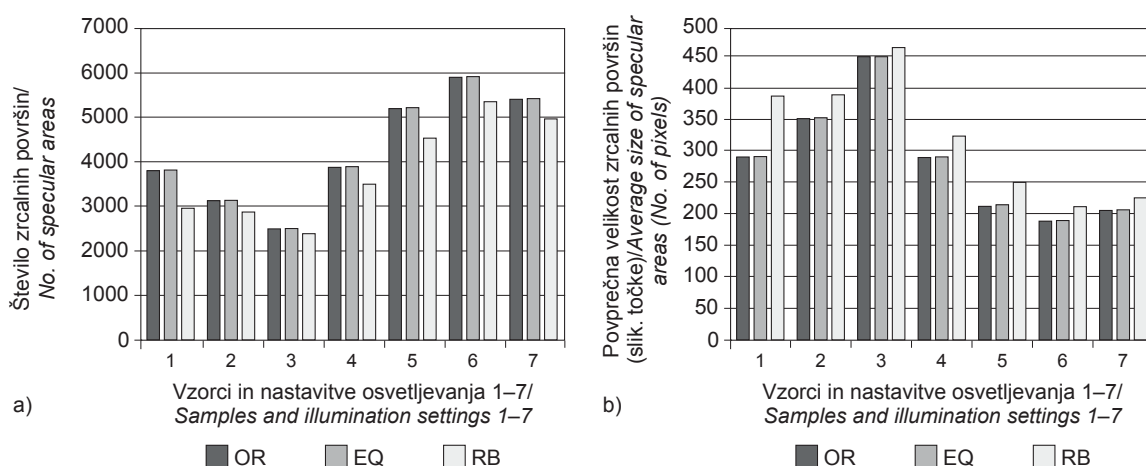
Prav tako lahko tudi po upodabljanju in osvetljevanju po osi  $y$  trdimo, da je prisoten vpliv smeri osvetljevanja, saj je porazdelitev slikovnih točk na histogramih pri osvetljevanju od spodaj (iz  $y = -3$ ) širša, torej imajo te vizualizacije večji kontrast (slika 5). Pri  $y = 3$  so porazdelitve intenzitet ožje. Tudi pri osvetljevanju v smeri te osi je prisoten sovpliv osvetljevanja pri zajemu fotografij ter osvetljevanja v 3-D prostoru. Vizualizacije vzorcev 4–7 imajo večji kontrast kot vizualizacije vzorcev 1–3. V nasprotju z osvetljevanjem v smeri osi  $x$  je ta pojav prisoten predvsem pri vizualizacijah, ki so bile generirane s skupino vzorcev OR. Omenjeno je opazno tudi pri vizualni analizi vizualizacij vzorcev 1 in 7 v preglednici 2, kjer je v teh primerih tudi vizualno izrazitejši relief.

Pri vseh treh skupinah vzorcev (OR, EQ in RB) je tudi opaziti, da imajo vizualizacije, ki so bile generirane s teksturami in mapami zajetimi pri difuznih lučeh (vzorci 1–3), na splošno večje povprečne vrednosti intenzitete sivin v histogramu ter na splošno tudi večje vrednosti vrha histograma. To je za primer osvetljevanja vizualizacij v smereh osvetljevanja z leve in desne ( $x = 3, y = 0, z = 1$  in  $x = -3, y = 0, z = 1$ ), ki so bile generirane z OR-slikami, prikazano na sliki 6.

### 3.3 Analiza površine tkanine z območji z zrcalnim in delno zrcalnim odbojem svetlobe pred vizualizacijo in po njej

Primerjava rezultatov pokritosti celotne površine vzorcev s seštevkom zrcalnih površin (skupin vzorcev OR, EQ in RB) je pokazala, da med različnimi vzorci pravzaprav ni pomembnejših razlik. Te vrednosti pred vizualizacijo variirajo od 49,0 % do 50,8 % s povprečno vrednostjo 50,3 % in standardno deviacijo 0,5 %, po vizualizaciji pa od 48,5 % do 51,2 % s povprečno vrednostjo 50,0 % in std. odstopanjem 0,5 % za vse skupine vzorcev OR, EQ in RB ter vse štiri osvetlitve po vizualizaciji.

