

Univerzitet u Novom Sadu

Fakultet tehničkih nauka

**Karakterizacija kolorimetrijskih i geometrijskih osobina  
oplemenjenih površina u štampi**

Doktorska disertacija

Kandidat:

Mr Igor Karlović

Mentor:

Prof. dr Dragoljub Novaković

Novi Sad, 2010

---

---

**SADRŽAJ**

<b>UVOD</b> .....	1
1. CILJ RADA I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA .....	1
1.1. NAČIN REŠAVANJA PROBLEMA .....	2
<b>ISTRAŽIVANJE TEORIJSKIH PRILAZA U REŠAVANJU PROBLEMA</b> .....	5
2. INTERAKCIJA SVETLA SA POVRŠINOM .....	5
2.1. MODELI ZA OPIS INTERAKCIJE SVETLA SA POVRŠINOM .....	7
2.2. UTICAJ POVRŠINE NA MODEL REFLEKSIJE SVETLA .....	10
3. KARAKTERIZACIJA POVRŠINSKIH OSOBINA MATERIJALA .....	18
3.1. INSTRUMENTALNE METODE ZA KARAKTERIZACIJU POVRŠINA .....	21
3.2. PARAMETRI HRAPAVOSTI PROFILA .....	24
3.3. PARAMETRI HRAPAVOSTI DELA POVRŠINE .....	28
3.4. METODE KARAKTERIZACIJE PAPIRNIH I OPLEMENJENIH POVRŠINA .....	30
4. SJAJ I DRUGE GEOMETRIJSKO OPTIČKE KARAKTERISTIKE MATERIJALA .....	34
4.1. STANDARDIZOVANO ODREĐIVANJE VREDNOSTI SJAJA .....	37
4.2. INSTRUMENTALNE METODE ZA MERENJE SJAJA .....	40
4.3. MEĐUZAVISNOST SJAJA I DRUGIH OPTIČKIH KARAKTERISTIKA I OSEĆAJA BOJE .....	42
5. HROMATSKA KOMPONENTA REFLEKSIJE .....	46
5.1. FIZIČKI STIMULUS I UKUPAN OSEĆAJ BOJE .....	46
5.2. MEHANIZMI VIĐENJA BOJA I VIZUELNA KARAKTERIZACIJA STIMULUSA .....	47
5.3. CIE KOLORIMetriJA .....	50
5.4. MERENJE BOJA NA OPLEMENJENIM POVRŠINAMA .....	58
6. MATERIJALI I PROCESI OPLEMENJIVANJA POVRŠINA .....	63
6.1. FUNKCIJA I KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE .....	63
6.2. NAČIN FORMIRANJA SLOJA OPLEMENJIVANJA .....	65

---

---

6.3. METODE APLIKACIJE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE .....	70
6.4. KARAKTERIZACIJA OSOBINA SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE .....	72
<b>EKSPERIMENTALNI DEO</b>	
7. UREĐAJI, METODE I MATERIJALI.....	76
7.1. KARAKTERISTIKA UREĐAJA ZA ŠTAMPANJE OTISAKA I UREĐAJA ZA NANOS SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE .....	76
7.2. KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH PODLOGA ZA ŠTAMPU .....	77
7.3. KARAKTERISTIKE BOJA KORIŠĆENIH ZA ŠTAMPU .....	78
7.4. KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE .....	78
7.5. METODA IZRADE OTISAKA.....	80
7.6. METODA UZORKOVANJA I MERENJA .....	80
7.7. UREĐAJ ZA MERENJE SJAJA .....	81
7.8. UREĐAJ ZA MERENJE HROMATSKIH VELIČINA .....	81
7.9. UREĐAJ ZA SKENIRANJE POVRŠINA.....	82
8. REZULTATI MERENJA .....	84
8.1. REZULTATI MERENJA SJAJA.....	84
8.1.1. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA MERENJE SJAJA .....	93
8.2. REZULTATI MERENJA POVRŠINSKIH KARAKTERISTIKA .....	99
8.2.1. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA MERENJA POVRŠINSKE HRAPAVOSTI .....	156
8.3. REZULTATI MERENJA HROMATSKIH VREDNOSTI OPLEMENJENIH POVRŠINA.....	160
8.4. ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NA GEOMETRIJSKE I HROMATSKE OSOBINE OBOJENIH I OPLEMENJENIH POVRŠINA.....	178
8.4.1. ANALIZA I DISKUSIJA GEOMETRIJSKIH OSOBINA MATERIJALA .....	178
8.4.2. ANALIZA I DISKUSIJA HROMATSKIH OSOBINA MATERIJALA .....	184
9. KVALITATIVNA ANALIZA OPLEMENJENIH POVRŠINA.....	189
9.1. ANALIZA I DISKUSIJA OPLEMENJENIH POVRŠINA .....	189
10. ZAKLJUČAK .....	205
<b>LITERATURA.....</b>	<b>209</b>

---

---

## UVOD

### 1. CILJ RADA I HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Oplemenjivanje otiska kao dodatna operacija u procesu štampe, je postupak kada se na osnovni sloj koji može biti štamparska podloga (najčešće je to papir) ili odštampana površina pokrivena bojom se dodatno pokrije sa tečnim (lakovi i disperzije) ili čvrstim materijalom (folije). Nanošenje dodatnih materijala preko štampane ili neštampane površine se vrši u cilju poboljšavanja procesnih parametara kao što je brzina sušenja otiska, radi funkcionalne zaštite površine od raznih atmosferskih i fizičkih uticaja, estetskih razloga kao i za sam vizuelni izgled samog otiska. Varijabilni faktori kao što su sama tehnika nanošenja materijala za oplemenjivanje, vrsta i struktura materijala koji se oplemenjuje i samih materijala za oplemenjivanje, imaju presudan uticaj na svaku od karakteristika koju ispunjava proces oplemenjivanja otiska. Razvojem novih vrsta tečnih disperzija i lakova, oplemenjivanje se sve više koristi i kao sredstvo za postizanje dodatne vrednosti proizvoda kroz produženo trajanje otiska i kao atraktivni proizvod koji se razlikuje od običnih proizvoda bez dodatnih operacija oplemenjivanja. Tokom oplemenjivanja ako se radi o tečnim sredstvima za oplemenjivanje dolazi do menjanja površine materijala koji se oplemenjuje, i time se stvara dodatni sloj koji utiče na karakteristike i količinu reflektovane svetlosti. Variranjem samog nanosa kao i podloge i vrste materijala za oplemenjivanje dolazi do varijacija u geometrijskim i kolorimetrijskim veličinama, koje se percipiraju kroz različite optičke i hromatske osećaje kod krajnjeg korisnika.

Pregledom aktuelnih istraživanja iz stručnih i naučnih istraživanja potvrđuje se činjenica porasta udela oplemenjivanja u ukupnoj proizvodnji, kao i porast studija proučavanja same problematike uticaja sredstava za oplemenjivanje na osećaj boja. Ovaj proces postizanja konzistentnog kvaliteta uvođenjem nekoliko dodatnih faktora (količina, karakteristike, tehnika nanošenja sredstva za oplemenjivanje) na osnovni substrat štampe koji i sam podleže velikom broju varijabilnih faktora, čini područje istraživanja više nego potrebnim za dobijanje preciznijih parametara za kontrolisanje proizvodnje. Ovi empirijski podaci dobijeni kroz fizičko određivanje i kvantifikovanje geometrijskih kao i kolorimetrijskih veličina čine i dobru osnovu za dalju obradu u softverskim rešenjima za vizuelnu simulaciju uticaja sredstava za oplemenjivanje na krajnji stimulus. Za dobijanje podataka za korišćenje u takvim tipovima softvera važno je pronaći određene korelacije između same površine koja se oplemenjuje kroz definisanje veličina i parametara hrapavosti te površine, strukture samog sredstva za oplemenjivanje (hemijske i fizičke veličine), kao i rezultujuću količinu reflektovane svetlosti koja u zavisnosti od smera i količine izaziva različite podražaje tokom formiranja stimulusa. Istraživanja

u ovoj oblasti su važna i zbog ekonomskog i ekološkog interesa u cilju određivanja tačnih količina odgovarajućih sredstava za oplemenjivanje za postizanje željenih optičkih efekata u cilju jeftinije i efikasnije a kvalitetne štampe. Kroz eksperimentalna istraživanja nekoliko vrsta osnovnih substrata i vrsta različitih tečnih sredstava za oplemenjivanje se daje prilog aktuelnim svetskim istraživanjima u ovoj oblasti. Kroz obradu i analizu dostupne i aktuelne literature, eksperimentalnim istraživanjima, analizom dobijenih rezultata, statističkom obradom i izvođenjem korelisanih veličina očekuje se dobijanje potrebnih parametara za potvrđivanje teorijskih pretpostavki i radnih hipoteza. Iz navedenog se mogu postaviti radne hipoteze:

- Komponente samog heterogenog sistema koju čine podloga za štampu, boja i sredstvo za oplemenjivanje predstavljaju kompleksan sistem gde dolaze do izražaja određene karakteristike samih materijala i korišćenih procesa.
- Primenom tečnih vododisperzivnih i UV sredstava za oplemenjivanje sa tehničkom varijacijom njihove količine omogućava se praćenje promene površinske hrapavosti, koja se menja usled fizičke promene u topografiji same površine u zavisnosti od vrste i količine sredstva za oplemenjivanje.
- Veličina geometrijskih i kolorimetrijskih vrednosti ispitivanih površina se menjaju u skladu sa povećanjem količine primenjenog sredstva za oplemenjivanje.
- Očitane promene u sjaju i razlici boja kao i refleksionim spektrima je rezultat površinskog mikroravnjanja različitih količina i vrsta sredstava za oplemenjivanje

## 1.1. NAČIN REŠAVANJA PROBLEMA

Na osnovu teorijskih istraživanja i rezultata tokom prikupljanja materijala, definisan je pristup karakterizaciji najvažnijih veličina koje su označene kao varijabilni faktori u procesu oplemenjivanja površina. Kroz prikaz aktuelnih rezultata istraživanja drugih autora će se dati osnovne smernice za teorijsko razmatranje najvažnijih karakteristika za eksperimentalno istraživanje uticaja vrste i količine tečnih sredstava za oplemenjivanje i njihov uticaj na geometrijske i kolorimetrijske veličine. Najvažnije eksperimentalne metode su date kroz kratak opis potrebe za kvantifikacijom određenih procesnih parametara koji utiču na krajnje rezultate.

- **Površinske karakteristike otisaka pre i posle primene materijala za oplemenjivanje**

Nanošenjem tečnih disperzija i lakova dolazi do promene mikrostrukture i topografije

---

oplemenjenih površina. Izravnavanje ili stvaranje drugih površinskih efekata ima direktan uticaj na smer i količinu reflektovane svetlosti. Merenjem specifičnih veličina parametara hrpa-  
vosti površina se dolazi do kvantifikacije uticaja različitih količina materijala za oplemenjivanje na površinsku mikrostrukturu materijala kojim se definiše fizička priroda površine sa koje se formiraju geometrijske i kolorimetrijske veličine. Analiza promena površinske strukture je urađena kroz metode kvantifikacije ispitivanih površina mikroskopskim metodama radi dobijanja što potpunije slike potrebne za kvalitet opisa oplemenjenih površina.

- **Merenje geometrijske komponente reflektovane svetlosti**

Vrsta i oblik površinske strukture određuje rasipanje snopa svetla sa površine. Ako je površina relativno ravne topografije dolazi do preraspodele refleksije u spekularni deo odbijanja svetlosti i time se dobija veća količina osećaja sjaja sa površine. Sjaj kao jedan od najpoznatijih optičkih efekata je usko povezan sa oplemenjenim površinama, i kao dopunska veličina pored hromatskih komponenti može da ukaže na neke varijacije u samom procesu kao što je sušenje ili oštećenje površina usled nekog mehaničkog uticaja.

- **Merenje spektrofotometrijskih veličina pre i posle nanošenja sredstava za oplemenjivanje**

Spektrofotometrijsko merenje daje informacije o boji iz funkcije zračenja iluminanta  $S(\lambda)$  izmerene spektralne refleksije uzorka tj. reflektancije  $\beta(\lambda)$  kao i funkcija  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  standardnog posmatrača. Dobijeni spektralni podaci izraženi kroz odgovarajuće prostore boja i standardizovane veličine za izražavanje hromatske komponente reflektovane svetlosti mogu ukazati na nastale promene. Te promene kroz praćenje pojedinačnih komponenti kao što je svetlina, zasićenje i ton mogu da ukažu na prirodu promene, koja je najčešće u korelaciji sa površinom i sjajem. Dobijanjem ovih veličina se može izraziti i uticaj vrste i količine sredstva za oplemenjivanje na razliku boja koje posmatrač percipira što je važan parametar za kontrolu kvaliteta reprodukcije otiska, kao i važan podatak za procenu količine primenjenog sredstva kod kojeg posmatrač ne vidi razliku u krajnjem percipiranom stimulusu boje.

- **Merenje fizičkih i hemijskih karakteristika materijala za oplemenjivanje**

Definisanjem samih strukturnih veličina kroz fizičke veličine prisutih čestica komponentata materijala za oplemenjivanje, kao i samih hemijskih elemenata i tipova hemijskih veza je od izuzetne važnosti zbog načina stvaranja površina sa koje se reflektuje svetlost. Različite fizičke veličine čestica utiču na sam proces formiranja gorenjeg sloja čvrstog filma, kao i na količinu apsorpcije upadnog svetla. Hemijske komponente isto sa svojim karakteristikama definišu koji deo spektra se absorbuje, kao način vezivanja pojedinačnih komponenti i time određuje određene varijabilne veličine u pogledu formiranja površine čvrste oplemenjene

površine iz tečnih sredstava za oplemenjivanje.

Nakon prikupljenih odgovarajućih numeričkih podataka putem navedenih metoda za određivanje promena u parametrima površinske hrapavosti, vrste površine, kao i geometrijskim i hromatskim veličinama dobijenim kroz spektrofotometrijska merenja, i merenja sjaja, izvršice se analiza i potvrđivanje postavljelih radnih hipoteza. Rezultati ispitivanja kroz obradu analiziranih veličina dovešće do zaključka i doprinosa dosadašnjim istraživanjima u kojoj meri proces oplemenjivanja kroz varijaciju nekoliko parametara oplemenjivanja utiče na geometrijske veličine izražene kroz sjaj i hromatske veličine kranjeg stimulusa boje. Te promene na odštampanim otiscima mogu dati značajna saznanja u pogledu upotrebne vrednosti samih materijala, kao i osnovu za definisanje korelacija koje se mogu koristiti u softverskim rešenjima za simulaciju izgleda grafičkih proizvoda.

---



---

## ISTRAŽIVANJE TEORIJSKIH PRILAZA U REŠAVANJU PROBLEMA

### 2. INTERAKCIJA SVETLA SA POVRŠINOM

Svi fenomeni koje osećamo pri posmatranju površinskih slojeva potiču od interakcije samog oslojenja i vidljivog dela upadnog svetla, elektromagnetnog zračenja između 400 i 700 nm (Volk, 2001). Poznavanje prirode svetla, koja ima dualnu prirodu je od izuzetne važnosti zbog načina njene prostorne i spektralne preraspodele nakon interakcije sa upadnom površinom. Način na koji dolazi do ovih pojava određuje kranji vizuelni doživaljaj kod ljudskog posmatrača ili signal kod nekog mernog instrumenta. Kada svetlost dopre do materije mogući su sledeći slučajevi zračenja u zavisnosti od objekta (providnog, poluprovidnog, neprovidnog) ili od vrste površine (glatka, gruba, itd) (Hunter, 1987):

- Dolazi do spekularne refleksije svetlosti na prvoj površini objekta (efekat povezan sa sjajem)
- Rasipanje svetlosti unutar materijala (povezano sa difuznom refleksijom i ponekad sa difuznom transmisijom)
- Apsorpcija svetlosti unutar materijala ( uticajan faktor u pogledu boje)
- Normalna transmisija direktno kroz objekat, u zavisnosti od njegove providnosti

Svetlo koje je najčešće polihromatsko sadrži veliki broj pojedinačnih talasa (ili fotona), a pošto optičke osobine materijala su funkcije optičkih frekvencija razvijeno je nekoliko modela za opis ovih efekata koji će biti predstavljeni u ovom poglavlju.

Svi tipovi sjaja, refleksija, transmisija i apsorbcioni koeficijenti su zavisni od talasne dužine svetla. Kada svetlo dođe do međupovršine dva materijala sa različitim indeksom prelamanja ( $n_1$  i  $n_2$ ), jedan deo se reflektuje a drugi deo se propušta (prelama). Smer odbijanja tj. refleksije i prelamanja (refrakcije) ispunjava uslove Snellovog zakona :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2.1)$$

*gde je  $n_1$ -indeks prelamanja prvog materijala- sredine  
 $n_2$ -indeks prelamanja drugog materijala- sredine  
 $\theta_1$ -upadni ugao  
 $\theta_2$ -ugao refleksije*



Na svakoj granici između dva materijala sa različitim indeksom prelamanja, svetlost menja svoju brzinu. Kao rezultat toga, mali deo svetla je reflektovan i (ukoliko granica nije osvetljena pod pravim uglom) smer svetlosnog zraka se menja. Za mnoge često korišćene materijale, sa indeksom prelamanja blizu 1,5; količina reflektovane svetlosti je oko 4% , a ako je indeks prelamanja 2,4 ono je 17% na svakoj granici sa vazduhom, za normalno osvetljenje (Berns, 2000). Reflektivnost i propustljivost međupovršina tj. deo upadnog zračenja koje je reflektovano ili propušteno od strane graničnih međupovršina, definisano je Fresnelovim formulama. One zavise od polarizacije svetlosti upadnog svetla i mogu se iskazati kao reflektivnost i propustljivost povezana sa polarizacijom podjednako u paralelnom i upravnom smeru u odnosu na upadnu ravan (Simonot i drugi, 2006).

$$r_a = \left( \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \right)^2 \quad r_e = \left( \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right)^2 \quad (2.2)$$

gde je:  $r_a$  - refleksioni koeficijent za paralelno polarizovano svetlo  
 $r_e$  - refleksioni koeficijent za upravno polarizovano svetlo  
 $\theta_1$  - upadni ugao  
 $\theta_2$  - ugao refrakcije prema Snelovom zakonu

Prethodno spomenute Fresnelove jednačine za opis reflektovanih i prelomljenih elektromagnetnih signala su upotrebljive samo za idealno glatke homogene površine. Za površine koje su neidealne (hrapave, nehomogene i one koje nisu beskonačne veličine), pravi fizički opis je višestruko kompleksan . Ako je površinska hrapavost mala u odnosu na talasnu dužinu upadnog svetla može se tretirati sa metodom perturbacije za idealne glatke površine. Ako je veličina površinske hrapavosti ili homogenosti materijala ista kao talasna dužina svetla problem je teško teoretski definisati i jedino numerička izračunavanja mogu da postignu zadovoljavajuće rezultate. Kada su površinske nepravilnosti mnogo veće od talasne dužine, ponovo je moguće razviti metode za aproksimaciju površine sačinjene od mikro površina koje su sve pojedinačno veće od talasnih dužina. (Hsien Lee, 2005).

Pored refleksije javljaju se i efekti apsorpcije kao i rasipanja svetlosti. Pojam apsorpcija svetla podrazumeva sve procese koji smanjuju intenzitet svetlosnog snopa koji ima interakciju sa nekom materijom. Potrebno je razlikovati sve apsorpcije, gde se energija zračenja transformiše u neku drugu vrstu energije (na primer jonizacionu energiju), kao i vizuelnu apsorpciju koju prouzrokuje rasipanje svetla. Najpoznatiji klasični model za apsorpciju svetla je Beer-Lambert-Bouger zakon. Ovaj model opisuje intenzitet varijacije kolimisanog (samo paralelnog zraka) snopa svetla koji prolazi kroz medij koji sadrži indentične čestice koje apsorbuju svetlost pri koncentraciji ( $c$ ) (Sharma, 2003).

$$D(\lambda) = -\log_{10} T(\lambda) = X \cdot c \cdot \varepsilon(\lambda) \quad (2.3)$$

gde je:  $D(\lambda)$  - optička gustina spektra

$T(\lambda)$  - transmitancija

$X$  - faktor apsorpcione efikasnosti čestica

$c$  - koncentracija čestica

$\varepsilon(\lambda)$  - apsorpcioni koeficijent

Potrebno je naglasiti da Beer Lambertov zakon je tačan samo kada efekat višestrukog rasipanja je zanemarljiv zato što je energija rasipanja koja je jedanput već usmerena u direktnom pravcu od jedne čestice se može preusmeriti nazad u isti smer od strane druge čestice. (Hsien Lee, 2005).

## 2.1. MODELI ZA OPIS INTERAKCIJE SVETLA SA POVRŠINOM

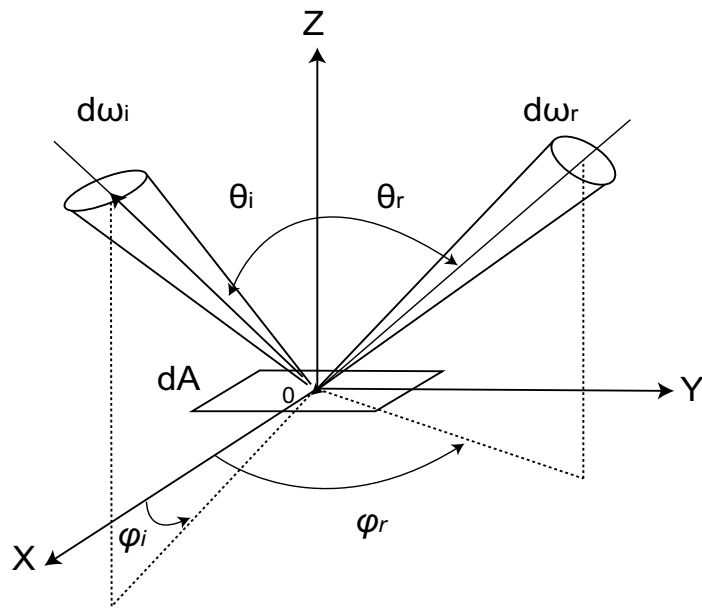
Za potrebe tačne kvantifikacije reflektovane, absorbovane i prelomljene svetlosti, kao i za karakterizaciju različitih obojenih površina tokom nekoliko prošlih decenija došlo je do razvijanja nekoliko modela koji su pokušali da obuhvate kompleksne efekte međudejstva upadnog svetla sa graničnom i podgraničnom površinom obojenih materijala. Jedan od najjednostavnijih modela za definisanje optičkih karakteristika rasipajućih materijala je Kubelka Munk (Kubelka, Munka, 1931) teoretski model. Ovaj model je uspešno korišćen kako u grafičkoj tako i u papirnoj industriji i predstavlja često polazni model na osnovu kojeg su rađene korekcije i varijacije za pojedinačne slučajeve. Kubelka i Munk su postavili poluprovodni sloj na vrh neprovidne podloge. Unutra sloja za obojavanje se javljaju efekti apsorpcije i rasipanja. Umesto da uzmu u obzir da se flux prostire u svim pravcima podjednako, pojednostavili su pretpostavku da se svetlost prostire u dva pravca (gore i dole upravno u odnosu na upadnu površinu). Reflektanca uzorka na svakoj talasnoj dužini zavisi od 4 faktora: spektru apsorpcije  $K(\lambda)$ , spektra rasipanja  $S(\lambda)$ , debljine uzorka  $X$  i spectra reflectance substrata ili pozadine  $R_p(\lambda)$  (Hoffman, 1998). Nekoliko autora (Johnston, 1973), (Park, 1994), (Volz, 1995), (Mc Donald, 1997) i (Nobbs, 1997) je dalo detaljan pregled ove teorije. Neki autori kao sto su (Yang i ostali, 2005) su napravili predlog varijacije modela sa uzimanjem u obzir efekat rasipanja u zamućenom materijalu dok su (Fukshansky i Kazarinova, 1980) uradili varijaciju osnovne teorije za visokorasipajuće i fluorescentne materijale. Mourad i ostali su u dva rada pokazali da se Kubelka Munk teorija sa određenim varijacijama može iskoristiti i za predviđanje reflectance sa digitalnih otisaka (Mourad i drugi, 2001 i 2002). U radovima Arney-a i drugih (Arney i drugi, 2003) su rađene varijacije osnovne formule za analizu rasipanja sa papira u funkciji modularnog transfera, dok su (Yang i Hersch, 2008) uradili modifikaciju za neidealnu difuznu distribuciju svetla, i pokazali da se tako izmenjene vrednosti poklapaju sa izmerenim vrednostima sa modeliranog real-

---

nog materijala. Nekoliko radova koji obrađuju problematiku interakcije svetla sa više obojenih slojeva i slojeva koji su rasipajući i imaju različite indekse prelamanja su dovela do korišćenja Saundersonove korekcije (Saunderson, 1942). Saundersonova korekcija uvodi dva parametra  $k_1$  i  $k_2$ . Parametar  $k_1$  opisuje delimičnu reflektancu kada svetlost prodire u uzorak i delimično se reflektuje na međupovršini vazduh-podloga. Slično tome parameter  $k_2$  opisuje delimičnu reflektanciju kada svetlost napušta uzorak i parcijalno se reflektuje nazad u uzorak na međugranici uzorak-vazduh. Istraživanja vezana za predviđanje reflektancije (Elias i Simonot, 2004) sa površina koje su oplemenjene sa tečnim sredstvom za oplemenjivanje kao što su lakovi sa različitim indeksom prelamanja laka i obojene površine kao i vazduha ukazuje na drugačije rezultate dobijene sa Saundersonovom korekcijom (Elias i Simonot, 2003). Ova modifikacija kroz kvantifikovanje uticaja različitih indeksa prelamanja slojeva vazduha, laka i obojene površine je obrađena kroz radove (Berns i de la Rie, 2003) koji su ukazali da promene u vizuelnom izgledu oplemenjenih slika dolaze u većoj meri zbog promene površinske strukture koju određuje molekularna težina laka a manje zbog indeksa prelamanja. Autori (Simonot i Elias, 2003) su pokazali da ton boje se ne menja sa dodavanjem sloja laka. Svetlina i zasićenje varira u zavisnosti od indeksa prelamanja sloja boje ( $n_p$ ) prema indeksu sloja laka ( $n$ ). Ako je  $n_p > n$ , svetlina i zasićenje se povećavaju. Slično tome ako je  $n_p < n$ , svetlina uvek opada, ali se zasićenje povećava za svetle delove oslikane površine a smanjuje se za tamne uzorke.

Pored ovih istraživanja Kubel Munkove teorije koja je neupotrebljiva za rasipajuće slojeve, neki autori su uradili i predstavili modele za višeslojne nerasipajuće obojene uzorke sa različitim indeksima prelamanja a na bazi modifikacije Williams Clapper modela (Simonot i drugi, 2006).

Razvojem računarskih sistema je došlo do potrebe simulacije refleksije sa određenih površina (između ostalog i oplemenjenih) i razvijeno je nekoliko dodatnih modela koji se koriste danas. Jedan od najčešće korišćenih načina za karakterizaciju reflektivnih osobina neke površine je korišćenje bi-direkcionale distribucije refleksije (eng. Bi-directional reflection distribution, BRDF), funkcije koja definiše spektralnu i prostornu karakteristiku refleksije površine. BRDF neke površine je odnos reflektovane radiance u odnosu na upadnu iradiancu na određenoj talasnoj dužini. BRDF meri ciljanu reflektancu u funkciji talasne dužine geometrije merenja i geometrije posmatranja. Ona je određena sa strukturnim i optičkim karakteristikama površine, uključujući senčenje, višestruko rasipanje, uzajamno senčenje, transmisije, refleksije, absorpcije i emisije od strane površinskih elemenata, distribucije i gustine mikropovršina. BRDF koja je prikazana na slici 1. se može posmatrati kroz tri varijabilne reference (Hsien Lee, 2005):



Slika 1. Definicija bi direkcione distribucije refleksije

### 1. Geometrijska komponenta

Na osnovu slike 1. BRDF vrednost,  $f_r$ , je definisana kao odnos reflektovane radiance  $dL_r$  u uglu posmatranja u odnosu na iradiancu  $dE_i$  u smeru upadnog svetla.

$$f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r) = dL_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; E_i) / dE_i(\theta_i, \varphi_i) \quad (2.4)$$

Gde su  $(\theta_i, \varphi_i)$  i  $(\theta_r, \varphi_r)$  usmereni upadni i reflektovani uglovi u odnosu na normalnu površinu.

### 2. Spektralna komponenta

Izvorna definicija BRDF-a se može proširiti da uključuje talasnu dužinu svetlosti kao varijabilni faktor (Nicodemus et al, 1977). Rezultat ove funkcije se naziva funkcija bi direkcionalne spektralne reflektovane distribucije (eng. Bidirectional spectral-reflectance distribution function) ili skraćeno BSRDF koja je definisana kroz obrazac:

$$f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda) = dL_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r; \lambda; E_i) / dE_i(\theta_i, \varphi_i; \lambda), \quad (2.5)$$

gde je  $L_r$  i  $E_i$  reflektovana spektralna radianca i upadna spektralna iradianca.

### 3. Polarizaciona komponenta

Ako je upadna svetlost polarizovana, mogu se koristiti Stokes-ovi vektori za opis upadnih i reflektovanih svetlosnih snopova. Površinska refleksija se u tom slučaju mora opisati sa 4 x 4 Muellerovom matricom čiji elementi su BSRDF. Ova Muellerova

---

matrica se definiše kao funkcija bi direkcionalno rasipajuće spektralno reflektovane distribucije (eng. *bidi-rectional surfaces cattering spectral-reflectance distribution function*) ili skraćeno (BSSSRDF). Ova funkcija je proširenje BSSRDF funkcije koja je predložena od strane Richarda Andersona (Anderson, 1991).

Iako BRDF ima određene nedostatke razvijeno je nekoliko dodatnih proširenja dodatnih modela. Ovi modeli se mogu podeliti u dve kategorije: empirijske (fenomenološke) modele i modele zasnovane na fizičkim zakonitostima. Obe vrste modela i empirijski zasnovani kao i analitički BRDF modeli zasnovani na fizičkim zakonitostima su samo aproksimacije osobina reflektancije realnih materijala. Mnogi od ovih modela se zasnivaju na parametrima materijala koji se mogu izmeriti, ali su u praksi teška za prikupljanje (Matusik et al, 2003). Alternativni prilaz prikupljanju parametara izmerenih modela je prikupljanje realnih uzoraka iz BRDF-a korišćenjem gonioreflektometra, i ubacivanjem izmerenih podataka u odabrani analitički model korišćenjem različitih optimizacionih tehnika. Pregled različitih BRDF modela je dat u radovima (Jaffola i drugi, 1998), (Westin i drugi, 2004) i (Ngan i drugi, 2005)

Tokom poslednjih nekoliko godina uz pomoć usavršenih BRDF modela se pokušavaju opisati i obojene površine sa dodatnim slojem. U radu Raven i ostali (Raven i drugi, 2003) je urađena analiza rasipajućih karakteristika perlascentnih pigmenata u funkciji ulaznog polarnog ugla i azimutnih uglova rasipanja za BSRDF funkcije u vidljivom delu spektra. Merenja su ukazala na značaj optičkih karakteristika sredstava za oslojavanje kao što je njihova površina, volumen rasipanja i polarizacija.

## 2.2. UTICAJ POVRŠINE NA MODEL REFLEKSIJE SVETLA

Radi što preciznijeg razmatranja modela refleksije veoma je važno razumeti i razložiti različite površinske strukture (hrapavost) i sadržaj (materijala) pošto te fizičke veličine određuju različite modele refleksije. Ako se radi o savršeno ravnoj površini svetlost se reflektuje spekularno tj. ugao refleksije je indentičan upadnom uglu. Svetlo koje se reflektuje sa neidealne površine se rasprostire u svim smerovima nakon inicijalne refleksije sa površine. Rasipanje sa površine ima dva mehanizma (Hsien Lee, 2005): 1. topografsko rasipanje prouzrokovano površinskom hrapavošću, greškama, ogrebotinama ili strukturi i 2. rasipanje materijala koje je prouzrokovala nehomogena kompozicija materijala ili varijacije u gustini samog materijala blizu površine refleksije.

Za kvalitetnu kvantifikaciju uticaja površine na reflektancu je bilo potrebno razviti unapređene modele rasipanja, pošto je sama priroda rasipanja izuzetno kompleksna. Veoma do-

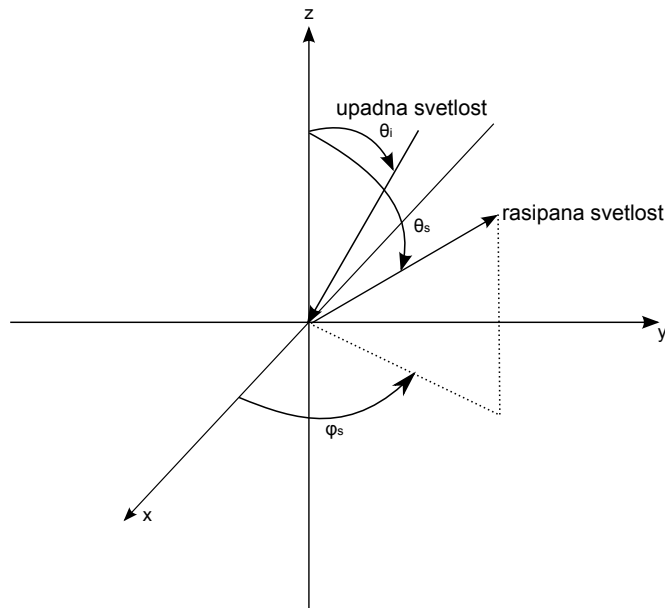
bar pregled različitih teorija rasipanja (fenomenološka i korpuskularna) je data od strane Volza (Volz, 2001). Naziv „fenomenološka“ teorija se odnosi na sve teorijske tvrdnje o načinu kako apsorpcija i rasipanje utiču na odsjaj upadnog svetla koji pada na sloj. Takva teorija ima potrebu za fizičko-teorijske i matematičke alate za opisivanje kako se refleksioni spektar sloja može dobiti iz njegove apsorpcije i karakteristika rasipanja, kao i debljine sloja. Korišćeni model sadrži kanale i putanje svetla, slično kao kod geometrijske optike; efekat apsorpcije i rasipanja sloja je predstavljen optičkim konstantama materijala, koje su čiste fenomenološke veličine.

Fenomenološka teorija smatra medij kao kontinuum koji karakteristiše fizičke osobine apsorpcije i rasipanja; prema tome prisustvo pojedinačnih čestica kao potreban (ali ne i dovoljan) uslov za rasipanje nije od važnosti u ovoj teoriji. Za pripisivanje apsorcionih i rasipajućih karakteristika pojedinačnih čestica, mora se upotrebiti korpuskularna teorija. Samo ta teorija daje dalje tvrdnje o optičkim konstantama materijala iz fenomenološke teorije i pripisujući ih indeksu prelamanja, veličini i obliku pojedinačnih čestica (Volz, 2001). Polarizovano rasipanje svetla je pokazalo da je moguće napraviti razliku između velikog broja mehanizama rasipanja. U mnogim slučajevima funkcija rasipanja je proizvod dva faktora, jednog koji zavisi od izvora rasipanja, koji određuje i njegove polarizacione osobine, i drugog koji zavisi od statističkog opisa grupe čestica za rasipanje koje prvenstveno utiču samo na distribuciju intenziteta (Germ-er, 2001).

Jedna od uspešnih teorija rasipanja umereno hrapave površine je Rayleigh-Rice vektorska perturbaciona teorija (Rice, 1951). Ova teorija iako prvo primenjena na zvučne signale je opisivala rasipanje na površini koja je imala perturbacije u visini koje su manje od talasne dužine. Druga vrsta površine koja podrazumeva analizu rasipanja sa veoma hrapave površine najčešće tretira površinu kao kolekciju veoma malih (ali ipak višestruko većih od talasne dužine), raštrkanih planarnih mikropovršina (u aproksimaciji tangente površine), koje reflektuju svetlo prema Fresnelovima refleksijama (Beckmannand i Spizzichino, 1963). Svetlo koje se reflektuje do tačke A koja se nalazi u prostoru je suma reflektovanog svetla sa mikro površina, čije normale su pozicionirane tako da je upadni ugao isti uglu refleksije ako se posmatra iz tačke A. Ova teorija se naziva analiza aproksimacije spekularne tačke sa tangentskom ravni. Za površine koje se nalaze između veoma hrapavih i blago hrapavih ne postoji odgovarajući način aproksimacije ili teorije za lako izračunavanje, pokazano je da se njihovi efekti nalaze u rezultatima dobijenim između Rayleigh-Rice teorije perturbacionih vektora i analize aproksimacije spekularne tačke sa tangentskom ravni (Hsien Lee, 2005).

Za idealno glatke planarne površine sa beskonačnim protezanjem, reflektovana svetlost se nalazi u jediničnom spekularnom pravcu  $\theta_r = \theta_i$  i  $\varphi_r = \varphi_i + \pi$ . Ako je planarna površina sa konačnom površinom, reflektovana svetlost se rasprostire u veliki (ali jako usko) izbočenje oko spekularnog ugla i veliki broj jako malih izbočenja oko njega. Ovaj efekat se dešava usled

difrakcije a svetlosna distribucija se može izračunati iz Furierove transformacije oblika te površine. Metode izračunvanja su date u knjizi (Driggers, 2003) i (OSA, 2001). Na slici 2. je definisana prosečna površina postavljena u x-y ravni i sa fluktuacijom visine  $z(x,y)$  u z smeru. Ravan upadnog svetla je definisana sa upadnim svetlom i normalom površine (x, z ravan). Prema sličnoj analogiji ravan rasipanja je definisana sa snopom rasipanja i normalom površine. Upadno svetlo se specifikira sa  $(\theta_i, \varphi_i = \pi)$  a raspršeno sa  $(\theta_s, \varphi_s)$ .



Slika 2. Definisane uglove rasipanja površine. Upadno svetlo se pretpostavlja da je u x-z ravni i zbog toga azimutnih (horizontalni ugao)  $\varphi_i = \pi$

Za umereno hrapave površine  $BRDF_{ab}$  se može izraziti kao suma dve komponente: koherentne komponente (spekularna izbočina, izraz koherentno se koristi pošto se idealno glatka površina reflektuje ravan talasa sa koherentnom fazom),  $(BRDF)_{ab}^c$ , i inkoherentne komponente (difuzna izbočina),  $(BRDF)_{ab}^i$ :

$$(BRDF)_{ab} = (BRDF)_{ab}^c + (BRDF)_{ab}^i \quad (2.6)$$

gde a i b označavaju polarizaciju upadne i rasipane svetlosti.

Ako je površina konačnog prostiranja i distribucija visine Gausova funkcija, BRDF za koherentnu komponentu rasipnog svetla se može prikazati kao (Barrick, 1970):

$$(BRDF)_{ab}^c = \frac{A(f_x, f_y, L_x, L_y)}{\cos \theta_i \cos \theta_s} |B_{ab}|^2 \exp[-(2\pi)^2 h^2 f_z^2] \quad (2.7)$$

gde je  $A(f_x, f_y, L_x, L_y)$  faktor koji je određen sa oblikom i veličinom  $(L_x, L_y)$  osvetljenog područja.

BRDF za nekoherentnu komponentu rasipanog svetla se može izračunati iz Rayleigh-Rice toerije pertubacionog vektora:

$$(BRDF)_{ab}^1 = \frac{16\pi^2}{\lambda^4} \cos \theta_i \cos \theta_s F_{ab} S(f_x, f_y), \quad (2.8)$$

Gde je  $F_{ab}$  bezdimenzionalna veličina, koja predstavlja polarizaciju (a,b) u zavisnosti od koeficijenta refleksije. Detaljni proračuni i izvođenja ovih koeficijenta se mogu naći u (Hsien Lee, 2005).

Kada se radi o rasipanju sa veoma hrapavih površina pokušana je primena nekoliko metoda i teorija za izvođenje ugaone distribucije rasipanja. Najveći broj teorija je baziran na pretpostavkama da je radij površine u svim tačkama mnogo veći od talasne dužine. Radovi koji daju pregled uticaja površinske hrapavosti i njenog uticaja na refleksiju i rasipanje (Bennet, Porteus, 1961), (Bennet Mattson, 1999). U preglednom radu Sylvain (Sylvain, 2005) je dao matematički pregled metoda za određivanje rasipanja elektromagnetnih talasa od strane veoma hrapave površine. Najzanimljivije metode su aproksimacija geometrijske optike gde su talasi posmatrani kao niz snopova i koji se ponašaju prema zakonima refleksije i refrakcije, Rayleigh i Rice toerija, Kirchhoffova aproksimacija u kojoj je površina data kao integral hrapave površine. U radu je ukazano i na nekoliko problema koje ove metode i teorije ne rešavaju kao što je problem sa samosenčenjem, višestruko rasipanje i nekoliko nedostataka Gaussovog modela za hrapave površine.

U ovim teorijama hrapava i gruba površina se aproksimira kao kolekcija nasumično orijentisanih planarnih mikropovršina, gde je svaka od njih tangenta lokalnoj fluktuaciji površine. Ukupno polje rasipanja u datoj tački posmatranja je suma svih reflektovanih polja iz tangentnih planarnih mikro površina koje su pravilno usmerene tako da je upadni ugao jednak izlaznom uglu (Hsien Lee, 2005).

Bez uzimanja u obzir problematike samosenčenja i višestrukog rasipanja koja je odlika velikog broja modela Barrick je u svom radu (Barrick, 1969) pokazao da je BRDF veoma grubih i hrapavih površina aproksimativno proporcionalna verovatnoći funkcije gustine svojih površinskih nagiba i kosina  $p_s$ :

$$BRDF_{ab} = \frac{4\pi |\beta_{ab}|^2}{\lambda^2 f_z^2 \cos \theta_i \cos \theta_s} p_s \left( -\frac{f_x}{f_z}, -\frac{f_y}{f_z} \right) \quad (2.9)$$

gde je  $\beta_{ab}$  faktor koji nije funkcija površinske hrapavosti, nego kompleksna funkcija upadnog ugla i ugla rasipanja  $\theta_i$ ,  $\theta_s$ , i  $\varphi_s$  i upadne i polarizacije rasipanja (a, b).



Jedan od najpoznatijih modela je Beckmann-Spizzichino model (Beckmann i Spizzichino, 1963) koji su uradili analizu rasipanja svetla sa grubih hrapavih površina skalarnom metodom bez uključivanja podataka o polarizaciji. Formula je prikazana na osnovu prikaza u (Hogrefe i Kuntz, 1981) sa prilagođavanjem iz (Hsien Lee, 2005):

$$BRDF = \frac{R(\theta_i)}{\cos \theta_s} \exp[-g] \delta(\sin^2 \theta_s - \sin^2 \theta_i) \cdot \delta(\phi_s - \phi_i \pm \pi) \quad (2.10)$$

$$+ \frac{R(\theta_i)}{\cos \theta_s} \exp[-g] \frac{1}{\lambda^2} F \sum_{m=1}^{\infty} \frac{g^m}{m!} W_m, \quad (2.11)$$

$$g = k^2 h^2 (\cos \theta_i + \cos \theta_s)^2, \quad (2.11)$$

$$F = \frac{1 + \cos \theta_i \cos \theta_s - \sin \theta_i \sin \theta_s \cos \phi_s}{\cos \theta_i (\cos \theta_i + \cos \theta_s)^2}, \quad (2.12)$$

$$W_m = \frac{\pi}{m} l^2 \exp[-(2\pi)^2 (f_x^2 + f_y^2) l^2 / 4m] \quad (2.13)$$

i za Gausovu funkciju autokorelacije

$$W_m = \frac{2\pi (l/m)^2}{[1 + (l/m)^2 (2\pi)^2 (f_x^2 + f_y^2) l^2]^{3/2}} \quad (2.14)$$

Za eksponencijalnu autokorelaciju, gde je  $h$  srednja kvadratna vrednost visine,  $l$  je ko-relaciona dužina, a  $f_x$  i  $f_y$  su površine iz Gausove funkcije za izračunavanje koherentne komponente (videti vrednosti u (Barrick, 1970)). Prvi izraz predstavlja spekularni vrh na  $\theta_s = \theta_i$  i svedena je eksponencijalno sa površinskom hrapavošću.

Pored velikog broja modela prikazanih u prethodnom delu, postoji još nekoliko teoretskih i empirijskih modela koji obrađuju i podpovršinsko rasipanje svetla. Glavna postavka ovakvih modela je da prilikom ulaska svetla na međugranicu vazduh-material dolazi do višestrukog rasipanja, pre nego što dođe do povratnog rasipanja svetla sa upadne površine. Ovakva postavka podrazumeva veliki broj nasumičnih smerova rasipanja i zbog toga se takva rasipanja najčešće modeliraju korišćenjem idealne difuzne komponente (Lambertovska refleksija). Jedan od najčešće citiranih modela jeste Oren-Nayar modela rasipanja (Oren i Nayar, 1994). U ovom modelu je korišćena Lambertovski model rasipanja tela za modelovanje malih mikro površina i nagiba. Pretpostavka je da se površina sastoji od niza dugih simetričnih šupljina. Ovaj modela zahteva i poznavanje funkcije distribucije površine nagiba. Izmereni podaci su pokazali da je model dobra aproksimacija. Kompletan model prikazan kroz BRDF funkciju se može iskazati kroz izraz (Nayar i Oren, 1995):

$$BRDF = \frac{\rho}{\pi} (A + BC \sin \alpha \tan \beta) \quad (2.15)$$

gde je  $\alpha = \max(\theta_i, \theta_r)$ ,  $\beta = \min(\theta_i, \theta_r)$ ,  $i$

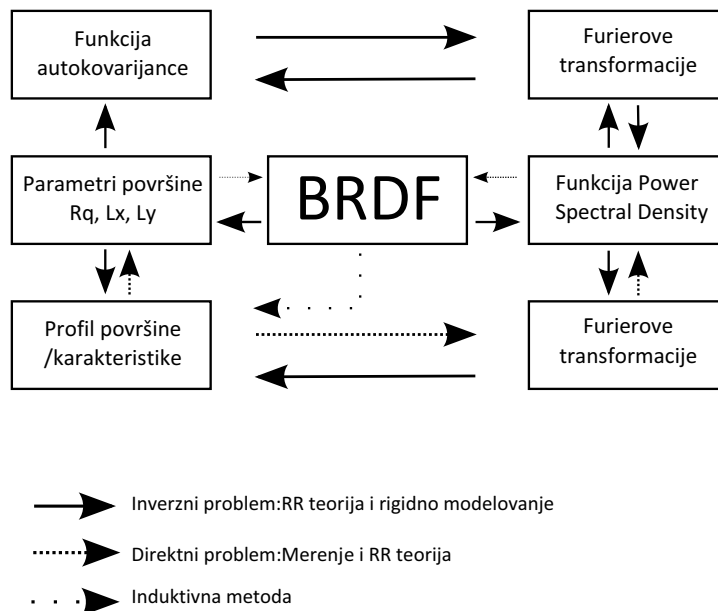
$$A = 1.0 - \frac{0.5\sigma^2}{\sigma^2 + 0.33}, \quad (2.16)$$

$$B = \frac{0.45\sigma^2}{\sigma^2 + 0.09}, \quad (2.17)$$

$$C = \max[0, \cos(\phi_r - \phi_i)] \quad (2.18)$$

Gde je  $\sigma$  standardna devijacija verovatnoće funkcije gustoće ugla mikropovršina i nagiba, koja se podrazumeva da je normalno rasopredena sa nultom srednjom vrednošću.

Površine realnih materijala koji se svakodnevno koriste nakon prikaza dela problematika je dosta kompleksno odrediti kroz BRDF funkcije korišćenjem drugih merljivih veličina površine kao što je kvadratna srednja hrapavost, korelaciona dužina i spektar jačine površine (surface power spectrum). Relacija različitih metoda kvantifikacije površina i BRDF modela i problematika izvođenja direktnih korelacija je data na slici 3. (Driggers, 2003).



Slika 3. Veza između BRDF-a, mikrotopografije površina/karakteristika i metoda proračuna.  
 Skraćenica RR označava Rayleigh-Rice teoriju

Jedini stvarno pouzdani način za dobijanje opisa refleksije sa ovih površina je direktno merenje BRDF-a (Hsien Lee, 2005). Merenje BRDF, BSRDF ili BSSSRDF zahteva veoma kompleksne instrumente kao što je goniofotometar ili goniospektrofotometar, koji su retki i zahteva ozbiljnu obuku u puno vremena za definisanje svih parametara tokom karakterizacije materijala (broj uglova i talasnih dužina koje treba izmeriti). Nekoliko autora kroz direktno merenje korišćenjem odgovarajućih uređaja kao što je Farrier, (Farrier, 2006) istraživali uti-

---

caj površinske hrapavosti i upadnog ugla svetla uzoraka sa malim sjajem na ugao refleksije. Dobijeni rezultati ukazuju na pojavu različitih uglova refleksije, delimično u vidljivom delu spektra korišćenjem talasne dužine od 633 nm. Matusik i ostali su merenjem desetina materijala (Matusik i ostali, 2003) došli do predloga modela refleksije baziranog na merenjima ovih materijala. Pošto je to rešenje bilo memorijski zahtevno kod računarskog prikaza i simulacije refleksije sa specifičnih materijala urađena i optimizacija od strane iste grupe autora (Matusik i ostali, 2004) gde je korišćenjem talasne analize izvedene zajedničke osnove za sve izmerene funkcije refleksije, kao i odgovarajuće neuniformne *šeme* koje odgovaraju koeficijentima oscilacija koje nisu jednake nuli. Pokazano je i da reflektancija bilo kojeg materijala se može opisati kao linearna kombinacija funkcija površinske refleksije. U daljem radu je njihova analiza pokazala da smanjen broj tačaka uzorkovanja omogućava robustnu procenu koeficijenata ovih lineranih kombinacija. Ove procedure mogu u velikoj meri da skrate vreme za prikupljanje isotropskih merenja refleksije.

Zbog zahtevnosti dolaženja do konkretnih višegaonih merenja napravljeno je nekoliko empirijskih modela refleksije površine koje se često koriste u računarskoj grafici i inženjerstvu osvetljavanja. Wardovova BRDF funkcija predstavljena u radu (Ward, 1992) je empirijski model koji je modelovan da odgovara izmerenim BRDF podacima. Ima nekoliko prednosti u odnosu na druge predložene BRDF modele i često se koristi u računarskoj grafici. Ovaj model koristi samo nekoliko jednostavnih parametara, lak je za kontrolu, može se efikasno uzorkovati za Monte Carlo funkcije, može se modelovati izotropna površina i prikazano je da u odgovarajućoj meri se podudara sa izmerenim BRDF vrednostima (Walter, 2005). Nekoliko autora ukazuje da ovaj model zbog fizički neprihvatljive distribucije sa mikropovršina nije najpogodniji (Kurt et al, 2010) i predstavljaju svoj novi model fizički ostvarljivog anisotropne BRDF funkcije za podešavanje i uzorkovanje u globalnom osvetljenom računarskom prikazu. Još jedan novi model koji predlaže rešenje za difuzne Lambertove površine (Simmonot, 2009). U ovom radu pozivajući se na prethodna istraživanja autor tvrdi, da iako veoma popularan Lambertovski model za difuznu refleksiju nije pogodan za opis mnogih relanih materijala, uključujući i mat površine. Za rešavanje tog problema daje se predlog novog fotometrijskog modela gde su površine opisane kao distribucija mikropovršinskih nagiba, gde svaka mikropovršina ima ravnu međupovršinu na Lambertovskoj pozadini.

U ovaj model su ubačena dva dodatna fizička parametra: površinska hrapavost granice i odnos indeksa refleksije pozadinskog veziva i gornjeg medija.

Iz navedenog pregleda literature može se videti da problematika istraživanja površine, sa njenim modelovanjem refleksije predstavlja aktuelnu temu današnjih istraživanja u optici i inženjerstvu materijala. Upotrebom različitih matematičkih modela, kroz korišćenje instrumen-

talne analitike i računarskog modelovanja se pokušava doći do konačne objedinjene formule za simulaciju refleksije i rasipanja sa velikog broja realnih materijala. Ova problematika je aktuelna i u štamparskoj industriji gde bi se tačnim modelovanjem refleksije sa štampanih površina moglo doći do određenih programskih rešenja koja bi omogućila tačan prikaz osobama zaduženih za modelovanje štampanog proizvoda kako će se završni proizvod prikazati krajnjem kupcu. Neka od rešenja su prisutna na tržištu kao što je Esko Visualizer, i dodatni je softverski modul kompanije Esko Graphics. Esko Visualizer daje mogućnost ekranskog prikaza u tri dimenzije bilo koje površine koja se koristi u grafičkoj industriji, sa širokom paletom specijalnih boja, kao i mogućnost prikaza izgleda proizvoda posle nanošenja laka, folije ili drugih sredstava za oplemenjivanje. Na slici 4. je dat prikaz kutije sa sjajnim spot lakiranjem. Iako ovakav softver daje globalnu uopštenu sliku površine koja je oplemenjena sa određenom vrstom laka, folije ili drugog sredstva za oplemenjivanje, ne daje mogućnost simuliranja više debljina nanosa i određivanja vrste laka. Ovakva opcija bi omogućavala i dodatni vizuelni efekat koji bi bio od izuzetne koristi kako dizajnerima, tako i štamparima za određivanje optimalnog nanosa laka u funkciji ekonomske opravdanosti i vizuelnog osećaja kranjenjeg štampanog proizvoda. Da bi se takvi podaci implementirali kroz date BRDF modele je potrebno dodatno istražiti i prikupiti kvantifikovane podatke za ubacivanje u neke od modela. Ovaj rad kroz celokupna razmatranja treba da da doprinos tom istraživanju u smislu kvantifikacije i kvalitativnog opisa određivanja geometrijskih i kolorimetrijskih parametara višestrukog oplemenjivanja na različitim materijalima.



*Slika 4. Kompjuterska simulacija oplemenjivanja štampanog proizvoda sa simuliranim funkcijama površinskih refleksija*

### 3. KARAKTERIZACIJA POVRŠINSKIH OSOBINA MATERIJALA

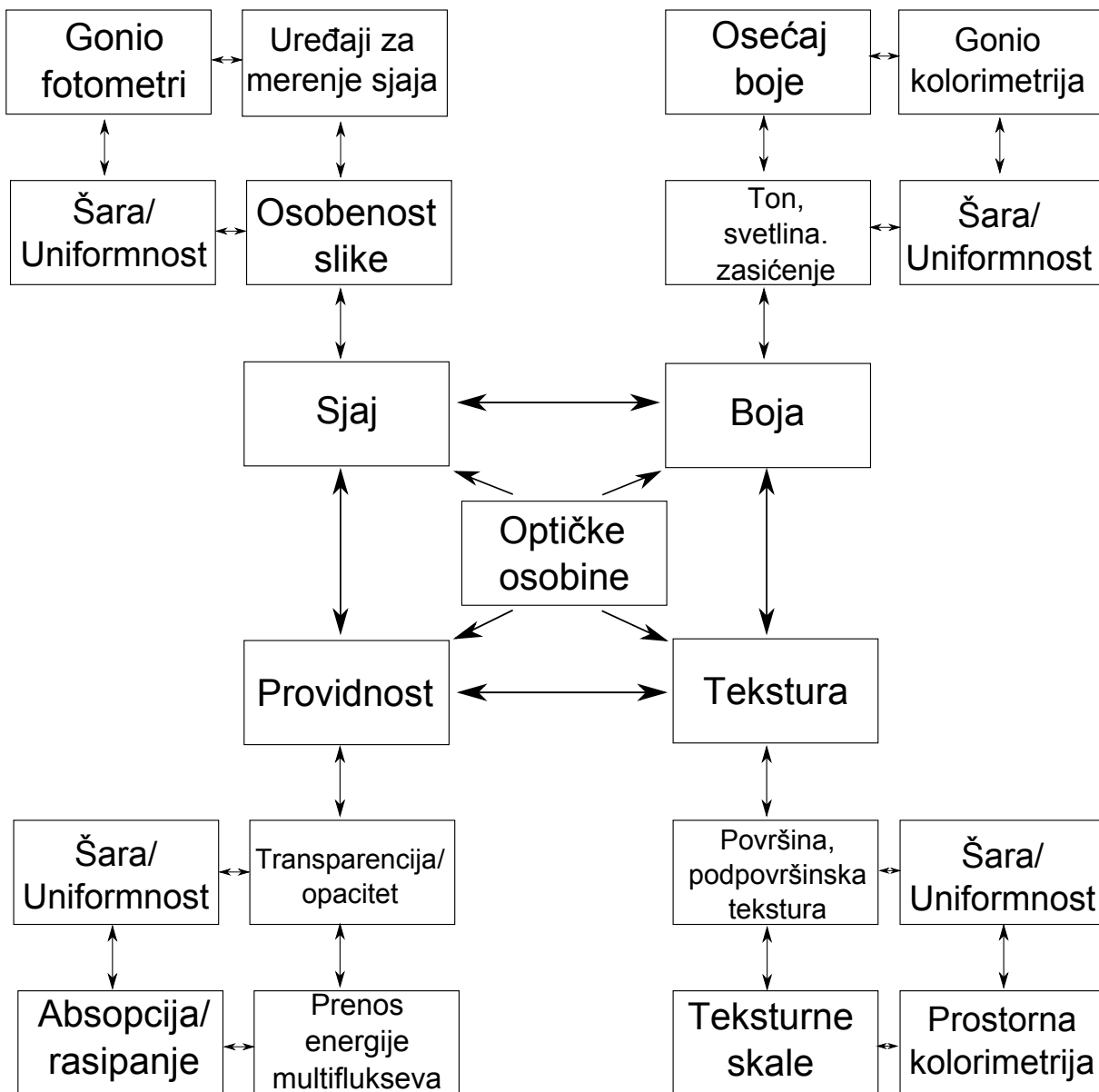
Poznato je da topografija neke površine u velikoj meri karakteriše materijale. Površina se prema ISO standardu 4287 definiše kao granična ivica koja omeđuje neki materijal od susednog medijuma u okruženju. Često iako su te topografske varijacije nano veličina u odnosu na veličinu površine njihov uticaj je merljiv nekim od makroskopskih mernih metoda.

Tačna karakterizacija površina sa razvojem metodologija i instrumentata igra sve veću ulogu u karakterizaciji površina. Sa novim prikupljenim izmerenim podacima je lakše isprobati neke od prethodno navedenih modela refleksije, kao i stvaranje novih modela za određivanje refleksije i rasipanja. Pošto je u grafičkoj industriji najvažnija komponenta vizuelna informacija koja dopire do svesti potrošača, neophodno je definisati i karakterizirati sve komponente koje utiču na optičke osobine materijala.

Međunarodna komisija za osvetljenje (eng. Commission Internationale de l'Eclairage – International Commission on Illumination, CIE) je inicirala pregled područja kvantifikovanja osećaja boje instrumentalnim putem i objavila je svoje nalaze u svom izveštaju CIE 175:2006 "A framework for the measurement of visual appearance" (CIE, 2006). U ovom dokumentu su obrađene sve poznate metode za karakterizaciju četiri osnovne komponente koje definišu optičku karakteristiku materijala. Merenjem četiri parametra se omogućava bliži opis osećaja boja povezan sa optičkim karakteristikama. Prepoznato je da ova merenja nisu najčešće nezavisna: boja može da utiče na sjaj, boja će sigurno imati uticaj na providnost, a tekstura površine sigurno čini promenjivu funkciju ostala tri izmerena parametra (Eugene, 2008).

Na slici 5. koja je preuzeta iz CIE izveštaja je predlog radnog okvira koji uključuje proširenje četiri osnovna bazična koncepta koji se tiču optičkih karakteristika materijala i daje moguće veze između njih. Ova šema predstavlja prema rečima autora izveštaja indikator za područja koja treba dodatno istražiti. Kao što je prikazano na slici 5. optičke osobine materijala je moguće podeliti u najmanje četiri grupe, a to su boja, sjaj, providnost i tekstura površine.

Ujedinjujući koncept koji obuhvata sve optičke osobine materijala je interakcija upadne elektromagnetne radijacije i elektrona na površini. U osnovi optičke karakteristike se mogu protumačiti iz elektronske strukture i načina na koji utiče atomska struktura, vezivanje, nepravilnosti i nečistoće (Ohring, 1992). Za opis ovih međuzakonitosti je potrebna kvantna mehanika, što izlazi iz opusa ovog rada. U ovoj tezi te osobine neće biti detaljno obrađene, nego je fokus teoretskog istraživanja na pronalaženju odgovarajućih mernih i instrumentalnih metoda koje mogu da se korelišu sa drugim optičkim osobinama materijala kao što je boja i sjaj.



Slika 5. Podela optičkih osobina materijala

Detaljan pregled fizičkih i hemijskih zakonitosti koje određuju površinske karakteristike materijala se mogu naći u (Zangwill, 1988), (Venables, 2000). Sama površina koja se ispituje je određena i načinom kao i tipom i vrstom sredstva za zaštitu ili oplemenjivanje.

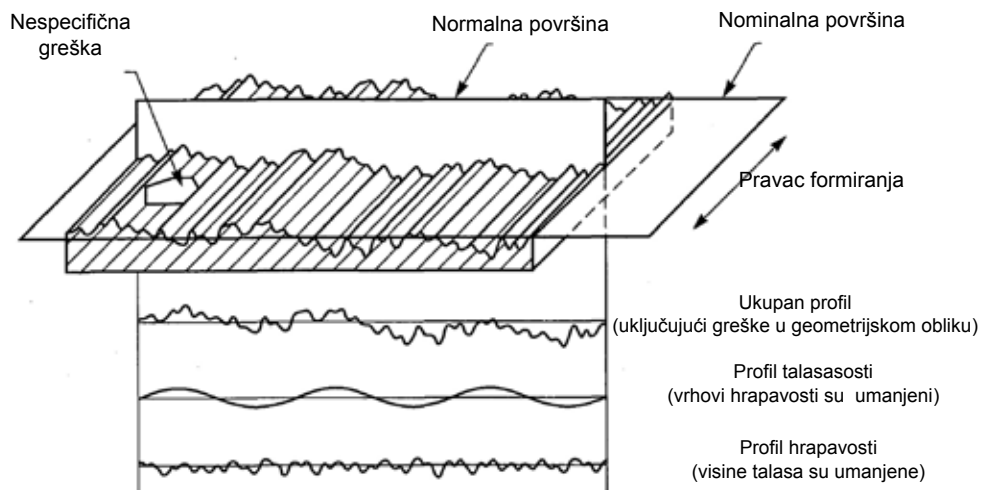
Za tačno određivanje mehanizama interakcije i površinske akumulacije je potrebno znanje iz hemije površina. Pošto je obim i cilj istraživanja ovog rada fokusiran na krajnji optički efekat u teorijskom pregledu će biti date samo kratke teorijske osnove najvažnijih zakonitosti i dati rezultati aktuelnih istraživanja na tom polju naučnog istraživanja. Detaljan pregled metoda i zakonitosti hemije površina je prikazan u delima (Satas i Tracton, 2001) i (Marrion, 2004).

Skoro sve površine koje prolaze kroz neki tehnološki ciklus obrade su daleko od idealnih površina i sadrže u većoj ili manjoj meri određenu količinu hrapavosti. Sama karakteristika teksture neke površine je određena sa rasporedom, oblikom i veličinom pojedinačnih elemenata u formi neravnina koje mogu biti izbočine ili udubljenja u odnosu na srednju „idealnu“ površinu. Béland (Béland, 1999) je u svojoj doktorskoj tezi izneo niz eksperimentalnih podataka i teorija o uticaju površinske strukture na rasipanje svetlosti i time ukazao na značaj definisanje te karakteristike materijala kod evaluacije svetla.

Za opisivanje geometrijskih osobina neke površine i njihova odstupanja iako se kod realnih materijala radi o trodimenzionalnim često nehomogenim kompleksnim sistemima, osnovni koncepti geometrijskih varijacija neke površine se može izraziti i kroz analogiju odstupanja od nekog jednostavnog oblika kao što je krug ili linija.

Tri prepoznatljiva uzroka devijacije koje se mogu podeliti prema komponenti frekvencije na površini se mogu prepoznati kao hrapavost, talasasost, i pravac formiranja (Mainsah et al.):

- Hrapavost predstavlja komponentu sa najvećom frekvencijom (kratkom talasnom dužinom) od interesa na površini. Predstavlja manje nepravilnosti na teksturi površine koji su rezultat nekog procesa tokom obrade ili stanja materijala
- Talasasost je komponenta sa manjom frekvencijom (dužom talasnom dužinom) od hrapavosti. Ova komponenta je prostorno šira od hrapavosti i može da bude izazvana nekim od spoljašnjih uticaja tokom procesa obrade. Hrapavost je često nadgrađnja komponente talasosti.
- Pravac formiranja je komponenta sa najdužom talasnom dužinom (najmanjom frekvencijom) i predstavlja dominantni smer i pravac površinske strukture i najčešće je određen procesom formiranja površine.
- Na slici 6. su prikazani osnovni elementi koji karakterišu površinu materijala. Važno je napomenuti da navedene karakteristike koje definišu osnovne veličine neke procesirane površine su nerazdvojive od tih površina i nezavisni su od metode merenja.



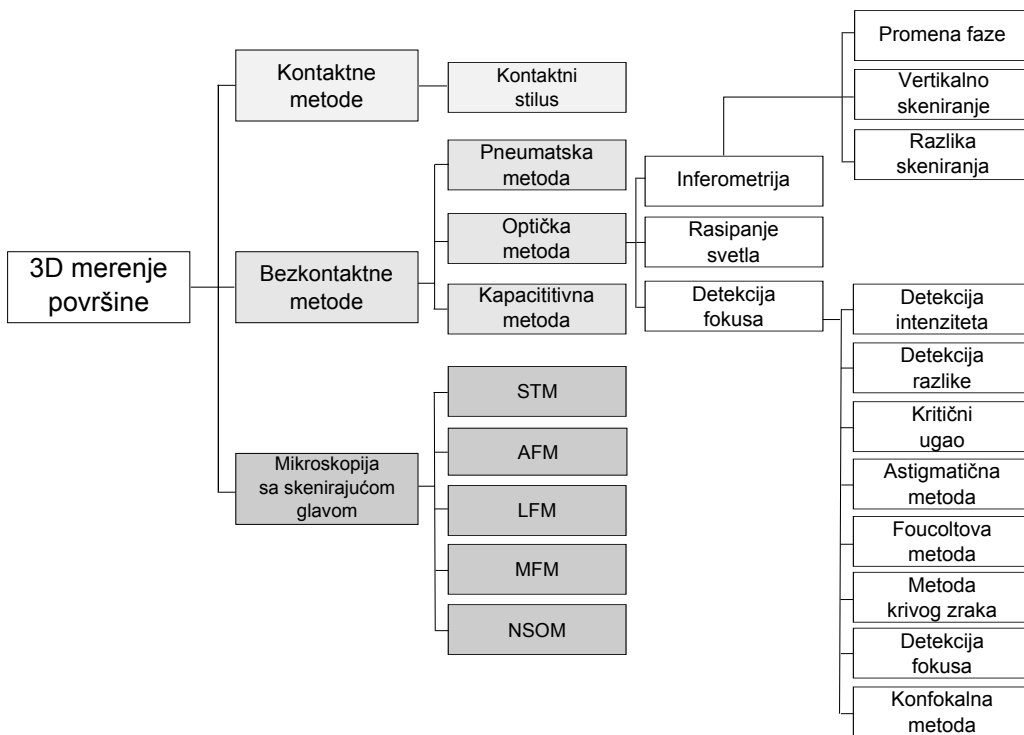
Slika 6. Osnovni elementi koji karakterišu površinu

### 3.1. INSTRUMENTALNE METODE ZA KARAKTERIZACIJU POVRŠINA

Metode za merenje površinske teksture se mogu generalno klasifikovati kao kontaktne i nekontaktne, kao i trodimenzionalne (površina) i dvodimenzionalne (profili) metode (ASME B46,2002). Tehnike koje koriste profiliranje mere visinu površine po sistemu tačka po tačka sa mernom sondom (pipaljka) kao što je igla ili fokusirni snop svetla. Ove tehnike merenja su često tačne i kvantitativne. Izmerene vrednosti profila se mogu iskoristiti za dobijanje niza statističkih parametara i funkcija površine koje karakterišu srednju vrednost visine izbočina ili razdaljinu između neravnina (Vorburger, 2003). Nekonтактne metode uključuju detekciju optičkog fokusa, optička inferometrija, svetlosno rasipanje i varijacije mikroskopa sa skenirajućom sondom. Najčešće korišćenje metode za kvantitativno određivanje 3D površine su skenirajući mehanički stilus, tehnike detekcije fokusa, svetlosna inferometrija i AFM (eng. Atomic Force Miscroscopy). Jedna od podela mernih metoda za karakterizaciju intrumentalnih metoda za istraživanje površinskih karakteristika različitih materijala je data na slici 7. (Mainsah i ostali, 2001).

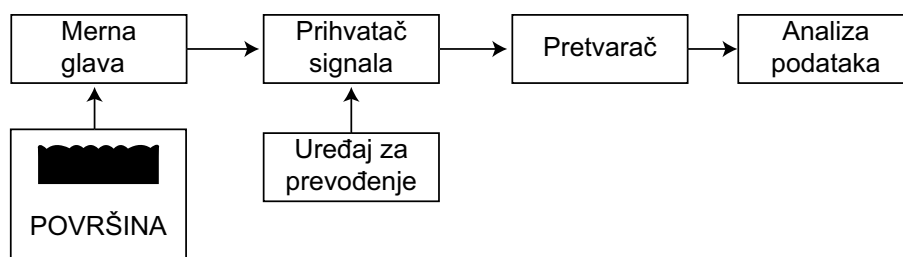
U ovom pregledu će biti dati samo kratki prikazi najčešće korišćenih metoda i kvalitativnih faktora koji se mogu koristiti za opis oplemenjenih i grafičkih materijala i radova drugih istraživača, dok se detaljan opis razvoja i karakteristika mernih metoda može naći u (Whitehouse, 2003) i (Mainsah i ostali, 2001).





Slika 7. Podele metoda za kvantitativnu analizu površina

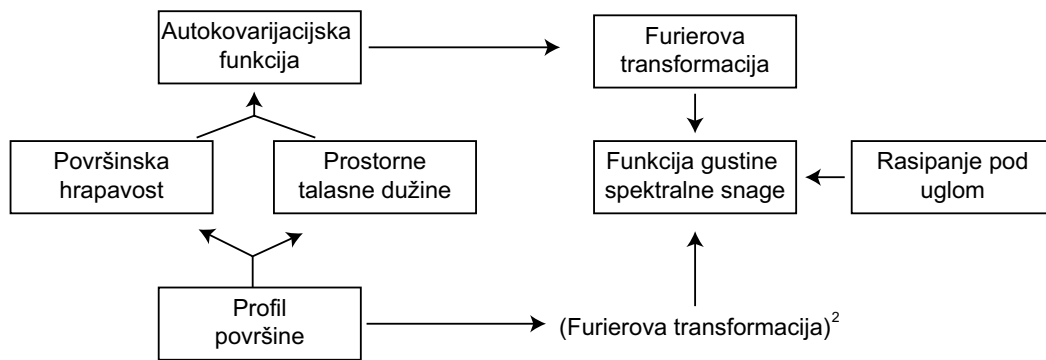
Opšta šema uređaja za karakterizaciju površina je data na slici 8. Primarne instrumentalne metode za površine se mogu pojednostaviti na nekoliko osnovnih elemenata: pretvarač (tip, pipak, sonda) koji vrši interakciju sa razlikama u visini površine, uređaj za prikupljanje i pojačavanje signala i uređaj za pretvaranje ovog signala u poznate numeričke parametre.



Slika 8. Opšta šema uređaja za karakterizaciju površina

Kod odabira odgovarajućih mernih metoda važno je da uređaj ima dobru lateralnu rezoluciju i dužinu profila (ili veličinu spota za rasipanje svetla) koja odgovara vrsti površinskih deformacija koje se mere.

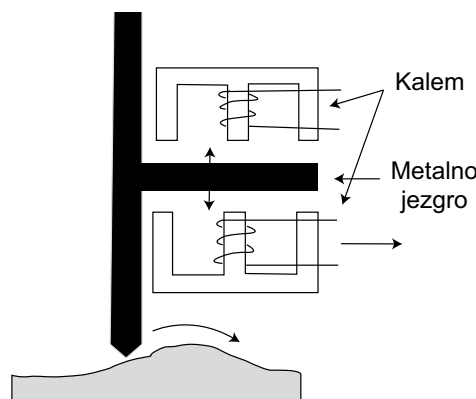
Na slici 9. je prikazani odnosi između različitih parametara koji se koriste za karakterizaciju optičkih površina.



Slika 9. je odnosi između različitih parametara koji se koriste za karakterizaciju optičkih površina.

Blokovi na slici 9. podrazumevaju da su površinske visine male u odnosu na talasnu dužinu svetla da bi se mogla primeniti teorija vektorskog rasipanja i skalarna teorija prvog reda. Početne vrednosti merenja su najčešće izmerene vrednosti profila (ili površinske topografije) ili izmerene vrednosti rasipanja. Oba tipa merenja su pogodna za određivanje delova funkcije jačine spektralne gustine (eng. Spectral Density Function, PSD), takozvanu master krivu površine uz pomoć usputnih funkcija i određenih Furierovih transformacija (Maradudin, 2007). Radovi kao što su (Elson i Bennett, 1995) i (Gan et al, 2007) koriste PSD funkciju za određivanje kvalitativnih elemenata hrapavosti površina nekoliko materijala.

Pregled metoda za profilisanje najčešće se započinje sa mernim metodama koji koriste kontaktne stiluse (pertometre). Na slici 10. je predstavljena šema prelaska stilusa preko izbočine na određenoj površini.



Slika 10. metod rada stilusnog profilometra (pertometra)

Senzor je linearno variabilni diferencijalni pretvarač (eng. Linear Variable-Differential transformer, LVDT). Pomeranjem stilusa vertikalnom putanjom, menja se relativna impedansa navoja i time se narušava balans ac mosta. Rezultujući signal je demodulisan i pojačan i daje vrednosti u voltima koji su proporcijalni visini površine. Lateralna rezolucija samog instrumenta zavisi od širine same sonde na stilusu (Vorburger i ostali, 1979).

### 3.2. PARAMETRI HRAPAVOSTI PROFILA

Važne karakteristike koje razdvajaju dva profila su visinska devijacija od nominalnog profila i razlike između uporedivih devijacija. Da bi se adekvatno opisalo stanje merenih površina potrebno je odabrati parametre hrapavosti.

Relevantni nazivi geometrijskih parametara hrapavosti (preporuka norme ISO 4287-1997):

- R - parametar - parametar izračunat iz profila hrapavosti;
- Vrh profila - van usmeren udeo (od ispitivane površine prema okolnom mediju) promatranog profila koji povezuje dve susedne tačke preseka profila sa X osi;
- Udubljenje profila - unutra usmeren udeo (od okolnog medija prema ispitivanoj površini) promatranog profila koji povezuje dve susedne tačke preseka profila sa X osi;
- Visina i/ili odabiranje razmaka - minimalna visina i minimalni razmak vrhova i udubljenja promatranog profila koji se treba uzeti u obzir;
- Element profila - vrh profila i susedno udubljenje profila.
- Visina vrha profila ( $Z_p$ ) - udaljenost između X osi i najviše tačke vrha profila;
- Dubina udubljenja profila ( $Z_v$ ) - udaljenost između X ose i najniže tačke udubljenja profila;
- Širina elementa profila ( $X_s$ ) - dužina segmenta X ose koja se preseca sa elementom profila.

U zavisnosti od karakteristika profila merene površine, parametri hrapavosti mogu se podeliti u tri osnovne grupe:

1. amplitudni ili vertikalni parametri hrapavosti
2. uzdužni ili horizontalni parametri i
3. hibridni parametri hrapavosti

Amplitudni parametri hrapavosti su mere vertikalnih karakteristika odstupanja površine, tj. parametri koji su u potpunosti određeni visinama vrhova ili dubinama udubljenja ili oboje, nezavisno o horizontalnim razmacima hrapavih nepravilnosti površine.

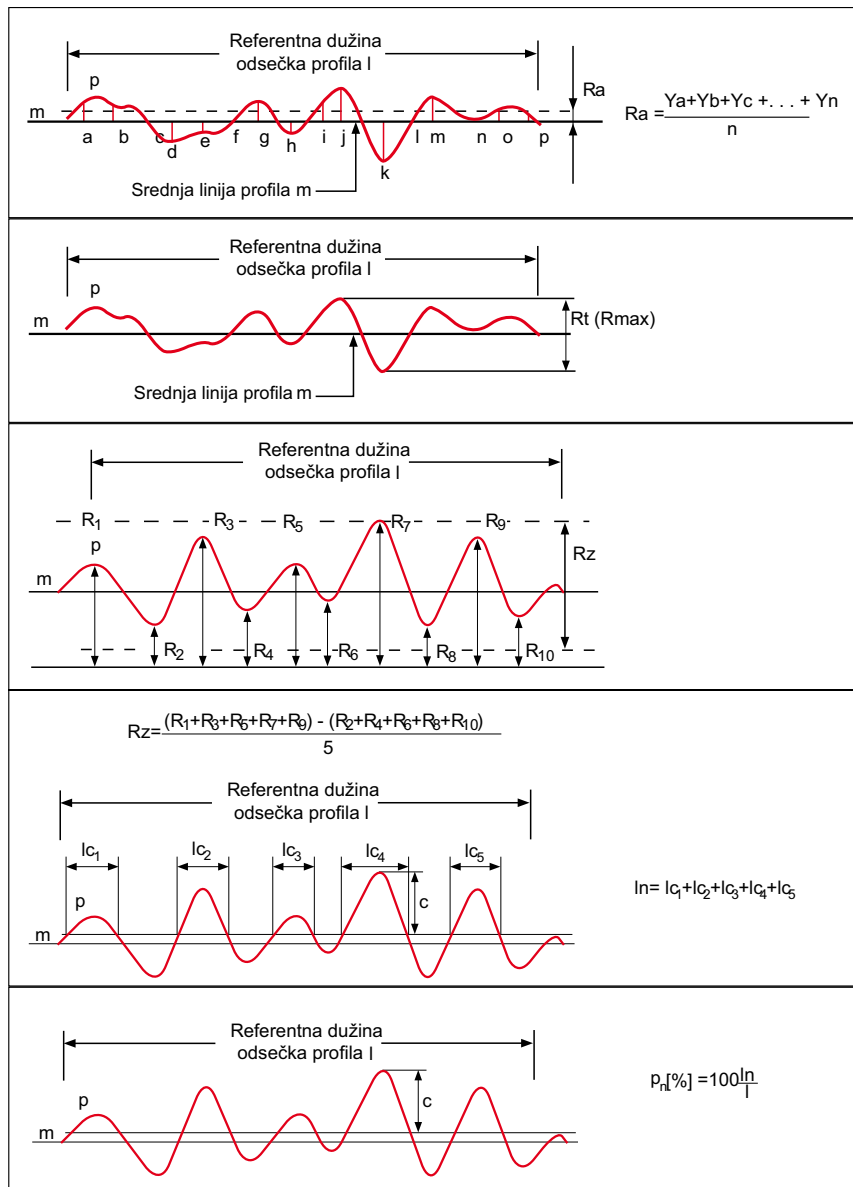
- $R_p$  - najveća visina vrha profila (najveća visina vrha profila  $Z_p$  unutar referentne dužine);
- $R_v$  - najveća dubina udubljenja profila (najveća dubina udubljenja profila  $Z_v$  unutar referentne dužine);
- $R_a$  - srednje aritmetičko odstupanje profila (aritmetička sredina apsolutnih vrednosti ordinata  $Z(x)$  unutar referentne dužine);
- $R_z$  (JIS) - visina neravnina u deset tačaka (norma ISO 4287/1-1984) i numerički je razlika srednje visine između pet najviših vrhova i pet najnižih udubljenja unutar referentne dužine.

Uzdužni parametri hrapavosti - parametri koji su potpuno određeni uzdužnim razmacima hrapavih nepravilnosti površine, nezavisno od amplituda vrhova i udubljenja.

Hibridni parametri hrapavosti - parametri koji zavise i od amplituda vrhova i udubljenja, i od horizontalnih razmaka, tj. to su parametri koji zavise od oblika profila. Navedeni parametri određeni su isključivo za specifičnu kontrolu trošenja određene površine. Definirani su prema normi ISO/DIS 13565/2-1994,10 na krivi relativne nosive dužine profila, tzv. Abbottovoj krivi, koja daje relativni udeo materijala kao funkciju visine linije preseka i opisuje relativni porast udela materijala sa povećanjem profila (ISO/DIS 13565 1, 2, 3 (1994)). Na njoj je naznačen niz hibridnih parametara hrapavosti (definirani prema normi DIN 4776 (ISO 13565-1)):

- $R_{pk}$  - redukovana visina vrhova profila (glavni deo površine koji će brzo biti istrošen nakon početka štampe);
- $R_k$  - dubina jezgre hrapavosti profila (radna površina dugog veka koja će uticati na kvalitet i trajnost štamparske forme);
- $R_{vk}$  - redukovana dubina udubljenja profila;
- $Mr_1$  - udeo materijala koji odgovara gornjoj granici jezgre hrapavosti profila;
- $Mr_2$  - udeo materijala koji odgovara donjoj granici jezgre hrapavosti profila.

Na slici 11. su predstavljene veličine koje određuju parametre hrapavosti.



Slika 11. Parametri koji definišu površinsku hrapavost profilisanog predmeta

Efektivni profil  $p$  ima referentnu dužinu  $l$  i srednju liniju  $m$ . Slovom  $p$  označen je efektivni profil površine predmeta, slovom  $l$  referentna dužina odsečka profila a slovom  $m$  srednja linija profila. Referentna dužina je odabrana dužina jednog odsečka profila, koja omogućava određivanje hrapavosti. Srednja linija profila je tako povučena da srednje kvadratno rastojanje efektivnog profila od te linije bude minimalno (Miljević, 2007).

Parametar **Ra** predstavlja srednje aritmetičko odstupanje profila. Određuje se u odnosu na srednju liniju profila  $m$ , referentne dužine odsečka  $l$ .

Parametar **Rms** predstavlja koren srednjih vrednosti kvadrata greške. Određuje se u

odnosu na srednju liniju profila  $m$ , referentne dužine odsečka  $l$ . Vrednost  $R_{ms}$  parametra je obično 10% veća od vrednosti parametra  $R_a$ .

Parametar  $R_z$  predstavlja srednju visinu neravnina u 10 tačaka (srednja vrednost 5 vrhova i 5 udubljenja). Određuje se u odnosu na srednju liniju profila  $m$ , referentne dužine odsečka  $l$ .

Parametar  $R_{max}$  ili  $R_t$  predstavlja maksimalnu udaljenost između najviše i najniže tačke profila. Određuje se u odnosu na srednju liniju profila  $m$ , referentne dužine odsečka  $l$ .

Princip merenja sa mehaničkim stilusom i mernom glavom je veoma raznovrsna i najčešće može da pokrije veliki spektar zahteva i vrsta za merenje. Ipak postoje neke specifični nedostaci koji ograničavaju njenu upotrebu. Kod 3D analize površina stilusne metode su jako spore. Drugi nedostatak, zbog velikog pritiska koji generiše stilusni kontaktni vrh na tačku na površini može da ošteti tu površinu i zbog toga je nepodesan za meke materijale. Ovi nedostaci sistema za merenje sa stilusom su u najvećoj meri rešeni (na račun drugačijih ograničenja) sa razvojem nekih drugih metoda za merenje, tačnije optičkih i ređe korišćenih pneumatskih tehnologija. Najčešće korićene optičke metode za karakterizaciju površina se zasnivaju na tri principa – detekciji optičkog fokusa, interferometriji i rasipanju svetla (Mainsah i ostali, 2001). Interferometrijska merenja ima visoku tačnost, visoku rezoluciju i omogućava brzo merenje.

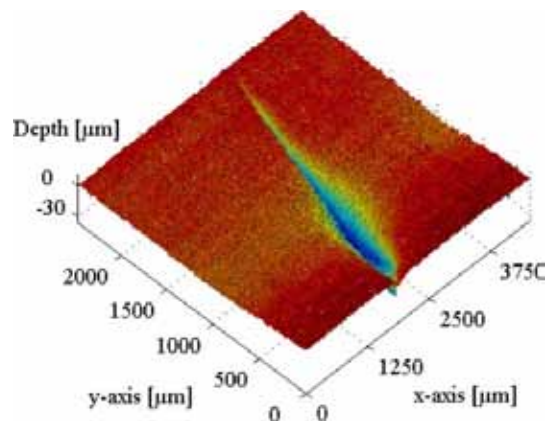
U svom radu (Creath i Wyant, 1990) su pokazali prednosti ove metode kroz nekoliko interferometrijskih metoda za određivanje hrapavosti površine. Dok su ove metode zastupljene u nekoliko upoređivanja u radovima (Bennett, 1985) i (Welford, 1980). Maksimalnu vertikalnu rezoluciju na pod angstromskom i angstromskom nivou se može postići sa korišćenjem sa SPM mikroskopa STM (eng. Scanning Tunneling Microscopes) i AFM (eng. Atomic Force Microscopes) koji su glavni predstavnici grupe uređaja sa skenirajućom mernom glavom (eng. Scanning Probe Technique) zajedno sa drugim mikroskopima čiji se načini rada zasnivaju na sličnom principu. STM mikroskop koristi provodljivi pipak (vrh) koji se postavlja veoma blizu (unutar 1nm ili bliže) provodne površine. U toku procesa održava se napon između vrha i površine. Rezultujući struja elektrona koja struji sa tunelskim efektom je eksponencijalna funkcija razdaljine, i time obezbeđuje veliku osetljivost na visinu površine kada se vrh koristi za lateralno skeniranje. Piezoelektrični pretvarač može da varira razmak između vrh i površine. Tokom skeniranja, servo sistem održava konstantnim struju tunelisanja prilagođavanjem razdaljine vrh-površina. Rezultujući signali napona u piezoelementu su proporcionalni visini površinske topografije preko skenirane površine, ako na tunelsko strujanje nije uticalo neke druge varijacije u materijalu površine (Vorburger, 2003).

Dok STM opisuje profile sa konstantnom gustinom napona na posebnoj energetske vrednosti određenoj sa njenim promenama napona, mikroskop atomske snage AFM meri atomsku

snagu. Veza između stvarne atomske snage i izmerene vrednosti mora biti tačna. U suštini se sastoji od stilusa, konzole i određenom načina za merenje pomeranja vrha konzole. Sam stilus se nalazi na kraju konzole i atomske snage ga privlače kada je stilus veoma blizu. Ove snage su izbalansirane sa elastičnom silom koja je generisana zakrivljenjem noseće konzole stilusa. Piezoelektrični element pomera pomera stilus dok atomske snage ne izazovu pomeranje konzole. AFM prati količinu odstupanja (korišćenjem otičke inferometrije ili efektom tunelskog protoka) za određivanje količine sile koja je primenjena na stilus (Whitehouse, 2003).

### 3.3. PARAMETRI HRAPAVOSTI DELA POVRŠINE

Nekoliko instrumenata (među kojima se nalaze i skenirajući instrumenti kao AFM) se može koristiti i za karakterizaciju određene površine umesto jednog profila te površine. Metode merenja površine se dele na dva tipa: metode za profilisanje određenog područja površine i metode za određivanje srednjih vrednosti određenih površinskih delova. Prema (Hsien Lee, 2005) za skoro sve primene najvažniji deo podataka koji se koristi za određivanje rasipanja svetla su statističke vrednosti hrapavosti određenog područja na površini. Na slici 12. je prikazana topografska mapa dobijena sa metodom skeniranja površine.



Slika 12. Topografska mapa dobijena metodom skeniranja površine

Vrednosti kvantifikacije karakteristike površine koja se ispituje se mogu opisati sa određenim standardizovanim vrednostima, sličnim onima koji se koriste za dobijanje statističkih u pojedinačnih vrednosti iz merenja hrapavosti putem profilisanja. Vrednosti koje se koriste su specificirane sa ISO/DIS 25178-2 standardom i ASME B46.1 preporukama i biće dat kratak pregled najznačajnijih merljivih karakteristika određenog dela površine.

Srednje aritmetičko odstupanje površine  $S_a$  aritmetička sredina apsolutnih vrednosti izmerenih devijacija visine u odnosu na srednju ravan površine unutar dela površine koja se ispituje. Analitički vrednost  $S_a$  se izražava u kartezijanskim koordinatama (ASME B46.1):

$$S_a = (1/Ae) \int_0^{Ly} \int_0^{Lx} |Z(x,y)| dx dy \quad (3.1.)$$

Za pravougaonu površinu M x N digitalizovane vrednosti profila  $Z_{jk}$  se izražava kao (ASME B46.1)::

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N |Z_{jk}| \quad (3.2.)$$

Gde je M broj tačaka po profilu a N broj profila unutar površine uzorkovanja.

