

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Fabijan Nushi**

**Određivanje geometrije osvjetljavanja i mjerenja  
za uzorke s teksturom**

**Zagreb, 2018.**

*Ovaj rad izrađen je na Katedri za grafički dizajn i slikovne informacije pod vodstvom izv. prof. dr.sc. Lidije Mandić i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017./2018.*

## Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

<b>CIE</b>	internacionlna komisija za rasvjetu
<b>SCI</b>	komponenta s uključenim sjajem
<b>SCE</b>	komponenta s isključenim sjajem
<b>d</b>	difuzno
<b>R<sub>λ</sub></b>	faktor refleksije
<b><math>\Delta E_{94} / \Delta E_{2000}</math></b>	kolorimetrijska razlika

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada .....	2
3. Mjerenje boja .....	3
3.1. Izvor svjetlosti .....	4
3.2. Objekti .....	6
3.3. Ljudski vizualni sustav .....	7
3.4. Spektrofotometrijska mjerenja .....	8
3.5. Prostori boja.....	10
3.6. CIE L*a*b* (CIELAB) prostor boja.....	11
3.7. Kolorimetrijska razlika .....	13
4. Eksperimentalni dio.....	17
4.1. Uređaji korišteni u istraživanju .....	20
4.1.1. Minolta CM-3600d .....	20
4.1.2. Ocean Optic USB 2000+ .....	20
4.1.3. i1Pro .....	21
4.1.4. Elcometer 407 .....	21
4.1.5. The Judge II Viewing Booth.....	22
5. Rezultati i diskusija .....	23
6. Zaključak.....	36
7. Zahvale .....	37
8. Popis literature .....	38
Sažetak.....	40
Summary.....	41

## 1.Uvod

Digitalno doba uvelo je velike promjene u grafičkoj industriji. Internet je sve zastupljeniji, vijesti se čitaju na Internetu, što ima za posljedicu pad prodaje dnevnog tiska. Razvoj grafičke industrije danas ide u smjeru stvaranja dodanih vrijednosti u tisku kako bi se privukli kupci. Uzimajući u obzir konkurentnost na tržištu, dodana vrijednost pruža pogodnost za kupca ali povećava i prihode tiskarima. Danas se atraktivnost proizvoda podiže korištenjem specijalnih efekata ili pigmenata metala, folija, holograma, premaza, personalizacija i sl.

Istraživanja pokazuju da će tisak dnevnih novina i dalje padati ali da raste tisak ambalaže. Uvriježeno je mišljenje da ambalaža prodaje proizvod. Kod ambalaže, osim dizajna, važan je i odabir materijala. Danas su na tržištu prisutni različiti materijali koji doprinose atraktivnosti proizvoda. Materijali su različite gramature, teksture, sjaja i boje.

U ovom radu izabrani su materijali za ambalažu, koji su izrađeni nanošenjem folija na papir određene teksture. Teksture su različite, neke su više reljefne, neke manje ali je zajedničko svim uzorcima da su iste boje. Teksture dosta utječu na percepciju boje, posebno na svjetlinu i zasićenje.

Budući da se radi o teksturama, provedena su spektrofotometrijska mjerenja s različitim instrumentima. Instrumenti koriste različite geometrije osvjetljavanja i mjerenja. CIE komisija je donijela preporuke za korištenje određenih geometrija osvjetljavanja i mjerenja za glatke i hrapave površine, metalne površine ali još nema preporuka za materijale s teksturama [1].

U ovom radu je istražen utjecaj teksture na kolorimetrijske vrijednosti s ciljem utvrđivanja odgovarajuće geometrije osvjetljavanja i mjerenja. Provedena su subjektivna ispitivanja, kako bi se rezultati mjerenja doveli u korelaciju s opažanjem boja.

## 2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada

Objekti ovisno o svojoj površini različito reflektiraju svjetlo. Poznato je da glatki objekti zrcalno reflektiraju svjetlo, a objekti s hrapavom površinom difuzno. Zato, iako se radi o istim bojama, pojavljivanje boja se može razlikovati. CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) komisija preporučuje da se kolorimetrijske specifikacije uzoraka daju tako da odgovaraju jednom od stanja osvjetljavanja i mjerenja:  $d_i: 8^\circ$ ,  $d_e: 8^\circ$ ,  $8^\circ:d_i$ ,  $8^\circ:d_e$ ,  $d:d$ ,  $d: 0^\circ$ ,  $45^\circ:0^\circ$ ,  $0^\circ:45^\circ$ . Uređaji koji koriste geometriju osvjetljavanja i mjerenja  $45:0$  i  $0:45$  mjere samo tako da je komponenta sjaja isključena. Za mjerenje stvarne boje objekta koristi se SCI (Specular Component Included). Ovakav način mjerenja uključuje mjerenje i zrcalne i difuzne refleksije svjetla, bez utjecaja karakteristika površine objekta na refleksiju svjetla. Za dva jednako obojena objekta, različite površine, rezultati bi trebali biti isti. Kada želimo mjeriti prikaz boje objekta, koji ovisi i o samoj površini, koristi se SCE (Specular Component excluded) [2]. Ovakav tip mjerenja i osvjetljavanja isključuje zrcalnu refleksiju svjetla. Ovakva mjerenja daju različite kolorimetrijske vrijednosti za objekte. Preporuka je da se glatki metalni uzorci mjere sfernim instrumentom u modu SCI. Ali što je slučaj s metalnim sjajnim uzorcima određene teksture. Danas se izrađuju teksture s folijama koje imaju reljefnu strukturu. Cilj ovog rada je utvrđivanje geometrije osvjetljavanja i mjerenja da bi se dale preporuke za ovakav tip uzoraka. Rezultati mjerenja uzoraka moraju biti u korelaciji s vizualnom procjenom, pa su provedena i subjektivna istraživanja.

### 3. Mjerenje boja

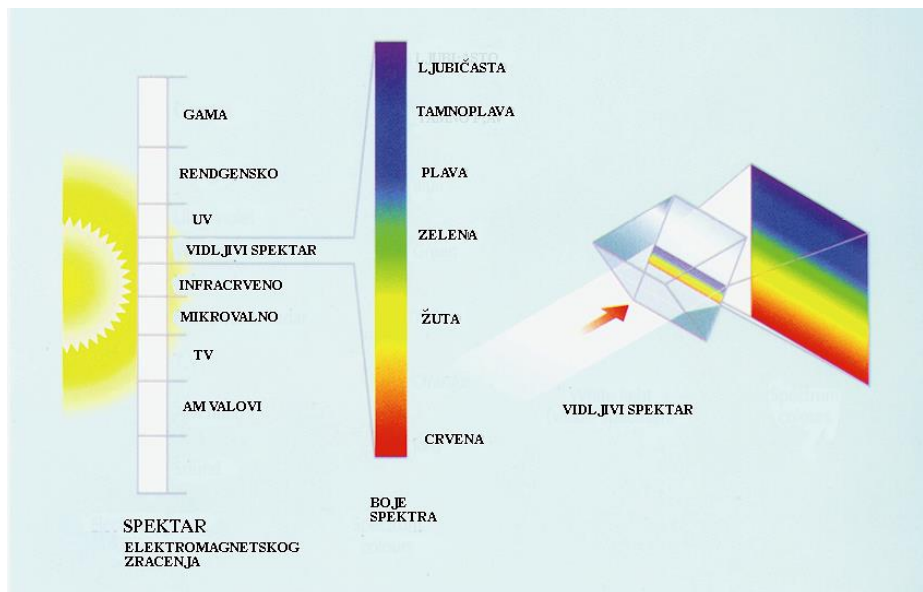
Posljedica osjeta boje je djelovanje triju komponenti: izvora svjetlosti, objekta i ljudskog vizualnog sustava (slika 1), te je potrebno definirati komponente. Pri tom je važno naglasiti da možemo opaziti izvor svjetlosti (npr. žarulja), ali objekte ne možemo vidjeti bez izvora svjetlosti i vizualnog sustava (neizravni izvori uvjetuju osjet velikog raspona boja). Izvori svjetlosti su definirani spektralnom raspodjelom snage, objekti geometrijskom i spektralnom raspodjelom reflektirane ili propuštene energije, a ljudski vizualni sustav osobinama izjednačavanja boja [3].



**Slika 1.** Osjet boje kao posljedica međusobnog djelovanja izvora svjetlosti, objekta i ljudskog vizualnog sustava

### 3.1. Izvor svjetlosti

Svjetlost je osnovni uvjet za prikazivanje slika. Svjetlost kao elektromagnetsko zračenje određuju fizikalne veličine: valna duljina, jakost zračenja i skup valnih duljina (slika 2). Elektromagnetski spektar obuhvaća: radiovalove (valne duljine od nekoliko kilometara do 0,3 metra), mikrovalove (valne duljine od 0,3 -1 milimetara) , infracrveni dio spektra (valne duljine od 10<sup>-3</sup> metara do 7,810<sup>-7</sup> m), vidljivi spektar (valne duljine od 380 do 760 nanometara), ultraljubičasto (UV) zračenje (valne duljine od 3,8 ·10<sup>-7</sup> do 6·10<sup>-10</sup> metara), rendgensko zračenje (valne duljine od 10<sup>-9</sup> do 6·10<sup>-12</sup> m) i gama zračenje (valne duljine od 10<sup>-10</sup> m do 10<sup>-14</sup> m). Ljudsko oko može opaziti samo mali dio valnih duljina, vidljiv spektar. Vidljivi dio spektra objasnio je Isaac Newton 1666. godine eksperimentirajući difrakcijom svjetlosti kroz prizmu [4].

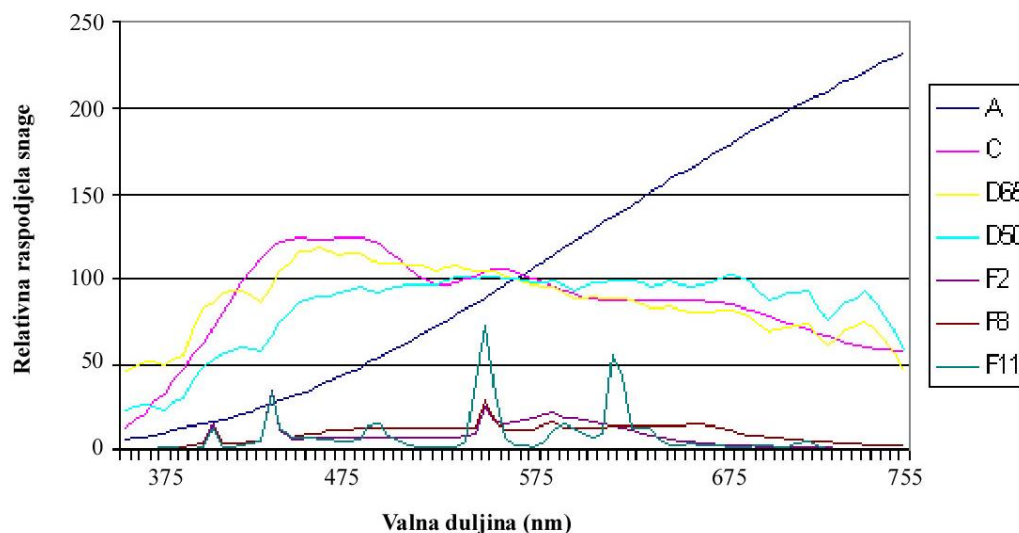


**Slika 2.** Spektar elektromagnetskih valova

Izvori svjetlosti, zbog različite raspodjele spektralnog zračenja i različite temperature boje svjetlosti, utječu na doživljaj boje. Zato je CIE komisija (Commission Internationale de l'Eclairage) 1931. godine standardizirala izvore svjetlosti (slika 3) definirajući osvjetljenje preko spektralne raspodjele i izvore kao fizičke stvaraoce emisije (Illuminant) [5]. Ti izvori su:



- Izvor A: (klasična umjetna svjetlost, T 2852 K); svjetlost proizvedena žaruljom s volframovom niti
- Izvor B: (podnevna sunčeva svjetlost, T 4874 K); modifikacija izvora A pomoću filtera koji ima spektralnu raspodjelu, koja odgovara prosječnoj podnevnoj sunčevoj svjetlosti, neutralnog tona
- Izvor C: (prosječna dnevna svjetlost, plavkastog tona, T 6774 K); pomoću filtera modificiran izvor svjetlosti A tako da dobivamo spektralnu raspodjelu koja ima kombinaciju sunčeve svjetlosti i svjetlosti neba
- Izvori D: kako izvori B i C imaju malo snage u ultraljubičastom području, a zbog sve veće upotrebe fluorescentnih dodataka u bojilima, CIE komisija je 1963. godine preporučila novo standardno osvjetljenje D 65, koje predstavlja prosječnu dnevnu svjetlost u vidljivom spektru i UV području do 300 nm. Osvjetljenje D 65 ima T 6504 K i jedno je iz niza serije D osvjetljenja, koja predstavljaju dnevno svjetlo raznih temperatura boje svjetlosti (D50 - T 5003K, D55 žućkasta dnevna svjetlost od 5503 K, D75-plava dnevna svjetlost od 7504 K)
- Izvor E: (izoenergetska svjetlost); idealan izvor svjetlosti koji na svim valnim duljinama zrači jednaku količinu energije
- Izvori F: predstavlja tipičnu spektralnu raspodjelu snage za različite tipove fluorescentnih izvora

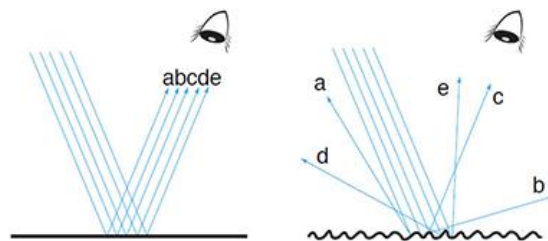


**Slika 3.** Raspodjela zračenja CIE standardnih izvora svjetlosti

### 3.2. Objekti

Objekti (neizravni izvori) prenose primljenu energiju apsorpcijom, refleksijom i propuštanjem, pa je potrebno opisati interakciju objekta s vidljivim zračenjem, pri čemu mora biti ispunjen zakon očuvanja energije. Dio svjetla se apsorbira, a dio reflektira. Zbog interakcije s objektom, dolazi do raspršenja pa svjetlo putuje u različitim smjerovima. Sve veličine predstavljaju mjerenje odnosa i predmet su spektrofotometrijskih mjerenja, izražene u postocima (%) ili kao faktori (0,0-1,0). Objekti mogu biti refleksni (dio zračenja reflektiraju, a dio apsorbiraju) ili transparentni (dio zračenja propuštaju, a dio apsorbiraju).

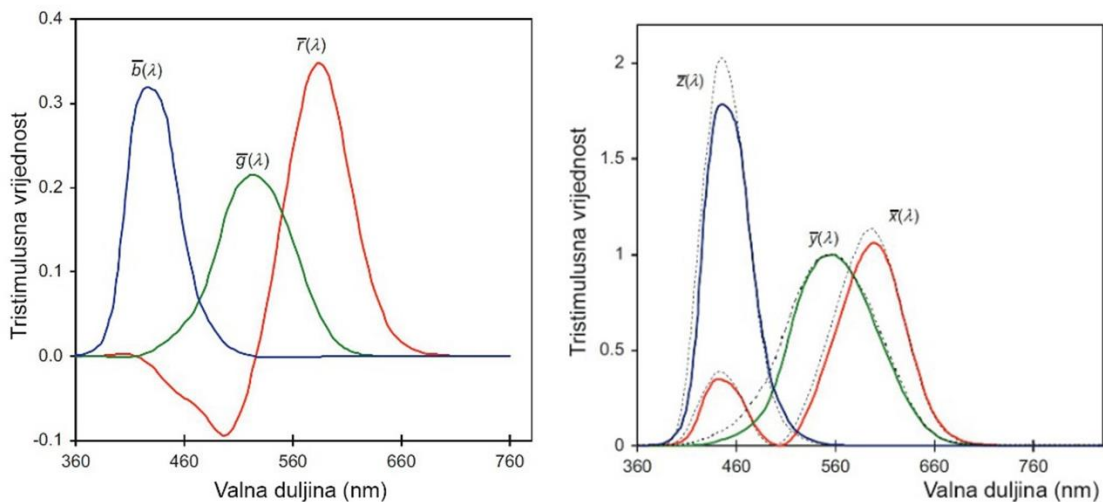
Predmeti, objekti, odnosno površine koje reflektiraju ili propuštaju svjetlost podjednako na svim valnim duljinama su neutralna ili akromatska. One ne izazivaju doživljaj boje u užem smislu, već se doživljavaju kao bijela, siva ili crna. Predmeti koje reflektiraju, selektivno valne duljine su kromatska. Pojedini predmeti uvijek reflektiraju isti iznos svjetlosti i to na istoj valnoj duljini, što rezultira stvaranjem istog doživljaja boje. Neizravni izvori mogu propuštati ili reflektirati svjetlost difuzno pri čemu ne mijenjaju sastav valnih duljina ili disperzivno s promjenom valne duljine. Glatke površine zrcalno reflektiraju svjetlo, a hrapave difuzno (slika 4). Većina objekata difuzno reflektira svjetlost. Kod difuzne refleksije najveći je onaj svjetlosni tok koji se reflektira u smjeru normale. Svaki drugi svjetlosni tok umanjen je za kosinus kuta koje čini u odnosu na normalu. Neka tijela reflektiraju svjetlost istovremeno i difuzno i usmjereno, tako da se u pojedinim pravcima reflektiraju veći, a u drugima manji svjetlosni tokovi. Boju objekta određuje refleksija pojedinih valnih duljina u odnosu na ulazno svjetlo i najbolje se može opisati pomoću spektrofotometrijske krivulje [6].



## Slika 4. Zrcalna i difuzna refleksija svjetla

### 3.3. Ljudski vizualni sustav

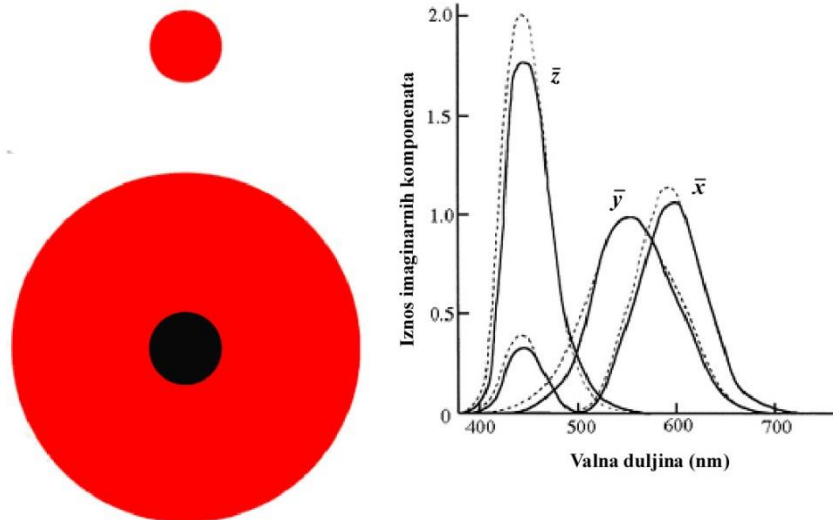
Ljudski vizualni sustav je određen funkcijama izjednačenja boja standardnog promatrača. Doživljaj boje je različit za različite ljude i različitu starosnu dob. Zbog toga je CIE komisija uvela standardnog promatrača, kao matematički način prezentiranja prosječnog doživljaja boje ljudske populacije. CIE komisija je odredila tri fiksna primarna podražaja, R, G i B, koji su monokromatski podražaji sa  $\lambda_R=700$ ,  $\lambda_G=546,1$  i  $\lambda_B=435,8$  nm i provela istraživanja s ciljem utvrđivanja koliko je svakom promatraču potreban udio tri primarna podražaja da se dobiju sve boje spektra. 1931. godine CIE komisija je objavila rezultate dajući ih u obliku funkcija izjednačenja boja,  $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ . Pojedinačni skup primarnih podražaja može imati jednu ili dvije vrijednosti negativne, pa su iz praktičnih razloga uvedene imaginarne funkcije izjednačenja boje  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  koje nemaju negativnih dijelova (slika 5) [7].



Slika 5. Realne ( $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ ) i imaginarne ( $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ) funkcije izjednačenja boje

Kod istraživanja 1931. godine CIE se koristila malim uzorcima boja, pa je vidni kut bio  $2^\circ$ , (kut koji objekt formira na oku na normalnoj udaljenosti od promatrača, oko 45 cm). CIE komisija je 1964. ponovila istraživanja za veće uzorke,  $10^\circ$ , tako su dobivene i funkcije izjednačenja boja za  $10^\circ$  standardnog

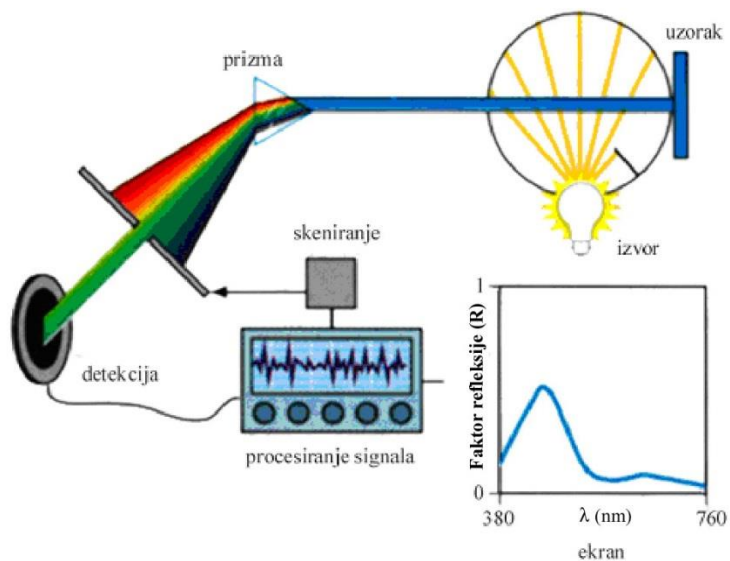
promatrača. Funkcije izjednačenja boja za  $2^\circ$  i  $10^\circ$  standardnog promatrača i prikaz polja (slika 6) [8].



**Slika 6.** Prikaz  $2^\circ$  polja i  $10^\circ$  polja i odgovarajućih funkcija izjednačenja boja

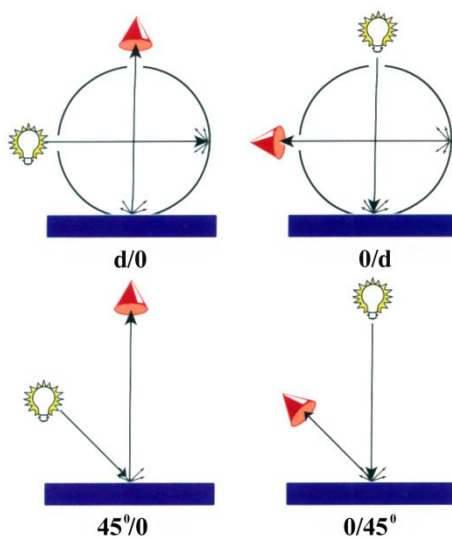
### 3.4. Spektrofotometrijska mjerenja

Objekti su predmet spektrofotometrijskih mjerenja. Spektralna raspodjela podražaja (podražajna funkcija ili spektrofotometrijska krivulja) dobije se spektrofotometrijskim mjerenjem. Spektrofotometar mjeri promjene u refleksiji (transparentiji) i apsorpciji u intervalu valnih duljina, najčešće 10 ili 20 nm, duž cijelog spektra. Kod spektrofotometra svjetlost se pomoću filtra ili difrakcijske rešetke razdvajaju monokromatsku svjetlost s kojom se osvjetljava normirano bijelo tijelo i ispitni uzorak (slika 7). Grafički prikaz mjerenja je spektrofotometrijska krivulja, koja prikazuje podražajnu funkciju. Prije mjerenja treba se odrediti izvor svjetlosti, CIE standardni promatrač i geometrija osvjetljavanja. Prije mjerenja spektrofotometar se mora kalibrirati pomoću crnog normiranog tijela (crno tijelo čija je osobina da apsorbira svo zračenje) i bijelog normiranog tijela (magnezijev oksid koji ima sposobnost da reflektira cjelokupno zračenje) [9].



**Slika 7.** Shematski prikaz rada spektrofotometra

Kako su objekti specificirani geometrijskom i spektralnom raspodjelom energije koju reflektiraju ili propuštaju, CIE komisija preporučuje da se kolorimetrijske specifikacije refleksnih uzoraka daju tako da odgovaraju jednom od 4 stanja osvjetljavanja i mjerenja (slika 8) [10].



**Slika 8.** Pojednostavljen diagram preporuke CIE geometrije za kolorimetrijsko mjerenje

Geometrije 45/0 i 0/45 predstavljaju mjerenje refleksije površine u jednom smjeru; geometrije 0/d i d/0 mjerenje refleksije površina pod difuznim osvjetljenjem.