Zanimiva pa je prisotnost razlik v porazdelitvi zrcalnih območij glede na vrsto vzorcev. Pri vzorcih OR in EQ z difuznim osvetljevanjem pri zajemu (1–3) je trend centrične porazdelitve, pri RB pa je porazdelitev zrcalnosti tudi pri difuznem osvetljevanju enakomerna. Pri vzorcih 4–7 vseh treh skupin vzorcev OR, EQ in RB je porazdelitev enakomerna, vendar so površine zrcalnosti usmerjene bolj proti votku (votkovne niti so v originalni tkanini bolj neenakomerne z odebelitvami), podoben trend ostane tudi po vizualizacijah v 3-D prostoru ter osvetljevanju iz štirih različnih smeri. Razlike v razporeditvi in usmerjenosti zrcalnih površin so za primer vzorcev 1 in 7 skupin OR, EQ in RB ter vse štiri smeri osvetljevanja pri upodabljanju prikazane v preglednici 2. Na uprakovljenih slikah (pred vizualizacijo) lahko opazujemo tudi povezanost polj zrcalnih površin v smeri votka in osnove. Zelo očitno so pri vseh

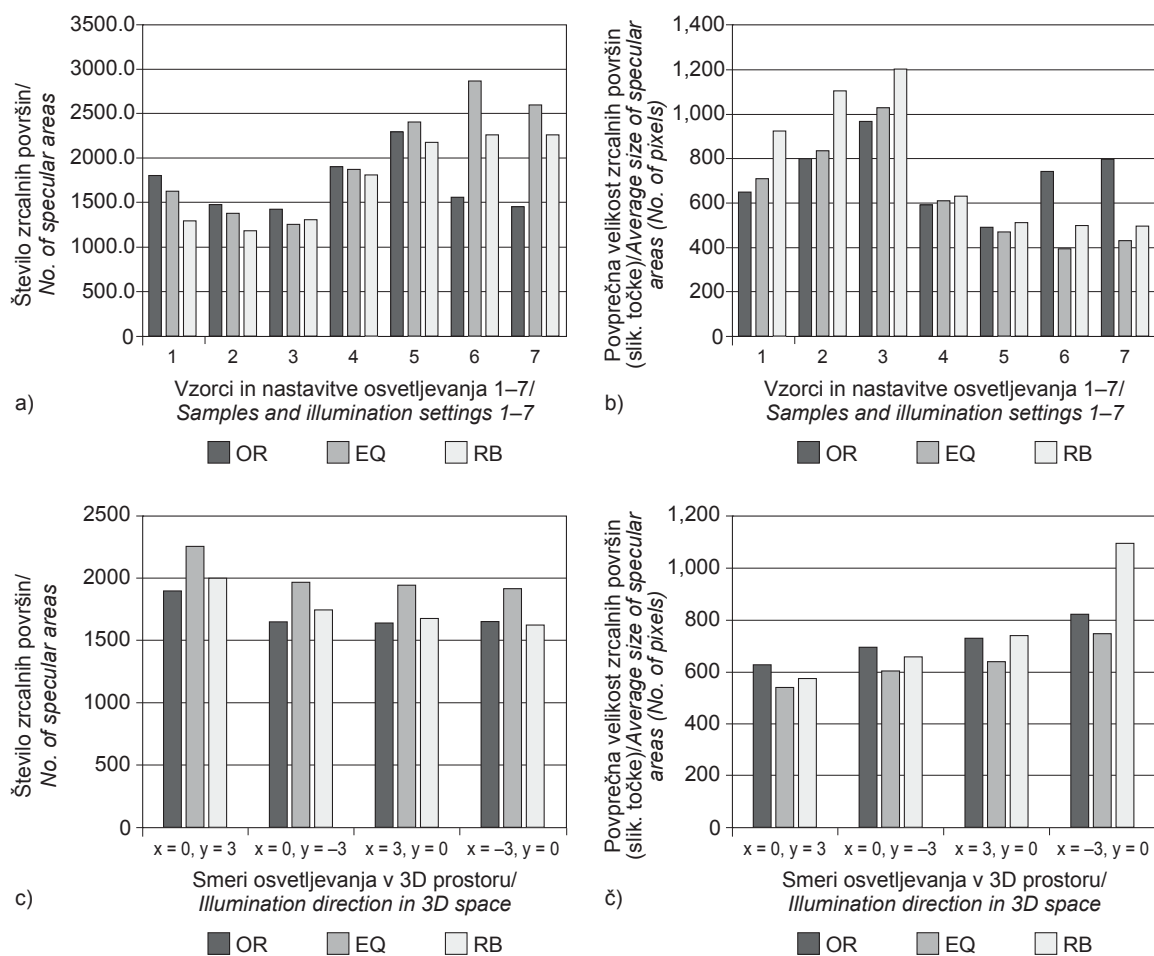


Slika 7: a) Število zrcalnih površin ter b) povprečna velikost zrcalnih površin (število slikovnih pik) vzorcev 1–7 skupin OR, EQ in RB pred vizualizacijo

Figure 7: a) Number of specular areas; b) average size of specular areas (number of pixels) of samples 1–7 and groups of samples OR, EQ and RB before visualisation

skupinah vzorcev OR, EQ in RB pri vzorcih z direktnim osvetljevanjem (4–7) nakazane skupine zrcalnih površin v smeri votka (horizontalni smeri), medtem ko so pri vzorcih od 1 do 3 prisotne tako skupine zrcalnosti v smeri osnove kot v smeri votka. Pri vzorcih 2 in 3 so sicer bolj očitne skupine zrcalnosti v smeri osnove (vertikalni smeri). Vzorec 1 pa ne kaže izrazitejši usmerjenosti skupin površin zrcalnosti ne v smeri osnove ne v smeri votka.