Srednje kvadratno odstupanje površine  $S_q$  se analitički može izraziti putem obrasca:

$$S_q = \left( (1/Ae) \int_0^{Ly} \int_0^{Lx} Z^2(x,y) dx dy \right)^{1/2} \quad (3.3.)$$

Dok je njena digitalna aproksimacija:

$$S_q = \left[ \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N Z_{jk}^2 \right]^{1/2} \quad (3.4.)$$

Parametri oblika površine uključuju vrednosti za  $S_{ku}$  i  $S_{sk}$  koeficijent oštine površine (eng. surface Kurtosis,  $S_{ku}$ ) i koeficijent asimetrije površine (eng. surface skewness,  $S_{sk}$ ):

$$S_{ku} = \frac{1}{(S_q)^4} \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N Z_{jk}^4 \quad (3.5.)$$

$$S_{sk} = \frac{1}{(S_q)^3} \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N Z_{jk}^3 \quad (3.6.)$$

Pored navedenih vrednosti postoji još nekoliko standardom definisanih veličina, ali one neće biti predstavljene pošto obim tih karakteristika prevazilazi opseg ovog rada.



---

### 3.4. METODE KARAKTERIZACIJE PAPIRNIH I OPLEMENJENIH POVRŠINA

Mogućnost štampe na papirnim površinama zavisi od površinskih karakteristika kao što je hrapavost, uniformnost i mogućnost papira za absorpciju boje (Wilson, 1997). Najčešće je visok kvalitet štampe povezan sa dobrim formiranjem i sa glatkim kompresibilnim papirnim podlogama (Thompson, 1998). Najvažnije površinske karakteristike papira uključuju hrapavost, formiranje, poroznost i propustljivost. Hrapavost i formiranje se smatraju spoljašnjim površinskim karakteristikama, dok veličina pora, poroznost i propustljivost se kategorišu kao unutrašnje površinske karakteristike. Hrapavost utiče na sjaj štamparskih boja, njenu reprodukciju kao i na štamparski kontrast (Wu i ostali, 2007). U radu autora (Chinga i ostali, 2007) su ispitivane mnoge površinske karakteristike papirnih podloga za duboku štampu i dobijeni su rezultati koji potvrđuju ranija istraživanja papira za druge tehnike štampe. Papiri i klasične metode karakterizacije papirne površine putem mehaničkog stilusa su obrađene u radovima Dunfielda (Dunfield, 1990) i Enomae-a i LePoutre-a (Enomae i LePoutre, 1995).

Pored navedenih klasičnih metoda merenja hrapavosti, Parker Print-Surf (PPS) metoda u papirnoj industriji se često koristi zbog mogućnosti merenja hrapavosti na različitim pritiscima od 500–1000–2000 kPa, koji simuliraju uslove u kontaktnoj zoni štampe. PPS uređaji koriste metodu kontaktnog vazdušnog otvora koji meri protok vazduha između substrata na otvoru širine 51  $\mu\text{m}$ . Tokom merenja se vrši preračunavanje toka vazduha između srednjeg otvora između merene površine i ravne kontra površine koja se pritisne sa druge strane. U svom radu (Xu i ostali, 2005) su upoređivalo podudaranje vrednosti sjaja papira merenih u uglovima od 60° i 75° i korelacije između stilusnog profilometra i AFM metode sa PPS metodom merenja hrapavosti površine. Njihovi rezultati ukazuju na visok sepen (93.7%) korelacije između PPS i stilusne profilometra dok za PPS i AFM metodu su dobili nešto niže vrednosti (90.3%) a najmanju između stilusnog profilometra i AFM-a (89.3%). Ispitivanje metoda za karakterizaciju površina papira uporednim upoređivanjem različitih metoda je obrađeno i u radu Singha (Singh, 2008). Singh je u svom radu upoređio PPS metodu sa Fogra kam metodom koja radi na sličnom principu kao PPS metoda (meri deo optičkog kontakta između nivoa referentne površine i površine papira kada su ove dve površine pritisnute jedna naspram druge) kao i metodu sa analizom slike. Njegovi rezultati ukazuju na drugačije načine izražavanja površinske hrapavosti, sem na glatkim površinama gde dolazi do poboljšanja međuzavisnosti nekoliko metoda.

Nekoliko radova je proširilo istraživanje papirnih površina sa metoda vazdušnog otvora na 3D karakterizaciju površina (Mangin, 1990 i 1993). U radu (Wagberg i Johansson, 1993) su testirali nekoliko tipova papira sa optičkom nekontaktnom metodom profilisanja i sa mehaničkim

kontaktnim profilometrom. Na hrapavijim papirima obe metode su dale rezultate sa dobrom međukorelacijom. Na veoma sjajnim i uglačanim papirima ova korelacija je bila niža. U oba slučaja metoda optičkog profilisanja je dala više vrednosti hrapavosti nego mehanička metoda. Autori pretpostavljaju da u razlici između senzora, gde se pozivaju na pređašnja saznanja i radova da šum na veoma glatkim površinama može da poremeti rad senzora.

U radu (Joo i ostali, 2004) su ukazali na mogućnost korišćena inferometrijske metode sa belom LED diodom za kvalitetnu karakterizaciju papirnih i odštampanih površina. U radu (Sung i Keller, 2008) su ispitivali lokalnu površinsku strukturu papirnih površina, debljinu, gramaturu, gustinu i površinsku hrapavost različitih ručno pravljenih i komercijalnih papira i prikazali su novu metodu za merenje hrapavosti. Rezultati ukazuju da nova nekontaktna metoda za merenje debljine koja se naziva profilometar sa dvostrukim laserom (eng. Twin laser profilometer, TLP) daje mnogo tačnije metode karakterizacije debljine na podmilimetarskoj skali. Nova metoda merenja hrapavosti je bazirana na merenju centra površine papirne trake, i ova metodologija isključuje varijacije u debljini koje se javljaju na ivicama papirne trake.

Druga dva autora (Pino i Pladellorens, 2009) predlažu metodu određivanja hrapavosti kroz slikovnu analizu šara mrlja na površini papira. Uzorci se snimaju uz pomoć lasera i odgovarajućeg CCD čipa i uz pomoć digitalne obrade slike se mogu koristiti za određivanje površinskih karakteristika. Ova metoda prema autorima može da se podvede kao nekontaktna metoda za profilisanje površine. Sličnu metodologiju baziranu na nekontaktnoj metodi i sa očitavanjem uz pomoć CCD elementa je uradila grupa autora Kuparinen i ostali (Kuparinen i ostali, 2005) koji su uz pomoć CCD očitavanja i digitalne obrade slike uradili analizu nekoliko vrsta papira. Njihovi rezultati ukazuju da ova nekontaktna metoda ima potencijala u karakterizaciji hrapavosti površina papira. Nađena je zadovoljavajuća korelacija između parametara hrapavosti i statističkih veličina očitavanja slike za određeni broj uzoraka. Najbolja korelacija je nađena između fraktalne analize površine, mikroskopskih snimaka i površinske hrapavosti.

Još jedna metoda za karakterizaciju površinske hrapavosti i korelacije sa sjajom je dat u radu autora Vernhes i drugi (Vernhes i drugi., 2008) koji su upoređivanjem sa klasičnim goniometrom razvili softver za praćenje snopova odbijenog svetla u karakterizaciji površina materijala. Simulacije putem softvera su urađena na 3D mapiraju površina i oblik rasipanja je upoređen sa klasičnim goniometrom.

U svom radu MacGregor i ostali (MacGregor i ostali, 2003) su ukazali da je jedan od najvećih uzroka varijacije sjaja na oslojenim i štampanim papirima topografija površine papira. Merenja su ukazala da i za veoma grubo oslojene papire prilikom štampe postoje dovoljne količine boje na gumenom omotaču da se pokrije cela površina uz pomoć mehanizma širenja štamparske boje. Popunjavanjem mikro grubih površina sa bojom se može da unapredi ili

---

pokvari uniformnost sjaja u zavisnosti od skale hrapavosti, prostorne distribucije i stabilnosti površine posle štampe. Kao zaključak ovog rada uzevši u obzir kompleksnost površine papira i mogućih grešaka daje se pretpostavka da mogućnosti korišćenja konfokalnog mikroskopa i merenja sjaja u cilju određivanja neujednačenosti sjaja na papirnim površinama. Ispitivanje uticaja osobina površina nakon oplemenjivanja sa nekim od tečnih sredstava za oplemenjivanje isto predstavlja trenutno aktuelnu temu u istraživanjima međukorelacije površina tih uzoraka i geometrijskih i kolorimetrijskih osobina obojenih površina.

Istraživanje uticaja hrapavosti pigmentnih oslojavanja na sjaj je istraživano od strane Järnström i ostalih (Järnström i ostali, 2008) u kojem je korišćena konfokalna optička mikroskopija i AFM metoda za određivanje površinskih karakteristika uzoraka koji su oslojeni sa pigmentim slojem. U radu su obrađeni uticaji intervala uzorkovanja, veličine slike i filtera na površinsku hrapavost. Izotropnost i periodičnost hrapavosti je određena analiziranjem distribucije uglova korelisane dužine ( $T$ ) i funkcije autokorelacije (ACF). U obradi rezultata je dobijena jasna veza između RMS parametra hrapavosti ( $\sigma$ ) u odnosu na  $T$  vrednost za stohastično distribuirane površine. Uzimanjem u obzir zavisnost  $\sigma$ - $T$  za svaki uzorak je moguće odrediti povezanost sa spekularnom refleksijom tj. sjajem uzorka. Korelacija između  $\sigma$  vrednosti i sjaja za hrapavost jedne ili dve tačke uzorkovanja su potvrdila važnost lateralne dužine skale kada se povezuje sa fizičkom vrednošću hrapavosti. Ovo metoda prema autorima može da posluži za pronalaženje najbolje dužinske skale koja najbolje koreliše sjaju uzorka.

Raspored čestica materijala za oplemenjivanje nezavisno da li se radi o oplemenjivanju površine papira nekim dodatnim elementima ili tečnim sredstvom za oplemenjivanje imaju uticaj na raspored čestica na površini i time na mikrotopografiju. U radu (Gunde i ostali, 2006) su ispitivani uzorci sa elementima koji povećavaju površinsku hrapavost i njihov uticaj na smanjenje spekularnog sjaja. U zaključku autori ovog istraživanja naovde da je površinski profil promenjen dodavanjem termoreaktivnih dodataka kao što su učvršćivači i punioci. Oba parametra površinskog profila (srednja hrapavost i razmak između izdignutih elemenata) su pokazala uticaj na spekularni sjaj. Ovi uticaju su opisani sa eksponencijalnom funkcijom. Veza između visine površine i spekularnog sjaja je ista kao i veza između visinskih razmaka i spekularnog sjaja. Sredstva za oplemenjivanje sa većim česticama na površini su dala manji spekularni sjaj. Kada je veća količina punioca dodata umesto dodataka za matiranje, spekularni sjaj se povećao do primetne vrednosti. Iz ovoga autori zaključuju da je efikasnost matiranja veća za korišćene voskove nego za korišćene punioce.

Ispitivanje bazirano na difuznoj refleksnoj spektrometriji, koji su izveli u više eksperimenata Elias i drugi (2004) su pokazala da tri faktora utiču na vizuelni aspekt slika u slučaju nanosa sredstva za oplemenjivanje u formi laka. Ti su uticajni faktori: razlika između indeksa

prelamanja vazduha, laka i slike, izravnavanje površine slike, kao i adsorpcija samog laka. Obe interferencije vazduh/lak i lak/slika su uzete kao pretpostavljene planarne površine i sa pretpostavkom kod ispitivanja uticaja indeksa prelamanja da je sloj laka nerasipajući i neabsorbujući sloj. Sloj sa bojom je u eksperimentu bio definisan sa pretpostavkom da je Lambertova difuzna površina. Iz ranijih saznanja potvrđene vrednosti da kada je indeks prelamanja boje  $n_p$  približno jednak  $n_v$  indeksu prelamanja laka (Elias i Simonot, 2004), i ako je sloj laka neabsorbujući da nema unutrašnjih refleksija i promena u refleksionom spektru slike. Ipak, uočene male razlike ne mogu se potpuno pripisati ovom faktoru, nego je potrebno uključiti i ostale faktore. Izravnavanje površine je predstavljen kao drugi uticajni faktor. Lakirana i nelakirana površina slike je pokazala razlike u refleksionom spektru (refleksioni spektar lakiranih uzoraka se smanjuje) što je objašnjeno promenom stanja površine uzoraka. U postavci merenja sa povratno rasutim gonio spektrometrom (gde su sakupljeni zraci svetla u istom uglu kao upravni ugao ovih mikro glatkih površina) smanjivanje spektra je što je objašnjeno sa smanjenjem malih glatkih površina (koji sa svojom spekularnom refleksijom dodaju difuznoj), koje se formiraju na površini slike nakon lakiranja. Lak se prilagođava površini kod veoma tankih nanosa, dok u najvećem broju slučajeva, nezavisno od hrapavosti površine ravna površine na isti način. Ovaj efekat je vidljiv i sa klasičnom postavkom posmatranja  $0/d$ , bez spekularne komponente gde je isto došlo do razlike u spektrima lakirane i nelakirane površine izazvane promenom stanja na površini slike, dok u istoj postavci ali sa uključenom spekulansom komponentom, ovaj efekat skoro da nije vidljiv.

Za potvrđivanje uticaja izravnavanja urađena su i goniometrijska merenja, koja su potvrdila prethodne postavke i doprinele zaključku da se razlike između indeksa prelamanja sakrivena sa izravnavanjem površine lakiranja. Treći faktor adsorpcija sloja laka, isto dovodi do drugog smanjivanja refleksionog spektra i do žućkastog izgleda. Simonot i Elias (Simonot i Elias, 2004) su uradili modeliranje i merenja sa dvosmernom difuznom reflektancijskom spektrom lakirane i nelakirane površine. Pokazano je linearno snižavanje svetline i zasićenja, dok je ton ostao nepromenjen. Ove promene, kao i promena boje, su veće kada je pozadina svetlija ili je vrednost zasićenja veća. Ove promene su upoređene sa sličnim promenama do kojih dolazi usred promene hrapavosti površine. Kao zaključak ovog istraživanja može se reći da lakiranje površine ne utiče na ton kao psihofizičku komponentu, dok svetlina i zasićenje zavise od indeksa prelamanja slike  $n_p$  uz zavisnosti od vrednosti indeksa prelamanja laka  $n_v$ . Ako je  $n_p > n_v$  svetlina i zasićenje raste, i ako je  $n_p < n_v$  svetlina se uvek smanjuje, dok zasićenost raste za svetle delove slika a zasićenje se smanjuje za tamne delove.

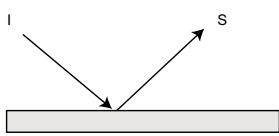
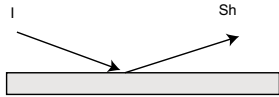
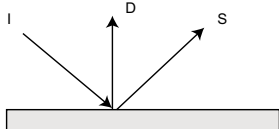
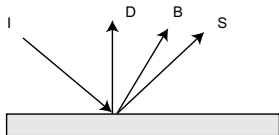
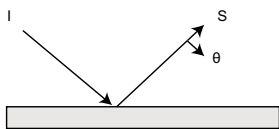
## 4. SJAJ I DRUGE GEOMETRIJSKO OPTIČKE KARAKTERISTIKE MATERI-JALA

Geometrijski atributi objekata kod posmatranja objekata kao što je sjaj, zamagljenost, isijavanje i providnost se percipiraju kao zasebne komponente od osećaja neke boje. Sjaj je geometrijska osobina površine koja je čini sjajnom ili reflektujućom sličnom ogledalu. Percepcija sjaja je povezana sa načinom kako objekti reflektuju svetlost, naročito u zavisnosti od toga kako je svetlo reflektovano sa površine objekta na i blizu spekularnog smera. Spekularna refleksija može varirati od površine do površine zbog (Hunter, 1987):

1. Dela svetla reflektovanog u spekularnom smeru
2. Načinu i količine svetla koja je raširena na jednu od obe strane spekularnog smera
3. Promene faktora spekularne refleksije kako se menja spekularni ugao

Sjaj se najčešće percipira nezavisno od boje; ipak može na njega da utiče boja objekta koja se nalazi ispod ili da utiče na osećaj boje samog objekta. Ipak najčešći slučaj je da se osećaj sjaja izdvoji iz ukupnog vizuelnog doživljaja, kao što se izdvaja od osećaja boje (Pointer, 2003). Vizuelna karakteristika prema Lindstrandu (Lindstrand, 2002) je jedna od najvažnijih faktora kvaliteta reprodukovane slike, i direktno (kao nedostatak smetajućih efekata bljeska) i indirektno (nisko smanjivanje jačine percipiranog stimulusa boje) za sve površine uključujući štampane i neštampane površine.

Prema nekim autorima kao što su Arney-a i Niloseku (Arney i Nilosek, 2007) sjaj nije samo karakteristika materijala nego i grupa vizuelnih efekata koji su proizvedeni sa karakteristikama materijala podloge. Karakteristike materijala koje doprinose sjaju uključuju indeks prelamanja, absorpcioni koeficijent i distribuciju površinskih mikropovršina. Percepcija varijacije sjaja zavisi od spektralne distribucije reflektovanog svetla sa odštampane površine, kao i osvetljenja i uslova posmatranja. Osećaj sjaja i povezani fenomeni kao što je zamagljenost i isijavanje su kompleksni fenomeni i teški za istraživanje zato što je teško kontrolisati i pouzdano reprodukovati način kako površina reflektuje svetlo i realne uslove posmatranja (Lindberg et al., 2002). Hunter je 1934 napravio uređaj za instrumentalnu karakterizaciju sjaja koji je merio površinu pod uglom od  $45^{\circ}$  i definisao je šest tipova vizuelno zasebnih kategorija za ocenu geometrijskih osobina površina (Hunter i Harold, 1987) prikazanih na slici 13.:

1 Spekularni sjaj	Odnos reflektovanog svetla u specifičnom uglu u odnosu na upadno svetlo u istom uglu na površini sa druge strane normale		$G = \frac{S}{I}$
2 Bljesak	Sjaj u malim upadnim i uglovima posmatranja		$G = \frac{Sh}{I}$
3 Kontrastni sjaj (maglovitost)	Odnos spekularnog i difuznog svetla reflektovanog upravno na površinu		$G = \frac{S}{D}$
4 Nedostatak maglovitosti	Mera nedostatka maglovitosti ili mlečnog izgleda blizu spekularno reflektovanog svetla		$G = \frac{B-D}{I}$
5 Jasnost slike	Oštrina spekularno reflektovanog svetla		$G = \frac{dR}{d\theta}$
6 Nedostatak sjaja površinske teksture	Percepcija uniformnosti i glatkoće površine	Ukupna vizuelna procena.	

Slika 13. Šest tipova sjaja

Zbog kompleksnosti tačnog definisanja sjaja i njegove vizuelne korelacije razvijeno je nekoliko instrumenata na osnovu više istraživanja i u daljem pregledu će se dati kratak prikaz tih istraživanja i dobijenih rezultata. U svom priručniku za evaluaciju i karakterizaciju sjaja Hanson (Hanson, 2006) je definisao nekoliko optičkih karakteristika materijala koja utiču na percepciju sjaja:

- Površinski sloj (ili namerno nanešen prekrivni sloj, ili nagomilana prašina ili druga zagađenja) može da rezultuje u tankom (potencijalnom neuniformnoj) sa različitom površinom od nosećeg materijala. Ovo može da izazove plavičasti ton najverovatnije zbog Rayleighovog rasipanja svetlosti.
- Zakrivljenost uzorka ( u veličinama iznad mm skale) unapređuje vidljivost sjaja ali predstavlja problem za instrumente koji su konstruisani da mere ravne uzorke.
- Neujednačenost završnog površinskog sloja (blizu mm skale) može da izazove vizuelni osećaj koji se definiše kao narandžina kora. Ova problematika je naročito izražena u automobilskoj industriji gde je efekat izražen kada se akrilni elementi premažu sa lakom.

Efekat je primenjiv i na premazima keramičkih površina.

- Polarizacija svetlosti. Svetlost koja se spekularno reflektuje sa metalnih površina se delimično eliptično polarizuje, dok nemetalne površine uključuju određenu linearnu polarizaciju svetla.
- Oriјentacija uzorka. Neki od materijala kao što je somot pokazuju različite osobine sjaja u zavisnosti od ugla rotacije.

Uprkos kompleksnosti vizuelne karakterizacije, najčešće korišćeni metod za karakterizaciju papira i otisaka je neka forma instrumentalnog merenja u spekularnom smeru. Rezultat se često interpretira kao indikacija kvaliteta sjaj-što je viša vrednost sjaja, da je proizvod bolji, iako je srednje vrednost sjaja najpogodnija za veliki broj proizvoda (Lindstrand, 2002). Za ovaj tip proizvoda uređaj za merenje sjaja ne daje informacije o kvalitetu sjaja ili da li je postignut odgovarajući stepen sjaja. Uniformnost sjaja je isto jedna od glavnih kriterijuma za optimizaciju u potrazi za definisanjem kvaliteta sjaja. Studija ove problematike je predstavljena u radu (Fetsko i Zettlemyer, 1962) i (MacGregor i Johansson, 1991). U razradi metodologije za vizuelnu evaulaciju sjaja Ferwerd i sotali su u radu (Ferwerda i ostali. 2001) su koristili tehniku sinteze slike za istraživanje veze između fizičkih dimenzija sjajne reflektance i perceptualnih dimenzija sjajnog osećaja nekog objekta. U svom radu su otkrili da dimenzionalnost percepcije sjaja i perceptualne prihvatljive i uniformne ose u „prostoru sjaja“, koje omogućavaju predviđanje primetljivih razlika u sjaju. U radu su prikazali dve dimenzije za percipirani sjaj: kontrastni sjaj i izdvojenost (različitost) reflektovane slike za posmatrane uzorke. Pošto su slike bile generisane na računaru i simulirale su ahromatične sjajne uzorke teško je izvesti iz njihovog rada uopštene zaključke.

U svojoj studiji na obojenim uzorcima Boshoff (Boshoff, 1958) je tvrdio da je oštrina refleksije slike visoko sjajnih površina kritična, dok za manje sjajne površine najveća osmotrena svetlina (blizu spekularnog ugla) i promene u svetlini uzoraka su vezane za uglove koji su dosta udaljeni od ugla sa najvećom vrednošću svetline kao najvažnije varijable. U svojoj tezi Lindstrand (Lindstrand, 2002) je predstavio novu metodu za vizuelnu evaulaciju i kvalitet osećaja sjaja. On uvodi korišćenje vektorski reflektovanih mapa (eng. reflection vector maps, RVM) kao aproksimaciju optičkih ekvivalenata površine i sastoji se od mikropovršina koje daju prostorno razdvojive informacije o usmerenoj reflektanci i vidljiv ugao nagiba prema površini. Usmerena reflektanca karakteriše mogućnost individualnih mikropovršina i nagiba da reflektuju svetlost. Za vidljivi nagib ili „iskošenje“ autora misli na prikupljenu informaciju ugla ravni mikropovršina u odnosu na fizičku površinu, zajedno sa ugaonim odstupanjem refleksije na koji utiče površinska hrapavost. Lindstrand uvodi indeks Glatkoće Ugla Sjaja (eng. Gloss Angle Smoothness, GAS), koji se dobija iz RVM mapa i predstavlja ga kao ob-

jektivnu meru za vizuelnu procenu ujednačenosti percipiranog sjaja neke površine. U principu svaka od mikropovršina se ocenjuje pozitivno ili negativno sa indeksom ocenjivanja u ospegu od +1 do -1 u zavisnosti od svog ugla nagiba. Indeks ocenjivanja se množi sa reflektancijom mikropovršine da se dobije broj za ocenu mikropovršine, a srednja vrednost za sve mikropovršine i nagibe se daje kao indeks Glatkoće Ugla Sjaja tj. GAS-index. U svojem istraživanju Xo i drugi (Xo i ostali, 2008) su uradili uporedno merenje u cilju istraživanja kako posmatrači percipiraju 3D teksturu (neravnoću) i spekularnost tj. sjaj i uradili su model kako jedna karakteristika utiče na drugu. Prema njima idealni ljudski posmatrač koji ocenjuje sjaj bi trebalo da ignoriše varijacije u površinskoj teksturi materijala i obrnuto da se isključi sjaj u posmatranju površinskih karakteristika. Nasuprot tome, većina ljudskih posmatrača je u eksperimentu osećalo da je fizički sjajnija površina neravnija tj. hrapavija i fizički hrapavija površina sjajnija uprkos postojećoj binokularnom disparitetu. Ovi rezultati se podudaraju sa prethodnim radovima u kojima su zakrivljene površine sa višom vrednošću sjaja davala utisak da ima veći stepen zakrivljenja nego uzorci sa manjim vrednostima sjaja. Izračunati stepen kontaminacije je dao 11% za kontaminaciju hrapavosti sjajem i 27% kontaminacije sjaja sa neravninama površine relativno u odnosu na korišćeni niz stimulusa. Autori daju hipotezu da su interakcije kod posmatrača uzrokovane sa neidealnom metodom učenja i da dodatni trening ljudskih posmatrača može da unapredi tačnu vizuelnu evaluaciju hrapavih sjajnih površina.

#### 4.1. STANDARDIZOVANO ODREĐIVANJE VREDNOSTI SJAJA

Radi tačnog određivanja vrednosti sjaja neophodno ga je instrumentalno odrediti uz pomoć odgovarajućeg mernog instrumenta. Ugao upadnog svetla i metode merenja zavise od površinskih karakteristika koje se mere. Primenom Fresnelovih formula i određivanjem srednje vrednosti reflektivnog koeficijenta za paralelno i upravno polarizovanu svetlost se može odrediti vrednost refleksije za neki nepolarizovani izvor svetla. Klasični uređaji za merenje sjaja (glosimetri) mere intenzitet spekularne refleksije uzorka ( $I_{uzorak}$ ) u odnosu na neki gladak referentni standard ( $I_{referentni}$ ) za određeni ugao merenja. Srednja vrednost sjaja  $G_s$  se može definisati sa sledećom formulom:

$$G_s = 100 \times I_{uzorak} / I_{referentni} \quad (4.1.)$$

gde je  $I_{uzorak}$  intenzitet reflektovanog svetla a  $I_{referentni}$  intenzitet upadnog svetla izmeren od strane nekog mernog instrumenta.



ASTM D523 standard koji se najčešće koristi za opis spekularne standardizovane veličine jedinice sjaja za nemetalne površine (eng. Standardized gloss unit, SGU) (ASTM D523, 1999):

*Staklena pločica sa indeksom refleksije od  $n=1,567$  na talasnoj dužini od 589,3 nm*

*Ima vrednost spekularne vrednosti sjaja (SGU) od 100 jedinica za bilo koji ugao.*

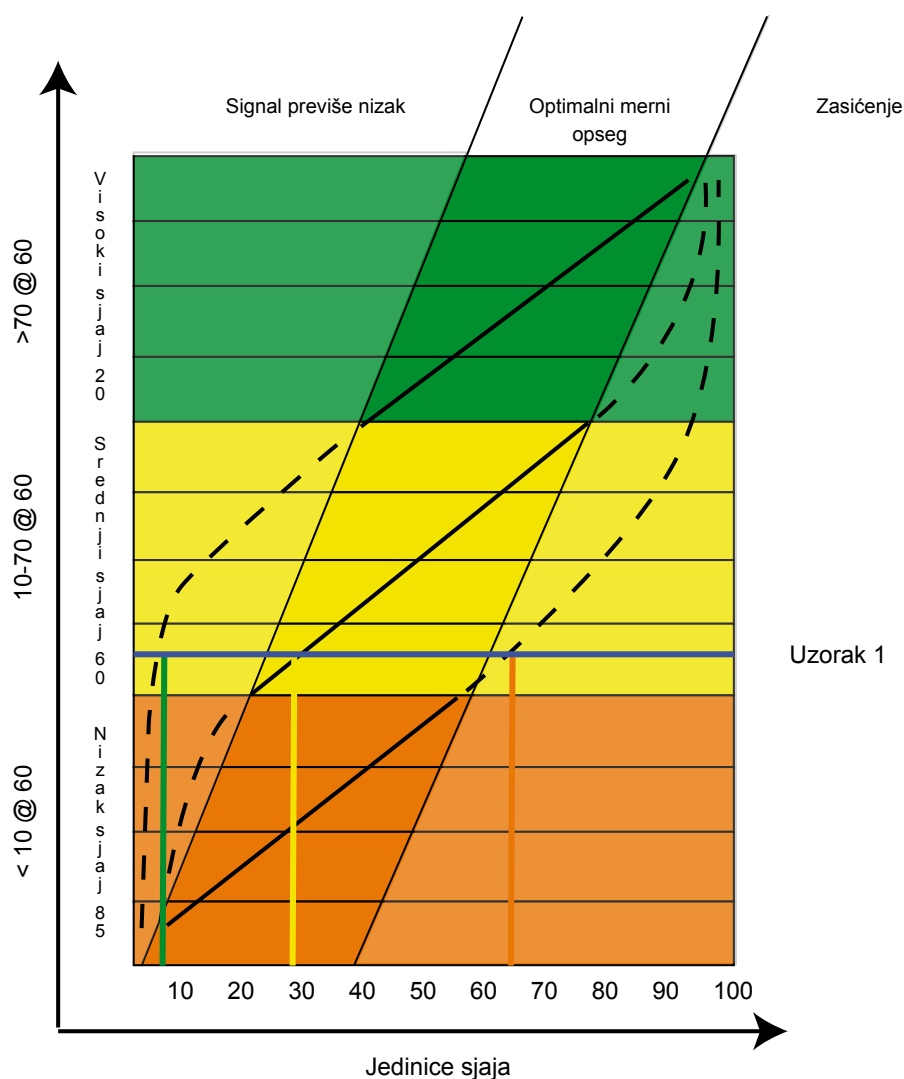
Ova crna staklena ploča najčešće dolazi uz uređaje za merenje sjaja kao kalibracioni standard i predstavlja referentni uzorak sa kojim se upoređuju vrednosti refleksije sa izmerenim površina. Neki materijali kao što su visokosjajni metali mogu imati vrednosti i do 2000 SGU i za njih je potrebno spremati drugačiji tip referentne kalibracije. Zbog velikog broja postojećih materijala je određeno nekoliko uglova merenja intenziteta refleksije. Spomenuti ASTM D523 standard kao i ISO standard 2813 predviđaju merenje sa tri ugla od  $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  i  $85^{\circ}$ . Odabir mernog ugla najviše zavisi od vrste materijala. Pregled preporučenih uglova merenja i odgovarajućih standarda je dat u Tabeli 1.

Tabela 1. Standardi i preporučeni uglovi merenja sjaja

	$20^{\circ}$	$65^{\circ}$	$85^{\circ}$	$45^{\circ}$	$75^{\circ}$
Primena	Premazi, boje, plastika i slični mat.			Keramika	Papir
	Visok sjaj	Srednji sjaj	Nizak sjaj	Srednji sjaj	Nizak sjaj
DIN EN ISO 2813	☑	☑	☑		
ASTM D 523	☑	☑	☑		
ASTM D 2457	☑	☑	☑	☑	
DIN 67530	☑	☑	☑		
JIS Z 8741	☑	☑	☑	☑	☑
ASTM C 346				☑	
Tappi T 480					☑
EN ISO 7668	☑	☑	☑	☑	

Prema preporukama ASTM D523 i ISO 2813 standarda za merenje spekularnog sjaja površine treba prvo meriti sa uglom od  $60^{\circ}$ . Ukoliko jedinica sjaja za dati materijal prelazi preko vrednosti od 70 jedinica sjaja (GU), treba posmatrati vrednosti koje se dobijaju pod uglom merenja od  $20^{\circ}$ . Ovi uzorci spadaju u visokosjajne uzorke. Ako je vrednost jedinice sjaja u uglu  $60^{\circ}$  niža od 10 jedinica sjaja treba koristiti podatke dobijene u uglu od  $85^{\circ}$ . Materijali koji se najčešće mere pod ovim uglom spadaju u materijale sa mat optičkim karakteristikama.

Na Slici 14. je prikazan dijagram vrednosti jednice sjaja u zavisnosti od odabrane geometrije merenja.

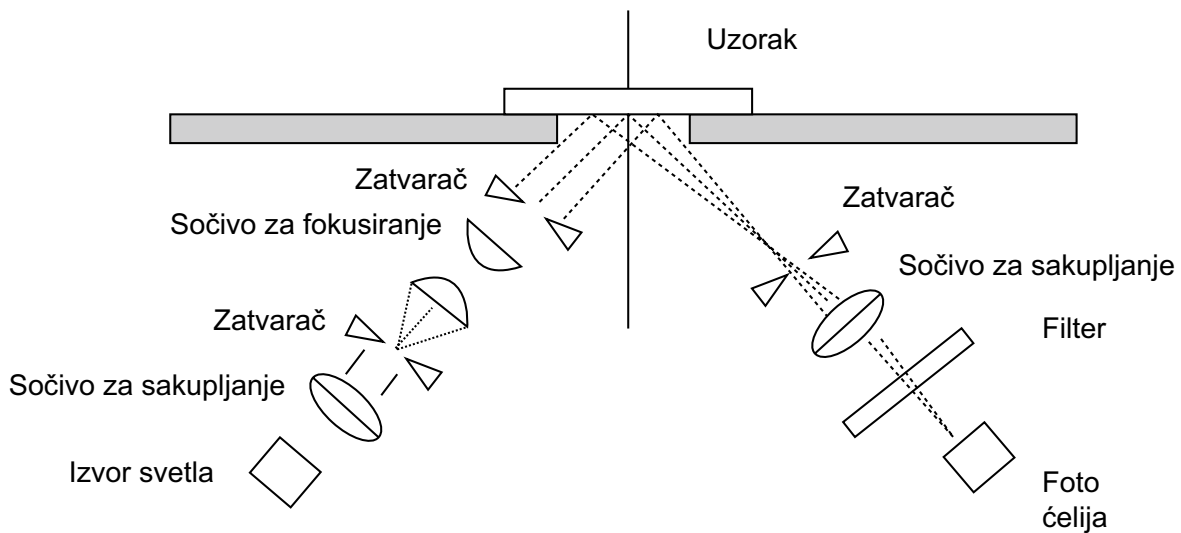


Slika 14. Vrednosti jednice sjaja u zavisnosti od odabrane geometrije merenja.

U svom radu (Arney i ostali., 2006) su istraživali uticaje koji menjaju vrednosti očitnog sjaja u različitim uglovima. Konstruisali su kvantitativni model uređaja za merenje sjaja prema Fresnelovim zakonima površinske refleksije i kombinovali su ga sa empirijskim BRDF funkcijama. Upoređivanjem modela sa eksperimentalnim podacima su dobijeni rezultati koji ukazuju da širina BRDF a time i hrapavosti površine u najvećoj meri utiče na očitivanje uređaja za merenje sjaja. Razlike u indeksu prelamanja prema dobijenim podacima ima manju ulogu. Autori su i upoređivali merenja nekoliko uređaja za merenje sjaja sa istim uglom merenja, i na osnovu dobijenih rezultata autori predlažu korišćenje više uglova umesto samo jednog ugla za merenje kod klasičnih uređaja za merenje sjaja.

## 4.2. INSTRUMENTALNE METODE ZA MERENJE SJAJA

Većina instrumenata koji su konstruisani da direktno mere spekularnu refleksiju se zovu uređaji za merenje sjaja ili glosimetri. Spekularni uređaj za merenje sjaja je instrument koji meri spekularnu refleksiju pod određenim uslovima koji korelišu sa sjajnošću ili sjajem neke površine. Ne postoji pojedinačna standardna procedura ili standardni posmatrač za sjaj. Skala sjaja koji se koriste su dobijene empirijskim putem, ređanjem uzoraka prema njihovim vizuelnim atributima, i dodatnom primenom numeričke skale i geometrije za dobijanje najbolje korelacije između dve veličine (Hunter i Harold, 1987). Klasična konstrukcija uređaja za merenje sjaja je prikazana na slici 15.



Slika 15. Građa klasičnog uređaja za merenje sjaja

Pored klasičnih uređaja za merenje sjaja koji mere na osnovu jednakih suprotnih uglova osvetljenja i detekcije su konstruisana i neka dodatna rešenja za tačnu karakterizaciju sjaja sa površina. U radu Arney sa grupom autora (Arney i ostali, 2004) su konstruisali mikro goniometar. Početna hipoteza koju je činila osnovu za gradnju uređaja je bila da prostorna rezolucija (mikro) i ugaona rezolucija (gonio) su potrebne da bi uređaj za kvantifikovanje dao odgovarajuće vrednosti koji korelišu sa vizuelnom percepcijom sjaja. Uređaj koristi polarizovanu svetlost da bi se izbeglo mešanje difuznog i spekularnog svetla. Spekularno svetlo je instrumentalno definisano kao razlika očitano svetla dobijenog sa polarizacionim filterom koji je postavljen ortogonalno i paralelni smeru polarizacije upadnog svetla. Konstruisani instrument razvijen u ovom projektu meri spekularno i difuzno svetlo kao površinsku radiancu distribuiranu u uglu  $\alpha$  u odnosu na spekularni smer površine, a koju definiše uzorak, detektor i osvetljenje. Korišćenjem ovog instrumenta autori su pokazali da efekat površinske hrapavosti se može razdvojiti od efekata u

varijaciji indeksa prelamanja. Isti autor (Arney i Nilosek, 2007) su korišćenjem ovog uređaja dobili dalju karakterizaciju površinskih karakteristika koje utiču na očitavanje sjaja. Dodatnom kalibracijom uređaja u crvenom, zelenom i plavom opsegu svetla, dobijena merenja su ukazala na hromatske promene u optičkim konstantama i efekti podslojnih spekularnih doprinosa na sjaj.

Pošto je sjaj uvek nerazdvojivo vezan za površinsku hrapavost i ostale topografske karakteristike nekoliko autorskih timova je pokušalo uraditi kombinaciju karakterizacija površina i sjaja sa nekoliko instrumentalnih metoda. U radu (Juuti i ostali, 2007) su konstruisali i predložili mernu tehniku zasnovano na istovremenoj karakterizaciji lokalne površinske hrapavosti i spekularnog sjaja. Metoda se zasniva na merenju reflektovane svetla pod upravnim uglom osvetljavanja i skeniranjem željene površine. Merenja površine su urađena sa nisko koherentnim infereometrom (eng. low-coherenceinterferometer, LCI), dok je spekularni sjaj kvantifikovan sa glosimetrom sa difraktivnom optikom (DOG). Površinska hrapavost je merena i sa CT kompjuterskom tomografijom sa principom apsorpcije X zrakova u višestrukim smerovima u odnosu na upadni smer. Rezultati su ukazali da varijacije u površinskoj hrapavosti, gustini pora i optičkih karakteristika ispitivanih uzoraka karakterizacija sjaja predstavlja izazov. Ipak korišćenjem različitih metoda kao što su CT, LCI i DOG se ovi problemi mogu rešiti sa analizom tomografskih rekonstrukcija, površinskom topografijom i mapama sjaja. Dobijeni rezultati ukazuju da dvodimenzionalni podaci o nagibima dobijenim DOG i LCI metodom se mogu koristiti za evaluaciju sjaja i površinskih karakteristika malih površina.

U svom radu Elton i Day (Elton i Day, 2009) su korišćenjem reflektometra sa vidljivom svetlošću opisali simultano merenje indeksa prelamanja, sjaja, mikrohrapavosti (rms amplitudu u regionu ispod talasne dužine) i dvodimenzionalne šare rasipanja (koje daju distribuciju nagiba površine i odgovarajućih statističkih metoda) na sjajnim i polusjajnim uzorcima. Novina u korišćenoj metodologiji je mogućnost prema rečima autora da se dobiju korisni podaci u jednom merenju. U kombinaciji sa x-y površinom reflektometar može da proizvede površinske mape različitih parametara merenja i time ukaže detaljnije na mehanizme formiranja sjaja. U radu su date ilustrativne eksperimentalne vrednosti i urađeno je upoređivanje podataka dobijenih sa reflektometrom i alternativnim tehnikama kao što su spektroskopska elipsometrija i AFM metoda karakterizacije površina.

McGregor i Johansson su u svom radu (McGregor i Johansson, 1991) analizirali karakteristike površina premaznih papira i razradili predlog za evaluaciju sjaja putem digitalne obrade slike.

Korišćenje digitalne obrade slike sa odgovarajućim fotoreceptorima je prilaz koji su obrađivali u nekoliko publikacija. Jedno od rešenja bazirano na CCD kameri je predstavljena u radu Kipman i drugih (Kipman i ostali, 2001). Korišćenjem linearne kolimirane svetlosti kao izvora svetlosti i kamere za linijsko snimanje je urađena kvantifikacija sjaja uzoraka. Izvor

svetla i kamera se mogu postaviti u željeni ugao radi dobijanja višegaonih merenja. Korišćenje linearnog izvora svetla autori su obrazložili time da omogućava uniformnije osvetljavanje površine posmatranja, a kolimiranje obezbeđuje ugao upadnog svetla. Kamera sa linearnim nizom CCD elemenata omogućava kvalitetno snimanje i rešava problem dubina polja kada se koristi u svim uglovima sem upravnim. Probna merenja su ukazala na potencijal ove metode za određivanje nekih od karakterističnih oblika sjaja, i autori predlažu unapređivanje ove metode sa dvodimenzionalnim Furierovim transformacijama kao alternativnom načinu merenja optičkih karakteristika materijala.

Drugi pristup karakterizaciji sjaja i drugih refleksivnih efekata sa površine korišćenjem digitalne obrade slike je opisano u radu Motoyoshi-a i drugih (Motoyoshi i ostali, 2007) gde su ukazali da nesimetričnost distribucije histograma svetline i nesimetričnost odziva podtalasnih filtera korelišu sa površinskim sjajem i inverzno korelišu sa površinskom senkom. Autori tvrde da ljudski posmatrači koriste nesimetričnost distribucije, ili slične mere histogramске nesimetričnosti u ocenjivanju površina. Kada slika neke površine ima pozitivnu distribuciju nesimetričnosti, daje izgled tamnije i sjajnije površine nego one sa niskom nesimetričnom distribucijom. Tokom ispitivanja su nađeni i vizuelni naknadni efekti koji se baziraju na nesimetričnosti kao što je adaptacija na ponavljajuće šare, gde nesimetrična statistika slike može da promeni vidljivu svetlinu i sjajnost površina koje se jedna za drugom posmatraju. Autori na osnovu ovoga pretpostavljaju da postoje neki neuralni mehanizmi koji su osetljivi na statističke vrednosti asimetričnosti i da se te izlazne vrednosti mogu koristiti za procenjivanje karakteristika površina.

Upoređivanjem goniometričke metode, klasične metode za sjaj i spektrometrijskih metoda za određivanje sjaja se bavila grupa autora Kauppi i drugi (Kauppi i ostali, 2007). U ovom radu je predložena metoda određivanja sjaja sa goniometrijskim sistemom za slikanje koji snima refleksiju slika i time otkriva površinske varijacije sjaja na papirnim uzorcima.

#### 4.3. MEĐUZAVISNOST SJAJA I DRUGIH OPTIČKIH KARAKTERISTIKA I OSEĆAJA BOJE

Ukupan ili totalni osećaj bilo kojeg objekta je kombinacija njegovih hromatskih atributa (boje, definsiane kroz svetlinu, ton i zasićenje) i njegovih geometrijskih atributa (kao što su sjaj, providnost, tekstura, oblik) unutar okruženja u kojem se objekat posmatra. Način kako svi ovi parametri utiču na percepciju posmatrača je kompleksan fenomen: fizički parametri vezani za posmatrani objekat su pod uticajem fizioloških odziva u vizuelnom sistemu, kao i prethodnim iskustvom, kulturom i tradicijom posmatrača. Istraživanje međuuticaja geometrijskih i hromatskih komponenti omogućava dobijanje dodatnih podataka za lakšu karakterizaciju obojenih površina. Mnoga istraživanja se vrše na proceni uticaja sjaja na percepciju boje i kvaliteta

reprodukovanih slika u štampi. Nedavno je tim pod imenom International Committee for Information Technology Standards (INCITS) počeo da radi na projektu W1.1 koji uključuje stvari vezane za standardizaciju perceptualnog sjaja i uniformnosti sjaja kod štamparskih sistema (Ng i ostali, 2003). Boja i karakteristike tona štampanih slika su određene sa Lambertovskim refleksijama svetla unutar sistema boja/papir. Kao dodatak ovim Lambertovskim refleksijama, štampane slike imaju površinsku spekularnu refleksiju koju kao što je predstavljeno u prethodnom delu poglavlja je prvenstveno zaslužan za karakteristični sjaj slike. Spekularna refleksija je najčešće veoma usmerene prirode i ne bi trebalo da bude deo odštampane slike, i zato posmatrač najčešće drži uzorak na način da se efekat sjaja minimalizuje. I pored toga, sjaj je i dalje komponenta ukupnog vizuelnog osećaja tako da priroda sjaja utiče na celokupni osećaj kvaliteta štampanog proizvoda (Coleen, 2009). Ispitivanjem spekularnih karakteristika obojenih površinane koliko vrsta tehnika štampe dobijeni su rezultati koji ukazuju da optička gustina nanete boje ima uticaj na spekularnu komponentu refleksije. U radu Arneya i drugih (Arney i ostali, 2006) su štampani uzorci sa elektrofotografskim metodom, ofsetnom tehnologijom i termalnom transfer tehnologijom štampanja. Za merenje su koristili goniometrijski instrument za dobijanje odgovarajućih vrednosti BRDF funkcije. Rezultati su jasno ukazali da je količina spekularnog svetla reflektovanog sa štampane površine direktno zavisna od optičke gustine uzorka. Dobijena je linearna korelacija za ukupnu količinu spekularnog svetla reflektovanog sa površine i transmitancije sloja boje. Visoko transparentne boje (kao što je žuta boja merena sa crvenim svetlom) je reflektovala otprilike dva puta više spekularnog svetla nego visokoapsorbujuće boje (žuta boja sa plavom ili cijan sa crvenom). U radu se sugerije da spekularne refleksije ispod sloja boje mogu u velikoj meri da doprinesu ukupnoj spekularnoj reflektanci odštampane slike.

Mikula i ostali (Mikula i ostali, 2002) su eksperimentom kolorimetrijskih merenja iz više uglova sjaja odštampanih i lakiranih uzoraka, dobili rezultate: da sjaj i rasipanje svetlosti uzoraka utiče na izmerene koordinate boja u širokom rasponu uglova merenja. Kod visokosjajnog laka pik svetline prelazi uobičajne vrednosti, dok sa udaljavanjem od spekularne regije refleksije svetlina je stabilna bez obzira na tip korišćenog laka. Malo više vrednosti sa neoplemenjenog otiska su dobijene sa većim optičkim rasipanjem sa difuzne površine. Zasićenje ( $C_{ab}^*$ ) u velikoj meri se smanjuje u širokom opsegu spekularnih uglova, zavisno od sjaja površine, zbog odsjaja izvora svetla od sjajne površine umesto difuznog svetla dobijenog od odštampane površine. Ipak, u velikom opsegu uglova koji okružuje uzak spekularni region zasićenje sjajnih uzoraka je veće od mat uzoraka. Ugao tona ( $h_{ab}$ ), je kod mat uzoraka pokazao mala odstupanja, dok kod visokosjajnih površina ima visok pik, a neoplemenjena površina bez laka dva pika sa smanjenim vrednostima, što je objašnjeno temperaturom i bojom izvora svetla. Kao zaključak se navodi da se svetlina, zasićenje i ugao tona u velikoj meri menjaju u zavisnosti od sjaja uzoraka. Sjaj i efekti rasipanja utiču na izgled i osećaj boja u velikom uglu

detekcije, i potvrđuju da je došlo do promena zasićenja zbog oplemenjivanja i lakiranja.

Dalal i Natale-Hoffman su ispitali uticaj sjaja na reflektovanu boju (Dalal i Natale-Hoffman, 1999) u kojem su razvili model koji je uzeo u obzir geometriju mernog instrumenta. Model uzima u obzir da totalna površinska refleksija datog uzorka je nezavisna od sjaja i da je određena samo sa indeksom prelamanja i uglom upadnog svetla. Iako je totalna površinska refleksija bila fiksirana, spekularna komponenta je rasla ( a difuzna se smanjivala) sa porastom vrednosti sjaja uzorka. Prema tome difuzni refleksioni faktor meren sa spektrofotometrom se smanjuje sa sjajom uzorka. Autori su definisali krivu koja je podešena prema izmerenim refleksionim faktorima crnih digitalnih otisaka za vrednosti sjaja merenih sa 0/45 i difuznom mernom geometrijom, i pomoću ove krive su predvideli CIE LAB vrednosti boja za druge boje na različitim vrednostima sjaja. Tipična vrednost razlike između previđene boje i izmerenih boja se kretala oko 3 CIELAB E\* jedinice.

Ispitivanjem uticaja boje i površinske topografije na indeks prelamanja na ofsetnim štampanim otiscima je deo istraživanja u radu Prestona i Gatea (Preston i Gate, 2005) koji su merili indeks prelamanja sa goniofotometrom. U prethodnom istraživanju rezultati su pokazali da je porozna struktura papira dovela do oticanja ulja iz štamaprskih boja, koje je dovelo do koncentracije pigmenata na površini. Rezultujuća površina je bila gruba i dala je smanjeni sjaj sloja boje. Merenjem je utvrđeno da efekat merenja boje na indeks prelamanja je zanemarljiv pri merenju sjaja u uglu od  $75^{\circ}$ . Drugi rezultati vezani za ispitivanje aspekata međuticaja sjaja, teksture i boje se mogu naći u (Kijma i Kandatsu, 2003), (Arino i ostali, 2005).

Sa druge strane nekoliko radova i grupa autora su došli do drugačiji saznanja u vezi interakcije hromatskih i geometrijskih komponenti nekog reflektovanog stimulusa. Wei i drugi (Wei i ostali, 2006) su u svom radu opisali upoređivanje dobijeno sa 20 posmatrača koji su skalirali sjaja 84. obojena uzorka i merenja dobijenih sa uređajem za merenje sjaja i spektrofotometra sa difuznom geometrijom. Sa uređajem za merenje sjaja, veza između podataka dobijenih vizuelnim skaliranjem i izmerenih vrednosti sjaja se mogao opisati sa trodelnom linearnom korelacijom ili nekom višom kvadratnom funkcijom. Za sferni spektrofotometar, razlika u faktoru svetline izražena kroz  $\Delta Y$ , između merenja sa uključenom i isključenom spekularnom komponentom je dala boji linearnu korelaciju sa podacima posmatranja. Prema zaključku autora samo obojenja uzoraka nije u značajnoj meri promenila osećaj sjaja neke površine. Pored uzoraka istraživanje ovih korelacija i međuticaja je testirano i na trodimenzionalnim objektima.

Trodimenzijski objekti kao sastavni deo mnogih računarskih aplikacija iziskuju drugačije prilagođavanje vizuelnog aparata, koji reaguje i na sam trodimenzijski oblik i time menja način percepcije nekog objekta. U radu Xiao i Brainard-a (Xiao i Brainard, 2008) je urađen eksperiment sa usaglašavanjem difuzne komponente računarski generisanih trodimenzijskih sfera sa mat površinom sa referentnom trodimenzijskom sferom. Posmatrači su

prilagođavali CIE L, a, i b koordinate za sferu, dok su sfere varirane sa bojom samog objekta i vrednošću sjaja. Prikupljeni podaci ukazuju na to da posmatračima nije lako da usaglaise srednje vrednosti reflektovanog svetla. Vizuelni sistem se kompenzuje za fizički efekat variranja sjaja, tako da izgled objekta stabilizuje u zavisnosti kako je predviđena srednja vrednost površine. Autori zaključuju da površinski sjaj ima jako mali efekat na izgled i osećaj boje, tako da rezultati podešavanja posmatrača jako malo variraju od srednje vrednosti svetla reflektovanog sa odgovarajućeg referentog testa. Većina testova koji se koriste za simulaciju ili prikaz reflektivnih sposobnosti neke površine i merenje ljudskog odziva najčešće koriste jedno monohromatsko svetlo. U radu Nishida i drugih (Nishida i ostali, 2008) su menjane hromatske komponente spekularne i difuzne refleksije generisanih hrapavih površina sa fiksiranom vrednošću svetline. Autori su uočili nekoliko različitih varijanti u zavisnosti od načina bojenja komponenti refleksije. Kada su difuzna i spekularna komponenta obojena sa belom svetlošću posmatrači su normalno posmatrali sjajne površine. U slučaju kada je difuzna i spekularna komponenta obojene sa istom bojom (na primer crvenom), posmatrači su isto podjednako normalno videli sjajne površine. Kada je spekularna komponenta bila bela a difuzna komponenta obojena, površine su izgleda mnogo prirodnije, što nije bio u obrnutom slučaju (spekularna komponenta u boji, difuzna bela) gde su uzorci se prikazivali kao manje sjajni i kao neuniformno reflektujući. Obojeni svetli regioni su se činili kao prostorno različiti od okruženja osvetljenim sa belom bojom. Ova zapažanja autora daje pretpostavku da ljudski vizuelni sistem tačno uzima u obzir fizička ograničenja boje jako svetlih tonova kada se procenjuje da li je data lokalna promena svetline dobijena postavljanjem svetlih tonova, ili fizičkim uzrokom koji dovodi do promene reflektance. Time se kod konkretne kombinacije crvene i bele boje može reći da bela boja na crvenoj daje najbolje osećaj sjaja, dok crvena na beloj podlozi najlošiji osećaj sjajnosti površina.

Za sada ne postoji jasan konsenzus koji bi u potpunosti uniformno opisao izgled objekta i odgovarajuće skaliranje međuzavisnosti hromatskih i geometrijskih komponenti koje čine optičke osobine nekog objekta. Kod merenja geometrijskih osobina vrednost sjaja zavisi od mernog ugla i načina merenja, dok su predložene neke metode za vizuelnu korelaciju koje odražavaju neku linearnu skalu merenja. Ove metode daju dobru osnovu za buduće dodatno modelovanje mogućih površinskih refleksija oplemenjenih uzoraka i pronalaženje uniformnog načina definisanja geometrijskih veličina kao što je sjaj.



---

## 5. HROMATSKA KOMPONENTA REFLEKSIJE

### 5.1. FIZIČKI STIMULUS I UKUPAN OSEĆAJ BOJE

Percepcija boje je rezultat interakcije između fizičkog stimulusa, receptora u oku koji oseća taj stimulus i neurološkog sistema i mozga, koji su zaduženi za komunikaciju i interpretaciju signala dobijenih iz oka. Ovaj proces uključuje nekoliko fizičkih, neuralnih i kognitivnih fenomena koji moraju biti sveobuhvatno razumljivi i poznati da bi se ljudski vid boja mogao u potpunosti opisati. Dok intenzivna istraživanja dalje traju na ovom atraktivnom području ispitivanja su postigla zavidne rezultate u razumevanju fizičkih fenomena kroz teorije rasipanja svetla, čiji je jedan deo predstavljen u prethodnim poglavljima, neurološki deo fenomena osećaja stimulusa nekog obojenog predmeta još uvek predstavlja delimičnu nepoznanicu i izazov za nova istraživanja. Početni korak u procesu ljudskog osećaja boje je fizički stimulus koji u ljudskom oku izaziva elektromagnetno zračenje talasnih dužina između 380 i 760 nm koje nazivamo vidljivi deo spektra. Upadom fotona svetla na neku površinu dolazi do preraspodele u količini i u smeru svetla koji se odbija ili apsorbuje, a način preraspodele je u direktnoj vezi sa optičkim karakteristikama te površine (tekstura, hrapavost, sjajnost, fizički sastav). Preraspodelom funkcije spektralne snage nekog izvora svetla koji je ozračio posmatranu površinu šalje se reflektovani fizički stimulus u ljudsko oko, koje prima tu fizičku informaciju i u zavisnosti od dodatnih faktora i obrade mozga stvara osećaj koji odgovara tom posmatranom objektu pri datim uslovima. Istraživanje Lindsay MacDonalda (CIE, 2006) predlaže da se ukupni osećaj razloži u tri nadovezajuća koraka izvedenih iz vizuelnog stimulusa, a to su osećaj, percepcija i spoznaja. Predložena terminologija za ove izraze je:

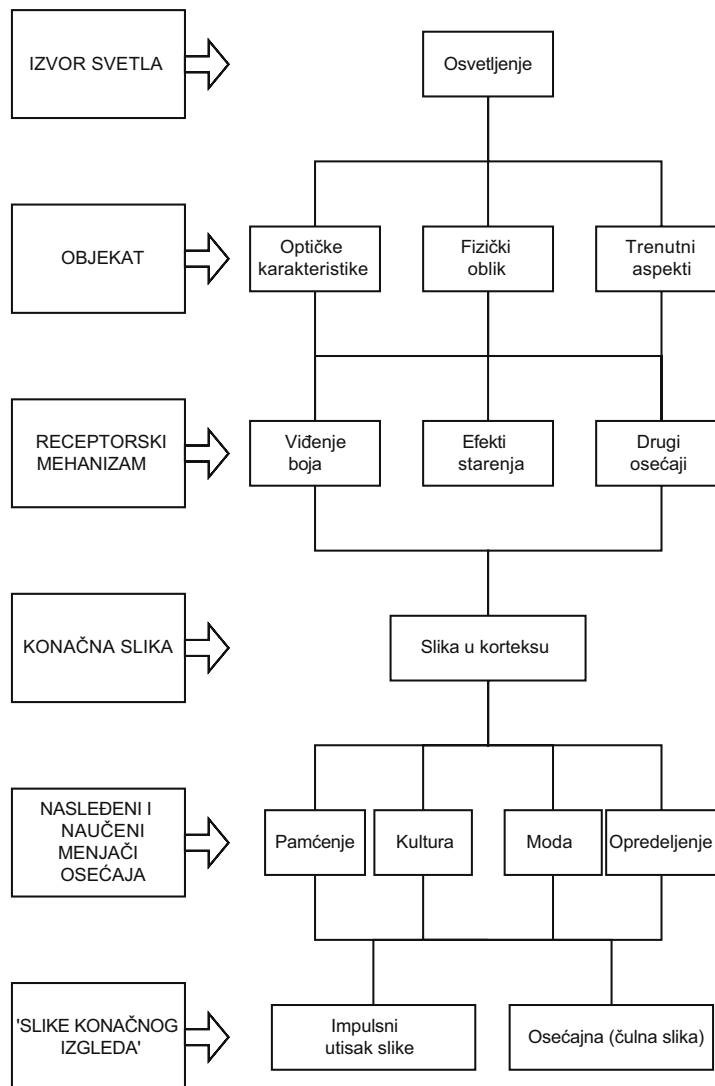
Vizuelni osećaj: "Odziv vizuelnog sistema na stimulus",

Vizuelna percepcija: "Normalizacija vizuelnog osećaja u kontekstu celog vidnog polja", i

Vizuelna spoznaja: "Interpretacija vizuelne percepcije".

Hutchins je u nekoliko svoji radova (Hutchins, 1995a, 1995b, 1999) razradio koncept ukupnog osećaja boje kroz definisanje osnovnih gradivnih elemenata koji učestvuju u kompleksnom procesu stvaranja konačne slike. Na odziv osećaja izgleda utiče viđenje boja od strane posmatrača, efekti starenja koji su specifični za starost posmatrača, i uticaj ostalih čulnih odziva: sluha, mirisa, ukusa i dodira. Dok ovi drugi čulni odzivi ne čine radni okvir za merenje izgleda, njihovo postojanje se ne može prevideti zato što oni utiču na bilo koji subjektivni podatak koji dolazi do posmatrača. Na završnu fazu, koja određuje očekivanja posmatrača, utiču mnogi faktori uključujući prethodne zamisli kakav bi trebao da bude ob-

jekat na osnovu sećanja boja, kulturnih razlika, šta je u modi i ličnih opredeljenja. Na slici 16. su prikazani delovi radnog okvira sa faktorima koji utiču na konačni ukupan osećaj boje.



Slika 16. Faktori koji utiču na ukupan osećaj boje

## 5.2. MEHANIZMI VIĐENJA BOJA I VIZUELNA KARAKTERIZACIJA STIMULUSA

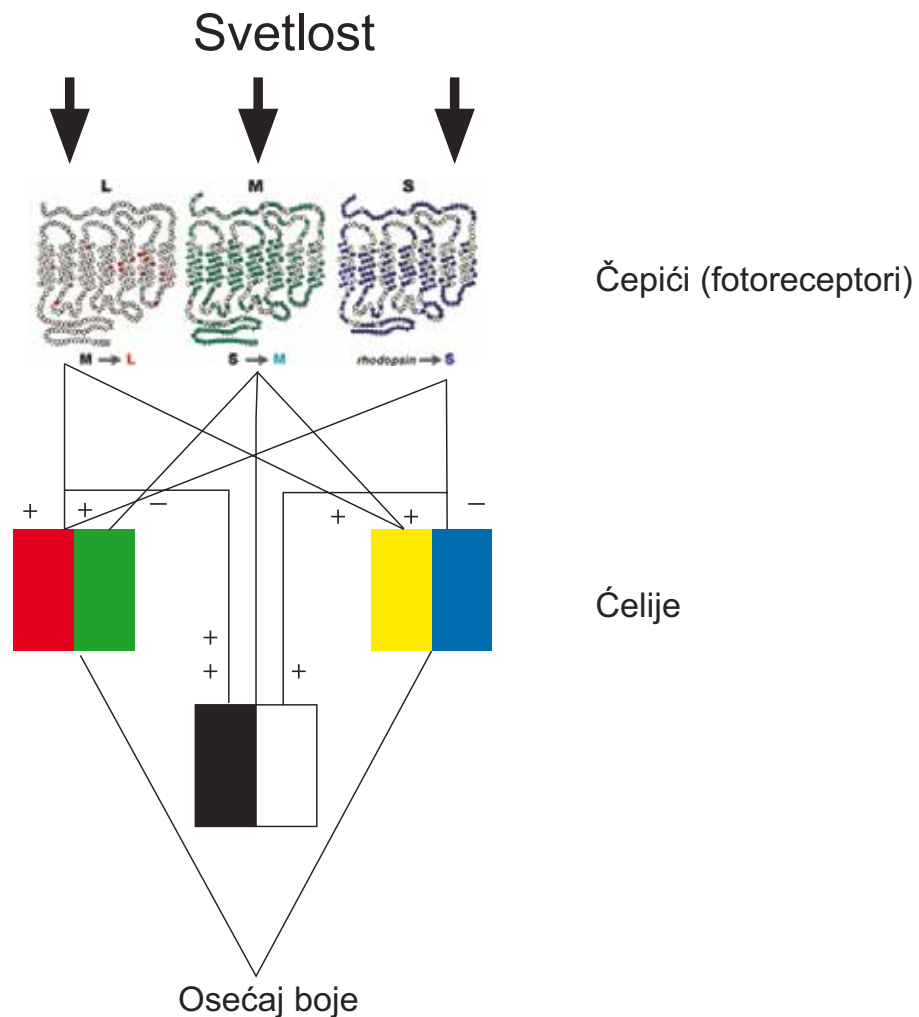
Osećaj tj. percepcija boja posmatrača koju čini kombinacija oka i mozga jedan je od najtežih zadataka za definisanje i merenje. Neki od ovih faktora su psihološke prirode, i tokom dugog niza godina istraživanja razvijene su prihvatljive teorije o ljudskom osećaju boja (Field, 1999). Svetlo ulazi u oko kroz očno sočivo i fokusira se na mrežnjaču, gde niz malih ćelija (fotoreceptora) reaguju na svetlost stimulirajući specijalizovane nervne ćelije koje prenose signal do mozga. Kvalitet slike na mrežnjači zavisi od apsorpcije, rasipanja i karakteristika foku-

siranja rožnjače, sočiva kao i tečnosti koje ispunjavaju staklasto telo (komorna vodica). Ovi optički elementi utiču na spektralne i prostorne osobine fotoreceptora (Berns, 2000). Receptori svetla u mrežnjači oka se zovu štapići i čepići (Green, 1999). Na mrežnjači svakog ljudskog oka se nalazi između 110 do 125 miliona štapića i 4 do 7 miliona čepića tj. fotoreceptora. Štapići koji nisu osetljivi na boje i rade najbolje na niskim intenzitetima osvetljenja (iluminacije), beleže samo informacije o svetlosti. Drugim rečima mogu da odrede koliko svetla su primili, ali ne i koju boju. Pošto su raspoređeni preko cele mrežnjače, štapići reaguju na slike kroz celo vidno polje. Čepići su odgovorni za osećaj boja. Unutar fotoreceptora se nalaze molekuli fotopigmenata, koji nakon prijema svetla određene talasne dužine menjaju oblik i nakon fizičko hemijske reakcije stvaraju biološki odziv u obliku električnog signala koji se prenosi do mozga gde se stvara kranji osećaj boje. Detaljniji opis strukture oka i samog procesa vizuelnog osećaja se može naći detaljnije u (Valberg, 2005), (Gegenfurthner i Sharpe, 1999), i (Backhaus i ostali, 1998).

Jedna od prvih teorija viđenja boja je bila trihromatska teorija viđenja boja, zasnovana na radovima Maxwell-a, Young-a i Helmholtz-a, koja je tvrdila da postoje tri vrste receptora osetljivih na plavi, zeleni i crveni deo spektra. Ova teorija je tvrdila da ova tri receptora primaju tri slike koje su kasnije u mozgu obrađivane radi pravilnog osećaja boje. Sa druge strane vremenski veoma blisko Hering je predložio teoriju o sistemu suprotnih boja. Nakon prvobitnih problema u verifikaciji, i nakon niza istraživanja došlo se do savremene teorije viđenja na osnovu suprotnih boja koja je prikazano na slici 17. Ova teorija suprotnih procesa obrade ima validna objašnjenja za nepravilan vid, kao i za određene osećajne fenomene kao što su simultani kontrast, efekat kontrasta ivica, negativnih naknadnih slika. Na osnovu slike 17. mehanizam viđenja boja se može objasniti i algebarskom terminologijom. Plavo žuta suprotna ćelija, naprimer prima signal od čepića zaduženih za duge (L) i i srednje (M) talasne dužine, i izaziva stimulaciju u ćeliji. Ova stimulacija se može predstaviti kao L + M. Drugi deo ćelije (plavi) prima signal od čepića zaduženih za kratke talasne dužine (S). Može se pretpostaviti da ovaj signal inhibira izlaz ćelije, pa se može predstaviti kao -S. Mrežna aktivnost ćelije se može prikazati kao relacija:

$$\frac{\text{Žuta (+)}}{\text{Plava (-)}} = (L+M)-S \quad (5.1.)$$

Ako je desna strana ove jednačine pozitivna (ako je L+ M veće od S) onda se proizvodi žuti signal (stimulacija). Ako je S veće od L+M, stvara se plavi signal. Na sličan način radi i ćelija sa crvenim i zelenim suprotnim bojama.



Slika 17. Model osećaja suprotnih boja

Samo razmatraje obrade signala boja, u ljudskom vizuelnom sistemu, kao statičnom dijagramu povezivanja nije dovoljno. Dinamički mehanizmi adaptacije koji služe za optimizaciju vizuelnog odziva na određene uslove posmatranja se isto moraju uzeti u obzir (Fairchild, 2005). Važno je imati na umu da razlike u osećaju boja između pojedinaca, kao i varijacije u uslovima posmatranja, će uvek voditi ka različitim perceptualnim iskustvima. Problemi kod modelovanja individualnog vida i uslova je donekle ograničeno sa podesnošću modela baziranih na standardnom posmatraču i standardnih uslovima posmatranja. Korišćenje modela za prikaz boja unutar sistema za obradu boja će u svakom slučaju dovesti do povećanog kvaliteta za rutinsku reprodukciju boja u grafičkoj industriji (Field, 1999). Za simuliranje razlike efekata pri korišćenju različitih iluminanata i uslova posmatranja između originala i neke slike, kao jedna od metoda je i korišćenje modela osećaja boja. Predložen je niz radnih modela od strane velikog broja istraživača (Seim i Valberg, 1986; Nayatani, Takahama i Sobagaki, 1986; Nayatani, Hashimoto, Takahama i Sobagaki, 1987; Nayatani, Takahama,

---

Sobagaki i Hashimoto, 1990; Nayatani, Sobagaki, Hashimoto i Yano, 1997; Fairchild i Berns, 1993; Fairchild, 1996; Hunt i Pointer, 1985; Hunt, 1982, 1985, 1987, 1989, 1991 i 1994; Hunt i Luo, 1994; Luo, Lo i Kuo, 1996; Fairchild, 1997). U ovim predloženim modelima vrednosti su izvedene tako da korelišu sa osnovnim psihofizičkim veličinama sa kojim ljudi opisuju percepcirani stimulus. Pored tona, zasićenja, svetline i hromatičnosti koje se koriste u CIELUV i CIELAB sistemima, se koriste i veličine kao sjajnost i jačina tona.

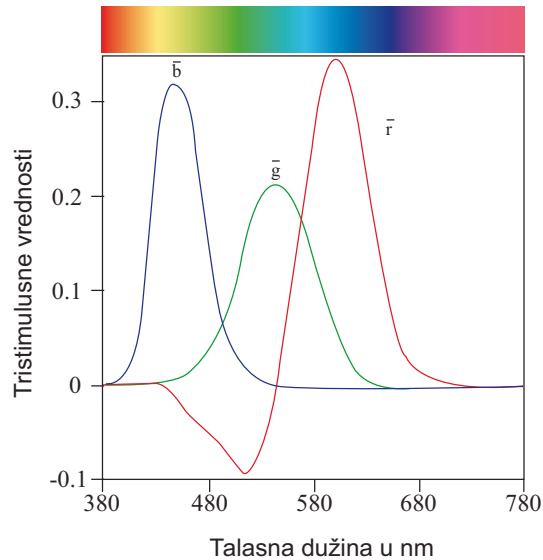
Ton boje zavisi od talasne dužine svetlosti i on opisuje boju koju naše oko opaža. Delovanjem svetlosti vidljivog dela spektra nastaje, u povoljnim okolnostima, široka gama tonova. Gama tonova zatvara krug boja koji počinje od ljubičastog a završava se crvenim tonom. U krugu boja nalazi se i purpurna boja (magenta) koja se ne nalazi u spektru, a nastaje mešanjem ljubičastoplave i crvene svetlosti. Zasićenje boje je karakteristika koja pokazuje stepen odstupanja boje od ahromatske (nešarene) boje iste svetline (boja nastala mešanjem uvek je manje zasićena od boja od kojih je nastala). Zasićenje boje je utoliko manje ako se mešaju boje međusobno udaljenije jedna od druge u spektru. Boje u prirodi su samo delimično zasićene, dok su samo boje spektra potpuno zasićene. Svetlina boje je karakteristika koja opisuje sličnost boje sa nizom ahromatičnih boja od crne, preko sivih do bele, odnosno svetlina određuje stepen crne boje u dotičnoj boji.

Prema preporuci CIE komisije prihvaćen je CIECAM 02 model osećaja boje. Detaljan opis ovog modela i načina transformacija pojedinačnih veličina se može naći u radu Moroney-a i ostalih (Moroney i ostali, 2002) i u knjizi Fairchild-a (Fairchild, 2005).

### 5.3. CIE KOLORIMETRIJA

Međunarodna komisija za osvetljenje (eng. International Commission on Illumination, fr. The Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) je primarna organizacija zadužena za standardizaciju kvantifikovanja i terminološkog kvalifikovanja boja. CIE je 1931. godine nakon eksperimenata Gulid-a (1931) i Wright-a (1928-29), usvojila osnovne principe redukovanog merenja stimulusa boja. CIE-ov model boja je razvijen potpuno nezavisno od bilo kog uređaja ili drugog načina emisije ili reprodukcije i zasnovan je tako da bude što verniji načinu na koji ljudi osećaju boje. Danas korišćeni sistem za merenje boja ima osnovu u gore pomenutim eksperimentima usaglašavanja boja aditivne sinteze stimulusa. Tokom eksperimenta je definisan komplet usaglašanih funkcija koje pokrivaju ceo spektar, i jedinstven komplet tri vrednosti koje određuju vizuelni odziv se mogu odrediti za svaku boju: CIE-ova definicija standardnog posmatrača je bazirana na osobinama mešanja boja i osetljivosti vizuelnog sistema prema tri odabrana monohromatska zraka svetlosti. Vrednosti fluksova osnovnih svetla koje treba namestiti da bi se dobio isti osećaj boje na obe polovine vidnog polja predstavlja tri osnovna

stimulusa: R (crveni) sa talasnom dužinom od 435,8 nm; G (zeleni) sa talasnom dužinom od 546,1 nm i B (plavi) sa talasnom dužinom od 700 nm. Ove talasne dužine imaju odgovarajuće vrednosti funkcija usaglašenog stimulusa boje  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$  i  $b(\lambda)$  (Slika 18).



Slika 18. Usaglašene funkcije stimulusa za CIE RGB tristimulusne funkcije

(5.2.)

$$R = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{r}(\lambda) d(\lambda)$$

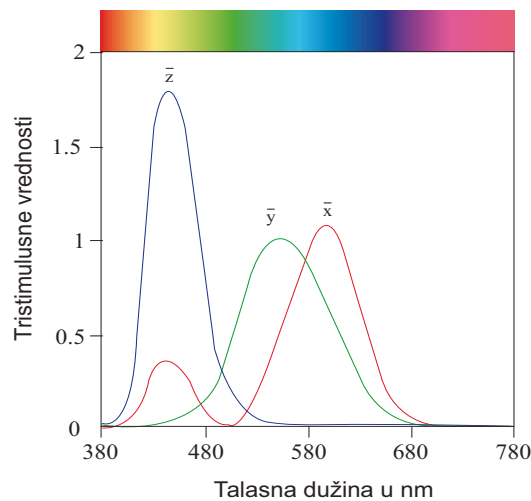
(5.3.)

$$G = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{g}(\lambda) d(\lambda)$$

(5.4.)

$$B = \int_{\lambda} \Phi(\lambda) \bar{b}(\lambda) d(\lambda)$$

Da bi se izbegle negativne vrednosti za ove funkcije one su matematički transformisane od strane CIE-e, tako da svaka od tih komponenti ima pozitivnu vrednost na svakoj talasnoj dužini. Iz vrednosti  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$  i  $b(\lambda)$  (odnosno stimulusa R, G, i B) se pomoću transformacija mogu izračunati vrednosti  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  i  $z(\lambda)$  koje predstavljaju funkcije CIE 1931 standardnog posmatrača (Slika 19). XYZ tristimulusne vrednosti za stimulus boje se izračunavaju slično kao i RGB tristimulusne vrednosti



Slika 19. Usaglašene funkcije stimulusa za CIE RGB tristimulusne funkcije

Standardne vrednosti boja tj. XYZ tristimulusne vrednosti za stimulus boje se proračunavaju iz funkcije zračenja iluminanta  $S(\lambda)$ , izmerene spektralne reflektancije uzorka tj. reflektancije  $\beta(\lambda)$  kao i funkcija  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  i  $z(\lambda)$  standardnog posmatrača prema sledećim relacijama:

$$X = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \cdot q(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (5.5.)$$

$$Y = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \cdot q(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (5.6.)$$

$$Z = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \cdot q(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (5.7.)$$

gde je:

$S(\lambda)$  - neki CIE iluminant (standardni izvor svetla),

$q(\lambda)$  - kod refleksivnih uzoraka  $\beta(\lambda)$ , kod transmitivnih  $\tau(\lambda)$ ,

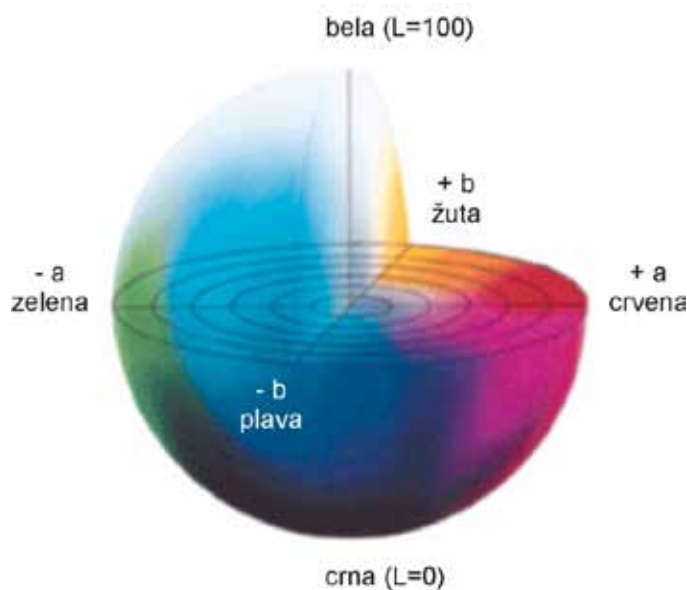
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda); \bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$  - CIE funkcije usaglašenog stimulusa boja,

$\Delta\lambda$  - međukorak,

$k$  - normalizacioni faktor, čija je uloga kod uvođenja tristimulusne vrednosti  $Y$  koja sadrži informaciju o svetlini uzorka, da kod apsolutno reflektnog uzorka bude  $Y=100$ .

CIE 1931 XYZ tristimulusne vrednosti nisu bile definisane sa eksplicitnom namerom za definisanje razlika boja. Dve boje sa veoma malim razlikama u tristimulusnim vrednostima mogu da izgledaju različito ili skoro neprimetno indentične u zavisnosti gde se nalaze u

XYZ prostoru boja. Svrha CIE LAB prostora boja koji je direktno izveden iz CIE 1931 XYZ koordinatnog sistema je bila da kvantifikuje male vrednosti razlike boja. Pod malom razlikom se podrazumevaju tipične tolerancije koje se javljaju u reprodukciji boje - veće od najmanje primetljive razlike (eng. Just Noticeable Difference, JND), ali manje od razlike koja se tipično skalira u sistemima za osećaj boje. CIE LAB prostor boja proširuje tristimulusnu kolorimetriju sa trodimenzionalnim prostorom i sa dimenzijama koje približno se podudaraju sa osećajem svetline, zasićenja i tona stimulusa. Glavni cilj u razvoju ovog i drugih sličnih uniformnih prostora boja je da se pruži jedinstvena praksa za merenje razlike boja, nešto što nije bilo moguće u hromatičnim prostorima (Fairchild, 2005). CIELAB prostor boja je približno uniformna skala boja. Kod uniformne skale boja razlike između dve prikazane tačke u prostoru boja odgovara vizuelnim razlikama između dve prikazane boje. CIELAB prostor boja je organizovan u obliku kvadrata. Centralna  $L^*$  osa koja predstavlja svetlinu ide od vrha do dna. Maksimalna vrednost za  $L^*$  je 100 što predstavlja idealno reflektujućii difuzor. Minimum za  $L^*$  je 0 što predstavlja crnu. Druge dve ose  $a^*$  i  $b^*$  nemaju numerička ograničenja. Pozitivna vrednost  $a^*$  je crvena, dok je negativna vrednost  $a^*$  zelena. Pozitivna vrednost  $b^*$  je žuta, dok negativna plava. Na slici 20. je prikazan CIELAB prostor boja.



Slika 20. CIE LAB prostor boja

Vrednosti koordinata boja u CIELAB sistemu se mogu odrediti prema sledećim formulama:

$$L^* = \begin{cases} 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - 16, & \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3}, & \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (5.8.)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - 16, & \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3}, & \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (5.9.)$$



$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (5.10.)$$

$$b^* = 500 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (5.11.)$$

$$f(s) = \begin{cases} s^{\frac{1}{3}}, & s > 0.008856 \\ 7.787(s) + \frac{16}{116}, & s \leq 0.008856 \end{cases} \quad (5.12.)$$

gde je:

X, Y, i Z su CIE tristimulusne vrednosti

X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>, i Z<sub>n</sub> su tristimulusne vrednosti za iluminant

Y<sub>n</sub> je 100,00

Pošto su ose CIELAB prostora ortogonalne, razlika između boja se može odrediti kao razdaljina kordinata dve boje u trodimenzionalnom prostoru (Green, 1999). Razlika se označava sa znakom Δ, tako da imamo ΔL\*, Δa\*, Δb\*. Razlika između dve boje se daje pomoću formule:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (5.13.)$$

ΔL\* = L\*uzorak - L\*standard + ΔL\* onačava da je uzorak svetliji od standardnog uzorka

- ΔL\* onačava da je uzorak tamniji od standardnog uzorka

Δa\* = a\*uzorak - a\*standard + Δa\* onačava da je uzorak crveniji od standardnog uzorka

- Δa\* onačava da je uzorak zeleniji od standardnog uzorka

Δb\* = b\*uzorak - b\*standard + Δb\* onačava da je uzorak žući od standardnog uzorka

- Δb\* onačava da je uzorak plavlji od standardnog uzorka

Da bi se unapredila uniformnost merenja razlika boja, urađene su modifikacije na jednačini CIELAB ΔE\*<sub>ab</sub> na osnovu niza empirijskih podataka. Jedna od modifikacija je CMC formula za razliku boja, dok je CIE 1995 preporučio novu jednačinu za merenje razlike boja CIE94. upotreba CIE94 jednačine je poželjnije od jednostavne CIELAB ΔE\*<sub>ab</sub> (Fairchild, 2005). CIE94 razlika boja se izračunava prema sledećoj formuli:

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*_{ab}}{k_l \cdot S_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{k_c \cdot S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{k_h \cdot S_h}\right)^2} \quad (5.14.)$$

gde je:

$$S_l = 1$$

$$S_c = 1 + 0.045 \cdot C^*_{ab\_s}$$

$$S_h = 1 + 0.015 \cdot C^*_{ab\_s}$$

gde je  $C^*_{ab,s}$  koordinata zasićenja (hrome) standarda. Svi k faktori su istovremeno podešeni, ali se mogu menjati od strane korisnika radi postizanja boljeg rezultata. Dobijena CIELAB94 formula za izračunavanje razlika boja je dalje unapređena od strane CIE komisije u novu formulu koja se označava sa CIE DE 2000 i sadrži delimičnu korekciju prostora boje na  $a^*$  osi: može se prikazati pomoću sledećih izraza:

$$a' = a^* \cdot (1 + G) \quad (5.15.)$$

$$G = 0.5 \cdot \{1 - f(C^*_{ab,m})\} \quad (5.16.)$$

$$f(C^*_{ab,m}) = \sqrt{\frac{C^{*7}_{ab,m}}{C^{*7}_{ab,m} + 25^7}} \quad (5.17.)$$

$$C^*_{ab,m} = \frac{C^*_{ab,b} + C^*_{ab,s}}{2} \quad (5.18.)$$

gde je  $b =$  uzorak i  $s =$  standard; vrednosti  $L^*$  i  $b^*$  ose se ne menjaju.

U ovom malo izmenjenom prostoru boja definisanje osnovnih veličina se može izraziti na sličan način kao kod CIELAB prostora iz 1976. godine:

$$\text{Zasićenje: } C'_{ab} = \sqrt{a'^2 + b'^2} \quad (5.19.)$$

$$\text{Ugao tona: } h'_{ab} = \arctan\left(\frac{b'}{a'}\right) \quad (5.20.)$$

$$\Delta L'_{ab} = L^*_{ab,b} - L^*_{ab,s} \quad (5.21.)$$

$$\Delta C'_{ab} = C'_{ab,b} - C'_{ab,s} \quad (5.22.)$$

$$\Delta H'_{ab} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\Delta h'_{ab}}{2}\right) \cdot \sqrt{C'_{ab,b} \cdot C'_{ab,s}} \quad (5.23.)$$

$$S_L = 1 + 0.015 \cdot \frac{(L^*_m - 50)^2}{\sqrt{20 + (L^*_m - 50)^2}} \quad (5.24.)$$

$$L^*_m = \frac{L^*_b + L^*_s}{2} \quad (5.25.)$$

$$S_C = 1 + 0.045 \cdot C'_m \quad (5.26.)$$

$$C'_m = \frac{C'_{ab,b} - C'_{ab,s}}{2} \quad (5.27.)$$

$$h'_m = \frac{h'_{ab,b} + h'_{ab,s}}{2} \quad (5.28.)$$

$$S_H = 1 + 0.015 \cdot T \cdot C'_m \quad (5.29.)$$

I konačni oblik CIE DeltaE 2000 formule za razliku boja se može dati:

$$\Delta E_{2000}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'_{ab}}{k_l \cdot S_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_c \cdot S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_h \cdot S_h}\right)^2 + R_T \cdot \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_c \cdot S_c}\right) \cdot \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_h \cdot S_h}\right)} \quad (5.30.)$$

Definisanje korišćenja različitih formula za definisanje razlika u perceptualno uniformnim prostorima nije još uvek u potpunosti završeno što potvrđuje niz studija koje ukazuju na određene nedostatke i dalju predloge daljih modifikacija. Wee i ostali (Wee i ostali, 2007) su ispitivali razlike boja u određenim parovima uzoraka korišćenjem DeltaE\*(ab), DeltaE(CMC)(l:c), i DeltaE(2000) formula za razliku boju u cilju određivanja najbolje vizuelne podobnosti za ljudske posmatrače. Prema njihovim rezultatima DeltaE(CMC)(l:c), i DeltaE(2000) su dale bolje rezultate od DeltaE\*(ab) za uzorke na bazi keramike.

Slično ispitivanje formula za razliku boja na polimerizovanim i termalno obrađenim kompozitnim materijalima je urađena u radu (Lee, 2005) gde autor zaključuje da se obe formule mogu koristiti naizmenično sa time da za evaluaciju zasebnih karakteristika stimulusa je bolje koristiti CIE ΔE 2000 formulu. Sa druge strane postoji određena zadržka za implementaciju ΔE00 formule za proračun, pošto je ΔE00 postupak složeniji od ΔE\*ab. Dalje korišćenje ΔE00 je preporučeno samo ako je ΔE\*ab manja od 5. Za proračun razlika boja koje se mogu tipično naći u reprodukciji boja, najbolje je koristiti oba izraza. Ako bi se koristio novi način izračunavanja pomeranja u tonu i zasićenju, dodatni problemi se javljaju zbog odabira načina proračuna jer ΔE00 sadrži interaktivnu komponentu za proračun ovih vrednosti (Davies i Ono, 2005), (Kuehni, 2002).

Nekoliko autora je testiralo formule za proračun razlika između različitih stimulusa u prostorima napravljenim za modele osećaja boja (Hongyong i ostali, 2009), i Nakayama i Ikeda (Nakayama i Ikeda, 2004) koji su upređivali nekoliko formula za razliku boja i modela osećaja boja. Neki od autora su ispitivanjem određenih specifičnih uzoraka i varijacijom parametara u formulama za razliku boja došli do svojih rešenja. Guan i Luo su predložili varijaciju CIE-LAB94 formule i nazvali je GLAB (Guan i Luo, 1999), dok su Liu i drugi (Liu i ostali, 2008) predložili novu formulu za evaluaciju prikaza sjajnih papira za ink jet štampu. Autori su u radu

---

za pravilno merenje kvaliteta prikaza boja i simuliranja osetljivosti ljudskog vizuelnog sistema predložili novi parametar  $\Delta EIC$  baziran na fuzzy odlučivanju. Autori su izveli psihofizički eksperiment i predlažu parametar  $\Delta EIC$  kao pogodni alat za procenu prikaza boje sjajnih papira za ink jet štampu.

Jedna od najvažnijih promena formula za izračunavanje razlika u stimulusu i je proširenje koncepta sa površinskim i prostornim karakteristikama posmatrane površine. Pošto hrapavost kao jedna od ključnih optičkih osobina materijala utiče posredno i na kolorimetrijske vrednosti neophodno je radi postavljanja osnova za vizuelnu simulaciju ovih površina i uvesti pojam proširenih modela za razliku boja. Primenom sredstava za oplemenjivanje, i menjanjem teksture i površinske šare se utiče posredno i na promene osećaja prostorne komponente. U nastavku je dat kratak prikaz ovih načina uključivanja površinskih uticaja na evaluaciju razlike kod kompleksnih slika. Huertas i drugi (Huertas i ostali, 2004) su ispitivali uticaj simulirane teksture na vizuelne tolerancije u razlici između parova stimulusa. Teksture urađene na računaru koju su posmatrane su varirane sa nasumičnim raspoređivanjem tačaka, variranjem njihovih veličina, procentom zauzetosti površina i karakteristikama boje. Prema dobijenim rezultatima u odnosu na velike homogene parove stimulusa, teksturirane su pokazale dva puta veću toleranciju za najače teksture. Dodatno je utvrđeno da je povećana i tolerancija u zasićenju i evaluaciji tona kod teksturiranih površina. Podaci iz ovog istraživanja ukazuju da iako efekat teksture ima potencijalno relevantni uticaj, nije moguće pružiti trenutno jednostavan niz parametara za faktore za sve potencijalne teksture koje se trenutno koriste u industrijskim aplikacijama.