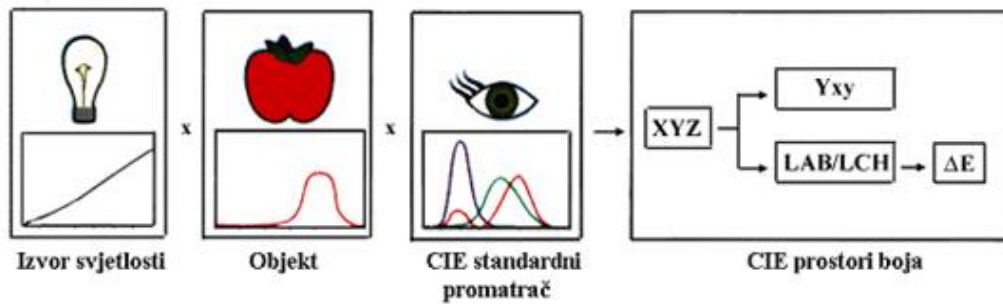
Spektrofotometrijska krivulja (podražajna funkcija) je najvažniji podatak kolorimetrije (mjerenje boje). Ona jednoznačno određuje boju tako da dvije boje s jednakom podražajnom funkcijom, pod jednakim uvjetima promatranja, normalni promatrač doživljava kao jednake (tablica 1). Takve dvije boje nazivaju se bezuvjetno jednakima [11].

**Tablica 1.** CIE osvjetljavanja i mjerenja

Geometrija	Osvjetljavanje	Mjerenje
45/0	$45^{\circ} \pm 2^{\circ}$	$\pm 10^{\circ}$
0/45	$\pm 10^{\circ}$	$45^{\circ} \pm 2^{\circ}$
d/0	Difuzno	$\pm 10^{\circ}$
0/d	$\pm 10^{\circ}$	Difuzno

### 3.5. Prostori boja

CIE prostori boja su prostori boja uključuju osnovne norme i postupke mjerenja boja. Množenjem tri spektralne krivulje koje predstavljaju izvor svjetla, objekt i promatrača, dobivaju se tropodražajne vrijednosti X, Y i Z, početna su točka za specifikaciju boja u svim prostorima boja (slika 9) [12].



**Slika 9.** Dobivanje tropodražajnih vrijednosti

CIE tropodražajne vrijednosti X, Y i Z za refleksne objekte se računaju prema jednadžbama

$$X = k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda \quad (3.1)$$

$$Y = k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda \quad (3.2)$$

$$Z = k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta\lambda \quad (3.3)$$

$$k = \frac{100}{\sum_{\lambda} S_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (3.4)$$

gdje je  $S_{\lambda}$  relativna snaga CIE standardiziranog izvora svjetlosti,  $R_{\lambda}$  faktor refleksije objekta,  $x_{\lambda}$ ,  $y_{\lambda}$  i  $z_{\lambda}$  funkcije izjednačenja boja standardnog promatrača, k je konstanta normaliziranja i  $\Delta\lambda$  je interval valnih duljina [13].

### 3.6. CIE L\*a\*b\* (CIELAB) prostor boja

CIELAB prostor boja je nastao kao rezultat rada kolorimetrijskih znanstvenika koji su imali cilj dobivanja linearnijeg prostora boje koji će se bolje slagati s ljudskim opažanjem boja. Sustav upravljanjem bojama zasniva se na CIELAB prostoru boja, pri čemu se koristi kao prostor koji povezuje profile i kroz koji prolaze svi podaci.

CIELAB je trodimenzionalni prostor boja koji razdvaja os svjetline,  $L^*$  (lightness) kromatske osi na  $a^*$  (crveno-zelena\*) i  $b^*$  (žuto-plava). Boja uzorka je određena svojim položajem u 3D prostoru, izražena pomoću LAB koordinata (slika 10). Svjetlina se mijenja po vertikali,  $L^*= 0$  predstavlja crnu boju, a  $L^*= 100$  bijelu. Zasićenje se povećava udaljavanjem boje od akromatske osi i približavanjem rubu prostora. Promjenom kuta boje ( $h^*$ ), mijenja se ton boje. Osnovna razlika između x, y kromatskog diagrama i CIELAB diagrama je bolja vizualna ujednačenost, tj. geometrijska udaljenost između boja se bolje podudara sa ljudskom percepcijom. LAB koordinate se dobivaju pomoću tropodražajnih vrijednosti X,Y,Z, koristeći jednadžbe (3.5-3.7) [14].

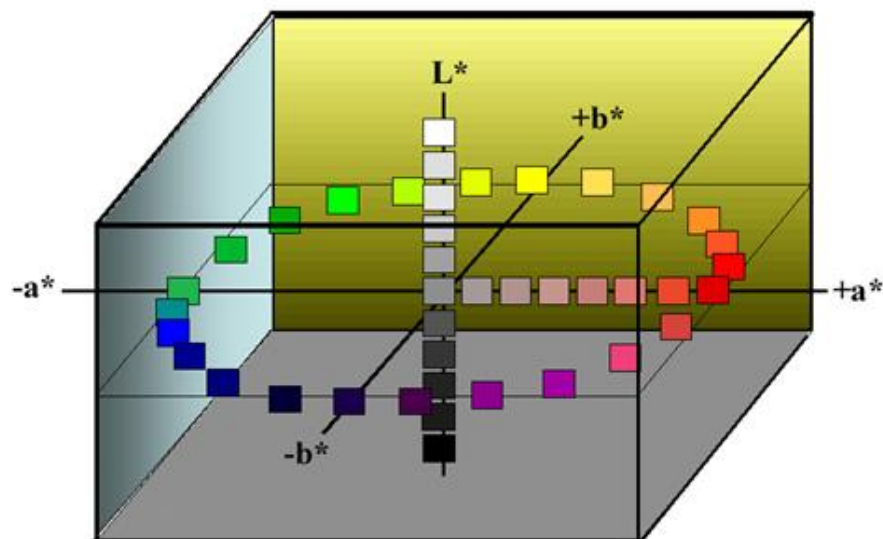
$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (3.5)$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (3.6)$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (3.7)$$

Gdje X, Y i Z predstavljaju tropodražajne vrijednosti uzorka, a  $X_n$ ,  $Y_n$  i  $Z_n$  tropodražajne vrijednosti referentnog izvora svjetlosti. Ove jednadžbe koriste funkciju koja raste s trećim korijenom i predstavljaju nelinearnu funkciju, tako da neke vrijednosti više komprimira, a neke manje. Rezultat takve kompresije je bolji razmještaj boja u LAB prostoru boja [15].





Slika 10. CIELAB prostor boja

### 3.7. Kolorimetrijska razlika

Kolorimetrijska razlika je predmet istraživanja već trideset godina. Kolorimetrijska razlika je prostorna udaljenost između dviju točaka koje opisuju boje u prostoru boja i označava se kao  $E$ . Grčki simbol predstavlja razliku, a  $E$  dolazi iz njemačke riječi i "empfindung" što znači razlika u osjetu. Iako je CIE komisija 1931. godine uvela specifikaciju boja, glavni problem sa stajališta vizualne percepcije je da CIE xy prostor boja nije ujednačen. Jednake promjene u  $x$  i  $y$  ne odgovaraju opaženoj razlici jednake veličine.

Ako želimo usporediti reprodukciju s originalom, zbog određivanja njihovog međusobnog odnosa, dogovorom je definirano da se original označava kao standard ( $S$ ), a reprodukcija kao uzorak ( $U$ ). Razlika u boji između standarda i uzorka je definirana razlikom u svjetlini,  $\Delta L^*$ , i razlikom  $\Delta a^*$  i  $\Delta b^*$  koordinata između u standarda i uzorka. Kolorimetrijska razlika se izračunava prema jednadžbi (3.8) obuhvaćajući razliku između  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.8)$$

gdje je:

$$\Delta L^* = L_U^* - L_S^* \quad (3.9)$$

$$\Delta a^* = a_U^* - a_S^* \quad (3.10)$$

$$\Delta b^* = b_U^* - b_S^* \quad (3.11)$$

Važnu ulogu pri određivanju kolorimetrijske razlike ima i određivanje područja tolerancije (tablica 2).

**Tablica 2.** Evaluacija razlike ovisno o kolorimetrskoj razlici

Kolorimetrijska razlika	Evaluacija razlike
Do 0,2	Ne zapaža se
0,2 - 0,5	Vrlo mala
0,5 - 1,5	Mala
1,5 - 3,0	Vidljiva
3,0 - 6,0	Vrlo vidljiva
6,0 - 12,0	Velika
Iznad 12	Jako velika

Za CIE94 kolorimetrijsku razliku  $\Delta E_{94}$  interaktivni oblik između razlike u zasićenju i tonu  $\Delta R$  je jednak 0, te se ona izračunava kao:

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)^2} \quad (3.12)$$

gdje je  $\Delta R = R_T f(\Delta C^* \Delta H^*)$ , a  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  i  $\Delta H^*$  je CIELAB metrika za svjetlinu zasićenje i ton, izračunata između para standarda i uzorka,  $\Delta R$  je interaktivni oblik između razlike u zasićenju i tonu.  $S_L$ ,  $S_C$  i  $S_H$  su težinske funkcije za komponente svjetline, zasićenja i tona boje. Vrijednosti koje se računaju za ove funkcije variraju sukladno s položajem parova u CIELAB prostoru boja.  $k_L$ ,  $k_C$  i  $k_H$  su faktori koji se trebaju podesiti sukladno različitim parametrima promatranja kao što su: tekstura, pozadina, separacija itd., za svjetlinu, zasićenje i ton.

Kod izračunavanja kolorimetrijske razlike CIE94  $S_L$  je jednak 1, a  $S_H$  je neovisan o kutu tona. Izračunavanje CIE94 kolorimetrijske razlike nastaju velike

razlike za predviđanje kromatske razlike zasićenih plavih boja. Orijentacija elipsa u tom području nije u smjeru izvora svjetlosti, tako da je potrebna funkcija koja bi rotirala elipse. Slično se događa i s neutralnim bojama, gdje su elipse dobivene eksperimentalno orijentirane u smjeru 90° i nisu konstantnog promjera.

Budući da je postojalo 70% neslaganja između rezultata dobivenih jednadžbom i eksperimentom, formiran je CIE tehnički odbor 1-47 (*"Hue and Lightness" Dependent Correction to Industrial Colour-Difference Equation*) čije je djelovanje bilo fokusirano na prikupljanje skupova podataka za kolorimetrijske razlike i proučavanje  $S_L$ ,  $S_H$  i  $R_T$  funkcija. Cilj je razviti nove funkcije i dobiti novu jednadžbu za izračunavanje kolorimetrijske razlike. Na temelju rada tehničkog odbora 1-47 CIE komisija je preporučila novu jednadžbu za izračunavanje kolorimetrijske razlike, CIEDE2000:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H}{k_H S_H}\right)} \quad (3.13)$$

gdje su  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  koordinate u CIELAB prostoru boja, a  $C^*$  je zasićenje boje. Da bi se ujednačila kolorimetrijska razlika u CIELAB prostoru boja, primjenjuje se skaliranje  $a^*$  osi, kako bi se dobila os  $a'$ , dok  $L'$  i  $b'$  osi ostaju nepromijenjene:

$$L' = L^* \quad (3.14)$$

$$a' = (1 + G)a^* \quad (3.15)$$

$$b' = b^* \quad (3.16)$$

$$C' = \sqrt{a'^2 + b'^2} \quad (3.17)$$

$$h' = \tan^{-1}(b'/a') \quad (3.18)$$

$$G = 0,5 \left( 1 - \sqrt{\frac{\overline{C^*_{ab}}^7}{\overline{C^*_{ab}}^7 + 25^7}} \right) \quad (3.19)$$

gdje je  $\overline{C^*_{ab}}$  aritmetička sredina  $C^*_{ab}$  vrijednosti za par uzoraka.