Sliki 7a in 7b prikazujeta rezultate slikovne analize po določanju pragov vzorcev OR, RB in EQ pred vizualizacijo, ki numerično kažejo na to, da je (ne glede na splošno enako pokritost celotne površine z zrcalnimi deli okoli 50-odstotna) pri vzorcih, osvetljenih z difuznimi lučmi, število skupin zrcalnih površin na splošno manjše, vendar z večjo površino. Število zrcalnih površin je pri vzorcih od 4 do 7, torej z direktno osvetlitvijo, večje, vendar so ti delci na splošno manjši. Vzorec 4 (direktna+desna



Slika 8: a) Povprečna vrednost rezultatov števila zrcalnih površin in b) povprečna velikost zrcalnih površin (število slikovnih pik) vzorcev OR, EQ in RB po vizualizaciji (podano je povprečje rezultatov osvetljevanja iz vseh štirih smeri); c) povprečna vrednost rezultatov števila zrcalnih površin in d) povprečna velikost zrcalnih površin (število slikovnih pik) vzorcev OR, EQ in RB po vizualizaciji za štiri smeri osvetljevanja (spredaj:  $x = 0, y = 3, z = 1$ , zadaj:  $x = 0, y = -3, z = 1$ , leva:  $x = -3, y = 0, z = 1$ , desna:  $x = 3, y = 0, z = 1$ )

Figure 8: a) Average value of number of specular areas; b) average values of specular area (number of pixels) of samples OR, EQ and RB after visualisation (average value of results from all four virtual illumination directions); c) average value of number of specular areas; d) average size of specular areas (number of pixels) of samples OR, EQ and RB after visualisation at four different virtual illumination directions (front:  $x = 0, y = 3, z = 1$ , back:  $x = 0, y = -3, z = 1$ , left:  $x = -3, y = 0, z = 1$ , right:  $x = 3, y = 0, z = 1$ )



razpršena luč) se pri tem obnaša bolj podobno vzorcem, osvetljenim z razpršeno lučjo (1–3), kar bi po našem mnenju lahko pripisali sovplivu delovanja smeri zavojev niti v smeri Z in razpršenega osvetljevanja pri zajemu iz desne smeri.