Za merenje perceptualne razlike osećaja stimulusa između dve slike u boji predstavlja kompleksniji zadatak od pukog upoređivanja velikih homogeno obojenih površina, zato što se moraju u obzir uzeti i dodatni aspekti ljudskog vizuelnog osećaja. Kao prvo ljudska osetljivost na razlike boja nije uniformno u linearnim prostorima boja kao što je CIE XYZ prostor boja (McAdam, 1942). Drugo, osetljivost na razlike boja zavisi i od boje pozadine ili adaptacije samog oka, koje se može promeniti sa ambijentalnim osvetljenjem, kao i sa prostornim rasporedom. Ovo su sve važni vizuelni efekti koji se moraju inkorporirati u faktor moderne kolorimetrije. Zhang i Wandell (Zhang i Wandell, 1996) su predložili proširenje CIELAB sistema sa prostornim proširenjem koje bi uzimalo u obzir način na koji prostorni oblik i površinske šare utiču na osećaj boje i razlikovanje stimulusa. Prostorno proširenje se postiže predobradom ulazne slike pre primene standardne CIELAB formule za razliku boja. Ulazna slika se prvobitno pretvori u komponentu svetline (luminance) i dve hromatske komponente. Svaka od komponenti slika se zatim provlači kroz prostorni filter koji je odabran na osnovu osetljivosti ljudskog oka za tu komponentu stimulusa boje. Konačna izfiltrirana slika se transformiše u XYZ format tako da se mogu primeniti standardne CIELAB formule za razliku boja. Prostorni filter se primenjuje u linearnom prostoru boja korišćenjem filtera za sumiranje jedinica i time se postiže čuvanje srednje vrednosti boja ulazne slike. Prema tome, za velike uniformne uzorke S-

---

CIELAB predviđanja su iste kao i CIELAB predviđanja. Za uzorke sa teksturiranim regionima, ove dve formule daju različita predviđanja i vrednosti (Zhang i ostali, 2005). Opsežni pregled načina aplikacije i funkcionisanje prostorno proširenog S-CIELAB sistema i CIE DE 2000 formule za određivanje razlike boja je dat u radu Johnsona i Fairchilda (Johnson i Fairchild, 2003). Nekoliko autora je testiralo S-CIELAB sistem za evaluaciju razlika u projektovanim slikama (Valencia i Millan, 2008), a Zhang i ostali (Zhang i ostali, 1997) mogućnost korišćenja S-CIELAB za evaluaciju rastriranih površina koje se koriste u štampi. Chorro i ostali (Chorro i ostali, 2007) su uradili istraživanje uticaja razdaljine posmatranje na teksturirane površine uz pomoć S-CIELAB sistema i rezultati im ukazuju da na većoj razdaljini dolazi do smanjivanja u osećaju razlike između dve teksturirane površine. Na neka moguća unapređenja ovog modela su ukazali Kanazawa i ostali (Kanazawa i ostali, 2002), gde su uvođenjem novih psihofizičkih veličina u S-CIELAB sistem smanjili mogućnost pojavljivanja lažnih informacija o hromatskim komponentama.

Implementacija ovog sistema u sveukupni radni okvir za evaluaciju osećaja kako prostorne tako i hromatske komponente neke kompleksne slike je rezultovalo razvijanje modela osećaja slike (eng. image appearance model). Zbog prostornog ograničenja ovi modeli neće biti obrađivani u ovom tekstu a osnovni postulati jednog od predloženih sistema se mogu naći u radovima (Johnson i Fairchild, 2003) i (Fairchild i Johnson, 2004).

#### 5.4. MERENJE BOJA NA OPLEMENJENIM POVRŠINAMA

Merenje boja može biti vizuelno ili fizičko. Da bi bila upotrebljiva, vizuelna evaluacija izgleda proizvoda mora da bude precizna i ponovljiva. Ovo zahteva da metoda i fizički raspored kod posmatranja bude isti za sve evaluacije. Pošto se posmatrač tako lako adaptira i prilagođava za razlike u intenzitetu ili spektralnoj raspodeli, ljudi u privredi, kod vizuelne provere često nisu svesni u kojoj meri se menjaju rezultati vizuelne evaluacije sa promenom uslova posmatranja. Apsolutno neophodno je obezbediti standardne uslove, da bi se dobili rezultati koji su uporedivi sa predhodnim ispitivanjima, bilo sa instrumentom bilo od strane ovlašćene osobe. Uslovi gledanja koje utiču na izgled tj. privid se mogu podeliti na spektralne uslove i geometrijske uslove (Hunter, 1987). Kod posmatrača, spektralni odzivi su ugrađeni, tako da se moraju uzimati kao standardizovani što je iskazano kroz CIE standardnog posmatrača. Pošto svetlo, koje se odbija od objekta, zavisi od karakteristika izvora svetlosti kao i objekta, izgled će varirati sa promenom u izvoru svetla. Izgled objekta je direktno povezan sa geometrijskim uslovima posmatranja, tj. sa smerom osvetljavanja i posmatranja. Tabela 2. prikazuje sve glavne spektralne i geometrijske osobine izgleda (privida) objekta (Hunter, 1987).

Tabela 2. Glavne spektralne i geometrijske osobine izgleda (privida) objekta

Kategorija	Spektralne karakteristike (boja)	Geometrijske karakteristike (sjaj)
Fizička analiza	Spektrofotometrijske krive	Goniofotometričke krive
Psihološke (vizuelne)	Boja: Ton, Zasićenje, Svetlina	Svetlosni intenzitet: Svetlina (od refleksije), Sjaj, Svetlina (od difuzne transmisije), Bistrina (od normalne propustljivosti)
Osnove psihofizičkog merenja	Mogućnost ljudskog posmatrača da upari boju bilo kog objekta dodavanjem određenih količina tri primarna svetla.	Upoređivanje sa idealnim objektima koji ili idealno rasipaju svetlost ili imaju idealne spekularne projekcije.
Psihofizičke veličine	Hromatičnost (ton i zasićenje zajedno)	Faktor difuzne reflektancije ili svetlina, sjaj, faktor difuzne propustljivosti, faktor normalne propustljivosti (transmitancije)

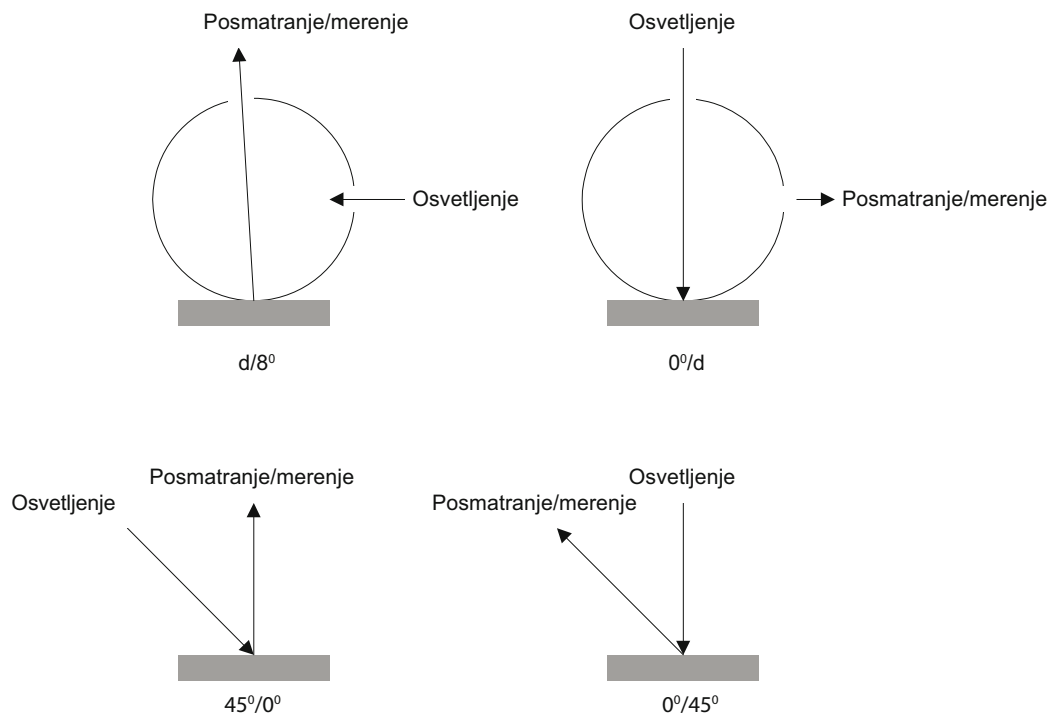
Za posmatranje boje, neophodno je isključivanje spekularne refleksije, pošto bi sjajni odsjaji maskirali boju. Difuzni ugao gledanja se treba koristiti kao naprimer ugao od  $0^{\circ}$  kada je upadni ugao svetlosti  $45^{\circ}$ . Ako se želi sa druge strane opažati sjaj, ugao onda treba uzorak posmatrati sa suprotnim uglom od ugla upadanja svetlosti na uzorak. Pošto je razdvajanje spekularno - difuzno delimično proizvoljno, često se dešava da posmatranje difuzne refleksije iz različitih uglova dobijamo varijaciju u boji, a kod gledanja spekularne refleksije pod različitim uglovima sa koncentrisanim ili difuznim izvorom svetla vidimo razlike i u sjaju. Da bi se napravile pouzdane vizuelne evaluacije izgleda i razlike u izgledu pored konkretnog objekta koji posmatramo moraju se kontrolisati sledeći faktori (Hunter, 1987):

1. Spektralni kvalitet izvora svetlosti
2. Intenzitet svetlosnog izvora
3. Ugao izvora svetlosti
4. Smer odakle svetlost pada na objekat (upadni ugao)
5. Smer odakle se objekat posmatra (ugao posmatranja)
6. Pozadina
7. Razmak između uzoraka
8. Spektralne funkcije odziva kod posmatrača

Instrumentalno ili fizičko kvantifikovanje nekog obojenja prema CIE kolorimetrijskom sistemu se definiše kao merenje boje. Instrumenti za merenje hromatske komponente boje uključuju: kolorimetre, spektrometre, skraćene spektrometre, spektrofotometre i spektroradiometre. Dobijene vrednosti (tristimulusne vrednosti, hromatične koordinate) se definišu kao kolorimetrijske veličine. Svi instrumenti prema metodi merenja se mogu klasifikovati u grupu koja direktno meri tristimulusne vrednosti ili u grupu uređaja koja preračunava te vrednosti iz spektralnog merenja. Direktno merenje tristimulusnih vrednosti se sastoji od očitavanja kolor-

imetrijskih vrednosti direktno iz fotoelektričnog fotoreceptora koji ispunjava uslove poznate kao Lutherov uslov (Ohta i Robertson, 2005). Ovaj uslov podrazumeva situaciju gde je rezultat spektralne osetljivosti fotoreceptora ili spektralna transmitancija korekcionog filtera proporcionalna jednoj od CIE funkcija usaglašenog stimulusa ili je njihova linearna kombinacija. Instrument koji ima tri takva kanala tj. filtera (jedan za svaku od funkcija usaglašenog stimulusa) je poznat kao fotoelektrični kolorimetar. Uređaji za tristimulusno merenje boje je spektralno namešten optički sistem, koji čine izvor svetlosti, filter i senzori tako da kod određenih pozicija filtera kao što je napomenuto dobijeni signali odgovaraju CIE stimulusnim komponentama. Njihova upotreba je ograničena nemogućnošću merenja spektralnih podataka, zbog toga naprimer nisu u mogućnosti indentifikovati metamerizam.

Spektrofotometar meri reflektanciju  $\beta(\lambda)$  ili transmitanciju  $\tau(\lambda)$  na seriji različitih talasnih dužina. Intervali talasne dužine su najčešće 10 nm. Ovi spektralni podaci se mogu pretvoriti u krivu spektralne reflektancije ili u CIELAB ili  $x,y$  vrednosti. Spektrofotometrijske krive se mogu u velikoj meri promeniti sa geometrijskim rasporedom izvora svetlosti unutar spektrofotometra. Ako geometrijski uslovi spektrofotometra uključuju spekularnu, prvu površinsku reflektanciju sa difuznom reflektancijom izmerene vrednosti, difuzne reflektancije na svim talasnim dužinama će biti povećane za konstantnu veličinu (Hunter, 1997). CIE je 1931 pored standardnog posmatrača, standardnih izvora svetla i funkcija usaglašenog stimulusa boja odredio i geometrije merenja koje je podelio u dva para. Prvi par geometrija ima oznake  $45^\circ/0^\circ$  i  $0^\circ/45^\circ$  i drugi par geometrija  $d/8^\circ$  i  $0^\circ/d$ . Na slici 21. su prikazani primeri tih mernih geometrija.



Slika 21. Osnovne merne geometrije preporučene od strane CIE komisije

---

Ipak postoje mnoge površine koje se ne mogu adekvatno meriti sa ovakvim ograničenim uslovima tzv. površine sa efektom gonio izgleda ili boje sa specijalnim efektima (Johnston i et, 1969), (Gilchrist, 2002). Poznat primer je završni obojeni metalni sloj primenjen na mnogima automobilima. To menja izgled u zavisnosti od ugla osvetljenja i posmatranja, i za potpuno određivanje, potrebno je merenje više od jedne kombinacije osvetljenja/posmatranja. Ovo ograničenje je delimično prevaziđeno sa upotrebom spektrofotometara sa više uglova merenja koji koriste više uglova najčešće četiri ili pet (Pointer, 2003). Merena ili posmatrana boja zavisi koliko je reflektovane svetlosti detektovano. Neki od instrumenata detektuju skoro celu količinu svetla i u tom slučaju je boja nezavisna od sjaja uzorka. Sa druge strane instrumenti sa 0/45 geometrijom isključuju skoro svu spekularnu reflektovanu svetlost i boja je usko vezana sa sjajem uzorka. Pošto je spekularna komponenta reflektovane svetlosti selektivno odbačena, time manje utiče (od difuzne komponente) "razblaživanju" obojene svetlosti reflektovane sa objekta. Shodno tome sjajniji uzorci koji imaju veću spekularnu komponentu, i time manje "razblaživanje" izgledaju zasićenije (Dalal i Hoffman, 1999). Detaljan pregled različitih metodologija definisanja hromatske komponente refleksije se može naći u (Berns, 2000) i (Hunter, 1987).

Istraživanje uticaja sredstava za oplemenjivanje površina na ukupni osećaj stimulusa ili na neku hromatsku komponentu su obrađene u radovima (De La Rie ER. 1987), (Berns i de la Rie, 2003) i (Simonot i Elias, 2003). U svim ovim radovima je ukazano ne promenu hromatskih koordinata CIE tristimulusnih vrednosti za oplemenjene uzorke. Ovi radovi su uglavnom se bavili jednoslojnim nanošenjem tečnih sredstava za oplemenjivanje. Istraživanje uticaja varijacije količine i vrste tečnog sredstva za oplemenjivanje je obrađivano u nekoliko radova. U radu Novaković i ostali (Novaković i ostali, 2008) gde je rađena analiza konzistentnosti i varijacije merenja između nekoliko mernih instrumenata (kolorimetar, spektrokolorimetar i spektrofotometar) i uzoraka oplemenjenih sa različitim vrstama laka. Prema rezultatima ovog istraživanja da najmanje varijacije u merenju između oplemenjenih uzoraka sa mat i sjajnim lakom su dobijena sa tristimulusnim kolorimetrom, dok je spektrokolorimetar imao najveće varijacije u merenju skoro svih uzoraka. Najveće razlike u merenju su primećene kod merenja tamnih oplemenjenih tonova, dok su na površinama oslojenim sa sjajnim lakom rezultati između instrumenata bili ujednačeni.

Ispitivanje uticaja različite količine sredstava za oplemenjivanje na razliku boja kao i na kolorimetrijske vrednosti su obrađivani u radovima (Karlović i ostali, 2008) i (Novaković i ostali, 2009). U radu gde je ispitivan uticaj vododisperzivnih lakova na promenu hromatskih komponenti su utvrđene promene koje su primetljive ljudskim okom. Količine su varirane i na odštampane otiske su nanete dve količine mat i sjajnog laka. Kod većine uzoraka je dobijena prosečna vrednost razlike boje DeltaE veće od 3 što je već primetno ljudskom oku. Kod analize promene razlike boja rezultati ukazuju na trend porasta u razlici boja sa količinom nanetog



sredstva za oplemenjivanje. Uzorci sa sjajnim lakom su davali tamnije i zasićenije tonove, dok su uzorci sa mat lakom davali manje zasićene i svetlije tonove. Ovi rezultati su potkrepljeni i sa upoređivanjem spektralnih krivi određenih uzoraka gde je primećena manja količina reflektovane svetlosti za sjajno premazne uzorke, a ovaj efekat je pripisan površinskim karakteristikama oslojenih površina, kao i samom geometrijom merenja, gde je korišćena postavka  $45^{\circ}/0^{\circ}$ .

## 6. MATERIJALI I PROCESI OPLEMENJIVANJA POVRŠINA

### 6.1. FUNKCIJA I KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE

U današnjim savremenim grafičkim procesim sredstva za oplemenjivanje se sve češće koriste kako u štampi ambalaže tako i u komercijalnoj štampi u cilju pružanja širokog opsega funkcija sa dodatnom vrednošću osnovnom proizvodu. Osnovni ciljevi za oplemenjivanje površine odštampanih podloga su (Kipphan, 2001):

- povećanje vizuelnih efekata, naročito sjaja
- zaštita podloge od mehaničkih uticaja kao što je trenje ili ogrebotine
- zaštita podloge od penetracije tečnosti ili gasova
- optimizacija sledećih operacija za obradu.

U ovoj disertaciji će se razmatrati samo uticaj površinskog oplemenjivanja na vizuelne efekte koje izaziva kod posmatrača. Oplemenjivanje površina u grafičkoj proizvodnji se najčešće radi sa tečnim premazima i lakovima ili sa folijama za plastifikaciju. Kod tečnih sredstava za oplemenjivanje najzastupljeniji su lakovi, koji se dele prema hemijskom sastavu na one na vodenoj bazi, na uljane lakove tj. bazirane na organskim rastvaračima kao i UV lakove. Za plastifikaciju površina najčešće se koriste PET (poliesterski) i OPP (polipropilenski) filmovi i folije. Pregled karakterističnih materijala korišćenih u grafičkoj industriji za oplemenjivanje površine je prikazana u tabeli 3.

Tabela 3. Karakteristike materijala za oplemenjivanje površina u grafičkoj industriji

Tip materija za oslojavanje	Sjaj	Otpornost na grebanje	Požutelost	Metalne boje	Pre-štamapavanje	Ricovanje	Utiskivanje na foliju
Lak na bazi ulja	Delimično	Slaba	Da	Da	Da	Posle	Pre
Vododisperzivni lak	Da	Bolja	Ne	Da	Ne	Posle	Pre
UV lak	Da	Najbolja	Delimično	Da (prajmer)	Ne	Posle	Pre
Polipropilen	Da	Da	Ne	Da	Ne	Posle	Ne
Najlon	Da	Da	Ne	Da	Ne	Posle	Ne
PET	Da	Manja	Ne	Da	Da	Posle	Da

Lakovi se dele u tri glavne grupe koje čine uljani lakovi bazirani na organskim rastvaračima, lakovi koji se disperguju u vodenoj sredini i UV lakovi. Lakovi na bazi ulja se karakterišu kao bezbojne štamparske boje. Glavne komponente su smole, ulja za sušenje, mineralna ulja i sikativi. Imaju tendenciju da posle nekoga vremena požute. Mogu se nanositi putem agregata za boju. Lakovi na vodenoj bazi se sastoje od (Kipphan, 2001): polimernih

disperzija (najčešće stirenovanih akrila, akrilne ili poliestarske), hidrosola (smola rastvorenih u vodi), disperzija voskova za otpornost na grebanje, pomoćnih dodataka za formiranje filma i dodataka za unakrsno povezivanje. Ove komponente se raspoređuju najčešće u razmeri 60 do 70% vode, 25 do 35% čvrstih materija i 5% dodataka. Ovi lakovi se suše veoma brzo, i zbog toga nije preporučljiva aplikacija iz štamparskih agregata nego u posebnim jedinicama za lakiranje koje mogu biti ili sa nekoliko valjaka i kamel rakel sistem. Nanose se u količini 2-4 g/m<sup>2</sup> u zavisnosti od načina nanošenja, podloge i štampe. Najbolji rezultati po pitanju vremena sušenja se postižu upotrebom toplog vazduha ili tretiranjem IR (infracrvenim ) zračenjem. UV lakovi se suše sa UV svetlom. Imaju sličnu kompoziciju kao i UV boje i na osnovu toga su jako različiti od lakova na bazi ulja ili disperzionih lakova. Osnovne komponente su im (Kipphan,2001): akrilni oligomeri koji se povezuju i utiču na viskozitet, akrilni prepolimerni za sjaj, čvrstoću i otpornost na grebanje i foto inicijatori za sušenje. Štampanje ispod UV laka mora da bude sa UV bojama ili hibridnim koje ne sadrže mikro kristale voska. Pigmenti moraju biti hemijski i toplotno otporni. Ako se koriste neotporne boje, može doći do gubljenja ili promena tona boje. Kod UV lakiranja faktori koji utiču na izgled i sjaj lakirane površine su : uređaji za sušenje, talasne dužine svetla, spektralni sastav svetlosnog izvora uređaja za sušenje, broj uređaja, redosled postavljanja uređaja za sušenje, temperatura, vlažnost, isparavanje, način prenosa laka (geometrija, linijatura), ploče za lakiranje, hlađenje, korišćena boja, pigmenti kao i nanos boje i redosled boja kao i količina laka koja je nanešena. Ovi svi uticajni faktori pored uticajnih faktora samih odštampanih autotipijskih originala predstavljaju kompleksan problem za istraživanje. Najčešći optički efekat koji proizvode sredstva za oplemenjivanje na odštampanim uzorcima je sjaj. U tabeli 4. su predstavljene tipične vrednosti sjaja za različite načine oplemenjivanja površine otiska sa lakom (KBA , 2006).

Tabela 4. Vrednosti sjaja za različite lakove

Način oplemenjivanja i vrsta laka	Vrednost u jedinicama sjaja
UV mat lakiranje na hibridnim bojama	10-20
UV mat lakiranje na UV bojama	10
Štamparske boje (zavisno od podloge)	30-50
Lakovi na bazi ulja na standardnim i hibridnim bojama	60
Vododisperzivni lakovi na konvencionalnim bojama	70
Dvostruko oplemenjivanje (UV sjajni premazni na prajmer)	65-85
UV sjajni lak na UV bojama	85-90
UV sjajni lak na hibridnim bojama	85-95
Offline UV oplemenjivanje na suvim bojama	90-98

---

Alternativa tečnim sredstvima za oplemenjivanje su plastični filmovi za plastifikaciju grafičkih proizvoda. Filmovi ili folije se koriste slično kao i tečna sredstva za postizanje većeg sjaja, zaštite i u nekim slučajevima dugoročne zaštite od izbleđivanja štamaparske boje. Plastifikacija folijom je čest izbor kod zahteva dugoročne zaštite u ekstremnim uslovima (Greise, 2002). Tri standardna procesna materijala su u upotrebi: vinil, folije osetljive na pritisak i termalne folije osetljive na toplotu. Slično tečnim visokosjajnim sredstvima za oplemenjivanje i lakovima, plastificirane folije daju izdržljivost, unapređuju ukupan vizuelni izgled, poboljšavaju percepciju kvaliteta odštampanog proizvoda i daju mu dodatnu vrednost. Dva osnovna procesa plastifikacije se najčešće koriste: suva (termalna) i mokri adhezivni postupak za plastifikaciju folija. Kod plastifikacije folija tri su karakteristike koje treba uzeti u obzir prilikom razmatranja za primenu: sama folija, površinska karakteristika i adhezivna komponenta. Postoji niz adheziva tako da je važno pravilno odabrati tu komponentu u zavisnosti da li se koristi suva ili mokra aplikacija folije na površinu. Kao što je već napomenuto najčešće se koriste PET (poliesterski) i OPP (polipropilenski) filmovi i folije koji mogu imati površinske karakteristike koje odgovaraju sjajnom, mat i svilenkastim optičkim karakteristikama. Nove tehnologije plastifikacije se razvijaju, neke sa sasvim novim tehnologijama koje ranije nisu bile korišćene. Obojene folije se sve češće mogu videti na proizvodima u formi holografskih i metaliziranih proizvoda od folija.

Pošto istraživanje ove teze obuhvata samo tečna sredstva za oplemenjivanje neće biti dalje razmatrani materijali na bazi filmova i folija za plastifikaciju.

## 6.2. NAČIN FORMIRANJA OPLEMENJENOG SLOJA

Ako sloj materijala za oplemenjivanje treba da bude funkcionalni sloj ili barijera za zaštitu mora da bude kontinualan i bez oštećenja. Jedan od preduslova za formiranje takvih slojeva je i da materijal bude u tečnom obliku u trenutku primene na sloj. Jedan od principijelnih razloga je da diskretni delovi oplemenjivanja kao što su nanete pojedinačne kapi, se moraju sjediniti da bi formirali kontinualan sloj na površini. Sa druge strane materijal za oplemenjivanje treba da bude upravljiv, u smislu da se lako prenosi iz uređaja za prenošenje na podlogu i da se može regulisati debljina sloja nanetog materijala za oplemenjivanje sloja. Nakon aplikacije ponašanje sredstva za oplemenjivanje u procesu faze prelaska iz tečnog u tečno stanje treba da bude tako da se zadrži na površini bez pomeranja u stranu ili kapljanja koje mogu da izazovu nejednaku površinu a zadržavajući predviđenu debljinu nanosa. Principijelna karakteristika ovih materijala i procesa je način kako materijal teče (Marrion Ed.,2004). Tok i izravnavanje su predviđena pomeranja sredstva za oplemenjivanje pre i posle aplikacije na neku površinu i taj proces u najvećem meri određuje izgled oplemenjene površine (Bielman, 2001). Na određivanje toka i spajanja sredstva za oplemenjivanje tokom formiranja sloja utiče

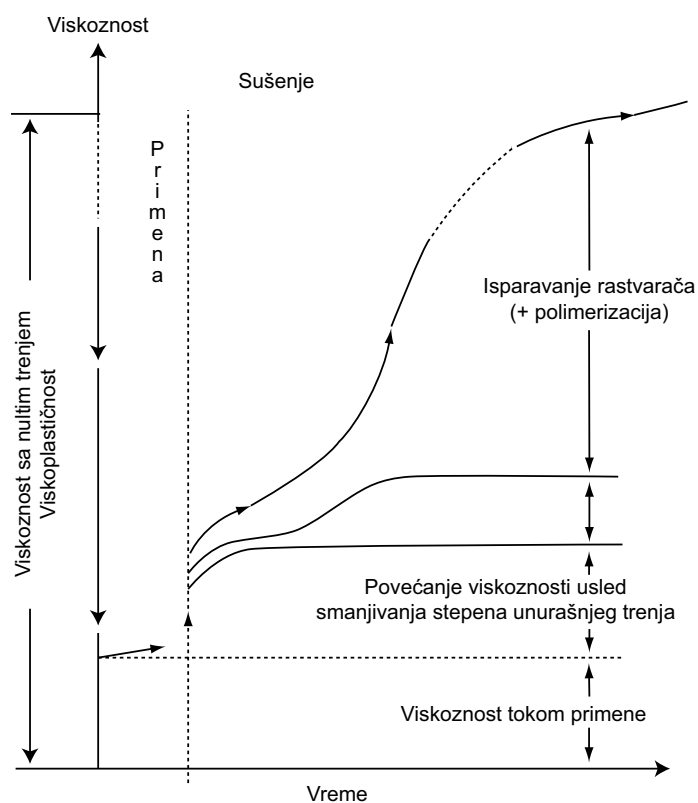
veliki broj faktora, gde se prvenstveno javljaju međupovršinska međudejstva. Većina materijala za oplemenjivanje su određeni sa relativno niskim površinskim naponom, a primenjuju se na površine sa većim površinskim naponom, što dovodi do smanjivanja ukupne slobodne energije.

Proces formiranja sloja u disperzionim tečnostima za oplemenjivanje kao što su vodo-disperzivni lakovi je proces spajanja polimernih čestica, nakon isparavanja vode iz emulzionog sistema, tj. omogućavanjem spajanja i povezivanje pojedinačnih susednih polimernih čestica.

Ovaj proces se lakše ostvaruje pomoću dodataka za spajanje koji olakšavaju vezivanje i smanjuju minimalnu temperaturu potrebnu za vezivanje. Nekoliko poznatih pojava utiče negativno na efekat izravnavanja slojeva površinskog napona (Hajas, 2001):

- reologija: visoka viskoznost i pseudoplastično ponašanje, kao i visoka vrednost površinskog napona,
- aplikacija: strukturana površina
- lokalne površinski naponi usled isparavanja određenih delova sredstva za oplemenjivanje.

Nakon što je tečno sredstvo za oplemenjivanje naneto na podlogu, njena viskoznost počinje da raste. Na ovaj efekat utiče nekoliko faktora, a najvažniji su prikazani na slici 22. Na slici su pokazani efekti kod tipičnog sredstva za oplemenjivanje sa malim udelom čvrstih čestica, a lakovi u grafičkoj industriji su najčešće takvog tipa.



Slika 22. Efekti u procesu formiranja oplemenjenog sloja

Kada se sloj nanese blizu ćoška, površinski napon, teži da minimalizuje površinu sloja može da dovede do smanjivanja ili povećavanja debljine sloja u ćoškovima površine na koju je sredstvo primenjeno. Kod ivica objekata oplemenjenih materijala, primećeno je povećanje debljine. Ovaj fenomen je povezan sa varijacijom površinskog napona sa koncentracijom rastvarača (Weh, 1973). Kod sloja koji je novoformiran na nekoj površini, smanjivanje u debljini filma na ivicama se dešava zbog površinskog napona samog filma. Shodno tome isparavanje rastvarača je mnogo brže na ivicama nanetog sloja pošto je tamo veća veličina površine u odnosu na količinu tečnosti blizu ivice.

Lokalne promene (udubljenja) u sloju za oplemenjivanje mogu da se dogode i usled neke od komponenti površinskog napona (prouzrokovanog varijacijom u sastavu ili temperaturi). Ovaj efekat je poznat kao Maragonijev efekat (Maragoni, 1971). Tok tečnog sredstva za oplemenjivanje iz dela sa nižom prema regionu sa višim površinskim naponom prouzrokovan varijacijama površinskog napona rezultuje sa formiranjem udubljenja na tečnoj površini. Ta udubljenja se javljaju u dva oblika: Bernardove ćelije i krateri. Bernardove ćelije se najčešće javljaju kao šestougaone ćelije sa izdignutim ivicama i udubljenim centrima (Hansen i Pierce, 1973 i 1974), (Anand i Karma, 1969). Povećanje koncentracije polimera i hlađenje zbog isparavanja rastvarača uzrokuje površinski napon i površinsku gustinu koja nadmašuje vrednost ukupnog materijala. Zbog toga se stvara nestabilna konfiguracija, koja se kreće u stabilnije područje, gde materijal ima niži površinski napon i gustinu. Formiranje kratera je slično formiranju Bernardovih ćelija. Krateri koji su kružna udubljenja na tečnim površinama su prouzrokovani sa prisustvom komponente sa niskim površinskim naponom na površini sloja. Širenje ove komponente sa niskim površinskim naponom je uzrok pomeranju mase materijala sloja koji uzrokuje kraterne na sloju sredstva za oplemenjivanje. Količina i oblik ovih nepravilnosti na površini imaju uticaja na način prelamanja i uticaja na količinu i komponente reflektovane svetlosti sa površine.

Opis reologije i površinski napog i drugih važnih uticajnih faktora na formiranje i izravnavanje oplemenjenog sloja se mogu detaljnije naći u (Bielman, 2001), (Goldschmidt i Streitberger, 2003).

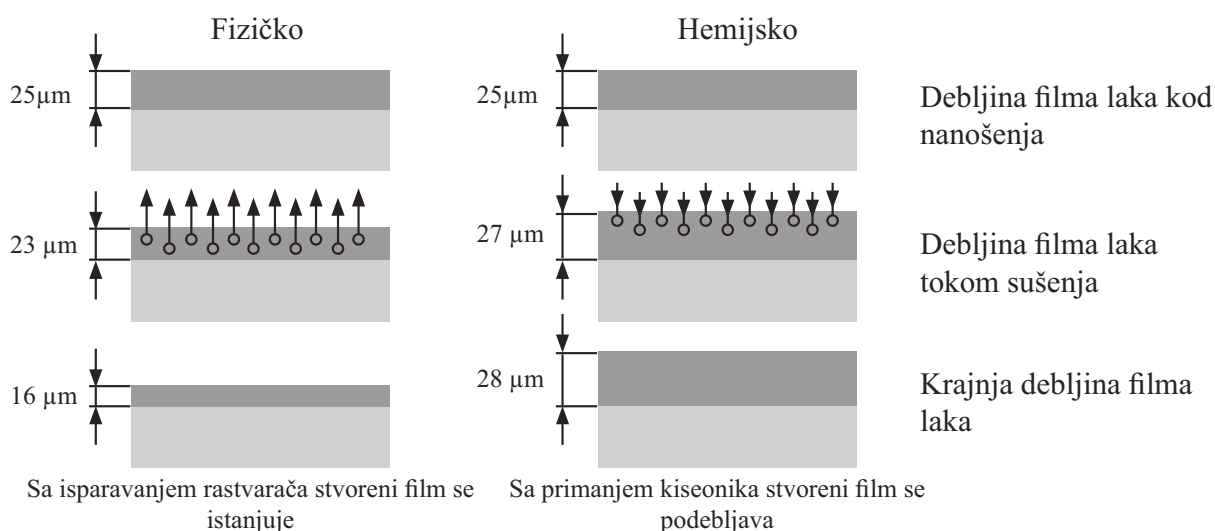
Sam proces formiranja filmova je pored inicijalnog izravnavanja promenljiv i zbog načina sušenja takvih slojeva. Na formiranje filma možemo i gledati kao na proces masovnog prenosa koji uključuje isparavanje nekih rastvarača uporedno hemijskim reakcijama u sistemima sa međupovezivanjem čestica. Oba procesa se ubrzavaju i započinju sa primenom toplote. Kod sušenja lakova sa organskim rastvaračima ili vodom potrebno je u potpunosti ukloniti ta sredstva, i uz pomoće toplote je moguće inicirati poladiciju i polikondenzovanje. Prenos toplotne energije potrebne za ovaj proces se može postići pomoću toplog vazduha kod konvencionalnog sušenja ili uz pomoć zračenja određenih talasnih dužina u IR regionu spektra. Materijali koji se povezuju sa polimerizacijom ne zahtevaju termalni tretman. Kod njih je dovoljno zračenje UV

zrakova kratkih talasnih dužina za izazivanje hemijskih reakcija povezivanja. Ovakvi materijali bi sušenjem sa toplim vazduhom emitovali veoma opasne supstance i formirao bi se neželjeni sloj za oplemenjivanje. Kod toplotnog sušenja količina prenešene toplote i masovni transfer čestica su varijabilni faktori koji utiču na kvalitet i osobine oplemenjene površine (Goldschmidt i Streitberger, 2003).

Samo formiranje filma povezano sa procesom sušenja može da bude hemijsko, fizičko kao i zajedničko fizičko-hemijsko. U tabeli 5. su predstavljeni različiti mehanizmi formiranja filmova lakova na nanetoj površini. Fizički i hemijski proces formiranja je prikazan na slici 23. Za razliku od ofsetnih boja i lakova na bazi ulja disperzioni lakovi ne zahtevaju dodatno oksidativno sušenje. Tako da je proces formiranja filmova čisto fizički.

Tabela 5. Mehanizmi formiranja različitih lakova

Karakteristike	Tip laka		
	UV lak	Lak na bazi ulja	Disperzioni lak
Absorpcija	slabija	jača	jača
Sadržaj čvrstih materija (%)	100	50-60	20-45
Formiranje filma i sušenje	hemijsko, kroz polimerizaciju posle UV zračenja	hemijsko, polimerizacija kroz oksidaciju	fizičko, kroz taloženje mikrodelova nakon isparavanja i absorpcije vode
Vreme potrebno za sušenje	< 1 sekunde	najmanje 2 sata	oko 30 sekundi



Slika 23. Proces fizičkog i hemijskog formiranja filma laka

Fizičko sušenje se najčešće koristi kod sredstava sa polimernim veziocima sa visokom molekularnom masom kao što je celulozni nitrati, estri, hlorisana guma, vinilne smole, poliakrilati, termoplastični poliestri, poliamidi i poliioleofinski kopolimeri. Ove materijale karakteriše dobra fleksibilnost i stabilnost zbog visoke molekularne mase. Temperatura prelaska u čvrsto stanje mora da bude viša od sobne temperature radi obezbeđivanja adekvatne čvrstine i otpora na grebanje. Otpornost na grebanje lakiranih proizvoda zavisi u najvećoj meri od supstrata i količine nanetog laka. Veza između sjaja i otpornosti na grebanje je da visokosjajni lak ima malu otpornost na otiranje, dok povećana otpornost na grebanje smanjuje sjaj.

Sa ovim tipom polimera, formiranje filma se može stvoriti i iz rastvora ili disperzija u organskim rastvaračima ili vodi, gde dolazi do isparavanja tih rastvarača, i gde ostaje hemijski nepromenjeni polimerni sloj. Formiranje filma se može ubrzati sa povećanjem stepena temperature. Formiranje filma disperzivnog laka završeno je čak i kada je 20-30% vode prisutno u laku. Formiranje filma nanešenog laka je veoma zavisno od procesne temperature. Vodeni disperzivni lakovi su pripremljeni za minimalne temperature formiranja filma između 5 i 10°C. Radne temperature ispod minimalnih za formiranje filma dovode do problema sa vlaženjem i vezivanjem za podlogu. Temperatura u naslazi papira ne treba da pređe 30°C. Vreme sušenja određeno je adsorpcijom od strane supstarata, stepenom isparavanja vode, specifičnim osobinama svakog laka. Vreme isušivanja je približno 25-100 sekundi u ofset mašinama, zavisno od primenjenog sistema. Brzina sušenja disperzivnog laka zavisi i od debljine vlažnog filma. Upotreba offset pudera se zahteva za veoma debele filmove laka u liniji mokro-mokro.

Fizičko sušenje materijala koji sadrže rastvarače imaju mali udeo čvrstih materija zato što je molekularna masa povezioca relativno velika. Visoki udeo čvrstih materija se zadržava dispergovanjem vezioca u vodi (disperzije, emulzije) ili u organskim rastvaračima (nevodne disperzije). Slojevi koji su formirani tokom fizičkog sušenja, naročito oni dobijeni iz rastvarača su osetljivi na rastvarače (rastvaranje ili bubrenje).

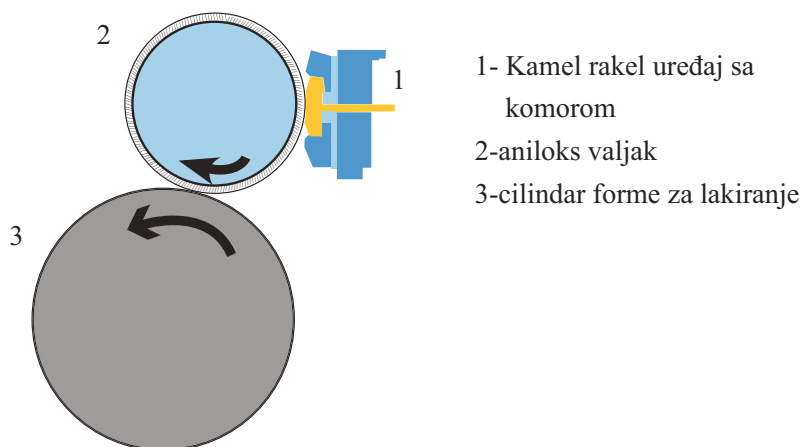
Hemijsko sušenje slojeva koji sadrže komponente vezioca reaguju zajedno tokom sušenja radi formiranja međupovezanih makromolekula. Ovi vezioci imaju relativno malu molekularnu masu, tako da njihovi rastvori mogu da imaju visok sadržaj čvrstih materija i nisku viskoznost. Hemijsko sušenje može da se izvede polimerizacijom, poliadicijom i polikondenzacijom. U praksi sušenje tečnih sredstava za oplemenjivanje najčešće se ne dešava samo sa jednom od nabrojanih metoda. Kod lakova sa rastvaračima i vododisperzivnih lakova koji se suše toplotnom energijom, fizičko sušenje isparavanjem uvek prethodi hemijskom sušenju. U zavisnosti od sastava sistema vezioca, fizičko i hemijsko sušenje se može odigrati i istovremeno, i različiti mehanizmi hemijskog sušenja mogu da se nastave uzastopno ili simultano, u zavisnosti od prirode vezioca. Poznavanje sastava vezioca je veoma važno radi određivanja načina sušenja sredstva za oplemenjivanje i njegovo ubrzavanje toplotom, zračenjem ili dodavanjem katalizatora (Stoye i Freitag, 1998).



Kontrola načina formiranja sloja i detekcija hemijskih promena tokom sušenja je od izuzetne važnosti radi kontrole kvaliteta primenjenog sredstva za oplemenjivanje, kao i kontrolu procesa aplikacije i samog procesa sušenja nanetog vlažnog sloja. Između ostalog te metode uključuju infracrvenu Raman spektroskopiju, diferencijalnu skenirajuću gelometriju, diferencijalnu termalnu analizu, merenje dielektrične konstante ili dielektričnog gubitka (Schwalm, 2006). Pre nekoliko godina su razvijene dve nove metode za kontrolu i praćenje formiranja slojeva i sušenja kod lakova sa UV sušenjem (Steeman i ostali, 2005). Dinamičko mehanička analiza u realnom vremenu pri niskim frekvencijama, kao i ultrasoničnim frekvencijama su razvijene za praćenje fizičkih promena tokom sušenja kao što su geliranje i vitrifikacija i kombinuju se sa infracrvenom analizom radi praćenja hemijskih promena reaktivnih veza polimerizacionom reakcijom. U radu Aliga-a i Lellinger (Alig i Lellinger, 2000) je ispitivano formiranje filmova vododiseprzivnih lakova sa ultrasoničnom metodom.

### 6.3. METODE APLIKACIJE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE

Primena i nanošenje tečnih sredstava za oplemenjivanje otiska se razvijalo tokom niza godina, i dobilo je primenu u skoro svim tehnikama štampe. Ofsetna tehnika štampe kao jedna od najzastupljenijih ima nekoliko tehnologija primene lakova kao sredstava za oplemenjivanje površine otiska. Sam odabir tehnologije primene zavisi od hemijskog sastava samog sredstva, načina sušenja i građe same mašine. Primena sistema sa dva valjka se sve ređe koristi, a dominantna tehnologija primene je putem aniloks (raster) valjka. Sistem aniloks valjka je preuzet iz tehnologije flekso štampe gde se koristi za odmeravanje nanosa štamparske boje. Samo ime aniloks (eng. anilox) potiče iz 1939. kada je predstavljen hromirani mehanički gravirani valjak za regulaciju nanosa boje na gumenu štamparsku formu flekso štampe, koja je u to vreme koristila anilinske boje. Najnovija rešenja uključuju zatvorene komore sa kamel rakel sistemom. Na slici 24. je prikazan sistem zatvorenog kamel rakel sistema.



Slika 24. Sistem zatvorenog aniloks valjka

U sistemu zatvorenog kamel rakela se koriste dva rakel noža gde je jedan od noževa postavljen u pozitivnom uglu rotacije, a drugi u negativnom uglu rotacije tako da su povezani i zatvoreni u nosač sa fleksibilnim zatvračima na strani. Ova struktura se postavlja nasuprot aniloks valjku na koji se ubacuje sredstvo za oplemenjivanje kroz zatvoreni sistem komore.

Prednost ovog sistema je veoma precizna aplikacija boja ili sredstava za oplemenjivanje preko cele širine otiska. Druga pozitivna stvar je pošto je sistem zatvoren, i sredstva ne dolaze u dodir sa vazduhom, moguće je veoma precizno kontrolisati viskozitet korišćenih lakova.

Određivanje količine nanosa sredstva za oplemenjivanje kod ovog tipa uređaja vrši se preko odgovarajućih raster valjaka. Raster (aniloks) valjci se izrađuju u zavisnosti od primene sa različitim linijaturom. Pod linijaturom aniloks valjka podrazumeva se broj graviranih ćelija po jediničnoj dužini. Veća linijatura podrazumeva manje ćelije i manji prenos količine sredstva za oplemenjivanje. Drugi važni faktori raster valjka su: ugao ćelija i kapacitet prenosa.

Kapacitet prenosa se često definiše preko  $\text{cm}^3/\text{m}^2$ . Sama zapremina zavisi od dubine graviranja, oblika i naravno čišćenja ćelija posle korišćenja pošto zaostala sredstva od prethodnog posla mogu da u velikoj meri smanje kapacitet prenosa. Sledeći važan faktor je linijatura rastera i sam oblik. Linijatura treba da je prilagođena vrsti posla, i količini sredstva za oplemenjivanje koje se želi naneti na površinu. Jedan od problema koji se može javiti kod odabira linijature je veličina čestica materijala koji se prenosi putem aniloks valjka. Idealno dubina ćelija prema odnosu otvora otpimlano bi trebalo da bude između 23 i 33% (Greise, 1996). Kao opšte pravilo kod linijature se može reći da viša vrednost linijature će dati manji (finiji) nanos laka. Nakon odabira linijature, važno je i odrediti ugao graviranja aniloks valjka. U današnjim aplikacijama se najčešće koristi ugao od  $60^\circ$ , jer je dokazano da se aniloks najmanje haba pri tome uglu. U proizvodnji u zavisnosti od specifičnosti posla se mogu koristiti i uglovi od  $45^\circ$  i  $30^\circ$ .

Druga korišćena metoda aplikacije tečnih sredstava za oplemenjivanje je na principu sito štampe. Osnovni princip rada obuhvata razvlačenje mrežice koja može biti od različitih materijala kao što su sintetička vlakna u čvrsti okvir, čime se stvara pravougaona planarna struktura. Ovako dobijena sito mreža određuje tri važna varijabilna faktora (Satas i Tracton, 2005):

- određivanje količine prenešenog materijala za oplemenjivanje ili boje usled pritiska
- stvaranje površine za odvajanje viskoznih sredstava za oplemenjivanje prilikom aplikacije na neku površinu
- nošenje štampajućih elemenata

Količina prenosa materijala na substrat je i određena horizontalnim pomeranjem i vertikalnim pritiskom gumenog noža rakela koji naleže na površinu zategnutog sita i vrši pritisak na sredstvo za oplemenjivanje. Zbog velikog broja materijala i metoda za izradu mreža,

---

sama geometrija sita može da varira. Broj prepletenih vlakana određuje tkanje sita koje se izražava brojem tih niti u nekoj dužinskoj jedinici, ili površinskoj jedinici. Na ukupnu količinu prenešenog materijala kada se primenjuje tehnika sito oplemenjivanja utiču debljina vlakana na površini štampe minus volumen vlakana na toj površini. Na količinu prenešenog materijala utiče naravno i viskozitet laka ili drugog sredstva za oplemenjivanje. Za aplikaciju lakova se može koristiti i metoda rotacione sito štampe koja se koristi u visokoproduktivnim uslovima štampe (štampa ambalaže i etiketa), ali ona neće ovde biti detaljno opisana. Preciznije definicije pojmova vezano za aplikaciju putem dve opisane tehnologije se mogu naći u eksperimentalnom delu ove teze.

#### 6.4. KARAKTERIZACIJA OSOBINA SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE

Nakon oplemenjivanja neke površine ti materijali predstavljaju sastavni deo određenog objekta, i podležu svim spoljašnjim fizičko, hemijsko, prirodnim uticajima kao i ostali delovi tog objekta. Promene u oplemenjivanju mogu da se dese u sloju laka usled delovanja velikog broja različitih uticaja. Promene u oplemenjivanju koje najčešće dovode do gubitka funkcije oslojenog sloja su skoro uvek fizičke prirode i mogu da uključuju efekte kao što je gubitak sjaja, promena boje, zadržavanje prljavštine, pucanje sloja, delaminacija, korozija itd.

Opterećenja koja mogu da prouzrokuju gubitak funkcije sloja oplemenjivanja mogu biti kratkotrajne (udarne) ili male i dugotrajne ili često ciklične prirode. Često promene u fizičkim karakteristikama su posledica hemijskih procesa koje se dešavaju unutar sredstva za oplemenjivanje (Port i Cameron, PANDC).

Pošto metode testiranja obuhvataju dosta široku materiju u ovoj tezi će se ukazati samo na neke od metoda i na određena istraživanja drugih autora, koji su ispitivali i karakterizirali fizičke i hemijske promene primenjenih sredstava za oplemenjivanje.

Kod provere fizičkih veličina se može kontrolisati viskoelastičnost i tvrdoću sloja laka. Viskoelastične karakteristike lakova su u velikoj meri zavisne od temperature, veličine deformacije i vreme trajanja, i često se kvantifikuju sa analizom opterećenja (zatezno opterećenje) u funkciji temperature (Schnecko, 1979).

Tvrdoća se može definisati kao otpornost materijala na lokalne deformacije, koje su proukovane udarom, grebanjem, rezanjem ili savijanjem. Za elastomere i neke polimere, tvrdoća se definiše kao otpornost na elastičnu deformaciju površine. Postoje tri principijelne standardne metode za izražavanje veze između tvrdoće i veličine udara, a to su Brinell, Rockwell i Vickers (Schwalm, 2006). U industriji sredstava za oplemenjivanje najčešće korišćene metode za merenje tvrdoće sloja su klatno, utiskivač i utiskivanje. Metodologije ispitivanja su definisane standardima ASTM D 4366, DIN EN ISO 1522, DIN 53157 i ASTM D 1474. Otpornost na abraziju se može iskazati na nekoliko načina, gde su najčešće izražene kroz gubitak mase

---

(mg) ili broja kružnog struganja do skidanja sloja (broj krugova do određene debljine sloja). Nekoliko standarda opisuje i ovu metodu među kojima su DIN EN 438, ASTM D4060-90.

Postoji ceo niz metoda za testiranje i simulaciju uticaja grebanja na naneti sloj premaza ili laka. Veliki broj ovih testova ima zajedničku negativnu stranu: najčešće oštećuju površinu brže nego što bi se ona oštetila u toj meri u tom kratkom vremenskom periodu. Raspon oštećenja zavisi od primenjenih sila, brzina i geometrije primene tih veličina kao i uslova testiranja kao što je vlaga i temperatura. U svim testovima se neka vrsta abrazivne materije prevlači sa normalnom silom nekoliko puta preko uzorka površine. Klasifikacija otpornosti na grebanje se zatim iskazuje preko vizuelnog pregleda, gubitka sjaja, promene boje ili gubitka materijala za abraziju. U radu Petersena (Petersen, 2006) testirano je nekoliko metoda za procenu otpornosti materijala i ukazano je na veliki uticaj sastava premaza u odnosu na druge karakteristike. U radu (Rossi i ostali, 2009) gde su upoređivane dve različite metodologije testiranja za karakterizaciju ponašanja organskih sredstava za oplemenjivanje i premazivanje. U radu je korišćen Taber test i padajući abrazivni test sa odgovarajućim abrazivima. Zbog male tvrdoće abraziva, uticaj je bio samo estetske prirode u izgledu organskog laka. Nivo oštećenja je praćen preko merenja sjaja. U radu je i urađena korelacija između promene sjaja i oštećenja korišćenjem SEM mikroskopije.

Često je slučaj da se kritične mehaničke greške jave odmah nakon primene i nanošenja sredstva za oplemenjivanje, dok sa druge strane postoje slučajevi da se oštećenja javljaju prilikom dužeg vremenskog korišćenja određenog proizvoda. U takvim slučajevima pored poznavanja fizičkih i hemijskih promena unutar sloja za oplemenjivanje usled izlaganja okolini je poželjno testirati uzorke na uticaj okoline ili sa metodom ubrzanog starenja. Sloj je opterećen i pod uticajem mnogih faktora iz prirodnog okruženja, kao što su toplota, kiseonik, sunčeva svetlost, voda, mehanička i termalna opterećenja, atmosferska zagađenja i različiti hemijske susptanci za čišćenje. Nekada u određenim slučajevima posle nanošenja sloja, javljaju se ostatci razvijaača, kao i pigmenta, punioca i različitih aditiva koji mogu da imaju neku vrstu fotohemijske aktivnosti.

U radu (Gu i ostali, 2009) je praćena površinska topografija i sjaj površina koje su bile izložene UV zračenju. Nakon zračenja, površinska hrapavost je uglavnom rasla a time se sjaj smanjivao. U radu su korišćena AFM i LSCM merenja polimernih lakova, i doređena je korelacija između srednjeg kvadratnog korena hrapavosti RMS u promeni nano i mikro površina topografije polimernog sloja i vrednosti sjaja. Kao rezultat je dobijena skoro linearna zavisnost RMS hrapavosti sa merenom skalom dužine (L) na dvostrukoj logaritamskoj skali, tj. faktor skaliranja se smanjivao sa vremenom ekspozicije. Kao generalni zaključak je izvedena veza između površinske topografije i gubitka sjaja usled zračenja površine. Praćenje promene kolorimetrijskih vrednosti višestruko oplemenjenih uzoraka usled veštačkog ubrzanog staren-

ja sa vlagom i visokom temperaturom je urađeno u radu Karlović i ostali (Karlović i ostali, 2009) gde je utvrđeno merenjem uzoraka ofset štampe koji su oplemenjeni sa dve vrste laka da povećavanjem broja dana izloženosti uzoraka dolazi do povećanja razlike boja u odnosu na inicijalne vrednosti ofsetnih otisaka oplemenjenih sa različitim vrstama i količinama vododisperzivnih lakova. Praćenje i istraživanje uticaja starenja na neke od karakteristika lakova su obrađene i u radovima (Nevin i ostali 2009) i (Dietemann i ostali, 2008).

---

---

## EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalno istraživanje uticaja različitih količina sredstava na geometrijske i kolorimetrijske vrednosti imaju značaj kod planiranja, praćenja i naknadne analize proizvodnje štampanih otisaka. Kvantifikovanjem pojedinačnih veličina omogućava preciznije predviđanje i kontrolisanje samog procesa oplemenjivanja otisaka, i pored toga omogućava dobijanje empirijskih podataka neophodnim za softversku simulaciju tih otisaka. Uticaj vrste sredstva za oplemenjivanje kroz njegove fizičke karakteristike (veličina čestica, viskoznost) i hemijsku strukturu (vododisperzivni akrilati ili UV lakovi sa polimernom strukturom) neophodno je istražiti, i strukturu samih površina na koju se nanose ovi materijali. U eksperimentalnom delu su ispitivani uzorci otisaka dobijenih ofsetnom tehnologijom, koji su bili oplemenjeni na različite načine. Jedna grupa otisaka je bila oplemenjena sa tečnim vododisperzivnim i UV lakovima putem ofsetne anilox tehnologije, dok je druga grupa uzoraka bila oplemenjena sa UV lakovima koji su nanešeni putem tehnologije sito štampe.

Pošto je osnova istraživanja uticaja različitih količina lakova na geometrijske i kolorimetrijske vrednosti, uzorci su oplemenjeni sa varijacijom samih količina određenih lakova. Radi dobijanja što šireg opsega rezultata korišćeni su unutar svake grupe lakovi za postizanje sjajnih i mat efekata. Regulacija nanosa lakova kod uzoraka oplemenjenih sa vododisperzivnim lakom i UV lakom kojim su oplemenjeni uzorci sa hibridnim bojama su korišćenja dva anilox valjka sa linijaturom od 90 i 60L/cm, dok za oplemenjivanje uzoraka putem sito štampe su korišćena sita sa tri tkanja od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm.

Za dobijanje vrednosti sjaja kao glavne veličine geometrijske komponente refleksije uzorci su izmereni sa uređajem za merenje sjaja korišćenjem tri ugla merenja ( $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $85^{\circ}$ ) radi što tačnijeg uzorkovanja različitih vrsta lakova. Uzorci su izmereni i sa spektrofotometrom sa usmerenom geometrijom merenja  $45^{\circ}/0$  i izračunate su kolorimetrijske vrednosti kao i razlike boja.

Za kvalitativnu i kvantifikovanu analizu površina oplemenjenih i uzoraka bez sredstava za oplemenjivanje je korišćena metoda Atomic Force Microscope and Scanning Electron Microscope. Iz dobijenih merenja su izračunate vrednosti pojedinačnih parametara površinske hrapavosti i određene su druge površinske karakteristike od važnosti. Za kvalitativnu analizu površina urađena je SEM mikroskopska analiza površina. Nakon prikupljanja svih izmerenih i izračunatih vrednosti urađene su statističke analize i korelacije dobijenih rezultata u cilju potvrđivanja hipoteza.

## 7. UREĐAJI, METODE I MATERIJALI

### 7.1. KARAKTERISTIKA UREĐAJA ZA ŠTAMPANJE OTISAKA I UREĐAJA ZA NANOS SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE

Svi uzorci su štampani ofsetnom tehnologijom u proizvodnim uslovima. Deo otisaka koji je oplemenjen sa vododisperzivnim lakovima je štampan na petobojnoj KBA Rapidi 74 sa dodatnim agregatom i uređajem za nanos sredstava za oplemenjivanje putem aniloks valjka. Karakteristike mašine su date u tabeli 6. Otisci koji su oplemenjeni sa UV lakovima putem sito štampe su izrađeni na Heidelberg Speedmaster SM 52 četvorbojnoj mašini sa dodatnim agregatom za lakiranje. U tabeli 6. su dati i parametri ove mašine.

Tabela 6. Osnovne tehničke karakteristike uređaja za štampanje uzoraka

Mašina	KBA Rapida 74	Heidelberg Speedmaster SM 52
Maksimalna veličina tabaka	520 x 740 mm	370 x 520 mm
Minimalna veličina tabaka	210 x 297 mm	105 x 145 mm
Brzina štampe	18.000 otisaka/času	18.000 otisaka/času
Debljina korišćenih podloga	0.06 do 1mm	0.03 do 0.6 mm
Sušenje	IR sušenje	UV sušenje
Vlaženje	Korišćenje izopropil alkohola	Anicolor sistem uz korišćenje izopropil alkohola

Otisci štampani na KBA Rapidi 74 su oplemenjeni putem aniloks sistema na samoj mašini. Zbog specifične primene vododisperzivnih i UV lakova potrebno je da dodatni agregat bude opremljen sa odgovarajućim sistemom za nanos sredstva za oplemenjivanje. Određivanje količine sredstva koje se nanosi na štampane otiske se određuje odabirom određene linijature aniloks valjka. Pod linijaturom aniloks valjka se podrazumeva broj ćelija graviranih po jediničnoj dužini. Pored broja ćelija faktor koji određuje količinu prenešene materije je i ugao graviranja raster valjka, zapremina ćelija, brzina nanosa i karakteristike samog sredstva za oplemenjivanje. Za nanošenje vododisperzivnog laka je korišćen aniloks valjak sa graviranjem od 60L/cm, uglom graviranja ćelija od 60° i zapremina ovih raster valjaka je najčešće između 12 i

30 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Drugi korišćeni aniloks valjak ima linijaturu graviranja od 90L/cm, ugao graviranja ćelija od 60°, i tipične zapremine ovih aniloks valjaka se kreću između 6 i 20 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Važno je napomenuti da veća linijatura podrazumeva najčešće manje ćelije i tim manje kapljice koje se prenose na površinu podloge za oplemenjivanje. U proizvodnim uslovima je jako teško odrediti tačnu količinu prenesenog sredstva za oplemenjivanje i najčešće se izračunava preko g/m<sup>2</sup> na osušenim oplemenjenim tabacima.

Za oplemenjivanje otisaka sa UV lakom na sito mašini korišćen je uređaj SPS Rhemus poluautomatski uređaj. Kod ovog uređaja i načina kontrolisanja i varijacije same količine nanetog laka se upotrebljavaju sita sa različitim tkanjima. Za potrebe ovog doktorata su korišćena tri tkanja od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm. Količina prenosa sredstva za oplemenjivanje pored samih njegovih fizičko hemijskih karakteristika kod tehnike sito štampe je određen sa debljinom niti i debljinom stvorenih otvora. Pored karakteristika laka, i tkanja sita, pritisak rakela isto doprinosi količini protoka sredstva za oplemenjivanje. Kod korišćenih sita debljina niti je bila za 180 niti/cm 27 μ sa teorijskom količinom prenosa od 6,5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, dok je sito sa tkanjem od 150 niti/cm imalo debljinu niti od 27 μ sa teorijskim prenosom količine od 9,6 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> i sito sa tkanjem od 120 niti/cm sa deklarisanom debljinom niti od 27 μ i teorijskim prenosom količine od 17,2 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Radi utvrđivanja tačne količine nanetog laka je korišćena ista metoda određivanja količine kao kod vododisperzivnih lakova.

## 7.2. KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH PODLOGA ZA ŠTAMPU

Tip, struktura i površinske karakteristike podloga imaju veliki uticaj na prikaz boja. Pored površinskih karakteristika, koje u velikoj meri menjaju prelamanje svetlosti kod odštampanih uzoraka, nepremazni papiri manje gramature se ne preporučuju za oplemenjivanje zbog potencijalnih problema izazvanih upijanjem sredstva za oplemenjivanje unutar papirne podloge. Iz tog razloga, kao i mogućnosti praćenja kvaliteta reprodukcije preko optičke gustine nanosa boje i kolorimetrijskih vrednosti kontrole štampe za uzorke štampane sa konvencionalnim bojama i oplemenjenim sa vododisperzivnim lakovima uzeta je sjajno premazna podloga gramature od 130 g/m<sup>2</sup>. Ova podloga se po svim karakteristikama se može svrstati u Tip 1 podloge prema ISO 12647-2:2004 standardu. Za uzorke štampane sa UV bojama su uzeta dva papirna materijala sjajni i mat premazni papiri gramature od 250g/m<sup>2</sup>, sa optičkim karakteristikama koje se podudaraju sa ISO 12647-2 (2004) standardom, i Casino Classic karton od gramature sjajno premazni sa gramaturom od 320g/m<sup>2</sup>.



### 7.3. KARAKTERISTIKE BOJA KORIŠĆENIH ZA ŠTAMPU

Za štampanje uzoraka oplemenjenih sa vododisperzivnim lakovima korišćene su komercijalne konvencionalne boje proizvođača Sun Chemical Hartmann World Series : procesna cijan, magenta, žuta i crna. Ova serija štamparskih boja je u saglasnosti sa ISO 2846-1:2006 kao i ISO 12647-1:2004 i ISO 12627-2:2004 standardima. Redosled boja u mašini je bio KCMY. Karakteristike boja su prikazane u tabeli 7.

Tabela 7. Karakteristike korišćenih boja

World Series	Šifra proizvoda	Otpornost na svetlost ISO 2835	Alkohol ISO 2837	Mešavina rastvarača ISO 2837	Baze ISO 2838
Žuta	G 9901 WS26	5	+	+	+
Magenta	P 9902 WS27	5	+	+	-
Cijan	B 9903 WS25	8	+	+	+
Crna	S 9904 WS46	8	-	-	+

Boje korišćene za štampanje uzoraka koji su oplemenjeni sa UV lakom spadaju u UV boje, i dolaze iz serije Sicpa 770. Ove boje sadrže odgovarajuće fotoinicijatore i suše se isključivo sa UV lampama. Za uzorke koje smo štampali sa hibridnim bojama smo koristili komercijalne Hy Bryte hibridne boje koje proizvodi Sun Chemical. Korišćene su procesne boje HY BRYTE Process Cyan 51-Hy-01-EA 1, HY BRYTE Process Magenta 41-Hy-01-EA 1, HY BRYTE Process Yellow 21-Hy-01-EA 1, HY BRYTE Process Black 91-Hy-01-EA 1. Boje su sušene sa UV lampama čije su jačine bile podešene prema specifikaciji proizvođača.

### 7.4. KARAKTERISTIKE SREDSTAVA ZA OPLEMENJIVANJE

Prvi deo uzoraka štampan sa konvencionalnim bojama je oplemenjen sa vododisperzivnim lakovima nanetim pomoću odgovarajućih aniloks valjaka. Korišćena su dva tipa laka. Odabran je jedan komercijalni sjajni vododisperzivni lak Prestofix Hochglanzlack H6055/55, i jedan vododisperzivni mat lak Prestofix Mattlack H260/55 radi različitih efekata koji izazivaju

nakon nanošenja na podlogu. Osnovne karakteristike ovih lakova se nalaze u tabeli 8. Ovi lakovi su napravljeni na bazi akrilno kopolimernih disperzija, sa akrilnim smolama i vodom kao glavnim rastvaračem. Ovi lakovi se suše toplim vazduhom ili IR sušenjem. Tokom oplemenjivanja ovih otisaka su korišćene obe metode sušenja.

Tabela 8. Karakteristike korišćenih vododisperzivnih lakova

Fizičko stanje	Tečno
Boja	Bela
Miris	Slab, karakterističan
Tačka ključanja	100°C
Tačka paljenja	≥ 55°C
Pritisak pare na 20°C	23 hPa
Gustina na 20°C	1,04 g/cm <sup>3</sup>
Rastvorljivost u vodi	U potpunosti rastvoran
pH vrednost na 20°C	7,8-8,2

Uzorci štampani sa UV bojama su oplemenjeni sa odgovarajućim UV lakovima pogodnim za nanos putem tehnike sito štampe. Korišćene su komercijalni UV sjajni i UV mat lak Unico iz serije 946. Osnovne karakteristike ovih lakova su date u tabeli 9.

Tabela 9. Karakteristike korišćenih UV lakova

Fizičko stanje	tečno
Boja	bezbojno
Miris	karakterističan
Tačka ključanja	≥100°C
Tačka paljenja	≥100°C
Pritisak pare na 20°C	1,33 hPa
Gustina na 20°C	1-1,4 g/cm <sup>3</sup>
Rastvorljivost u vodi	nerastvorni
Viskoznost na 20°C	150s DIN 4 mm

Ovaj lak je predviđen za sušenje kod ekspozicije sa jednom UV lampom od 120 W lampi. Vreme sušenja zavisi od površine i količine nanetog laka. Korišćene su vrednosti preporučene od strane proizvođača. Za oplemenjivanje uzoraka štampanih sa hibridnim bojama korišćen je UV lak VP 10532 proizvođača VEGRA. Za sušenje laka je korišćena UV lampa sa odgovarajućim fabričkim podešavanjima.

---

## 7.5. METODA IZRADE OTISAKA

Podošavanje i priprema mašine je urađena prema preporukama proizvođača. Tokom trajanja izrade uzoraka varijabilni faktori u pogledu rada mašine su održavani u preporučenim granicama. Svi otisci su bili odštampani u jednom prolazu kroz mašinu nakon odgovarajućih podešavanja u pogledu tačnosti registra i nanosa boje. Otisci su bili kontinualno kontrolisani sa refleksionim denzitometrom i kolorimetrom prema vrednostima ISO 12647-2:1996 i ISO 12647-2:2004 standarda. Nakon izrade otisaka i odgovarajućeg vremena sušenja postavljen je aniloks valjak linijature od 90 L/cm gde je oplemenjen određeni broj otisaka kroz ponovni prolaz otisaka kroz mašinu sa isključenim jedinicama za boju. Nakon toga raster valjak je promenjen i ubačen je drugi sa linijaturom od 60 L/cm. Ovaj postupak je ponovljen i za drugu vrstu laka za sve uzorke štampane sa konvencionalnom bojom. Kod uzoraka štampanim sa UV bojama radi usaglašavanja nanosa korišćena je isto denzitometrijska i kolorimetrijska metode kontrole otiska prema vrednostima ISO 12647-2:1996 i ISO 12647-2:2004 standarda. Nakon izrade otisaka, odabrani otisci su ubačeni u uređaj za oplemenjivanje putem sito tehnike. Sve podloge su oplemenjene sa odgovarajućim sitom sa odgovarajućim tkanjem, i nakon toga je izvršena zamena sita i postupak je ponovljen za tri različita tkanja. Svi oplemenjeni uzorci su bili pravilno osušeni uz pomoć dve UV lampe i toplog vazduha.

## 7.6. METODA UZORKOVANJA I MERENJA

Radi što tačnijeg merenja i smanjivanja grešaka usled varijacija otisaka, nakon štampanja izdvojeni su tabaci koji su odgovarali zadatim parametrima standardizovane štampe. Nakon odabira otisaka koji zadovoljavaju standardne parametre svih kombinacija (bez laka, oplemenji sa mat lakom sa dva različita raster valjka, i oplemenjeni sa sjajnim lakom, kao i sa različitim tkanjima sita) odabrano je nekoliko uzoraka metodom slučajnog uzorkovanja. Ovi otisci su kasnije korišćeni za merenja u laboratorijskim uslovima u prostorijama Grafičkog centra na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn. Za laboratorijska merenja uzorci su bili označeni i pravilno pripremljeni prema specifikacijama za merenje. Radi preciznijih rezultata mereno je na više uzoraka sa ponavljanjem na pojedinačnim uzorcima i za vrednosti su uzimane aritmetičke sredine izmerenih numeričkih vrednosti. Radi određivanja količine nanetog sredstva za oplemenjivanje na nekoliko otisaka su uzete površine od 10 x 10 cm sa pet pozicija (uglovi i centralni deo otiska) radi proračuna količine nanetog laka u g/cm<sup>2</sup> kao najčešću metodu za kvantifikaciju ovih materijala na površini. Merenje je izvršeno na kalibrisanoj laboratorijskoj analitičkoj vagi radi tačnosti merenja. Konkretna podešavanja mernih instrumenata su data u pregledu rezultata merenja.

## 7.7. UREĐAJ ZA MERENJE SJAJA

Za određivanje geometrijske veličine refleksije je korišćen uređaj GlossMaster koji obezbeđuje merenje spekularnih veličina na svim površinama kroz merenje na tri ugla merenja  $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , i  $85^{\circ}$ . Uređaj je u saglasnosti sa svim standardima vezanim za merenje sjaja kao što su ISO, JIS, DIN, ASTM, i TAPPI. Specifikacije uređaja su date u tabeli 10.

Tabela 10. Osnovne karakteristike uređaja za merenje sjaja

Uglovi merenja:	Istovremeno merenje više uglova ( $20^{\circ}$ , $60^{\circ}$ , $85^{\circ}$ )
Optika:	Po ISO 2813, ASTM D 523, DIN 67 530 standardima
Svetlosni izvor:	Volframska lampa
Detektor:	Fotodioda
Veličine merenja:	$20^{\circ}$ 0,39'' x 0,42'' (10,0 x 10,6 mm) $60^{\circ}$ 0,39'' x 0,79'' (10,0 x 20,0 mm) $85^{\circ}$ 0,39'' x 1,58'' (10,0 x 40,1 mm)
Kalibracija:	Pomoću referentne crne pločice sa indeksom prelamanja $n=1,567$
Reference	ISO 2813 - Određivanje spekularnog sjaja na nemetalnim obojenim filmovima na $20^{\circ}$ , $60^{\circ}$ i $85^{\circ}$ stepeni. ASTM D 523 - Standardni test metod za spekularni sjaj DIN 67 530 - Tipični standard za merenje sjaja

## 7.8. UREĐAJ ZA MERENJE HROMATSKIH VELIČINA

Određivanje hromatskih veličina (spektralne krive refleksije), kao i CIE kolorimetrijskih vrednosti korišćen je SpectroDens refleksioni spektrofotometar. Sva merenja su urađena prema ISO standardu ISO 13655:2009 korišćenjem crne podloge ispod otiska koji se meri. Karakteristike ovog uređaja su date u tabeli 11.

Tabela 11. Karakteristike Spectrodens uređaja

Geometrija merenja	0/45° optika prema DIN 5033
Spektralni opseg	od 400 do 700 nm sa međukoracima od 10 nm
Veličina mernog otvora	3 mm standardnog kružnog oblika opciono: 1,5 x 1,5 mm 2,5 x 1 mm 3 mm kružni sa UV-Cut filterom
Izvor svetla	Lampa sa plemenitim gasom, tip A iluminanta
Polarizacioni filter	Dvostruko ukršten, Uključivanje i isključivanje po potrebi
Illuminanti / Standardni posmatrač	A, C, D50, D65 / 2°, 10°
Filteri za optičku gustinu	DIN 16536, DIN 16536 NB, ISO/ANSI T, ISO/ANSI I, ISO E, Dmax
Ponovljivost	0,01 D 0,03 CIE $\Delta E_{ab}$
Među instrumentalno podudaranje	0,01 D 0,3 CIE $\Delta E_{ab}$

## 7.9. UREĐAJ ZA SKENIRANJE POVRŠINA

U radu je korišćen merni instrument Veeco CP-II koji omogućava merenje površinskih karakteristika materijala, grafičko prikazivanje i obradu podataka. Digitalni instrument CP-II (slika 68), pripada grupi skenirajućih mernih instrumenta sa sondom (SPM- Scanning Probe Microscope). Odlikuje ga visoka rezolucija razlaganja, predgledanja i učitavanja slike, potpuna galerija modova za posmatranje uzoraka, kao i glavni hardver i softveri sa mogućnošću mno-brojnih aplikacija, pogodnih za različita naučna istraživanja. CP-II mikroskop omogućava posmatranje uzoraka do 100 $\mu$ m bez potrebe za promenom hardvera. Omogućeno je i posmatranje materijala sa prikazima i do atomske rezolucije, bilo kojeg odabranog dela ili celog uzorka koji se posmatra. Okretanja slike, smeštanje u prozor posmatranja, kao i brzina posmatranja nemaju uticaj na rezultate. Takođe, nije potrebno izmeštanje uzorka kada se koriste određeni modovi pri posmatranju uzoraka, kao što je npr. posmatranje mikroskopske kapacitivnosti. CP-II koristi odgovarajući ScanMaster zatvoreni ram za linearizaciju da bi se omogućilo precizno merenje u svim dimenzijama, bez obzira na veličinu uzorka, brzinu ili obrtanje. CP-II AFM instrument se sastoji od konzole sa mikroskalom, i oštrog mernog vrha, koji se nalazi na

kraju konzole i koji se koristi za skeniranje površine uzorka. Konzola je napravljen od silikona sa vrhom poluprečnika krivine koji pokazuje vrednost u nanometrma. Merni vrh je postavljen na slobodnom kraju konzole koja je duga od 100 do 200 $\mu$ m. Sile između mernog vrha i površine uzorka izazivaju savijanje, izvijanje ili ugibanje konzole. Kada se vrh sonde postavi blizu površine uzorka, sile između vrha i uzorka dovode do skretanja konzole saglasno sa Hukovim zakonom. Detektor meri izvijanje konzole pomeranjem mernog vrha iznad površine uzorka ili pomeranjem uzorka koji je postavljen ispod mernog vrha. Izmerena izvijanja konzole se dalje kompjuterski generišu i dobija se nacrt ili slika površinske topografije ispitivanog uzorka. Tehnički podaci CP - II SPM instrumenta su dati u tabeli 12.

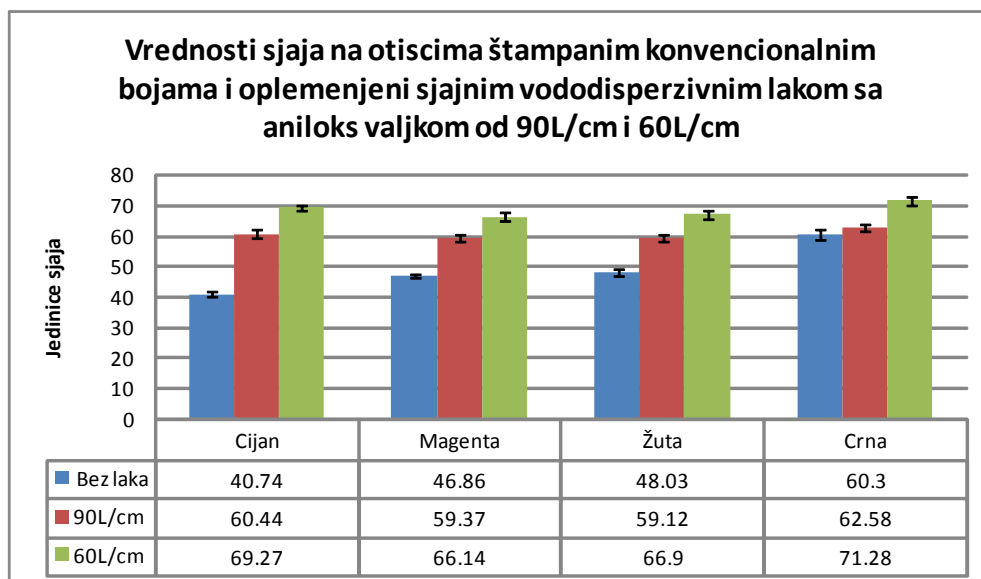
Tabela 12. Tehnički podaci CP-II SPM uređaja

Veličina ispitivanog uzorka:	do 50 mm prečnik i do 22 mm debljine
Zatvoren ram uređaja za ispitivanje:	ScanMaster optika, sinhrono ispitivanje, kontrola i linearizacija u X,Y, i Z XY napon u opsegu: 0 – 400V Z napon u opsegu: 0 – 300V 3 nezavisna, 20-bit, DACs za piezo kontrolu za XY i Z XY kontrolna rezolucija: 0.1 nm (Hi modu); 0.02 nm (Low modu) Z kontrolna rezolucija: 0.007 nm (Hi Mode); 0.0025 nm (Low mode) Z senzor šuma: manji od 1 nm (rms) XY senzor šuma: 6 nm (rms)
Otvoren ram uređaja za ispitivanje	5 $\mu$ m X-Y opsega posmatranja sa $\approx$ 1.5 $\mu$ m Z opsega; XY napon u oblasti : 0 – 400V Z napon u oblasti: 0 – 300V XY kontrolna rezolucija: 0.004nm (Hi modu); 0.001 nm (Low modu)
XY translatorno kretanje:	6 x 6 mm manualna translacija sa 2 $\mu$ m rezolucije softverom kontrolisan stepen nagiba : + 18 stepeni do –18 stepeni (spreda ka pozadi) + 20 stepeni do – 20 stepeni (sleva na desno)
Merni vrh:	predugradjen ili dodat nosač sa mernim vrhom za sve neophodne operacije merenja; uključen univerzalni nosač čipa ugao glave, vrha nosača usmeren horizontalno: 11 stepeni
Optika:	ugao posmatranja: 90 stepeni kamera : CCD kamera u boji (440,000 pixela), Automatsko kontrolisano pojačanje Objektivi: 10X (standard), 20X i 50X Radna udaljenost: 33.5 mm (10X objektiv) Manualni zoom : 160X - 450X (10X Objektiv) Polje posmatranja: 1.24 mm x 0.93 mm do 440 $\mu$ m x 330 $\mu$ m (10X Objektiv) Rezolucija: 3.0 $\mu$ m (10X Objektiv)
Elektronika:	do 8 akvizicionih kanala 20-bit DACs za piezo kontrolu u X,Y i Z pravcu

## 8. REZULTATI MERENJA

### 8.1. REZULTATI MERENJA SJAJA

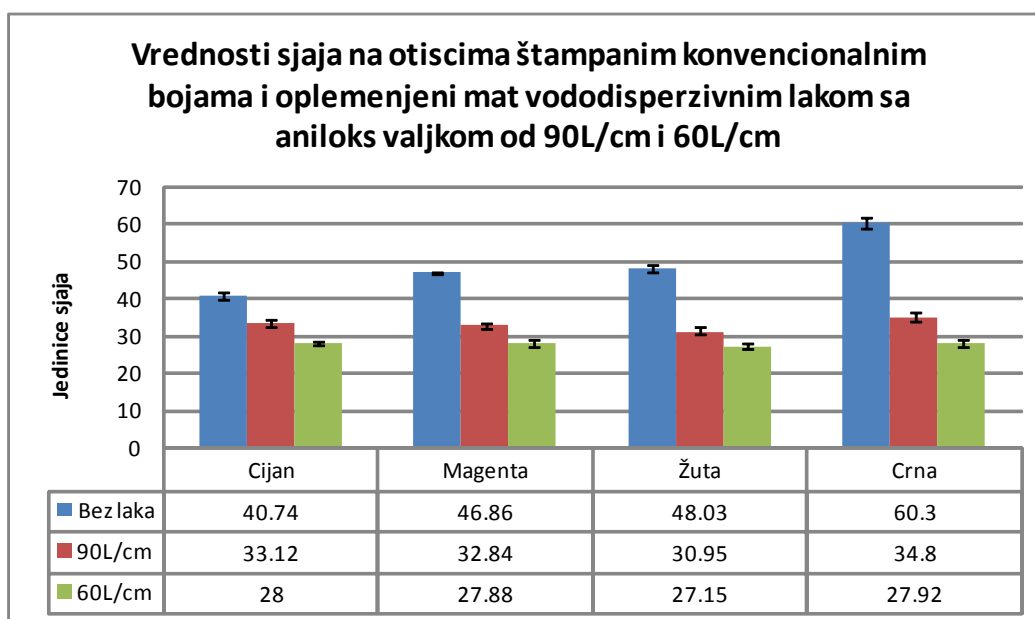
Merenje sjaja obuhvata definisanje karakteristike neke površine gde se meri reflektovana spekularna reflektanca. Promenom same površine i menjanjem topografije dolazi do preraspodele spekularne i difuzne komponente reflektance i time dolazi do promene osećaja kolorimetrijskih i geometrijskih osobina povešina. Uzorci pripremljeni za merenje sjaja su izmereni sa QIP Glossmaster uređajem sa korišćenjem tri ugla merenja ( $20^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $85^{\circ}$ ). Prema ISO standardu ISO 2813:1994 koji definiše merenje spekularnog sjaja na obojenim površinama nemetalnih podloga i ASTM D523:1999 su uzeti rezultati merenja sjaja pod uglom od  $60^{\circ}$ . Uređaj Glossmaster je kalibrisan preko crne polirane visokoreflektivne pločice sa indeksom refleksije  $n=1,567$  što odgovara teoretskom standardu za upoređivanje uzoraka. Refleksija sa ovog kalibracionog uzorka ima dodeljenu vrednost od 100 jedinica sjaja (eng. Gloss Unit-GU) pri svim uglovima merenja. Prema preporukama standarda ukoliko je vrednost jedinice sjaja pri korišćenju ugla  $60^{\circ}$  veće od 70 jedinica sjaja se uzimaju vrednosti ugla  $20^{\circ}$ , a u slučaju da je vrednost sjaja ispod 10 jedinica uzimaju se vrednosti očitane pod uglom od  $85^{\circ}$ . Prikazane vrednosti na grafikonima su aritmetičke sredine 10 merenja sa vrednošću standardne devijacije. Na slici 25. su prikazani rezultati merenja vrednosti sjaja na otiscima štampanim sa konvencionalnim bojama, i rezultati sjaja na otiscima oplemenjenim sjajnim vododisperzivnim lakom sa varijacijom dve količine preko odgovarajućih aniloks valjaka od 60L/cm i 90L/cm.



Slika 25. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim sa konvencionalnim bojama bez laka i sa sjajnim vododisperzivnim lakom sa aniloks valjcima od 60L/cm i 90L/cm.

Vrednost sjaja je merena preko punih tonskih površina radi dobijanja homogenijih rezultata, kao i radi upoređivanja sa kolorimetrijskim vrednostima. Na slici 25. vrednosti sjaja neoplemenjenih uzoraka se kreće između 40,74 za cijan i 60,3 za crnu boju. Najmanju srednju devijaciju merenja kod ovih uzoraka su imali polja sa magentom sa vrednošću od  $\sigma=0,35$  a najveće uzorci crne boje sa vrednošću  $\sigma=1,86$ . Kod otisaka sa sjajnim vododisperzivnim lakom koji nanet sa aniloks valjkom od 90L/cm i izračunatom količinom laka od 1,9 g/m<sup>2</sup> je raspon sjaja od 59.12 na žutim uzorcima do 62.58 na uzorcima sa crnom bojom. Najmanju standardnu devijaciju su bila na poljima sa crnom bojom  $\sigma=1,07$  dok najveća vrednost je dobijena kod cijan boje  $\sigma=1,44$ . Kod uzoraka koji su oplemenjeni sa sjajnim vododisperzivnim lakom uz pomoć aniloks valjka od 60L/cm i izračunatom količinom od 3,96 g/m<sup>2</sup> najveću vrednost sjaja je imalo polje crne boje sa vrednošću 71.28 dok najmanju vrednost sjaja je imalo polje žute boje sa vrednošću 66.9. Najveća standardna devijacija je izmerena na crnom polju  $\sigma=1,5$  a najmanja na cijan polju  $\sigma=0,92$ .

Na slici 26. su prikazani rezultati merenja otisaka štampanih sa konvencionalnim bojama i oplemenjenim sa mat vododisperzivnim lakom uz pomoć aniloks valjka od 60L/cm i 90L/cm.



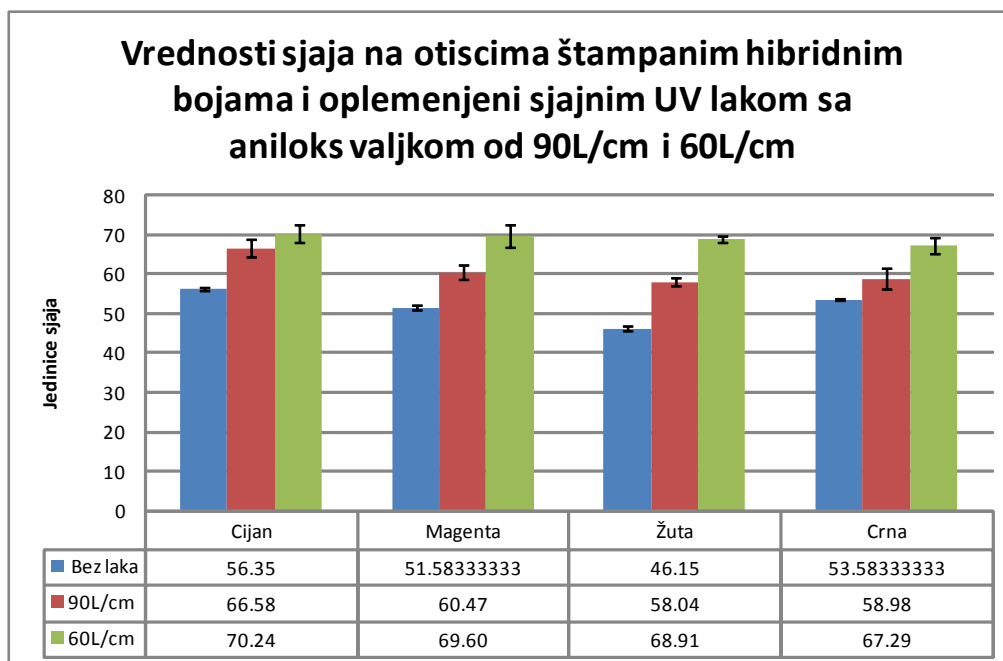
Slika 26 Vrednosti sjaja na otiscima štampanim sa konvencionalnim bojama bez laka i sa mat vododisperzivnim lakom sa aniloks valjcima od 60L/cm i 90L/cm.

Na slici 26. najveće vrednosti sjaja imaju odštampane površine bez nanetog sredstva za oplemenjivanje i kreću se u rasponu od 40,74 za cijan i 60,3 za crnu boju. Kod nanošenja mat laka pomoću aniloks valjka od 90L/cm je dobijena količina laka od 1,13 g/m<sup>2</sup> i vrednostima sjaja u rasponu od 30,96 za površine sa žutom bojom i 34,8 za površine sa crnom bojom. Najmanja standardna devijacija je dobijena za uzorke magente  $\sigma=0,74$  a najveća vrednost stan-



dardne devijacije je izmerena kod crne boje  $\sigma = 1,43$ . Kod uzoraka oplemenjenih sa aniloks valjkom od 60L/cm kod mat laka je izmerena prosečna pokrivenost od 2,15 g/m<sup>2</sup>. Vrednosti sjaja se kreću od 27.15 za žutu boju i 28 za cijan boju. Najveću standardnu devijaciju je imao uzorak sa crnom bojom  $\sigma = 0,93$  a najmanju cijan sa  $\sigma = 0,58$ .

Uzorci štampani sa hibridnim ofsetnim bojama su bili oplemenjeni samo sa sjajnim UV lakom uz pomoć istih aniloks valjaka (60L/cm i 90L/cm) kao i vododisperzivni lakovi. Zbog drugačije strukture, i fizičko hemijskih karakteristika količine nanetog laka su bile delimično različite iako su se koristili isti aniloks valjci. Na slici 27. su predstavljeni rezultati merenja vrednosti sjaja na otiscima štampanim sa hibridnim bojama i oplemenjenim sa UV lakom putem ofsetne tehnologije i aniloks valjcima.