Zatim se izračunava razlika u svjetlini, zasićenju i tonu boje, pri čemu je indeks  $U$  vezan na uzorak, a  $S$  na standard:

$$\Delta L' = L'_U - L'_S \quad (3.20)$$

$$\Delta C' = C'_U - C'_S \quad (3.21)$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_U C'_S} \sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right) \quad (3.22)$$

$$\Delta h' = h'_U - h'_{S1} \quad (3.23)$$

$S_L$ ,  $S_C$  i  $S_H$  su nove težinske funkcije za komponente svjetline, zasićenja i tona boje:

$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}} \quad (3.24)$$

$$S_C = 1 + 0,045\bar{C}' \quad (3.25)$$

$$S_H = 1 + 0,015\bar{C}'T \quad (3.26)$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(\bar{h}' - 30^\circ) + 0,24 \cos(2\bar{h}') + 0,32 \cos(3\bar{h}' + 6^\circ) - 0,20 \cos(4\bar{h}' - 63^\circ) \quad (3.27)$$

$$R_T = -\sin(2\Delta\Theta)R_C \quad (3.28)$$

$$\Delta\Theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{(\bar{h}' - 275^\circ)}{25}\right]^2\right\} \quad (3.29)$$

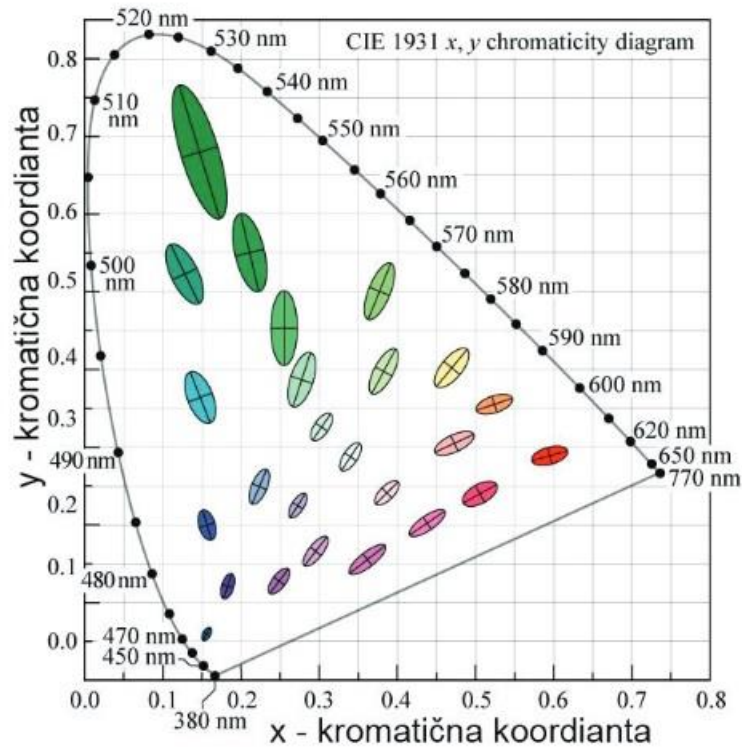
$$R_C = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 - 25^7}} \quad (3.30)$$

$\bar{L}'$ ,  $\bar{C}'$  i  $\bar{h}'$  su aritmetičke srednje vrijednosti za  $L'$ ,  $C'$  i  $h'$  za par uzoraka.

Tako izračunata kolorimetrijska razlika uključuje interaktivan odnos između zasićenja i tona boje, radi poboljšanja za kolorimetrijske razlike u plavom području [16].

Jednadžbe za izračunavanje kolorimetrijske razlike,  $\Delta E_{94}$  i  $\Delta E_{00}$ , određuju područje tolerancije, pri čemu se oblik i veličina elipse dinamički mijenja u prostoru boja, ovisno o kojoj boji se radi. U narančastom području su elipse

uže, a u zelenom području šire. Za boje malog zasićenja elipse su manje, a za one većeg zasićenja veće (slika 11) [17].



**Slika 11.** Različiti oblik i veličina elipsa u prostoru boja

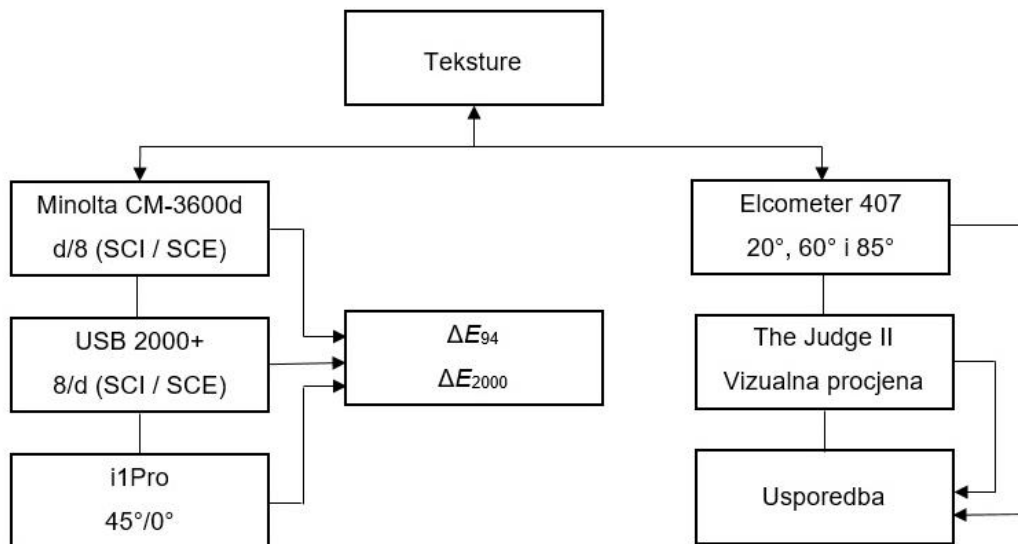
#### 4. Eksperimentalni dio

U ovom istraživanju je korišteno 18 uzoraka različite teksture iste boje proizvođača hinderer + muhlich Swiss AG.e. Teksture su dobivene korištenjem folija i posebnih postupaka. Na slici 12 su prikazani uzorci različitih tekstura (micro-embossing and texture<sup>+</sup>).



**Slika 12.** Korišteni uzorci

Budući da su uzorci različite teksture želio se utvrditi utjecaj različite geometrije osvjetljavanja i mjerenja pri čemu su korištena 3 spektrofotometra: Eyeone koji koristi geometriju osvjetljavanja i mjerenja 45/0; Minolta 3600d koristi geometriju osvjetljavanja i mjerenja d/8 (SCI i SCE) i Ocean Optic USB 2000+ koji koristi geometriju osvjetljavanja i mjerenja 8/d (SCI i SCE). Korišteni su izvori svjetla D50 i standardni promatrač 2°. Diagram toka istraživanja prikazan je na slici 13.



**Slika 13.** Diagram toka istraživanja

Spektrofotometri Minolta 3600d i Ocean Optic USB 2000+ koriste sfernu kuglu. Kod mjerenja s sfernom kuglom korištene su dva načina mjerenja boje objekta, ovisno o tome što se želi izmjeriti. Ako se želi izmjeriti boja objekta bez utjecaja teksture, koristi se mod s uključenom zrcalnom refleksijom, SCI (*Specular Component Included*) koja uključuje i zrcalnu i difuznu refleksiju.. Takva mjerenja daju iste rezultate za dva isto obojena objekta različite teksture. Ako se želi uključiti utjecaj teksture i sjaja na boju objekta, koristi se mod s isključenom zrcalnom refleksijom, SCE (*Specular Component Excluded*) tako da će dva isto obojena objekta različite teksture imati različite kolorimetrijske vrijednosti.

Nakon provedenih mjerenja izračunate su kolorimetrijske razlike  $\Delta E_{94}$  i  $\Delta E_{2000}$ . Mjerenje sjajnosti svih uzoraka provedeno je uređajem Elcometer 407 koji omogućava mjerenje s obzirom na 3 različita kuta: 20°, 60° i 85°.

Provedena su vizualna ispitivanja u kojem je sudjelovalo 63 ispitanika čije je vid testiran pomoću Ishihara test. Vizualno ispitivanje je provedeno u tamnoj prostoriji gdje su uzorci bili smješteni u *X-Rite The Judge II Viewing Booth* koji služi za gledanje otisaka koristeći D50 (dnevno svjetlo). Uzorci su bili položeni

na stativ pod kutem od 0°, 20°, 45°, 60°. Ispitanici su trebali izabrati najsvjetliji i najtamniji uzorak.

#### **4.1. Uređaji korišteni u istraživanju**

##### **4.1.1. Minolta CM-3600d**

U ovom radu koristili smo Minolta CM-3600d (slika 14) za mjerenje geometrije refleksija  $d/8^\circ$  tekstura s komponentama SCI i SCE. CM-3600d služi za spektrofotometrijsko mjerenje refleksnih i transparentnih predložaka u valnom području 360-740 nm, u intervalu valnih duljina 10 nm. Omogućuje mjerenja s velikim stupnjem preciznosti. CM-3600d uključuje komponente koje smanjuju vrijeme prebacivanja između SCI i SCE. Opremljena je s tri mjerne pukotine promjera, 25,4 mm, 8 mm i 4 mm. Ovaj instrument se koristi za kalibraciju manjih uređaja, mogu se mjenjati značajke za sjaja i UV kontrolu, kao i sposobnost mjerenja boje transparentnih predložaka [18].



**Slika 14.** Minolta CM-3600d

##### **4.1.2. Ocean Optic USB 2000+**

USB2000 + spektrofotometar (slika 15) koji mjeru u području UV-Vis-NIR (ultraljubičasti, vidljivi i infracrveni dio spektra. Sferni spektrofotometar: OceanOptics USB200+ je uređaj s integracijskom sferom koji ima nekoliko



geometrija mjerenja. Za potrebe ovog rada korištene su geometrije mjerenja (8: di i 8: de), korištena je sfera dijametra 50mm, te otvora za mjerenje 8 mm [19].



**Slika15.** Ocean Optic USB 2000+

#### **4.1.3. i1Pro**

i1Pro spektrofotometar (slika 16) podržava mjerenje emisije (monitori) i reflesije (ispis) predložaka u valnom području 380 - 730 nm, u intervalu valnih duljina 10 nm. Za potrebe ovog rada korištena je geometrija osvjetljavanja i mjerenja 45°/0°: ISO 13655:2009 [20].



**Slika 16.** i1Pro spektrofotometar

#### **4.1.4. Elcometer 407**

U ovom radu korišten je Elcometer 407 (slika 17) za mjerenje sjaja teksture pod kutevima: 20°, 60° i 85°. Elcometer 407 služi za mjerenje sjaja podloge, otiska, laka ili same podloge. Sjaj se mjeri pod tri kuta: (20°, 60° i 85°), mogućnost memoriranja do 200 mjerenja po kutu. Sjaj je mjeran usmjeravanjem

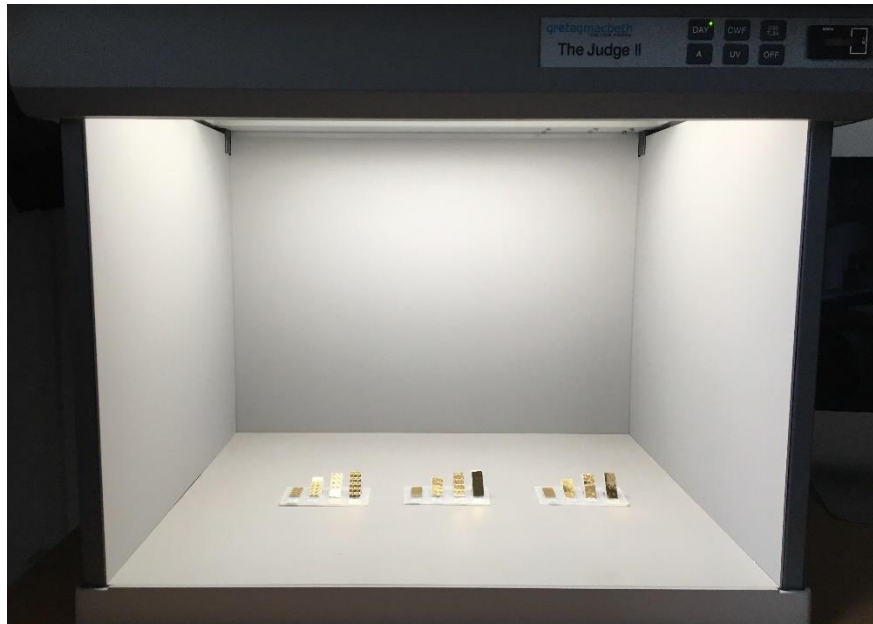
konstantne snage svjetlosne zrake pod kutom na površinu za ispitivanje i praćenjem reflektirane svjetlosti. Različite površine zahtijevaju mjerenja pod različitim kutovima [21].