Med vzorci, ki so bili med zajemom osvetljeni z razpršeno lučjo, izstopa vzorec 3 (razpršena leva luč), kjer je število skupin najmanjše, vendar imajo skupine zrcalnosti očitno največjo povprečno velikost, pri vseh treh skupinah, in sicer  $OR_{st.površ.} = 2504$ ,  $OR_{povp.vel.} = 449,9$ ,  $EQ_{st.površ.} = 2504$ ,  $EQ_{povp.vel.} = 449,9$  in  $RB_{st.površ.} = 2395$ ,  $RB_{povp.vel.} = 464,3$ . Fenomen bi po našem mnenju lahko razložili s sovplivom usmerjenosti luči iz leve, vitja preje v Z-smeri in rahle deformiranosti tkanine, ki najverjetneje med zajemom povzročajo večje reflektivne površine z leve strani niti.

Po vizualizaciji tkanin v 3-D prostoru se med rezultati števila zrcalnih površin in velikostjo površin ponovno kažejo razlike med tremi skupinami vzorcev (OR, EQ in RB), kot je prikazano na slikah 8a in 8b. Pri vzorcih, ki so bili vizualizirani z OR-slikami in v virtualnem prostoru osvetljeni iz štirih strani, se rezultati števila zrcalnih površin in njihovih velikosti ne razlikujejo tako očitno glede na vrsto osvetljevanja pri zajemu, medtem ko so pri vzorcih EQ in RB ponovno vidne razlike (kot pred vizualizacijo), tako da imajo vizualizacije vzorcev, katerih slike so bile zajete pri razpršeni svetlobi (pri vseh štirih smereh virtualne osvetlitve) na splošno manjše število zrcalnih površin, ki pa so večje. Pri OR-vzorcih torej virtualno osvetljevanje pri upodabljanju izniči oz. zmanjša vpliv učinkovanja osvetljevanja pri zajemu (fotografiranju) teksture, medtem ko pri vzorcih skupin EQ in RB pri upodabljanju vpliv osvetljevanja pri zajemu ostane prisoten.

Sliki 8c in 8č prikazujeta vpliv osvetljevanja na vizualizacijah pri osvetljevanju iz štirih smeri v virtualnem prostoru. Vzorci, ki so bili osvetljeni od spredaj ( $y = 3$ ) imajo največje število zrcalnih površin, ki pa so na splošno najmanjše velikosti. Pri osvetljevanju  $x = 3$ ,  $x = -3$  in  $y = -3$  (torej levo, desno in zadaj) pa je število površin manjše, te pa so na splošno večje. Med temi izstopa tudi osvetljevanje  $x = -3$  (osvetljevanje z leve), ki na splošno (in bolj izrazito pri vzorcih skupin EQ in RB) pripelje do največje velikosti zrcalnih površin. Po našem mnenju bi vzrok lahko ponovno poiskali (kot pred vizualizacijami) v sovplivu usmerjenosti luči iz leve, vitja preje v Z-smeri, ki poleg učinkovanja med zajemom fotografij tudi

po vizualizaciji povzročajo večje reflektivne površine na levi strani predvsem osnovnih niti.

## 4 Sklepi

V raziskavi smo dosegli cilj, torej razvoj delokroga nadzorovane izdelave zrcalne mape za 3-D vizualizacijo tkanin. Delokrog je vključeval: zajem slikovnih informacij s fotografiranjem pri različnih osvetlitvah, obdelavo fotografij, izbor ustreznega algoritma za slikovno procesiranje, slikovno analizo zrcalnih površin, analizo histogramov, kontrolirano osvetljevanje vzorcev z mapami zrcalnosti pri vizualizaciji v 3-D prostoru ter vrednotenje rezultatov po upodabljanju.