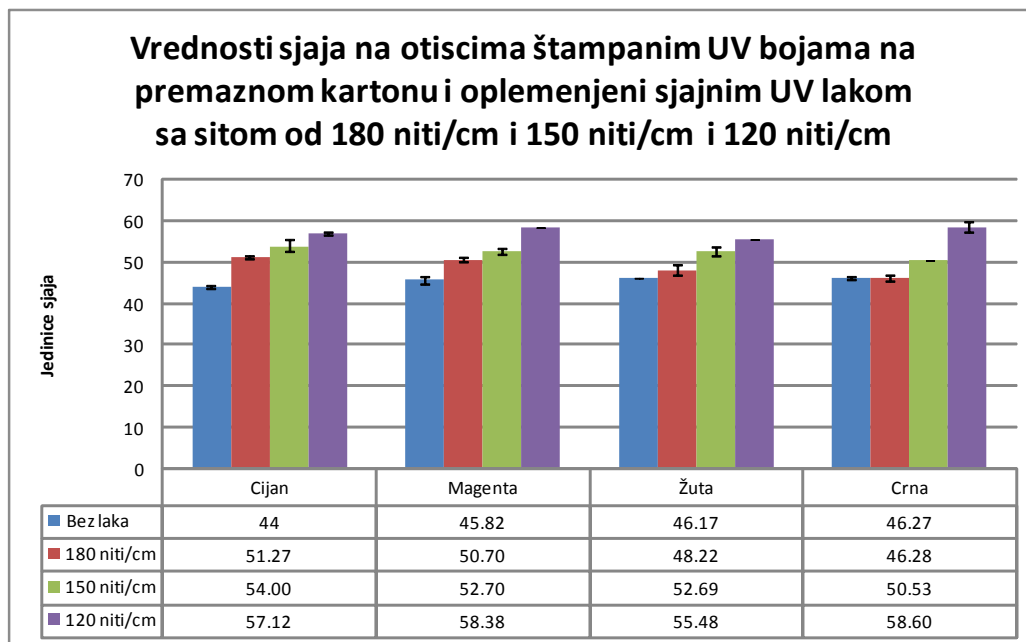


Slika 27. Vrednosti sjaja na otiscima sa hibridnim bojama bez laka i sa sjajnim UV lakom sa aniloks valjcima od 60L/cm i 90L/cm

Na osnovu rezultata na slici 27. najveće vrednosti sjaja imaju odštampane površine sa sjajnim UV lakom koji je nanešen sa aniloks valjkom od 60L/cm. Nanos ovog laka je bio 6,47 g/m<sup>2</sup> u odnosu na količinu od 1,95 g/m<sup>2</sup> koliko je iznosi nanos sredstva za oplemenjivanje na otiscima za koje je korišćen aniloks valjak od 90L/cm. Opseg sjaja na otiscima sa 6,47g/m<sup>2</sup> se kreće od 70,24 za cijan boju sa standardnom devijacijom  $\sigma = 2,27$ , dok najnižu vrednost je izmerena na crnoj boji, i iznosi 67,29 jedinice sjaja sa standardnom devijacijom  $\sigma = 2,02$ . Nanos od 1,95 g/m<sup>2</sup> je dao opseg sjaja od 58.04 za magentu sa standardnom devijacijom merenja od  $\sigma = 0,96$ , do najveće vrednosti 66,58 za cijan boju sa standardnom devijacijom  $\sigma = 2,27$  što je veći opseg sjaja od otisaka bez oplemenjivanja. Otisci sa hibridnim bojama koji sadrže delimično

i UV komponentu su imali opseg sjaja od 46,15 za žutu boju sa standardnom devijacijom  $\sigma = 0,58$ , i najvećom vrednošću za cijan boju sa 56,35 sa standardnom devijacijom merenja  $\sigma = 0,49$ . Primetno je da se nanošenjem laka dolazi do povećanja vrednosti standardne devijacije merenja, što je uslovljeno sa osetljivošću merenja sa nanosom sredstava za oplemenjivanje.

Na slici 28. su predstavljeni rezultati za vrednosti sjaja izmereni na otiscima štampanim sa konvencionalnim bojama i oplemenjenim sito tehnikom sa tri različite količine sjajnog UV laka na premaznoj kartonskoj podlozi od  $320\text{g/m}^2$ . Variranje količine laka je postignuto korišćenjem tri tkanja sita.

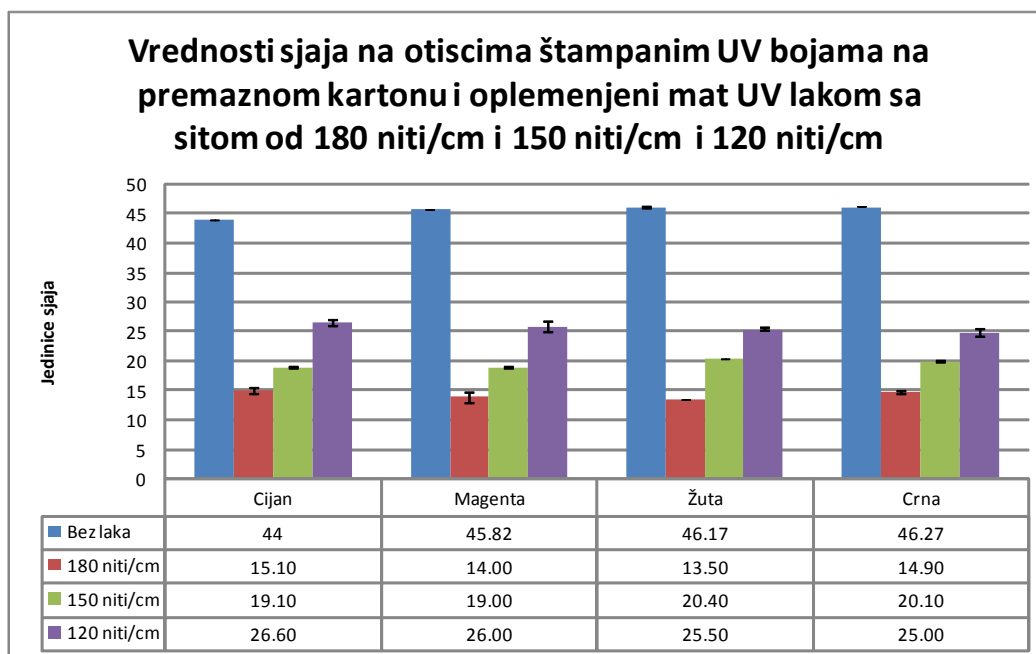


Slika 28. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na premaznom kartonu sa UV bojama bez laka i sa sjajnim UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm

Kod uzoraka koji su oplemenjeni nakon štampe u sito mašini na sjajno premaznom kartonusa sjajnim UV lakom vrednosti sjaja obojenih površina bez UV laka kao sredstva za oplemenjivanje imamo raspon od 44 za cijan do 46.27 za crnu boju, dok je najmanju standardnu devijaciju imala žuta sa vrednošću od  $\sigma = 0,1$  dok je najveću standardnu devijaciju imalo merenje magente  $\sigma = 0,86$ . Kod otisaka koji su oplemenjeni sa tkanjem sita od 180 niti/cm je dobijena prosečna pokrivenost od  $7,92\text{ g/m}^2$ . Vrednost jedinica sjaja se kretala od 46,28 do 51,27, najmanjom standardnom devijacijom  $\sigma = 0,36$  za magentu i  $\sigma = 1,21$  za žutu što je predstavljalo najveću varijaciju kod merenja. Kod uzoraka koji su oplemenjeni sa tkanjem sita od 150 niti/cm je izračunata pokrivenost površine sa  $11,31\text{ g/m}^2$  sjajnog sredstva za oplemenjivanje. Opseg vrednosti sjaja kod ovih uzoraka se kretao od 54 za cijan boju do 50.33 za crnu boju. Crna boja imala najmanju standardnu devijaciju  $\sigma = 0,08$  a najveću cijan  $\sigma = 1,4$ . Kod uzoraka koji su nakon ofset štampe oplemenjeni pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm, izmerena je pokrivenost od  $14,96\text{ g/m}^2$  što potvrđuje činjenicu da sita sa najmanjim tkanjem daju najveće nanose laka na

površinu. Opseg sjaja na ovim uzorcima se kretao od 58.60 za crnu sa standardnom devijacijom od  $\sigma= 1,37$  do žute 55.48 sa vrednošću  $\sigma= 0,08$ .

Isti otisci su oplemenjeni sa istim sitima za oplemenjivanje na sito mašini sa UV mat lakom i rezultati merenja sjaja za ove uzorke su prikazani na slici 29.



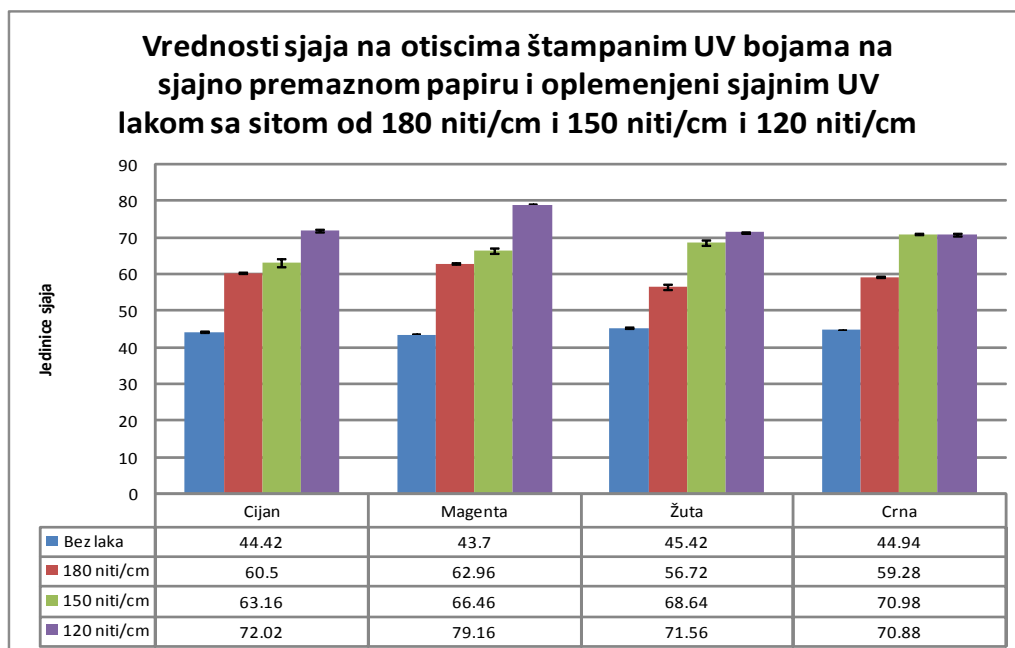
Slika 29. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na premaznom kartonu sa UV bojama bez laka i sa mat UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm.

Kao što je napomenuto zbog razlike u fizičko hemijskim svojstvima je moguće da su mat lakovi naneti u drugim količinama i urađena su merenja tih nanosa. Uzorci sa mat lakom nanetim sa sitom od 180 niti/cm su imali prosečan nanos  $10,92 \text{ g/m}^2$ , sa sitom od 150 niti/cm nanos od  $10,948 \text{ g/m}^2$ , a sito sa tkanjem od 120 niti/cm je dalo prosečan nanos  $17,48 \text{ g/m}^2$  što je potvrdilo da i kod mat laka sito sa najvećim tkanjem u ovom slučaju sa 120 niti/cm daje najveći nanos količine laka po površini otiska. Ovi nanosi su uglavnom bili veći za mat lak nego za sjajni lak što se pripisuje fizičko hemijskim svojstvima tih lakova.

Opseg sjaj za najmanju nanetu količinu laka od  $10,92 \text{ g/m}^2$  je iznosi od 13,50 za žutu boju do 15,10 za cijan boju. Standardna devijacija merenja za najveći deo uzoraka je bila  $\sigma= 0,057$ . Lak sa malo većom nanetom količinom od  $10,948 \text{ g/m}^2$  je imao povećani opseg sjaja koji je se kreto od 19 za magentu do 20.40 za žutu boju. Magenta je imala standardnu devijaciju merenja od  $\sigma= 0,057$  koliko je iznosila i standardna devijacija za druge boje. Najveći nanos do  $17,48 \text{ g/m}^2$  dobijen tkanjem sita od 120 niti/cm je dao najveći opseg sjaja sa vrednostima od 26.60 za cijan sa standardnom devijacijom  $\sigma= 0,40$  do 25 jedinice sjaja sa crnom bojom koja je imala standardnu devijaciju od  $\sigma= 0,58$ .

U ovom slučaju je došlo do pada sjaja na svim nanetim količinama mat laka u odnosu na vrednost sjaja nanete boje, ali za razliku od vododisperzivnog mat laka sa porastom količine nanetog laka dolazi do vraćanja vrednosti sjaja.

Ista metodologija oplemenjivanja je primenjena i na otiske dobijene sa UV bojom na sjajnom premaznom papiru, gde su korišćena ista tkanja sita, kao i lakovi. Ponovo su izračunati nanosi lakova i za sjajne i za mat UV lakove na svim tkanjima sita. Kod sjajnog laka tkanje sita od 180 niti/cm je dao nanos od 4,84 g/m<sup>2</sup> a za mat lak 9,48 g/m<sup>2</sup>, tkanje sita od 150 niti/cm za sjajni lak je dao nanos od 5,25 g/m<sup>2</sup>, a za mat lak 12,548 g/m<sup>2</sup>. Tkanje sita od 120 niti/cm koje potencijalno daje najveći nanos za sjajni lak na sjajno premaznom papiru je rezultovao sa nanosom od 9.48 g/m<sup>2</sup>, dok je mat lak imao još veći nanos u nanetoj količini od 14,95 g/m<sup>2</sup>. Iz priloženih rezultata se može primetiti da sa smanjivanjem linijature tkanja tj. povećavanjem otvora za propuštanje dolazi do rasta u nanetoj količini laka, sa time da mat lak u ovom slučaju je dao mnogo veći nanos pri istim uslovima nanošenja, a efekat možemo najverovatnije pripisati fizičko hemijskoj strukturi i karakteristikama korišćenog laka. Za sve uzorke je urađeno merenje sjaja i rezultati su prikazani u sličnom obliku kao i za druge uzorke. Na slici 30. su prikazane izmerene vrednosti sjaja za uzorke koji su bili štampani sa UV bojama na sjajno premaznom papiru i koji su bili oplemenjeni sa sjajnim UV lakom u tehnici sito štampe.

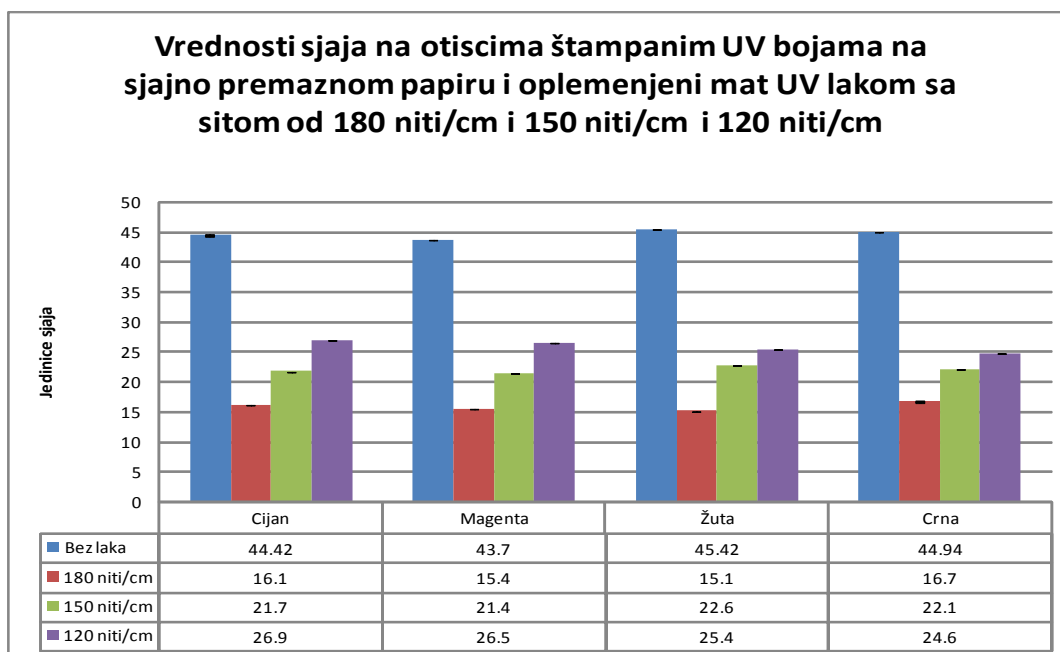


Slika 30. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na sjajno premaznom papiru sa UV bojama bez laka i sa sjajnim UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm

Izmerene su i vrednosti sjaja za boje bez nanetog sredstva za oplemenjivanje zbog proveravanja uticaja podloge i dobijen je raspon vrednosti sjaja od 43.7 za magentu do 44,94 za crnu boju. Raspon vrednosti sjaja na najmanju nanetu količinu sjajnog laka u nanosu od 4,84 g/m<sup>2</sup> je

bio između 56.72 za žutu boju koja je imala vrednost standardne devijacije  $\sigma=0,80$  i najveće vrednosti od 62,96 za magentu sa vrednošću devijacije merenja  $\sigma=0,15$ . Sledeći nanos koji je dobijen sa tkanjem sita od 150 niti/cm za sjajni lak je dao opseg jedinica sjaja od 63.16 za cijan boju sa standardnom devijacijom  $\sigma=1,14$  do 70,98 za crnu boju sa devijacijom od  $\sigma=0,13$  što je ujedno i najniža devijacija za sve boje. Kod sledećeg najvećeg nanosa sjajnog laka od 9,48 g/m<sup>2</sup> ospeg vrednosti sjaja je porastao na više vrednosti koje su se kretale od 79,16 za magentu do 70,88 za crnu boju. Magenta je imala standardnu devijaciju merenja od  $\sigma=0.05$ , a crna  $\sigma=0,49$ , što je ujedno i najveća devijacija merenja kod ovih uzoraka, a magenta je imala najmanju.

Slično kao i kod sjajnog UV laka izmerene su vrednosti za mat lak i rezultati su prikazani na slici 31.

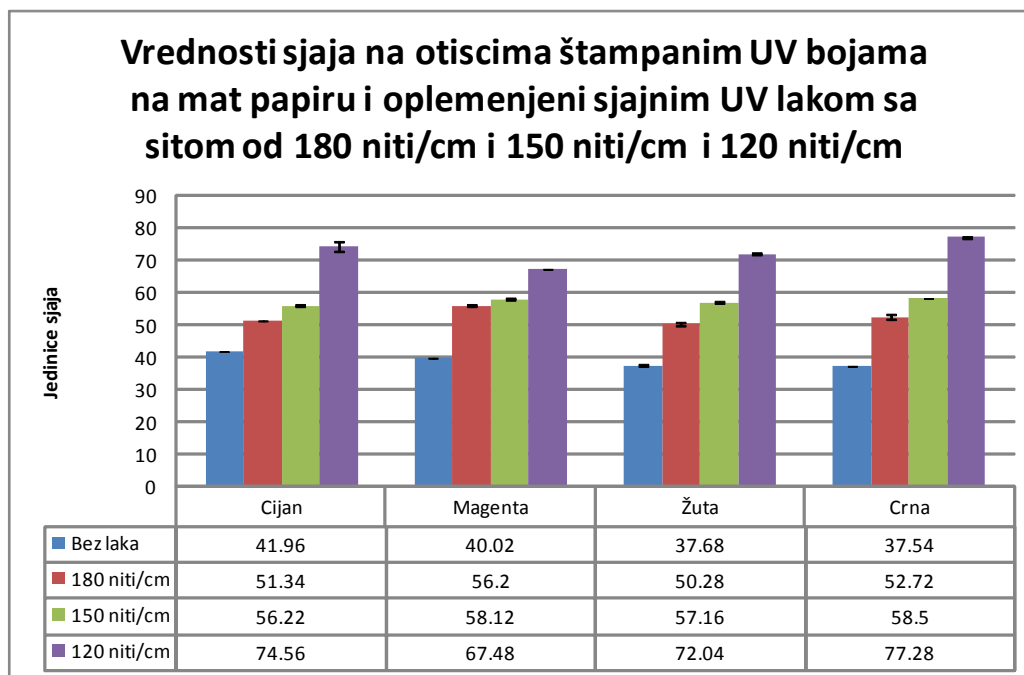


Slika 31. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na sjajno premaznom papiru sa UV bojama bez laka i sa mat UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm

Na osnovu prikazanih rezultata na slici 31. se može primetiti da sjaj na mat oplemenjenim otiscima sjaj je niži od početne obojene površine bez sredstva za oplemenjivanje. Najmanji nanos laka u količini od 9,48 g/m<sup>2</sup> je rezultovao sa najmanjim opsegom sjaja koji se kretao od 15,1 za žutu boju sa standardnom devijacijom  $\sigma=0$ , najveća vrednost sjaja pri ovom nanosu je izmerena na crnoj boji u vrednosti od 16,7 sa standardnom devijacijom  $\sigma=0.05$ . Sledeći nanos dobijen sa sitom tkanja od 150 niti/cm je dao veći opseg sjaja od prethodnog manjeg nanosa. Žuta boja sa nanosom od 22,6 jedinice sjaja i standardnom devijacijom merenja od  $\sigma=0$  je najveća veličina a magenta sa vrednošću 21.4 daje najmanju vrednost. Najveća standardna devijacija kod svih boja je  $\sigma=0,04$ . Sledeći najveći nanos mat laka je doveo do dodatnog povećanja vrednosti sjaja za sve boje. Najveća vrednost je dobijena kod cijana 26,9 sa stan-

dardnom devijacijom od  $\sigma=0,05$  što je i najveća devijacija tokom merenja. Najmanju izmerenu vrednost je dat uzorak meren na crnoj boji koji je dao rezultat od 24.6.

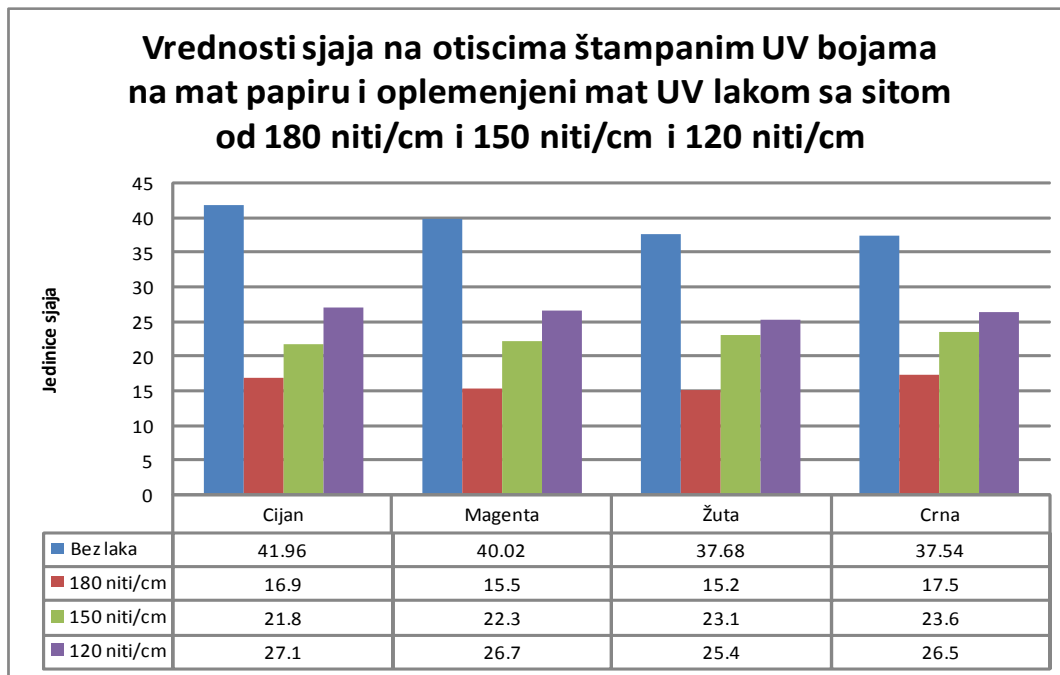
Merenje vrednosti jedinice sjaja je urađena i na uzorcima koji su štampani sa UV bojama na mat papiru i kasnije koji su oplemenjeni sa istim UV sjajnim i mat lakom korišćenjem tri gustine tkanja sita. Korišćenjem sita sa tkanjem od 180 niti/cm na mat papiru prosečna naneta količina sjajnog UV laka je iznosila  $4\text{g/m}^2$ , dok za UV mat korišćenjem istog sita je rezultovalo sa nanosom od  $7,82\text{ g/m}^2$ . Nanos sita od 150 niti/cm za UV sjajni lak je bio  $7,72\text{ g/m}^2$ , za mat UV lak  $11,46\text{ g/m}^2$ . Najveći nanos po površini je slično kao i kod drugi uzoraka dobijeno sa tkanjem sita od 120 niti/cm, gde je sjajni UV lak dao nanos od  $10,42\text{ g/m}^2$ , a UV mat lak je dao količinu nanosa od  $15,26\text{ g/m}^2$ . Može se primetiti da pri istim tehnološkim parametrima UV mat lak na istoj podlozi daje veći nanos od UV sjajnog laka, što ponovo možemo pripisati fizičko hemijskim razlikama između dva sredstva za oplemenjivanje. Izmerene vrednosti sjaja za uzorke štampane sa UV bojama na mat premaznom papiru i oplemenjene sa UV sjajnim sredstvom za oplemenjivanje tehnikom sito štampe korišćenjem tri tkanja sita je predstavljeno na slici 32.



Slika 32. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na mat premaznom papiru sa UV bojama bez laka i sa sjajnim UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm

Na osnovu rezultata na slici 32. se može primetiti da sa rastom nanete količine sjajnog UV laka dolazi do povećanja opsega sjaja. Korišćenjem sita od 180 niti/cm, je izmeren opseg spekularnog sjaja između 50,28 za žutu boju sa vrednošću standardne devijacije od  $\sigma=0,43$  i vrednosti 56.2 za magentu sa standardnom devijacijom merenja od  $\sigma=0,35$ . Sito sa tkanjem od

150 niti/cm i nanosom 7,72 g/m<sup>2</sup> je rezultovao sam većim opsegom izmerenog sjaja. Najmanja vrednost je dobijena na cijanu 56,22 sa standardnom devijacijom merenja od  $\sigma=0,05$ , dok je najveća vrednost jedinice sjaja dobijena na crnoj boji 58,5 sa vrednošću devijacije  $\sigma=0,12$ . Kod najvećeg nanosa sita dobijenim sa tkanjem od 120 niti/cm su dobijene vrednosti koje se kreću između 67,48 za magentu sa vrednošću  $\sigma=0,13$  i 77,28 za crnu boju sa standardnom devijacijom merenja  $\sigma=0,25$ .

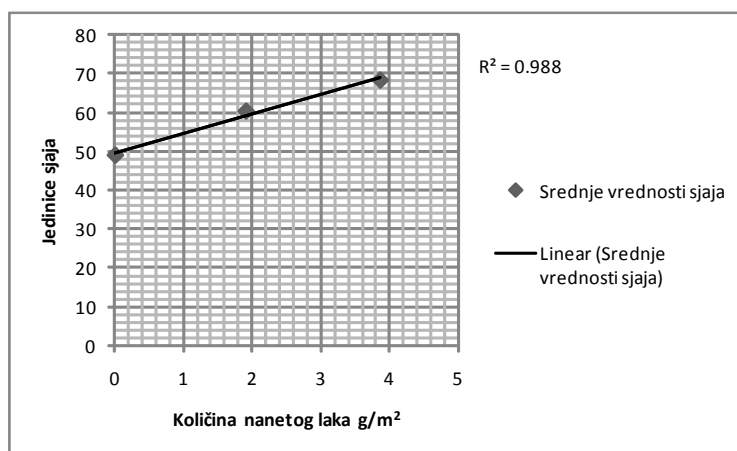


Slika 33. Vrednosti sjaja na otiscima štampanim na mat premaznom papiru sa UV bojama bez laka i sa mat UV lakom sa tkanjem sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 180 niti/cm

Kao što se može primetiti na slici 33. primenom mat sredstava za oplemenjivanje slično kao i kod drugih tipova podloga dolazi do pada vrednosti sjaja u odnosu na početne vrednosti sjaja UV štamapske boje. Vrednost sjaja za nanos od 7.82 g/m<sup>2</sup> dobijen sitom sa tkanjem od 180 niti/cm se kreće između žute sa vrednošću od 15,2 i crne sa vrednošću od 17,5 sa standardnom devijacijom od  $\sigma=0,11$ . Za sledeći nanos u vrednosti od 11,46 g/m<sup>2</sup> dobijen je viši opseg izražen u jedinicama sjaja koji se kreće od 23,6 za crnu boju sa standardnom devijacijom od  $\sigma=0,13$  i cijana sa standardnom devijacijom od 21.8 sa vrednošću  $\sigma=0,18$ . Za najveći nanos UV mat laka na mat premaznom papiru dobijenim sitom od 120 niti/cm od 15,26 g/m<sup>2</sup> najveću vrednost sjaja je imalo polje cijana sa vrednošću od 27,1 i standardnom devijacijom od  $\sigma=0,10$ , dok je najmanju vrednost imala žuta boja sa vrednošću od 25,4 i  $\sigma=0,15$ .

### 8.1.1. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA MERENJE SJAJA

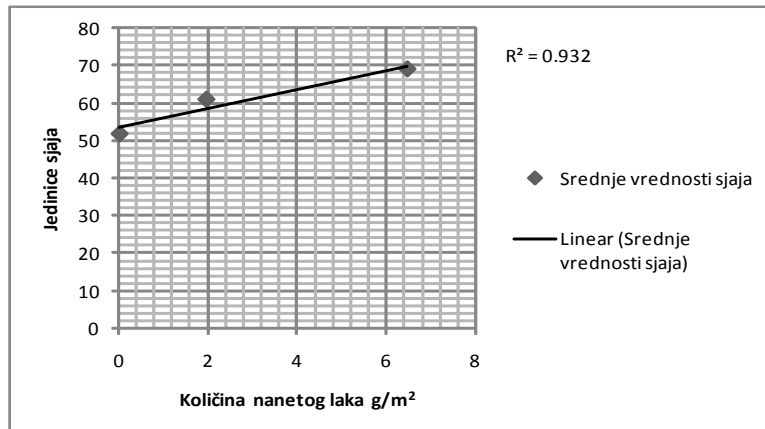
Analizom dobijenih rezultata predstavljenih u grafikonima za određene tipove podloge, kao i vrste i količine nanetih sredstava i upoređivanjem dobijenih vrednosti sjaja spekularne komponente se mogu uočiti određeni efekti primene sredstava za oplemenjivanje. Kod vododisperzivnih lakova nanošenjem veće količine lakova dovodi do povećanja vrednosti sjaja na svim obojenim poljima, što je i slučaj kod hibridnih boja i UV laka nanetog ofsetnom tehnologijom. Kod ofsetnih otisaka sa UV bojama nanošenje veće količine sredstava za oplemenjivanje dovodi do povećanja vrednosti izmerenog sjaja kod svih tipova ispitivanih podloga za štampu (premazni karton, mat i sjajni premazni papir), što odgovara kretanjima uočenim kod sjajnih vododisperzivnih i sjajnih UV lakova nanetih pomoću dva aniloks valjka. Dok je kod vododisperzivnih mat lakova povećan nanos na površini doveo do daljeg smanjivanja vrednosti sjaja u odnosu na početne neoplemenjene vrednosti, kod UV mat lakova koji su naneti putem sito tehnike prvo dolazi do opšteg pada vrednosti izmerenog sjaja, ali porastom količine nanetog mat UV laka sjaj ne opada, nego za razliku od vododisperzivnih lakova vrednosti izmerenog sjaja rastu. Radi detaljnije analize ovih efekata urađena je statistička analiza podataka i korelacije za srednje vrednosti sjaja svih izmerenih uzoraka u odnosu na nanetu količinu laka za pojedinačne slučajeve. Srednje vrednosti sjaja za sve boje je uzet za analizu globalne promene u vrednosti sjaja u odnosu na nanetu količinu sredstava za oplemenjivanje. Na slici 34. je prikazana međukorelacija količine nanetog sredstva za oplemenjivanje sjajnog vododisperzivnog laka na konvencionalne boje. Nanete količine laka od 0,1.906 i 3.862g/m<sup>2</sup> (bez laka samo boje, aniloks valjak od 90L/cm i aniloks valjak od 60L/cm) su dale prosečne vrednosti sjaja od 48.98, 60.38 i 68.39. Međukorelacija ove tri varijacije je dala vrednost korelacije za linearni porast  $r^2 = 0,988$ , što ukazuje da postoji linearni trend porasta srednje vrednosti sjaja sa nanetom količinom sjajnog vododisperzivnog laka.



Slika 34. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu sjajnog vododisperzivnog laka na konvencionalnim bojama



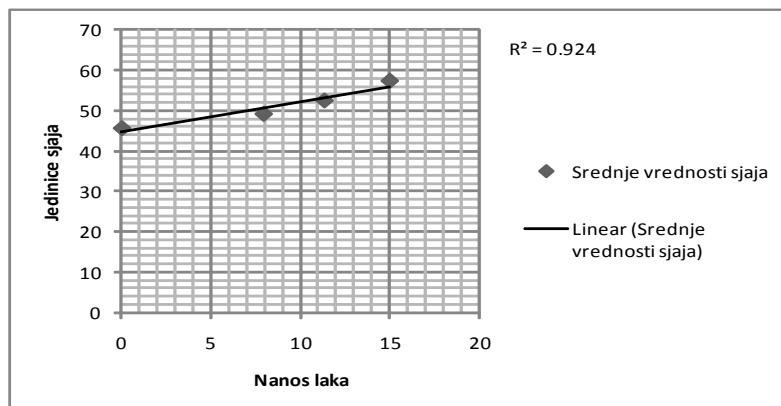
Na slici 35. je data analiza korelacije srednje vrednosti sjaja UV lakova na otiscima sa hibridnom bojom. Za nanose laka od 0, 1.95 i 6.47 g/m<sup>2</sup> dobijene su srednje vrednosti sjaja svih boja bez i sa oplemenjivanjem od 51.92, 61.02 i 69.01. Vrednost faktora korelacije iznosi  $r^2 = 0,932$  što ukazuje na visoki stepen korelacije, pri globalnom trendu rasta sjaja u odnosu na nanetu količinu laka.



Slika 35. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV sjajnog laka na hibridnim bojama

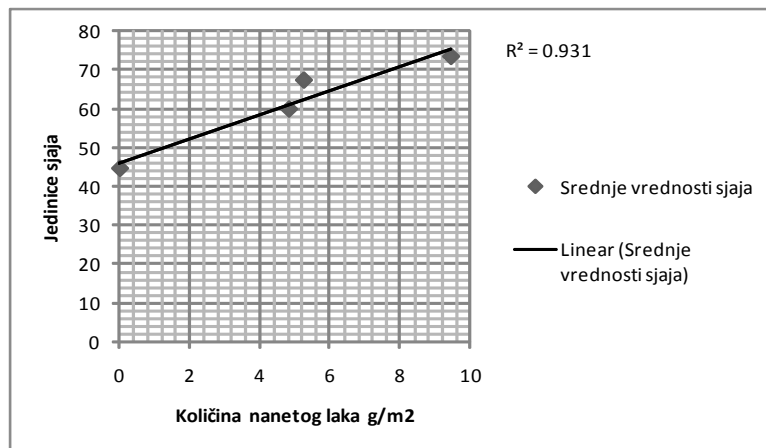
Analizu međuzavisnosti sjaja sjajnih UV lakova nanetih tehnikom sito štampe na otiske štampane UV bojama sa tri različita tkanja sita pokazuju slične globalne karakteristike i sa sjajnim vododisperzivnim i sjajnim UV lakom (nanetih pomoću aniloks valjaka u ofsetnoj tehnici), a to da sa porastom nanete količine sjajnog sredstva za oplemenjivanje dolazi do povećanja vrednosti sjaja spekularne komponente.

Kod premaznog kartona koji je oplemenjen sa tri količine sjajnog UV laka od 0 (bez nanetog sjajnog laka), 7.92 (sa sitom od 180 niti/cm), 11.31 (sa sitom od 150 niti/cm) i 14.96 g/m<sup>2</sup> (sa sitom od 120 niti/cm) su dobijene vrednosti sjaja od 45.56, 49.11, 52.48 i 57.39. Faktor korelacije za ove nanose i vrednosti sjaja je  $r^2 = 0,924$  što je visoki stepen korelacije za linerani trend porasta srednje vrednosti sjaja koji je prikazan na slici 36.



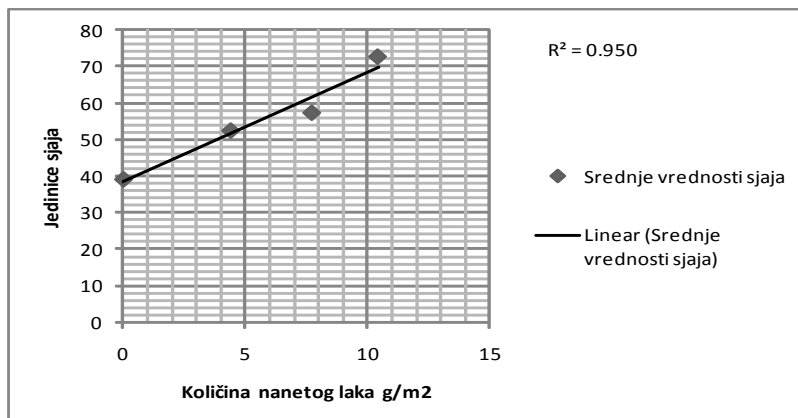
Slika 36. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV sjajnog laka na UV bojama na premaznom kartonu

Kod sjajno premaznog papira koji je oplemenjen sa tri količine sjajnog UV laka od 0 (bez nanetog sjajnog laka), 4.82 (sa sitom od 180 niti/cm), 5.25 (sa sitom od 150 niti/cm) i 9.45 g/m<sup>2</sup> (sa sitom od 120 niti/cm) su dobijene vrednosti sjaja od 44.62, 59.86, 67.31 i 73.41. Faktor korelacije za ove nanose i vrednosti sjaja je  $r^2 = 0,931$  što je visoki stepen korelacije za linerani trend porasta srednje vrednosti sjaja gde najveća vrednost nanešenog sredstva za oplemenjivanje daje najveću vrednost prosečnog sjaja svih obojenih površina. Ovaj međuodnos za sjajni premazni papir je prikazan slici 37.



Slika 37. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV sjajnog laka na UV bojama na sjajno premaznom papiru.

Provera korelacije između nanete količine sjajnog UV laka i vrednosti sjaja je urađena i za mat papir. Korišćene su iste linijature sita a dobijene količine od 4.4 (sa sitom od 180 niti/cm), 7.72 (sa sitom od 150 niti/cm) i 10.42 g/m<sup>2</sup> (sa sitom od 120 niti/cm) su rezultovale vrednostima sjaja od 39.3 (vrednost sjaje boje bez laka), 52.64, 57.5 i 72.84. Faktor korelacije za ove nanose i vrednosti sjaja je  $r^2 = 0,950$  što je visoki stepen korelacije za linerani trend porasta srednje vrednosti sjaja gde najveća vrednost nanešenog sredstva za oplemenjivanje daje najveću vrednost prosečnog sjaja svih obojenih površina. Ovaj međuodnos za mat premazni papir je prikazan slici 38.

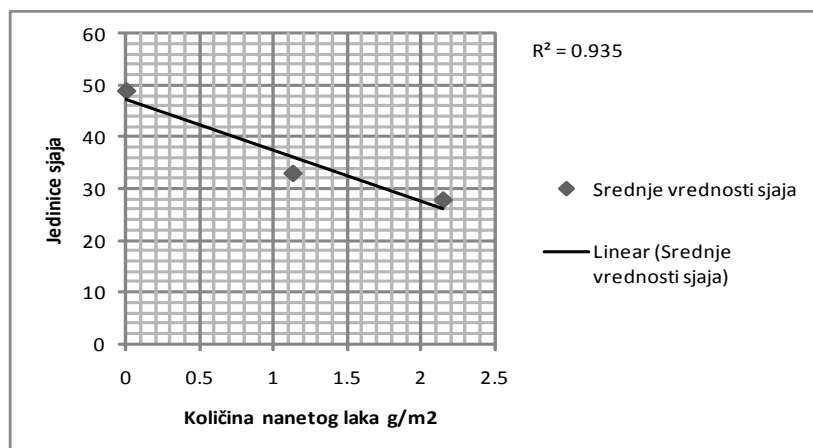


Slika 38. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV sjajnog laka na UV bojama na mat premaznom papiru.

Nakon analize sjajnih lakova (vododisperzivnih i UV), koji su naneti na otiske putem aniloks valjaka ili sita može se primetiti da nezavisno od tehnike aplikacije (ofset, sito), vrste lakova (vododisperzivni i UV) i podloge (premazni karton, sjajno i mat premazni papir), kao i vrste boja koje se nalaze ispod sredstava za oplemenjivanje (konvencionalne, hibridne i UV boje sve štampane u tehnici ofset štampe) postoji veliki stepen korelacije između vrednosti sjaja i nanete količine sjajnog laka. Kod svih ovih podvrsta sa visokim stepenom korelacija koje su prelazile vrednosti  $r^2 = 0,9$  je utvrđeno da dolazi do linearnog porasta izmerene vrednosti sjaja sa povećavanjem nanete količine sredstva za oplemenjivanje.

Nakon analize sjajnih lakova urađena je i korelacija mat lakova u pogledu međuzavisnosti nanete količine i izmerene vrednosti sjaja. Metoda određivanja je bila indentična kao i za sjajne lakove. Mat lakovi su odranije poznati da smanjuju početnu vrednost sjaja štamparske boje i da ukupno imaju manju vrednost sjaja površine od onih koji su oplemenjeni sa sjajnim lakom.

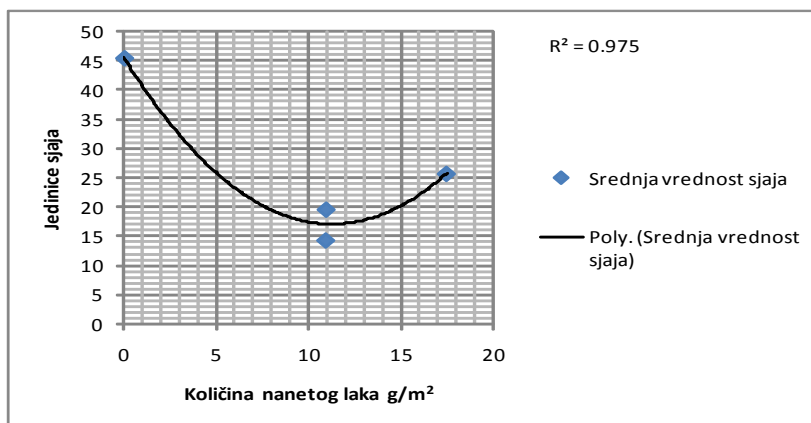
Na slici 39. je prikazana korelacija vrednosti jedinice sjaja i nanete količine mat vododisperzivnog laka u dva nanosa od  $1.13 \text{ g/m}^2$  (aniloks valjak od  $90\text{L/cm}$ ) i  $2.15 \text{ g/m}^2$  (aniloks valjak od  $60\text{L/cm}$ ). Izmerene srednje vrednosti sjaja za sva obojena polja za ove nanose su 48.98 (bez sredstva za oplemenjivanje), 32.93 (aniloks valjak od  $90\text{L/cm}$ ) i 27.74 (aniloks valjak od  $60\text{L/cm}$ ). Faktor korelacije  $r^2 = 0,935$  ukazuje na potencijalno visoki stepen trenda smanjivanja vrednosti sjaja sa povećanom količinom vododisperzivnog sredstva za oplemenjivanje.



Slika 39. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu vododisperzivnog mat laka na konvencionalnim bojama na sjajno premaznom papiru.

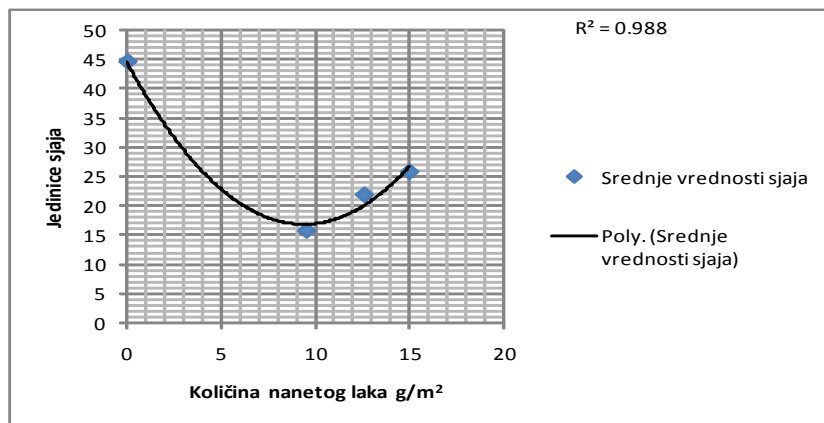
Kod ispitivanja uticaja UV mat laka koji je nanešen na tri vrste podloge (premazni karton, sjajni premazni i mat premazni papir) kao i sjajni UV lak, korišćenjem istih sita moguće je primetiti da količina naneto UV mat laka je veća pri svim vrstama podloge i gustine tkanja sita. Ovaj podatak ukazuje na razlike u molekularnoj masi samih lakova, i naravno na drugačije fizičko hemijske karakteristike koje proističu iz njihove različite namene. Na slici 40. je prikazana korelacija između nanete količine UV mat laka na sjajno premaznom kartonu. Vrednosti nanosa laka su bile  $10.92$ ,  $10.95$  i  $17.48 \text{ g/m}^2$ . Izmerene prosečne vrednosti sjaja svih obojenih

površina su iznosile 14.38 (sa sitom od 180 niti/cm), 19.65 (sa sitom od 150 niti/cm) i 25.78 (sa sitom od 150 niti/cm). Kod ovih lakova je došlo do opšteg pada sjaja u odnosu na početne vrednosti sjaja UV boje od 45,56, ali za razliku od mat vododisperzivnih lakova, povećanjem količine nanetog mat laka dolazi i do povećanja vrednosti izmerenog spekularnog sjaja. Kod ovih lakova zbog inicijalnog pada u odnosu na početne vrednosti nema linearne promene u odnosu na neoplemenjene površine, ali ako se uzme korelacija samo za oplemenjene vrednosti dobija se stepen korelacije od  $r^2 = 0,78$  koji nije izražen kao kod sjajnih lakova ali ipak ukazuje na potencijalno ponašanje UV mat lakova na premaznom kartonu slično sjajnim lakovima. Izražena korelacija na slici je dobijena polinomskom funkcijom opisa linije korelacije.



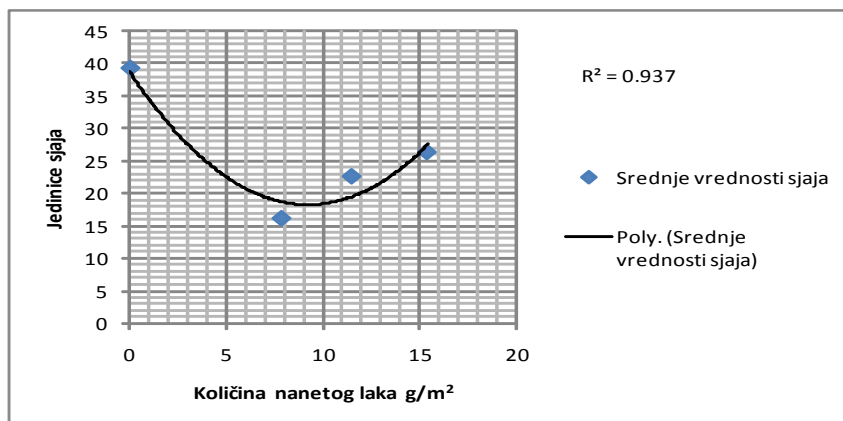
Slika 40. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV mat laka na UV bojama na premaznom kartonu.

Na sjajno premaznom papiru štampanom sa UV bojama i oplemenjenim sa UV mat lakom je utvrđeno slično ponašanje UV mat lakove, gde posle inicijalnog pada vrednosti sjaja štamparske boje dolazi do određenog linearnog porasta vrednosti sjaja sa količinom nanetog sredstva za oplemenjivanje. Izračunate količine laka na sjajnom premaznom papiru su bile 9.45, 12.55 i 14.95 g/m<sup>2</sup> za sita od 180, 150 i 120 niti/cm, a vrednosti sjaja za srednju vrednost sjaja obojenih površina 15.83, 21.95 i 25.85, sa vrednošću sjaja štamparske boje bez oplemenjivanja od 44,62. Stepen korelacije samih oplemenjenih površina bez početne vrednosti sjaja daje vrednost  $r^2 = 0,99$  što je izuzetno visoki stepen korelacije linearnog porasta srednje vrednosti sjaja u odnosu na nanetu količinu mat UV laka. Izražena korelacija na slici je dobijena polinomskom funkcijom opisa linije korelacije i uključuje početnu vrednost sjaja štamparske boje.



Slika 41. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV mat laka na UV bojama na sjajno premaznom papiru

Na uzorku koji je štampan sa UV bojama na mat premaznom papiru su primenjeni isti UV lakovi sa istim linijaturama sita kao i kod premaznog kartona i sjajno premaznog papira. Nanosi lakova su bili dosta veći nego kod sjajno premazno papira i iznosili su 7.82, 11.46 i 15.36 g/m<sup>2</sup>. Vrednosti sjaja oplemenjenih površina je bio 16.27, 22.7 i 26.43 za otiske oplemenje sa sitima od 180, 150 i 120L/cm<sup>2</sup>. Vrednost faktora korelacije za oplemenje površi koje su pokazale slično ostalim mat UV lakovima linearni rast sjaja u odnosu na nanetu količinu je iznosio  $r^2 = 0,97$  što je velika korelacija i podudara se sa ostalim UV lakovima nanetim sito tehnikom kako mat tako i sjajnim u pogledu korelacije sjaja i nanete količine. Korelacija ovih veličina i početne vrednosti sjaja je data na slici 42.



Slika 42. Korelacija srednje vrednosti sjaja svih uzoraka u odnosu na količinu UV mat laka na UV bojama na mat premaznom papiru

Kod mat lakova primećene su razlike između ponašanja vododisperzivnog i UV lakova pored zajedničke karakteristike ukupnog snižavanja sjaja u odnosu na neoplemenjene površine. Kod vododisperzivno laka postoji jasan trend smanjivanja sjaja sa povećanjem nanosa, dok kod UV lakova primenjenih sito štamptom nanosom raste i vrednost sjaja.

## 8.2. REZULTATI MERENJA POVRŠINSKIH KARAKTERISTIKA

Za što tačniju kvantifikaciju površinskih karakteristika neoplemenjenih i oplemenjenih materijala smo koristili AFM skenirajuću metodu korišćenjem Veeco CP - II SPM uređaja. Svi uzorci koji su ispitivani su uzimani sa iste pozicije sa svih otisaka radi što boljeg smanjivanja varijacije usled karakteristika materijala ili rasporeda odštampanih površina koje mogu potencijalno da utiču na merne rezultate. Svi rezultati koji će biti prikazani su rezultati srednje vrednosti merenja tri karakteristične tačke u x i y osi na površini od 80 x 80  $\mu\text{m}$ . Obrada rezultata je urađena pomoću softvera Gwydion i Scanning Probe Image Processor (SPIP), kompanije Image Metrology. Za sve prikazane i proračunate površine urađena je korekcija ravni prema opciji najveći kvalitet unutar softvera SPIP, kao i korekcija eventualnih grešaka prilikom merenja i te površine nisu ušle u zbir za izračunavanja srednjih vrednosti parametara površinske hrapavosti. Za svaku od površina je urađena 3D vizuelizacija, histogramaska analiza slike (zbog ograničenog prostora biće date samo prikazi nekih od uzoraka) kao i proračun sledećih vrednosti amplitudnih parametara (koji uključuju sve uzorke) koje su definisane standardima ISO/DIS 25178-2:2010 i ASME B46.1:

- $S_a$  srednje automatsko odstupanje površine (prosečna hrapavost)
- $S_q$  srednje kvadratno odstupanje površine
- $S_{sk}$  koeficijent asimetrije površine
- $S_{ku}$  koeficijent oštine površine
- $S_v$  najveća vrednost udubljenja
- $S_p$  najveća vrednost vrha

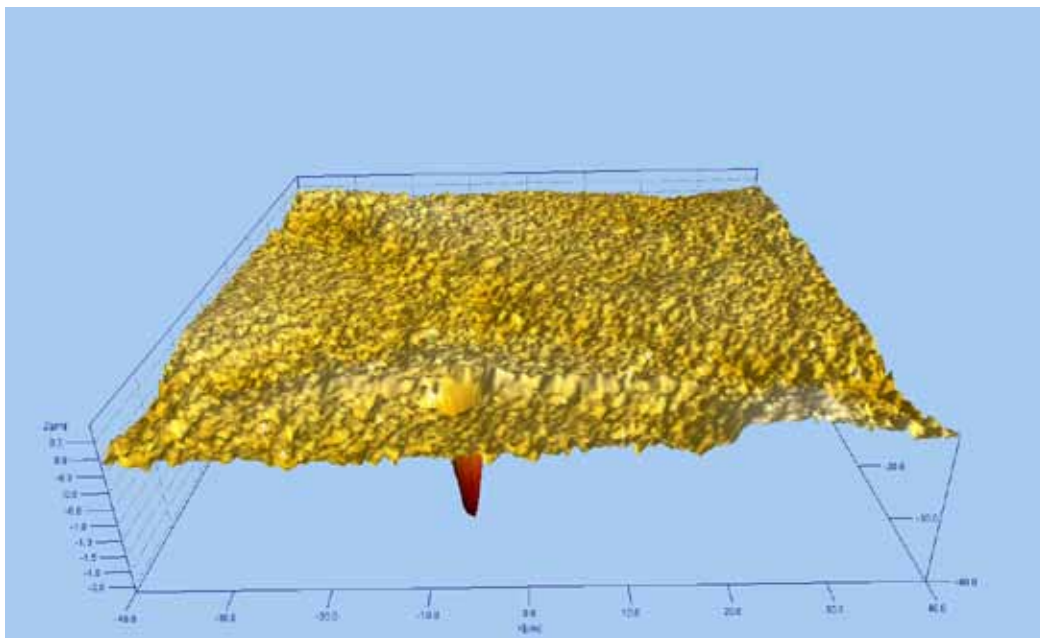
kao i sledeće prostorne parametre:

- $S_{ds}$  udeo vrhova površine
- $S_{td}$  usmerenost teksture površine
- $S_{tdi}$  indeks umerenosti teksture površine

Kod prikaza parametara pojedinačnih neoplemenjenih i oplemenjenih površina srednje vrednosti svih izmerenih tačaka unutar jednog uzorka će biti predstavljeni u tabeli. Radi definisanja opštih parametara površinske strukture kao jedne od četiri fundamentalne veličine koje imaju uticaj na konačni izgled nekog objekta urađena je analiza preko nabrojanih parametara površinske hrapavosti svih međufaza u procesu formiranja oplemenjene površine. Urađeno je površinsko skeniranje neštampane podloge, odštampane boje bez oplemenjivanja kao i samih

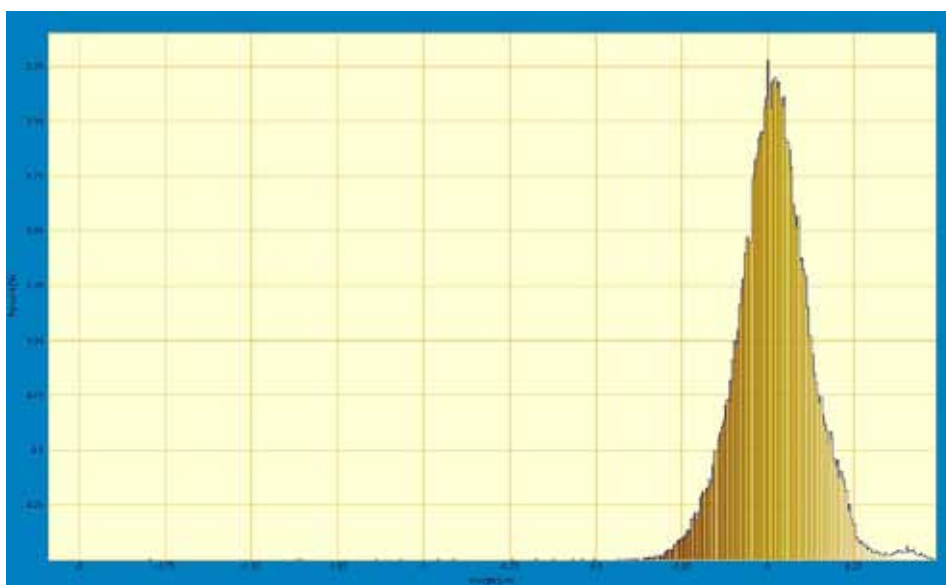
oplemenjenih površina.

Kod uzoraka koji su štampani sa konvencionalnim bojama, kao i hibridnim bojama, a kasnije su oplemenjeni sa sjajnim i mat vododisperzivnim lakom, kao i UV lakom je korišćen sjajni premazni papir gramature od 130g/m<sup>2</sup> čiji je topografski prikaz površine dat na slici 43.



*Slika 43. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*

Na slici 44. je dat histogramski prikaz izmerenog uzorka a u Tabeli 13. su date srednje vrednosti hrapavosti površine svih tačaka i smerova za dati uzorak.



*Slika 44. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira bez boje i sredstava za oplemenjivanje*

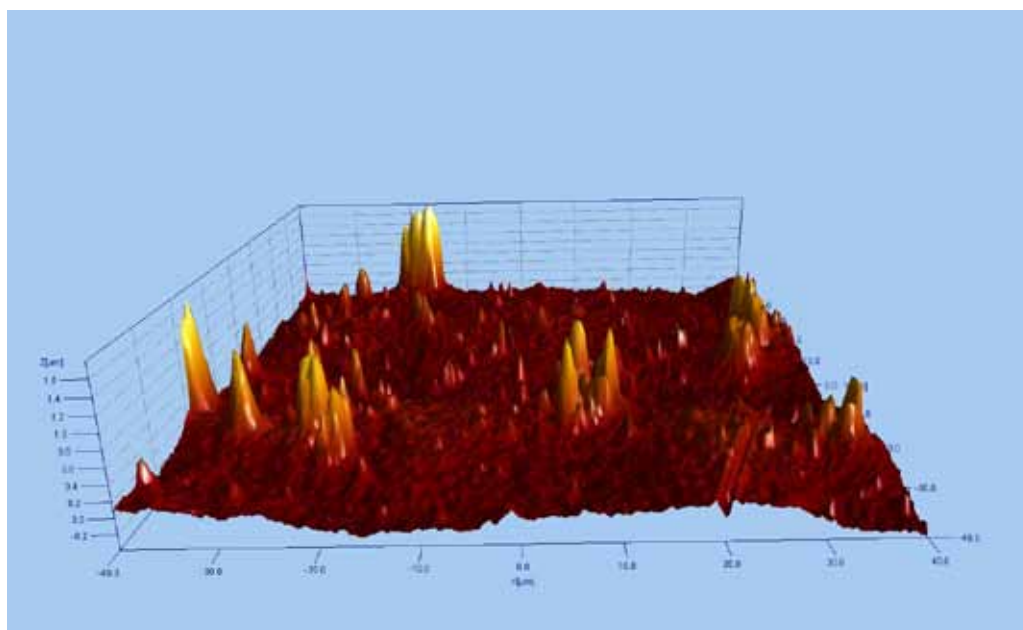
Tabela 13. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir bez nanete boje i lakova

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	84,5008	129.473	126.683	72.417	76.3329	105.264	99,111
$S_q$ (nm)	118.332	170.42	175.525	99.0502	121.156	168.932	142,24
$S_{sk}$	-1,97653	-0.82824	-0.72628	-1.43757	-5.10177	-5.63416	-2,617
$S_{ku}$	31,8468	5.29358	6.60136	13.0451	67.1366	87.0916	36,169
$S_v$ (nm)	2111.18	1160.19	1081.05	1179.05	2116.54	3303.45	1825.24
$S_p$ (nm)	456.352	568.078	766.881	374.676	394.905	802.82	560,62
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.655312	0.537031	0.463125	0.545781	0.640156	0.632031	0.578906
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	65.4494	50.8105	54.1863	0	117.493	90.7875	63,12
$S_{tdi}$	0.721696	0.755353	0.757193	0.623928	0.752067	0.700197	0,718

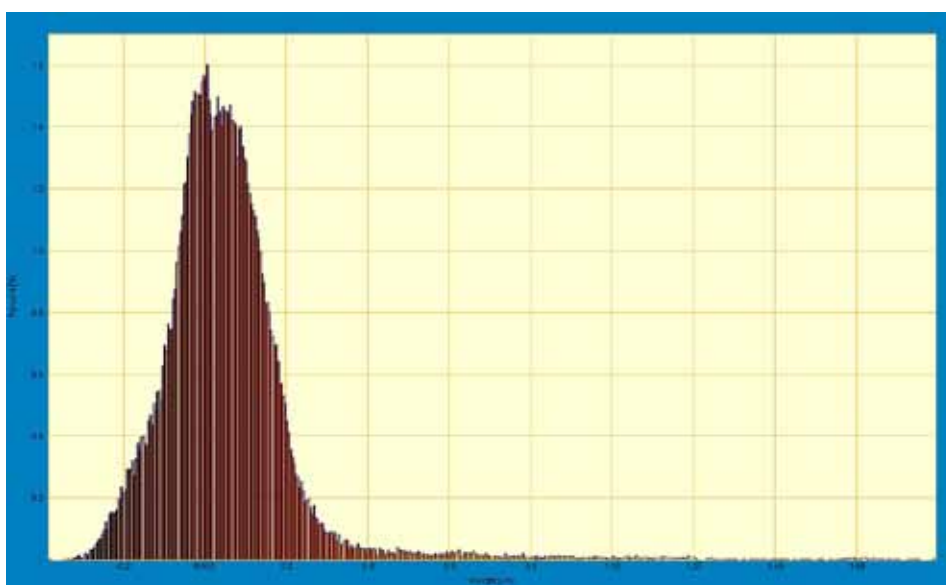
Na osnovu slika 43. i 44. se može videti da je površina umereno ujednačena sa blagim ulegnućima i izbočinama, kao i da raspored vrhova i udubljenja je manje više ravnomerno zastupljen na ispitivanoj površini. Srednja vrednost dva najčešće korišćena parametara  $S_a$  je 99,111nm, dok  $S_q$  daje vrednost od 142,24 nm. Vrednost asimetrije površine  $S_{sk}$  se određuje na osnovu njene vrednosti. Ako je  $S_{sk}=0$ , indikovana je simetrična distribucija visine. Ako je  $S_{sk} < 0$  to najčešće znači površinu sa puno udubljenja, a u slučaju da je  $S_{sk} > 0$  može da bude ravna površina sa vrhovima. Vrednosti numerički veće od vrednosti 1 mogu da ukazuju na ekstremna udubljenja ili vrhove na površini uzorka. Na sjajnom premaznom papiru vrednost  $S_{sk}$  je -2,617 što ukazuje na veći broj manjih udubljenja što se može i primetiti na 3D topografiji površine.  $S_{ku}$  opisuje oštrinu površine i za distribuciju visina na tipu Gausove krive vrednost se približava vrednosti 3. Manje vrednosti ukazuju na širu distribuciju visina, a vrednost veća od 3 na užu distribuciju vrhova. U slučaju srednje vrednosti ovog uzorka može se videti relativno široka distribucija vrhova. Srednja vrednost najvišeg vrha  $S_p$  je dala vrednost od 560,62 nm, a za  $S_v$  vrednost udubljenja 1825,24 nm.

Nakon analize površine papira je urađena i površinsko skeniranje odštampane površine na koju je naneta konvencionalna boja radi dobijanja kvantifikovanih podataka za korelaciju parametara hrapavosti, sjaja i hromatske komponente refleksije. Površinska topografija uzorka sa bojom je prikazana slici 45., histogramski raspored visina na slici 46, dok su odabrane vrednosti hrapavosti date u tabeli 14.





Slika 45. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 46. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa konvencionalnom bojom i bez sredstava za oplemenjivanje

Kao što se može primetiti na primeru površine uzorka sa konvencionalnom bojom bez sredstva za oplemenjivanje došlo je do popunjavanja velikog broja ulegnuća i do pojave pojedinačnih pikova tj. vrhova. Sam histogram daje malo veći asimetrični oblik raspodele vrhova.

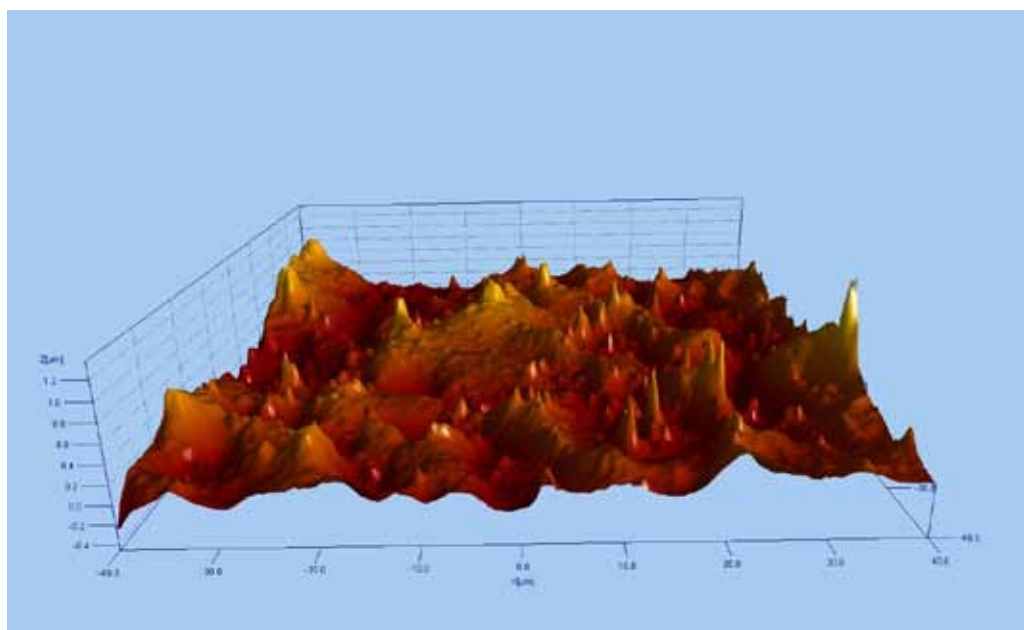
Tabela 14. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa konvencionalnom bojom bez lakova

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	88.1151	107.19	89.2987	91.5853	97.0401	129.94	100,52
$S_q$ (nm)	151.506	167.77	135.572	135.768	140.454	179.682	151.792
$S_{sk}$	4.01251	3.07516	0.976323	1.64509	1.24823	1.41189	2.061
$S_{ku}$	30.2132	22.5155	11.9024	11.7026	11.1205	8.32229	15.962
$S_v$ (nm)	411.455	427.599	651.248	527.555	518	527.601	510.576
$S_p$ (nm)	1786.13	1743.67	1157.65	1078.64	1246.05	1669.13	1446,878
$S_{ds}$ (1/ $\mu\text{m}^2$ )	0.571563	0.576719	0.590937	0.380625	0.575156	0.598281	0,5488
$S_{td}$ (°)	0	89.6236	136.719	89.6384	41.7253	0.371938	59,679
$S_{tdi}$	0.632434	0.542058	0.839208	0.597309	0.799463	0.470691	0.6468

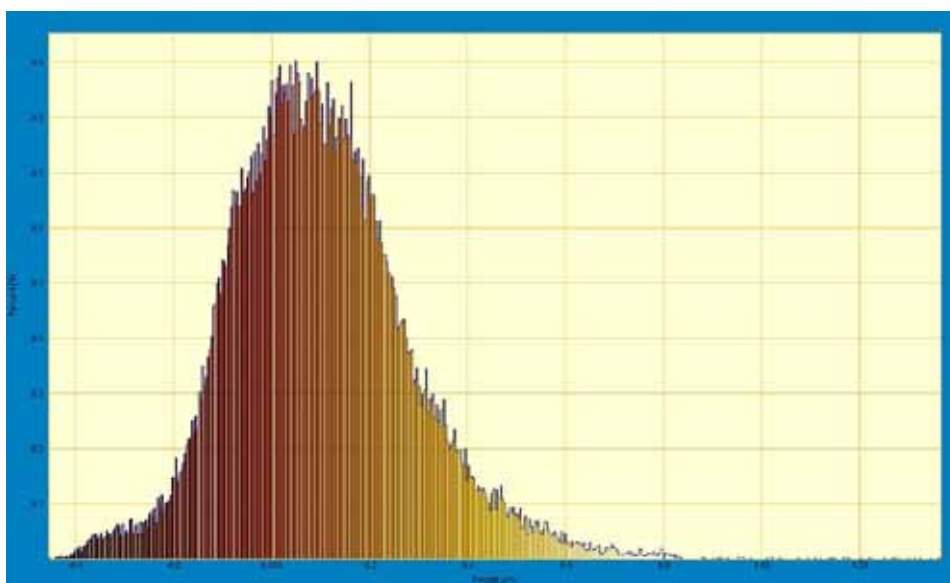
Srednja vrednost dva najčešće korišćena parametara  $S_a$  je 100,52nm, dok  $S_q$  daje vrednost od 151,792 nm. Na sjajnom premaznom papiru sa konvencionalnom bojom vrednost  $S_{sk}$  je 2,061 što ukazuje za razliku od papira bez boje na ujednačeniju površinu sa izraženijim vrhovima kao što se može videti na 3D topografiji površine.  $S_{ku}$  vrednost od 15.962 u odnosu na vrednost tog parametra za neštampani papir ukazuje na užu distribuciju visina. Srednja vrednost najvišeg vrha  $S_p$  je dala vrednost od 1446,878 nm, a za  $S_p$  vrednost udubljenja 510,576 nm što ukazuje na dominantnije i više vrhove i smanjena udubljenja u odnosu na papir bez boje gde su udubljenja imala veću vrednost od vrhova.

Sledeći uzorak koji je ispitivan je bio uzorak istog sjajnog premaznog papira ali koji je bio štampan sa hibridnom bojom kao osnovom za nanos UV laka.

Na slici 47 i 48. se može videti topografija površine kao i histogram raspodele vrhova dok su u Tabeli 15. prikazane vrednosti hrapavosti za datu površinu. Kao što se može primetiti na osnovu topografije došlo je do promene površinske strukture u odnosu na sjajni premazni papir. Sam histogram raspodele vrhova ukazuje na mnogo širu distribuciju visina, gde za razliku od konvencionalne boje nema toliko ujednačena površina sa izraženim pikovima nego više većih i manjih regiona na površini koju karakteriše veliki broj vrhova i udubljenja. Parametri hrapavosti  $S_a$  i  $S_q$  sa vrednostima od 166.619 nm i 218.538 nm ukazuju da je u odnosu na konvencionalnu boju došlo do porasta vrednosti hrapavosti. Vrednost  $S_{sk}$  od 0.2348 daje visok stepen simetrične distribucije vrhova i udubljenja što se može primetiti i na histogramu distribucije za ovaj uzorak. Vrednosti za najviši vrh i najveće udubljenja se razlikuju od onih



*Slika 47. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog sa nanetom hibridnom bojom dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 48. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa hibridnom bojom i bez sredstava za oplemenjivanje*

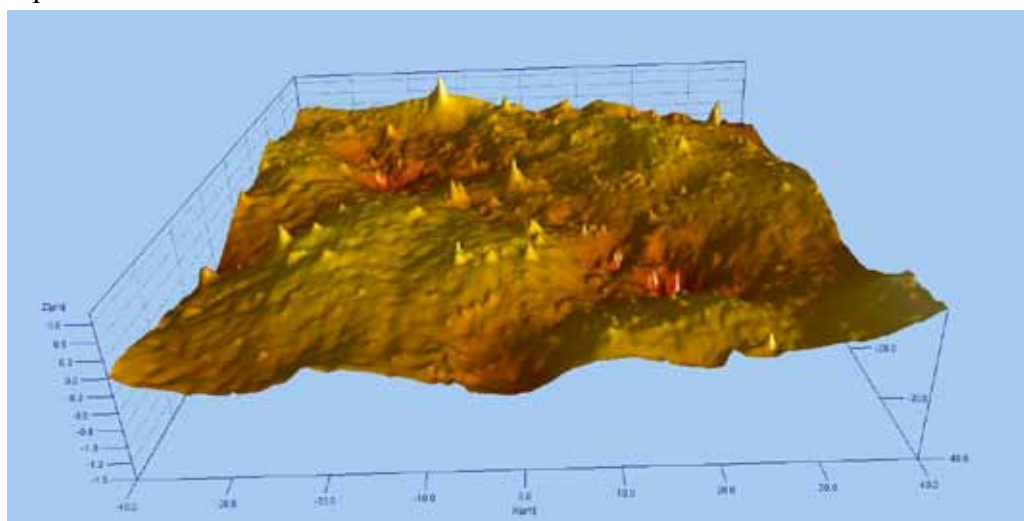
uzoraka štampanih sa konvencionalnim bojama gde je prosek maksimalnih vrhova niži, ali su udubljenja veća. Isto tako primetno je veliko smanjivanje vrednosti udela vrhova u površini praćenjem parametra Sds koji sa vrednošću od 0.190 je manji i od papira bez boje kao i od uzoraka sa konvencionalnom bojom.

Tabela 15. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa hibridnom bojom bez lakova

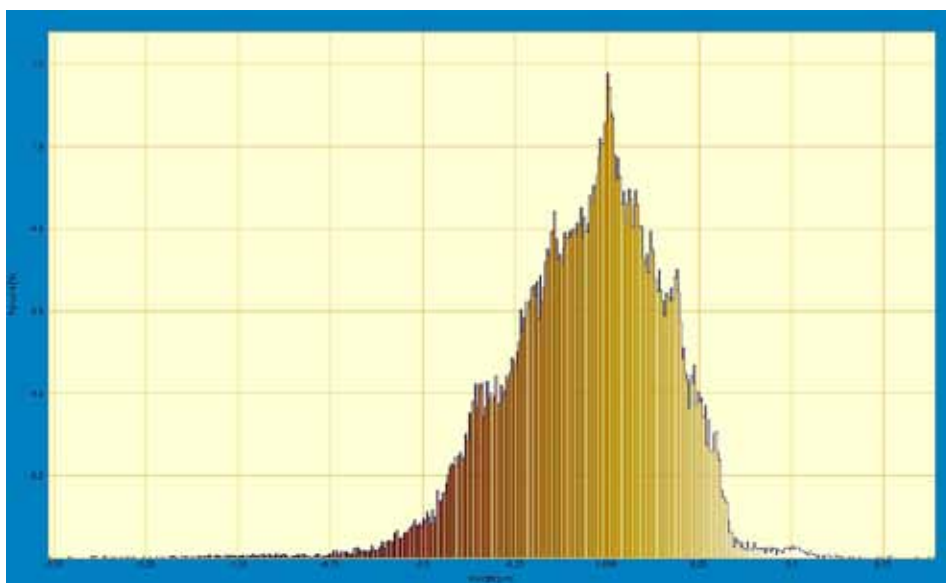
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	161.961	171.241	189.715	188.406	147.279	141.116	166.619
$S_q$ (nm)	209.415	219.827	254.141	250.656	195.623	181.567	218.538
$S_{sk}$	0.612	0.377715	-0.0605512	0.359205	-0.438606	0.559107	0.2348
$S_{ku}$	3.81998	3.51761	4.69034	4.57845	4.71634	4.18903	4.2518
$S_v$ (nm)	708.24	753.029	994.906	957.863	873.159	549.872	806.178
$S_p$ (nm)	1065.32	1118.39	1383.1	1507.32	1037.21	1266.55	1229.648
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.2022	0.1854	0.180312	0.177656	0.2025	0.1925	0.190
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	119.645	89.6593	30.7066	89.7505	0	178.676	84.739
$S_{tdi}$	0.8148	0.487621	0.784065	0.729064	0.60066	0.561219	0.662

Nakon analize površina bez nanetog sredstva za oplemenjivanje koje su korišćene za vododisperzivne lakove, urađena je i analiza obojenih površina bez nanetog sredstva za lakiranje uzoraka na premaznom kartonu, sjajnom i mat premaznim papirima koji su štampani sa UV bojama i koji su naknadno oplemenjeni sa UV lakovima putem tehnike sito štampe.

Na slici 49. je dat prikaz 3D topografije obojene površine premaznog kartona bez sredstva za oplemenjivanje, a na slici 50. je primer histogramskog prikaza distribucije visina. Parametri hrapavosti su dati u Tabeli 16.



Slika 49. Izgled površinske strukture premazno kartona sa nanetom UV bojom dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 50. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa UV bojom i bez sredstava za oplemenjivanje

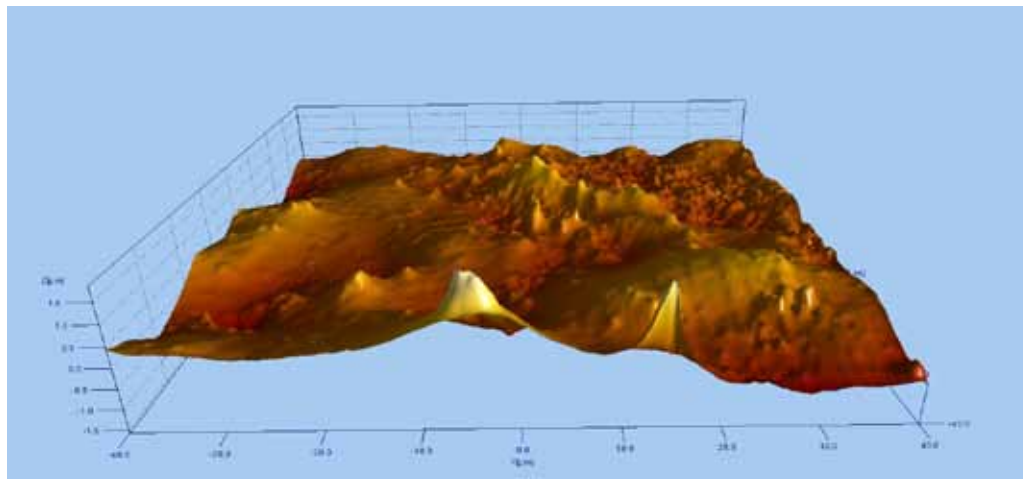
Tabela 16. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom bez lakova

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	168.221	166.031	172.677	167.617	171.819	169.273
$S_q$ (nm)	265.924	266.889	219.36	211.591	248.818	242.516
$S_{sk}$	2.23528	1.75713	-0.617	-0.5316	-0.2465	0.5194
$S_{ku}$	15.6515	14.2747	4.056	4.11666	9.57476	9.5347
$S_v$ (nm)	974.017	1366.19	1514.82	1466.83	1662.07	1396.7854
$S_p$ (nm)	2424.03	2122.01	847.207	948.776	1482.17	1564.8386
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.144063	0.144063	0.170937	0.156406	0.12375	0.1478438
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	89.5774	0.970699	52.8078	177.813	64,23
$S_{tdi}$	0.38848	0.546713	0.836396	0.843546	0.706119	0.6642508

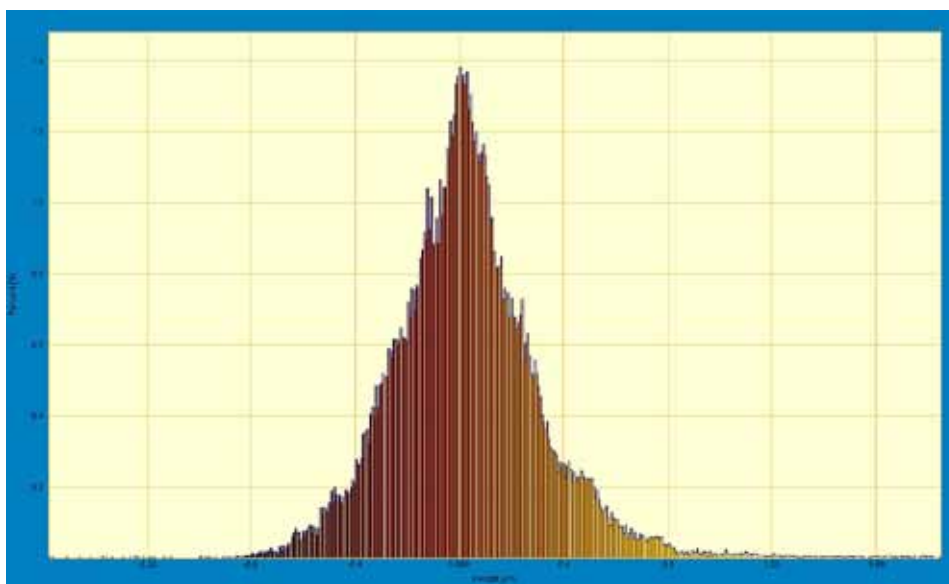
Na osnovu rezultat iz Tabele 16. se može primetiti da je  $S_a$  parametar sličan srednjem odstupanju površine otisaka sa hibridnim bojama, a da je veća od uzoraka štampanim sa konvencionalnim bojama. Vrednost  $S_{sk}$  od 0,5194 ukazuje na relativno ravnomerni raspored distribucija visina, sa dominantnijim vrhovima. Razlika između  $S_v$  i  $S_p$  veličina je dosta niska što ukazuje na smanjivanje velikih razlika između najvišeg vrha i najdubljeg udubljenja, a vrednost

$S_{ds}$  parametra ukazuje na slični udeo vrhova kao kod štampe sa hibridnom bojom.

Na slici 51. i 52. su prikazane površinska topografija uzoraka sjajnog papira štampanog sa UV bojama, kao i histogram distribucije visina. Parametri hrapavosti koji definišu srednje vrednosti uzoraka su date u Tabeli 17.



*Slika 51. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 52. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa UV bojom i bez sredstava za oplemenjivanje*

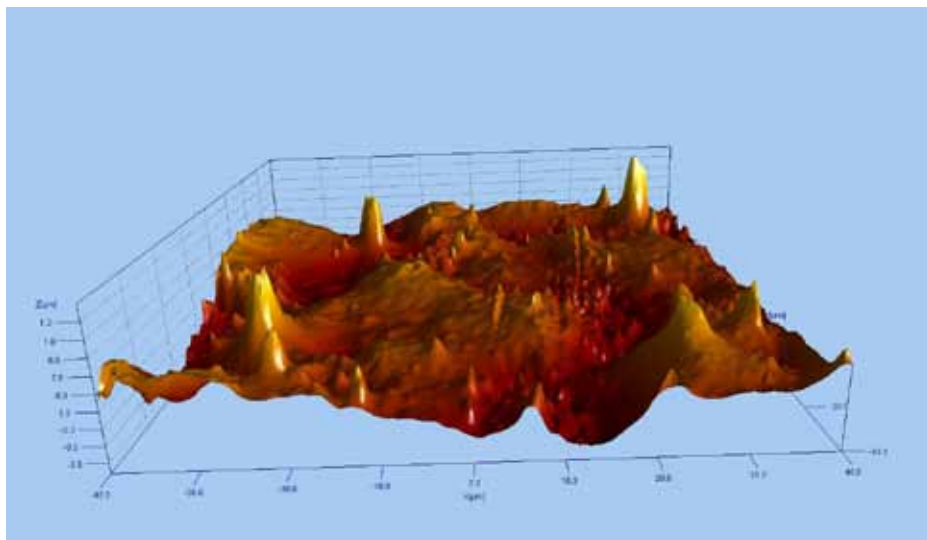
Na osnovu prikaza topografije se može primetiti određena poravnata struktura sa manje malih udubljenja kao kod neštampanih papira, nego je primetno određeno popunjavanje tih regiona sa bojom i stvaranje većih zasebkih regiona sa izraženim većim ili manjim udubljenjima. U nekim delovima je primetno pojavljivanja više koncentrisanih malih vrhova. Na osnovu slike 52. uvidom u dijagram vidi se relativno ujednačena preraspodela vrhova na površini štampanom sa UV bojom na sjajno premaznom papiru.

Tabela 17. Parametri hrapavosti za sjajno premazni papir sa UV bojom bez lakova

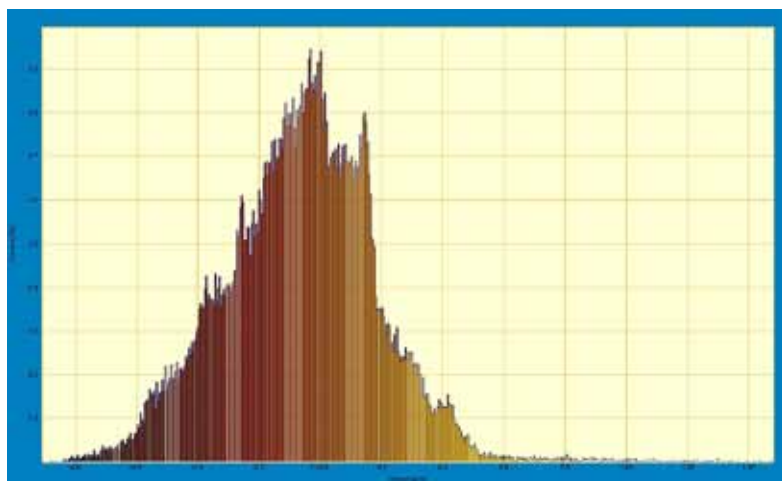
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	237.211	248.74	206.112	200.587	203.796	209.183	217.604
$S_q$ (nm)	297.923	307.56	278.039	273.426	267.405	281.471	284.304
$S_{sk}$	0.125949	0.0560769	0.73603	0.798387	0.427862	0.513663	0.44299
$S_{ku}$	3.15454	2.91387	6.51591	7.44241	5.04053	5.41405	5.0802
$S_v$ (nm)	1066.43	1043	927.414	869.477	2073.96	1594.33	1262.43
$S_p$ (nm)	1241.71	1158.6	1887.78	1915.27	1709.5	1784.79	1616.275
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.115156	0.116875	0.139531	0.127813	0.141406	0.131875	0.12877
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	150.081	28.8127	0	90.9512	128.369	87.5826	80.966
$S_{tdi}$	0.743736	0.75989	0.672195	0.765036	0.766335	0.772384	0.746596

Na osnovu vrednosti  $S_a$  od 217.604 nm i  $S_q$  od 284.304 nm se može primetiti uvećanje hrapavosti u odnosu na otiske štampane sa UV bojom na premaznom kartonu. Vrednost  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$  ukazuju na relativno ujednačenu preraspodelu vrhova sa većom dominacijom vrhova. Vrednosti  $S_v$  i  $S_p$  imaju veći raspon nego uzorak premaznog kartona sa UV bojom i ovo može da bude i jedan od pokazatelja i uzročnika razlike u  $S_a$  i  $S_q$  veličinama. Udeo vrhova u površini  $S_{ds}$  je dao vrednost od 12877, što je niže nego kod sjajno premaznog kartona.

Poslednja analizirana štampana površina bez nanetog sredstva za oplemenjivanje je bio mat premazni papir koji je štampan isto u ofsetnoj tehnici sa UV bojama. Na slici 53. je prikazana 3D topografija površine, a na slici 54. primer histograma raspodele visina. Parametri hrapavosti su dati u Tabeli 18.



*Slika 53. Izgled površinske strukture mat premaznog papira sa nanetom UV bojom dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 54. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa UV bojom i bez sredstava za oplemenjivanje*

Uvidom na histogram raspodele visina na posmatranoj površini obojenog neoplemenjenog uzorka na mat papiru se može primetiti relativno širok histogram sa blago asimetričnim oblikom i sa delimično širim opsegom za veoma male vrhove i koncentrisanu preaspedelu ulegnuća na ispitivanoj površini. Radi tačnije kvantifikacije i za ovu površinu je urađena analiza osnovnih parametara hrapavosti.



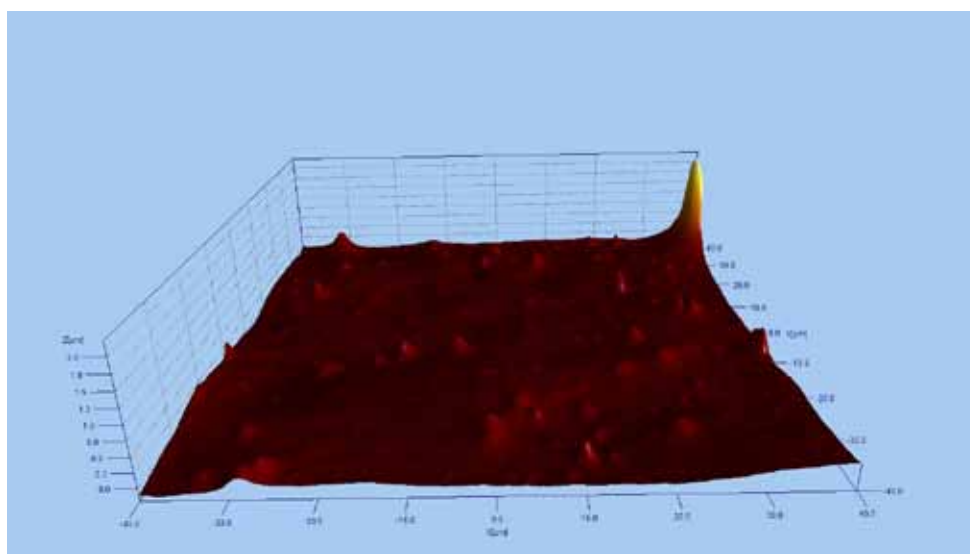
Tabela 18. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom bez lakova

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	193.994	184.924	217.998	229.239	194.379	181.432	200.327
$S_q$ (nm)	284.325	274.372	276.638	291.968	249.4	239.235	269.232
$S_{sk}$	2.01366	1.50866	0.279754	0.169105	0.246725	0.407927	0.7709
$S_{ku}$	12.7329	10.9548	2.69806	3.05269	4.21318	4.6365	6.3813
$S_v$ (nm)	782.571	932.199	766.269	869.675	838.356	876.04	844.145
$S_p$ (nm)	1938.18	1836.72	952.058	1109.18	1529.19	1348.3	1452.271
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.136406	0.145625	0.0684375	0.122031	0.144531	0.144063	0.12689
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	178.047	89.9372	0	141.244	0.974886	89.5228	83.287
$S_{tdi}$	0.604363	0.670423	0.595283	0.748744	0.70784	0.61055	0.6562

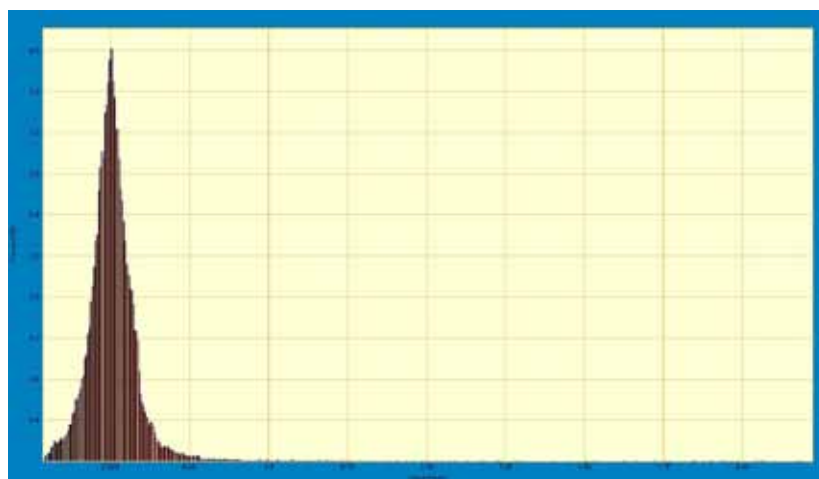
Prosečna izmerena i izračunata vrednost  $S_a$  je imala vrednost od 200.327 nm što je niža vrednost nego kod isto obojene površine ali na sjajno premaznom papiru.  $S_q$  vrednost od 269.232 nm je približna kao i kod prethodnog uzorka. Vrednosti  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$  su više nego kod sjajno premaznog papira sa UV bojama i ukazuju na manje ujednačeni histogram preraspodele visina. Opseg između najvišeg vrha od 1452.271 nm i najvećeg udubljenja  $S_v$  od 844.145 nm je veći opseg nego kod sjajno premaznog papira, i mnogostruko veći nego odgovarajuće vrednosti dobijene na premaznom kartonu.