**Slika 17.** Uređaj Elcometer 407

#### **4.1.5. The Judge II Viewing Booth**

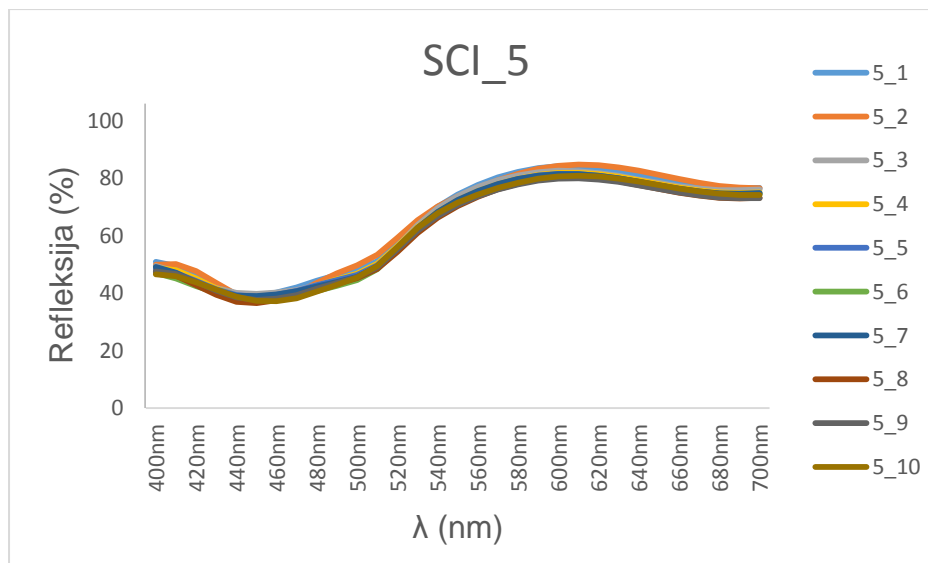
Za potrebe ovog rada korištena je „ rasvjetna kabina “ Judge II Viewing Booth za usporedbu vizualne procjene (slika 18.) tekstura gdje su uzorci bili položeni na stativ pod kutem od 0°, 20°, 45°, 60°. The Judge II služi za gledanje otisnutih predložaka uz simulaciju različitih osvjetljenja. Moguća je simulacija dnevnog svjetla, bijelog fluorescentnog svjetla, svjetla standardne žarulje i UV svjetla .

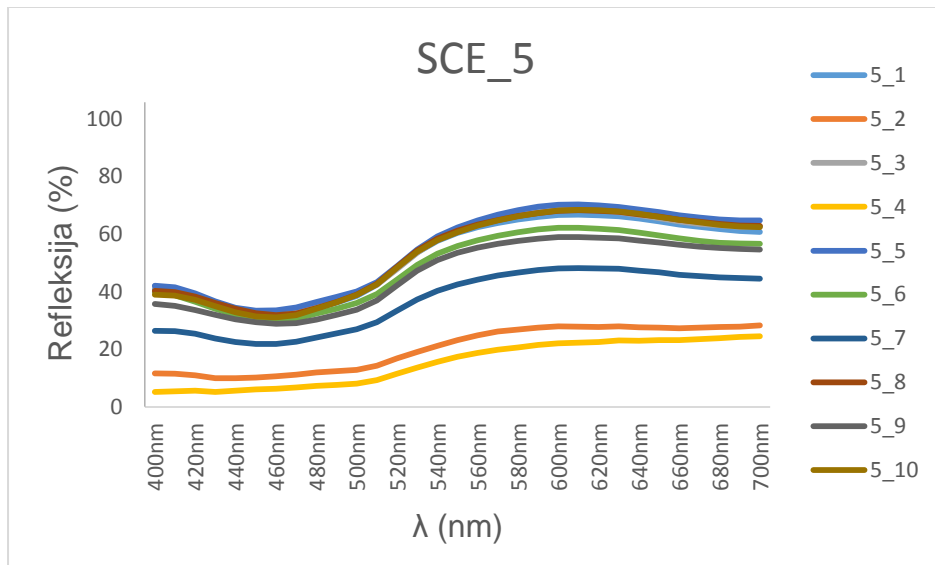


**Slika 18.** Judge II Viewing Booth za usporedbu vizualne procjene

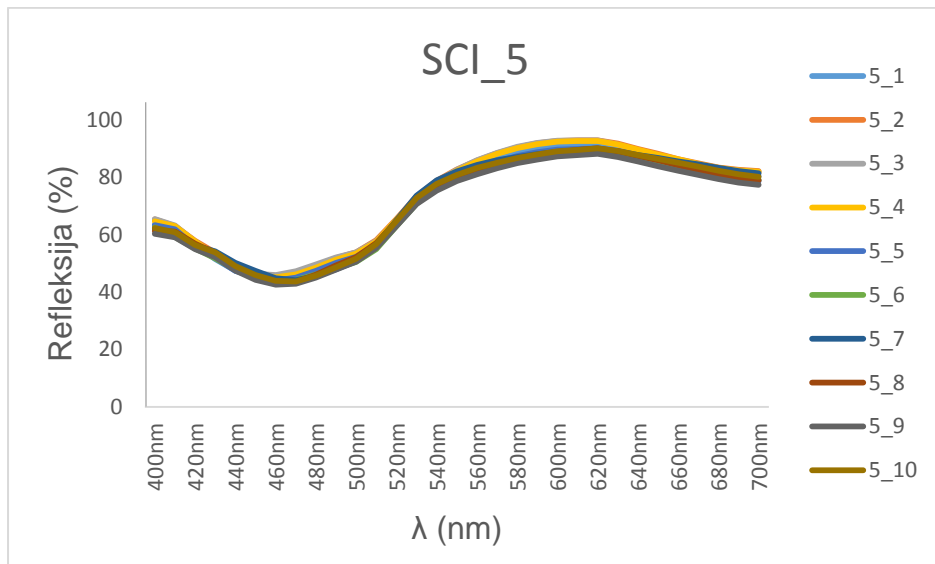
## 5. Rezultati i diskusija

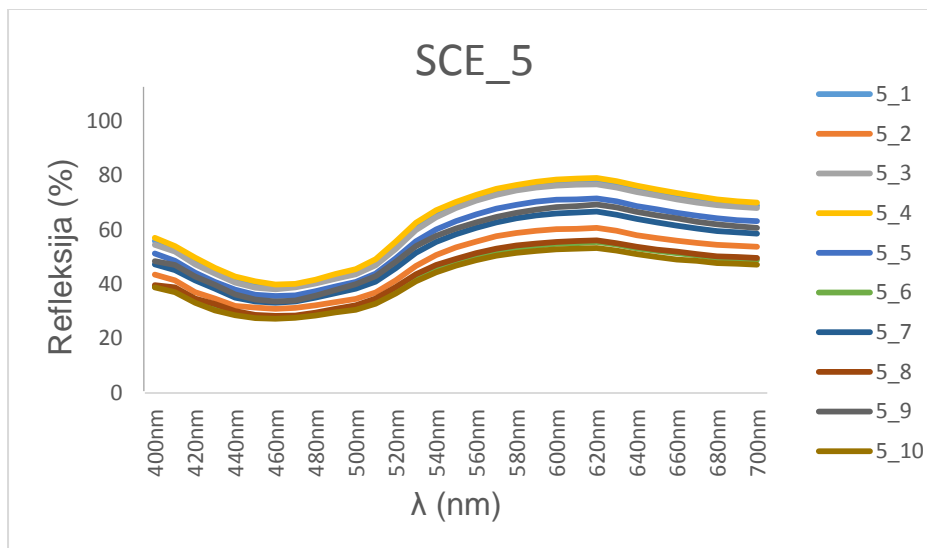
Na slikama 19, 20, 21, 22, 23, 24 su prikazane spektrofotometrijske krivulje dobivene mjerenjima s različitim geometrijama osvjetljavanja i mjerenja za 2 uzorka koji imaju različitu teksturu. Kako bi se ustanovio da li tekstura ima utjecaj na rezultate mjerenja, mjerenja su obuhvatila različite dijelove uzorka.