Ugotovljen je bil vpliv vrste obdelave slik na rezultate vrednosti praga pri upravljanju za določanje mape zrcalnosti, pri čemer ima obdelava slik za posledico zmanjšanje vrednosti praga, predvsem pri vzorcih, ki so bili pri zajemu osvetljeni z difuzno lučjo ter po zajemu obdelani z algoritmom kotaleče se krogle.

Procesiranje slik močno vpliva na rezultate. To smo najprej ugotavljali na histogramih, in sicer pred upodobitvijo v 3-D prostoru in po njej. Procesiranje slik s poenotenjem histogramov in z odstranjevanjem motečega ozadja vpliva na povečanje kontrasta upodobitev. Povečanje kontrasta na vizualizacijah je vzrok predvsem manjših vrednosti najtemnejših intenzitet slikovnih točk. Razlike med kontrasti različno osvetljenih vzorcev so za ti dve skupini vzorcev po vizualizaciji manjše. Analiza vrednosti v histogramih kaže tudi na to, da tako pred vizualizacijami kot po njih z uporabo obdelanih slik (EQ in RB, pri vizualizacijah obdelane slike uporabimo kot mapo zrcalnosti) dosežemo večje povprečne vrednosti intenzitete sivin ter večjo vrednost najpogostejše zastopane intenzitete v histogramu (vrednost vrha histograma). Na te iste vrednosti vpliva tudi način osvetljevanja pri zajemu fotografij, ki je izrazitejši le pri originalnih vzorcih ter vzorcih s poenotenim histogramom (OR in EQ) pred vizualizacijo in po njej, tako da imajo vzorci, osvetljeni z difuzno svetlobo, večje povprečne vrednosti intenzitete sivin ter večjo vrednost vrha histograma kot vzorci, osvetljeni z direktno svetlobo.

Pokritost celotne površine vzorcev s seštevkom vseh zrcalnih površin je v naši raziskavi zelo malo odstopala med vzorci. Vseeno pa slikovna analiza kaže

razlike v porazdelitvi posameznih zrcalnih območij in njihovih skupin, razlike v njihovem številu in njihovi povprečni velikosti glede na vrsto vzorcev. Vpliv osvetljevanja pri zajemu fotografij na rezultate števila in velikosti zrcalnih površin pred vizualizacijo in po njej je najbolj viden pri obdelanih vzorcih. Razpršeno osvetljevanje pri zajemu ter virtualno osvetljevanje iz analiziranih štirih smeri vpliva na manjše število zrcalnih površin, ki pa so večje. Primerjava analiziranih osvetlitev tkanine v virtualnem prostoru kaže na pomemben vpliv smeri, v našem primeru so tako vizualizacije, ki so bile osvetljene z leve, imele največje zrcalne površine in najmanjše število le-teh. Tako smo dokazali sovpliv smeri in načina osvetljevanja tkanine pri zajemu fotografij, neenakomernega reliefa tkanine, usmerjenost vitja preje ter smeri osvetljevanja pri upodabljanju. Na območjih animiranja, upodabljanja na manjših razdaljah opazovanja ter animacij in vizualizacij pri srednje veliki razdalji opazovanja sta upoštevanje in natančen prikaz vseh zgoraj omenjenih parametrov pri izdelavi optimalne zrcalne mape izjemno pomembna. Poleg barvne in reliefne mape je namreč zrcalna mapa tista, ki lahko poveča ali slabi odbojne in optične učinke na površini tkanine pri vizualizaciji.

To je dokazano tudi z našo raziskavo, kjer pri upodabljanju tkanine z uporabo iste mape zrcalnosti in istega modela videza in različnega virtualnega osvetljevanja dobimo različne vizualne vtise o njeni teksturi oziroma o barvi in reliefu.

Omenjeni delokrog izdelave zrcalne mape je ne nazadnje računsko nepotraten ter vključuje ustvarjalcem na področju modnega oblikovanja, oblikovanja interierja itn. dostopno in uporabniku prijazno programsko opremo.