Nakon analize površina bez nanetih sredstava za oplemenjivanje pristupilo se i analizi površina koje su oplemenje sa različitim količinama sredstava za oplemenjivanje, i izvršena su merenja dobijenih skeniranih podataka radi kvantifikovanja podataka sa tih površina.

Na slici 55 i slici 56. su prikazane 3D topografije kao i histogram raspodele visina na ispitivanoj površini za sjajni vododisperzivni lak koji je nanet pomoću aniloks valjka od 90L/cm, a podaci vezani za numeričko definisanje površinske hrapavosti su date u Tabeli 19.



*Slika 55. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 56. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm*

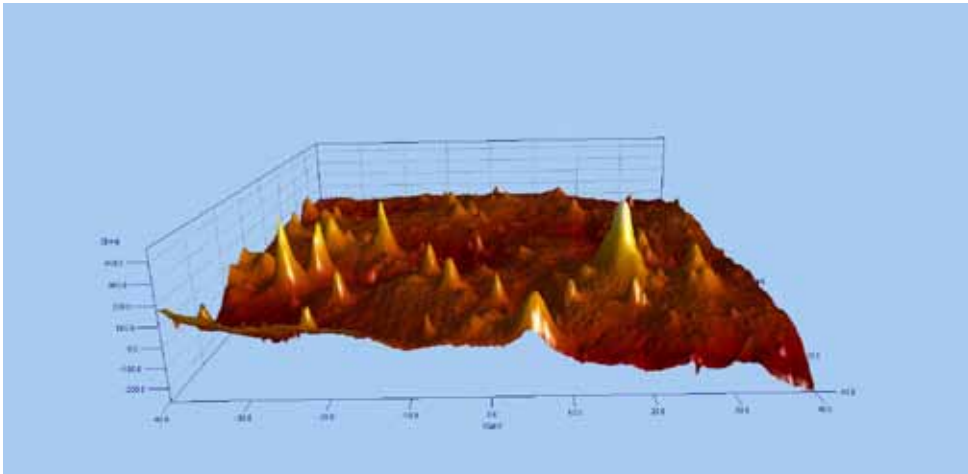
Kao što se može primetiti na slici 55. gde je prikazana topografija oplemenjene površine može se videti da je došlo do velikog poravnavanja udubljenja i do formiranja ujednačenije površine- Histogramski prikaz raspodele vrhova na slici 56. prikazuje veoma usku distribuciju što je i povezano sa popunjavanjem međupovršina.

Tabela 19. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa vododisperzivnim sjajnim lakom sa aniloks valjkom od 90L/cm

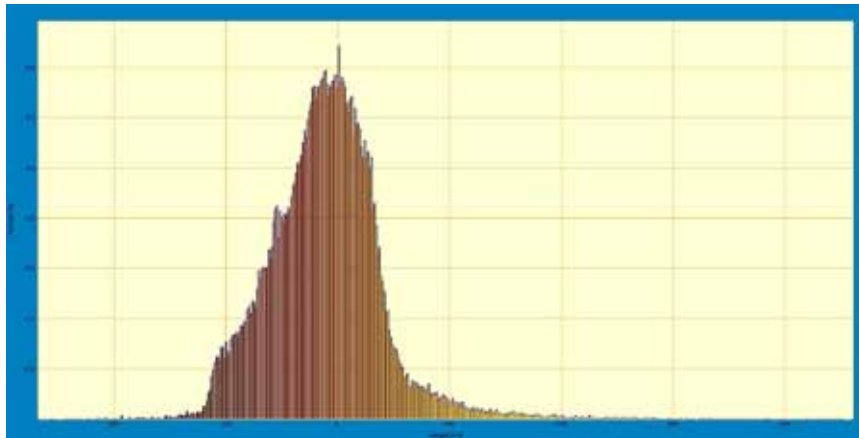
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	50.974	50.7138	95.5321	96.8048	50.3257	54.1198	66.4117
$S_q$ (nm)	72.7198	75.4757	130.907	137.881	68.5877	75.0704	93.440
$S_{sk}$	1.17674	1.98352	-0.153346	-0.660971	0.566885	0.22007	0.5221
$S_{ku}$	8.29408	10.667	7.51921	5.92576	5.68993	6.44496	7.423
$S_v$ (nm)	291.462	175.152	744.446	560.257	219.376	288.415	379.851
$S_p$ (nm)	563.257	589.869	1015.58	926.612	498.483	572.974	694.462
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.29625	0.271875	0.135781	0.193438	0.239844	0.231875	0.2281
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	46.7337	88.2937	0	89.6595	177.606	173.701	95.99
$S_{tdi}$	0.770888	0.783456	0.397929	0.539231	0.631275	0.800897	0.6539

Na osnovu slike 55 i podataka iz Tabele 19. se može primetiti veliki uticaj površinskog oplemenjivanja na topografiju uzorka, kao i na parametre hrapavosti. Nanošenjem sjajnog vododisperzivnog laka je došlo do smanjivanja vrednosti  $S_a$  i  $S_q$  (66.4117 i 93.440 nm) u odnosu na neštampani papir, kao i u odnosu na površinu prekrivenu sa bojom a bez sredstva za oplemenjivanje. Sama raspodela visina je mnogo uža što se može primetiti na histogramu na slici 56., kao i prema parametrima  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$ . Razlika između najvišeg vrha i najdubljeg ulegnuća je isto višestruko smanjena, što je posledica popunjavanja udubljenja bojom i sredstvom za oplemenjivanje površine.

Sledeći uzorak za ispitivanje je bio sjajno premazni papir štampan sa konvencionalnom bojom i oplemenjen sa sjajnim vododisperzivnim lakom korišćenjem aniloks valjka od 60L/cm. Na slici 57. je prikazana površinska struktura, a na slici 58. histogram jednog od uzoraka u cilju prikazivanja distribucije vrhiova. Detaljnije karakteristike hrapavosti koje opisuju tu površinu su date u Tabeli 20.



Slika 57. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 58. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm

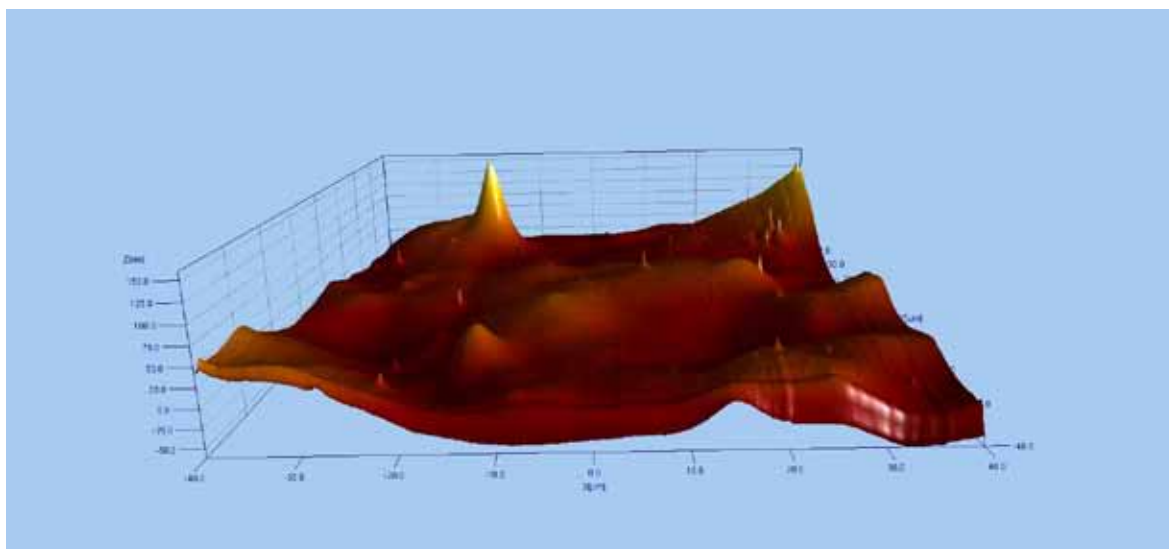
Na osnovu slike 57. se može videti slično poravnavanje površine kao i kod prethodnog uzorka, gde je sjajno sredstvo za oplemenjivanje dovelo do popunjavanja većih udubljenja. Na površini se mogu videti i nekoliko manjih izbočina čija visina nije u velikom opsegu dok histogram je blago asimetričan, i u prikazanom primeru malo širi nego kod uzorka koji je oplemenjen sa 90L/cm, ali u zavisnosti od pozicije snimanja površine može doći do manjih odstupanja.

Kvantifikovane veličine hrapavosti predstavljene u Tabeli 20. ukazuju na dalje izravnavanje površine gde dva najvažnija faktora  $S_a$  i  $S_q$  su dali niže vrednosti (47.93 nm i 68.124 nm) od uzorka koji je oplemenjen sa količinom od 90L/cm (66.41 nm i 93.440 nm). Primetno je i smanjivanje vrednosti  $S_p$  i  $S_v$  u odnosu na poldogu bez boje i sa bojom, i do smanjivanja samog raspona između vrhova i udubljenja što ukazuje na poravnavanje površine. Vrednosti  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$  su slične za oba oslojena uzorka (sa aniloks valjkom od 60L/cm i 90L/cm), kao i ostali izmereni parametri.

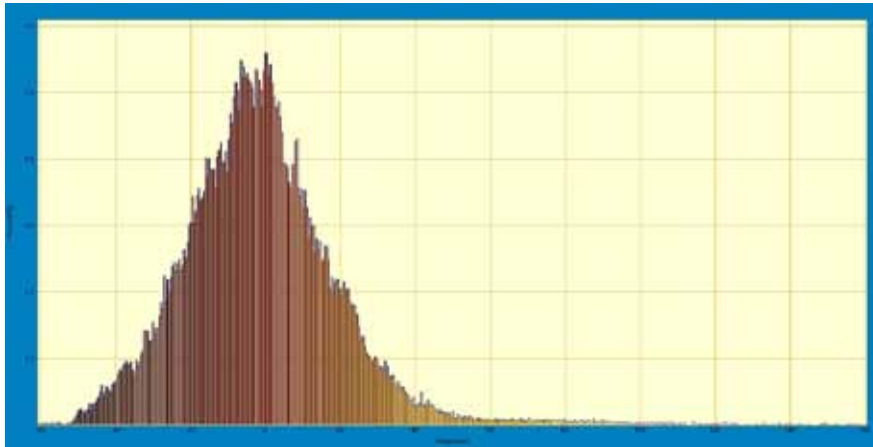
Tabela 20. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa vododisperzivnim sjajnim lakom sa aniloks valjkom od 60L/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	46.6288	47.2654	58.6565	60.3431	37.1498	37.5367	47.93
$S_q$ (nm)	69.7142	69.1366	82.8214	85.0359	50.4278	51.6125	68.124
$S_{sk}$	0.578857	0.377142	0.983754	0.867253	0.700865	1.03489	0.75712
$S_{ku}$	8.8938	8.27227	10.3098	9.13279	6.92155	9.32235	8.80876
$S_v$ (nm)	249.512	458.036	348.506	319.52	238.392	258.61	312.096
$S_p$ (nm)	533	518.391	870.747	882.294	399.187	471.194	612.468
$S_{ds}$ ( $1/\mu m^2$ )	0.329062	0.317344	0.214062	0.274219	0.414688	0.399063	0.32474
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	118.222	0	88.5525	88.4599	0	138.057	72.215
$S_{tdi}$	0.779861	0.830315	0.509953	0.450864	0.661192	0.773136	0.6675

U daljem toku rada je urađena analiza površina koje su štampane sa hibridnom bojom i koje su oplemenje sa UV sjajnim lakom u cilju dobijanja kvantifikovanih veličina površinske hrapavosti. Na slici 59. su prikazane topografije površine uzorka oplemenjenog sa aniloks valjkom od 90L/cm, a na slici 60. histogramski prikaz distribucije visina,



Slika 59. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom hibridnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 60. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom hibridnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm

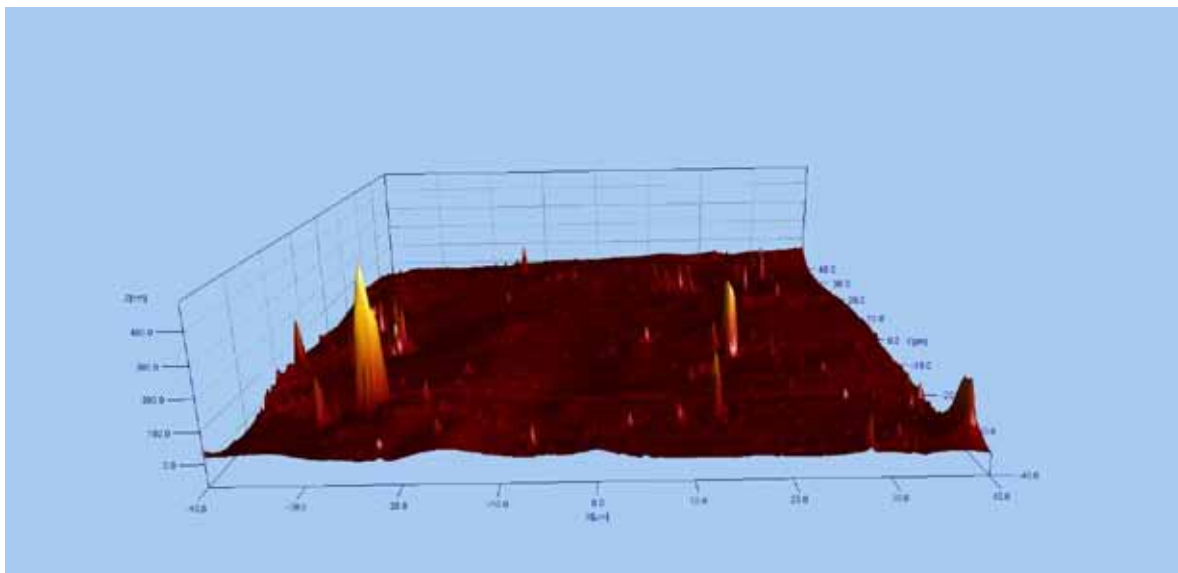
Izračunate vrednosti parametara hrapavosti su prikazane u Tabeli 21.

Tabela 21. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa hibridnom bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa aniloks valjkom od 90L/cm

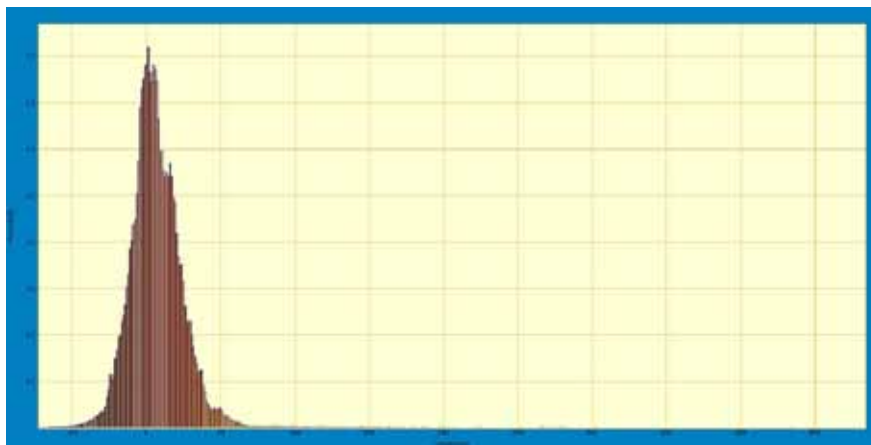
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	15.4164	42.6938	45.5986	19.8357	22.6945	16.0701	27.051
$S_q$ (nm)	20.6411	60.6773	65.2458	27.3881	29.9836	23.4137	37.892
$S_{sk}$	1.00073	1.61126	0.912034	-0.518862	-0.696845	1.92383	0.7053
$S_{ku}$	6.71445	8.13974	5.91851	5.09141	4.05241	10.3651	6.7136
$S_v$ (nm)	54.0016	169.163	183.248	105.829	106.485	46.6086	110.8892
$S_p$ (nm)	157.929	358.609	348.761	100.302	85.4398	175.609	204.4416
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.0889063	0.0148437	0.0139062	0.0434375	0.0479687	0.06625	0.0458854
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	89.703	89.6313	89.6326	0	89.5331	177.812	89.38
$S_{tdi}$	0.605947	0.374854	0.719055	0.652486	0.506958	0.579714	0.573169

Prema podacima iz Tabele 21. se može videti da i kod primene UV sjajno premazno sredstva za oplemenjivanje dolazi do velikog smanjivanja parametara  $S_a$  i  $S_q$  u odnosu na iste vrednosti kod uzorka bez sredstva za oplemenjivanje. Došlo je i do smanjivanja visine i udubljenja kroz parametre  $S_v$  i  $S_p$ , kao i velika promena udela vrhova u površini što se može videti iz vrednosti  $S_{ds}$  od 0.0458854.

Sledeće analiza površine obuhvata isto hibridne otiske ali oplemenje sa UV sjajnim lakom koji je nanešen sa aniloks valjkom od 60L/cm. Površinska topografija je data na slici 61., histogram raspodele visina na slici 62., a izračunate vrednosti hrapavosti u Tabeli 22.



*Slika 61. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom hibridnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 62. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom hibridnom bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm*

Tabela 22. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa hibridnom bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa aniloks valjkom od 60L/cm

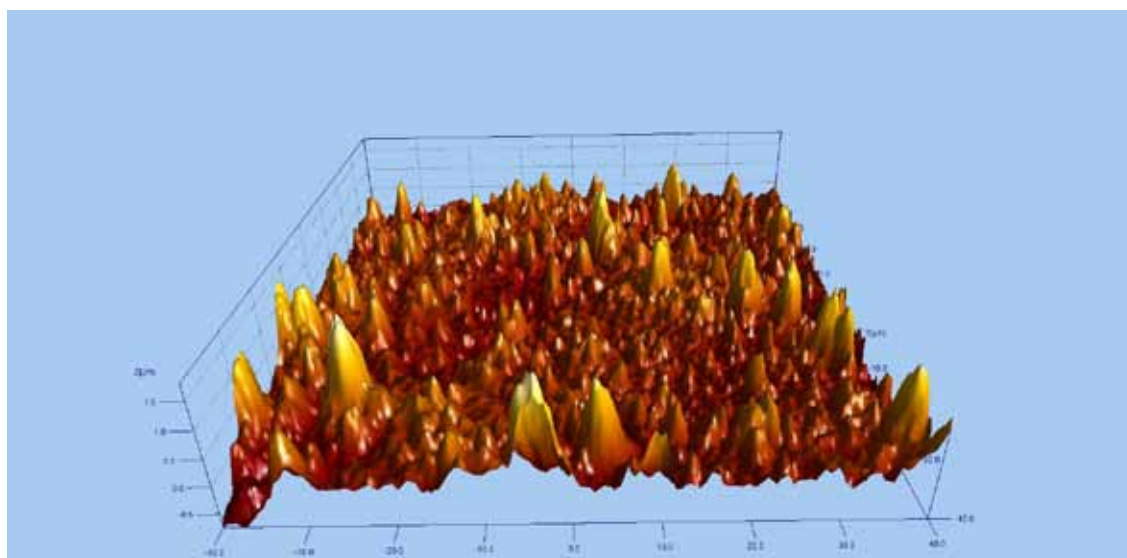
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	13.5922	13.0188	18.2655	16.5031	17.5249	16.1911	15.849
$S_q$ (nm)	20.733	20.7619	25.0046	22.8789	23.5591	20.6003	22.2563
$S_{sk}$	4.6015	5.32388	1.52105	1.29556	-0.160822	-0.511873	2.01154
$S_{ku}$	68.8419	82.4688	8.63779	8.21398	4.45068	3.97367	29.4311
$S_v$ (nm)	77.9258	79.3437	55.8943	66.0918	87.2936	96.2537	77.133
$S_p$ (nm)	474.463	488.039	270.48	274.283	103.653	101.344	285.377
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.259688	0.283125	0.119844	0.124375	0.0734375	0.0459375	0.1510
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	41.5597	0	89.5661	0	89.651	36.79
$S_{tdi}$	0.735152	0.84386	0.813072	0.831633	0.57019	0.364725	0.6931

Na osnovu podataka iz Tabele 22. se može videti da sa većim nanosom UV laka putem veće linijature aniloks valjka dolazi do dodatnog smanjivanja vrednosti  $S_a$  i  $S_q$  u veličini 15.849 i 22.2563 nm. Ove veličine su manje i od boje bez laka, kao i vrednosti izmerenih na površini sa manjim nanosom laka. Došlo je pak do povećanja dva faktora u odnosu na površinu sa manje laka a to su  $S_{sk}$  koji sada ukazuje na veći nagib raspodele visina prema vrhovima, kao i maksimalne vrednosti visine vrha izraženo kroz veličinu  $S_p$  gde je vrednost 285.377 nm najverovatnije rezultat nekoliko izraženih pikova. Ovi pikovi su doprineli i porastu udela vrhova u površini sa vrednošću za  $S_{ds}$  parametar od 0.1510. Histogram na slici X. prikazuje veoma usku distribuciju visina, što je i uočljivo na topografskoj slici gde dominira ujednačena površina sa nekoliko većih vrhova.

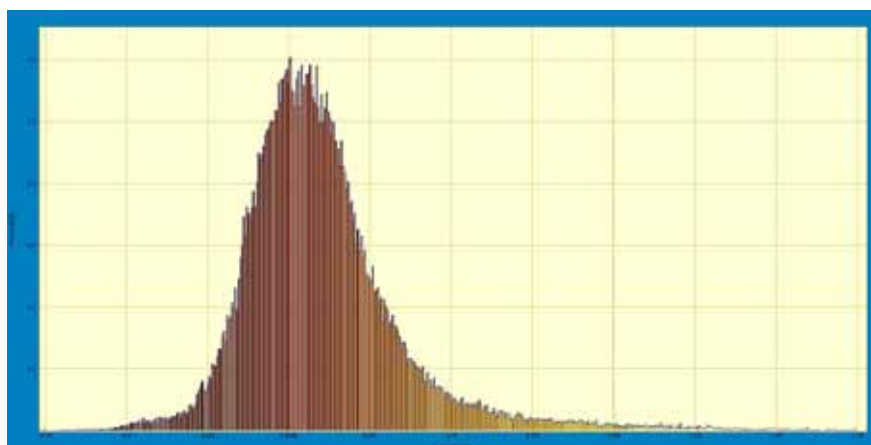
Nakon analize sjajnih vododisperzivnih lakova, kao i UV lakova koji su naneti na of-setne otiske putem aniloks valjaka dve veličine pristupilo se i analizi površini i parametara hrapavosti uzoraka koji su oplemenjeni sa mat vododisperzivnim lakovima korišćenjem iste mašine, kao i linijatura aniloks valjaka od 90L/cm i 60L/cm.

Na slici 63. je prikazana površinska topografija dobijena AFM skeniranjem površine oplemenjene sa aniloks valjkom od 90L/cm, na slici 64. histogram raspodele vrhova, a u tabeli 23. su date vrednosti parametara hrapavosti.





*Slika 63. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



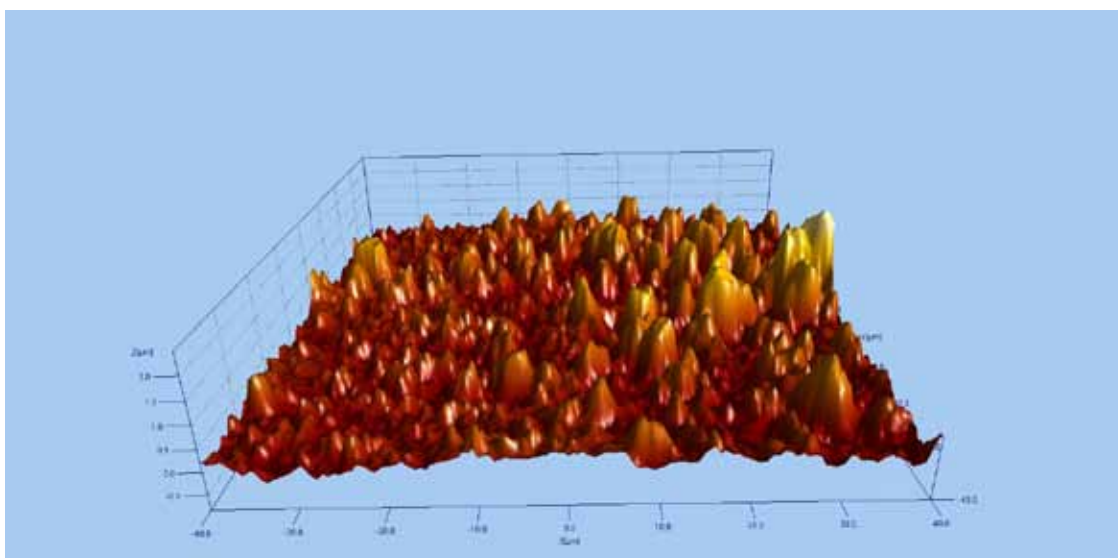
*Slika 64. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 90L/cm*

Tabela 23. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa hibridnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom sa aniloks valjkom od 90L/cm

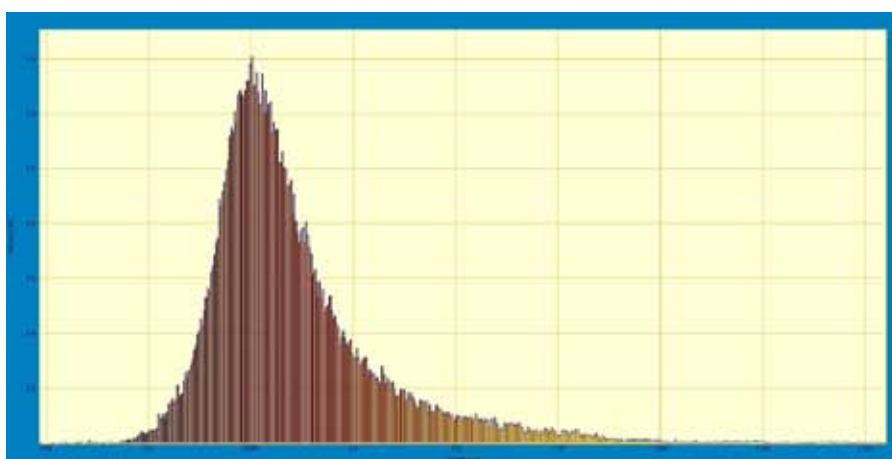
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	295.843	175.133	297.746	174.87	217.243	215.663	229.416
$S_q$ (nm)	406.07	251.795	410.774	248.856	292.192	287.541	316.204
$S_{sk}$	1.2999	1.56909	1.19056	1.63893	0.0804996	0.68768	1.0777
$S_{ku}$	5.82906	8.54259	5.92031	8.42133	4.71944	4.64469	6.3462
$S_v$ (nm)	1730.5	990.955	1150.91	877.888	1320.39	1291.05	1226.94
$S_p$ (nm)	1927.01	1713.45	2041.23	1662.13	1280.23	1307.93	1655.33
$S_{ds}$ (1/ $\mu\text{m}^2$ )	0.108594	0.281563	0.109063	0.265	0.192656	0.177656	0.18909
$S_{td}$ (°)	43.9198	153.741	0	153.504	169.593	92.2833	102.173
$S_{tdi}$	0.789681	0.752723	0.7313	0.799758	0.79414	0.69021	0.7596

Na osnovu slike 64. i histograma raspodele visina i vrednosti hrapavosti u Tabeli 23. se može videti u potpunosti različita površinska struktura nego kod sjajno oplemenjenih uzoraka. Površina je višestruko vizuelno hrapavija sa mnogo udubljenja i izbočina što je rezultat kompozicije samog laka, u cilju raspršivanja svetlosti. Parametri  $S_a$  i  $S_q$  su više neko kod obojene površine bez laka i višestruko veće neko kod uzoraka koji su oplemenjeni sa sličnima niloks valjkom ali sa sjajnim lakom. Kod histograma se vidi široki raspon visina, a  $S_{sk}$  i  $S_{ku}$  parametri ukazuju na dominaciju vrhova, koje najverovatnije čine mat čestice u samom laku. Veličina najvišeg vrha i najdubljeg udubljenja od  $S_v = 1226.94$  i  $S_p = 1655.33$  ukazuju na veći raspon između najnižih i najviših elemenata na površini. Vrednost  $S_{ds}$  je isto veća u odnosu na sjajno lakirane površine, što ukazuje na više vrhova i izbočina na površini.

Pored ovih uzoraka kao poslednji uzorak koji je dobijen aplikacijom preko aniloks valjaka je urađena topografska analiza skenirane površine uzoraka štampanih sa konvencionalnom bojom i oplemenjenih sa mat lakom korišćenjem aniloks valjka od 60L/cm. Na slici 65 je prikazana skenirana 3D topografija jednog od uzoraka, na slici 66. njegov histogram distribucije visina au Tabeli 24 se nalaze izračunati podaci za parametre hrapavosti.



*Slika 65. Izgled površinske strukture sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 66. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom konvencionalnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom pomoću aniloks valjka od 60L/cm*

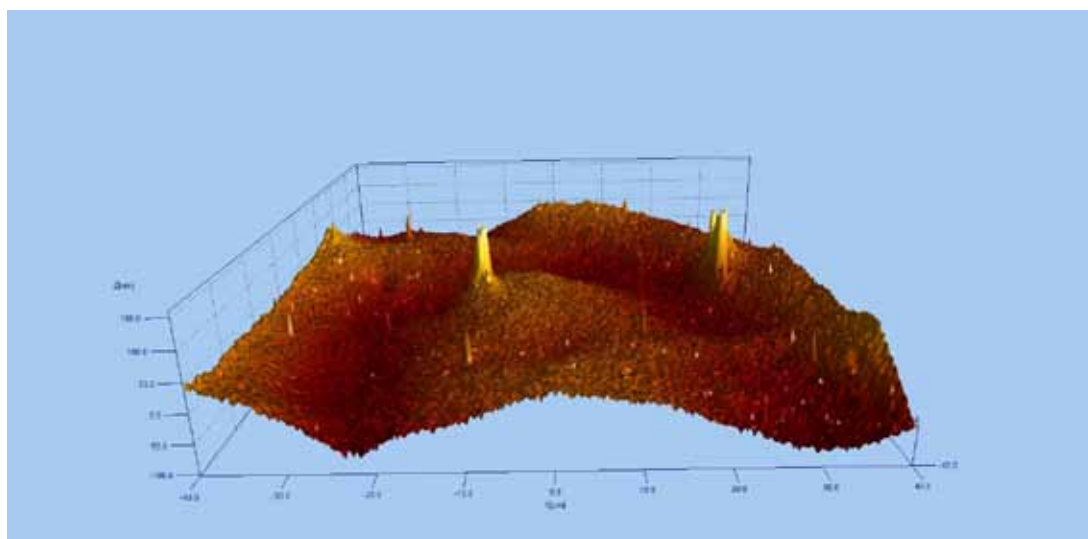
Tabela 24. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa hibridnom bojom i oplemenjenog sa mat vododisperzivnim lakom sa aniloks valjkom od 60L/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	199.922	279.94	200.353	241.235	241.883	301.087	244.07
$S_q$ (nm)	308.024	431.649	304.704	333.655	336.695	473.284	364.668
$S_{sk}$	2.70641	2.49374	2.41225	1.51375	1.61852	2.31585	2.1767
$S_{ku}$	14.4097	13.6817	12.5168	6.55199	7.51156	12.3439	11.169
$S_v$ (nm)	744.361	1101.75	863.251	868.86	1032.78	1136.17	957.862
$S_p$ (nm)	2361.13	3012.48	2160.96	2040.41	2231.43	3042.61	2474.83
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.234219	0.147188	0.257187	0.188594	0.179688	0.147188	0.1923
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	112.019	123.207	47.3218	125.756	104.129	0	85.40
$S_{tdi}$	0.8164	0.686408	0.809775	0.835442	0.758634	0.558806	0.7442

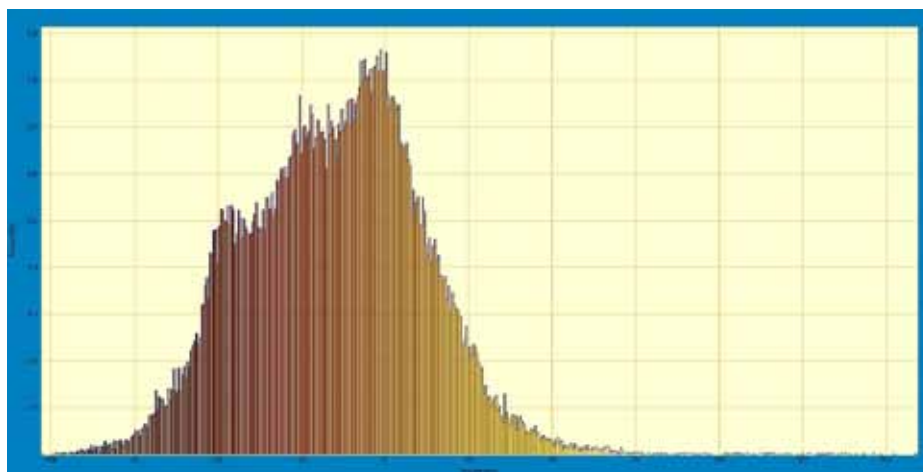
Kao što se može primetiti na slici 65. površina sa većin nanosom mat laka izgleda veoma slično kao kada se površina oplemeni sa manjom količinom sredstva za oplemenjivanje. Na osnovu kvantitativnih parametara  $S_a$  od 244.07 nm i  $S_q$  od 364.668 nm se može primetiti porast hrapavosti površine sa povećanjem količine mat laka. Veličina  $S_{sk}$  ukazuje na oštiji nagib histograma distribucije gde je došlo i do povećavanja raspona između pojedinačno najvećeg vrha 2474.83 nm i najdubljeg ulegnuća od 957 nm. Podatak da se na površini nalazi više mat čestica može da ukaže i broj  $S_{ds}$  koji je slično drugim parametrima dao veću vrednost udela vrhova nego manja količina mat laka.

Kod uzoraka koji su štampani UV bojama u ofset tehnologiji štampe primenjene su tri različite linijature (180 niti/cm, 150 niti/cm, 120 niti/cm) za nanošenje sjajnog i mat UV laka na tri vrste podloge za štampu.

Na slici 67. je prikazana 3D topografija uzorka koji je bio oplemenjen sa UV lakom korišćenjem sita sa linijaturom 180 niti/cm. Na slici 68. je prikazan histogram raspodele visina na površini a u Tabeli 25. su date vrednosti površinske hrapavosti.



*Slika 67. Izgled površinske strukture premaznom kartonu sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



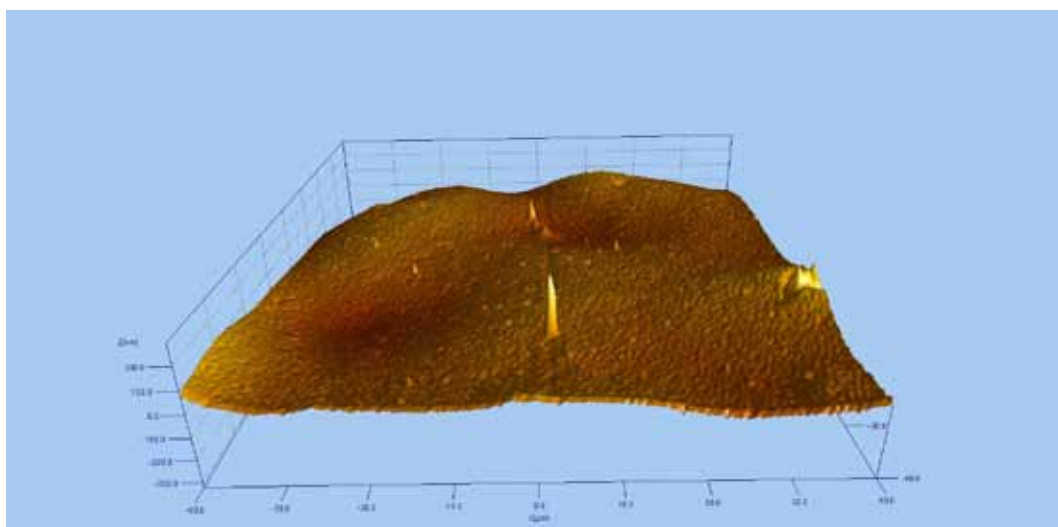
*Slika 68 Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm*

Tabela 25. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 180 niti/cm

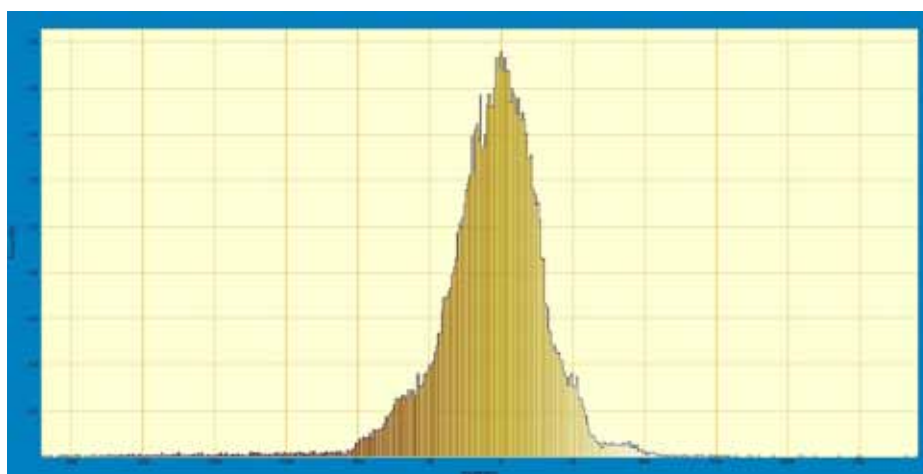
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	39.9876	45.1564	31.2133	21.3222	18.3271	59.1273	35.855
$S_q$ (nm)	51.9417	56.2907	38.8169	26.3891	25.0762	78.4829	46.166
$S_{sk}$	0.0824716	0.0308116	0.407037	0.18654	-0.0803651	1.20228	0.3407
$S_{ku}$	3.4919	3.06391	2.87924	3.53883	5.73599	7.15269	4.310
$S_v$ (nm)	291.806	177.59	120.025	86.4721	121.472	180.653	163.003
$S_p$ (nm)	342.244	275.615	174.795	174.198	169.405	508.768	274.170
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.402813	0.153125	0.199844	0.828906	0.760938	0.165781	0.4185
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	0	24.5369	0	89.6832	0	19.03
$S_{tdi}$	0.34413	0.40109	0.760839	0.633265	0.650407	0.30728	0.5161

Na osnovu rezultata iz Tabele 25 i slike 67. se može videti da kod nekih uzoraka preovladavaju mala udubljenja, što je i iskazano kroz njihovu široku distribuciju na histogramu. Same osnovne vrednosti amplitudalne hrapavosti ukazuju na smanjenje hrapavosti površine u odnosu na odštampanu boju ( $S_a$  169.273 a  $S_q$  242.516 nm). Vrednost  $S_{sk}$  za sve uzorke uglavnom naginje ka udelu vrhova. Što se tiče visine pojedinačnih vrhova i udubljenja one se kreću u opsegu od 508 nm do 169.405 nm za udubljenja, što naravno zavisi od mesta uzorkovanja. Udeo vrhova na nekim od površina je umereno izražen, što i potvrđuje vrednost  $S_{ds}$  od 0.4185.

Sledeći uzorak za ispitivanje je bio uzorak sa istom podlogom i nanosom UV boje ali koji je bio oplemenjen sa većom količinom laka. Na slici 69. se može videti površinska struktura površine oplemenjene sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm, slika 70. daje prikaz preraspodele i distribucije visina, a u Tabeli 26. su prikazani relevantni parametri hrapavosti.



*Slika 69. Izgled površinske strukture premaznom kartonu sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 70. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm*

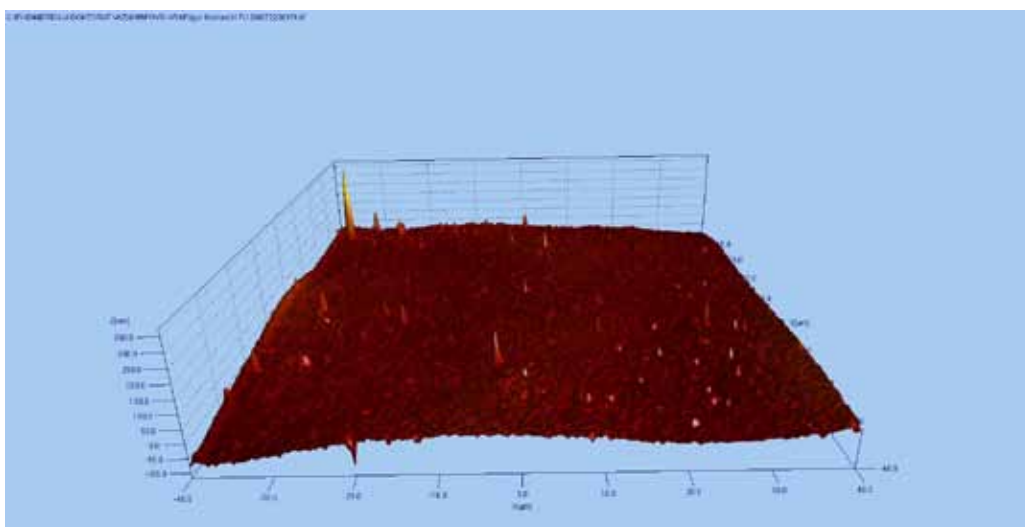
Tabela 26. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	19.7929	16.473	28.7929	27.6832	17.6296	18.5849	21.4927
$S_q$ (nm)	24.8866	21.8591	39.476	38.1096	24.526	25.902	29.126
$S_{sk}$	0.450621	0.140353	-0.536332	-1.02632	-0.0166454	-0.602317	-0.2651
$S_{ku}$	3.65943	5.07463	5.86236	8.7774	6.12889	7.35508	6.1429
$S_v$ (nm)	84.4536	103.338	273.126	296.892	119.959	127.292	167.51
$S_p$ (nm)	211.242	208.522	168.929	292.56	142.962	233.459	209.612
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.717969	0.74125	0.674531	0.659219	0.817187	0.765156	0.7292
$S_{td} (^{\circ})$	0	89.6646	0	88.6811	0	89.6405	44.66
$S_{tdi}$	0.523143	0.603427	0.501514	0.746059	0.500145	0.492231	0.561

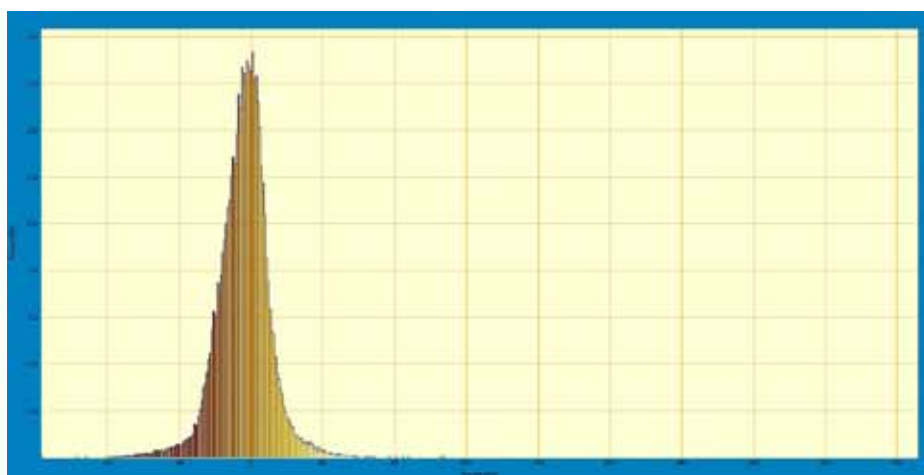
Na osnovu analize slike i rezultata iz tabele 26. se može videti da dodatnim nanosom laka dolazi do dodatnog smanjivanja srednje hrapavosti koje se iskazuju kroz veličine  $S_a$  (21.4927 nm) i  $S_q$  (29.16 nm) se dobijaju višestruko manje vrednosti nego kod površina koje su oplemenje sa sitom sa većim tkanjem, ali manjom propusnošću (180 niti/cm). Ono što predstavlja zanimljivi podatak koji se može primetiti kako posmatranjem površine tako i praćenjem parametra  $S_{sk}$  koji ima vrednost -0.2651 da na mnogim od tačaka koje su ispitivane dominiraju mala udubljenja i prikazani histogram raspodele visine isto pokazuje da je histogram nagnut na jednu stranu i da postoji dosta malih ulegnuća. Uvidom u parametre  $S_v$  i  $S_p$  se može primetiti i da je došlo do smanjivanja ospega između udubljenja i vrhova i da su srednje maksimalne veličine izražene kroz te faktore niže nego kod uzorka sa manjom količinom laka.

Kao najveći nanos na ispitivanim uzorcima je definisan onaj koji je nanešen kroz sito sa tkanjem od 120 niti/cm. Na slici 71. je prikazana površinska topografija jednog od tih uzoraka, na slici 72. njegov histogram distribucije visina a u Tabeli 27. su date odgovarajuće vrednosti parametara hrapavosti.





*Slika 71. Izgled površinske strukture premaznog kartonu sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 72. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm*

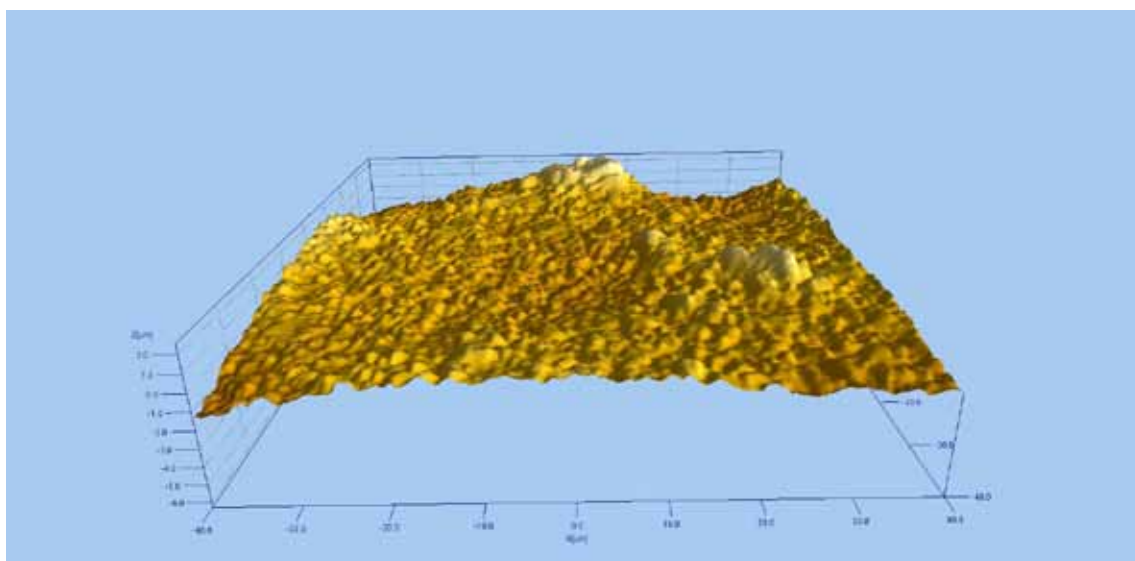
Tabela 27. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	17.2501	18.0881	10.2909	13.7884	10.5858	9.61285	13.269
$S_q$ (nm)	21.8562	22.8973	13.9088	17.9108	14.9215	14.3434	17.639
$S_{sk}$	0.0138271	-0.335465	0.115016	-0.134196	1.13157	0.145044	0.1559
$S_{ku}$	3.76564	3.67669	7.1503	4.24383	30.9153	34.8502	14.1
$S_v$ (nm)	117.951	136.741	161.129	134.928	112.673	145.978	134.9
$S_p$ (nm)	140.394	144.918	104.983	122.455	375.406	358.793	207.82
$S_{ds}$ ( $1/\mu m^2$ )	0.791875	0.762656	0.704531	0.789063	0.849688	0.849688	0.79125
$S_{td} (^{\circ})$	0	89.6251	0.920446	89.6607	178.575	154.629	85.568
$S_{tdi}$	0.368583	0.614566	0.698889	0.557269	0.663965	0.875768	0.6298

Na osnovu analize topografije površine, kao i njenog histograma distribucije vrhova koji su prikazani na slici 72. veoma uska distribucija visina sa skoro ravnomernom distribucijom vrhova i udubljenja. Podatak  $S_{sk}$  koji ima vrednost koja je približno 0.1559 i nalazi se blizu vrednosti 0 upućuje na zaključak da su vrhovi u blagoj prednosti, mada neki od uzoraka su imali i dosta dominantnu izražena mikro udubljenja.  $S_v$  i  $S_p$  faktor sa veličinama od 124.9 nm i 207.82 nm upućuju na smanjivanje ekstremnih vrednosti unutar površine. Dva faktora koja najbolje opisuju hrapavost površine  $S_a$  sa vrednošću 13.269 nm i  $S_q$  sa vrednošću 17.639 nm daju najniže vrednosti kod svih uzoraka na premaznom kartonu koji su oplemenjeni sa sjajnim UV lakom. Ovaj rezultat ukazuje da najveća količina sjajnog laka dovodi do najniže vrednosti hrapavosti.

Daljim ispitivanjem premaznog kartona štampanog sa UV bojama je nastavljeno sa analizom površina koje su oplemenjene sa UV mat lakom.

Na slici 73. je prikazana skenirana topografija površine uzorka na premaznom kartonu sa UV bojom koji je oplemenjen sa UV mat lakom i sitom linijature 180 niti/cm. Na slici 74. se nalazi histogram distribucije visina a u Tabeli 28. se nalaze prosečne vrednosti rezultata hrapavosti za datu površinu.



Slika 73. Izgled površinske strukture premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



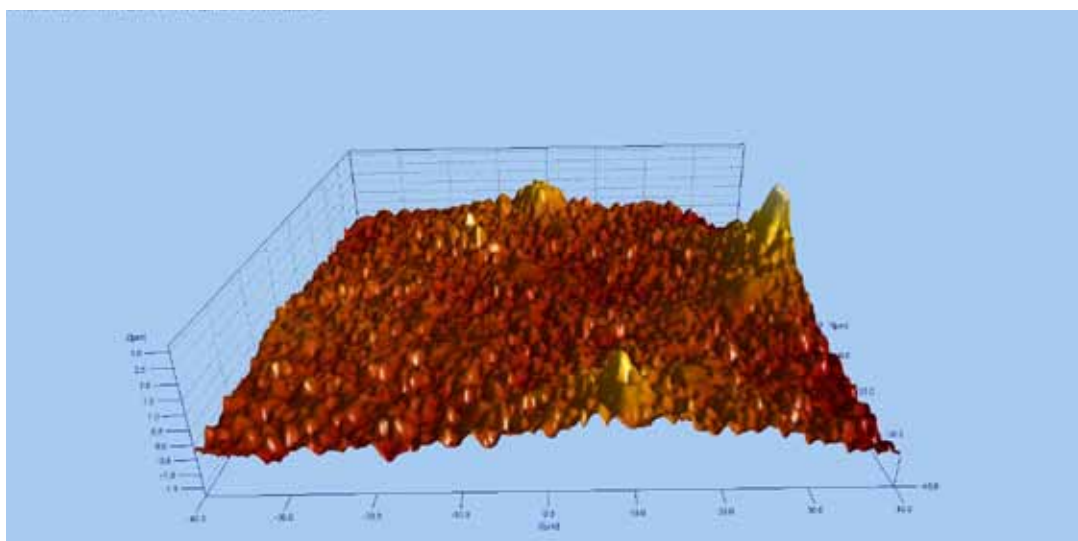
Slika 74. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm

Tabela 28. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 180 niti/cm

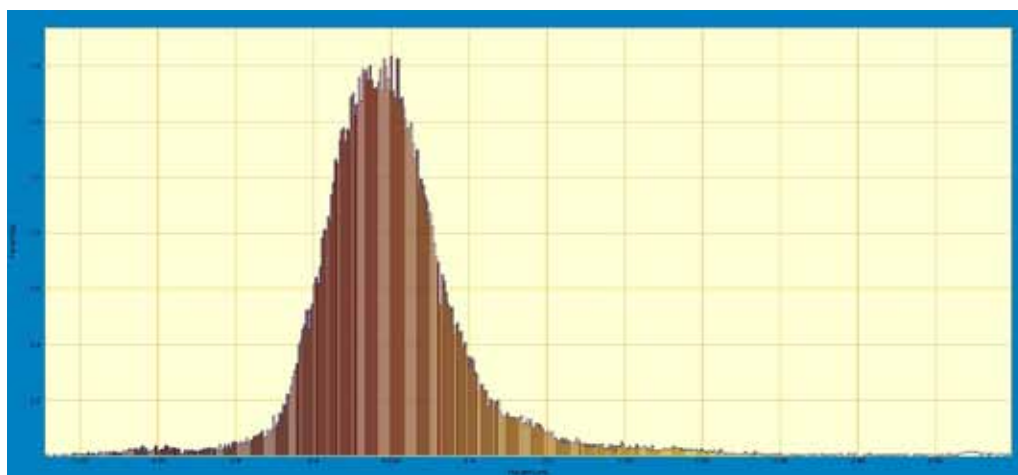
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	243.942	280.538	282.021	270.727	241.269	265.186	263.947
$S_q$ (nm)	338.712	398.112	357.161	346.053	315	336.694	348.662
$S_{sk}$	0.530864	1.31135	0.520914	0.669543	0.887475	0.195764	0.6859
$S_{ku}$	6.17201	7.50887	3.8173	3.87374	9.04497	3.27153	5.6147
$S_v$ (nm)	2860.48	1866.49	1246.06	2217.47	956.268	1511.11	1.766.313
$S_p$ (nm)	1902.53	2552.7	1795.42	1776.9	3839.32	1429.69	2216.093
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.176094	0.192813	0.137812	0.200469	0.153125	0.195937	0.1760
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	22.7613	0.413956	57.5989	0	0	13.462
$S_{tdi}$	0.710335	0.784203	0.562995	0.907313	0.494657	0.614661	0.6790

Kod uzoraka oplemenjenim sa mat lakom korišćenjem sita od 180 niti/cm može se primetiti kao što je i očekivano od mat laka da dođe do povećanja površinske hrapavosti. Vrednost  $S_a$  od 263.947 nm i  $S_q$  od 348.662 nm su mnogostruko veće nego za štampanu boju bez oplemenjivanja, kao i vrednosti površina koje su oplemenje sa sjajnim UV lakom korišćenjem istog sita. Vrednost  $S_{sk}$  ukazuje na relativno ujednačenu distribuciju vrhova i udubljenja, što se vidi i prema priloženom histogramu distribucije visina. Vrednosti visine i udubljenja od prosečno 1.766 nm i 2216 nm govore o velikim razlikama i dosta neujednačenoj površini sa izrazitim izdignutim ili ulegnutim delovima. Udeo vrhova izražen kroz vrednost  $S_{ds}$  daje relativno manju vrednost nego otisci oplemenjeni sa sjajnim UV lakom.

Sledeći uzorak je bio lak sa manjim nanosom koji je određen sa tkanjem sita od 150 niti/cm. Na slici 75. se može videti površina jednog od uzoraka, na slici 76. histogram preraspodele visina a u Tabeli 29. izračunate vrednosti za površinsku hrapavost.



*Slika 75. Izgled površinske strukture premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



*Slika 76. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm*

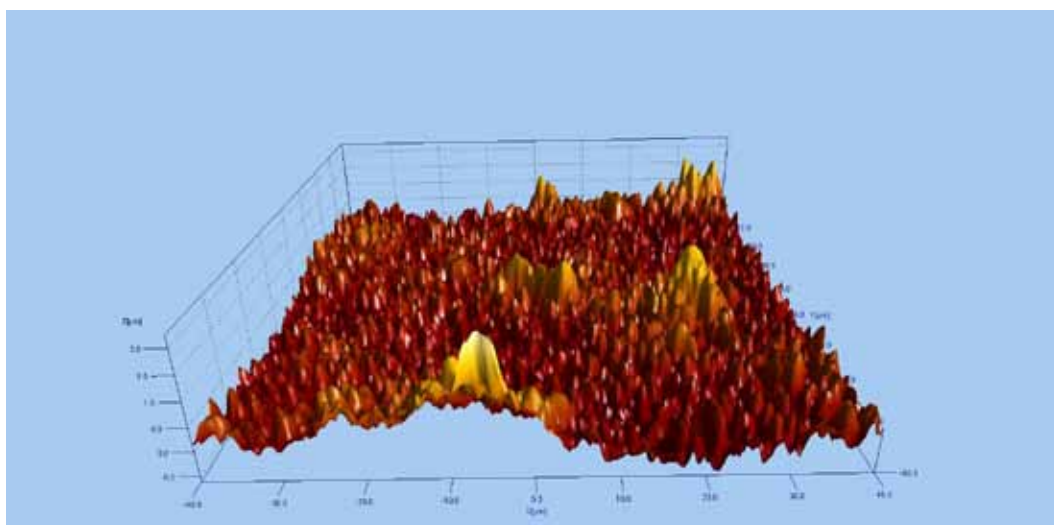
Tabela 29. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	298.76	249.843	237.258	238.543	216.97	240.989	247.0605
$S_q$ (nm)	386.51	332.031	299.199	322.404	276.124	319.23	322.583
$S_{sk}$	0.486653	-0.192403	0.289105	1.14814	0.45819	0.462657	0.4420
$S_{ku}$	3.74028	4.6055	3.21005	6.18747	3.49888	4.68488	4.3211
$S_v$ (nm)	1189.25	1515.53	927.977	1855.91	965.272	1228.7	1280.44
$S_p$ (nm)	1986.62	1788.94	1272.23	1206.31	1211.29	2113.85	1596.54
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.224688	0.210469	0.194219	0.2275	0.232812	0.213906	0.217266
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	88.5281	0	167.356	26.4091	0.761117	47.175
$S_{tdi}$	0.615483	0.690694	0.680863	0.725196	0.867612	0.72604	0.71768

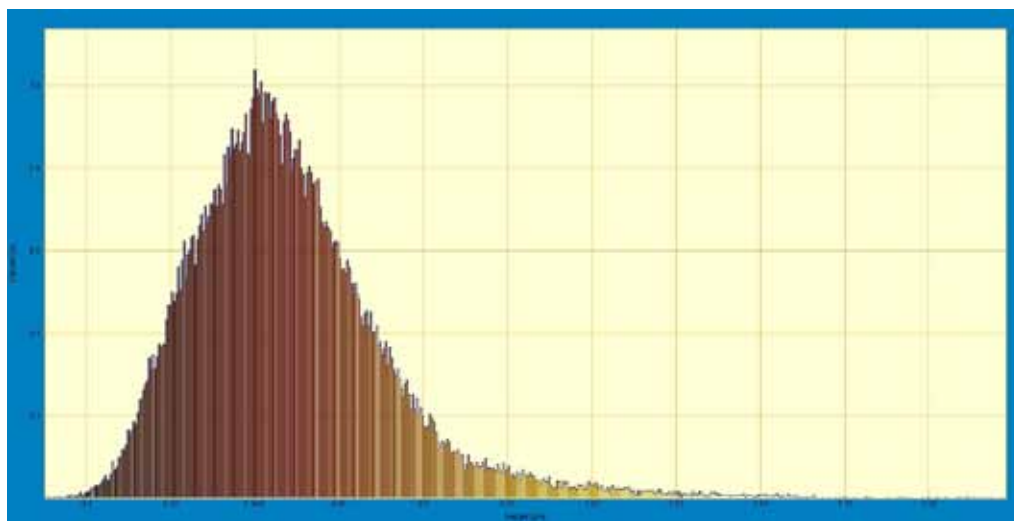
Na osnovu podataka iz Tabele 29. se može videti da je sa većim nanosom UV mat laka, došlo do smanjivanja površinske hrapavosti izražene kroz oba parametra  $S_a$  (247.06 nm) i  $S_q$  (322.58 nm) što je niže od otisaka koji su oplemenjeni sa manjom količinom UV laka. Došlo je i do smanjivanja opsega između najviše i najniže tačke  $S_v$  1280.44 nm i  $S_p$  1596.54 nm u odnosu na manje nanetu količinu iste vrste laka. Vrednost  $S_{sk}$  kao i prikaz na histogramu raspodele visina ukazuje na blagu dominaciju vrhova u odnosu na udubljenja na ovoj površini i vrednost je slična kao i kod manje količine laka. Sličan rezultat je dao i parametar  $S_{ds}$  gde je udeo visina skoro indentičan kao kod laka sa manjim nanosom.

Poslednji uzorak na premaznom kartonu sa UV bojom je bio otisak oplemenjen sa najvećom količinom UV mat laka korišćenjem sita tkanja 120 niti/cm.

Na slici 77. je prikazana površina, na slici 78. histogram a u Tabeli 30. izračunati podaci za ovaj tip uzoraka.



Slika 77. Izgled površinske strukture premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 78. Histogram udela vrhova na uzorku premaznog kartona sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm

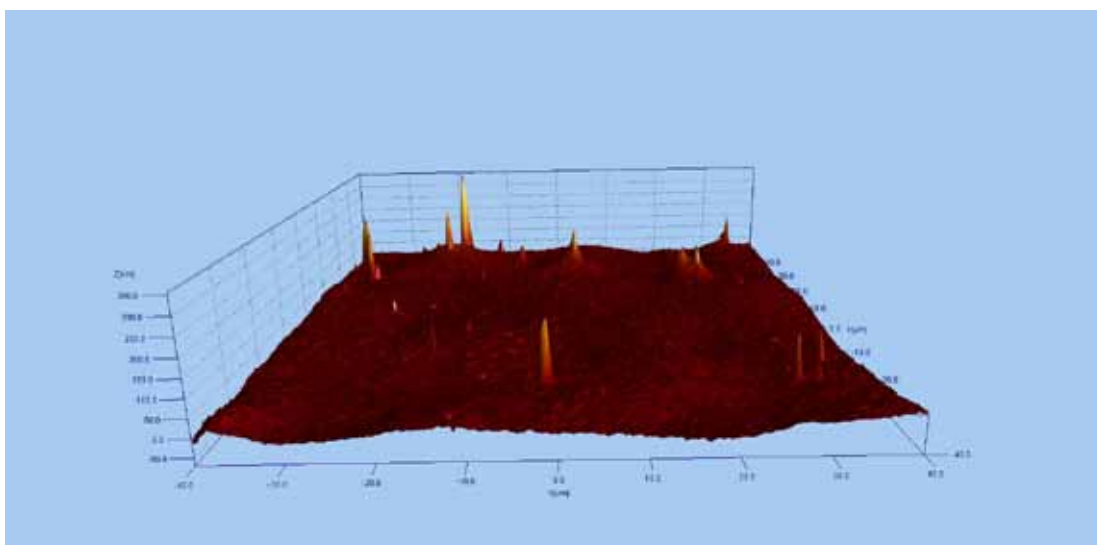
Tabela 30. Parametri hrapavosti za premazni karton sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	219.525	197.181	209.337	221.027	212.57	218.478	213.019
$S_q$ (nm)	287.807	246.077	263.216	283.181	285.574	292.345	276.366
$S_{sk}$	0.652106	0.240181	0.0402164	0.142926	0.773728	1.2193	0.5114
$S_{ku}$	4.49553	2.867	3.25227	3.7812	5.62095	6.27839	4.3825
$S_v$ (nm)	1335.88	725.605	958.652	1050.6	1072.03	717.38	976.691
$S_p$ (nm)	1387.96	917.236	1275.73	1481.86	1766.98	2111.95	1490.286
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.241094	0.245156	0.240156	0.227031	0.280937	0.285156	0.2532
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	69.7408	0	89.694	56.1031	90.8821	51.07
$S_{tdi}$	0.663274	0.790389	0.690952	0.712763	0.800777	0.666143	0.7207

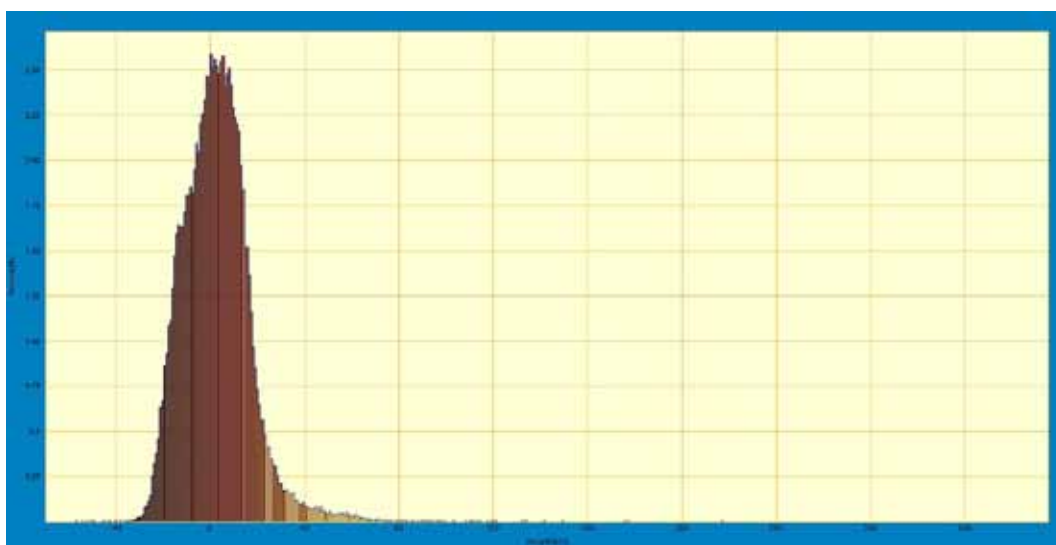
Analizom podataka iz Tabele 30. se može videti da sa još većim nanosom je došlo do smanjivanja  $S_a$  i  $S_q$  vrednosti u odnosu na druge dve manje količine. Vrednost  $S_{sk}$  je 0.5114 što ukazuje na pojavu većeg broja vrhova u odnosu na druge dve količine laka. Iz vrednosti  $S_v$  od 976.69 nm i  $S_p$  od 1490.27 nm se može videti da je došlo i do smanjivanja razlike u visini elmenata na površini. Formiranje većeg broja uzdignutih elemenata sugeriše i podataka  $S_{ds}$  od 0.2532 koji je je veći od vrednosti za druge dve količine primenjenog laka i daje manji udeo vrhova po površini. Ponašanje UV mat laka da sa povećanjem nanosa dolazi do smanjivanja hrapavosti se razlikuje od mat vododisperzivnih lakova primenjenim sa aniloks valjcima.

Sledeći uzorak je bio sjajni premazni papir štampan sa UV bojama i oplemenjen sa sjajnim UV lakom sa sitom od 180 niti/cm. Na slici 79. je prikazana skenirana mikropovršina uzorka, an slici 80. histogram visina a u Tabeli 31. su date vrednosti za amplitudalne i prostorne parametre površinske hrapavosti.





*Slika 79. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



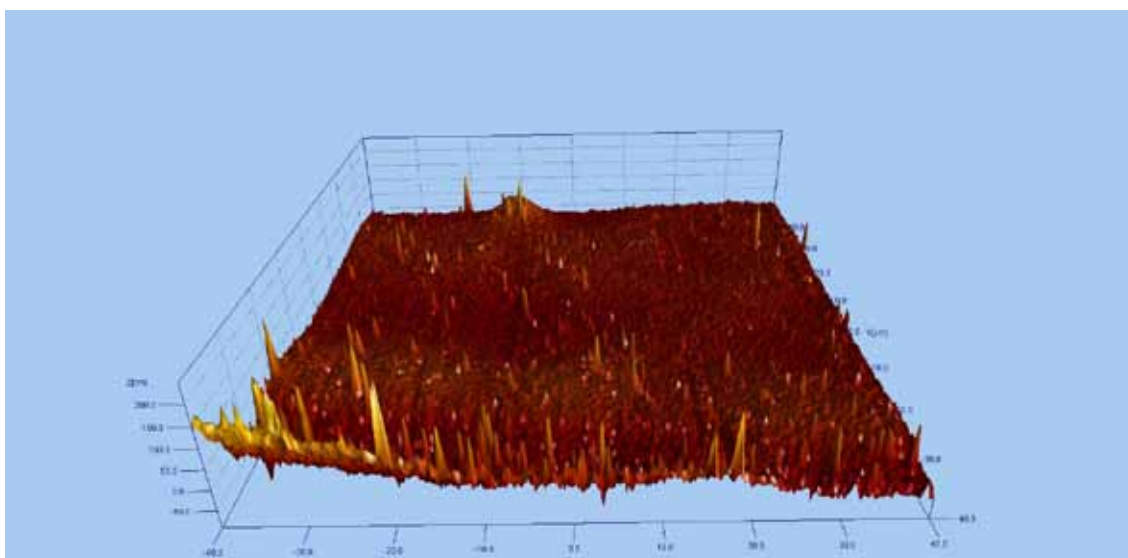
*Slika 80. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm*

Tabela 31. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim-lakom sa sitom sa tkanjem od 180 niti/cm

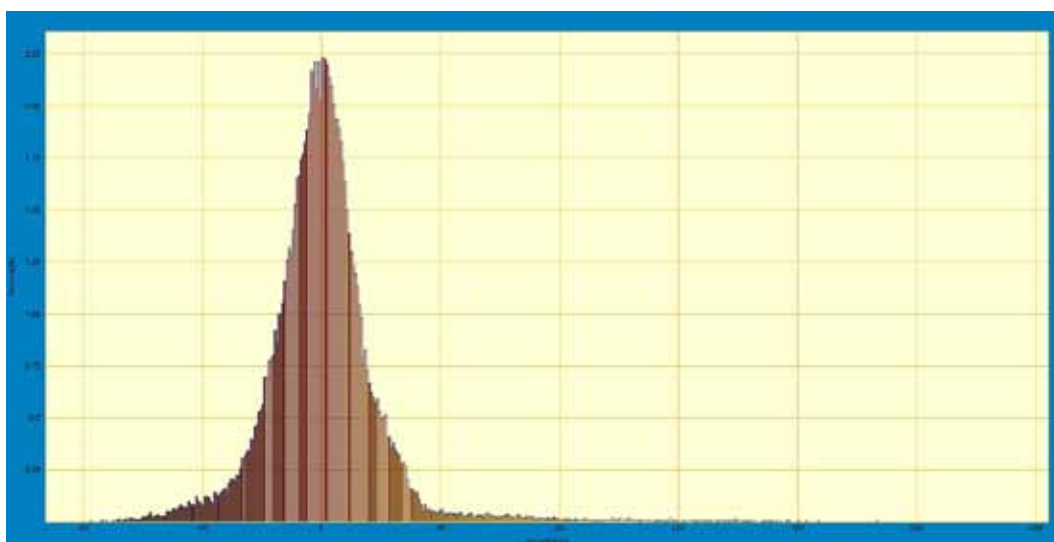
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	53.9166	63.163	34.452	25.9237	21.7863	11.199	35.073
$S_q$ (nm)	75.856	79.5593	52.922	39.468	27.7628	15.6647	48.538
$S_{sk}$	1.01762	-0.245538	0.275539	-1.59999	0.909232	2.34691	0.4506
$S_{ku}$	7.01655	3.25948	7.37701	48.006	5.30413	29.7194	16.780
$S_v$ (nm)	206.197	341.77	252.918	548.992	75.9106	69.8701	249.276
$S_p$ (nm)	510.328	416.739	309.525	409.115	330.518	332.268	384.748
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.449375	0.402656	0.459375	0.440625	0.749375	0.755625	0.5428
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	178.377	90.8468	89.6338	88.3226	178.692	89.6446	119.252
$S_{tdi}$	0.779827	0.725823	0.399115	0.718826	0.537809	0.681649	0.640508

Rezultati merenja hrapavosti uzorka oplemenjenog UV sjajnim lakom na sjajno premaznom papiru su dale mnogostruko manje vrednosti za hrapavost površine nego za obojenu površinu papira bez oplemenjivanja. Sama boja je imala hrapavost od  $S_a = 217.604$  nm i  $S_q$  vrednost od 284.304 nm dok sjajni UV lak daje vrednosti od  $S_a = 35.073$  nm i  $S_q = 48.538$  nm ukazuju da je došlo do poravnavanja površine. Na osnovu histograma distribucije visine se može videti uska distribucija visina, sa malo širom distribucijom kod nekih uzoraka udubljenja, dok srednja vrednost  $S_{sk}$  ukazuje na blagi dominantni udeo vrhova.  $S_{ku}$  vrednost u nekim slučajevima pokazuje oštar prelaz između različitih vrhova. Parametar  $S_{ds}$  od 0.5428 daje relativno nizak udeo vrhova po površini što je bilo karakteristično i za UV sjajni lak kada je bio primenjen na premaznom kartonu.

Na slici 81. je prikazana 3D topografija skenirane površine uzorka sjajno premaznog papira štampan sa UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita od 150 niti/cm. Na slici 82. je prikazan histogram raspodele visina a u Tabeli 32. su date vrednosti parametara hrapavosti površina.



*Slika 81. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



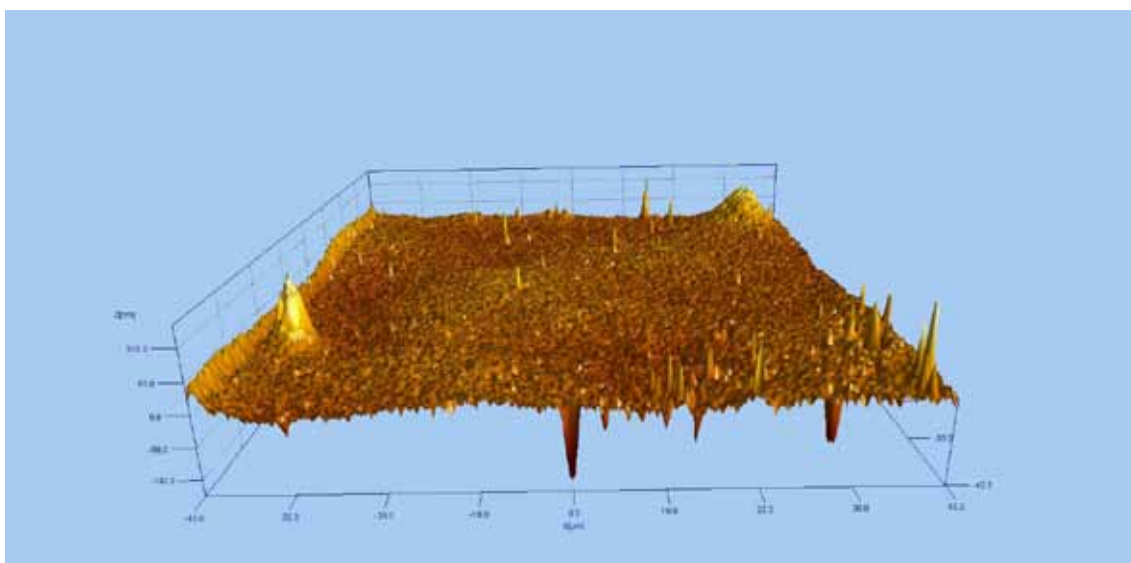
*Slika 82. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm*

Tabela 32. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnilakom sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm

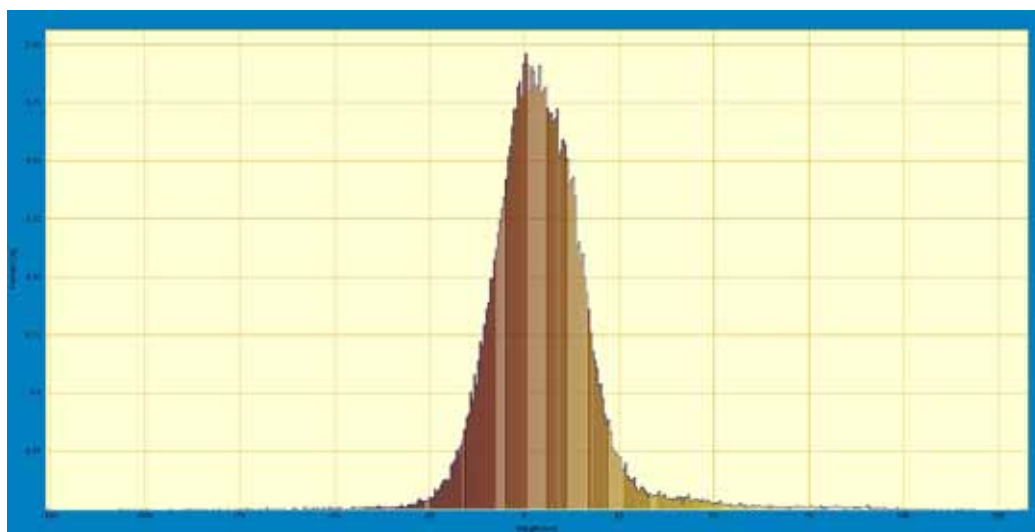
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	21.3828	20.9513	14.905	24.5393	11.7509	25.9889	19.919
$S_q$ (nm)	31.8768	25.973	22.8853	34.1934	16.7583	33.1809	27.477
$S_{sk}$	1.55184	-0.760213	3.25112	1.57887	0.755546	0.250947	1.1046
$S_{ku}$	6.95307	3.65669	39.4846	13.7357	9.22774	3.35652	12.735
$S_v$ (nm)	93.1096	124.141	115.977	156.773	89.7762	153.173	122.158
$S_p$ (nm)	189.895	129.824	475.299	391.68	171.87	192.811	258.563
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.726875	0.256094	0.445625	0.39	0.808281	0.800313	0.5712
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	63.7575	89.5434	0	89.6525	89.6425	89.5552	70.358
$S_{tdi}$	0.730937	0.497966	0.749384	0.644931	0.330381	0.610599	0.594

Parametri iz Tabele 32. ukazuju da je sa većim nanosom sjajnog UV laka došlo do dodatnog smanjivanja površinske hrapavosti.  $S_a$  vrednost od 19.919 nm i  $S_q$  vrednost od 27.477 nm su niže od površina sa bojom i bez oplemenjivanja, kao i površina sa manjom nanetom količinom laka koje su imale parametre  $S_a$  35.073 nm i  $S_q$  48.538 nm. Parametar  $S_{sk}$  sa većom vrednošću od početne ukazuje na veći udeo vrhova u odnosu na udubljenja na samoj površini, dok su  $S_v$  i  $S_p$  vrednosti imale pojedinačno mnogo manje vrednosti, što ukazuje na smanjivanje visinske razlike između najviše tačke nekog vrha i najniže tačke nekog udubljenja. Udeo vrhova je sa vrednošću 0.5712 blago porastao u odnosu na uzorak sa manjom nanetom količinom.

Sledeći uzorak je bio oplemenjen sa najvećom količinom sredstva za oplemenjivanje otiska tj. sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita sa linijaturom od 120 niti/cm. Na slici 83. je prikazana površinska struktura skenirane površine, na slici 84. se vidi raspored visina na histogramu, a Tabela 33. sadrži relevantne podatke površinske hrapavosti za ovaj uzorak.



*Slika 83. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



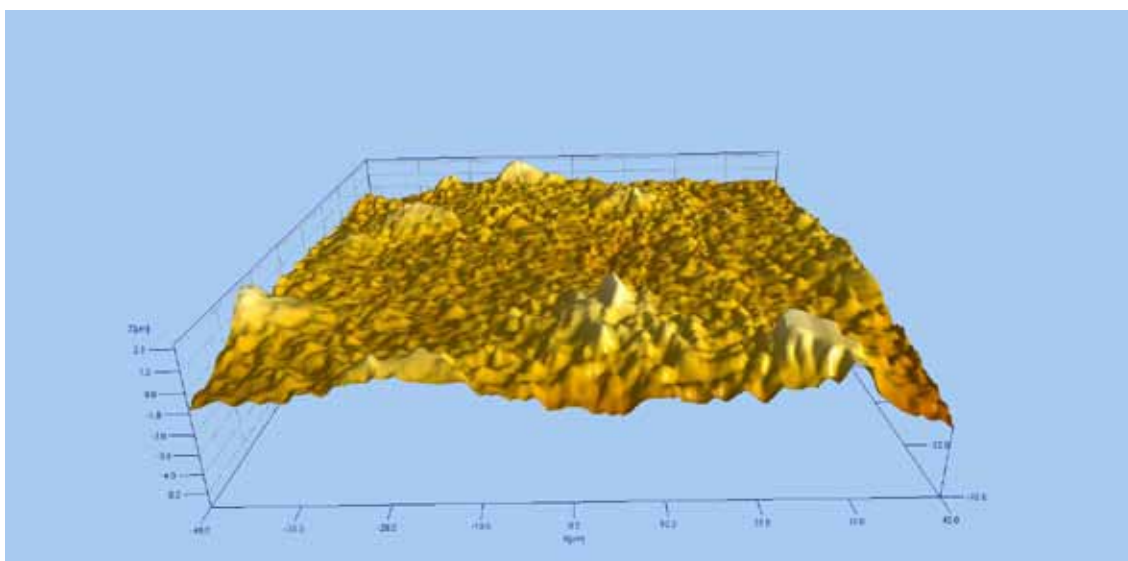
*Slika 84. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm*

Tabela 33. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim-lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

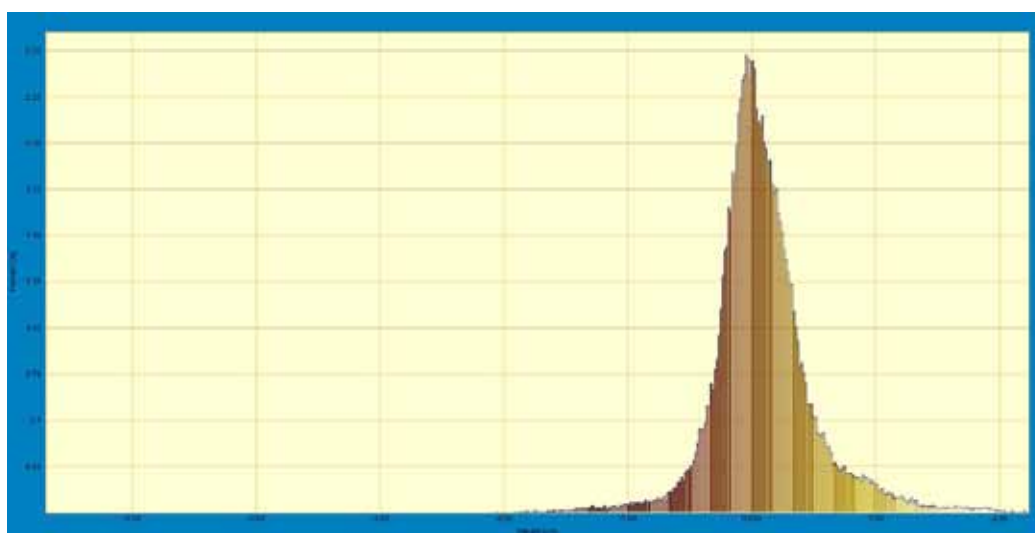
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	11.2645	10.8849	9.69691	9.25291	9.0451	10.4707	10.1025
$S_q$ (nm)	15.2769	13.6448	13.7511	13.0782	12.0492	13.5805	13.563
$S_{sk}$	-0.14029	-0.306173	1.19815	1.02152	0.0837234	0.438741	0.3826119
$S_{ku}$	6.1679	4.12781	11.405	12.2088	5.94174	5.07068	7.486
$S_v$ (nm)	147.019	124.594	131.663	142.22	104.498	101.859	125.308
$S_p$ (nm)	135.04	105.143	128.933	118.356	121.214	126.248	122.489
$S_{ds}$ ( $1/\mu m^2$ )	0.868906	0.895781	0.925	0.883438	0.936406	0.93125	0.9067
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	89.684	95.8296	0	89.6917	0	89.6278	60.80
$S_{tdi}$	0.615748	0.796057	0.37713	0.716216	0.468081	0.449735	0.570

Oplemenjivanje sa najvećom količinom sjajnog UV sjajnog laka je dala prema vrednostima iz Tabele 33. najmanje vrednosti srednje vrednosti za hrapavost  $S_a = 10.1025$  nm i  $S_q = 13.563$ .  $S_{sk}$  vrednost daje informaciju o relativno ujednačenoj distribuciji visina sa blagim nagibom ka vrhovima u odnosu na udubljenja. Vrednosti najvećih pojedinačnih tačaka na vrhu i tačaka u udubljenju su manje nego kod manjih količina lakova i na osnovu toga može da se ukaže da je došlo do smanjivanja opsega razlike. Vrednost gustine vrhova na površini izražena kroz parametar  $S_{ds}$  je dao najveću vrednost od 0.907 u odnosu na sve ostale količine laka sa kojima su bili oplemenjeni ovi otisci. Sa ovim rezultatima možemo zaključiti da sa povećanjem nanosa sjajnog UV laka na sjajni premazni papir koji je prethodno štampan sa UV bojom dolazi do smanjivanja hrapavosti, do smanjivanja razlike između vrhova i udubljenja i kao do porasta gustine vrhova po površini.

Radi provere ponašanja UV mat lakova postupak je ponovljen za sve linijature sita na sjajno premaznom papiru. Na slici 85. se može videti površinska topografija sjajno premaznog papira sa UV bojama koji je oplemenjen sa mat UV lakom korišćenjem sita od 180 niti/cm.



Slika 85. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog pira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 86. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm

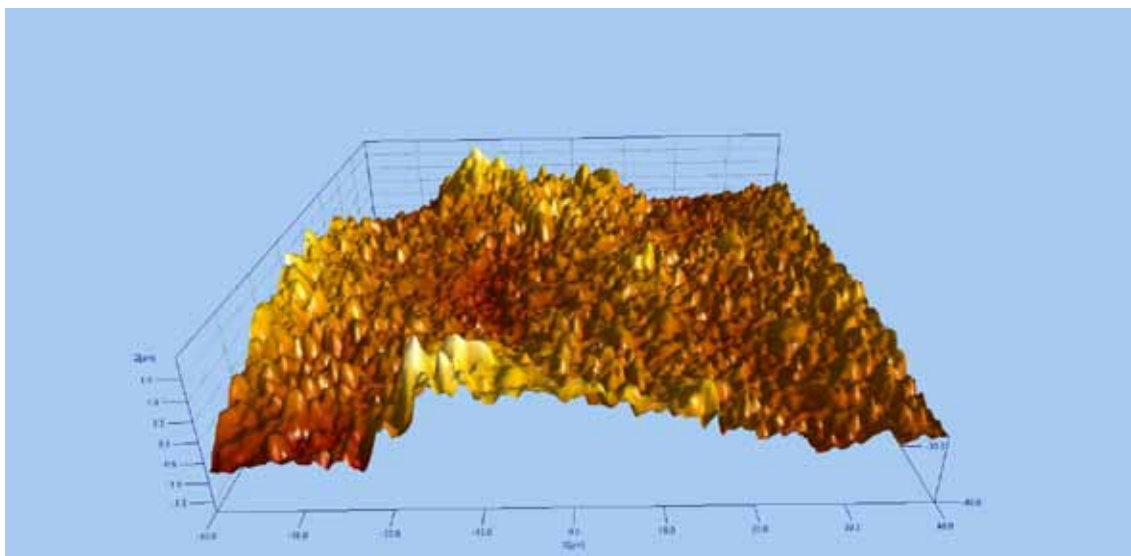
Tabela 34. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 180 niti/cm

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	253.376	239.877	265.667	277.026	262.14	265.366	260.575
$S_q$ (nm)	355.785	317.731	340.308	353.347	361.483	367.831	349.414
$S_{sk}$	0.0402934	0.725254	0.195237	0.138089	0.280578	0.161905	0.2568
$S_{ku}$	6.06779	4.69012	3.53297	3.48886	5.24763	5.55807	4.764
$S_v$ (nm)	2120.56	1078.96	1186.45	1396.97	1969.19	2144.2	1469.388
$S_p$ (nm)	1577.4	1647.05	1695.38	1713.17	1568.88	1826.73	1671.435
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.246094	0.222188	0.187813	0.18875	0.225469	0.209375	0.213282
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	107.706	107.799	0.955588	89.5941	46.256	89.6167	73.654
$S_{tdi}$	0.789808	0.805408	0.601098	0.754879	0.810359	0.717119	07464

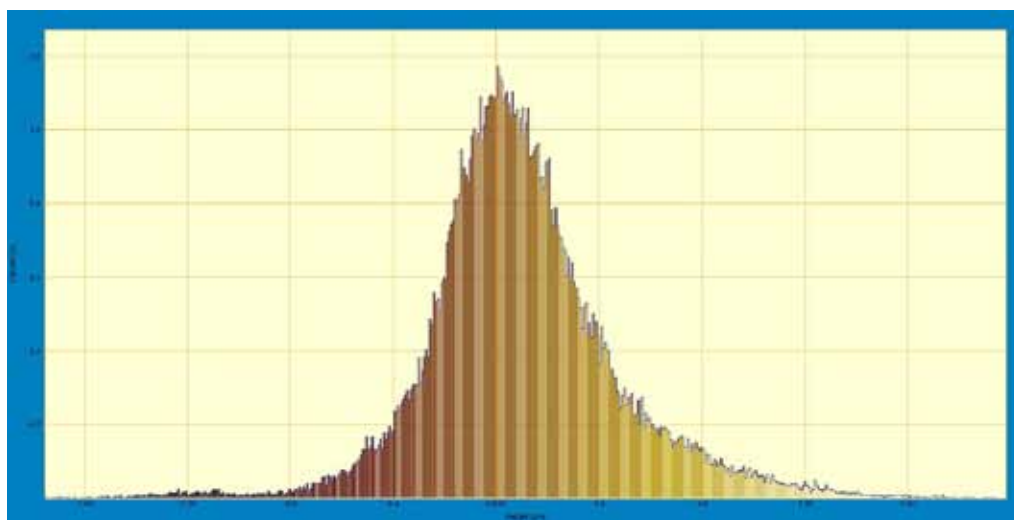
Na osnovu slike 85. se može videti da je sa nanošenjem mat laka došlo do pojave karakteristične površine koju stvaraju mat čestice. Uvidom u Tabelu 34. se može videti da je sa veličinama  $S_a$  od 260.575 nm i  $S_q$  od 349.414 nm došlo do povećanja površinske hrapavosti posmatrane površine. Vrednost  $S_{sk}$  od 0.2568 ukazuje na relativno ujendačenu distribuciju visina, što se može primetiti i na histogramu prikazanom na slici 86. Vrednosti  $S_v$  i  $S_p$  (1469.388 nm i 1671.435 nm) su višestruko veće nego kod otisaka na sjajnim UV lakom, što dovodi do većeg međuraspona između udubljenih i istaknutih površina.