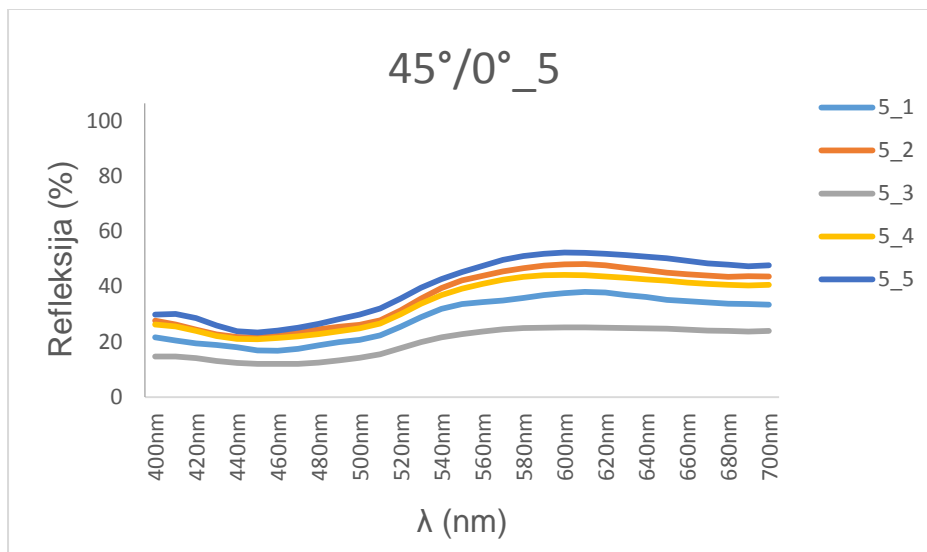


**Slika 19 .** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za d/8; SCI i SCE (tekstura 5)

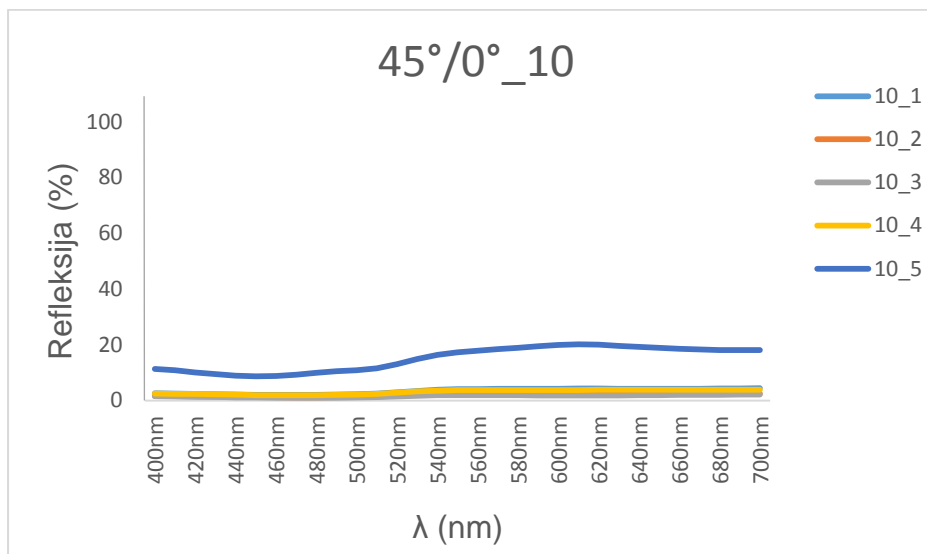




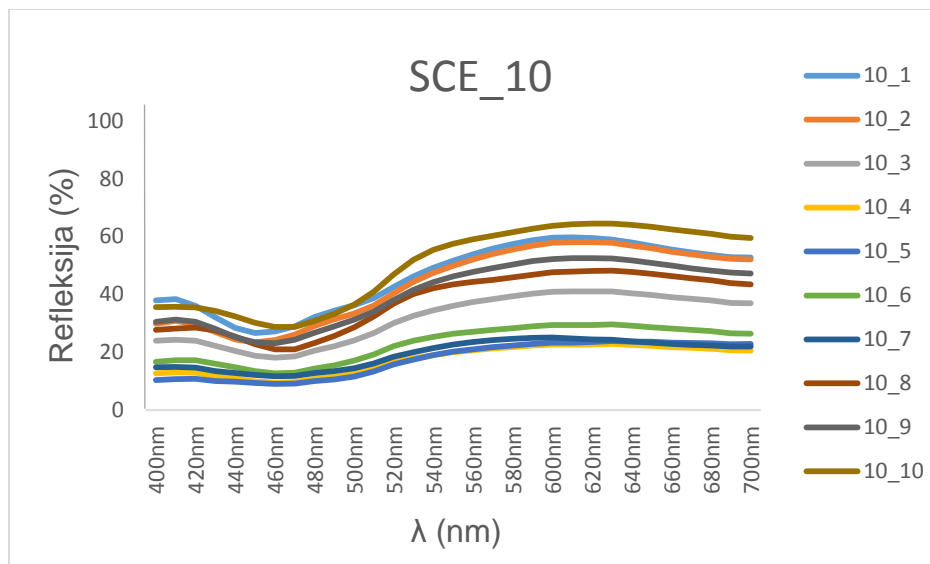
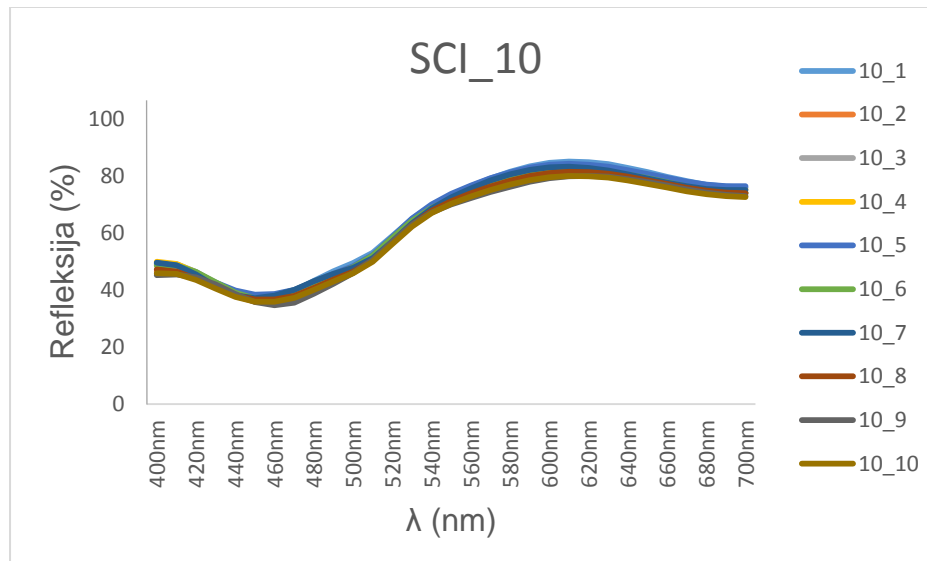
**Slika 20.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za 8/d; SCI i SCE (tekstura 5)



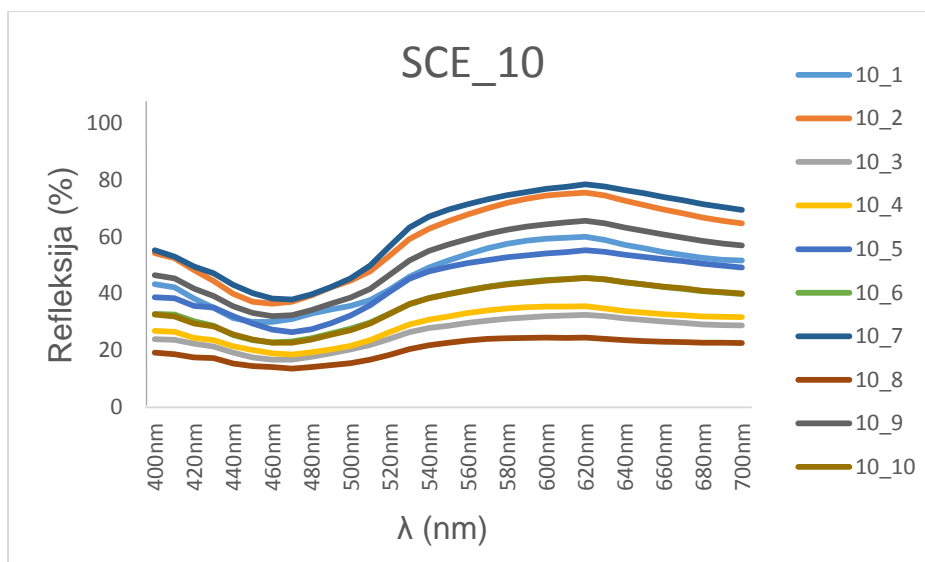
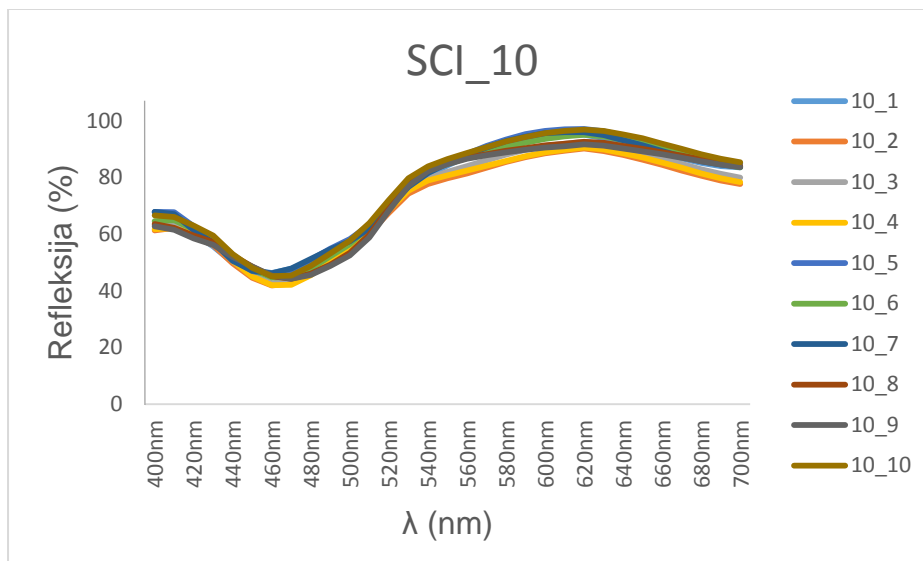
**Slika 21.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za 45°/0° (tekstura 5)



**Slika 22.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za 45°/0° (tekstura 10)



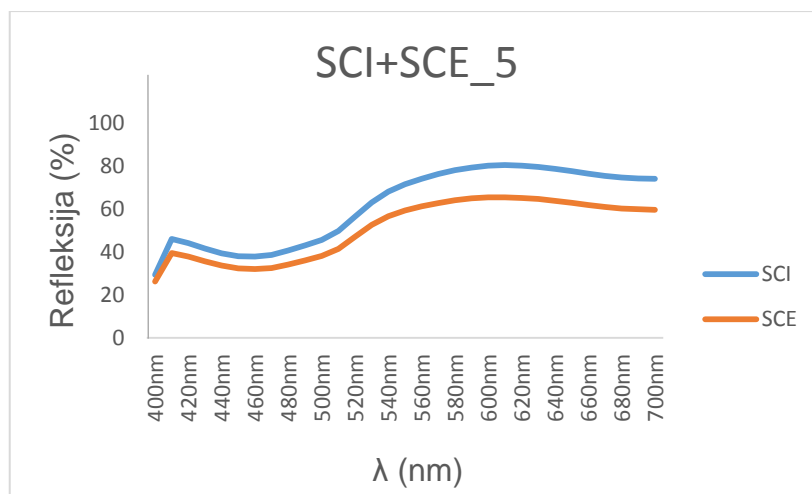
**Slika 23.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za d/8; SCI i SCE (tekstura 10)



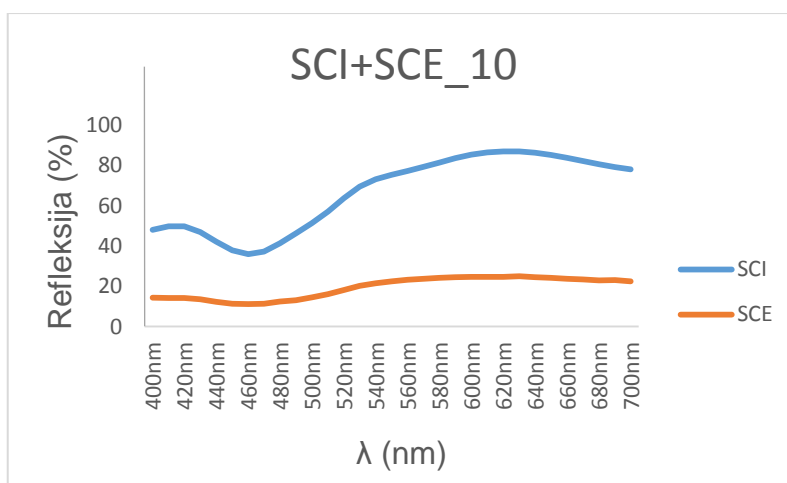
**Slika 24.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za 8/d; SCI i SCE (tekstura 10)



Mjerenje uzorka s teksturom s različitom geometrijom osvjetljavanja i mjerenja pokazalo je da pri mjerenju  $45^\circ/0^\circ$  i SCE spektrofotometrijske krivulje pokazuju odstupanje ovisno o točki mjerenja. Spektrofotometrijske krivulje pokazuju odstupanja u refleksiji tako da ta mjerenja nisu pouzdana. Može se primjetiti da su odstupanja kod SCI moda manja. Pri usporedbi SCI i SCE se može primjetiti, osim što kod mjerenja u modu SCE postoje veća odstupanja između spektrofotometrijskih krivulja, da je veći faktor refleksije boje kod mjerenja u SCI modu kao što se vidi na slikama 25, 26.

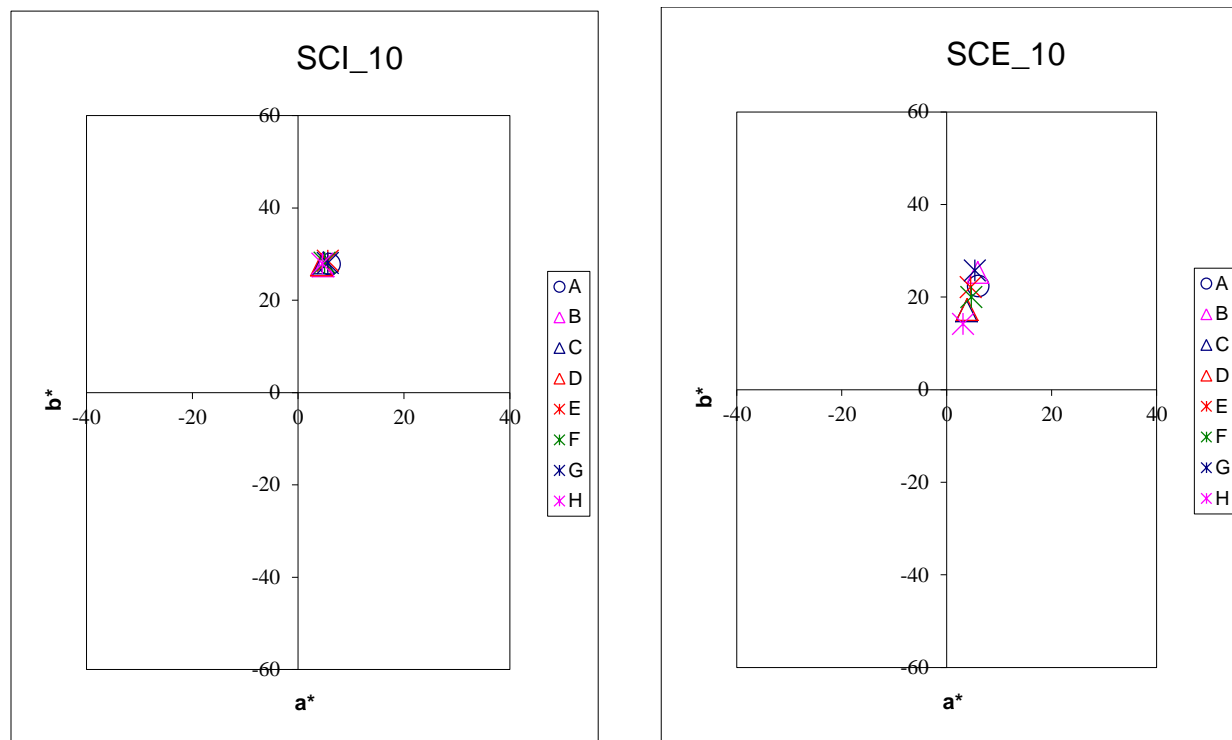


**Slika 25.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za  $d/8$ ; razlika između SCI + SCE (tekstura 5)



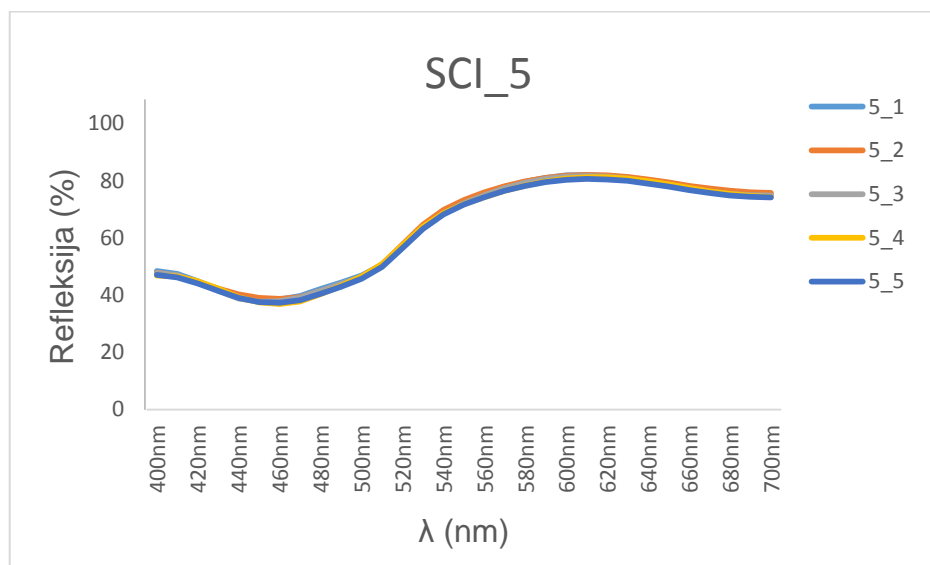
**Slika 26.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za  $d/8$ ; razlika između SCI + SCE (tekstura 10)

Razlika između mjerenja u SCI i SCE modu (slika 27) gdje su prikazani rezultati mjerenja u CIELAB prostoru boja, gdje se može vidjeti smanjenje zasićenja boja kod mjerenja sa isključenim sjajem.