## Viri

1. TILLEY, J. D. Richard. *Color and the optical properties of materials : an exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and colour*. Chichester : John Wiley & Sons, 2011, str. 91–127.
2. MAGNOR, Marcus, A., GRAU, Oliver, SORKINE-HORNUNG, Olga, THEOBALT, Christian. *Digital Representations of the Real World*. Boca Raton : CRC Press, 2015, str. 225–238.
3. *Modeling and simulating bodies and garments*. Edited by Nadia Magnenat-Thalmann. London : Springer, 2010, str. 1–186, doi: 10.1007/978-1-84996-263-6.
4. BOUMAN, Katherine L., XIAO, Bei, BATTAGLIA, Peter, FREEMAN, William T. Estimating the material properties of fabric from video. *IEEE International Conference on Computer Vision : Proceedings*. Sydney, 2013, str. 1984–1991, doi: 10.1109/iccv.2013.455.
5. MIGUEL, Eder, BRADLEY, Derek, THOMASZEWSKI, Bernhard, BICKEL, Berndt, MATUSIK, Wojciech, OTADUY, Miguel A., MARSCHNER, Steve. Data-driven estimation of cloth simulation models. *Computer Graphics Forum*, 2012, **31**(2pt2), 519–528, doi: 10.1111/j.1467-8659.2012.03031.x.
6. MIGUEL, Eder, TAMSTORE, Rasmus, BRADLEY, Derek, SCHVARTZMAN, Sara C., THOMASZEWSKI, Bernhard, BICKEL, Berndt, MATUSIK, Wojciech, MARSCHNER, Steve, OTADUY, Miguel A. Modeling and estimation of internal friction in cloth. *ACM Transactions on Graphics*, 2013, **32**(6), 1–10, doi: 10.1145/2508363.2508389.
7. MAGNENAT-THALMANN, Nadia, VOLINO, Pascal. From early draping to haute couture models: 20 years of research. *The Visual Computer*, 2005, **21**(8–10), 506–519, doi: 10.1007/s00371-005-0347-6.
8. NEALEN, Andrew, MÜLLER, Matthias, KEISER, Richard, BOXERMANN, Eddy, CARLSON, Mark. Physically based deformable models in computer graphics. V *Eurographics 2005*. STAR State of the Art Reports, 2005, 71–94. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://matthias-mueller-fischer.ch/publications/egstar2005.pdf>>.
9. GUAN, Peng, REISS, Loretta, HIRSHBERG, David, WEISS, Alex, BLACK, Micheal J. Black. Drape: dressing any person. *ACM Transactions on Graphics*. 2012, **31**(4), 1–10, doi: 10.1145/2185520.2185531.
10. ZURDO, Javier S., BRITO, Juan P., OTADUY, Miguel, A. Animating wrinkles by example on non-skinned cloth. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2013, **19**(1), 149–158, doi: 10.1109/tvcg.2012.79.
11. SCHRÖDER, Kai, ZHAO, Shuang, ZINKE, Arno. Recent advances in physically-based appearance modeling of cloth. *SIGGRAPH Asia 2012 Courses on – SA '12*, doi: 10.1145/2407783.2407795.
12. MULLER, Gero, MESETH, Jan, SATTLER, Mirko, SARLETTE, Ralf, KLEIN, Reinhard.