Na slici 87. je prikazan uzorak koji je isto oplemenj sa UV mat lakom ali je korišćeno sito od 150 niti/cm. Na slici 88. je sa druge strane prikazan histogram sa preraspodelom visina na skeniranoj površini, a Tabela 35. sadrži izmerene parametre površinske hrapavosti.





Slika 87. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



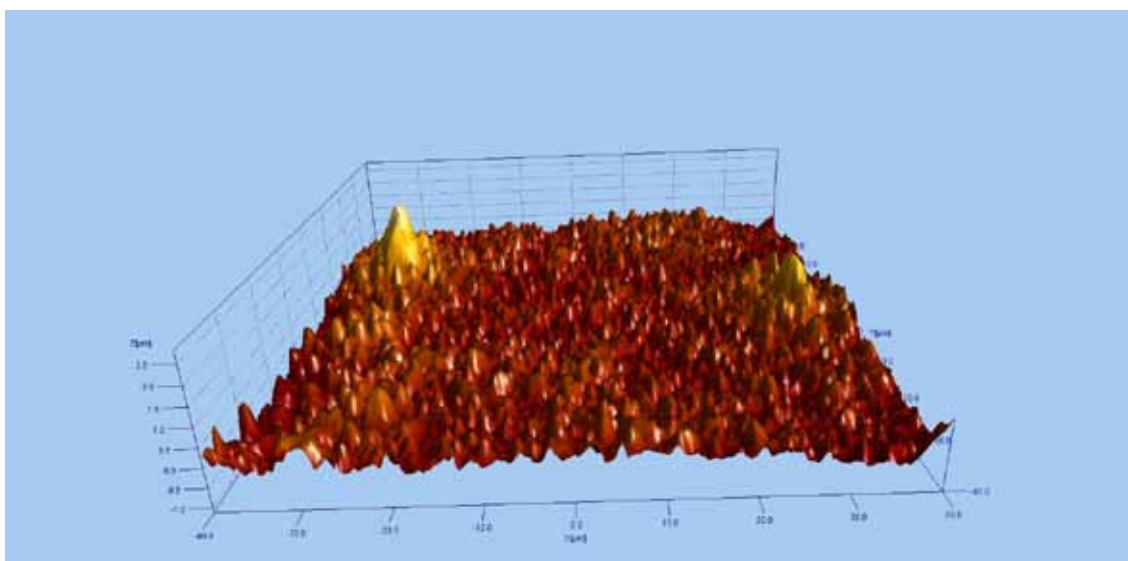
Slika 88. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm

Tabela 35. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm

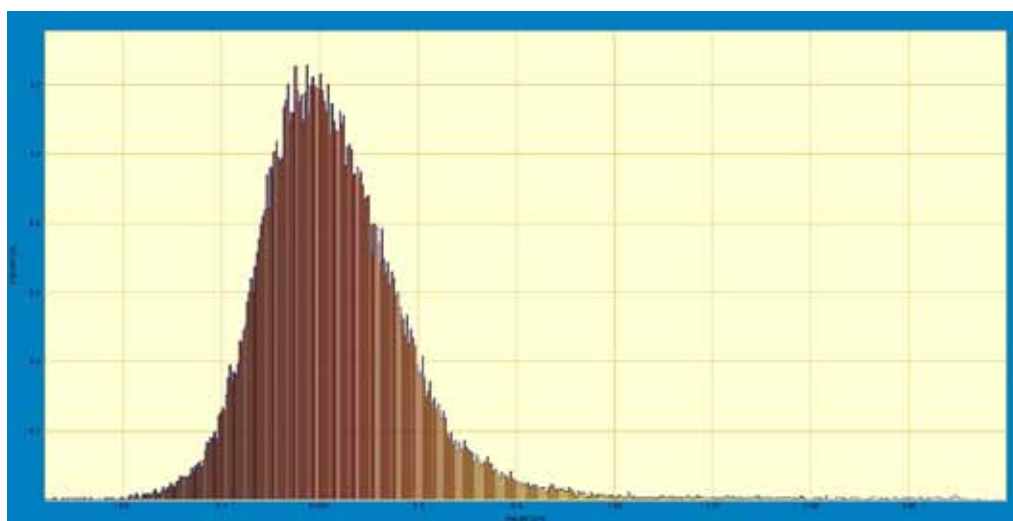
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	239.273	200.028	235.08	253.251	268.573	287.284	247.248
$S_q$ (nm)	310.262	265.041	304.934	325.225	365.188	377.079	324.621
$S_{sk}$	0.696965	0.238097	-0.0102	0.56013	0.360324	0.363057	0.3680
$S_{ku}$	4.03001	4.75342	3.60303	3.96411	4.8948	3.89064	4.1893
$S_v$ (nm)	1192.62	1422.9	1230.16	1144.43	1797.19	2048.15	1472.575
$S_p$ (nm)	1589.31	1227.82	1308.83	1633.32	1838.82	1792.64	1565.123
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.274375	0.27625	0.213594	0.272188	0.233906	0.138594	0.2348
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	178.817	90.7411	160.17	0	1.00871	89.6675	86.73
$S_{tdi}$	0.671408	0.733839	0.884903	0.523271	0.687471	0.527469	0.6713

Na osnovu slike 88. distribucije visina se može primetiti blagi nagib prema visina koje su povezane sa izbočinama, što i vrednost  $S_{sk}$  potvrđuje sa vrednošću 0.3680. Vrednost  $S_{ku}$  je slična kao i kod nanosa manje količine laka, kao i vrednost  $S_k$  i  $S_v$ . Mera srednjeg odstupanja površine  $S_q$  i odgovarajuća veličina su niže za ovaj nanos UV mat laka nego za nanos koji je postignut sa sitom od 180 niti/cm. Parametar  $S_{ds}$  ukazuje na blagi porast gustine vrhova na površini, efekat koji je primećen i kod UV mat lakova sa kojima je bio oplemenjen premazni karton.

Na slici 89. je prikazana površina uzorka sa nanešenim UV mat lakom korišćenjem sita sa tkanjem od 120 niti/cm. Na slici 90. je dat prikaz histograma distribucije visina a Tabela 36. sadži podatke o površinskoj hrapavosti ispitivane površine.



*Slika 89. Izgled površinske strukture sjajnog premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



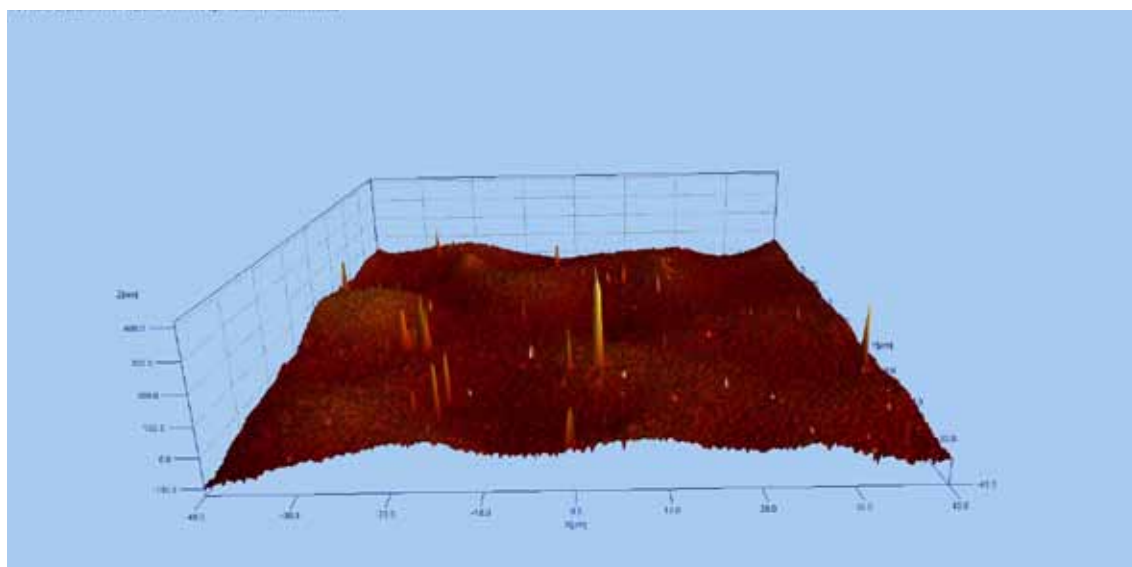
*Slika 90. Histogram udela vrhova na uzorku sjajno premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm*

Tabela 36. Parametri hrapavosti za sjajni premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

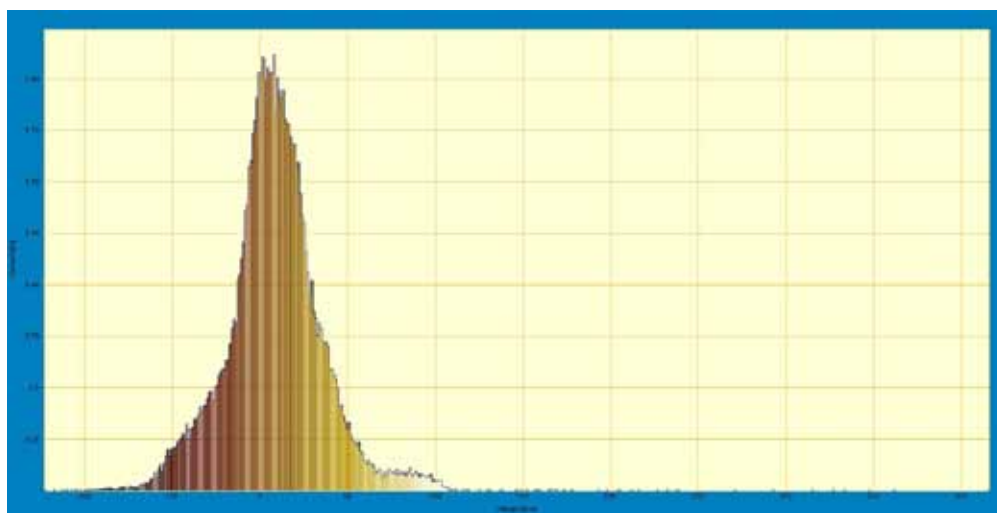
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	231.695	197.588	244.056	205.178	212.065	198.28	214.810
$S_q$ (nm)	290.473	250.847	302.879	256.982	270.454	248.158	269.965
$S_{sk}$	0.389501	0.583613	0.265181	0.349254	0.383925	0.313394	0.3808
$S_{ku}$	3.10352	3.68508	2.85077	3.03478	3.68212	3.05495	3.2352
$S_v$ (nm)	838.219	747.22	931.379	831.301	1144.7	805.986	883.134
$S_p$ (nm)	1231.7	1241.57	1436.1	1155.41	1276.73	1103.21	1240.787
$S_{ds}$ (1/ $\mu\text{m}^2$ )	0.251563	0.24125	0.23	0.186875	0.301094	0.2925	0.2505
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	145.904	89.446	89.6125	88.6343	0	109.301	87.149
$S_{tdi}$	0.809589	0.801188	0.524541	0.575832	0.668249	0.849669	0.7048

Na osnovu rezultata hrapavosti izražene kroz veličine  $S_a$  i  $S_q$  nakon primene najveće količine mat laka je došlo do daljeg smanjivanja površinske hrapavosti u odnosu na manje nanete količine. Primetna je struktura sa puno ispupčenja i udubljenja sa blagim nagibom histograma prema vrhovima izdignutih elemenata. Vrednost  $S_{ku}$  ukazuje da kod ovog uzorka oštrina nagiba je manja nego kod manjih količina iste vrsta laka. Primetno je i da je najviša visina udubljenja  $S_p$  u vrednosti od 1240.787 nm niža nego kod druga dva uzorka oplemenjena sa UV mat lakom. Vrednost udela gustine površina je veoma blizu vrednosti druge dve nanete količine. Prema rezultatima se može zaključiti da veći nanos mat UV laka na sjajnom papiru iako podiže inicijalnu hrapavost u odnosu na štampani papir bez sredstva za oplemenjivanje, dovodi do smanjivanja površinske hrapavosti. Iako naizgled vizuelno je struktura ista za sve uzorke, dodatnim nanosima dolazi do popunjavanja i snižavanja međurazlika između izdignutih elemenata i udubljenih delova na površini.

Pored premaznog kartona i sjajnog premaznog papira urađena je varijacija sjajnog i mat UV laka i na mat premaznom papiru sa istim tkanjima sita kao kod svih ostalih uzoraka. Na slici 91. je prikazana 3D topografija UV sjajnog laka na mat papiru (sa UV bojama) koji je prenešen sa sitom od 180 niti/cm. Na slici 92. je dat histogram a u Tabeli 37. izračunate vrednosti hrapavosti površina.



Slika 91. Izgled površinske strukture mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



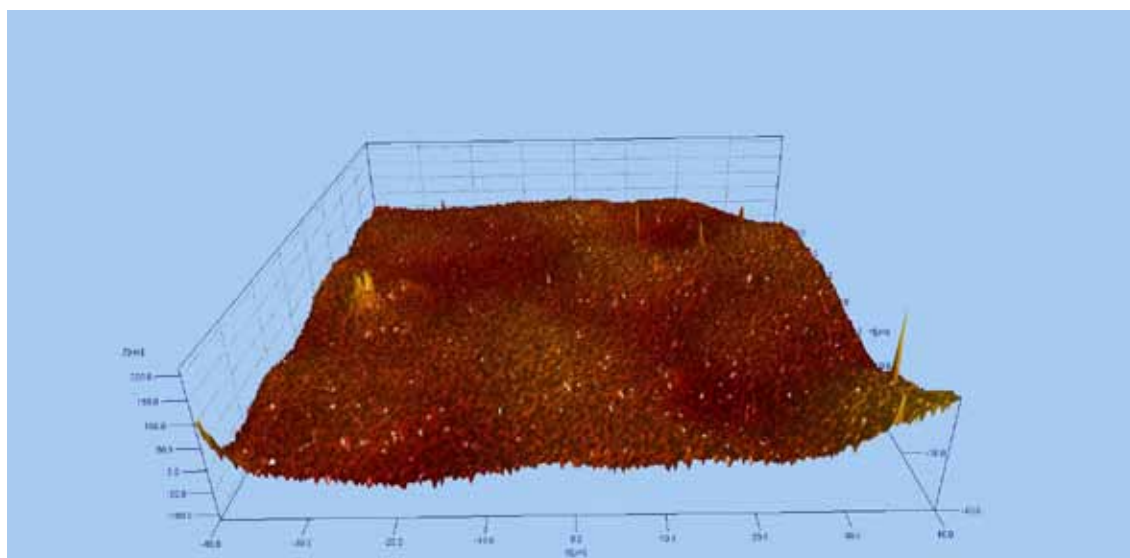
Slika 92. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 180 niti/cm

Tabela 37. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 180 niti/cm

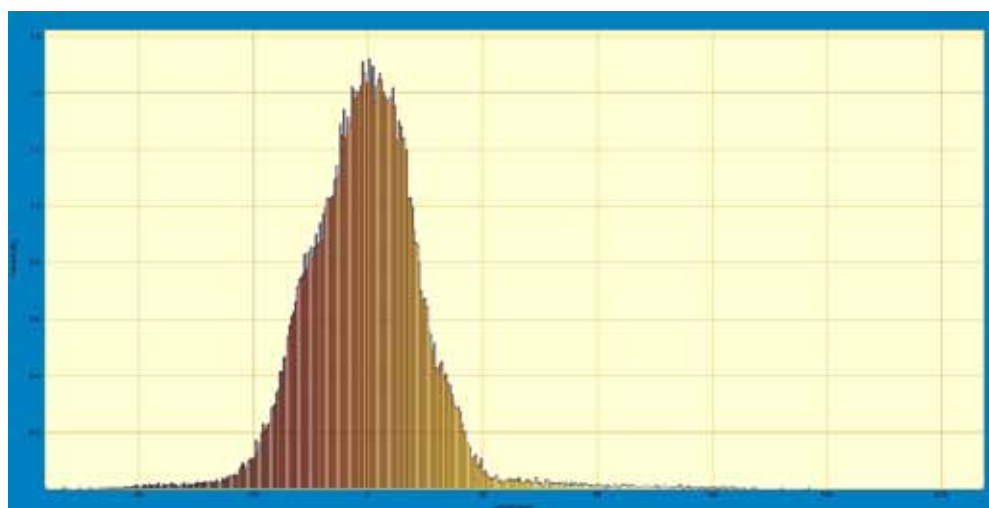
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	19.8213	19.8273	20.0177	19.4826	13.6046	13.7395	17.748
$S_q$ (nm)	25.4011	25.6852	27.1627	26.3781	17.4239	17.6175	23.278
$S_{sk}$	-0.237738	-0.146161	0.412827	0.120392	0.117564	0.0546345	0.0535
$S_{ku}$	3.92206	3.84979	7.59526	5.06136	4.0459	3.9067	4.7301
$S_v$ (nm)	128.072	138.524	124.529	134.863	102.369	102.219	121.762
$S_p$ (nm)	135.84	116.183	409.023	313.996	139.688	133.389	208.019
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.8875	0.858125	0.846875	0.867969	0.969531	0.934844	0.8941
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	0	0	20.3694	21.1985	0	138.486	30.00
$S_{tdi}$	0.386541	0.610911	0.735064	0.771397	0.726049	0.774144	0.6673

Na osnovu podataka iz Tabele 37. se može videti da sa nanošenjem sjajnog UV laka na štampani mat papir dolazi do velikog smanjivanja površinske hrapavosti sa početne vrednosti  $S_a$  od 200.327 nm i  $S_q$  od 269.232 nm na vrednosti od  $S_a$  17.748 nm i  $S_q$  23.278. Na osnovu distribucije vrhova na histogramu kao i uvidom u srednju vrednost parametra  $S_{sk}$  vidi se ravnomerna distribucija vrhova i udubljenja sa blago dominantnim udelom vrhova. Maksimalna vrednost  $S_v$  se kretala od 102.219 do 138.524 nm, a  $S_p$  vrednost od 116.183 nm do 409.023 nm, što je manje nego kod otiska bez sredstva za oplemenjivanje. Isto tako primetna je visoka vrednost od 0.8941 za  $S_{ds}$  faktor.

Na slici 93. je prikazan sledeći uzorak štampan sa UV bojom na mat papiru koji je bio oplemenjen sa UV sjajnim lakom uz pomoć sita sa tkanjem od 150 niti/cm. Na drugoj slici 94. se može videti prikaz histograma distribucije visina a Tabela 38. sadrži i prikazuje srednje vrednosti površinske hrapavosti.



Slika 93. Izgled površinske strukture mat premaznog para sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 94. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm

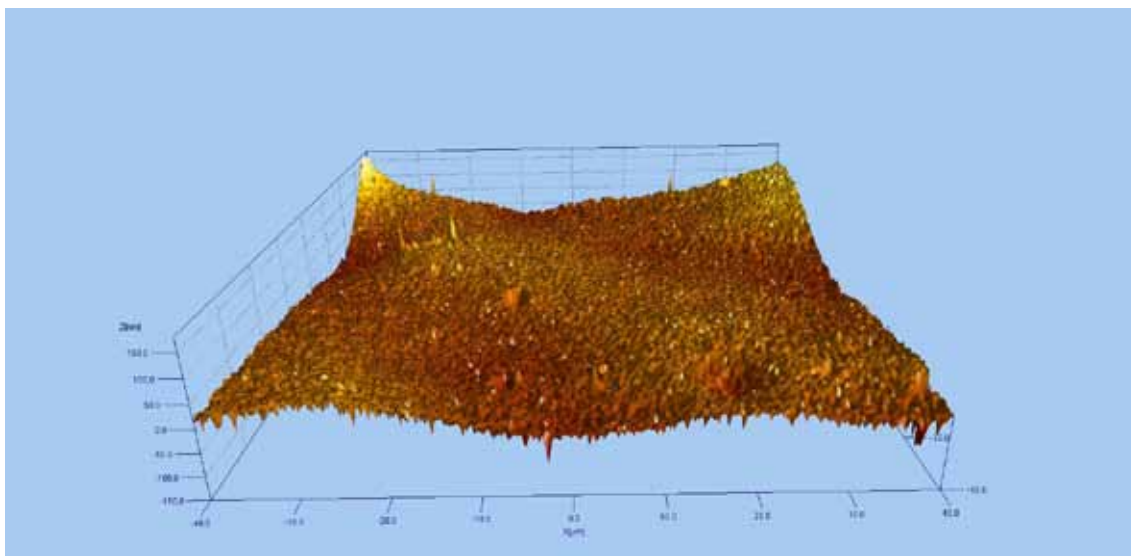
Tabela 38. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 150L/cm<sup>2</sup>

Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	14.3594	15.9829	13.4129	12.4163	20.4652	20.5479	16.197
$S_q$ (nm)	19.5413	21.1518	16.6234	15.96	26.192	26.2015	20.945
$S_{sk}$	0.718736	0.241116	-0.0815253	-0.130925	-0.196915	0.466396	0.1694
$S_{ku}$	10.1154	3.99914	3.0296	4.92958	3.64864	4.61418	5.056
$S_v$ (nm)	100.656	107.747	89.1979	172.173	194.509	172.458	139.456
$S_p$ (nm)	299.468	105.681	114.074	197.663	109.434	164.741	165.176
$S_{ds}$ (1/ $\mu\text{m}^2$ )	0.806094	0.837031	0.937031	0.947344	0.780781	0.824375	0.8554
$S_{td}$ (°)	0	89.5559	90.714	89.7468	0	89.7043	59.95
$S_{tdi}$	0.55954	0.676212	0.724649	0.4864	0.515	0.435285	0.5661

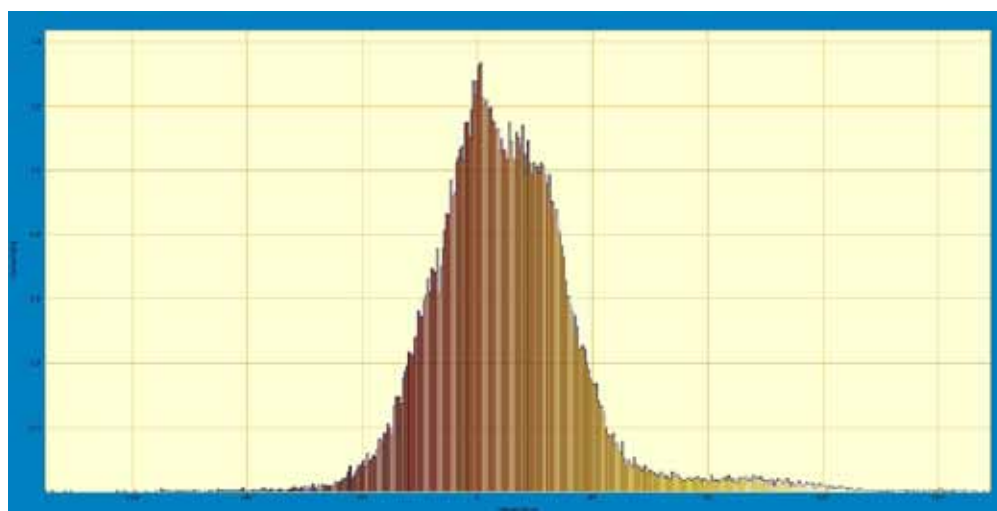
Ako se uporede vrednosti iz Tabele 38. za uzorke koji su bili oplemenjeni sa većom količinom UV sjajnog laka se može primetiti blago smanjivanje površinske hrapavosti sa 17.748 nm na 16.197 nm za  $S_a$  parametar i  $S_q$  pad sa 23.278 nm na 20.945. Vrednosti za ovaj uzorak su slični vrednostima postignutim na sjajno premaznom papiru sa istom vrtinom i količinom laka. Na osnovu distribucije visina prikazanog na slici 94. se može primetiti oštiji nagib na strani uzvišenih elemenata u odnosu na elemente koji su udubljeni, mada je njihova distribucija podjednaka na šta ukazuje i  $S_{sk}$  faktor sa vrednošću od 0.1694.  $S_v$  vrednost je nešto veća nego u odnosu na vrednosti dobijene za uzorke koji su oplemenjeni sa sitom od 180 niti/cm, udeo vrhova izražen kroz veličinu  $S_{ds}$  ima sličnu vrednost od 0.8554.

Na slici 95. je prikazana skenirana topografija površine otiska oplemenjenog sa UV sjajnim lakom korišćenjem sita sa tkanjem od 120 niti/cm. Na slici 96. je prikazana distribucija visina na posmatranoj površini za jedan od uzoraka, a u Tabeli 39. je su date izračunate srednje vrednosti parametara površinske hrapavosti.





*Slika 95. Izgled površinske strukture mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom*



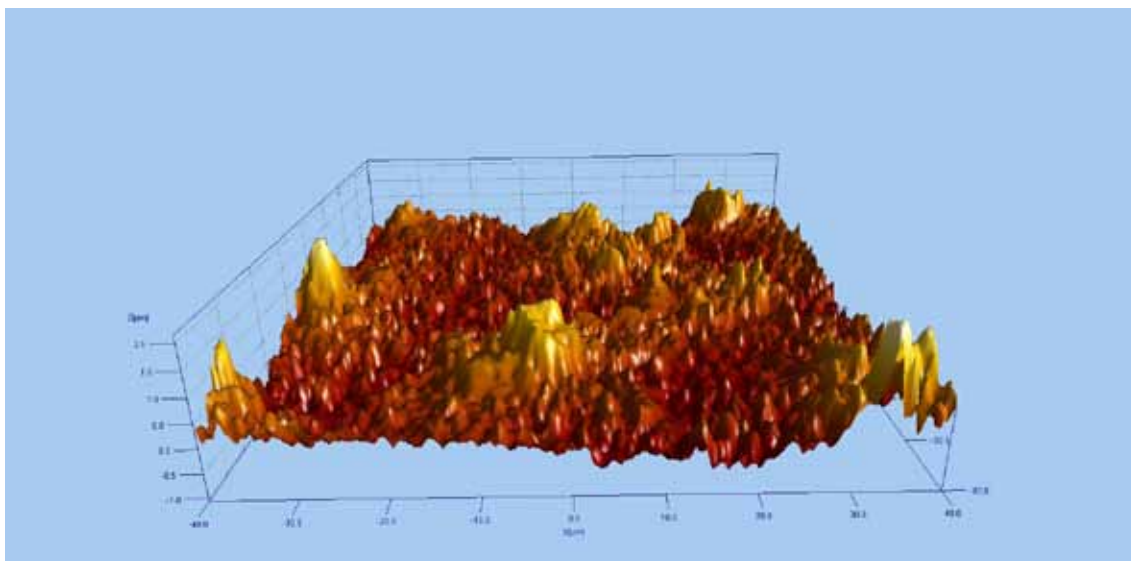
*Slika 96. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa sjajnim UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm*

Tabela 39. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

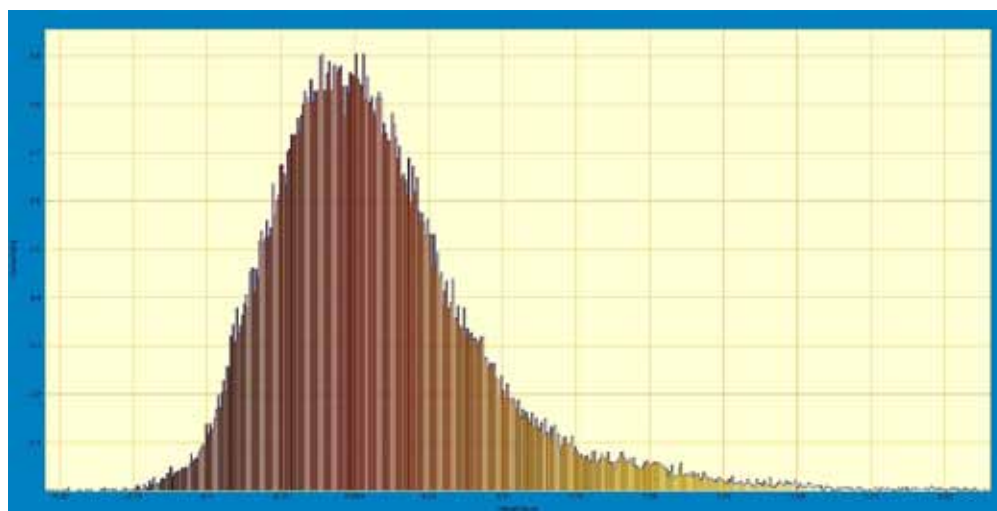
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	14.2096	18.2623	17.7894	20.266	15.8453	16.8486	17.203
$S_q$ (nm)	18.6172	24.4296	23.0376	27.3273	19.9827	21.0265	22.403
$S_{sk}$	-0.188096	-0.400254	0.235859	0.0495377	-0.381526	-0.310733	-0.1658
$S_{ku}$	4.39085	4.27492	5.86818	5.13521	4.15428	3.80335	4.604
$S_v$ (nm)	136.204	158.352	154.833	180.017	155.921	155.12	156.741
$S_p$ (nm)	91.2259	102.2	157.139	133.353	132.12	78.9339	115.828
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.819531	0.771094	0.8225	0.812187	0.83625	0.827812	0.81489
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	1.04088	87.8567	0	88.6225	89.818	144.956	68.71
$S_{tdi}$	0.76929	0.829798	0.406795	0.720753	0.798518	0.874964	0.733

Na osnovu slike 95. se može primetiti pojavljivanje puno malih udubljenja na površini koja je za razliku od ostalih slučajeva nanošenja sjajnog laka više hrapava nego površina koja je oplemenjena sa manjom količinom UV sjajnog laka. Vrednost  $S_{sk}$  od -0.1658 ukazuje na dominaciju udubljenja koja su dominantna i na histogramu distribucije visina upoređivanjem parametara  $S_p$  i  $S_v$  može se primetiti da je maksimalno udubljenja ima veću maskimalnu vrednost od elemenata koje se nalaze u odnosu na središnju ravan. Broj  $S_{ds}$  od 0.81489 ukazuje na veliki udeo i vrhova po jediničnoj površini.

Kao poslednji niz uzoraka urađena je analiza mat premaznog papira štampanog sa UV bojama i oplemenjenog sa mat lakom u tri količine slično kao i kod drugih vrsta podloga za štampu. U radu nisu predstavljene vrednosti koje su dobijene jer AFM uređaj nije mogao pravilno da skenira površinu, i rezultati su bili izvan mernog opsega instrumenta. Uzorci koji su oplemenjeni sa sitom od 150 niti/cm su prikazani na slici 97., histogram preraspodele visina na slici 98. a vrednosti hrapavosti i drugih prostornih parametara u Tabeli 40.



Slika 97. Izgled površinske strukture mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



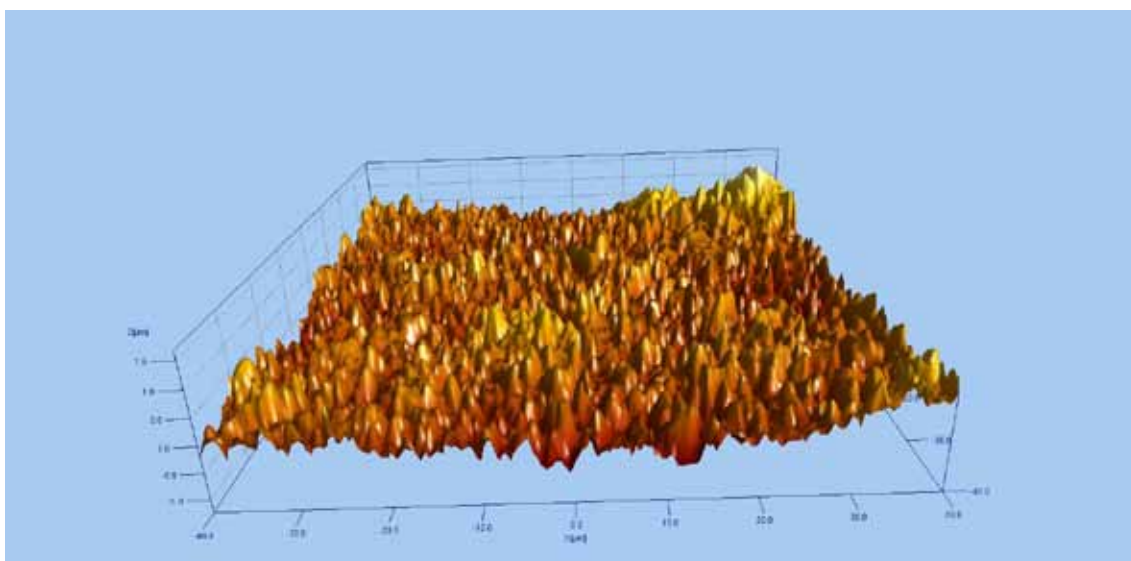
Slika 98. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 150 niti/cm

Tabela 40. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 150 niti/cm

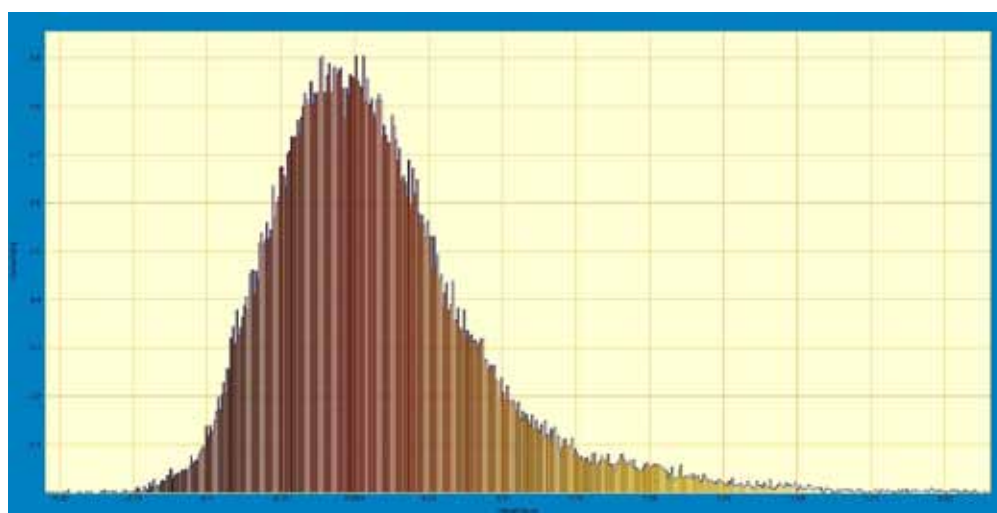
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	269.414	278.302	311.19	288.257	248.722	222.126	269.668
$S_q$ (nm)	359.394	374.953	425.812	376.823	347.65	292.143	362.795
$S_{sk}$	1.19857	1.27094	0.947111	0.528009	1.26262	-0.007	0.8667
$S_{ku}$	5.56801	5.72329	5.67072	4.06613	7.15466	4.29871	5.4135
$S_v$ (nm)	1104.44	839.903	1529.98	1304.35	1003.65	1404.77	1197.848
$S_p$ (nm)	2058.67	2172.61	2495	1746.67	2409.92	1889.24	2128.685
$S_{ds}$ ( $1/\mu\text{m}^2$ )	0.247812	0.235156	0.245	0.233281	0.160313	0.190313	0.2186
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	18.886	60.0419	90.664	0	89.6377	88.5637	57.965
$S_{tdi}$	0.800192	0.819526	0.859469	0.830701	0.664416	0.486802	0.7435

Na osnovu rezultata iz Tabele 40. se može primetiti da je površinska hrapavost veća nego kod oplemenjivanja sa istim mat UV lakom ali na sjajno premaznom papiru.  $S_{sk}$  faktor ukazuje da je distribucija elemenata blago nagnuta prema vrhovima, sa naglim prelazima između pojedinih vrhova na šta ukazuje vrednost od 5.4135  $S_{ku}$  faktora. Srednja vrednost  $S_p$  faktora ukazuje da su udubljenja manje veličine od vrhova, čija srednja pojedinačna najveća vrednost iznosi 2128.685 nm, a udubljenja imaju maksimalnu vrednost od 1197.848. Udeo vrhova ima vrednost od 0.2186. Iako vizuelno postoji dosta vrhova njihova vrednost je niža jer se jedan deo njih nalazi ispod srednje ravni površine.

Kao poslednji uzorak je meren uzorak na mat papiru štampan sa UV bojama i oplemenjen sa mat lakom korišćenjem sita sa tkanjem 120 niti/cm. Na slici 99. je prikazana površina uzorka, na slici 100. histogram raspodele visina a u Tabeli 41. su predstavljene veličine za površinsku hrapavost.



Slika 99. Izgled površinske strukture mat premaznog paira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm dobijen AFM skenirajućom mikroskopijom



Slika 100. Histogram udela vrhova na uzorku mat premaznog papira sa nanetom UV bojom i oplemenjenog sa mat UV lakom pomoću sita sa tkanjem od 120 niti/cm

Tabela 41. Parametri hrapavosti za mat premazni papir sa UV bojom i oplemenjenog sa UV mat lakom sa sitom sa tkanjem od 120 niti/cm

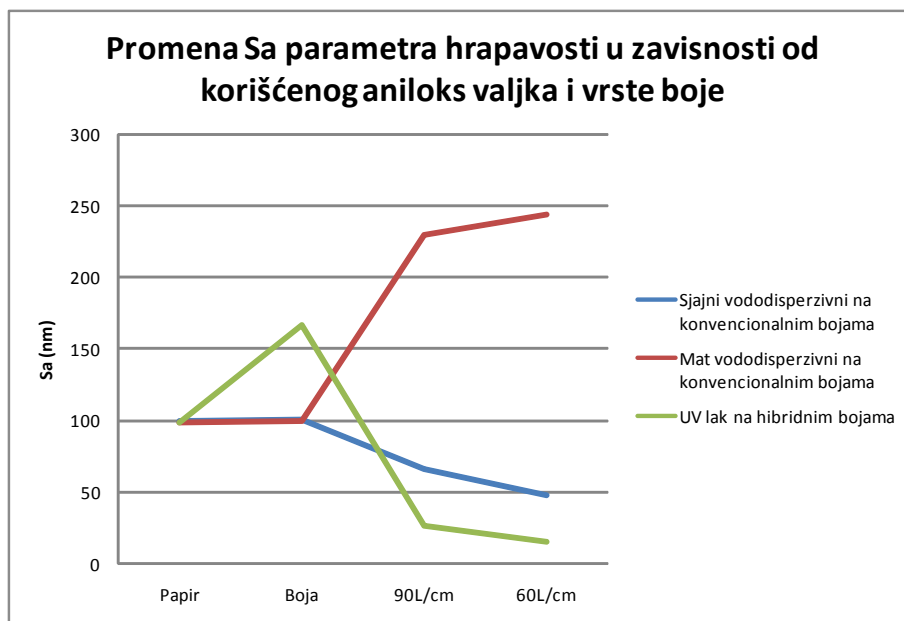
Parametar	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3	Tačka 4	Tačka 5	Tačka 6	Srednja vrednost
$S_a$ (nm)	157.419	149.867	199.818	211.241	202.398	200.791	186.922
$S_q$ (nm)	196.607	187.802	259.197	281.924	270.1	269.986	244.269
$S_{sk}$	0.308838	0.34411	0.512687	0.818743	1.28228	1.34173	0.7680
$S_{ku}$	3.21563	3.19217	4.63087	5.38757	6.9046	7.09146	5.070
$S_v$ (nm)	962.3	887.642	1655.47	1428.14	748.949	799.261	1080.293
$S_p$ (nm)	772.095	726.559	1320.18	1505.53	1677.57	1671.62	1278.925
$S_{ds}$ (1/ $\mu\text{m}^2$ )	0.296875	0.289688	0.2825	0.286406	0.280937	0.265469	0.2836
$S_{td}$ ( $^\circ$ )	137.512	129.605	178.823	89.5776	61.0726	61.1399	109.621
$S_{tdi}$	0.850765	0.858331	0.717551	0.635546	0.802901	0.758833	0.770

Na osnovu slike 99. se može primetiti veliki broj malih izdignuća i udubljenja na površini koji variraju između u proseku 1080.293 nm i 1278.925 nm što je manji opseg razlike u visini nego kod uzorka koji je oplemenjen sa manjom količinom UV mat laka. Vrednosti hrapavosti  $S_a$  i  $S_q$  su isto mnogo niže nego isti uzorak ali sa manjom količinom nanetog laka. Vrednost  $S_{sk}$  0.7680, kao i distribucija visina na histogramu prikazanom na slici 100. ukazuju na veću dominaciju vrhova u odnosu na udubljenja. Vrednost  $S_{ku}$  od 5.070 ukazuje na određenu oštrinu prelaska između tih vrhova i da postoje vrhovi sa velikim odstupanjama. Udeo vrhova na površini je vizuelno veliki, ali pošto se isto nalaze ispod središnje ravni površine njihova kvantitativna vrednost je nešto niža nego kao kod sjajnih UV lakova, iako vizuelno se dobija utisak da postoji veliki broj vrhova.

## 8.2.1 ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA MERENJA POVRŠINSKE HRA- PAVOSTI

Kvantifikovanje površinske mikrostrukture u odnosu na vrstu podloge i primenjenog sredstva za oplemenjivanje daje mogućnost definisanja uticaja površine tj. teksture kao sastavnog dela preraspodele reflektovane svetlosti a time i faktora koji definiše konačni osećaj boje. Skenirajuća mikroskopska metoda AFM je omogućila veoma precizno površinsko opisivane različitih uzoraka koji su bili oplemenjeni sa različitom vrstom sredstava za oplemenjivanje (vododisperzivni, UV lak), kao i sa različitom količinom tih lakova. Praćenje promene površinskih karakteristika nakon nanošenja tih tečnih sredstava za oplemenjivanje daje osnovu za izvođenje korelacije između geometrijskih i hromatskih komponenti refleksije sa numeričkim veličinama koje definišu površinu koja reflektuje svetlost. Radi lakše diskusije biće urađena uporedna analiza promene hrapavosti kroz faktor  $S_a$  između podloga, vrsta i različitih količina lakova radi praćenja trenda promene koje se dešavaju u topografiji ispitivanih površina. Ono što je primetno da sjajni lakovi skoro u svim slučajevima dovode do višestrukog smanjivanja površinske hrapavosti, dok UV mat lakovi iako smanjuju inicijalnu hrapavost naročito sjajno premaznih substrata, sa povećanjem nanosa isto smanjuju površinsku hrapavost.

Na slici 101. je prikazana promena parametra hrapavosti  $S_a$  koji označava srednje odstupanje hrapavosti i predstavlja aritmetičku sredinu ili srednju vrednost apsolutnih razlika tačaka površine od srednje ravni ispitivane površine uzoraka koji su oplemenjeni sa aniloks valjcima u ofsetnoj tehnologiji.



Slika 101. Prikaz promene  $R_a$  faktora hrapavosti površine u zavisnosti od korišćenog aniloks valjka i vrste boja i lakova

Kao što se može primetiti na slici 101. posle početne iste vrednosti  $S_a$  od 99.11 nm za papir bez boje i lakova (jer je korišćen isti papir za sva tri uzorka), kod konvencionalnih boja ne dolazi skoro do nikakvih promena u pogledu promene  $S_a$  vrednosti (100.52 nm), dok kod hibridne boje dolazi do povećanja te vrednosti na 166.62 nm. Nakon primene sjajnog vododisperzivnog laka dolazi do skoro linearnog smanjivanja površinske hrapavosti sa povećanjem nanete količine.  $S_a$  faktor na površini konvencionalne boje oplemenjen sa aniloks valjkom od 90L/cm koji je u slučaju vododisperzivnog laka preneo količinu od 1,9 g/m<sup>2</sup> je rezultovao vrednošću od 66.41 nm. Kod povećanog nanosa sa aniloks valjkom od 60L/cm koji je preneo količinu od 3,96g/m<sup>2</sup> je dobijena vrednost  $S_a$  od 47.93 nm. Kod mat vododisperzivnog laka nakon istih veličina za papir i boju nakon primene mat laka u manjoj količini putem aniloks valjka od 90L/cm izmerena je hrapavija površina sa vrednošću od 229.42 nm. Nakon nanošenja još veće količine putem aniloks valjka od 60L/cm  $S_a$  faktor je dodatno uvećan na 244.07 nm. Iz ovoga se može izvući zaključak da sa većim nanosom mat vododisperzivnog laka putema aniloks valjaka dolazi do povećavanja površinske hrapavosti.

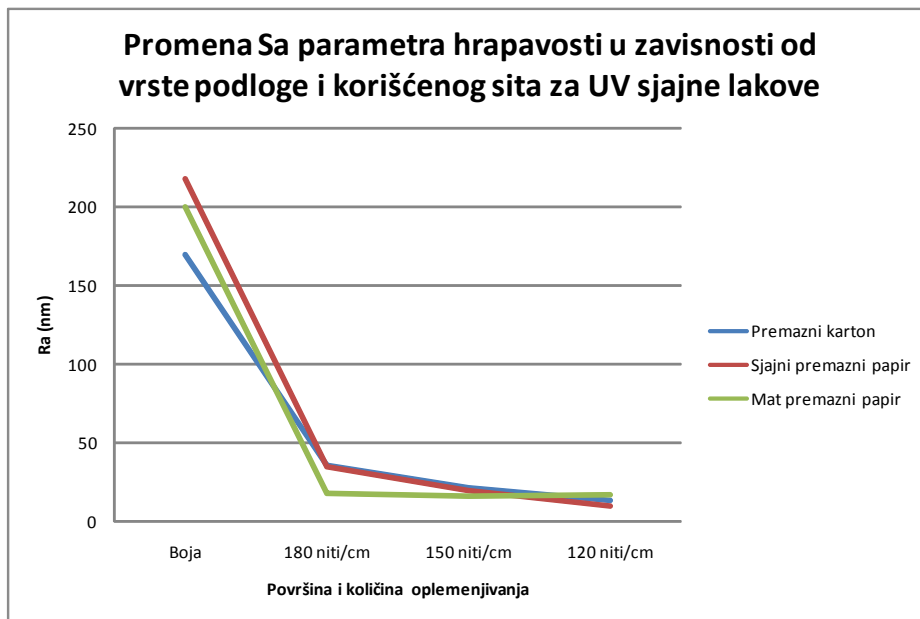
Hibridne boje pri štampanju su dale veću početnu hrapavost od konvencionalnih boja  $S_a = 166.62$  nm, ali prilikom nanošenja i manje (90L/cm) i veće (60L/cm) količine laka dolazi do velikog smanjivanja površinske hrapavosti čak i ispod vrednosti dobijenih sa sjajnim vododisperzivnim lakom. Površina oplemenjena sa aniloks valjkom od 90L/cm je imala  $S_a$  vrednost od 27.05 nm, a površina oplemenjena sa aniloks valjkom od 60L/cm je imala  $S_a$  vrednost od 15.85 nm. Kao pregledni zaključak može se konstatovati da nanošenjem veće količine sjajnog laka (vododisperzivni i UV) dolazi do smanjivanja  $S_a$  vrednosti a nanošenjem veće količine mat laka dolazi do povećanja  $S_a$  vrednosti.

Druga grupa uzoraka čije su površinske karakteristike ispitivane su bili otisci na tri različite podloge oplemenje sa mat i sjajnim UV lakom korišćenjem tri tkanja sita koji su regulisali količinu nanetog laka.

Na slici 102. su date vrednosti  $S_a$  parametra hrapavosti za premazni karton, sjajni premazni papir, mat papir i sjajnih UV lakova nanetih u tri količine.

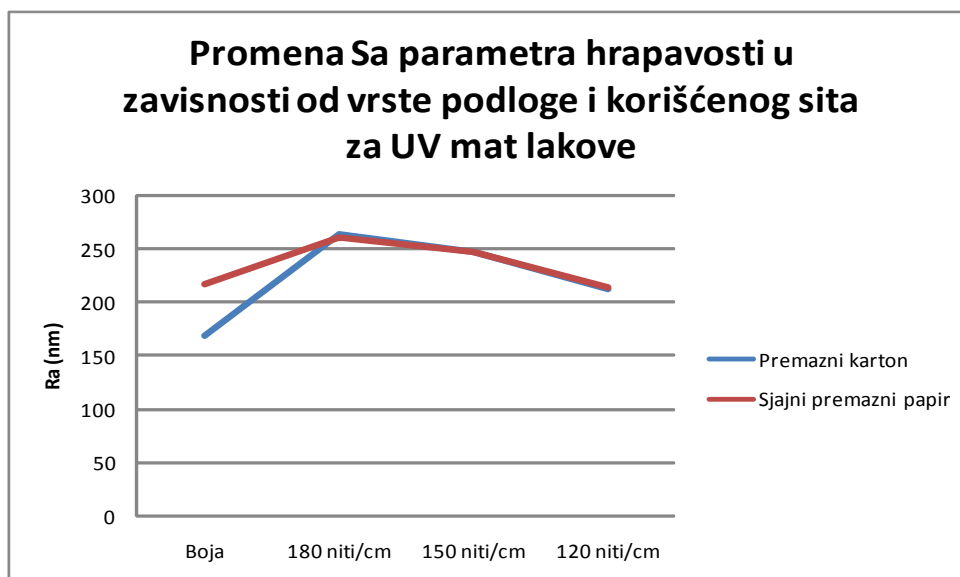
Na osnovu slike 102. se može videti da najveću površinsku hrapavost izraženu kroz faktor  $S_a$  ima sjajni premazni papir u vrednosti od 217.604 nm, dok najmanju početnu vrednost površine obojene sa UV bojom ima premazni karton sa vrednošću od 169.273nm. Nakon aplikacije UV sjajnog laka korišćenjem sita sa tkanjem od 180L/cm<sup>2</sup> dolazi do izrazitog pada hrapavosti kod svih podloga i  $S_a$  vrednost se kreće od 17.740 nm za mat do 35.855 nm za premazni karton, sa daljim nanosom još veće količine laka dolazi do daljeg smanjivanja, jedino kod mat premaznog papira dolazi do skoro ujednačene vrednosti  $S_a$  pri nanosima koji su postignuti sa sitima sa tkanjem od 150 niti/cm i 120 niti/cm.





Slika 102. Prikaz promene Sa faktora hrapavosti površine u zavisnosti od korišćenog tkanja sita i vrste podloge i količine UV sjajnog laka

Primenom istih lakova su oplemenjeni isti odštampani uzorci ali sa sa UV mat lakom. Primena mat laka kod svih podloga dovodi do povećanja Ra, vrednosti ali za razliku od vodo-disperzivnih lakova, sa povećavanjem količine nanetog laka dolazi do smanjivanja površinske hrapavosti, umesto povećavanja. Na slici 103. je prikazan efekat linijature sita na promenu Ra vrednosti pri aplikaciji UV mat lakova. Za uzorak mat papira nije urađena analiza zbog nemogućnosti AFM mikroskopa da izmeri uzorak.



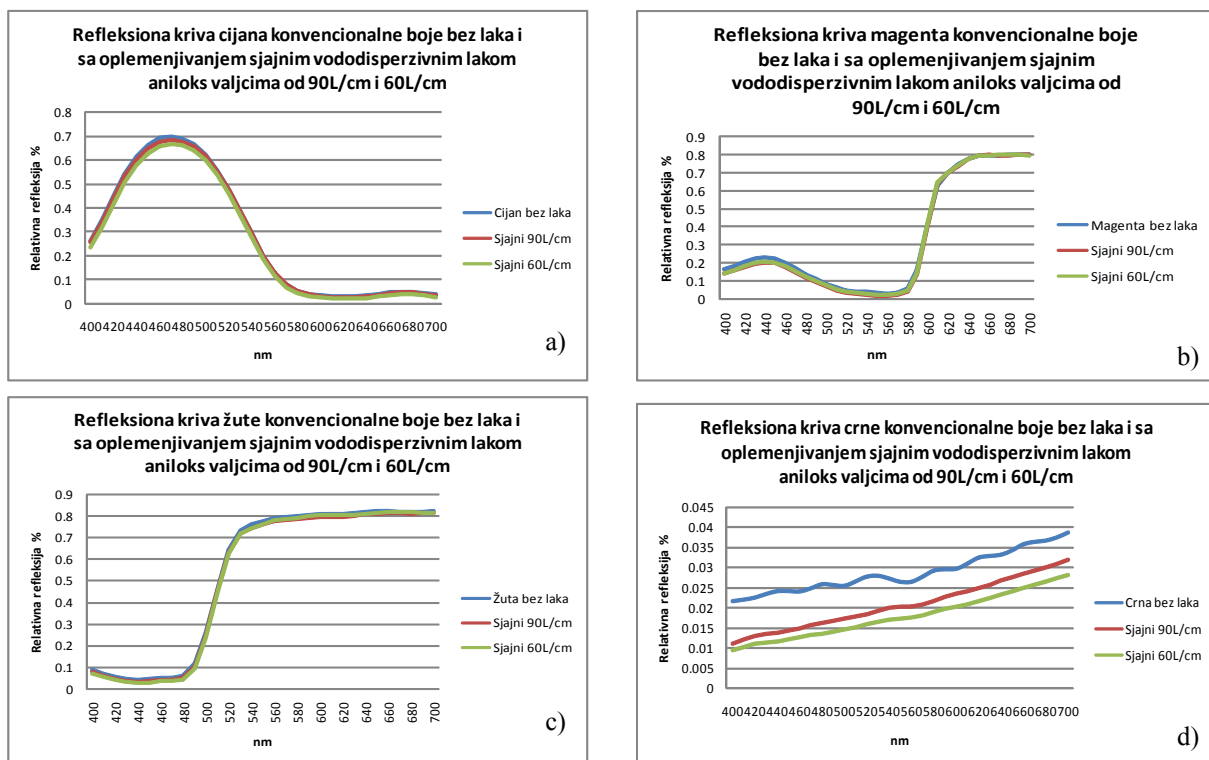
Slika 103 Prikaz promene Sa faktora hrapavosti površine u zavisnosti od korišćenog tkanja sita i vrste podloge i količine UV mat laka

Na osnovu prikaza na slici 103. se može primetiti da nakon prve nanete količine laka dolazi do povećanja površinske hrapavosti i  $S_a$  faktora, dok primenom sledećih većih količina lakova dolazi do smanjivanja površinske hrapavosti do tačke gde se uzorci sa odštampanom bojom skoro podudaraju sa mat oplemenjenim otiskom od 120 niti/cm. Ovaj efekat je izražen i kod mat papira ali kao što je napomenuto nemogućnosti uređaja da se kvantifikuje površina nije data određena relacija.

## 8.3. REZULTATI MERENJA HROMATSKIH VREDNOSTI OPLEMENJENIH POVRŠINA

Za definisanje ukupnog izgleda objekta veoma je važno pored geometrijskih osobina (sjaj i tekstura same površine) odrediti i hromatsku komponentu reflektovane svetlosti. Hromatske vrednosti kod ljudskih posmatrača se najčešće izražavaju preko psihofizičkih veličina svetline, zasićenja i tona, dok kod instrumentalnog određivanja određenog stimulusa neophodno je merenje spektralnog opsega na različitim talasnim dužinama, kao i određivanje CIE kolorimetrijskih veličina. Te kolorimetrijske veličine omogućavaju i numeričko izražavanje razlike boje koje vizuelno odgovaraju promenama na određenim površinama usled primene sredstava za oplemenjivanje otisaka.

Za sve uzorke koji su ispitivani su određene spektralne krive za četiri procesne boje (cijan, magenta, žuta, crna) pre i posle oplemenjivanja i izračunate su  $\Delta E_{76}$  i  $\Delta E_{94}$  vrednosti razlika boja između različitih količina lakova. Za merenje je korišćen Techkon SpectroDens refleksioni spektrofotometar sa korišćenjem merne geometrije  $0/45^\circ$ , D50 osvetljenja i standardnog posmatrača od  $2^\circ$ . Opsezi spektralnih krivi su date od 400 do 700 nm. Vrednosti razlike boja predstavljene na odgovarajućim grafikonima predstavljaju srednju aritmetičku vrednost 10 merenja. Na slici 104. od a do d su predstavljene spektralne krive dobijene nanošenjem sjajnog vododisperzivnog laka na konvencionalne boje putem aniloks valjka od 90L/cm i 60L/cm.



Slika 104. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka oplemenjenih sa sjajnim vododisperzivnim lakom

Na osnovu slike 104. se može videti da su svim slučajevima je otisak koji je bio oplemenjen korišćenjem aniloks valjka od 60L/cm dao manju refleksiju u celokupnom opsegu od 400 do 700 nm. Površina koje reflektuje manje svetla sa nekog obojenog stimulusa se najčešće percipira kao tamija i zasićenija.

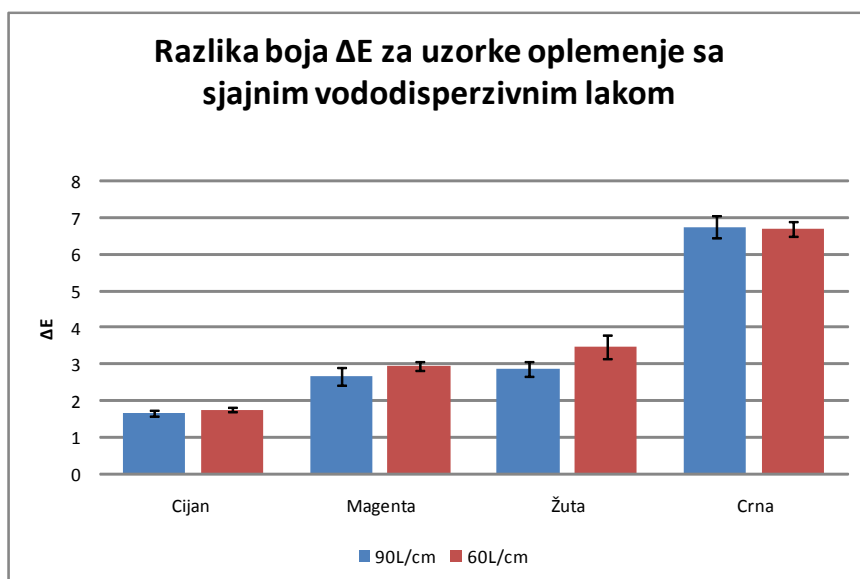
U tabeli 42. se nalaze vrednosti razlike boja za ove uzorke. Referentna vrednost je štampani otisak bez oplemenjivanja.

Tabela 42. vrednosti razlika boja za sjajno oplemenje uzorke sa vododisperzivnim lakom.

Uzorak (90L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.54	-0.99	1.24	1.68	0.96	0.09
Magenta	-0.86	1.84	1.75	2.68	1.29	0.23
Žuta	0.29	0.11	2.87	2.89	0.63	0.2
Crna	-5.92	1.19	3.06	6.77	6.58	0.31
Uzorak (60L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	
Cijan	-1	-1.22	0.8	1.77	1.25	0.07
Magenta	-0.59	1.78	2.3	2.96	1.32	0.12
Žuta	0.24	0.22	3.49	3.5	0.72	0.32
Crna	-5.6	1.29	3.44	6.7	6.46	0.20

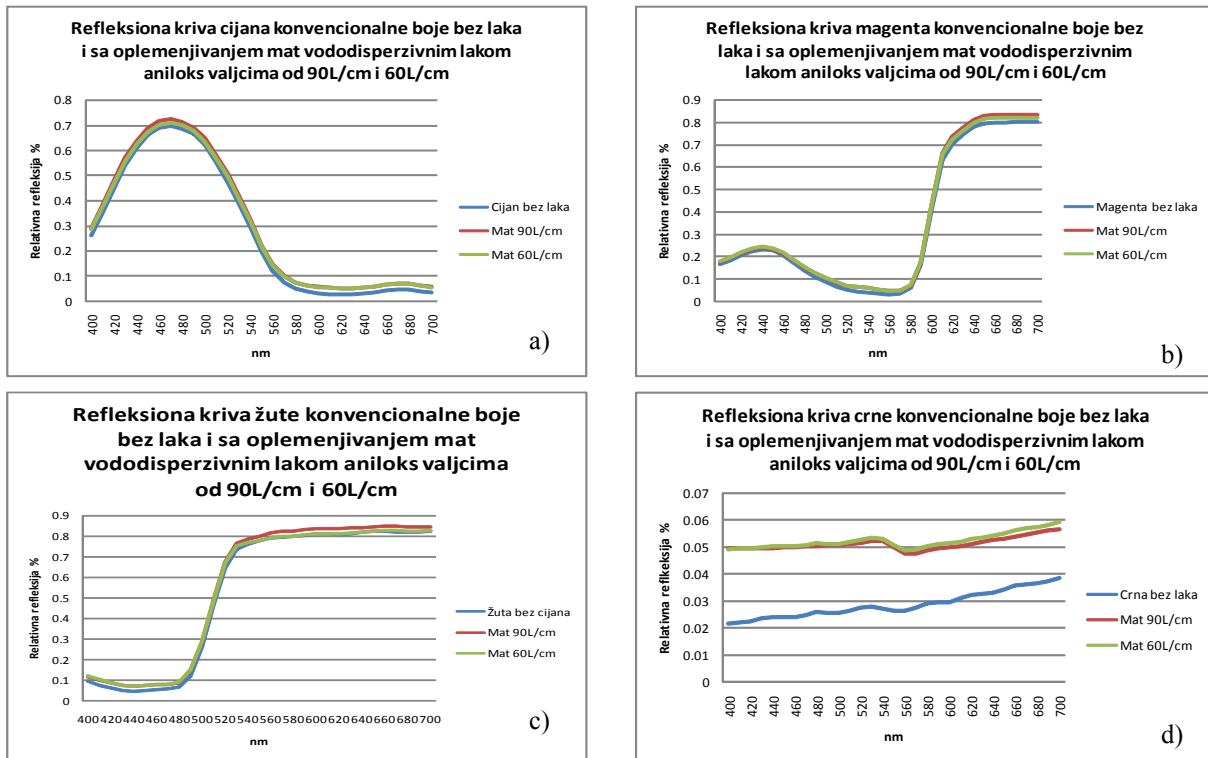
Na osnovu vrednosti iz Tabele 42. se može videti da se razlika boja prema  $\Delta E$  proračunu za otiske oplemenje sa manjom količinom sjajnog vododisperzivnog laka kreće između 1.68 za cijan i 6.77 za crnu boju. Kod uzorka koji je oplemenjen sa aniloks valjkom od 60L/cm ta razlika se kreće od 1.77 za cijan do 6.7 ponovo za crnu boju. Sa većom količinom sjajnog laka je došlo do malog porasta u vrednosti razlika boja.

Na slici 105. je prikazana razlika u formi dijagrama.



Slika 105. Razlika boja za otiske oplemenjene sa sjajnim vododisperzivnim lakom

Na slici 106 od a do d su predstavljene spektralne krive uzoraka sa konvencionalnim bojama koji su oplemenjeni sa mat vododisperzivnim lakom korišćenjem aniloks valjka od 90L/cm i 60L/cm.



Slika 106. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka oplemenjenih sa mat vododisperzivnim lakom

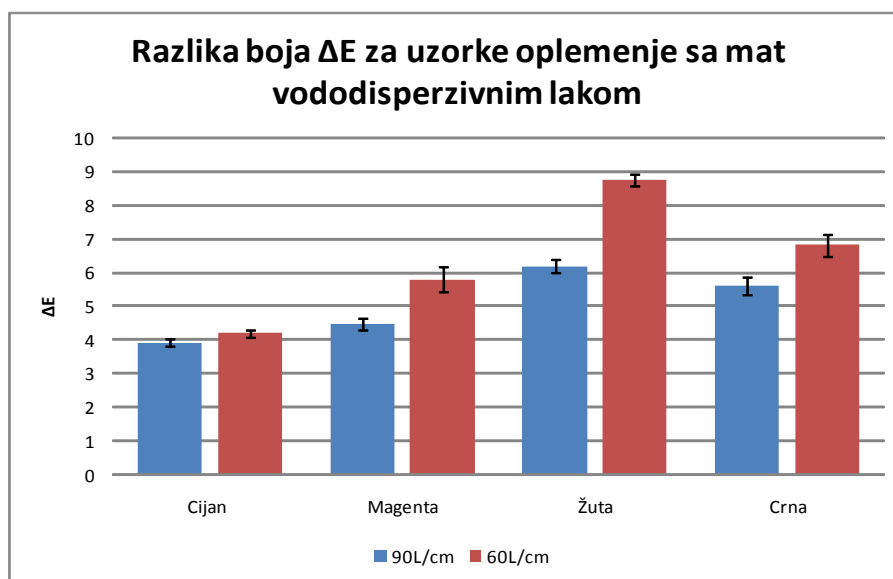
Na osnovu slike 106. se može primetiti da kod nekih boja kao što je cijan manja količina mat laka daje veću refleksiju u predelima gde je ukupno veća refleksija, a veća količina laka daje veću refleksiju tj. svetliji utisak posmatraču u delu spektra gde je najmanja refleksija za datu boju. Na crnoj boji se vidi da skoro u celom opsegu merenja veća količina daje svetliji otisak time da daje veće vrednosti reflektovane svetlosti.

U tabeli 43. su date vrednosti razlike boja za uzorke oplemenje sa mat vododisperzivnim lakom koriscenjem aniloks valjaka sa linijaturama od 90L/cm i 60L/cm.

Tabela 43. vrednosti razlika boja za mat oplemenje uzorke sa vododisperzivnim lakom.

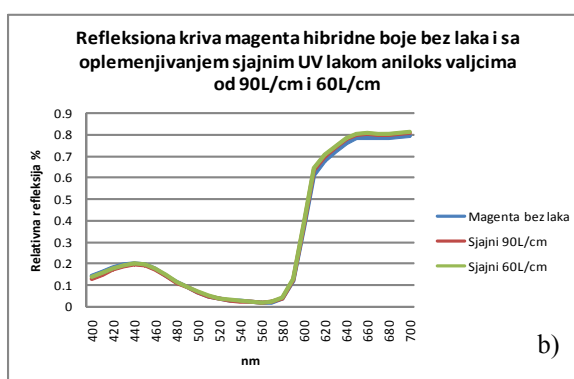
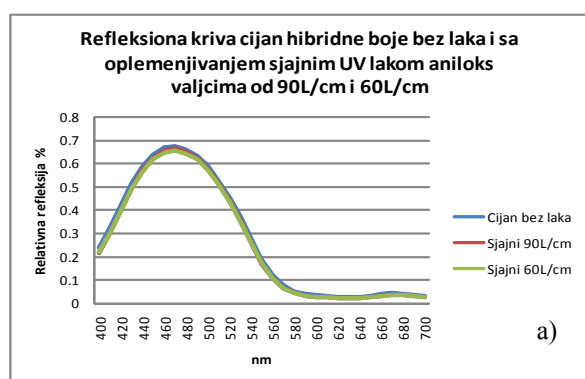
Uzorak (90L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma(\Delta E)$
Cijan	2.29	2.06	2.43	3.93	2.45	0.13
Magenta	2.64	-3.5	0.92	4.48	2.8	0.17
Žuta	1.11	-0.11	-6.09	6.19	1.61	0.2
Crna	4.91	-1.28	-2.45	5.63	5.48	0.26
Uzorak (60L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	
Cijan	2.43	2.71	2.11	4.2	2.63	0.12
Magenta	3.38	-4.68	0.62	5.8	3.56	0.36
Žuta	1.27	-0.65	-8.64	8.76	2.12	0.17
Crna	6.32	-1.15	-2.29	6.81	6.7	0.31

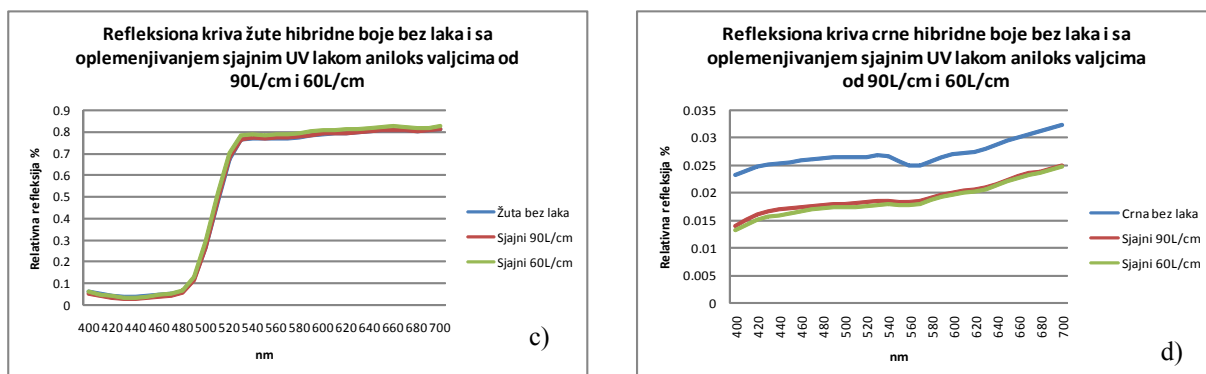
Na osnovu podataka iz Tabele 43. se može primetiti da je razlika boja pri oplemenjivanju površine sa mat lakom dala nešto veće vrednosti razlike boja za određene obojene površine. I u ovom slučaju veći nanos laka je rezultovao većim razlikama boje. Kod manjeg nanosa najveću razliku je imala crna boja sa vrednošću od 5.63, a najmanju žuta sa 1.61. Kod većeg nanosa ponovo je crno polje dalo najveće odstupanje u vrednosti od 6.7, dok je žuta dala vrednost od 2.12. Grafički prikaz promene vrednosti  $\Delta E$  u odnosu na nanetu količinu mat vododisperzivnog laka je data na slici 107.



Slika 107. Razlika boja za otiske oplemenjene sa mat vododisperzivnim lakom

Na slici 108. od a do d su prikazane spektralne krive za otiske štampane sa hibridnom bojom koje su bile oplemenje sa UV lakom korišćenjem aniloks valjaka od 90L/cm i 60L/cm.





Slika 108. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne hibridnih otisaka oplemenjenih sa sjajnim UV lakom

Na osnovu slike 108. se može videti da u nekim delovima spektra, crveni kod cijana i zeleno plavi kod magente veći nanos uzorokuje manju refleksiju dok, na primer kod magente u crvenom delu spektra daje nešto više vrednosti refleksije. Na crnoj boji je uočljivo da oba nanosa smanjuju refleksiju u odnosu na neoplemenjenu površinu, sa time da veći nanos dobijen aniloks valjkom od 60L/cm daje nešto niži refleksioni spektar i time tamniji, zasićeniji otisak za ljudskog posmatrača.

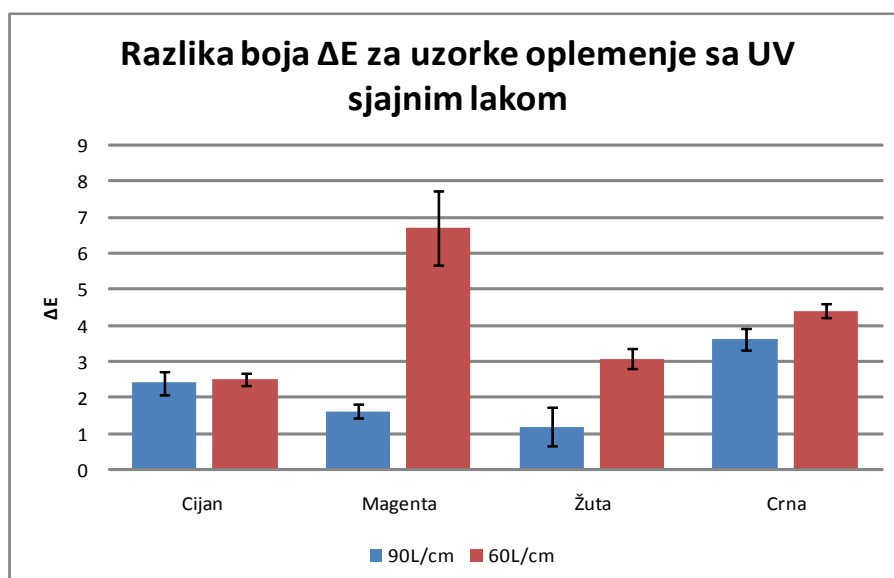
U Tabeli 44 su date vrednosti razlika boja za hibridne uzorke oplemenjene sa UV sjajnim lakom.

Tabela 44. vrednosti razlika boja za otiske sa hibridnom bojom i UV lakom

Uzorak (90L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.94	-0.15	-1.45	2.42	2	0.32
Magenta	0.62	0.84	1.24	1.62	0.88	0.20
Žuta	0.67	-0.73	0.66	1.19	0.44	0.54
Crna	-3.21	0.83	1.45	3.62	3.6	0.3
Uzorak (60L/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-2.1	-0.28	-1.34	2.51	2.12	0.18
Magenta	-1.07	2	6.29	6.69	3.19	1.03
Žuta	0.28	-0.37	3.03	3.07	0.65	0.28
Crna	-4.05	0.85	1.49	4.4	4.39	0.19

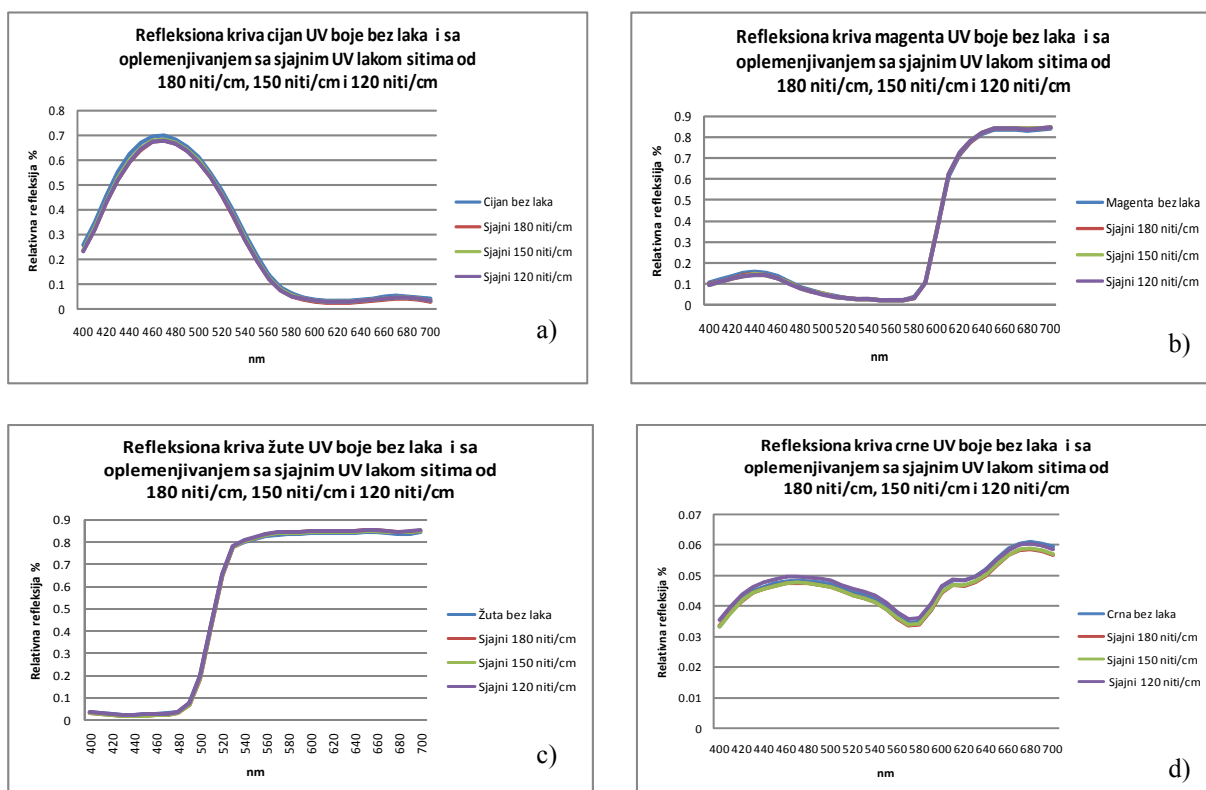
Rezultati iz Tabele 44. ukazuju da je raspon razlika boja oplemenjenog hibridnog otiska u odnosu na neoplemenjeni otisak od 1.19 za žutu boju do 3.62 za crnu boju. Sa nanosom veće količine laka dolazi do porasta svih vrednosti u opsegu od 2.51 za cijan i 6.69 za magentu, što predstavlja veliku vizuelnu razliku koja se definiše kao masivna razlika.

Na slici 109. su prikazane vrednosti razlika boja za otiske sa hibridnom štamparskom bojom i sjajnim UV lakom.



Slika 109. Razlika boja za otiske sa hibridnom bojom oplemenjene sa sjajnim UV lakom

Na slici 110. a do d. su prikazane vrednosti spektralnih refleksija u opsegu od 400 do 700 nm za otiske štampane sa UV bojama na premaznom kartonu sa sjajnim UV lakom korišćenjem tri tkanja sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm.



Slika 110. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na premaznom kartonu oplemenjenih sa sjajnim UV lakom



Na osnovu rezultata na slici 110. se može primetiti da kod cijana, magente i žute nanosi lakova daju nešto niže refleksione spektre od neoplemenjenog uzorka, često veoma slične, sa blago izraženim dominantnim nanosom postignutim sitom od 120 niti/cm. Na crnom otisku je taj nanos je imao malo veći refleksioni spektar od neoplemenjenog otiska, za razliku od druga dva koji su imali nešto niži.

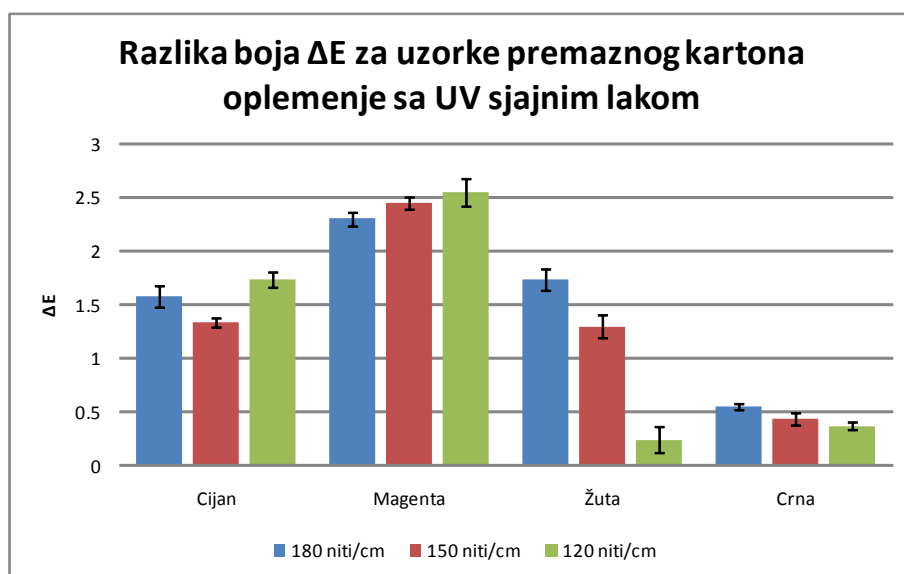
U Tabeli 45. su date vrednosti izračunatih razlika boja. Referentna vrednost u odnosu na koju su se računale vrednosti razlike boja je neoplemenjena štampana boja.

*Tabela 45. vrednosti razlika boja za sjajni premazni karton štampan sa UV bojama i oplemenjen sa sjajnim UV lakom*

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.43	-0.43	-0.51	1.58	1.44	0.1
Magenta	-0.08	0.72	2.18	2.3	1.01	0.07
Žuta	0.27	0.36	1.68	1.74	0.43	0.1
Crna	-0.42	-0.2	-0.28	0.55	0.53	0.03
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.14	-0.54	-0.45	1.34	1.16	0.04
Magenta	0	0.86	2.3	2.45	1.06	0.06
Žuta	0.15	0.24	1.27	1.3	0.28	0.11
Crna	-0.38	-0.16	-0.16	0.44	0.43	0.06
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.69	-0.09	-0.38	1.73	1.69	0.07
Magenta	-0.02	0.22	2.54	2.55	1.18	0.13
Žuta	0.07	0.14	-0.18	0.24	0.09	0.12
Crna	0.01	-0.34	-0.14	0.37	0.35	0.04

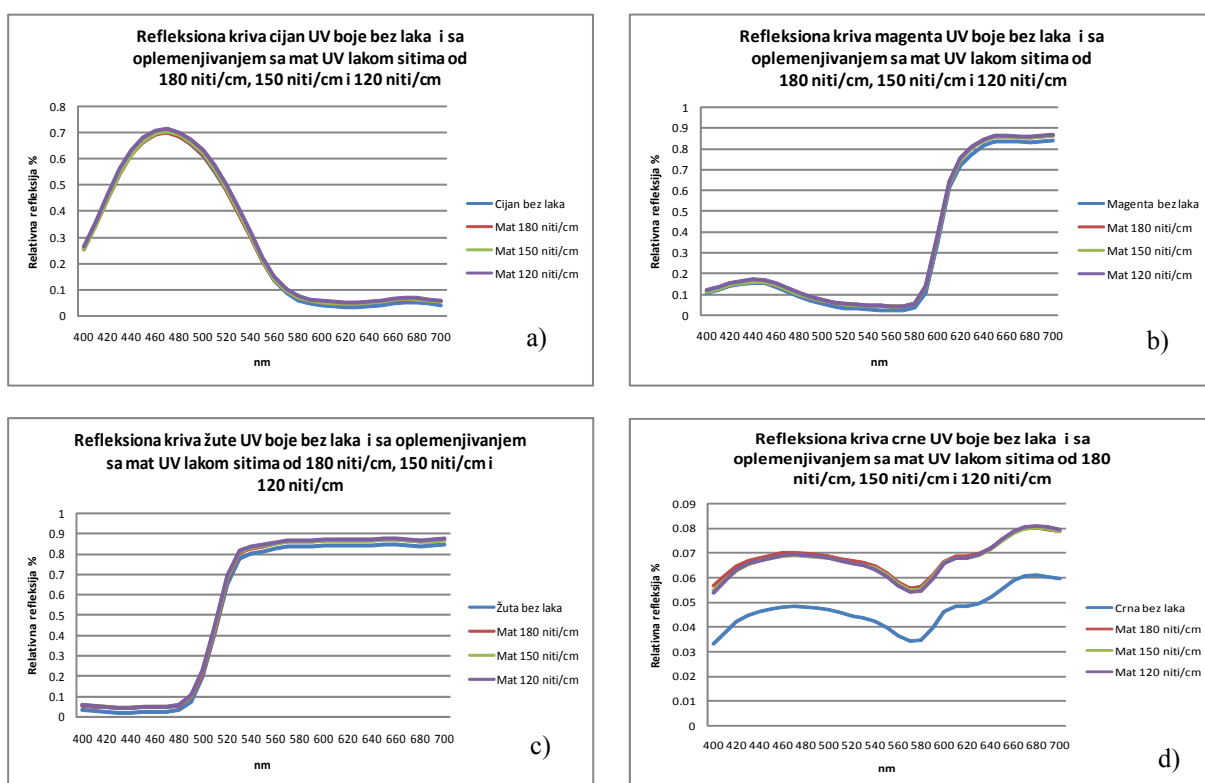
Na osnovu podataka iz Tabele 45 se može primetiti da kod ovog uzorka razlike boja se kreću od 0.55 za crnu boju do 2.3 za magentu kod otiska kod kojeg je korišćeno sito sa tkanjem od 180 niti/cm. Nakon nanošenje laka ne dolazi do daljeg povećanja već i do smanjivanja nekih od vrednosti kao što je slučaj sa žutom i crnom bojom. Kod uzorka sa najvećom nanetom količinom laka je kod cijana i magente došlo do blagog povećanja vrednosti razlike boje (1.73 za cijan i 2.55 za magentu) dok je kod crne i žute došlo do daljeg smanjivanja tih vrednosti.

Rezultati ukazuju da ne postoji jasna korelacija sa promenom boje u odnosu na nanetu količinu laka. Prikaz promene razlika boja u grafičkom obliku je predstavljeno na slici 111.



Slika 111. Razlika boja za otiske sa UV bojom na premaznom kartonu oplemenjene sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Na slici 112. a do d su prikazane vrednosti spektralnih refleksija u opsegu od 400 do 700 nm za otiske štampane sa UV bojama na premaznom kartonu sa mat UV lakom korišćenjem tri tkanja sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm.



Slika 112. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na premaznom kartonu oplemenjenih sa mat UV lakom

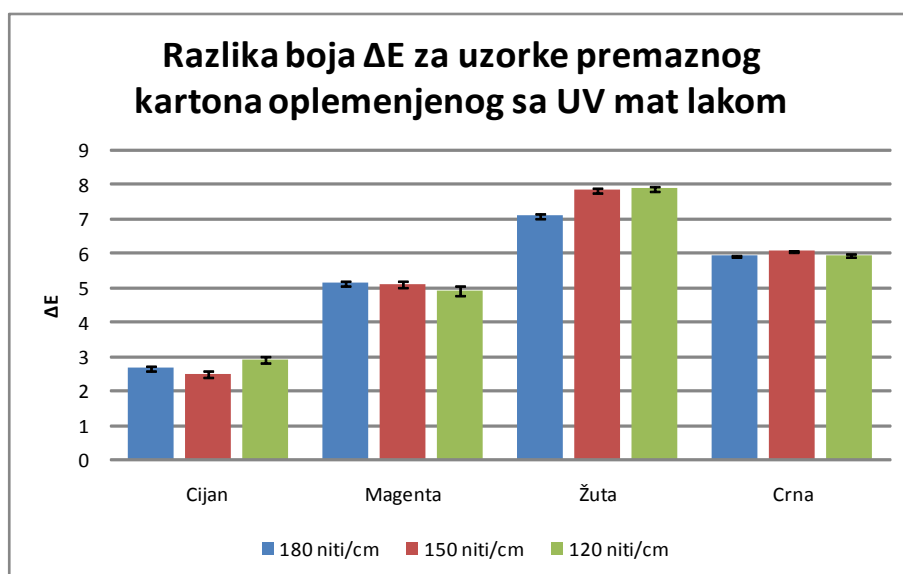
Na osnovu rezultata na slici 112. se može primetiti da kod cijana, magente i žute nanosi lakova daju nešto više refleksione spektre od neoplemenjenog uzorka, često veoma slične, sa blago izraženim dominantnim nanosom postignutim sitom od 120 niti/cm. Na crnom otisku je razlika je dosta uočljiva sa blagim varijacijama u ospegu spektra refleksije između različitih količina nanetog laka. U Tabeli 46. su date vrednosti izračunatih razlika boja. Referentna vrednost u odnosu na koju su se računale vrednosti razlike boja je neoplemenjena štampana boja.