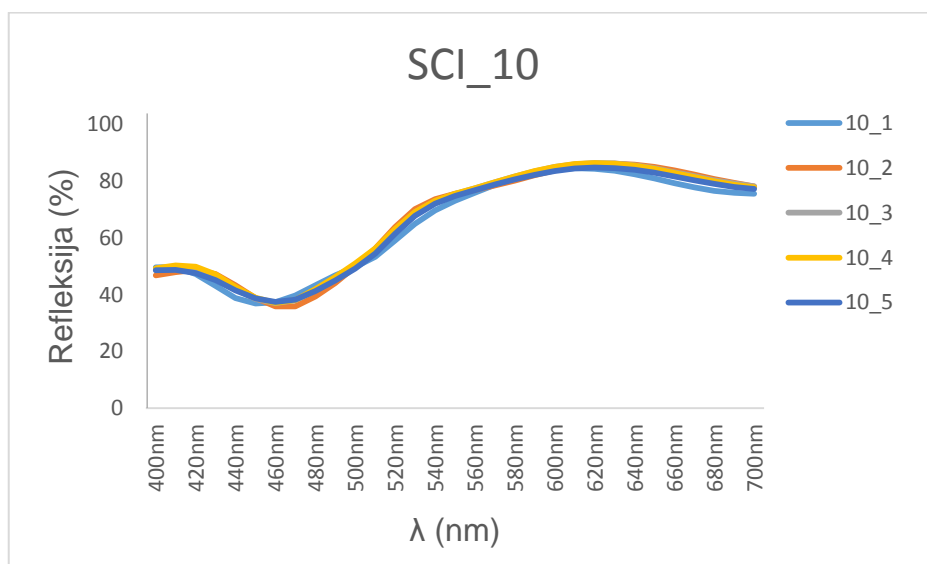


**Slika 27.** CIELAB za 8/d; SCI i SCE (tekstura 10)

Kako tekstura utječe na rezultate mjerenja, pristupilo se mjerenju sa većim otvorom pukotine 8 mm. Rezultati mjerenja su prikazani na slikama 28 i 29.

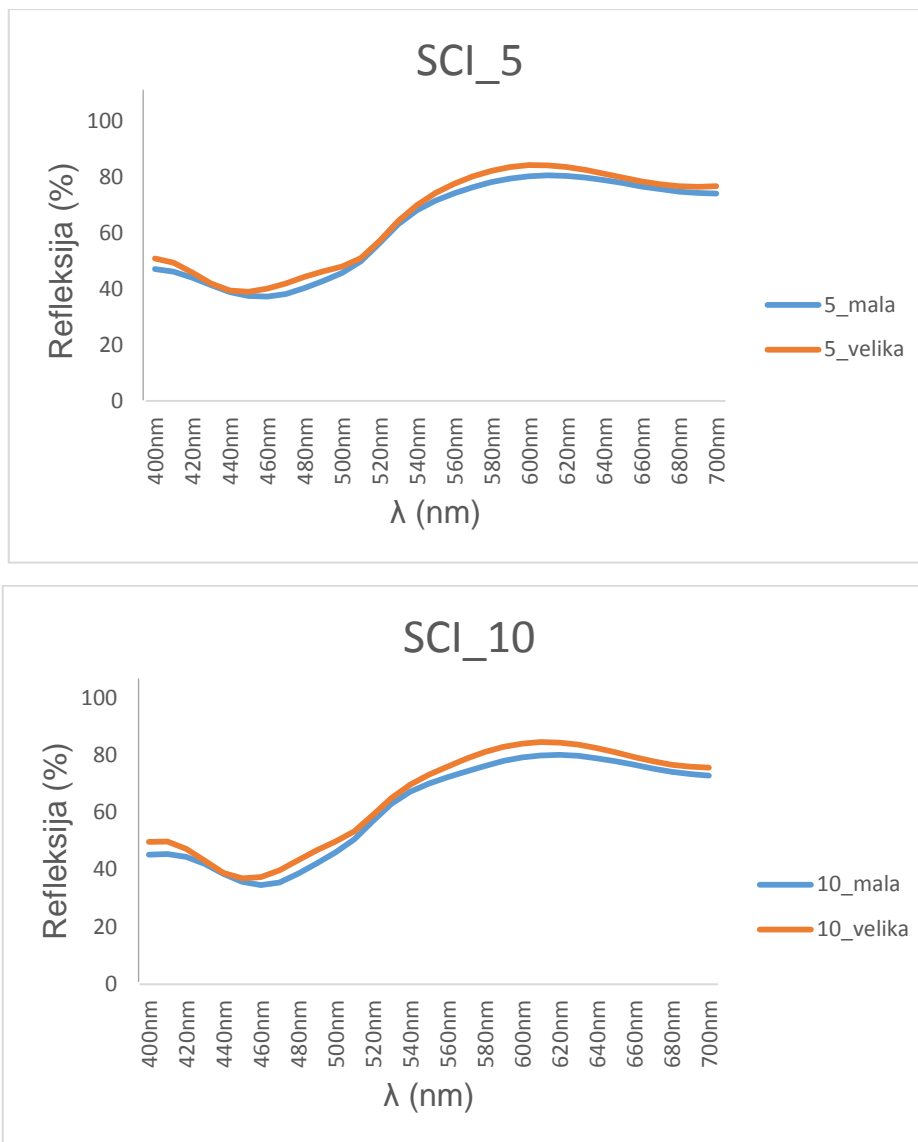


**Slika 28.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za d/8; SCI i SCE (tekstura 5); velika pukotina 8 mm



**Slika 29.** Grafički prikaz spektrofotometrijske krivulje za d/8; SCI i SCE (tekstura 10); velika pukotina 8 mm

Na slici 30 vidi se razlika u spektrofotometrijskim krivuljama kod malog i većeg otvora pukotine.



**Slika 30.** Grafički prikaz razlike spektrofotometrijske krivulje za  $d/8$ ; SCI (tekstura 5 i 10); mala (4mm) i velika pukotina (8 mm)

Nakon što su izmjerene teksture, izračunale su se kolorimetrijske razlike  $\Delta E_{94}$  i  $\Delta E_{2000}$  (tablica 3).

**Tablica 3.** Kolorimetrijske razlike  $\Delta E_{94}$  i  $\Delta E_{2000}$  za različite uvjete osvjetljavanja i mjerenja

uvjeti mjerenja	$\Delta E$ uzorak	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d/8 SCI mala pukotina	$\Delta E_{94}$	4,54	4,79	5,51	4,61	4,81	5,45	4,94	5,28	6,15
	$\Delta E_{2000}$	0.30	0.24	0.12	0.24	0.26	0.15	0.19	0.15	0.05
d/8 SCE mala pukotina	$\Delta E_{94}$	29,47	27,40	20,94	27,84	24,13	19,19	18,67	4,49	22,00
	$\Delta E_{2000}$	8.49	8.01	6.38	8.12	7.21	5.95	5.77	1.53	6.66
d/8 SCI velika pukotina	$\Delta E_{94}$	3,42	1,74	1,23	2,06	2,02	1,19	0,99	0,24	2,21
	$\Delta E_{2000}$	0.51	0.26	0.19	0.29	0.32	0.21	0.15	0.04	0.31
d/8 SCE velika pukotina	$\Delta E_{94}$	27,79	28,33	24,54	28,32	27,26	22,86	15,30	0,79	6,13
	$\Delta E_{2000}$	8.53	8.67	7.69	8.68	8.39	7.24	5.11	0.28	6.94
45°/0°	$\Delta E_{94}$	27,40	36,72	32,46	42,70	52,90	33,63	27,53	1,52	20,22
	$\Delta E_{2000}$	21.1	29.7	25.7	35.7	47.2	26.8	21.3	1.09	15.2
8/d SCI	$\Delta E_{94}$	2,31	1,51	1,65	1,77	0,92	0,84	0,91	1,04	2,17
	$\Delta E_{2000}$	0.38	0.26	0.24	0.28	0.21	0.15	0.15	0.23	0.31
8/d SCE	$\Delta E_{94}$	38,51	29,87	30,42	42,95	33,87	26,74	23,28	0,48	21,21
	$\Delta E_{2000}$	13.5	11.1	11.2	15.1	12.2	10.1	9.03	0.20	8.35

uvjeti mjerenja	$\Delta E$ uzorak	10	11	12	13	14	15	16	18
d/8 SCI mala pukotina	$\Delta E_{94}$	4,81	5,77	5,38	4,62	4,70	6,37	5,90	5,46
	$\Delta E_{2000}$	0.21	0.13	0.15	0.26	0.24	0.01	0.10	0.14
d/8 SCE mala pukotina	$\Delta E_{94}$	15,95	29,63	0,85	14,51	32,93	17,87	16,42	21,09
	$\Delta E_{2000}$	5.03	8.54	0.29	4.64	9.30	5.56	5.16	6.42
d/8 SCI velika pukotina	$\Delta E_{94}$	0,38	1,37	0,47	1,10	1,76	0,24	1,40	1,35
	$\Delta E_{2000}$	0.07	0.21	0.07	0.19	0.28	0.05	0.22	0.2
d/8 SCE velika pukotina	$\Delta E_{94}$	17,28	29,63	1,80	15,13	34,03	16,98	19,17	21,26
	$\Delta E_{2000}$	5.70	8.99	0.65	5.06	10.05	5.60	6.23	6.82
45°/0°	$\Delta E_{94}$	11,09	26,64	5,73	13,84	66,62	2,15	2,62	5,18
	$\Delta E_{2000}$	8.02	20.5	4.08	10.1	65.3	1.47	1.99	3.73
8/d SCI	$\Delta E_{94}$	1,80	2,70	0,32	0,82	1,91	0,51	1,29	1,33
	$\Delta E_{2000}$	0.25	0.38	0.06	0.18	0.32	0.32	0.23	0.19
8/d SCE	$\Delta E_{94}$	25,21	40,12	4,58	18,78	40,27	11,29	22,33	24,99
	$\Delta E_{2000}$	9.65	14	1.96	7.52	14	4.75	8.72	9.59

Iz tablice se vidi da je najmanja kolorimetrijska razlika kod geometrije osvjetljavanja i mjerenja d/8 veliki otvor pukotine.