- Acquisition, synthesis and rendering of bidirectional texture functions. In Eurographics 2004, State of the Art Reports, edited by Christophe Schlick and Werner Purgathofer, pp. 69{94. INRIA and Eurographics Association, 2004, doi: 10.1109/iccv.2013.455.
13. ZHAO, Shuang, JACOB, Wenzel, MARCHNER, Steve, BALA, Kavita. Building volumetric appearance models of fabric using micro CT imaging. *Communications of the ACM*, 2014, 57(11), 98–105, doi: 10.1145/2670517.
  14. IRAWAN, Piti, MARSCHNER, Steve. Specular reflection from woven cloth. *ACM Transactions on Graphics*, 2012, 31(1), 1–20, doi: 10.1145/2077341.2077352.
  15. SADEGHI, Iman, BISKER, Oleg, DE DEKEN, Joachim, WANN JENSEN, Henrik. A practical microcylinder appearance model for cloth rendering. *ACM Transactions on Graphics*, 2013, 32(2), 1–12, doi: 10.1145/2451236.2451240.
  16. LANIER, Lee. *Advanced Maya texturing and lighting. 2nd edition*. Indianapolis : Wiley Publishing, str. 103–165.
  17. IRAWAN, Piti, MARSCHNER, Steve. Specular reflection from woven cloth. *ACM Transactions on Graphics*, 2012, 31(1), 1–20, doi: 10.1145/2077341.2077352.
  18. SADEGHI, Iman, BISKER, Oleg, DE DEKEN, Joachim, JENSEN, Henrik Wann, A practical microcylinder appearance model for cloth rendering. *ACM Transactions on Graphics*, 2013 32(2), 1–12, doi: 10.1145/2451236.2451240.
  19. IWASAKI, K., MIZUTANI, K., DOBASHI, Y., NISHITA, T. Interactive cloth rendering of microcylinder appearance model under environment lighting. *Computer Graphics Forum*, 2014, 33(2), 333–340, doi: 10.1111/cgf.12302.
  20. SADEGHI, Iman. *Controlling the appearance of specular microstructures : Ph.D. dissertation.*. University of California, San Diego, str. 131–176.
  21. KANG, J. Tw, CHOI, So Hyun, KIM, Sung Min, OH, Kyung Wa. Automatic structure analysis and objective evaluation of woven fabric using image analysis. *Textile Research Journal*, 2001, 71(3), 261–270, doi: 10.1177/004051750107100312.
  22. CARDAMONE, M. Jeanette, DAMERT, C. William, PHILLIPS, G. John, MARNER, N. William. Digital image analysis for fabric assessment. *Textile Research Journal*, 2002, 72(10), 906–916, doi: 10.1177/004051750207201009.
  23. TÀPIAS, Montserrat, RALLÓ, Miquel, ESCOFET, Jaume, ALGABA, Inés, RIVA, Ascensión. Objective measure of woven fabric's cover factor by image processing. *Textile Research Journal*, 2010, 80(1), 35–44, doi: 10.1177/0040517509104471.
  24. ANTON, A., JOHNSON, K. A., JANSON, P. A. Characterization of fabric luster via image analysis. *Textile Research Journal*. 1978, 48(5), 247–251, doi: 10.1177/004051757804800501.
  25. HADJIANFAR, Mehdi, SEMNANI, Dariush, SHEIKHZADEH, Mohammad. A new method for measuring luster index based on image processing. *Textile Research Journal*, 2010, 80(8), 726–733, doi: 10.1177/0040517509343814.
  26. IN SHIN, Kyung, HUN KIM, Seong, JUN KIM, Jong. Image analysis of the luster of fabrics with modified cross-section fibers. *Fibers and Polymers*, 2005, 6(1), 82–88, doi: 10.1007/bf02875578.
  27. JONG-JUN, Kim. Image analysis of luster images of woven fabrics and yarn bundle simulation in the weave – cotton, silk, and velvet fabrics. *Journal of Fashion Business*, 2002, 6(6), 1–11.
  28. NAGLIČ, Barbara, KOČEVAR, Tanja Nuša, GABRIJELČIČ TOMC, Helena. Digitalna vizualizacija gorenjske ljudske noše. *Tekstilec*, 2015, 58(1), 67–79.
  29. STERNBERG, Stanley. Biomedical image processing. *IEEE Computer*, 1983, 16(1), 22–34, doi: 10.1109/MC.1983.1654163.
  30. DOYLE, W. Operations useful for similarity-invariant pattern recognition. *Journal of the ACM* 1962, 9(2), 259–267, doi: 10.1145/321119.321123.