Tabela 46. vrednosti razlika boja za premazni karton štampan sa UV bojama i oplemenjen sa mat UV lakom

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.69	2.17	1.38	2.67	1.08	0.07
Magenta	2.56	-4.02	1.9	5.13	2.92	0.05
Žuta	0.98	0.27	-6.96	7.09	1.56	0.06
Crna	5.8	-1.19	0.44	5.93	5.9	0.03
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	1.07	1.65	1.56	2.51	1.25	0.1
Magenta	2.77	-3.63	2.27	5.1	3.14	0.1
Žuta	1.24	-0.09	-7.72	7.82	1.83	0.07
Crna	5.93	-1.11	0.55	6.06	6.03	0.03
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	1.89	1.34	1.79	2.93	1.96	0.09
Magenta	3.13	-3.68	0.93	4.92	3.3	0.12
Žuta	1.46	-0.34	-7.73	7.88	2	0.08
Crna	5.85	-0.94	0.42	5.94	5.91	0.03

Na osnovu vrednosti u Tabeli 46 se može videti da skoro svi uzorci su bili svetliji od referentnog što se može videti iz  $\Delta L$ . Vrednost razlike boje za najmanji nanos je varirao od 2.67 do 7.09, sa veći nanos od 2.51 do 7.82, dok je najveći nanos imao raspon razlika boja između 2.93 i 7.88 koliko je iznosila razlika za žuti uzorak. Kod magente i žute se vidi da najveće hromatske razlike se dobijaju u osama gde je izražena njihova glavna hromatska vrednost ( $\Delta a$  za magentu i  $\Delta b$  za žutu boju), dok kod cijana i crne ove komponente daju umerenije promene.

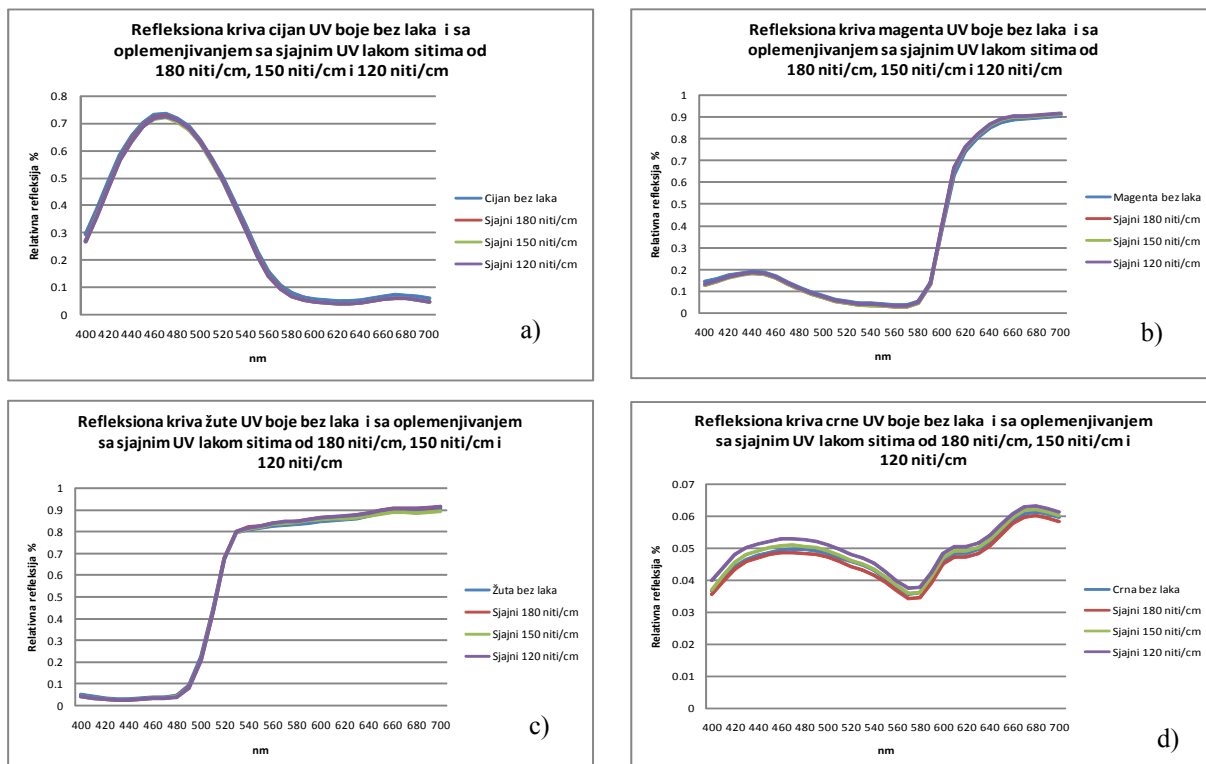
Promena razlike za uzorke na premaznom kartonu štampanim sa UV bojama i oplemenjenim mat UV lakom korišćenjem tri sita je dat grafički na slici 113.



Slika 113. Razlika boja za otiske sa UV bojom na premaznom kartonu oplemenjene sa mat UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Na osnovu slike 113. se može primetiti da sa rastom količine sredstva za oplemenjivanje postoji globalni trend rasta za sve boje, jedino kod magente dolazi do smanjivanja razlike, dok žuta ima najizraženiju promenu u odnosu na nanetu količinu mat laka.

Na slici 114. su prikazane refleksione krive četiri procesne boje za otiske štampane na sjajnom premaznom papiru sa UV bojama i oplemenjenog sa istom linijaturom tri sita.



Slika 114. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na sjajni premaznom papiru oplemenjenih sa sjajnim UV lakom

Na osnovu refleksionih krivi je moguće primetiti da nanošenjem sjajnih lakova dolazi do smanjivanja refleksije naročito u delovima inspitivanog spektra gde za datu boju imamo najmanju refleksiju, dok prelaskom u delove spektra gde je veća refleksije dolazi do blage promene i veća količina laka u maloj meri povećava refleksiju. Merenjem refleksije samih lakova bez hromatske komponente ispod na papiru u odnosu na refleksiju samog papira se može videti da sjajni lakovi ukupno smanjuju refleksiju, više u delu gde je manja refleksija a manje gde je refleksija veća.

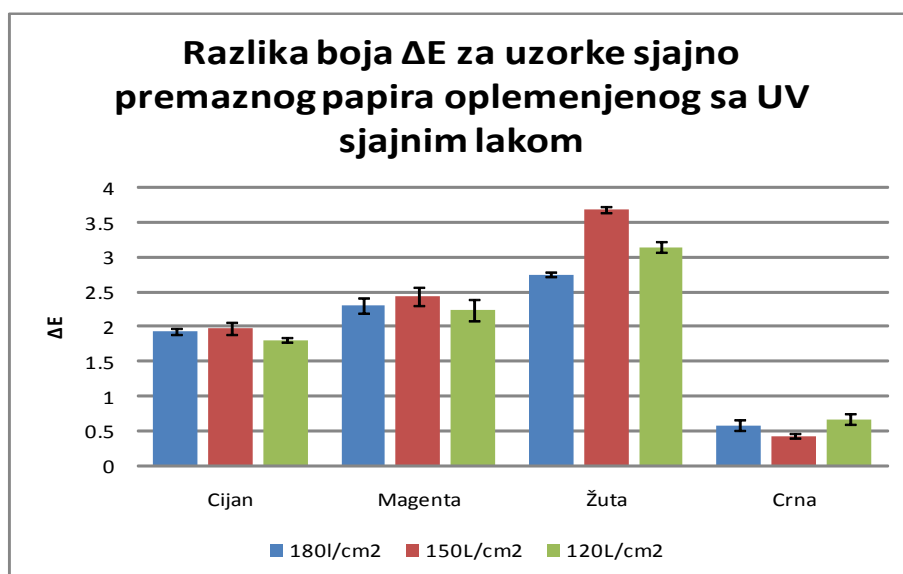
U Tabeli 47. su date srednje vrednosti razlike boja za sjajni premazni papir štampan sa UV bojom i koji je bio oplemenjen sa UV sjajnim lakom.

Tabela 47. vrednosti razlika boja za sjajni premazni papir štampan sa UV bojama i oplemenjen sa sjajnim UV lakom

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.17	-1.17	-1.01	1.94	1.26	0.05
Magenta	0	2.18	0.75	2.31	0.6	0.1
Žuta	0.65	0.37	2.65	2.76	0.82	0.04
Crna	-0.46	0.22	-0.3	0.59	0.56	0.07
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.16	-1.19	-1.07	1.98	1.25	0.08
Magenta	0.04	2.26	0.93	2.44	0.66	0.13
Žuta	0.77	0.44	3.58	3.69	1.02	0.04
Crna	0.09	0.18	-0.39	0.44	0.39	0.04
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-1.1	-1.1	-0.94	1.82	1.18	0.04
Magenta	0.25	1.96	1.07	2.25	0.7	0.15
Žuta	0.82	0.51	2.99	3.15	1	0.07
Crna	0.52	0.01	-0.44	0.68	0.65	0.07

Na osnovu Tabele 48. se može primetiti da je raspon razlike boja pri najmanjem nanosu sjajnog laka od 0.59 za crnu boju do 2.76 za žutu boju. Korišćenjem sita od 150 niti/cm je dobijen opseg razlika boja od 0.44 za crnu do 3.69 za žutu boju, dok je sito sa tkanjem od 120 niti/cm rezultovalo sa razlikama između 0.68 za crnu i 3.15 za žutu boju. Najveće razlike su ponovo dobijene za hromatski deo razlike po a i b koordinatama dok razlika u svetlini je manje izražena kod svih uzoraka.

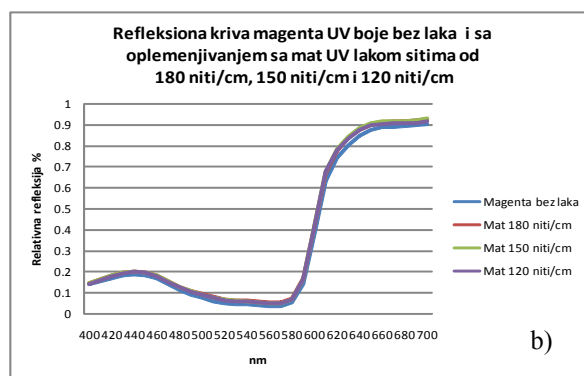
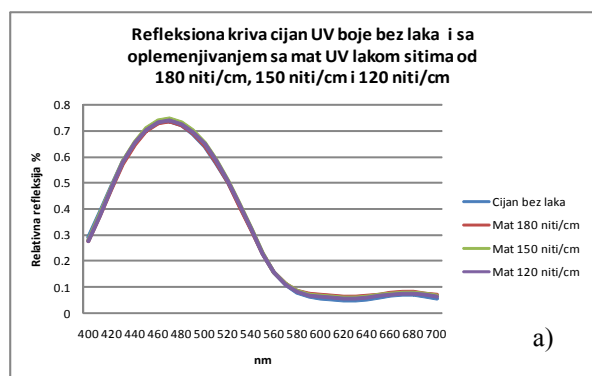
Promena razlike boja za sjajno premazni papir štampan UV bojama i koji je oplemenjen sa sjajnim UV lakom je prikazana na slici 115.

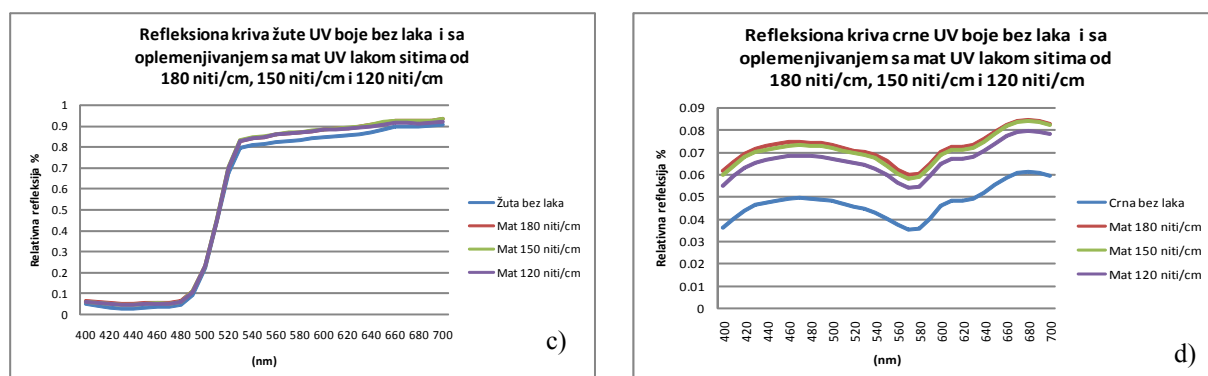


Slika 115. Razlika boja za otiske sa UV bojom na sjajnom premaznom papiru oplemenjene sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Kao što je primetno na slici 115. ne postoji jasna tendencija porasta razlike boje ni za jednu od boja, gde kod cijana dolazi prvo do rasta pa do pada vrednosti razlika boja, što je slučaj i sa magentom, i žutom, dok kod crne dolazi prvo do pada sa prvom većom nanetom količinom sredstva za oplemenjivanje i rasta sa najvećom količinom prenetog sredstva za oplemenjivanje.

Na sjajno premaznom papiru sledeći ispitivani uzorak je bio UV mat lak, koji je bio nanešen istim tehnološkim postupkom. Na slici 116. a do d su prikazane spektralne krive za četiri procesne boje oplemenjene sa UV mat lakom.





Slika 116. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na sjajni pre-maznom papiru oplemenjenih sa mat UV lakom

Na osnovu slike 116. se može primetiti da nanošenjem mat laka dolazi do porasta refleksije i time osećaja svetline kao L komponente Lab koordinata. Na crnoj boji najveći nanos dobijen sa sitom od 120 niti/cm je dao najmanje odstupanje od referentne vrednosti dok kod drugih boja najveći nanos je dominantan u delovima gde je manja refleksija unutar opsega talasnih dužina, a manje količine laka blago nadvisuju tu vrednost kod delova sa višom količinom relativne refleksije.

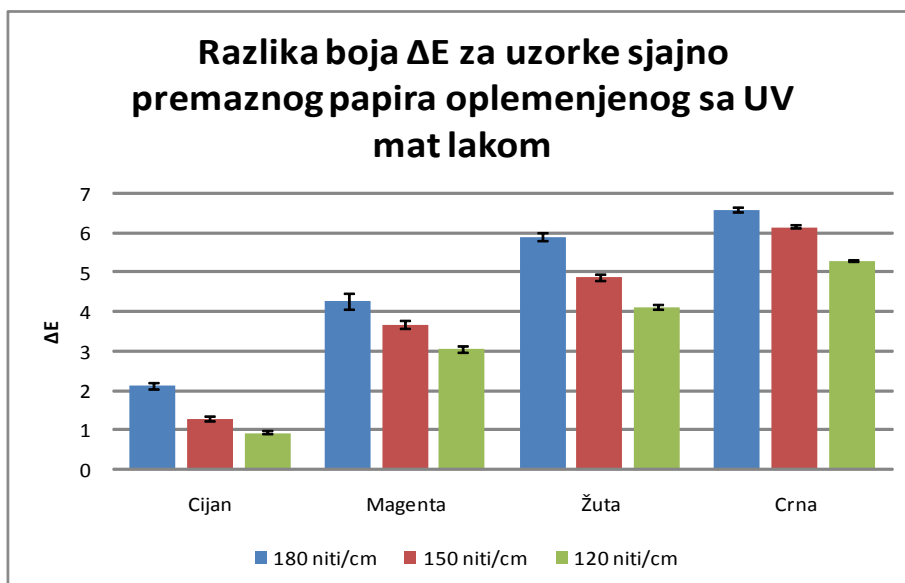
Radi dobijanja tačne kvantifikacije ovih razlika izračunate su i odgovarajuće vrednosti razlika boja koje su predstavljene u Tabeli 48.

Tabela 48. vrednosti razlika boja za sjajni premazni papir štampan sa UV bojama i oplemenjen sa mat UV lakom

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.52	1.83	0.97	2.13	0.9	0.09
Magenta	2.78	-3	1.25	4.28	2.95	0.19
Žuta	1.48	0.38	-5.72	5.92	1.8	0.09
Crna	6.52	-0.94	0.51	6.6	6.58	0.05
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.66	0.94	0.59	1.29	0.75	0.06
Magenta	2.73	-2.29	0.92	3.68	2.83	0.09
Žuta	1.7	0.35	-4.56	4.88	1.89	0.08
Crna	6.09	-0.84	0.51	6.17	6.15	0.04
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.58	0.52	0.54	0.95	0.62	0.04
Magenta	2.31	-1.48	1.35	3.06	2.44	0.07
Žuta	1.58	0.34	-3.79	4.12	1.72	0.06
Crna	5.23	-0.69	0.54	5.31	5.29	0.03

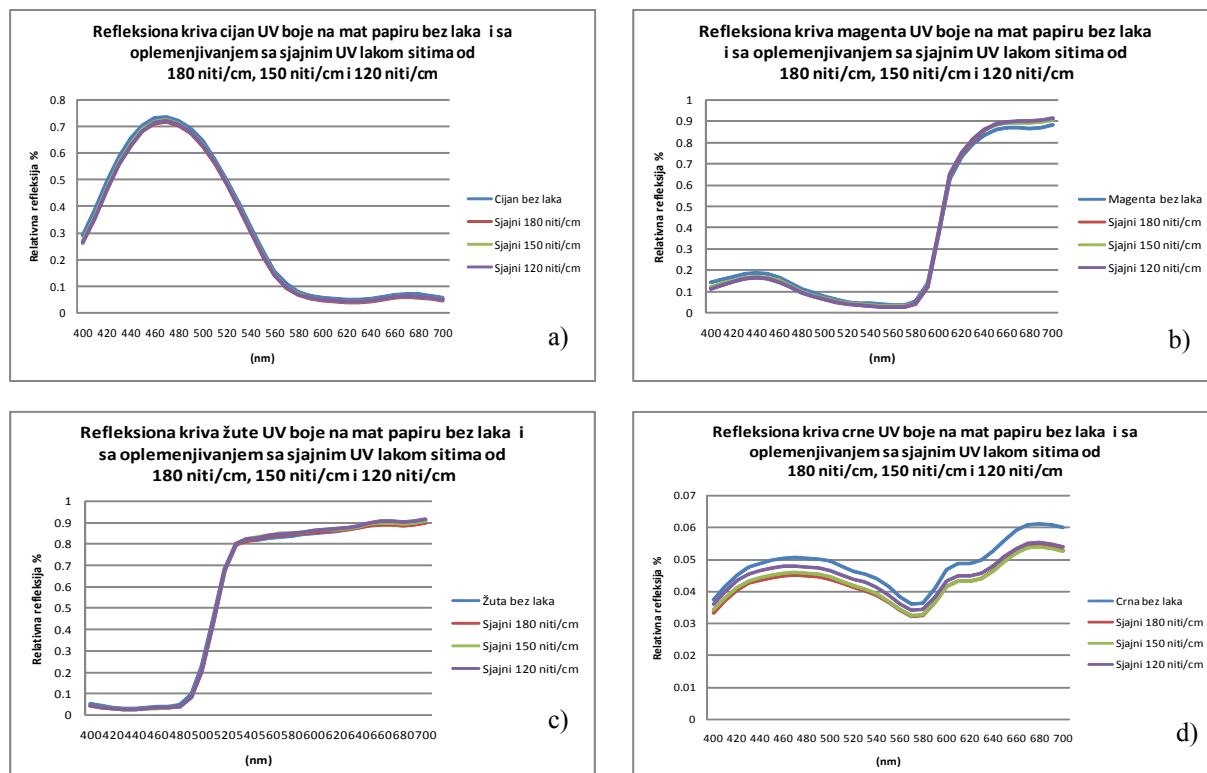
Na osnovu vrednosti koje su u Tabeli 49. se može videti da skoro kod svih ispitivanih boja dolazi do smanjivanja razlike boje sa porastom količine nanetog laka. Kod ovih uzoraka je višestruko povećana varijacija  $\Delta L$  komponente u odnosu na uzorke sa sjajnim UV lakom.

Na slici 117. su prikazane vrednosti razlike boja u formi histograma.



Slika 117. Razlika boja za otiske sa UV bojom na sjajnom premaznom papiru oplemenjene sa mat UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Na slici 118. a do d su prikazane spektralne krive za četiri procesne boje za uzorke koji su štampani UV bojama na mat papiru i koji su oplemenjeni sa sjajnim UV lakom korišćenjem tri iste linijature sita kao i kod drugih uzoraka.



Slika 118. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na mat premaznom papiru oplemenjenih sa sjajnim UV lakom



Kao što se može videti na slici 118. nanošenjem sjajnog laka dolazi do smanjivanja refleksije u celom opsegu reflektovane boje za sve nanose laka kod cijana i magente. Kod žute boje u delu spektra gde je manja refleksija (plavo ljubičasti deo spektra), različiti nanosi laka daju manju refleksiju dok u žutom crvenom delu spektra daju nešto višu refleksiju nego otisak bez oplemenjivanja.

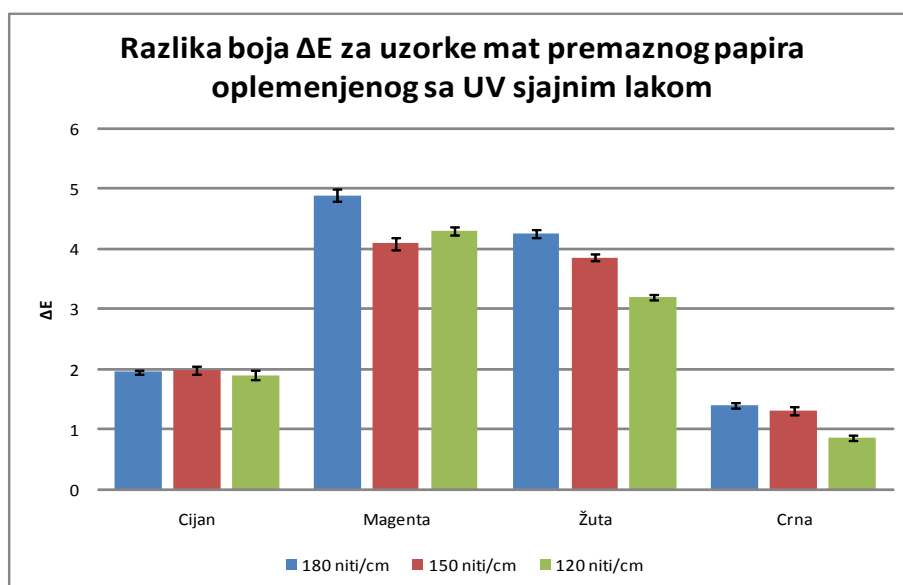
U Tabeli 49. su date izračunate vrednosti za razliku boja za uzorke sa UV bojama na mat papiru.

Tabela 49. vrednosti razlika boja za mat premazni papir sa UV bojama i oplemenjen sa sjajnim UV lakom.

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-0.88	-1.37	-1.09	1.96	1.04	0.04
Magenta	-0.2	3.24	3.65	4.89	1.83	0.1
Žuta	0.94	0.7	4.08	4.25	1.23	0.07
Crna	-1.41	-0.05	-0.15	1.41	1.41	0.05
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-0.81	-1.37	-1.19	1.99	0.98	0.07
Magenta	0.26	2.59	3.16	4.09	1.59	0.11
Žuta	0.97	0.69	3.67	3.86	1.22	0.06
Crna	-1.24	-0.23	-0.37	1.31	1.3	0.07
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	-0.94	-1.2	-1.15	1.91	1.06	0.07
Magenta	0.34	2.49	3.49	4.3	1.74	0.06
Žuta	0.99	0.85	2.92	3.2	1.18	0.04
Crna	-0.74	-0.35	-0.32	0.87	0.86	0.05

Na osnovu vrednosti iz Tabele 49. se može zaključiti da je glavna razlika između neo-plemenjenog i oplemenjenog otiska u razlici hromatskih vrednosti  $\Delta a$  i  $\Delta b$  koje se kreću kod nanosa dobijenog sa 180 niti/cm od -0.05 do 4.08, kod nanosa dobijenog sitom od 150 niti/cm od -0.23 do 3.67, dok je najveći nanos imao hromatske razlike između -0.32 do 3.49. Kod cijana i magente je zabeležena stagnacija sa tendencijom malog pada u pogledu vrednosti razlike boja, dok žuta i crna pokazuju tendenciju smanjivanja razlike.

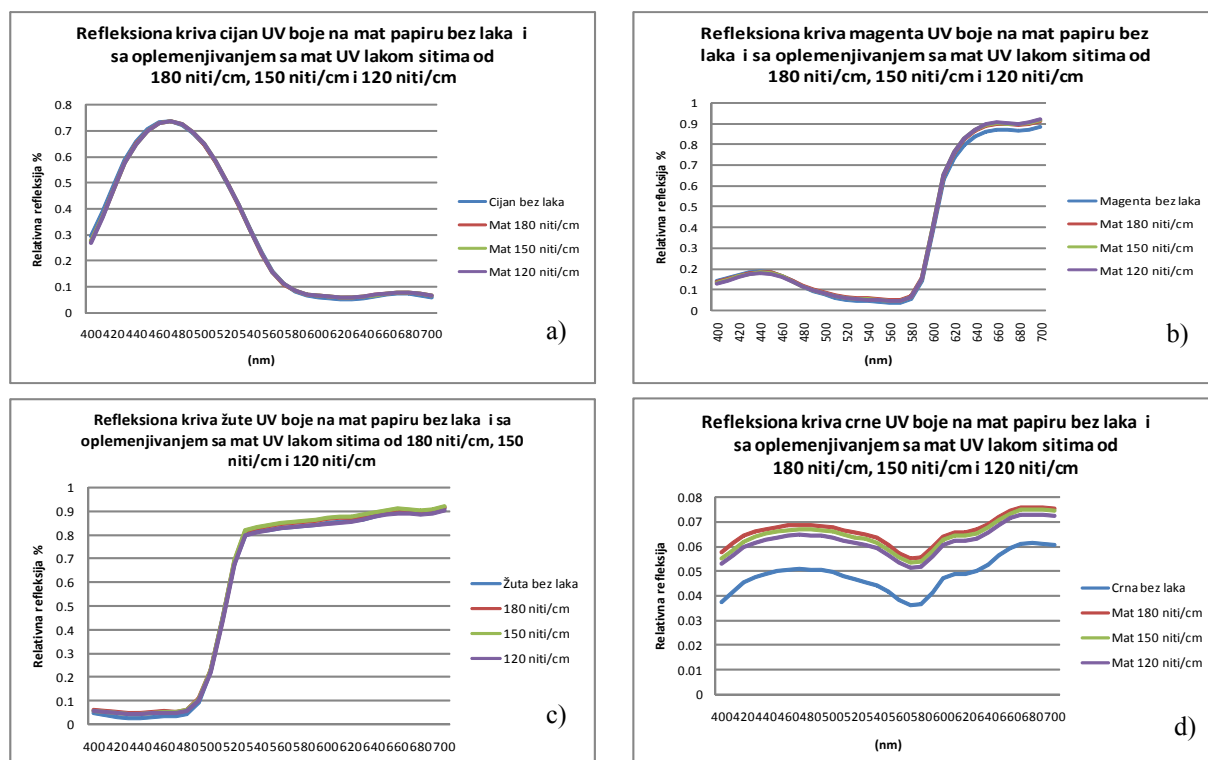
Na slici 119. su prikazane promene vrednosti razlike boja u zavisnosti od količine nanetog sjajno UV laka na UV otiske na mat premaznom papiru.



Slika 119. Razlika boja za otiske sa UV bojom na mat premaznom papiru oplemenjene sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Kao što se može videti na slici 119. nanošenjem veće količine UV sjajnog laka dolazi do smanjivanja razlike boja između referentnog neoplemenjenog i oplemenjenih otisaka. Ova tendencija je prisutna kod svih ispitivanih boja.

Na slici 120. od a do d je prikazana poslednja kombinacija gde su ispitivane spektralne krive uzoraka cijana, magente žute i crne boje.



Slika 120. Refleksione krive a) cijana b) magente c) žute i d) crne otisaka sa UV bojom na mat premaznom papiru oplemenjenih sa mat UV lakom

Na osnovu slike 120. se može videti da svi nanosi mat UV laka daju veće vrednosti reflektovane svetlosti na svim bojama kroz ceo ispitivani opseg od 400 do 700 nm. Kod žute boje pri kraju spektra prema crvenom domenu nanos laka dobijen sitom od 150 niti/cm je dao nešto višu vrednost, dok kod crne boje najmanju refleksiju je dao najveći nanos dobijen sitom od 120 niti/cm.

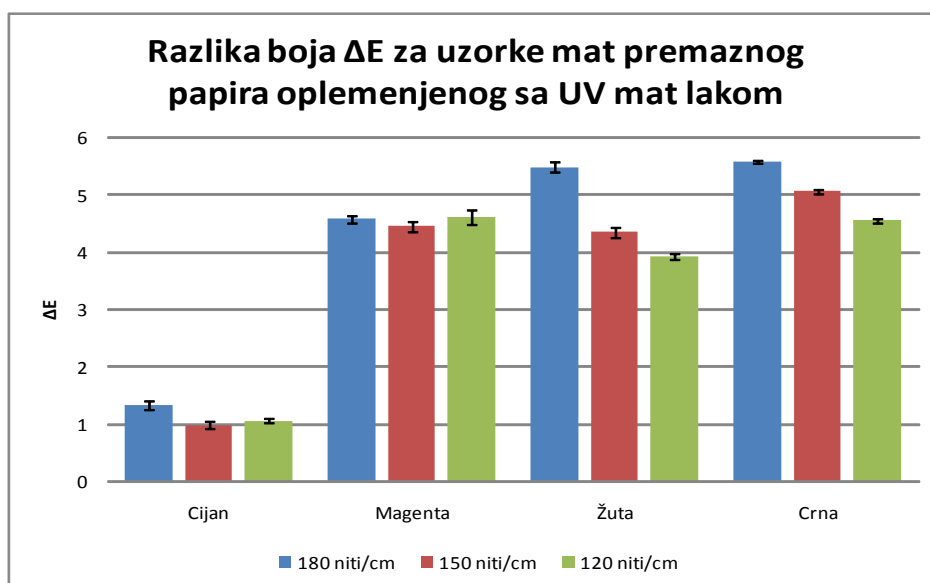
U tabeli 50. su date izračunate vrednosti razlika boja za ove uzorke.

Tabela 50. vrednosti razlika boja za mat premazni papir štampan sa UV bojama i oplemenjen sa mat UV lakom

Uzorak (180 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.71	1.07	0.33	1.33	0.84	0.08
Magenta	2.47	-2.15	3.2	4.58	2.99	0.07
Žuta	1.36	0.65	-5.27	5.48	1.67	0.09
Crna	5.42	-1.15	0.63	5.58	5.54	0.03
Uzorak (150 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.8	0.52	0.29	1	0.83	0.06
Magenta	2.56	-1.45	3.34	4.45	3.07	0.08
Žuta	1.75	0.53	-3.95	4.35	1.9	0.08
Crna	4.9	-1.04	0.7	5.06	5.02	0.04
Uzorak (120 niti/cm)	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$	$\Delta E_{94}$	$\sigma (\Delta E)$
Cijan	0.83	0.49	0.45	1.07	0.86	0.04
Magenta	2.29	-1.11	3.85	4.62	2.98	0.13
Žuta	1.68	0.69	-3.48	3.93	1.81	0.06
Crna	4.42	-0.85	0.69	4.55	4.52	0.05

Na osnovu rezultata iz tabele 50. se može videti da je raspon razlike boja pri najmanjem nanosu laka od 1.33 do 5.58 za crnu boju. Kod malo većeg nanosa razlika boja se kreće od 1 za cijan do 5.06 za crnu boju, dok kod najvećeg nanosa razlika se nalazi između cijana sa 1.07 i magente sa 4.62. Kod svih uzoraka je primećena podjednako velika promena i u razlici svetline kao i u razlici hromatičnih vrednosti.

Promene razlika za mat premazni papir sa UV bojom i mat UV lakom, nanešenim u tri različite količine se može videti na slici 121.



Slika 121. Razlika boja za otiske sa UV bojom na mat premaznom papiru oplemenjene samat UV lakom korišćenjem sita sa tkanjima od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm

Na osnovu slike 121. se može videti da postoji trend smanjivanja razlike boja za skoro sve boje sem za magentu gde je došlo do blagog porasta vrednosti. Najveća promena razlike je zabeležena kod crne i žute boje, dok je najmanja razlika dobijena kod cijana.

## 8.4. ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NA GEOMETRIJSKE I HROMAT-SKE OSOBINE OBOJENIH I OPLEMENJENIH POVRŠINA

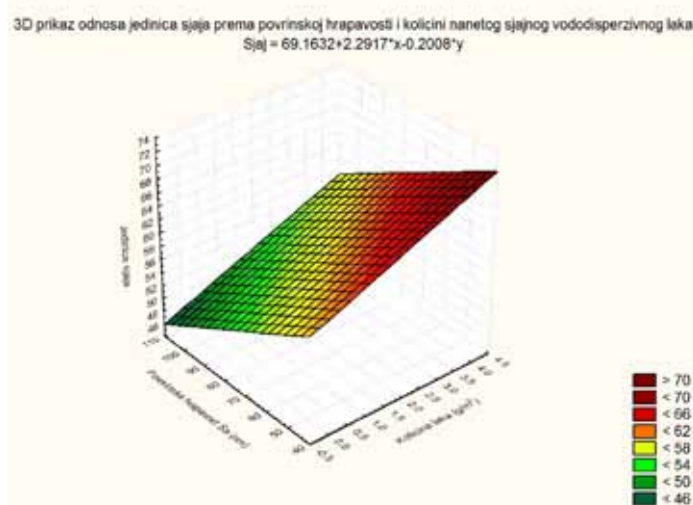
### 8.4.1. ANALIZA I DISKUSIJA GEOMETRIJSKIH OSOBINA MATERIJALA

Nakon kvantifikovanja svih merljivih faktora koji utiču na konačni izgled i osećaj neke oplemenjene površine, važno je definisati međuosobni odnos pojedinih faktora. Ove realcije i korelacije su od važnosti kako za predložak neke simulacije u smislu pronalaženja određene jednačine promene, tako i sa tehnološko proizvodnog i ekonomskog smisla. Faktori koj su varirani su bili količina (aniloks valjci i sita) , vrsta sredstva za oplemenjivanje (vododisperzivni i UV mat i sjajni lak), vrste boja (konvencionalne, hibridne i UV), kao i podloga na koju su odštampane hromatske površine koje su oplemenje u proizvodnim uslovima. Pošto tehnološki proces sam po sebi sadrži određene neizbežne varijacije, treba uzeti u obzir da su mogu i drugačiji rezultati u zavisnosti od procesnih parametara. Ispitivanje spekularne komponente tj. geometrijske karakteristike površine je sprovedena merenjem sjaja odštampanih i oplemenjenih površina, hrapavost je ispitana AFM skenirajućim mikroskopom, dok su vrednosti i razlike hromatske komponente refleksije izmerene sa odgovarajućim spektrofotometrom sa usmerenom geometrijom merenja od  $0^0/45^0$  čija merenja korelišu sa osećajem boja koji čovek doživljava.

Za analizu uticajnih faktora urađene su uporedne analize nanosa laka u  $g/cm^2$ , površinske hrapavosti kroz faktor  $S_a$ , jedinice sjaja, kao i vrednosti razlika boja i izračunati su međusobni korelacioni koeficijenti.

Za vrednosti sjaja i razlike boja su zbog smanjivanja međuvarijacija i dobijanja neke opšte tendencije uzimane srednje vrednosti svih boja na datoj veličini.

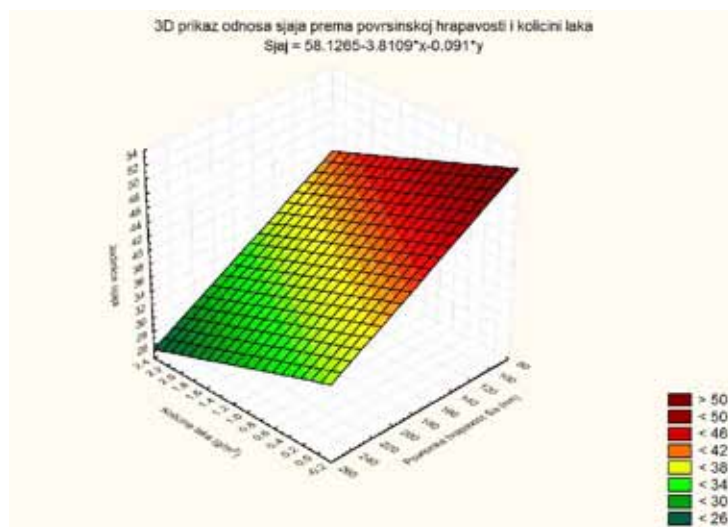
Na slici 122. je prikazana korelacija nanosa laka, površinske hrapavosti i sjaja kod konvencionalne boje koja je oplemenjena sa sjajnim vododisperzivnim lakom.



Slika 122. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za konvencionalne boje oplemenjene sa sjajnim vododisperzivnim lakom sa dva nanosa

Na osnovu slike 122. se može videti da postoji linearna međuzavisnot između sjaja, površinske hrapavosti i nanete količine laka u slučaju konvencionalnih boja oplemenjenih sa sjajnim vododisperzivnim lakom. Porastom nanete količine laka dolazi do povećavanja jedinica sjaja i do smanjivanja površinske hrapavosti. Koeficijent korelacije između sjaja i površinske hrapavosti je  $r = -0.99$  a između sjaja i nanete količine  $r = 0.99$ , dok je koeficijent  $r$  između nanosa i površinske hrapavosti isto  $0.99$ .

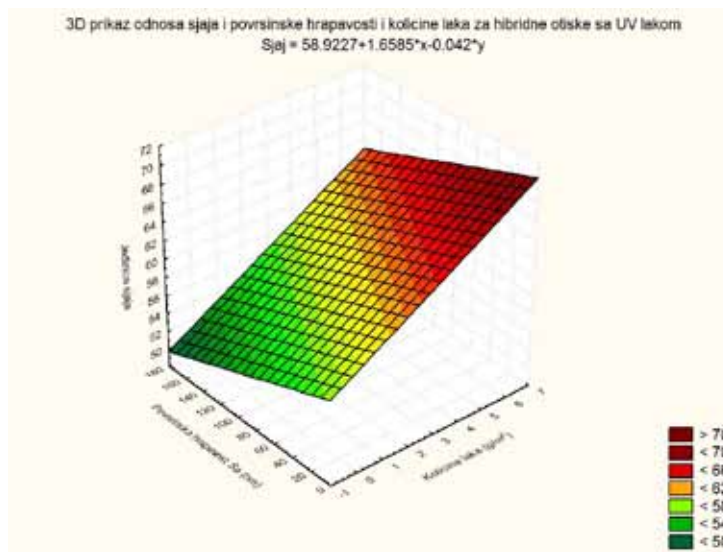
Na slici 123. je prikazan međuodnos sjaja, površinske hrapavosti i nanosa laka za mat vododisperzivni lak koji je nanet u dve količine preko konvencionalne boje.



Slika 123. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za konvencionalne boje oplemenjene sa mat vododisperzivnim lakom sa dva nanosa

Na osnovu slike 123. se može videti da sa porastom količine laka dolazi do linearnog smanjivanja vrednosti jedinice sjaja, kao i povećanja površinske hrapavosti. Međusobni korelacioni koeficijenti za ovu vrstu laka su  $r = -0.97$  za sjaj u odnosu na količinu laka i  $r = -0.99$ . Korelacija između površinske hrapavosti i nanosa laka je bila  $r = -0.99$  što je velika korelacija između količine nanetog mat vododisperzivnog laka i površinske hrapavosti.

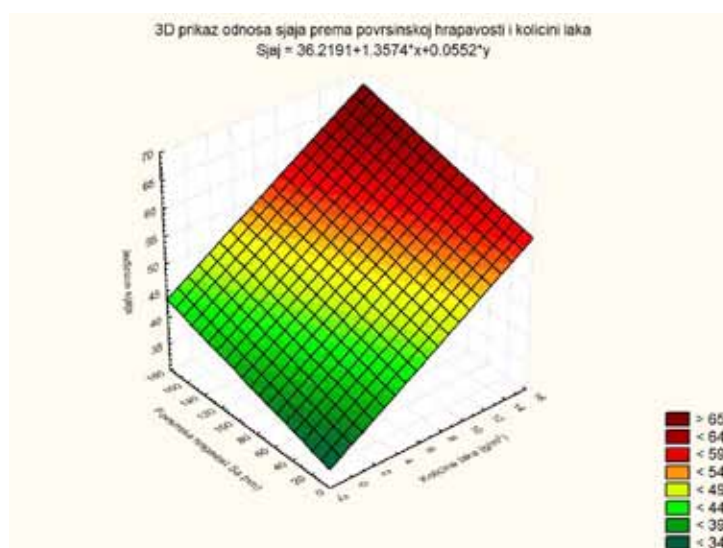
Na slici 124. je prikazan međuodnos između sjaja hibridnih boja i nanete količine UV laka u pogledu sjaja, i površinske hrapavosti.



Slika 124. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za hibridne boje oplemenjene sa sjajnim UV lakom sa dva nanosa

Na osnovu slike 124. se može videti da sa porastom nanosa količine UV laka dolazi do linearnog smanjivanja površinske hrapavosti i rasta vrednosti jedinica sjaja. Međukorelacioni faktor odnosa sjaja i količine laka je  $r = 0.95$ , dok je korelacioni faktor sjaj i površinske hrapavosti  $r = -0.91$ . Oba faktora pokazuju visoki stepen linearne korelacije. Korelacija između količine UV laka i površinske hrapavosti površine otiska je bila  $-0.78$  što je niža vrednost od korelacije sjaja sa ta dva parametra.

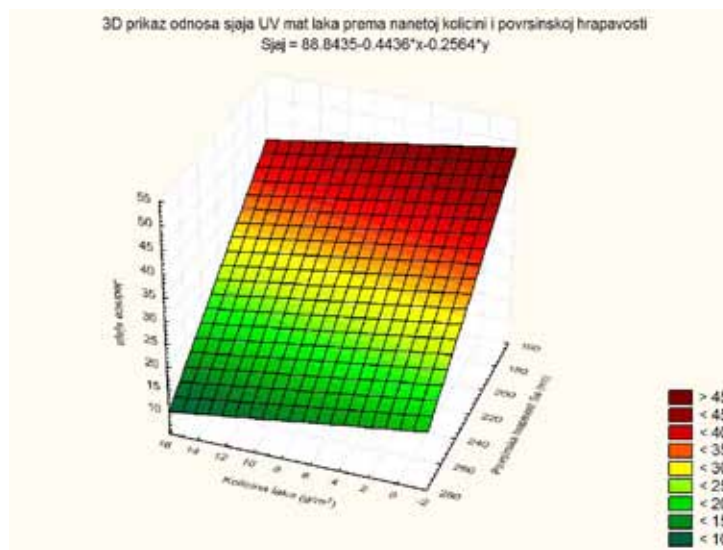
Sledeći uzorak za koji je urađena međuanaliza geometrijskih veličina i nanetog laka je bio premazni karton koji je bio oplemenjen sa tri različite količine UV sjajnog laka. Prikaz međuzavisnosti je dat na slici 125.



Slika 125. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za UV na premaznom kartonu oplemenjene sa sjajnim UV lakom sa tri nanosa

Korelacija između sjaja UV lakova i njihovih nanosa iznosi  $r = 0.96$ , dok odnos sjaja i površinske hrapavosti je određen korelacionim faktorom  $r = -0.81$  što je niža vrednost nego odnosa sjaja i količine, kao i odnosa sjajnih vododisperzivnih lakova sa hrapavošću papira. Na osnovu slike 125. i faktora korelacija vidi se da postoji jaka korelacija između nanosa laka i porasta vrednosti sjaja, dok je ta korelacija između smanjivanja površinske hrapavosti i povećana sjaja nešto niža. Korelacija između količine laka i površinske hrapavosti je iznosila  $r = -0.94$  tj. sa nanošenjem veće količine laka dolazi do linearnog smanjivanja površinske hrapavosti.

Na slici 126. je prikazana korelacija između izmerenih vrednosti sjaja, površinske hrapavosti kao i količine naneto laka za premazni karton sa mat UV lakom u tri varirane količine.

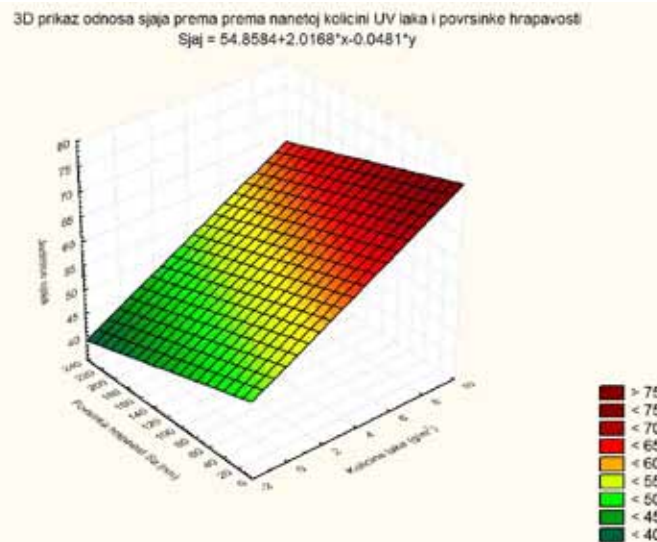


Slika 126. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za premazni karton sa UV bojom oplemenjen sa UV mat lakom sa tri nanosa

Izračunavanje korelacija između faktora je su dali vrednosti  $r = -0.67$  za međuodnos sjaja i porasta količine laka, dok je međuodnos sjaja i površinske hrapavosti iznosio  $r = -0.97$ . Međuodnos površinske hrapavosti i količine naneto laka je iznosila 0.52. Niži koeficijenti korelacije su rezultat inicijalnog pada sjaja sa nenetom količinom mat laka koje je praćeno i sa povećanjem površinske hrapavosti  $S_a$ . Dodatnim nanosom laka dolazi do snižavanja površinske hrapavosti i porasta vrednosti sjaja, u linearno maniru. Ako se izumu inicijalne vrednosti za odštampani neoplemenjeni uzorak i urade se korelacije samo za oplemenjen površine dolazi se do vrednost  $r = 0.98$  za međuodnos sjaja i količine laka,  $r = -0.94$  za sjaj i hrapavost, kao i  $r = -0.98$  za odnos količine laka i površinske hrapavosti. Na osnovu ovih rezultata se može videti da nanošenjem veće količine UV mat laka dolazi sa nanosom raste količina sjaja, sa rastom sjaja dolazi do pada hrapavosti, i da sa nanosom veće količine laka dolazi do smanjivanja hrapavosti površina oplemenjenih uzoraka.



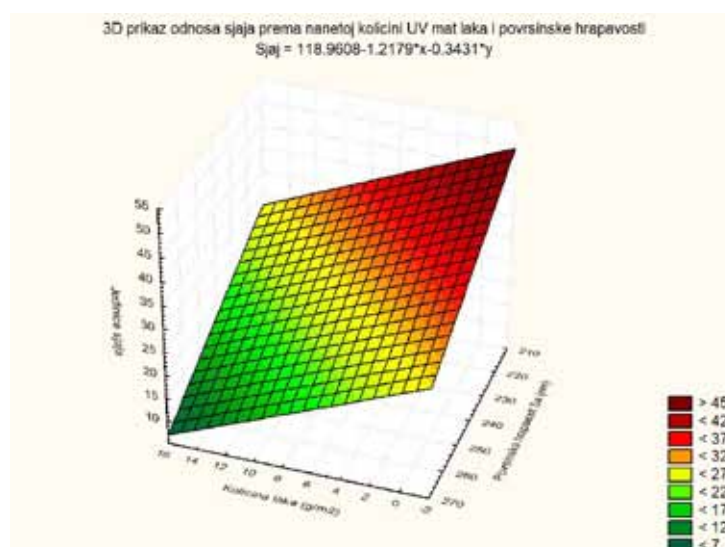
Na slici 127. je prikazana korelacija sjaja, površinske hrapavosti i količine nanosa laka za sjajni premazni papir štampan sa UV bojom i oplemenjen sa sjajnim UV lakom pomoću tri



Slika 127. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV sjajnim lakom sa tri nanosa

Na osnovu slike 127. i izračunatih korelacija se može videti veoma visoka linearna zavisnost između pojedinačnih faktora. Sjaj u korelaciji sa količinom nanetog laka je dao faktor korelacije  $r$  od 0.96 (sa porastom količine laka raste linearno i vrednost jedinica sjaja), dok je korelacija između sjaja i površinske hrapavosti izračunata vrednost -0.94 (sa porastom sjaja dolazi do smanjivanja površinske hrapavosti). Međuodnos količine nanetog UV sjajnog laka i smanjivanja površinske hrapavosti  $S_a$  je dalo vrednot od  $r = -0.88$ .

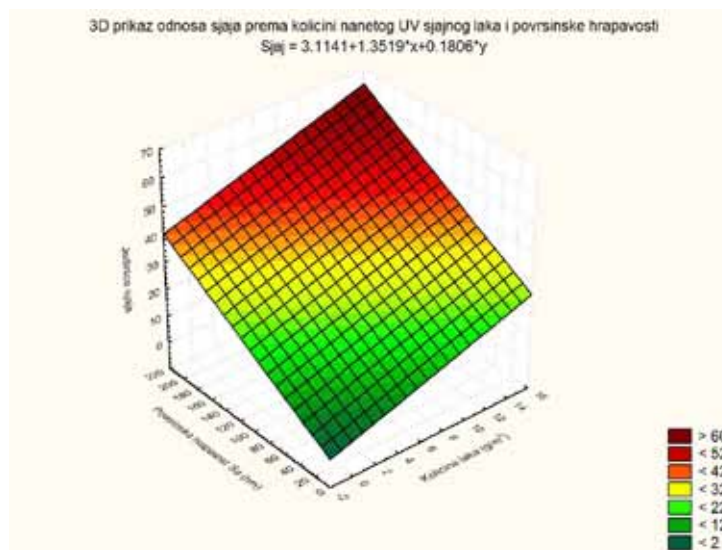
Na slici 128. je prikazan međusobni odnos istih faktora, kao i otiska na sjajnom premaznom papiru ali koji je bio oplemenjen sa UV mat lakom u tri količine.



Slika 128. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV mat lakom sa tri nanosa

Izračunate vrednosti korelacije pokauju nisku vrednost koeficijenta korelacije za sve faktore. Međuodnos sjaja i nanete količine laka je  $r = -0.77$ , korelacija odnosa laka i površinske hrapavosti  $r = -0.75$ , dok među odnos između količine laka i hrapavosti je dala vrednost  $r = 0.21$ . Ako se oduzme prva vrednost (otisak bez oplemenjivanja) da se proveri ponašanje isključivo na oplemenjenim površinama dobijaju se mnogo više korelacije  $r = 0.99$  za rast sjaja sa povećanjem količine nanetog laka  $r = -0.93$  za odnosa sjaja i hrapavosti (sa porastom sjaja dolazi do smanjivanja hrapavosti), i  $r = -0.95$  za odnos hrapavosti i količine nanetog laka.

Na slici 129. je prikazan međuodnos sjaja, površinske hrapavosti i količine laka na mat premaznom papiru štampanom sa UV bojom i oplemenjenim sa tri sita i UV sjajnim lakom.



Slika 129. Međuzavisnost sjaja, površinske hrapavosti i količine laka za mat premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV sjajnim lakom sa tri nanosa

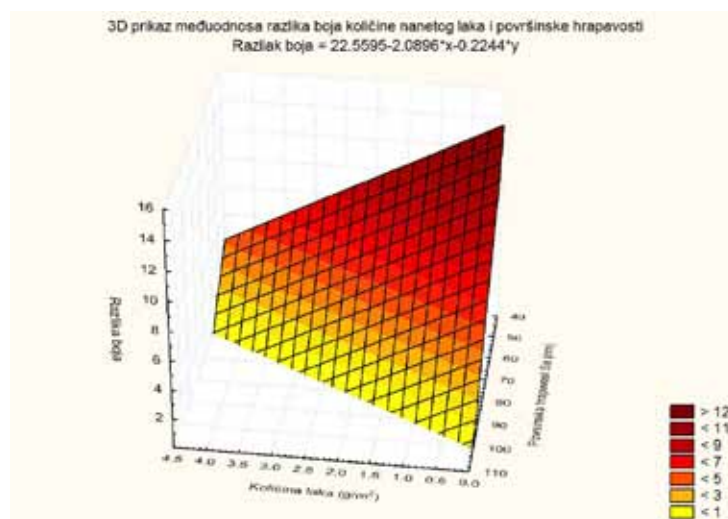
Izračunata korelacija za ove uzork je bio  $r = -0.59$  za međuodnos količine laka i jedinice sjaja, i  $r = 0.90$  za međuodnos sjaja i površinske hrapavosti. Faktor korelacije količine laka i površinske hrapavosti je bio  $r = -0.88$ . Na osnovu ovih korelacija vidimo da količina laka ne daje visoku vrednost linearnog porasta sjajnog UV laka na mat papiru, dok je za sjaj i površinsku hrapavost je korelacija mnogo viša, ali manja u odnosu na druge površine oplemenje sa UV sjajnim lakom.

Analiza mat laka na mat papiru nije rađena zbog nemogućnosti merenja vrednosti hrapavosti na uzorku koji je bio oplemenjen sa sitom od  $180L/cm^2$ .

## 8.4.2. ANALIZA I DISKUSIJA HROMATSKIH OSOBINA MATERIJALA

Nakon analize sjaja urađena je analiza korelacije razlika boja, nanete količine laka i površinske hrapavosti. Iako razlike između pojedinačnih boja variraju, za izvođenje korelacije su uzete slično kao kod sjaja prosečna vrednost sve četiri procesne boje radi dobijanja srednje vrednosti za dati nanos, i radi dobijanja jasnije slike o globalnoj tendenciji promene te veličine u odnosu na druge faktore.

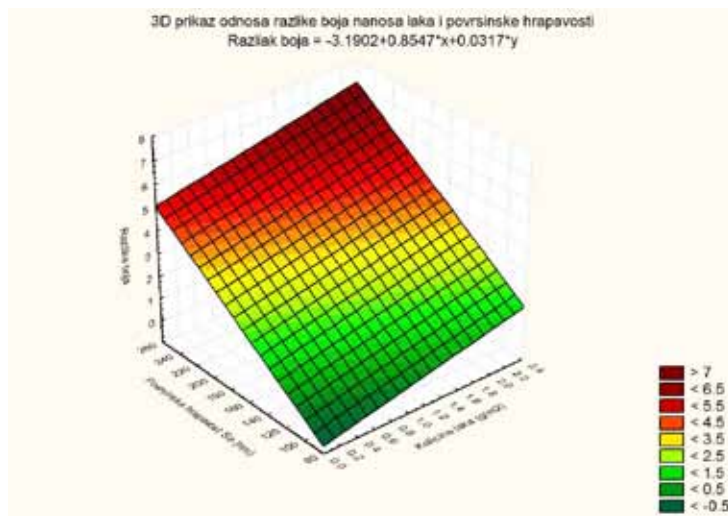
Na slici 130. je prikazana korelacija razlika boja, količine nanetog laka i površinske hrapavosti za otiske sa konvencionalnom bojom koje su oplemenje sa sjajnim vododisperzivnim lakom.



Slika 130. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa konvencionalnim bojama oplemenjen sa sjajnim vododisperzivnim lakom sa dva nanosa

Pri linearnoj korelaciji međudnosa razlika boja i količine nanetog laka je dobijen koeficijent  $r$  od 0.89, a za korelaciju razlika boja i površinske hrapavosti -0.95. Ovo ukazuje da postoji tendencija porasta razlika boja sa nanosom sjajnog vododisperzivnog laka i jača korelacija promene razlika boja sa promenom hrapavosti, tj. sa smanjivanjem vrednosti hrapavosti dolazi do rasta razlika boja.

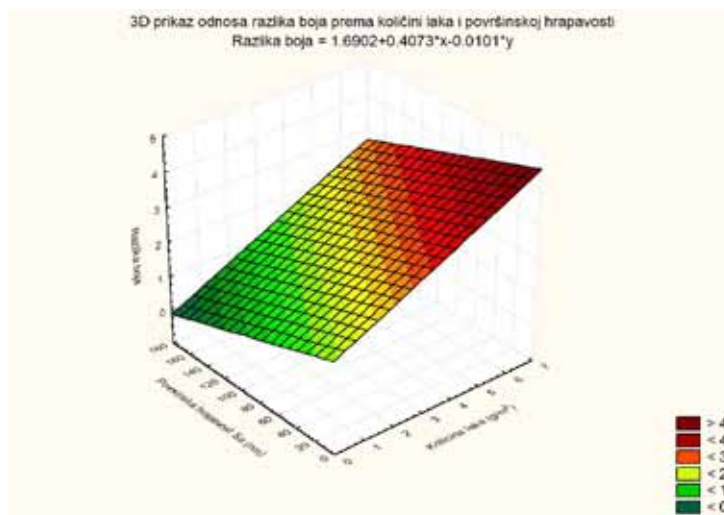
Na slici 131. je prikazana ista korelacija faktora za dva nanosa mat vododisperzivnog laka.



Slika 131. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa konvencionalnim bojama oplemenjen sa mat vododisperzivnim lakom sa dva nanosa

Faktori korelacije za međuodnos razlike boja u odnosu na količinu laka je za linearnu korelaciju dala faktor  $r = 0.96$ , za odnos razlike boja i površinske hrapavosti  $r = 0.99$ . Ovi rezultati ukazuju da postoji linearna tendencija sa porastom razlike boje i sa porastom količine laka i sa porastom površinske hrapavosti pri oplemenjivanju sa mat vododisperzivnim lakom.

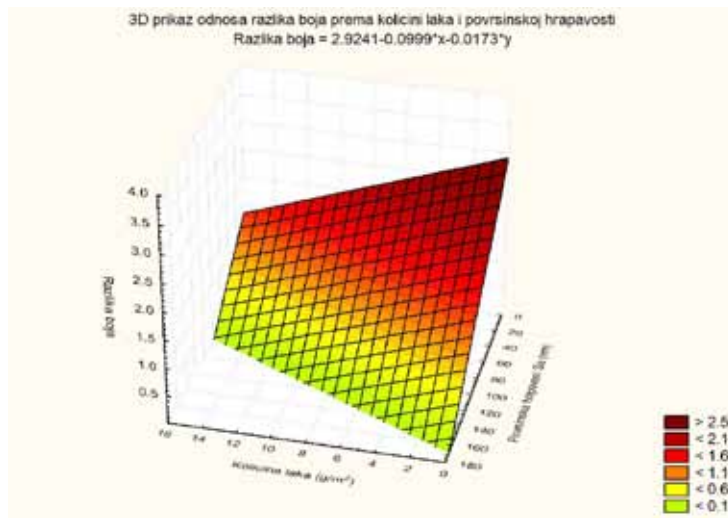
Na slici 132. su prikazane vrednosti međuodnosa srednje razlike boja, količine laka i površinske hrapavosti.



Slika 132. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa hibridnim bojama oplemenjen sa UV sjajnim lakom sa dva nanosa

Izračunati faktori korelacije za linearnu međuzavisnost razlike boja i količine nanetog laka je dala vrednost  $r = 0.97$  (sa rastom količine raste i razlika boja), dok je linearni međuodnos vrednosti razlika boja i površinske hrapavosti imao koeficijent korelacije od  $r = -0.91$ . Međuodnos pokazuje da postoji relativno linearna zavisnost između hrapavosti i promene u razlici boja (gde sa smanjivanjem hrapavosti dolazi do rasta razlike boja).

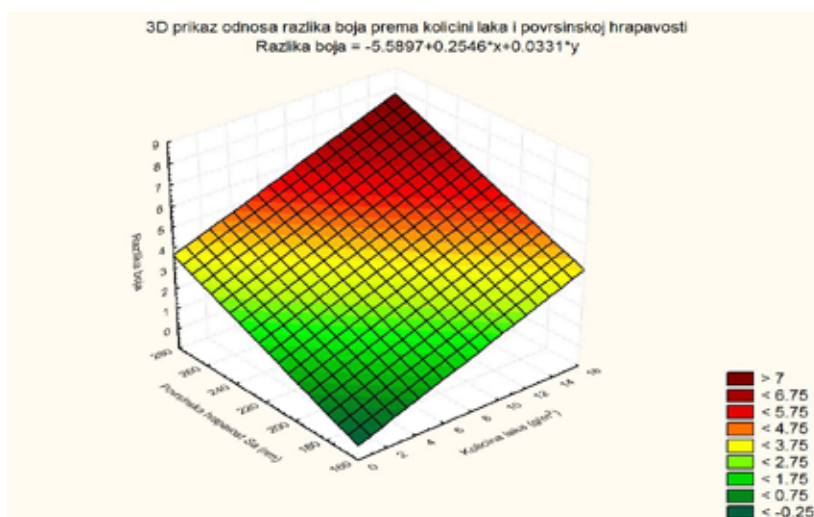
Na slici 133. je dat prikaz međuzavisnosti razlike boja, količine laka i površinske hrapavosti za premazni karton štampan sa UV bojama i oplemenjen sa sjajnim UV lakom.



Slika 133. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za premazni karton sa UV bojama oplemenjen sa sjajnim UV lakom sa tri nanosa

Za međuodnos razlike boja i količine nanetog sjajnog UV laka dobijen je korelacioni faktor (za linearni analizu) od 0.79, dok za međuodnos razlike boja i površinske hrapavosti -0.95. Na osnovu ovih podataka se može prepostaviti da sa porastom količine laka ne dolazi u velikoj linearnoj korelaciji do promene razlike boja, dok je ta tendencija primetna ali u obrnutom smeru gde se sa smanjivanjem površinske hrapavosti smanjuje i razlika boja.

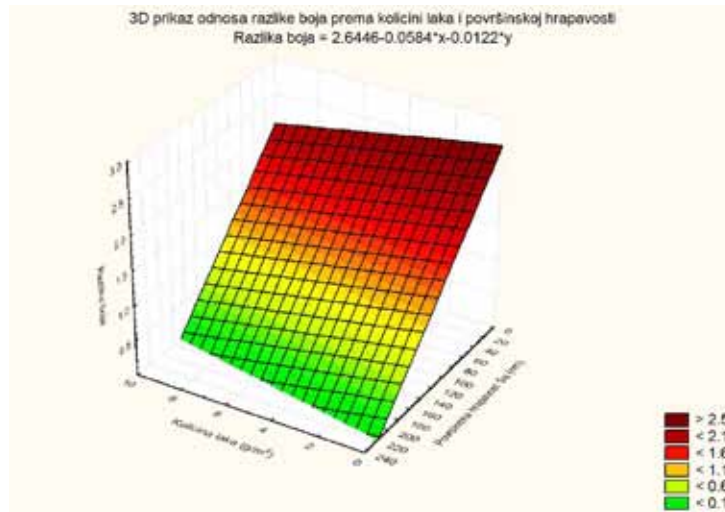
Na slici 134. je prikazana analiza istog substrata ali oplemenjenog sa UV mat lakom.



Slika 134. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za premazni karton sa UV bojama oplemenjen sa mat UV lakom sa tri nanosa

Izračunati koeficijenti su bili  $r = 0.89$  za odnos razlike boja i količine nanetog laka (porast razlike sa porastom količine), i  $r = 0.84$  za odnos razlike boje sa porastom hrapavosti površine.

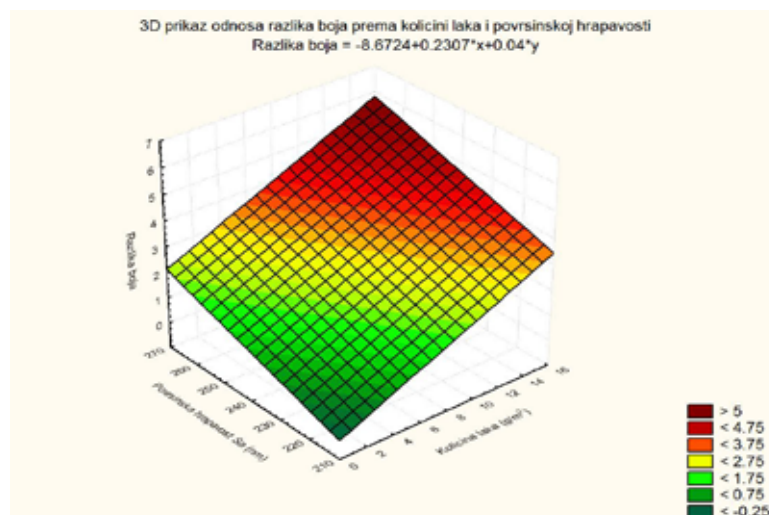
Sledeći uzorci su bili sjajni premazni papiri koji su štampani sa UV bojama i koji su bili oplemenjeni sa sjajnim UV lakom korišćenjem tri tkanja sita. na slici 135. je prikazan međuodnos razlike boja, količini nanetog UV sjajnog laka i površinske hrapavosti materijala.



Slika 135 Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV sjajnim lakom sa tri nanosa

Izračunate vrednosti dobijene za linearno upoređivanje međuodnosa između varijabilnih faktora je dobijena vrednost od  $r = 0.83$  za odnos razlike boja i nanete količine laka, i  $r = -0.99$  za odnos površinske hrapavosti i razlike boja. Razlika boja se nije toliko menjala sa količinom nanetog laka već se sa smanjivanjem površinske hrapavosti dolazilo do veće promene u razlici boja.

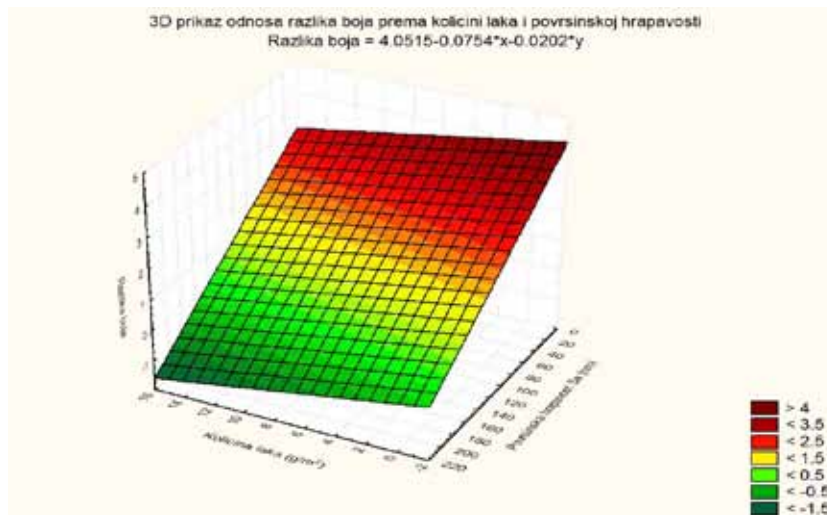
Za isti uzorke su testirani i otisci sa UV mat lakom, koji su prikazani na slici 136.



Slika 136. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za sjajni premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV mat lakom sa tri nanosa

Na osnovu analize vrednosti sa slike 136. izračunati su koeficijenti korelacije koji su iznosili  $r = 0.87$  za odnos razlike boja i količine nanetog laka, dok je međuodnos razlike boja i površinske hrapavosti dao vrednost  $r = 0.62$  što ukazuje da ne postoji linearna međuzavisnost između te dve vrednosti.

Na slici 137. je predstavljena analiza urađena na mat papiru štampanog sa UV bojama i oplemenjenog sa UV sjajnim lakom pomoću tri linijature sita.



Slika 137. Međuzavisnost razlike boja, površinske hrapavosti i količine laka za mat premazni papir sa UV bojama oplemenjen sa UV sjajnim lakom sa tri nanosa

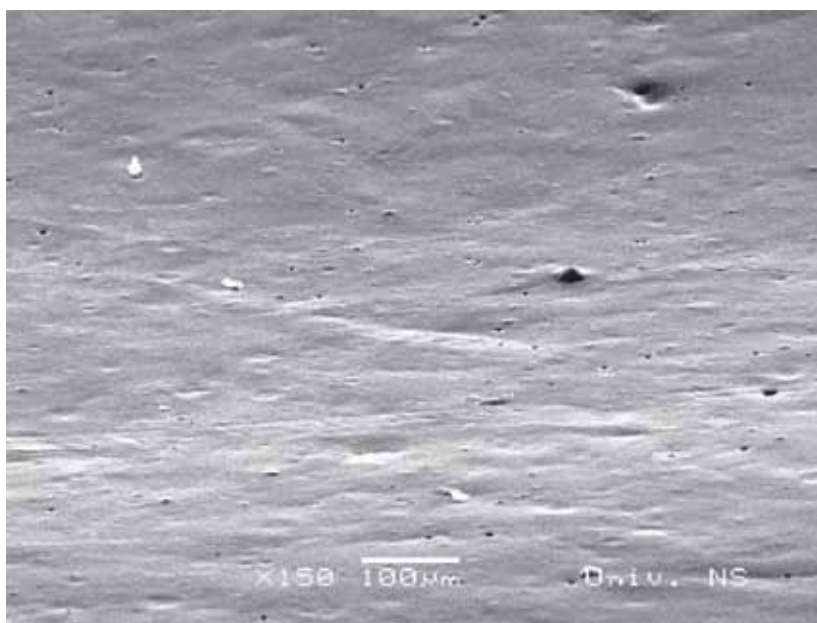
Koeficijenti korelacije za odnos razlike boja i količine nanetog laka je bio  $r = 0.79$ , što nije visoka vrednost korelacije za linearni odnos i  $r = -0.97$  za odnos razlike boja i površinske hrapavosti. Ovaj koeficijent pokazuje da sa smanjivanjem hrapavosti dolazi do smanjivanja razlike boja.

## 9. KVALITATIVNA ANALIZA OPLEMENJENIH POVRŠINA

U cilju što tačnijeg određivanja uticaja sredstava i njihove količine na promenu mikro topografije pored kvantitativne analize putem AFM skenirajućeg mikroskopa urađena je i SEM (eng. Scanning Electron Microscope) analiza ispitivanih površina. Cilj snimanja preseka otiska je da se pokušaju uočiti i analizirati eventualne nastale promene usled prodiranja materijala za oplemenjivanje u površinu. Mikroskopska analiza otisaka je rađena na JEOL 646OLV elektronskom mikroskopu. Svi uzorci su bili pravilno pripremljeni za analizu i snimljeni su iz više uglova i stepena povećanja radi preciznije kvalitativne analize.

### 9.1. ANALIZA I DISKUSIJA OPLEMENJENIH POVRŠINA

Na osnovu slika 138. i 139. koje prikazuju uzorke oplemenjene sa sjajnim vododisperzivnim lakom se može primetiti da je površina ujednačena sa manjim nepravilnosti u obliku čestica, manjih ulegnuća. Između dva uzorka nije vidljiva veća razlika, niti je sama struktura papira i boje koja se nalazi ispod ovih slojeva papira primetna.



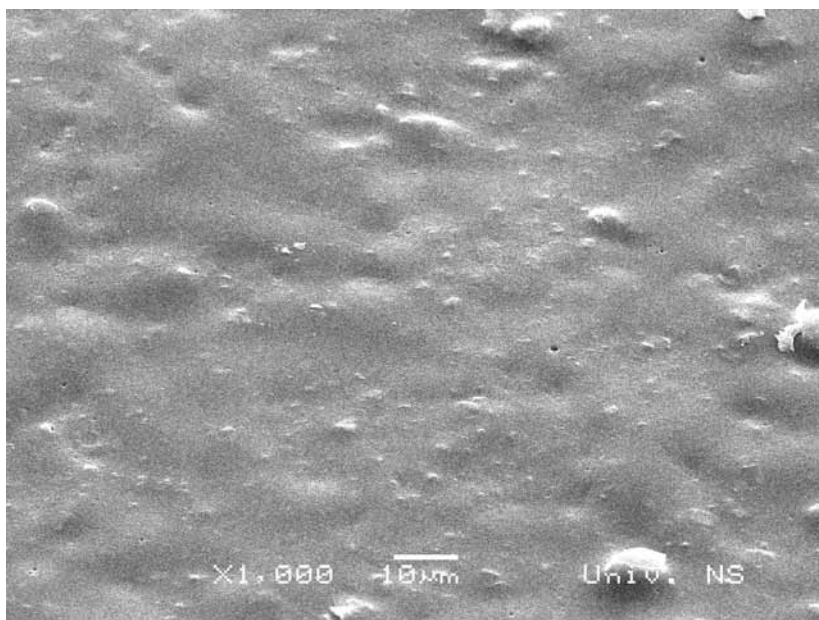
*Slika 138. Uzorak sjajno premaznog papira oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom korišćenjem aniloks valjka od 90L/cm*



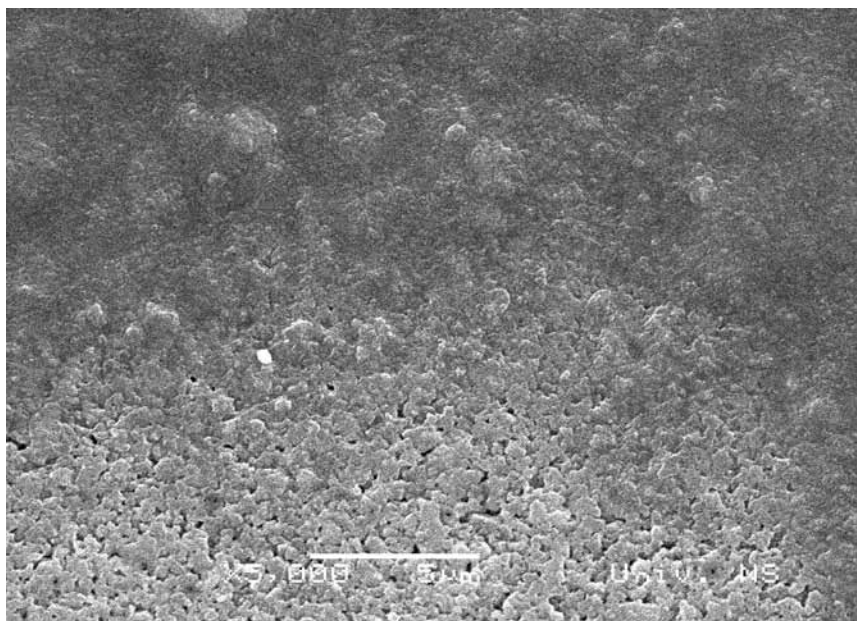


*Slika 139. Uzorak sjajno premaznog papira oplemenjenog sa sjajnim vododisperzivnim lakom korišćenjem aniloks valjka od 90L/cm*

Prikaz hibridne boje štampane na sjajni premazni papir je prikazano na slici 140. Kao što se može primetiti i nakon nanošenja hibridne štamaprskе boje se zadržavaju određene nepravilnosti na površini šta je i potvrđeno sa merenjem na AFM-u gde su otisci hibridne boje imali polaznu veću hrpavaost nego otisci sa konvencionalnim bojama na istom substratu. Na slici 141. je prikazan međuprelaz između hibridne boje i sjajni premaznog papira.

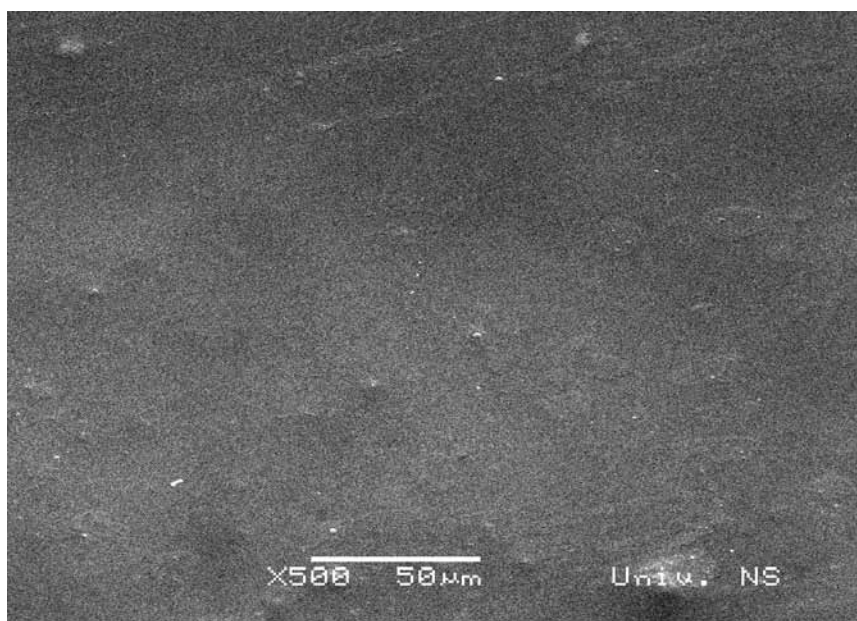


*Slika 140. Uzorak odštampane površine sa hibridnom bojom pre nanošenja sredstva za oplemenjivanje.*

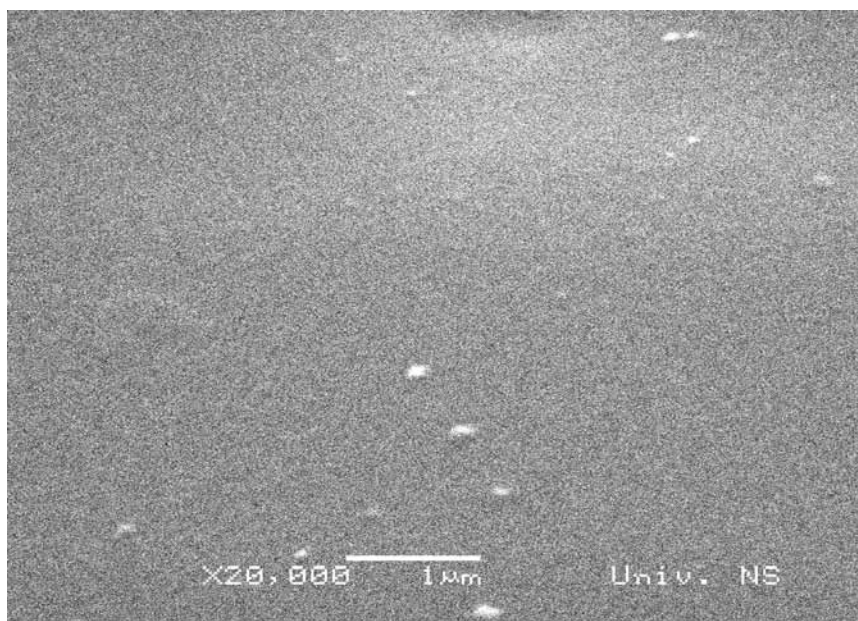


*Slika 141. Uzorak između hibridne boje i sjajno premaznog papira*

Na osnovu slike 141. se može primetiti posmatranjem prelaza između hibridne štamparske boje i sjajnog premaznog papira da pored teksturirane površine papira, nakon nanošenja štamparske boje dolazi do prekrivanja te teksture, ali i do pojave malo većih nepravilnih regiona na površinama pokrivenim sa bojama. Nakon nanošenja sredstava za oplemenjivanje u konkretnom slučaju UV sjajnog laka dolazi do poravnavanja površine gde se ispod sloja laka gubi tekstura papira i nepravilnosti primećene kod površina sa štamparskom bojom. Na slici 142. je prikazana površina za čije je oplemenjivanje korišćen aniloks valjak od 90L/cm a na slici 143. otisak koji je oplemenjen sa aniloks valjkom od 60L/cm i većom količinom UV sjajnog laka.

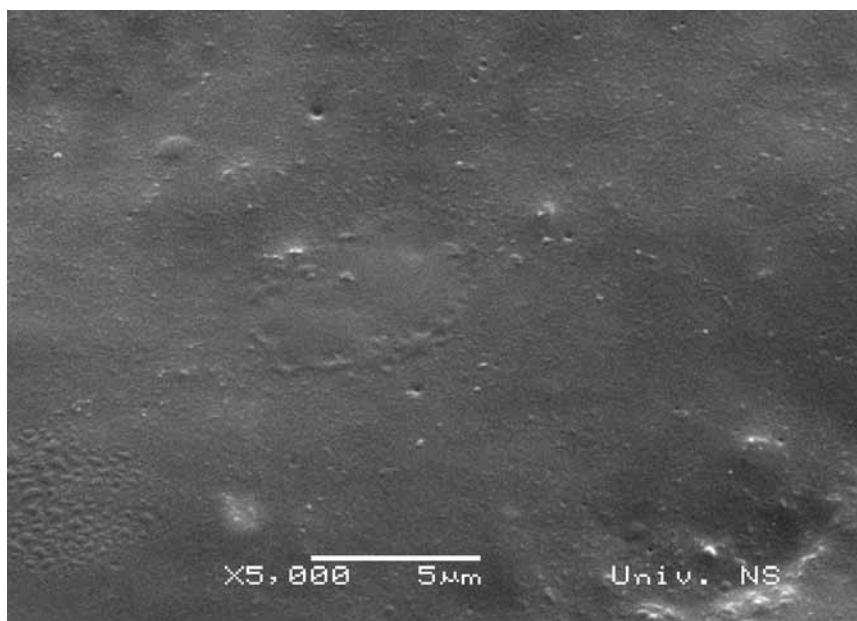


*Slika 142. Uzorak između hibridne boje i sjajnog UV laka dobijen aniloks valjkom od 90L/cm*

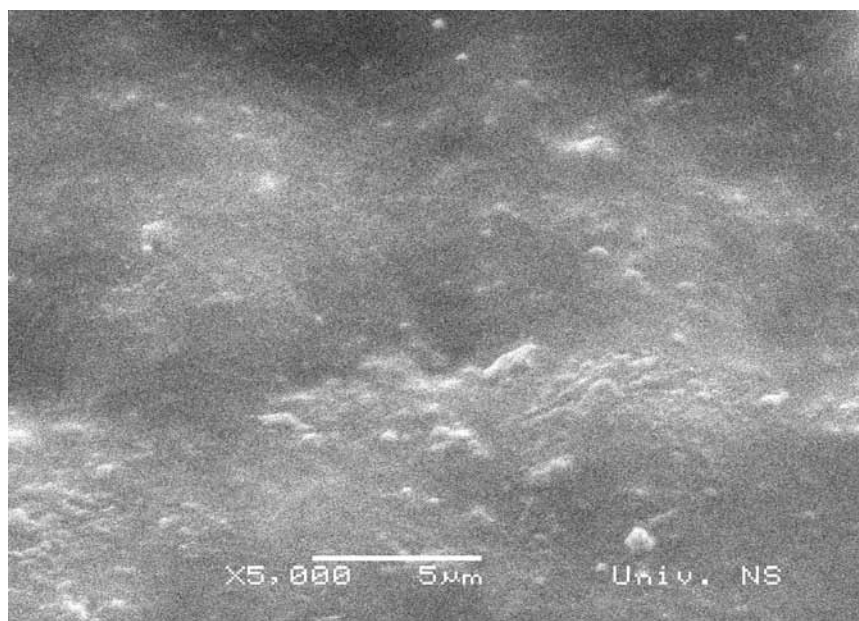


*Slika 143. Uzorak između hibridne boje i sjajnog UV laka dobijen aniloks valjkom od 60L/cm*

Uvid u formiranje oplemenjenog sloja u odnosu na štampani deo premaznog kartona je prikazano na slici 144. gde je primenjen sjajni UV lak korišćenjem sita sa tkanjem od 180 niti/cm. Na slici 145. se može videti da nanosom sjajnog laka dolazi do formiranja homogene površine koja je blago izdignuta u odnosu na neoplemenjenu površinu na površini, ali su vidljive neke manje nepravilnosti i tekstura samog kartona.

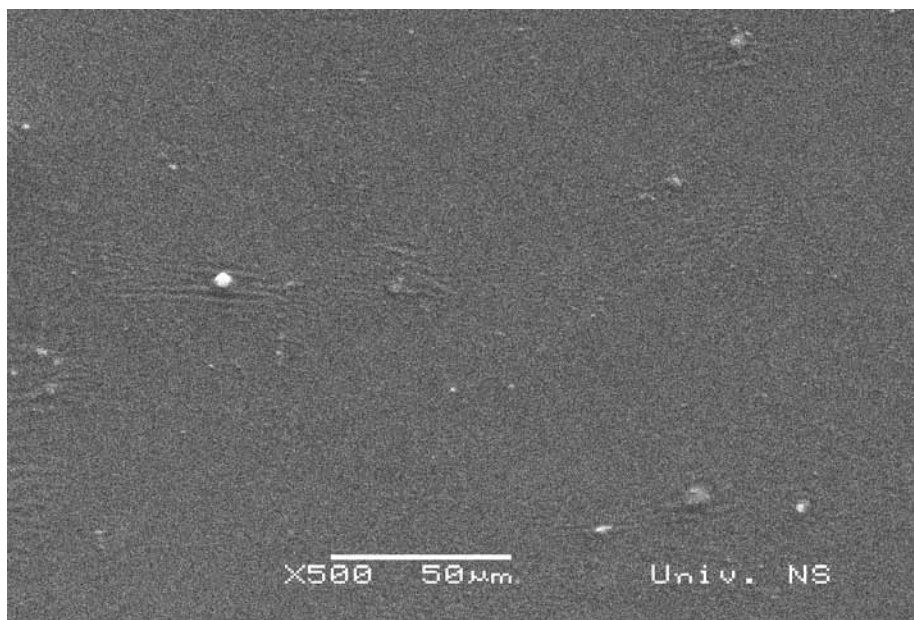


*Slika 144. Uzorak UV boje na premaznom kartonu*

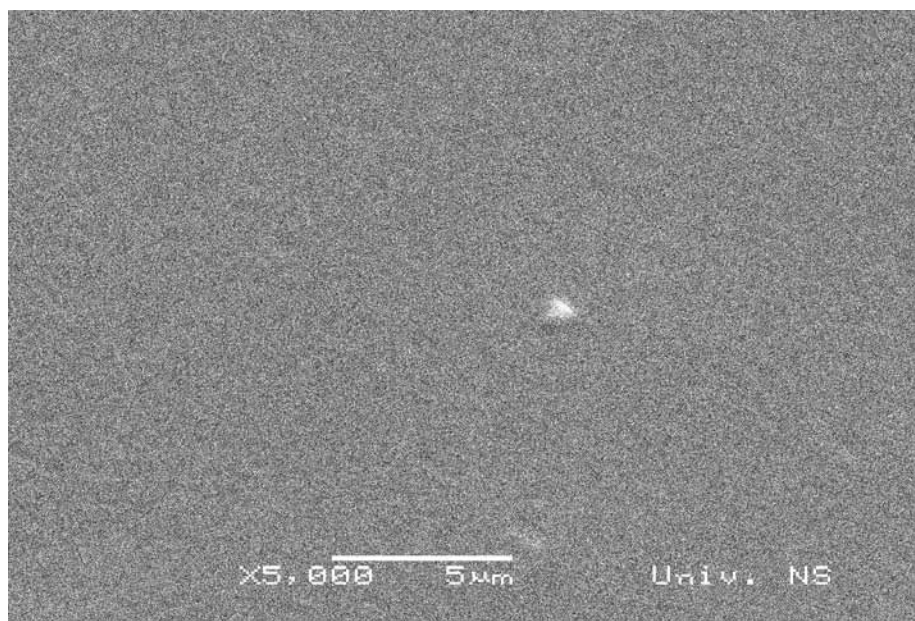


*Slika 145. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 180 niti/cm na UV boju na premaznom kartonu*

Sledeći veći nanos sjajnog UV laka preko papira korišćenjem sita sa tkanjem od 150 niti/cm je prikazano na slici 146. Na slici se vidi da pored sveukupnog izravnivanja dolazi i do pojave sporadičnih malih nepravilnosti ili boranja na površini. Sa druge strane kod površina koje su oplemenjene preko odštampane boje daju bolje poravnavanje sa manje nepravilnih površina.