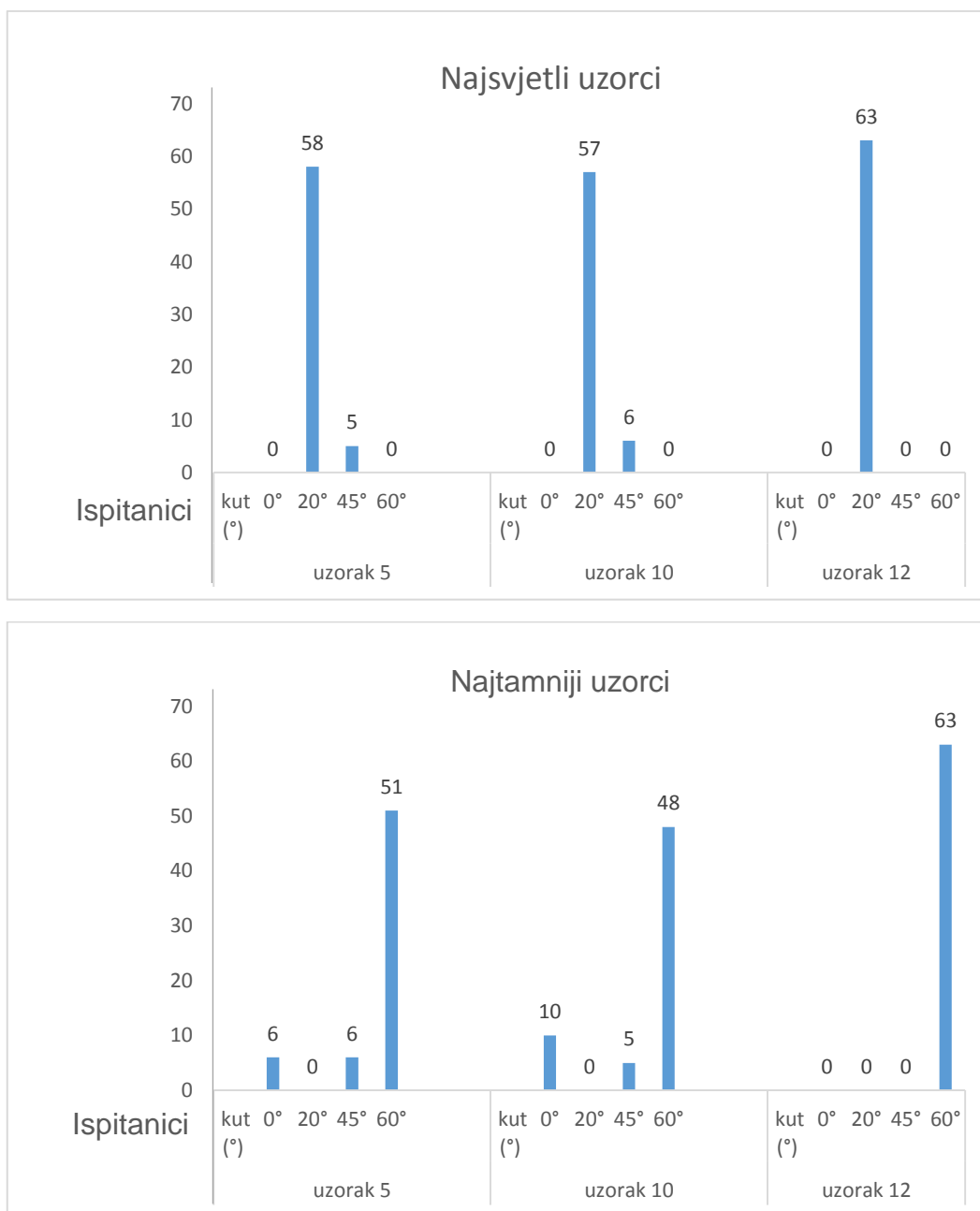
U tablici 4 dani su rezultati mjerenja sjaja za 3 kuta.

**Tablica 4. Rezultati sjaja**

		20°	60°	85°
UZORAK 1	STDEV	3,86	12,4	1,82
	AVERAGE	25,68	138,8	35,6
UZORAK 2	STDEV	7,86	21,4	18,91
	AVERAGE	32,75	109,2	22,5
UZORAK 3	STDEV	14,76	17,6	1,28
	AVERAGE	67,1	170,2	26,40
UZORAK 4	STDEV	5,49	17,8	17,35
	AVERAGE	17,46	80,7	35,89
UZORAK 5	STDEV	40,2	33,2	18,65
	AVERAGE	95,45	120,5	35,22
UZORAK 6	STDEV	19,2	38,3	16,39
	AVERAGE	45,3	124,5	43,09
UZORAK 7	STDEV	44,9	77,6	13
	AVERAGE	74,8	156,2	55,3
UZORAK 8	STDEV	48,74	107,8	6,9
	AVERAGE	62,13	155,6	78,5
UZORAK 9	STDEV	19,54	49,3	15,61
	AVERAGE	41,39	135,3	49,81
UZORAK 10	STDEV	13,49	31,7	16,18
	AVERAGE	27,82	99,03	44,2
UZORAK 11	STDEV	10,24	31,54	18,45
	AVERAGE	24,73	85,5	39,5
UZORAK 12	STDEV	115,89	125,7	4,39
	AVERAGE	161,63	226,58	63,7
UZORAK 13	STDEV	11,3	6,8	7,3
	AVERAGE	81,6	186,9	43,9
UZORAK 14	STDEV	2,7	2,48	7,25
	AVERAGE	19,2	61,5	21,2
UZORAK 15	STDEV	30,6	77,2	3,40
	AVERAGE	92,14	235,7	42,9
UZORAK 16	STDEV	14,9	20,3	5,95
	AVERAGE	96,3	213,9	37,19
UZORAK 17	STDEV	47,8	84,3	3,01
	AVERAGE	155,4	295,5	54,7
UZORAK 18	STDEV	17,9	29,1	4,67
	AVERAGE	93,6	203,9	34,5

Iz rezultata mjerenja sjaja, može se zaključiti da je najveći sjaj izmjeren kod kuta 60°, dok se pod kutom 20° i 85° vrijednosti mjenjaju ovisno o teksturi uzorka.

Kod vizualne procjene, isti uzorak je bio položen pod kutem od 0°, 20°, 45°, 60°. Ispitanici su trebali izabrati najsvjetliji i najtamniji uzorak. Rezultati subjektivnog ispitivanja su prikazani na slici 31. Najsvjetliji uzorci su ispitanici označili za uzorke koji su bili smješteni pod kutem od 20°, a najtamniji pod kutem od 60°.



**Slika 31.** Grafički prikaz vizualne procjene

## 6. Zaključak

Razvoj grafičke tehnologije ide u smjeru ambalaže i dodanih vrijednosti. Koriste se različiti materijali kako bi se povećala atraktivnost proizvoda. Cilj ovog istraživanja je bio odrediti geometriju osvjetljavanja i mjerenja za uzorke s teksturom koji se danas često koriste u ambalaži. U ovom istraživanju je korišteno 18 uzoraka različite teksture zlatne boje proizvođača hinderer + muhlich Swiss AG.e. Teksture su dobivene korištenjem folija i posebnih postupaka. Prikaz boje objekta ovisi o površini, tj. kutu pod kojim se svjetlost reflektira u naše oko. Rezultati mjerenja su pokazali da tekstura ima velik utjecaj jer se svjetlost različito reflektira s površine. Kod spektrofotometrijskog mjerenja s geometrijom osvjetljavanja i mjerenja 45/0, d/8 i 8/d mod SCE, dolazi do većih odstupanja, pa rezultati nisu pouzdani. Daljnja mjerenja su provedena u SCI modu, ali s većim otvorom pukotine, 8 mm, i utjecaj teksture je bio još manji u odnosu na mali otvor pukotine, 4 mm. Tekstura ima utjecaja kod mjerenja sjaja, što se potvrđuje i rezultatima vizualne procjene. Preporuka je da se materijali s teksturom mjere s spektrofotometrom koji ima geometriju osvjetljavanja I mjerenja d/8, s većim otvorom pukotine.



## **7. Zahvale**

Zahvaljujem mentorici, izv. prof. dr.sc. Lidija Mandić, na uloženom vremenu, savjetima, razumijevanju te ugodnoj suradnji prilikom izrade ovog znanstvenog rada.

Zahvaljujem se doc.dr.sc. Rahaeli Kulčar na uloženom vremenu i potpori, bez kojih ne bih uspio odraditi vizualna ispitivanja, te studentima Grafičkog fakulteta u Zagrebu na sudjelovanju na anketi.

Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na strpljenju i ohrabriranju pri izradi ovog rada.

## 8. Popis literature

- [1] CIE No. 51, A Method for Assessing the Quality of Daylight Simulators for Colorimetry, Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1981.
- [2] ASTM E 1360 Standard Practice for Specifying and Matching Color Using the Colorcurve System, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [3] R.S. Berns, *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [4] M. Bass, *Handbook of Optics*, Volumes I and II, New York, McGraw-Hill, 1995.
- [5] CIE No. 63, *The Spectroradiometric Measurement of Light Sources*, Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1984.
- [6] <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part3/02.html>
- [7] <https://dsp.stackexchange.com/questions/17813/the-small-red-peak-in-the-cie-standard-observer>
- [8] H. R. Condit and F. Grum, Spectral energy distribution of daylight, *J. Opt. Soc. Am.* 937-944 (1964.)
- [9] H. Grassmann, Zur Theorie der Farbenmischung, *Ann. Phys. Chem* 96 – 84 (1853) (German); Prof. (H.) Grassmann, *On the theory of compound colors*, London.
- [10] N. L. Johanson and H. F. Stephenson. The influence of geometric tolerances on 45°/0° and 0°/45° colorimetric measurements, *Proceeding of the CIE 20<sup>th</sup> Session*, Amsterdam, CIE Publications No. 56 D202/1-D202/4 (1983.)
- [11] ASTM E 284 Standard Terminology of Appearance, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [12] Lidija Manidić, Doktorska dizertacija; Postupak za vizualno izjednačenje boja u sustavima za prikazivanje slike 2007. (str. 27)
- [13] CIE No. 15.2 Colorimetry, 2<sup>nd</sup> ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
- [14] G. Wyszecki, Color appearance, Chapter 9 in *Handbook of Perception and Human Performance*, John Wiley and Sons, New York, 1986.
- [15] [http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008\\_2009/pospisilova\\_rousarova/cie.html](http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008_2009/pospisilova_rousarova/cie.html)

[16] CIE No. 116, *Industrial Colour-Difference Evaluation*, Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna, Austria, 1995.

[17][http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%202.dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%202.dio.pdf)

[18]<https://sensing.konicaminolta.us/products/cm-3600d-spectrophotometer/>

[19]<https://oceanoptics.com/product/usb2000-custom/>

[20][http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP\\_KatalogOpreme\\_FINAL-WEB\\_v2.pdf](http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)

[21][http://www.kamado.pl/doc/l10-336\\_elcometer\\_407\\_en.pdf](http://www.kamado.pl/doc/l10-336_elcometer_407_en.pdf)

## Sažetak

### Određivanje geometrije osvjetljavanja i mjerenja za uzorke s teksturom

Fabijan Nushi

Danas se atraktivnost proizvoda podiže korištenjem specijalnih efekata ili pigmenata metala, folija, holograma, premaza, personalizacija i sl. Koriste se različiti materijali koji doprinose atraktivnosti proizvoda, koji se razlikuju u gramaturi, teksturi, sjaju i boji. U ovom istraživanju je korišteno 18 uzoraka različite teksture zlatne boje dobivene korištenjem folija i posebnih postupaka. Želio se odrediti utjecaj teksture na geometriju osvjetljavanja i mjerenja. Korištena su tri tipa spektrofotometra različitom geometrijom osvjetljavanja i mjerenja, 45/0, d/8, 8/d, kao i 2 različita moda koja uključuju mjerenje zrcalne refleksije i kod kojih je mjerenje zrcalne refleksije isključeno. Rezultati ukazuju da za mjerenje uzoraka s teksturom geometrij d/8 s uključnim mjerenjem sjaja daje pouzdane rezultate. Kako tekstura utječe i na refleksiju svjetlosti, izmjeren je sjaj i provedena vizualna istraživanja, koja se podudaraju s mjerenjem.

**Ključne riječi:** uzorak s teksturom, geometrija osvjetljavanja i mjerenja, kolorimetrijska razlika, sjaj

## Summary

### Determination of geometry of illumination and measurement for pattern samples

Fabijan Nushi

These days the attractiveness of product is emphasized by using special effects or pigments of metal, foils, hologram, coating, personalisation etc. Different materials are used to emphasize products and the difference between them is in weights, texture, gloss and color. In this research were used 18 samples of different texture of golden color which were made by using foil and special procedures. The goal of this research was to determine the influence of texture on geometry of illumination and measurement. Three types of spectrophotometers were used with different geometry of illumination and measurement  $45/0$ ,  $d/8$ ,  $8/d$  and also two different modes which includes measurement of specular reflection and modes where specular reflection are excluded. The results show that measurements of samples with texture with geometry  $d/8$  with included measuring gloss gives reliable results. Texture has also influence on reflection of light of and therefore glow was measured and conducted visual research, which is matched with measurement.

**Key words:** sample with texture, geometry of illumination and measurement, color differences, gloss.