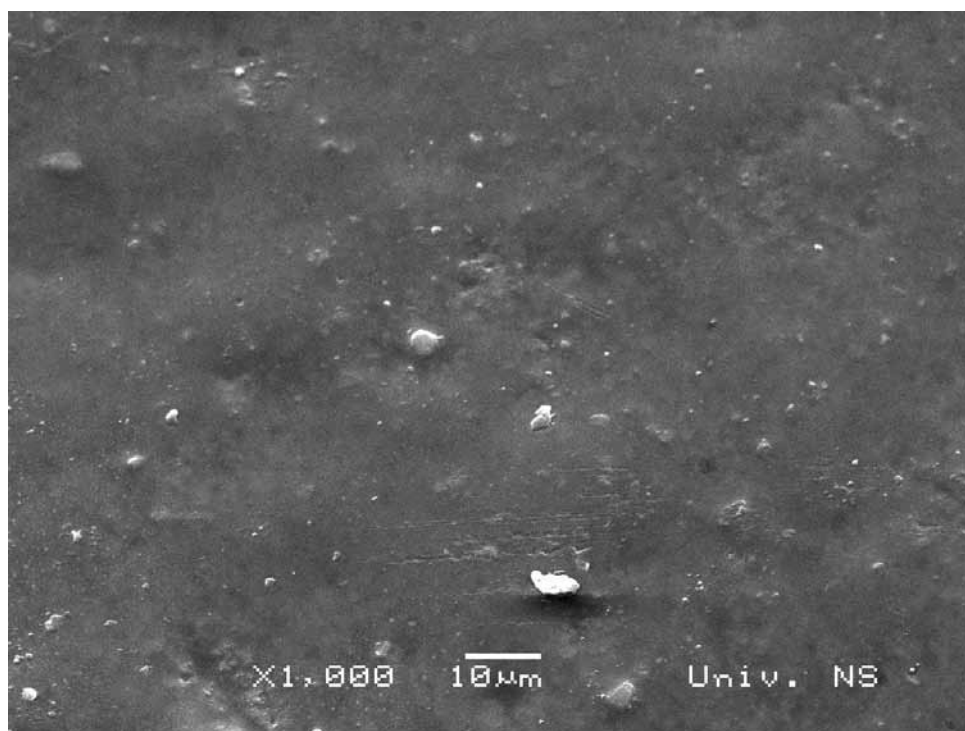


*Slika 146. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 150 niti/cm na površini bez UV boje*



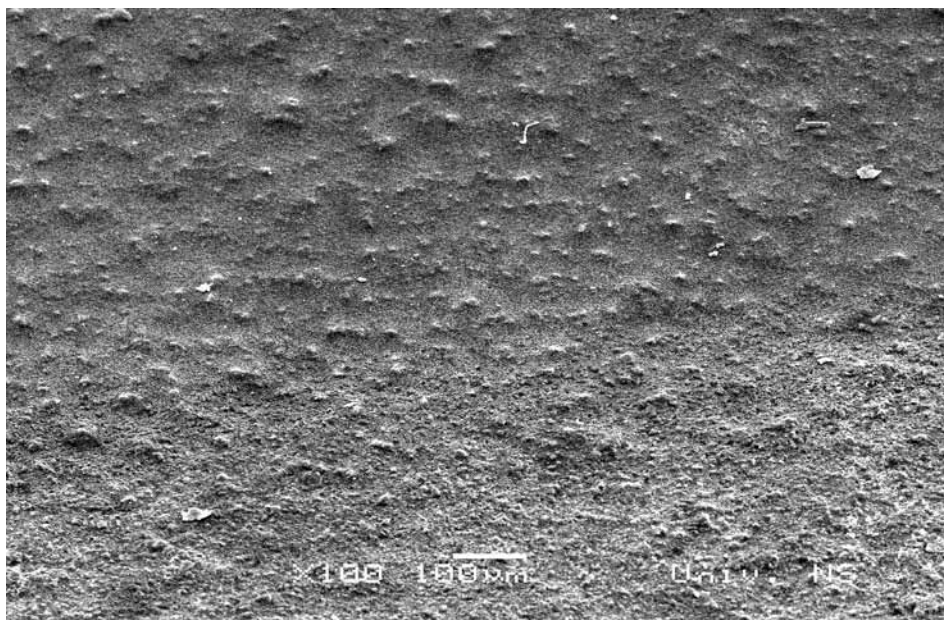
*Slika 147. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 150 niti/cm na površini sa UV bojom*

Pri nanosu najveće količine sjajnog laka na uzorke kao što je prikazano na slici 148. se može primetiti relativno homogena struktura sa određenim česticama koje narušavaju kompletnu homogenost ispitivane površine. Čestice na površini su uglavnom manje od 10 µm.



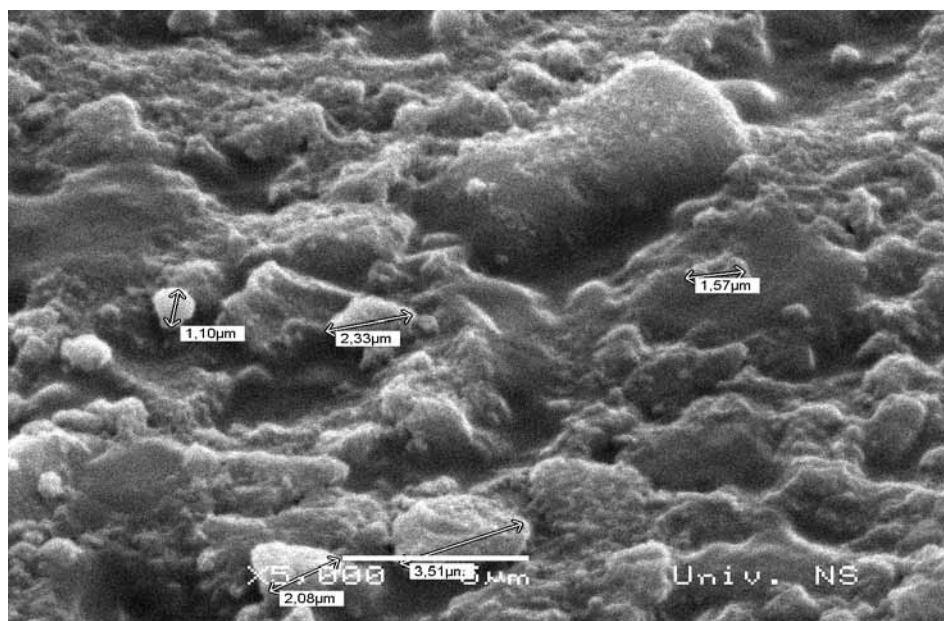
*Slika 148. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 120 niti/cm na površini sa UV bojom*

Premazni karton je bio oslojen i sa tri količine mat laka i te površine su prikazane na slikama 149., 150. i 151. Na osnovu snimaka se može primetiti da pojavljivanjem čestica koja su namenjene za difuzno rasipanje svetla dolazi do povećanja hrapavosti površina, kako na papiru bez boje i odštampanim površinama koje su oplemenjene sa mat lakom

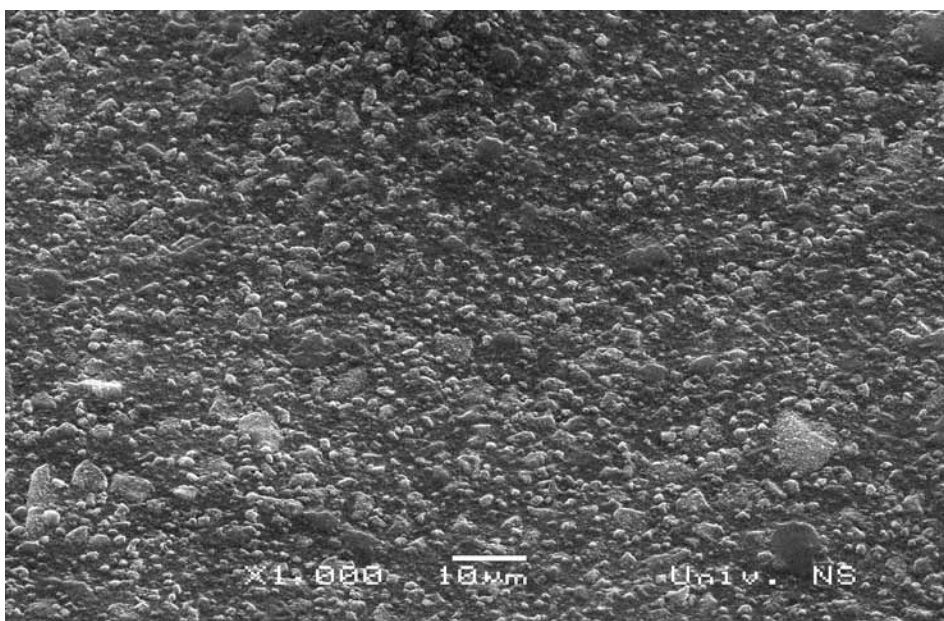


Slika 149. Uzorak UV mat laka nanetog sitom od 180 niti/cm nameđupovršinu između papira i UV boje

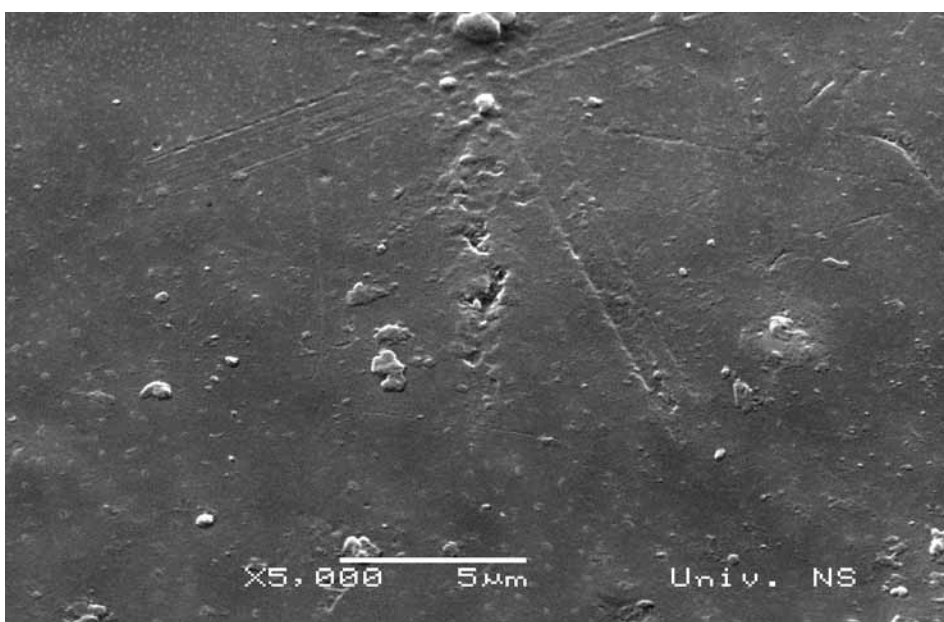
Na osnovu slike 149. se može primetiti da kod površina sa bojom dolazi do formiranja većih udubljenja i izdignuća u odnosu na papir gde mat lak stvara veoma grubu teksturiranu površinu. Na slici 150. su prikazane uvećane čestice koje su prisutne na uzorcima sa ovim nanosom UV mat laka.



Slika 150. Uvećanje čestica mat laka na površini UV boje



Slika 151. Uzorak UV mat laka nanetog sitom od 150 niti/cm nameđupovršinu između papira i UV boje

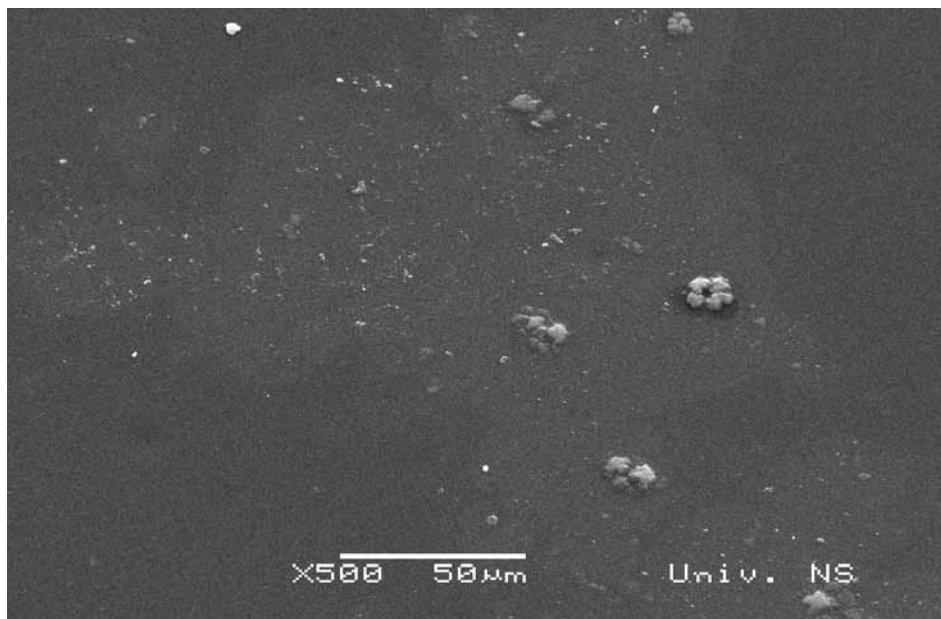


Slika 152. Uzorak UV mat laka nanetog sitom od 120 niti/cm nameđupovršinu između papira i UV boje

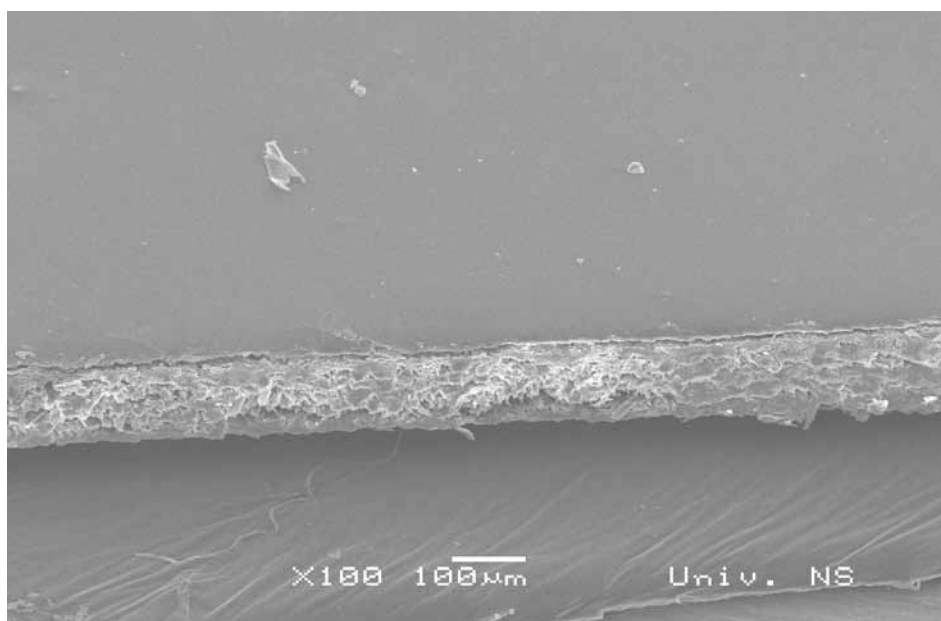
Na osnovu snimka uzorka na slici 152. se može primetiti da nanosom najveće količine UV mat laka dolazi do daljeg poravnavanja površina. Na površini su vidljive određene nepravilnosti, kao i čestice koje se nalaze vizuelno ispod sloja koji je izuzev čestica na površini dosta ujednačen i homogen. Pri ovom nanosu nisu primetne veće čestice koje su vidljive na otiscima koji su oplemenjeni sa mat lakom korišćenjem sita sa finijim tkanjem.

Sledeći uzorcima su bili sjajno premazni papiri koji su bili štampani sa UV bojama i oplemenjeni sa sjajnim UV lakom istom tehnikom i metodologijom kao i kod uzoraka premaznog kartona.

Na slici 153. je prikazan prelaz između boje i papira sa nanešenim lakom uz pomoć sita sa tkanjem od 180 niti/cm. Na slici se može primetiti ponovo slično kao i kod drugog substrata da nanošenjem čak i najmanje količine UV sjajnog laka dolazi do sveukupnog poravnavanja, sa izuzetkom nekoliko manjih čestica koje se nalaze na površini. Radi lakše analize nekoliko uzoraka je i zarotirano radi pokušavanja dobijanja trodimenzionalnog bočnog pogleda, koji bi olakšao kvalitativnu analizu. Na slici 154. je prikazan bočni pogled na presek sjajno premaznog papira oplemenjenog sa sjajnim UV lakom korišćenjem sita sa tkanjem od 180 niti/cm.

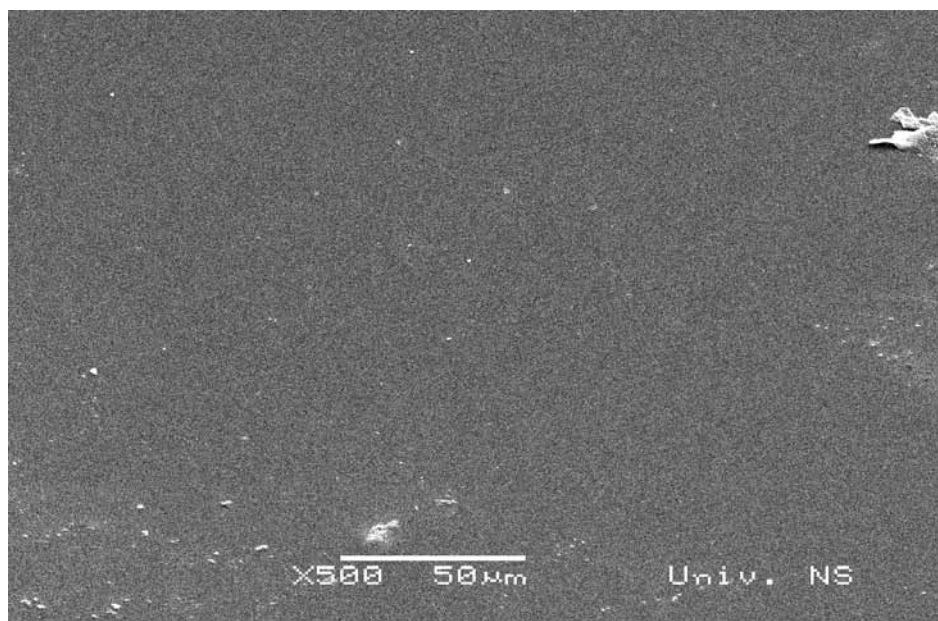


*Slika 153. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 180 niti/cm na međupovršinu između papira i UV boje*

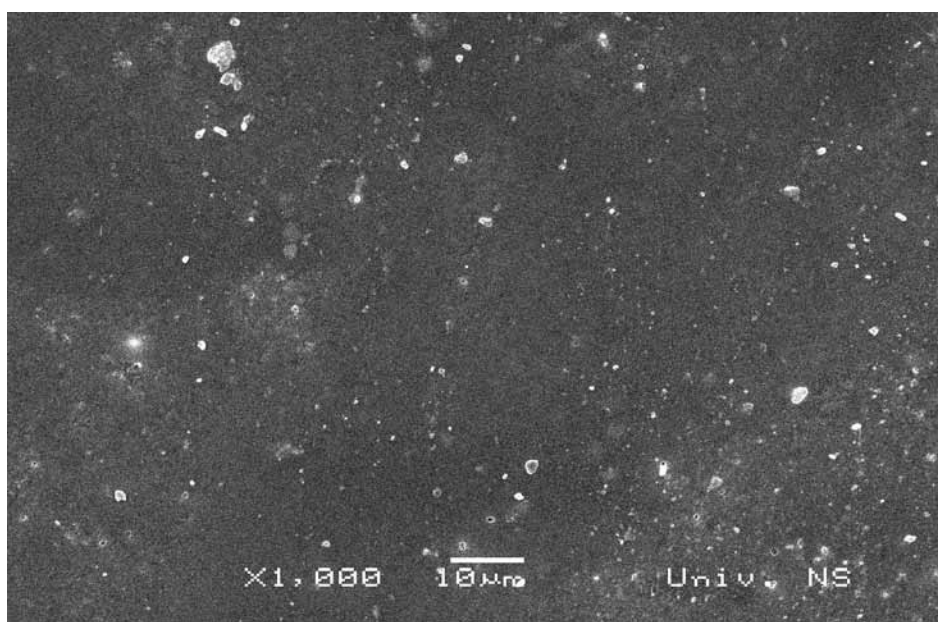


*Slika 154. Poprečni presek UV sjajnog laka na sjajno premaznom papiru*





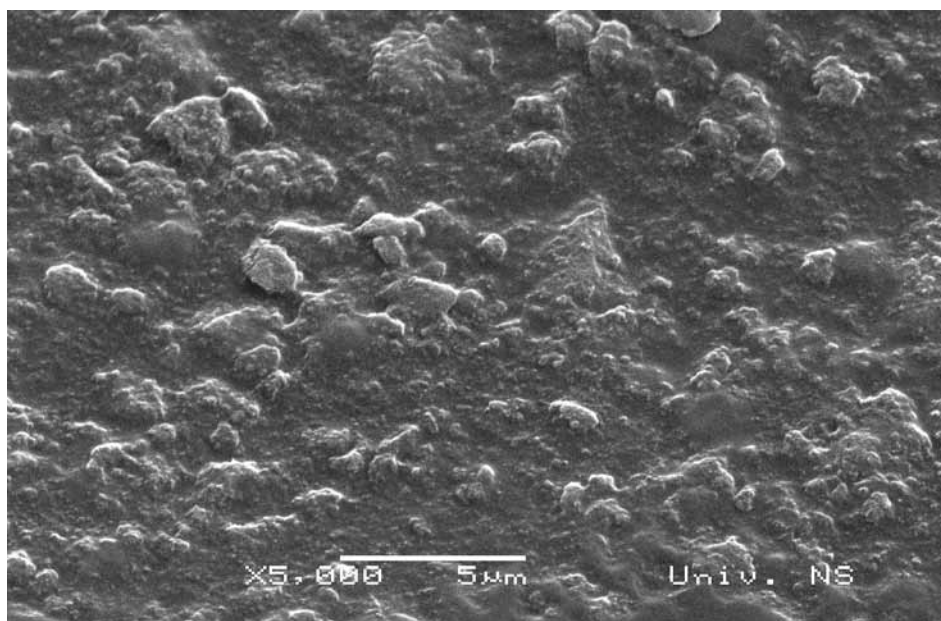
Slika 155. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 150 niti/cm preko UV boje na sjajno premaznom papiru



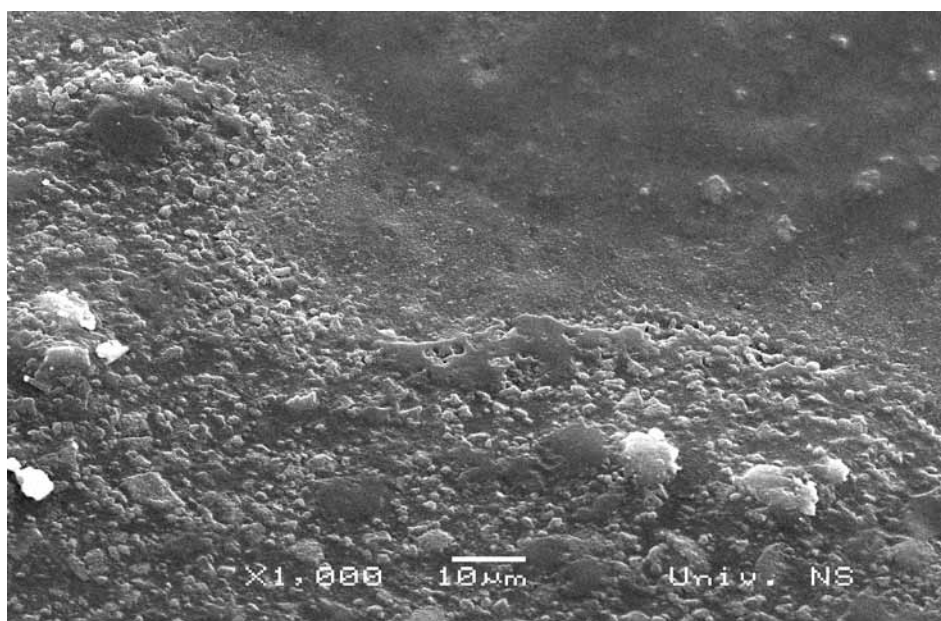
Slika 156. Uzorak UV sjajnog laka nanetog sitom od 120 niti/cm preko UV boje na sjajno premaznom papiru

Na osnovu slika sa većim nanosom sjajnog UV laka na sjajni premazni papir štampanim sa UV bojom se može videti slično poravnavanje površine kao i kod manjeg nanosa UV laka, sa komentarom da na snimku prikazanom na slici 156. su vidljivi određeni regioni sa akumulacijom čestica na površini.

Isti papir sa istom vrstom boja je oplemenjen i sa mat UV lakom, isto korišćenjem tri različita tkanja sita. Na slici 157. je prikazan snimak otiska sjajno premaznog papira sa najmanjom količinom nanetog UV mat laka na površinu.

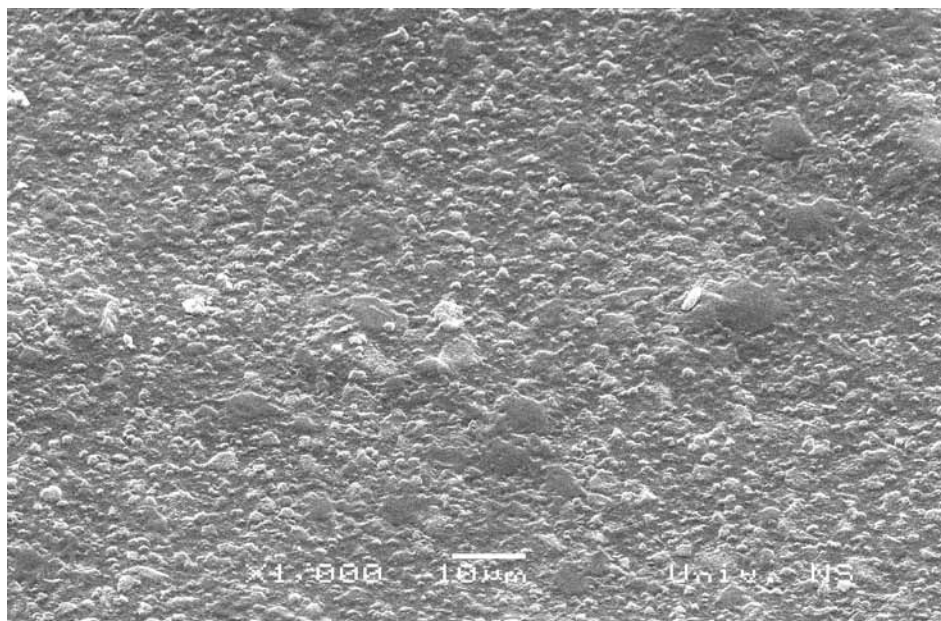


Slika 157. Uzorak UV mat laka nanetog sitom od 180 niti/cm preko UV boje na sjajno premaznom papiru

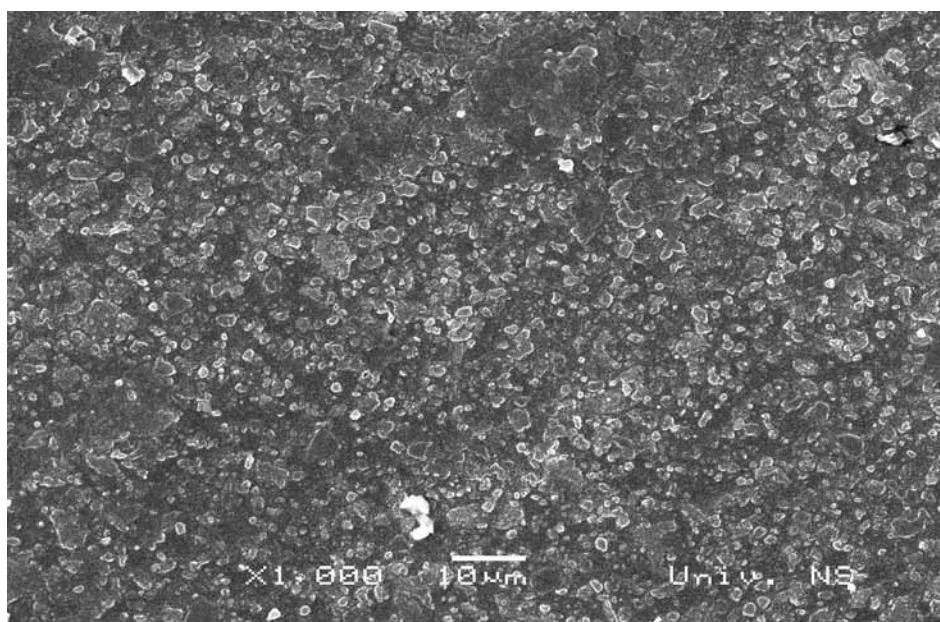


Slika 158. Prikaz prelaza sa boje na oplemenjenu površinu sa 180 niti/cm sitom na sjajno premaznom papiru

Na osnovu prikaza na slici 157. i 158. se može videti da aplikacijom mat premaznog laka na sjajni premazni papir dolazi do ponovnog pojavljivanja većih čestica ispod sloja laka, kao i očita razlika između dve granične površine sa i bez sredstva za oplemenjivanje. Sledeći nanosi od 150 niti/cm i 120 niti/cm su prikazani na slikama 159. i 160. Na osnovu slika se može videti da ranije viđeni međudelovi između određenih površina sa određenom koncentracijom čestica se sa nanošenjem veće količine laka polako popunjavaju i time stvaraju površinu sa manjim razlikama u celokupnoj teksturi, ali sa višestrukim manjim česticama koje su gusto raspoređene na površini.

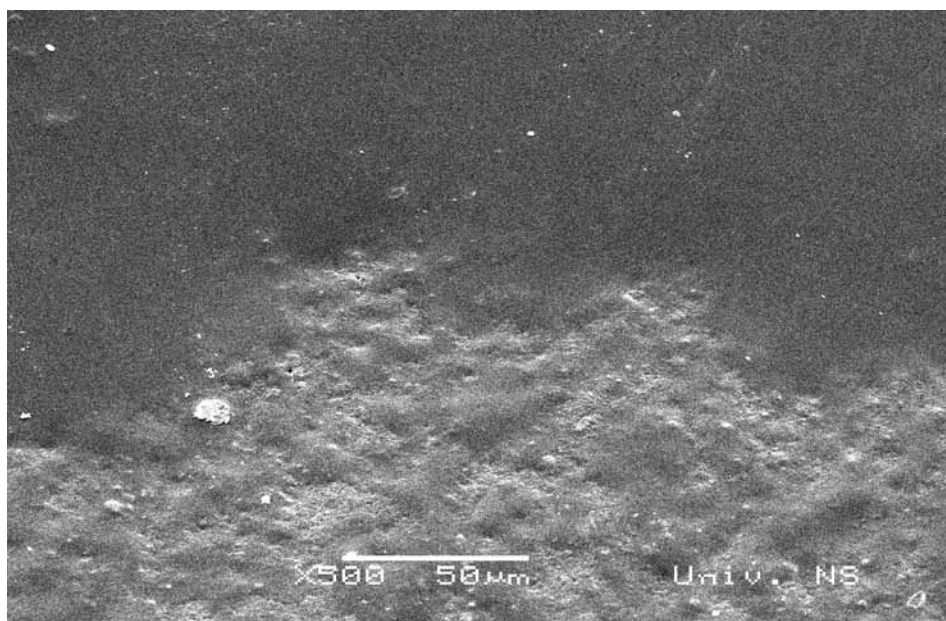


*Slika 159. Prikaz prelaza sa boje na oplemenjenu površinu sa 150 niti/cm sitom na sjajno premaznom papiru*

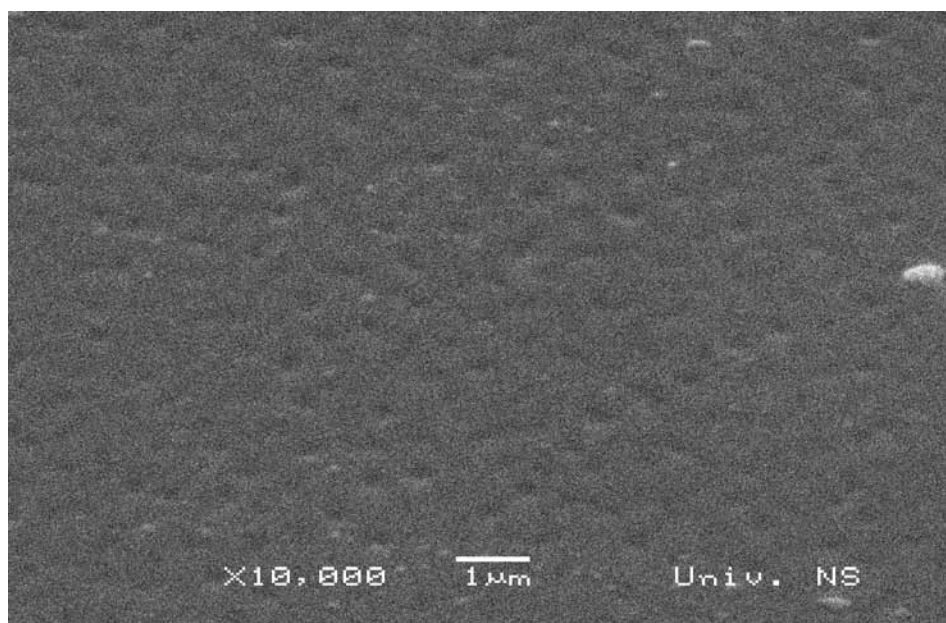


*Slika 160. Prikaz prelaza sa boje na oplemenjenu površinu sa 150 niti/cm sitom na sjajno premaznom papiru*

Sledeći uzorci za ispitivanje su bili štampani otisci sa UV bojama na mat premaznom papiru i oplemenjenim sa UV sjajnim lakom. Površinsku topografiju ovih usnimljenih uzoraka se može videti na slikama 161 i 162..

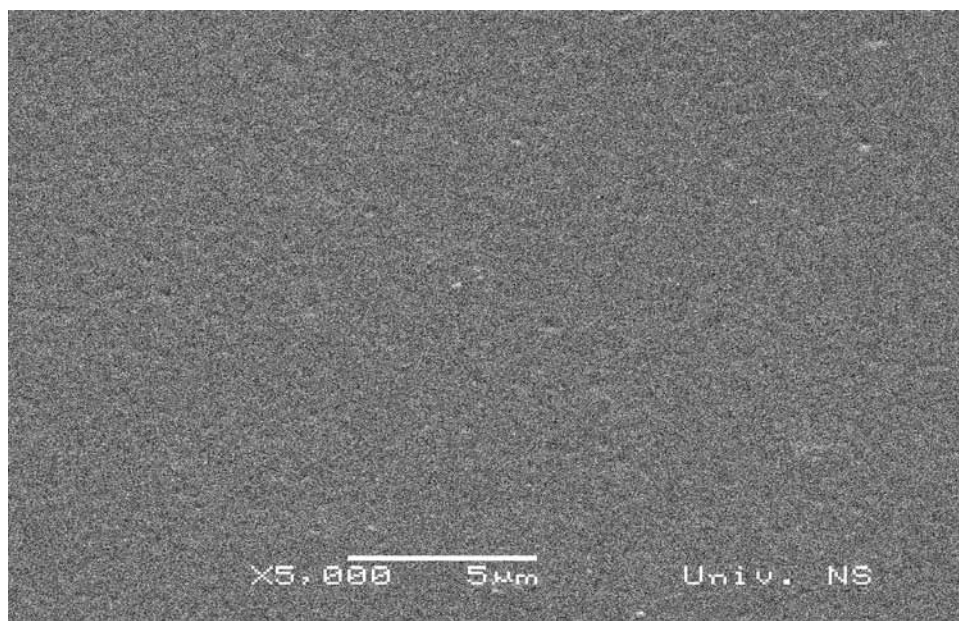


*Slika 161. Prikaz prelaza sa boje na oplemenjenu površinu sa 180 niti/cm sitom na mat premaznom papiru za sjajni UV lak*

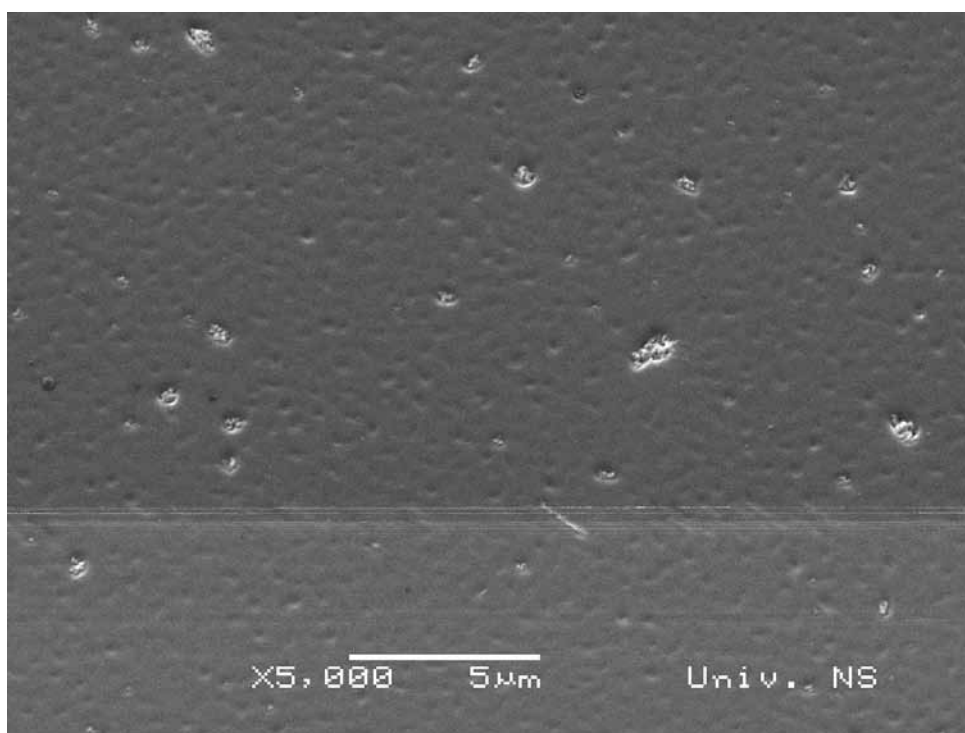


*Slika 162. Prikaz površine boje na oplemenjenu površinu sa 180 niti/cm sitom na mat premaznom papiru za sjajni UV lak*

Kao što se može primetiti na slikama 161. i 162. sjajni UV lak dovodi do poravnavanja na mat premaznom papiru, pokrivajući neravnine i udubljenja. Na oplemenjenim površinama je primetno stvaranje određenih ulegnuća kružnog oblika veličina manjih od  $1\mu\text{m}$  koje su u skoro pravilno ponavljajući raspoređene na površini oplemenjene površine.



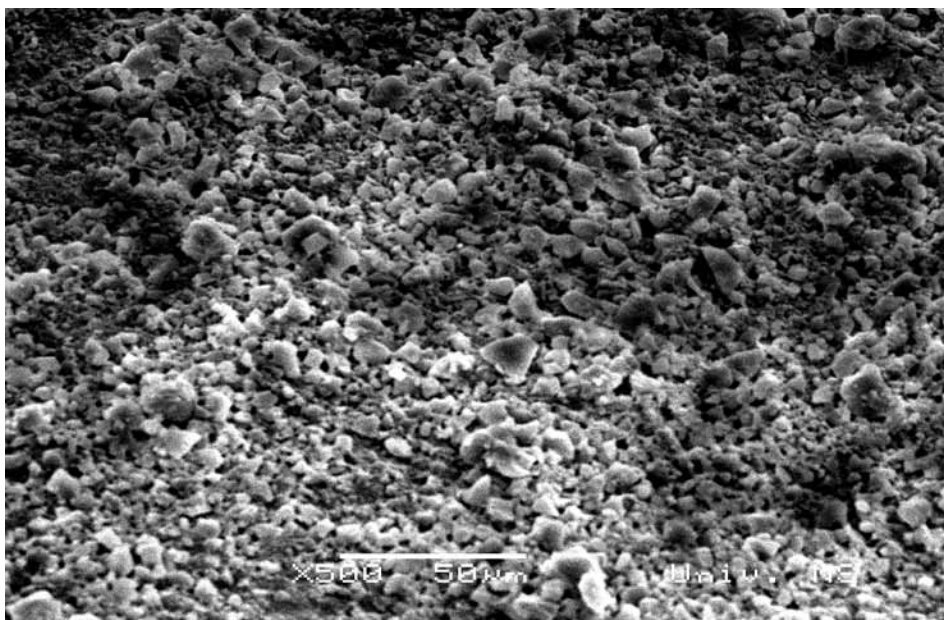
*Slika 163. Prikaz površine boje na oplemenjenu površinu sa 150 niti/cm sitom na mat premaznom papiru za sjajni UV lak*



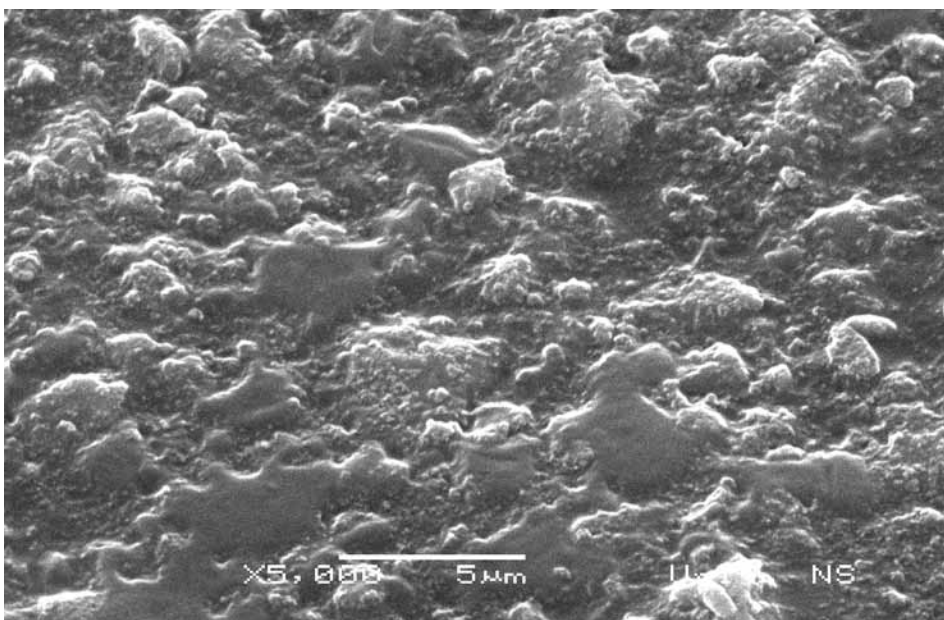
*Slika 164. Prikaz površine boje na oplemenjenu površinu sa 120 niti/cm sitom na mat premaznom papiru za sjajni UV lak*

Kao što se može primetiti na osnovu slika, efekat stvaranja velikog broja malih ulegnuća je prisutan i kod druga dva nanosa sjajnog UV laka na mat premaznom substratu. Izuzev ulegnuća površine izgledaju veoma homogeno i ujednačeno.

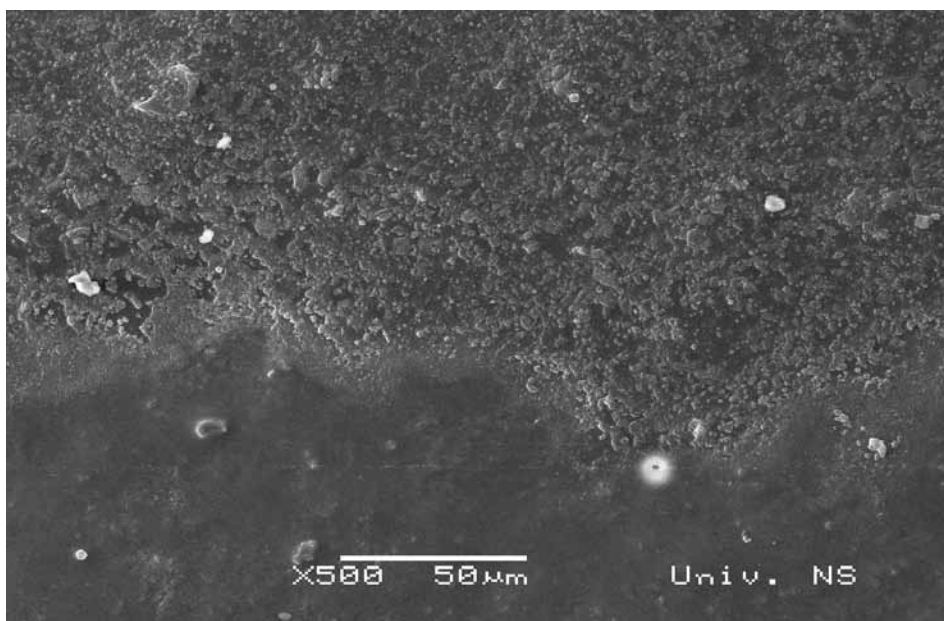
Poslednja ispitivana kombinacija za koju je rađena kvalitativna analiza površine je bio mat papir štampan sa UV bojom i oplemenjen sa mat UV lakom. Pre početka merenja bilo je pretpostavljeno da će ova kombinacija materijala imati veliku površinsku hrapavost što se i potvrdilo sa SEM snimanjem. na slici 165. je prikazan UV mat lak na mat premaznom papiru.



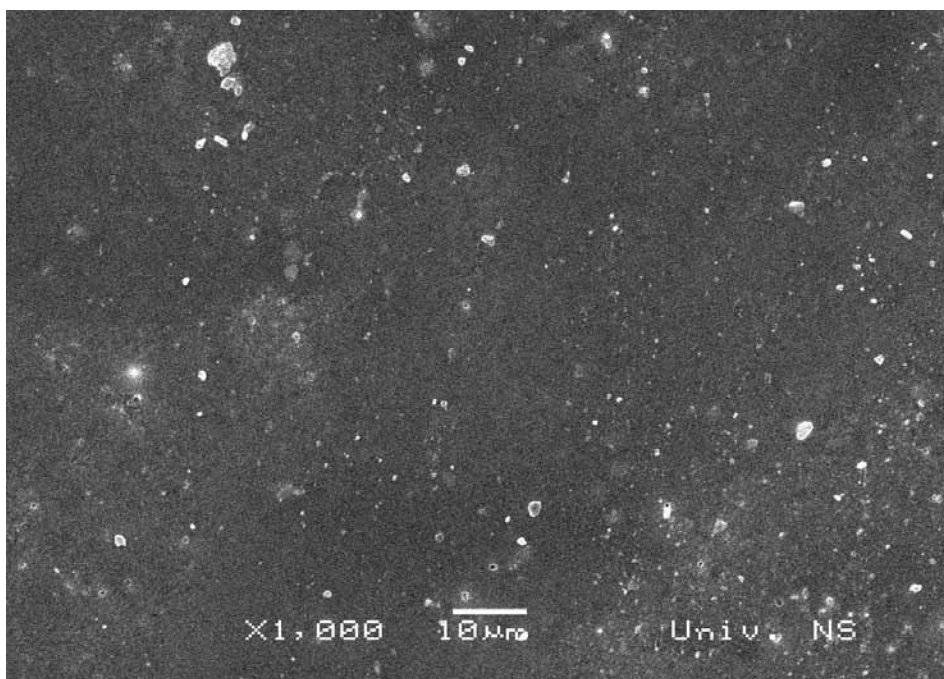
Slika 165. Prikaz prelaza između štampane i neštampane površine na mat papiru oplemenje sa mat UV lakom korišćenjem sita od 180 niti/cm



Slika 166. Prikaz prelaza između štampane i neštampane površine na mat papiru oplemenje sa mat UV lakom korišćenjem sita od 150 niti/cm



Slika 167. Prikaz prelaza između štampane i neštampane površine na mat papiru oplemenje sa mat UV lakom korišćenjem sita od 120 niti/cm



Slika 168. Prikaz površine na mat papiru oplemenje sa mat UV lakom korišćenjem sita od 120 niti/cm

Kao što se može primetiti nakon aplikacije dodatne količine UV lakova dolazi do popunjavanja udubljenja koje se nalaze između većih čestica na mat površini. Popunjavanjem tih površina se stvara određena skoro ujednačena površina sa manjim čestim česticama koje se nalaze unutar ili ispod samog sloja, kao i nekolicina čestica koje se nalaze iznad sloja laka nanetog na mat papir.

---

---

## 10. ZAKLJUČAK

U disertaciji su ispitivani uticaji različitih vrsta sredstava za oplemenjivanje na nekoliko podloga i njihov uticaj na geometrijske i hromatske osobine otisaka dobijenih tehnikom ofset štampe. U okviru istraživanja same površine korišćene su kvalitativne i kvantitativne metode snimanja mikrotopografije koje su dale vitalne informacije o procesima na površinama nakon određenih faza oplemenjivanja i otiskivanja. Kvantifikovanje geometrijskih osobina je urađeno kroz merenje spekularnog sjaja, a hromatske informacije su dobijene merenjem spektralnih vrednosti samih oplemenjenih polja kao i proračunom razlike boja. Svi uzorci su urađeni u proizvodnim uslovima i predstavljaju aproksimaciju realnih uslova koji se odvijaju u procesu oplemenjivanja površina otisaka.

Na osnovu postavljenih radnih hipoteza i dobijenih rezultat se mogu izvući sledeći zaključci:

Interakcija boje, papira i sredstva za oplemenjivanje je sistem, gde zbog nesavršenosti same papirne podloge (vrsta površinke obrade i gramature), procesa otiskivanja (brzina štampe, nanos, viskozitet, vrsta boja i dr.), kao i vrste i količine laka (tehnika nanosa, fizičko-hemijske karakteristike) se stvara kompleksan sistem sa skoro pojedinačnim mikropovršinama. Standardizovanjem ovih procesnih parametara je moguće smanjiti udeo varijacija, kao i statističkom obradom veće količine uzoraka koje daju slične rezultate, ali zadržavaju poneke svojstvene karakteristike na mikro i nanoskali koje su u procesu proizvodnje teško ponovljive.

Nanošenje određenih količina tečnih sredstava za oplemenjivanje dovodi do promene površinske hrapavosti, kod svih vrsta i količina lakova i dolazi do fizičke promene na površini samih oplemenjenih otisaka. Rezultati svih uzoraka potvrđuju ovu hipotezu. Konkrento kod sjajnih vododisperzivnih lakova koeficijent korelacije  $r$  je iznosi 0.99, kod mat vododisperzivnih lakova -0.99 što predstavlja visoku korelaciju. Kod hibridnih boja i primenjenog UV laka korelacija količine laka i površinske hrapavosti je iznosila  $r = -0.78$ , što je niža vrednost od vododisperzivnih lakova, ali vizuelno se ipak mogu potvrditi određene promene u zavisnosti od nanete količine UV laka. Kod sjajnih UV lakova koji su bili varirani sa različitim tkanjima sita od 180 niti/cm, 150 niti/cm i 120 niti/cm korelacija između površinske hrapavosti i količine laka je iznosila za različite podloge sa istom vrstom laka (sjajni UV)  $r = 0.94$ ,  $r = -0.88$ , što da je visoku korelaciju za linearnu promenu hrapavosti sa količinom nanetog sjaja. Kod svih uzoraka je došlo do promene  $S_a$  i  $S_q$  parametara hrapavosti, kao indikatora odstupanja od srednje vrednosti hrapavosti površine. Kod sjajno premaznog papira sa početne  $S_a$  vrednosti od 100.52 nm pri najvećoj količini je vrednost bila 47.93 nm a na međukoličini 66.41 nm. Kod hibridnih otisaka je najviši nanosa dao vrednost 15.55 nm u odnosu na međukoličinu 27.05 nm i početnu vrednost za otisak 166.62 nm. Kod sjajnih UV lakova je isto došlo do smanjivanja vrednosti



hrapavosti. Kod premaznog kartona sa početne vrednosti od 169.273 nm je došlo do smanjivanja nanošenjem određene sledeće količine laka na 35.85, 21.49 i 13.27 nm. Kod sjajnog premaznog papira otisak sa UV bojom je imao površinsku hrapavost od 217.604 nm sa nanošenjem sve veće količine sjajnog UV laka je dolazilo do smanjivanja vrednosti na 35.07, 19.92 i 10.10 nm za vrednost  $S_a$ . Kod mat papira ova promena se kretala od 200.327 nm do 17.75, 16.20 i 17.20 nm i ovo je bio jedini uzorak gde sa nanošenjem veće količine sjajnog laka (nezavisno UV ili vododisperzivnog) nije došlo do smanjivanja površinske hrapavosti između otisaka sa različitom količinom laka, ali je ipak došlo do promene u odnosu na neoplemenjene uzorke. Drugi faktor koji ukazuje na način sleganja tečnog sredstva za oplemenjivanje na papirne uzorke je i promena  $S_p$  i  $S_v$  faktora koji označavaju ekstremna uzvišenja i ulegnuća na površini, i sa povećanjem količine sjajnog UV laka dolazi do njihovog smanjivanja. Efekat poravnavanja i promene površine u zavisnosti od količine tečnog sredstva za oplemenjivanje je primetno i pri kvalitativnoj analizi pomoću SEM mikroskopa.

Kod svih UV mat lakova dolazi do drugačijeg efekta od mat vododisperzivnih lakova gde nakon inicijalnog pada u odnosu na štampani papir, sa povećanjem količine laka dolazi do smanjivanja hrapavosti. Kod premaznog kartona koji je predstavljao podlogu sa najvećom gramaturom početna hrapavost odštampane površine (UV ofsetna boja) izražena kroz parametar  $S_a$  od 169.27 nm je došlo do promena u opsegu od 263.947 nm za najmanju nanetu količinu UV lakova i 247.06 i 213.02 nm za sledeće nanete količine. Ovaj efekat karakterističan za UV mat lakove je primetno i kod sjajnog premaznog papira gde je boja na papiru imala  $S_a$  vrednost od 217.604 nm, nanosom prve najmanje količine je došlo do povećanja svih parametara hrapavosti prvo na 260.575 nm, a za sledeće nanose na 247.248 nm i 214.81 nm. Ovaj efekat je praćen i drugim parametrima za hrapavost, kao i analizom SEM slike. Kod mat papira je isto primetan slični efekat dodatnog poravnavanja površine nakon nanete veće količine laka. Faktor linearne korelacije za skoro sve uzorke je dao visoku  $r$  vrednost što potvrđuje linearnu prirodu promene hrapavosti sa količinom nanetog laka. Vrednost za premazni karton je bila  $r = -0.98$ , a za sjajni premazni papir  $r = -0.95$ .

Sledeća postavljena radna hipoteza se odnosila na međuticaj rasta geometrijskih osobina (sjaja) i hromatske komponente sa povećanjem količine sredstava za oplemenjivanje. Rezultati merenja samog sjaja su pokazala porast sa količinom sjajnog laka (vododisperzivnog i UV laka), kod mat vododisperzivnog smanjivanje sjaja, a kod UV mat lakova povećanje sjaja sa nanetom količinom laka. Linearna korelacija za konvencionalne boje i sjajni vododisperzivni lak u odnosu na sjaj i količinu laka  $r = -0.99$  a za hromatsku promenu  $r = 0.89$ , kod hibridnih boja  $r = 0.97$  za promenu u razlici boja i  $r = 0.95$ , što su visoke vrednosti korelacije i ukazuju na potencijalno linearnu promenu hromatskih i geometrijskih osobina kod nanošenja sjajnih vododisperzivnih i UV lakova putem aniloks valjka na konvencionalne i hibridne štamparske boje. Kod mat vododisperzivnog laka su izmerene niže vrednosti sjaja od drugih uzoraka

oplemenjenih putem aniloks valjka a faktor korelacije za odnos količine laka i promene sjaja je iznosio  $r = -0.99$  i  $r = 0.96$  za promenu razlike boje što isto predstavlja visoku vrednost za linearnu korelaciju.

Kod UV sjajnih lakova kod merenja sjaja su dobijeni viši rezultati sa promenom količine primenjenog laka, i dobijene su visoke vrednosti faktora linearne korelacije, dok su vrednosti za hromatsku promenu bile niže. Za sjajni premazni karton oplemenjen sa sjajnim UV lakom r faktor za sjaj i količinu nanetog laka je iznosio 0.96, dok za linearnu korelaciju je bio dosta niži i iznosio je 0.79. Za sjajni premazni papir oplemenjen isto sa sjajnim UV lakom u tri količine faktor odnosa geometrijske veličine i nanete količine laka je iznosio 0.96 a za hromatsku promenu 0.83, a za mat premazni papir  $r = 0.79$  za promenu razlika boja i  $r = -0.59$  za geometrijsku komponentu. Ovi korelacioni faktori ukazuju da ne postoji jasno izražena linearna korelacija i da u slučaju mat papira se lak drugačije ravna i izaziva drugačije hromatske i geometrijske efekte i sjajno premaznih površina. Kod UV mat lakova na premaznom kartonu linearna korelacija za geometrijsku promenu sa nanetom količinom je iznosila  $r = 0.89$  a za hromatsku promenu a  $r = -0.67$  za geometrijsku promenu. Kod sjajnog premaznog papira  $r = -0.77$  je za međuzavisnot promene sjaja i nanete količine a  $r = 0.87$ , dok je kod mat papira i UV mat laka  $r = -0.83$  bio za hromatsku promenu a koeficijent za promenu sjaja sa nanetom količinom je iznosio  $r = -0.59$ . Kod UV mat lakova je primetan drugačiji mehanizam gde su razlike boje bliže linearnoj korelaciji u odnosu na sjaj. Najverovatnije objašnjenje može da proistekne iz same prirode merenja ovih veličina gde je uređaj za merenje sjaja predviđen za snimanje signala u spekulanoj refleksiji gde se količina svetla smanjuje sa mat česticama, dok je uređaj za merenje hromatske promene više senzibiliziran za difuzne promene i bolje očitava te promene.

Treba napomenuti da su vrednosti sjaja u zavisnosti od vrste i količine nanetog sredstva za oplemenjivanje na skali sjaja u dobroj razmeri, dok su neke od hromatskih promena se nalaze često iznad granice primetne razlike boja i time potvrđuju da će i ljudski posmatrač drugačije da oceni stimulus otiska oplemenjenog sa različitom količinom lakova. Razlike su nešto izraženije kod mat lakova što se najverovatnije isto može povezati sa samom geometrijom merenja, gde je promena preraspodele reflektovane svetlosti dolazi više na senzor spektrofotometra nego kod sjajnih lakova, gde su preovladavale geometrijske veličine.

Kao poslednja radna hipoteza je izneta da su gore navedene promene dobijene usled ravnjanja mikropovršina. Na osnovu gore navedenih rezultata se može videti korelacija između ravnjanja (promene hrapavosti) i promene geometrijskih veličina objekta izražene kroz jedinice sjaja i hromatske veličine izražene kroz razliku boja i opštu spektralnu krivu. Ove promene su u velikom broju slučajeva linearne prirode.

Ovi rezultati predstavljaju osnovu za pravce daljih istraživanja i ukazuju na moguće mehanizme promene oplemenjene površine i dobijene optičke karakteristike ofsetnih otisaka. Korišćenjem podataka iz ove teze se mogu postaviti u budućnosti određeni mehanizmi za simu-

laciju unutar odgovarajućih softvera gde će biti moguće predvideti način preraspodele reflektovanog svetla u zavisnosti od nanete količine laka. Ovakvim korelacijama se dolazi i do lakše ekonomske optimizacije proizvodnje, kao i do povećanja trenutnih saznanja u samoj kontroli izrade otisaka. Postupci bi olakšali i komunikaciju između dizajnera i same proizvodnje gde se može predvideti kranji vizuelni efekat kod samih kupaca tj. posmatrača kranjeg štampanog proizvoda. Pored vizuelnih, ekonomskih efekata ovaj način pronalaženja korelacije količine laka i optičkih i procesnih parametara i omogućio bi racionalizacije u sistemu zaštite životne sredine, gde odmeravanjem određene količine laka za određeni predviđeni vizuelni efekat bi se izbegla veća nepotrebna potrošnja energenata, samih lakova i drugih resursa.

---

---

## LITERATURA

ASTM D523–89 (1989). Standard test method for specular gloss. ASTM standards on color and appearance measurement (6th ed.) West Conshohocken, PA: ASTM.

Alig I., Lellinger D. (2000), Ultrasonic methods for characterizing polymeric materials, *Chemical Innovation*, 30 (2), pp. 12–18

Anand J. N. , Karma H. J. (1969) *J. Colloid Interface Sci.*, 31, 208

Anazawa M., Hamada K., Okano F. (2002) A proposal for the modification of s-CIELAB. *Journal of the Society for Information Display*, 10 (4), pp. 389-395

Anderson R. (1991) Matrix description of radiometric quantities. *Applied Optics*, 30 (7), pp. 858–867

Arino I., Kleist U., Rigdahl M. (2005) Effect of gloss and texture on the color of injection-molded pigmented plastics, *Polymer engineering and science*, 45 (5), pp. 733-744

Arney J. S. Chauvin J. ; Nauman J. ; Anderson P. G. (2003) Kubelka-Munk theory and the MTF of paper. *The Journal of imaging science and technology*, 47(4), pp. 339-345

Arney J. S., Hoon H., Anderson P. G. (2004) A micro-goniophotometer and the measurement of print gloss. *The Journal of imaging science and technology*, 48 (5), pp.458-463

Arney J. S. , Nilosek D. (2007) Analysis of Print Gloss with a Calibrated Microgoniophotometer. *Journal of Imaging Science and Technology*, 51 (6), p. 509-513

Arney J. S., Ye L., Banach S. (2006) Interpretation of Gloss Meter Measurements , *Journal of Imaging Science and Technology* , 50 (6), pp. 567-571

Arney J. S. ; Anderson P. G. ; Franz G., Pfeister W. (2006) Color properties of specular reflections. *The Journal of imaging science and technology*, 50 (3), pp. 228-232

Backhaus W., Kliegl R., Werner J. S. (1998) Color vision: perspectives from different disciplines, Walter de Gruyter, Berlin

Barrick D. E. (1970) Rough Surfaces. *Radar Cross Section Handbook*, 2, G. T. Ruck, et al ., Eds., Plenum Press, New York, pp 671-772

Barrick D.E (1968) Relationship between slope probability density function and the physical optics integral in rough surface scattering, *Proc.IEEE*, 56 ,pp. 1728–1729

Beckmann P., Spizzichino A. (1963) The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces. *International series of monographs on electromagnetic waves*, 4, New York, NY : Pergamon Press

Béland, M.-C. (2001) Gloss Variation of Printed Paper: Relationship Between Topography and Light Scattering, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Béland M. , Bennett J. M. (2000) Effect of Local Microroughness on the Gloss Uniformity of Printed Paper Surfaces. *Applied Optics*, Applied Optics, 39 (16), pp. 2719-2726

Bennett J.M. (1985) Comparison of techniques for measuring the roughness of optical surfaces. *Optical Engineering*, 24, pp 380-387

- 
- Bennet J., Mattson L. (1999) Introduction to surface roughness and scattering. Optical Society of America, 2<sup>nd</sup> Ed., Washington
- Bennett H. E., Porteus J. O. (1961) Relation between surface roughness and specular reflectance at normal incidence. *Journal of the Optical Society of America*, 51, pp. 123–129
- Berns R. (2000): Billmeyer and Saltzman principles of color technology, 3rd ed., John Wiley and Sons, New York
- Berns R.S., de la Rie E.R. (2003) The Effect of the Refractive Index of a Varnish on the Appearance of Oil Paintings, *Studies in Conservation*, 48 (4), pp 251-262
- Berns, R.S., de la Rie, R. (2003) Exploring the optical properties of picture varnishes using image techniques. *Studies in Conservation*, 48, pp. 73-82
- Bieleman J. (2000) Additives for coatings, Wiley VCH, Weinheim, Nemačka
- Boshoff M. C. (1958) Gloss Scale for Paint Surfaces. *Journal Optical Society of America*, 48 (10), pp. 741-746
- CIE 175:2006 (2006) A framework for the measurement of visual appearance, International Commission on Illumination
- Chinga, G., Diserud, O. and Lunden-Berli, E. (2007) On surface details affecting the quality of commercial SC papers for gravure printing. *Nordic Pulp Paper Research Journal*, 22(3), pp. 331-335
- Chorro E., Perales E., Fez D. de, Luque M. J., Martínez-Verdú F. M. (2007) Application of the S-CIELAB color model to processed and calibrated images with a colorimetric dithering method. *Optics Express*, 15, pp. 7810-7817
- Creath K., Wyant J.C. (1990) Absolute measurement of surface roughness. *Applied Optics*, **29 (26)**, pp. 3823-3827
- Dalal E. N., Natale-Hoffman K. M. (1999) The effect of gloss on color. *Color Research and Application*, 24 (5), pp. 369-376
- Davis, W., Ohno, Y. (2005). Toward an improved color rendering metric. In *Proceedings of Fifth International Conference on Solid State Lighting*, SPIE, 1-4 August, 2005, San Diego, California, USA, 5941, 59411G
- De La Rie ER. (1987) The influence of varnishes on the appearance of paintings. *Studies Conservation*, 32, pp. 1-13
- Dietemann P., Higgitt C., Kalin M., Edelmann M.J., Knochenmuss R., Zenobi R. (2009) Ageing and yellowing of triterpenoid resin varnishes Influence of aging conditions and resin composition, *Journal of Cultural Heritage*, 10 (1), pp. 30-40
- Dunfield, L. G. (1990). Stylus profilometry on paper surfaces. In *TAPPI/CPPA Int. Printing Graphic Arts Conf.* Nov. 6-8, Vancouver, Canada, pp. 209-213.
- Elson J. M., Bennett J. M. (1995) Calculation of the power spectral density from surface profile data, *Applied Optics*, **34**, pp. 201-208

- 
- Elton N. J. , Day J. C. C. (2009) A reflectometer for the combined measurement of refractive index, microroughness, macroroughness and gloss of low-extinction surfaces. *Measurement Science and Technology*, 20 (2) ,025309
- Elton N. J. (2009) Optical measurement of microroughness of pigment coatings on rough substrates *Measuring Science Technology*, 20, 025303
- Enomae, T., and LePoutre, P. (1995) Stylus profilometry on paper: Marking by the stylus. *Tappi Journal*, 78(10), pp.173-176.
- Eugene C. (2008) Measurement of “Total visual appearance”: A CIE challenge of soft metrology. In 2th IMEKO TC1 & TC7 Joint Symposium on Man, Science & Measurement September, 3–5, 2008, Annecy, France
- Fairchild M. D. , Johnson G. M. (2004) The i-CAM framework for image appearance, image differences and image quality. *Journal of Electronic Imaging*, 13, pp. 126-138
- Fairchild, M.D. (1997) *Color Appearance Models*, Addison-Wesley Longman, Reading, Massachusetts, U.S.A.
- Fairchild, M.D., Berns, R.S. (1993) Image color-appearance specification through extension of CIELAB. *Color Research and Application*, 18 (3), pp. 178-190
- Fairchild, M.D. (1996) Refinement of the RLAB color space. *Color Research and Application*, 21 (5), pp. 338-346
- Farrier, L. M. (2006) Influence of Surface Roughness on The Specular Reflectance of Low Gloss Coatings Using Bidirectional Reflectance Measurement, *Technical memo*, Air Force Research Lab Wright-Patterson AFB OH materials and manufacturing directorate
- Ferwerda J. A. , Pellacini F., Greenberg D. P. (2001) A psychophysically-based model of surface gloss Perception. In *SPIE Human Vision and Electronic Imaging 2001*, San José, CA, 4299, pp. 291-301
- Fetsko O. J. M. , Zettlemoyer A. C. (1962) Factors Affecting Print Gloss and Uniformity. *TAPPI Journal*. 45 (8), pp. 667-681
- Faucheu J., Wood K. A., Sung L.P., Martin J. W. (2006) Relating gloss loss to topographical features of a PVDF coating. *Journal of Coatings Technology and research*, 3(1), pp. 29-39
- Fukshansky L., Kazarinova N. (1980) Extension of the Kubelka Munk theory of light propagation in intensely scattering materials to fluorescent media. *Optical Society of America Journal*, 70 (9), pp. 1101-1111
- Gan S., Zhou Q., Hong Y., Xu X., Liu Y., Zhou H., Huo T., Fu S. (2007) Comparative study of surface roughness with power spectral density and multifractal spectrum, *Proceedings of International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies N°3*, Chengdu, International Society for Optical Engineering, 6723 (3), pp. 67232R.1-67232R.6
- Gegenfurtner K. R., Sharpe L. T. (2001) *Color vision: from genes to perception*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Gilchrist, A. (2002) :Characterising special-effect colours, *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 85, pp. 281-285

- 
- Goldschmidt A., Streitberger H. J. (2003) BASF handbook on basics of coating technology, Vincentz Verlag
- Griese W. E. (1996) Anilox the basics, Corkind Ind. Tech Talk, 8/96, <http://www.corkindustries.com/96yr08cttn.pdf>, Pristupljeno 12.12.2009.
- Griese W. E. (2002) Gloss & Protection: Film lamination or coatings, Corkind Ind. Tech Talk 04/02, <http://www.corkindustries.com/02yr04cttn.pdf> Pristupljeno 12.12.2009.
- Guan S. S., Luo M. R. (1999) A colour-difference formula for assessing large colour-differences. *Color Research and Application*, 24, pp. 344-355
- Hansen C.M., Pierce P.E. (1973) Cellular Convection in Polymer Coatings - An Assessment, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 12 (1), pp. 67-70
- Hansen C.M., Pierce, P.E. (1974) Surface Effects in Coatings Processes, XII Federation d'Associations de Techniciens des Industries des Peintures, Vernis, Emaux et Encres d'Imprimerie de l'Europe Continentale, Congress Book, Verlag Chemie, Weinheim/Bergstrasse, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 13 (4), 218-225, pp. 91-99
- Hogrefe H., Kunz C. (1987) Soft x-ray scattering from rough surfaces: experimental and theoretical analysis, *Applied Optics*, 26 (14) , pp. 2851-2859
- Hoffman K. (1998) Applications of the Kubelka-Munk Color Model to Xerographic Images, Bsc thesis, Rochester Institute of Technology
- Hongyong J., Xiuping Z., Hongfang L. (2009) Testing of the Uniformity of Color Appearance Space. *In 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering*, 6, pp.307-311
- Huertas R., Rivas M. J., Yebra A., Perez M.M., Melgosa M., Sanchez-Maranon M., Hita E. (2004) Investigation of simulated texture effect on perceived color differences. *In Proceedings AIC 2004 Color and Paints*, Interim Meeting of the International Color Association of Porto Alegre, Brazil, November 3-5, pp. 56-59
- Hunter R., Harold R. (1987) *The Measurement of Appearance*, 2<sup>nd</sup> edition, Wiley-Interscience, New York, p. 75-76.
- Hunt R.W.G., Luo M.R. (1994) Evaluation of a model of colour vision by magnitude scalings: Discussion of collected results. *Color Research and Application*, 19, pp. 27-33
- Hunt, R.W.G., Pointer, M.R. (1985) A colour-appearance transform for the CIE 1931 standard colorimetric observer, *Color Research and Application*, 10 (3), pp. 165-179
- Hunt, R.W.G. (1987) A model of colour vision for predicting colour appearance in various viewing conditions. *Color Research & Application*, 12 (6), pp. 297-314
- Hunt, R.W.G. (1982) A model of colour vision for predicting colour appearance. *Color Research & Application*, 7 (2), pp. 95-112
- Hunt, R.W.G. (1991) Revised colour-appearance model for related and unrelated colours. *Color Research & Application*, 16 (3), pp. 146-165

---

ISO 2813 (1978). Paint and varnishes: Measurement of the specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°. Geneva: International Organization for Standardization.

Järnströma J., Ihalainen P., Backfolk K., Peltonen J. (2008) Roughness of pigment coatings and its influence on gloss. *Applied Surface Science*, 254 (18), pp. 5741-5749

Jarnstrom J., Sinervo L., Toivakka M., Peltonen J. (2007) Topography and gloss of precipitated calcium carbonate coating layers on a model substrate. *Tappi Journal*, 6 (5), 23

Johnston, R.M., Stanziola, R. (1969): Angular color measurement on automotive materials, In Proceedings of International Automation Engineering Congress, Detroit

Johnson G. M., Fairchild M. D. (2003) A top down description of S-CIELAB and CIEDE2000. *Color Research & Application*, 28 (6), pp. 425-435

Johnson G. M., Fairchild M. D. (2003) Measuring images: Differences, Quality, and Appearance. In Proceedings of SPIE/IS&T Electronic Imaging Conference, Santa Clara, 5007, pp. 51-60

Juuti, M., Prykari, T., Alarousu, E., Koivula, H., Mylly, M., Lahteela, A., Toivakka, M., Timonen, J., Mylly, R., Peiponen, K.E. (2007) Detection of Local Specular Gloss and Surface Roughness from Black Prints. *Colloid Surfaces A*, 299 (1-3), pp. 101-108

Juuti M., Kalima V., Pakkanen T.T., Peiponen K.E. (2007) A novel method to measure and analyze delta gloss by diffractive glossmeter. *Measurement science & technology*, 18(5), L5-L8

Karlović I., Novaković D., Stipančević T., Tomić I. (2008) Uticaj površinskog oplemenjivanja uzoraka sa različitim količinama vododispersivnih lakova na vizuelni osećaj, In *GRID Proceedings 08*, 4. Naučno stručni simpozijum grafičkog inženjerstva i dizajna, 13-14.11.2008. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, pp. 155- 164

Karlović I., Debeljak M., Novaković D., Gregor-Svetec D. (2009) Influence of the accelerated ageing on colour difference of conventional and hybrid ink prints varnished with different amount of coatings, In *Abstract Book of 41st International Conference of Educational Institutes for Graphic Arts technology and management*, University College Arteveldehogeschool 13.-18.10.2009. Ghent, Belgija, pp.9

Kauppi T., Sadovnikov A., Lensu L., Kamarainen J.K., Silfstenand P., Kalviainen H. (2007) Goniometric Imaging of Paper Gloss. In *MVA2007 IAPR Conference on Machine Vision Applications*, May 16-18, 2007, Tokyo, pp.400-403, <http://www.cvl.iis.utokyo.ac.jp/mva/proceedings/2007CD/papers/11-01.pdf> (pristupljeno 12.12.2009)

Kijima A., Kandatsu I. (2003) Measurement of Influence which the Gloss of a Paints Side Exerts on Color Evaluation. *Bulletin of Science and Engineering*, Takushoku University, 8 (4), pp.91-92

Kipman Y., Mehta P., Johnson K., Wolin D. (2001) A New Method of Measuring Gloss Mottle and Micro-Gloss Using A Line-Scan CCD-Camera Based Imaging System, In *Proceedings of the NIP17: International Conference on Digital Printing Technologies*, FortLauderdale, Florida, pp. 714-717

Kitano Y., Enomae T., Isogai A. (2008) Comparative Studies of Gloss Development in Electrophotography and Offset Printing. *Journal of Imaging Science and Technology*, 52 (1), pp. 010504.1-010504.10



- 
- Koivula H., Juuti M., Bousfield D., Preston J., Silvernnoinen R., Peiponen K.E., Toivakka M., (2009) Comparison of Dynamic Print Gloss Measurement Techniques, *Tappi Journal*, [http://www.tappi.org/s\\_tappi/sec\\_publications.asp?CID=11887&DID=562727](http://www.tappi.org/s_tappi/sec_publications.asp?CID=11887&DID=562727) (pristupljeno, 14.12.2009)
- Kubelka P., Munk F. (1931) Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. *Zeits.f.techn.Physik*, (12): pp. 593–601
- Kuehni, R.G. (2002) CIEDE2000, Milestone or final answer? *Color Research and Appliaance*, 27, pp. 126-127
- Kuparinen T., Rodionov O., Toivanen P., Mielikainen J., Bochko V., Korkalainen A., Parviaine J., Vartiainen E. (2005) (Eds) SCIA 2005, Lectures Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, 3540, pp. 1218-1227
- Kurt M., Szirmay-Kalos L., Křivánek J. (2010) An Anisotropic BRDF Model for Fitting and Monte Carlo Rendering, *In ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 44 (1), <http://www.graphics.cornell.edu/~jaroslav/papers/2010-anisobrdf/2010-anisobrdf.pdf> (pristupljeno 12.2.2010)
- Lee Y. (2005) Comparison of CIELAB  $\Delta E^*$  and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. *Dental Materials*, 21 (7), pp. 678-682
- Lindstrand M. (2002) Gloss: measurement, characterization and visualization - in the light of visual evaluation", Licentiate Thesis, Linköping University, [http://www.t2f.nu/t2frapp\\_f\\_101.pdf](http://www.t2f.nu/t2frapp_f_101.pdf), (Pristupljeno 10.1.2010)
- Lindstrand M. (2007) Instrumental Gloss Characterization – In the Light of Visual Evaluation: A Review. *The Journal of Imaging Science and Technology*, 49 (1), pp.61
- Liu X. N., Fan J., Liu Z., Zang Y.H., Liu Y. L., Wang Q. (2008) Evaluation of Color Rendering of Glossy Ink-Jet Paper Based on Fuzzy Decision. *In Proceedings of International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 6, pp.467-470
- Luo M. R., Lo M.C., Kuo W.G. (1996) The LLAB(l:c) colour model, *Color Research and Application*, 21, pp. 412-429
- MacDonald L. (2006) A model for definition of appearance, *In Proc. of the CIE Expert Symposium on "Visual Appearance"*, 19-20 October, Paris
- MacGregor, M.A., P.-Å. Johansson, and M.C. Béland (1994) Measurement of small-scale gloss variation in printed paper: topography explains much of the variation for one paper. *In TAPPI/CPPI International Printing and Graphic Arts Conference*, Halifax, Nova Scotia, Canada: Canadian Pulp & Paper Association
- MacGregor M. A., Johansson P.-Å. (1991) Gloss uniformity in coated paper, measurement of commercial papers, *In TAPPI Coating Conference*, Atlanta, TAPPI Press, pp. 495-504
- Mainsah, E., Greenwood, J.A., Chetwynd, D.G. (2001) Metrology and properties of engineering surfaces, Springer Verlag, Berlin
- Mangin, P. J. (1993) Structural approach to paper surface characterization. *In Proceedings of TAPPI Process Prod. Quality Conf.*, Oct. 31-Nov. 3, Atlanta, USA, pp. 17-24.
- Mangin, P. J. (1990) Measurement of paper roughness: 3-D profilometry approach. *In Advance Printing Science Technology*, Banks W.H., ed. Pentech Press, London, 20, pp. 218-235.

- Maradudin A. A. (2007) Light scattering and nanoscale surface roughness, Springer, New York
- Marangoni C. G. M. (1971) *Nuovo Cimento*, 2, 239
- Marrion A. (2004) The chemistry and physics of coatings, Royal society of chemistry, Cambridge
- Matusik W, Pfister H, Brand M, McMillan L. (2003) A data driven reflectance model. *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM SIGGRAPH*, San Diego, 22(3), pp.759-769
- Matusik W., Pfister H., Brand M, McMillan L. (2003) Efficient Isotropic BRDF Measurement, *Eurographics Symposium on Rendering: 14th Eurographics Workshop on Rendering*, Leuven, 44, pp. 241-248
- Mikula M. , Čepčan M. , Vaško K. (2003) Gloss and goniochromimetry of printed materials, *Color Research and Application*, 28 (5), pp. 335 – 342
- Motoyoshi I., Nishida S., Sharan L., Adelson E. H. (2007) Image statistics and the perception of surface qualities. *Nature*, 447, pp. 206-209
- Mourad S., Emmel P., Simon K., Hersch R.D (2001) Extending Kubelka Munk's theory with lateral light scattering. *Proceedings of International Conference on Digital Printing Technologies ,NIP17* ,FortLauderdale,FL, pp. 469–473
- Mourad S., Emmel P., Simon K., Hersch R.D (2002) Prediction of Monochrome Reflectance Spectra with an Extended Kubelka-Munk Model. *Proceedings of the IS&T/SID, 10th Color Imaging Conference*, Vol. 10, pp. 298-304
- Nakayama M., Ikeda K. (2004) Comparison of Perceived Colour Differences with Colorimetric Colour Differences in Uniform Colour Spaces and Colour Appearance Model. *Journal of Light & Visual Environment*, 28 (2), pp.81-92
- Nayar S.K., Oren M. (1995) Visual appearance of matte surfaces, *Science*, 267, pp. 1153–1156
- Nayatani, Y. ,Takahama, K. , Sobagaki, H. (1986) Prediction of color appearance under various adapting conditions, *Color Research and application* ,11, pp. 62-71
- Nayatani, Y., Hashimoto, K., Takahama, K., Sobagaki, H. (1987) A nonlinear color-appearance model using estévez-hunt-pointer primaries, *Color Research & Application*, 12 (5), pp. 231-242
- Nayatani, Y., Takahama, K., Sobagaki, H., Hashimoto, K. (1990) Color-appearance model and chromatic-adaptation transform, *Color Research and Application*, 15 (4), pp. 210-221
- Nayatani, Y., Sobagaki, H., Hashimoto, K. , Yano T. (1997) Field trials of a nonlinear color-appearance model. *Color Research and Application*, 22(4), pp.240-258
- Nevin A. ,Comelli D., Osticioli I., Toniolo L., Valentini G., Cubeddu R. (2009) Assessment of the ageing of triterpenoid paint varnishes using fluorescence, Raman and FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. Springer, 395(7), pp. 2139-214
- Nicodemus F.E., Richmond J.C., Hsia J.J, Ginsberg I.W., Limperis T., (1977) Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance, Gairthersburg ,*Monograph 160*, MD:National Bureau of Standards (US)

- 
- Nishida, S., Motoyoshi, I., Nakano, L., Li, Y., Sharan, L., & Adelson, E. (2008). Do colored highlights look like highlights? *Journal of Vision*, 8(6):339, 339a, <http://journalofvision.org/8/6/339/>
- Ngan A., Durand F., Matusik W. (2005) Experimental Analysis of BRDF Models, In: *Proceedings of the , Textures and Materials*, pp. 117-126
- Ng, Y., Ziese, E., Mashtare, D., Kessler, J., Wang, J., Kuo, C., (2003). Standardization of perceptual based gloss and gloss uniformity for printing systems. In *Proceedings of Fifth International Symposium on Multispectral Color Science*, pp. 88-93
- Ng Y.S., Cui L. C., Kuo C. H., Maggard E., Mashtare D.; Morris P., Viola M. (2003) Printing system perceptual-based gloss and gloss uniformity standard (INCITS W1.1). In *Proceedings Vol. 5294 of Image Quality and System Performance*, Yoichi Miyake; D. Rene Rasmussen, Editors, pp.26-33
- Noël M., Zwinkels J., Liu J. (2006) Optical characterization of a reference instrument for gloss measurements in both a collimated and a converging beam geometry, *Applied Optics*, 45, pp. 3712-3720
- Novaković D., Karlović I., Pavlović Ž., Dedijer S. (2008) Colorimetric and tone value differences in varnished samples of offset prints made with conventional and hybrid inks measured with different colour measurement device, In *Proceedings of 12th International Conference on printing, design and graphic communications*, Blaž Baromić 08, 21-24.9.2008, Split, University of Zageb, Faculty of graphic arts, pp. 171-176
- Novaković D., Karlović I., Gojo M., Agić D. (2009) Utjecaj površinskog oplemenjivanja otiska na kolorimetrijske i vizualne karakteristike. *Tekstil*. 58 (8), pp. 384-392
- Satas D., Tracton A.A. (2001) *Coatings technology handbook*, Marcel Decker, New York
- Saunderson J. L. (1942) Calculation of the Color of Pigmented Plastics. *J. Optical Society of America*, 32, pp. 727-736
- Ohring M. (2001) *The materials science of thin films*, Academic Press; 2 edition, London
- Ohta N., Robertson A. (2005) *Colorimetry: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, New York
- Oittinen P. (1991) Relations between Print Gloss and Print Density. *Graphic Arts in Finland*, 20 (2)
- Oren M., Nayar S.K. (1994) Generalization of Lambert's reflectance model. *Proceedings of ACM SIG-GRAPH 1994*, New York, pp. 239-246
- Pino A., Pladellourens J. (2009) Measure of roughness of paper using speckle, In *Optical Inspection and Metrology for Non-Optics Industries*. Edited by Huang, Peisen S.; Yoshizawa, Toru; Harding, Kevin G. Proceedings of the SPIE, 7432, pp. 74320E-74320E-9
- Petersen F. A. (1947) Testing resistance of enameled surfaces to scratching gouging, and abrasion. *Journal of the American Ceramic Society*, 30 (3), pp 94-104
- Pointer M. (2003) *Measuring visual appearance - a framework for the future*, Project 2.3 Measurement of Appearance, NPL REPORT: COAM 19, National Physical Laboratory Queens Road, Teddington, Middlesex

- 
- Preston J. S. Gate L. F. (2005) The influence of colour and surface topography on the measurement of effective refractive index of offset printed coated papers. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects* 2005, 252 ( 2-3) , pp. 99-104
- Preston J. S. ; Elton N. J. ; Husband J. C. (2002) Investigation into the distribution of ink components on printed coated paper - Part 1: Optical and roughness considerations. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects A.*, 205 (3) , pp. 183-198
- Raven P.N., Watson R. M. J. , Williams J. W., Milne P.E.Y (1999) Bidirectional reflectance from pigmented coatings. In: *Proceedings of SPIE*, 3784, pp. 262-273
- Rice S.O. (1951) Reflection of electromagnetic waves from slightly rough surfaces. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 4, pp. 351–378
- Rossi S., Deflorian F., Scrinzi E. (2009) Comparison of different abrasion mechanisms on aesthetic properties of organic coatings, *Wear*, 267 (9-10), pp. 1574-1580
- Schwalm R. (2007) *UV Coatings Basics, Recent Developments and New Applications*, Elsevier Science, Amsterdam, Nizozemska
- Seim, T. and Valberg, A., (1986) Towards a uniform color space: A better formula to describe the Munsell and OSA color scales. *Color Research and Appliance*, 11, pp. 11-24.
- Simonot L. (2009) Photometric model of diffuse surfaces described as a distribution of interfaced Lambertian facets, *Applied Optics*, 48, pp. 5793-5801
- Simonot L., Elias M. (2004) Color change due to a varnish layer, *Color Research and application*, 29 (3), pp.196 – 204
- Singh S.P. (2008) A comparison of different methods of paper surface smoothness, *BioResurces*, 3 (2), pp. 503-516
- Steehan P.A.M., Dias A.A., Wienke D., Alig I., Lellinger D. (2005) Recent developments in monitoring film-formation and cure of coatings. In “Coatings Science International (CoSi2005) Book of Abstracts”, pp.24–29
- Stoye D., Freitag W. (1998) *Paints, Coatings and Solvents*, 2nd Ed., Wiley VCH, Weinheim, Nemačka
- Sylvain M. (2005) Diffuse reflection by rough surfaces: an introduction, *Comptes Rendus Physique*, 6(6), pp. 663-674
- Sung Y. J., Ryu J. Y., Song B. K. (2004) Application of White Light Interferometry Method for the Measurement of Surface Micro-structure of Paper Products and Prints. *Journal of Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry*, 36 (4), pp. 33-40
- Sung, Y.J., Keller D.S. (2008) Local Paper Structural Properties by Noncontacting Laser Profilometry. *Appita Journal: Journal of the Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry*, 61(1), pp. 28-34.
- Thompson R. (1998) *Printing Materials: Science and Technology*,” Pira International, Leatherhead, pp. 260-284.
- Valencia E., Millán M. (2008) Color Image Quality in Presentation Software. *Advances in Optical Technologies*, <http://www.hindawi.com/journals/aot/2008/417976.html> (Pristupljeno 11.3.2009)

- Valberg A. (2005) *Light Vision Color*, John Wiley and Sons, West Sussex
- Venables J. (2000) *Introduction to surface and thin film processes*, Cambridge University Press, Cambridge
- Vernhes P., Bloch J. F., Blayo A., Pineaux B. (2008) Gloss optical elementary representative surface. *Applied Optics*, 47, pp. 5429-5435
- Ward, G.J. (1992) Measuring and modeling anisotropic reflection. In *Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH92)*, New York, 26 (2), pp. 265–272.
- Wee A., Lindsey D., Shroyer K., Johnston W. (2007) Use of a porcelain color discrimination test to evaluate color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98 (2), pp. 101-109
- Wei, J., Pointer M. R., Luo R. M., Dakin J. (2006) Gloss as an aspect of the measurement of appearance. *Journal of Optical Society of America*, 23, pp. 22-33
- Welford W.T. (1980) Noncontacting measurement of surface roughness, *In Proceedings Soc. Photo-Optical Instrumental Engineering*, 235, pp. 118-121
- Westin S.H., Li H., Torrance K.E. (2004) A Comparison of Four BRDF Models, In: Jensen H.W., Keller A. (Ed.) *Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering*, pp.1–10
- Weh L. (1973) *Plaste Kautsch*, 20, 138
- Whitehouse D.J. (2003) *Handbook of surface and nanometrology*, Institute of Physics, London
- Wilson L.A. (1997) *What the printer should know about paper*, 3<sup>rd</sup> Ed, Pittsburgh, PA: GATF Press, pp. 79-89; pp.140-187.
- Wu Y. J., Pekarovicova A., Fleming P.D. (2008) The Effect of Paper Properties on the Color Reproduction for Digital Proofing of Gravure Publication Printing, *TAGA Journal*, 4(2), pp.72-83.
- Xiao B., Brainard D.H. (2008) Surface gloss and color perception of 3D objects. *Visual Neuroscience*, 25, pp.371–385
- Xiaohong G., Sung L.P., Kidah B., Oudina M., Martin D., Rezig A., Stanley D., Jean J. Y. C., Nguyen T., Martin J. W. (2009) Relating Gloss Loss to Nanoscale—Microscale Topographical Change for a Polymer Coating Exposed to UV Radiation. In A.C.S. symposium series 2009, (Eds.) Oxford University Press, 1008, pp. 328-348
- Xu R., Fleming P. D. III, Pekarovicova A., Bliznyuk V. (2005) The Effect of Ink Jet Paper Roughness on Print Gloss. *Journal of Imaging Science and Technology*, 49 (6), pp. 660-666
- Yang L., Miklavcic S.J. (2005) Revised Kubelka-Munk theory. III. A general theory of light propagation in scattering and absorptive media. *Optical Society of America Journal*, 22 (9) pp. 1866-1873
- Yang L, Hersch R.D. (2008) Kubelka-Munk model for imperfectly diffuse light distribution in paper. *The Journal of imaging science and technology*, 52 (3), pp. 030201-(7)
- Zangwill A. (1988) *Physics at surfaces*. Cambridge University Press, Cambridge
- Zhang X., Wandell B. A. (1996) A spatial extension of CIELAB for digital color image reproduction. In *Proceedings of the Society of Information Display Symposium (SID '96)*, 27, San Jose, California, USA, June 1996. pp. 731–734

Zhang X., Silverstein D. A., Farrell J. E., Wandell B. A. (1997) Color image quality metric S-CIELAB and its application on halftone texture visibility. *In Proceedings of the 42nd IEEE International Computer Conference (COMPCON '97)*, San Jose, Calif, USA, February 1997. pp. 44–48