

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Petra Petric



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## ODREĐIVANJE KVALITATIVNIH KARAKTERISTIKA BOJE PRIMJENOM RAZLIČITIH GEOMETRIJA MJERENJA

Mentor:  
Izv. prof. dr. sc. Lidija Mandić

Student:  
Petra Petric

Zagreb, 2016

Rješenje o odobrenju teme završnog rada



## **SAŽETAK:**

Kolorimetrija je znanstvena disciplina koja se bavi mjerenjem boje te ima veliku primjenu u grafičkoj industriji.

Za razumijevanje i primjenjivanje kolorimetrije potrebno je prvenstveno poznavati osjet boje. Osjet boje ovisi o tri bitna faktora: izvoru svjetla, karakteristikama promatranog objekta te o ljudskom vizualnom sustavu.

Standardiziran izvor svjetla je koji je definiran temperaturom boje svjetla i spektralnom raspodjelom zračenja.

Uređaj koji se koristi za mjerenje boja je spektrofotometar koji je poslužio za mjerenje uzoraka u ovom radu.

Spektrofotometar je uređaj koji mjeri spektralnu refleksiju ili transmisiju u intervalima valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat se dobiva krivulja spektralne refleksije.

Ispitivani su uzorci boje za mat i sjajne površine kod različitih geometrija mjerenja. Rezultati su prikazani u CIELAB sustavu, a kolorimetrijske razlike prikazane preko formule CIEDE2000.

**Ključne riječi:** Kolorimetrija, Instrumentalno mjerenje boja, Geometrije mjerenja boja, Spektrofotometar, CIELAB sustav prikazivanja boja

**ABSTRACT:**

Colorimetry is a scientific discipline that deals with quantifying colors and is applied in the graphic design industry.

To understand and apply colorimetry one must first be familiar with color sense.

Color sense depends largely on three main factors: light source, the characteristic of the observed object and the human factor, i.e. the observer.

Light source signifies the physically realized light and it differs from the light which is defined by light color temperature and intensity.

The most important device for color measurement is the spectrophotometer which was also used for quantifying the samples used in this paper.

The spectrophotometer is a device which measure spectral reflectance or transmittance, depending on the wavelength. The result of its work is displayed as a spectral reflectance curve.

Samples of matte and gloss surfaces were examined under different measurement geometries. The results are displayed in the CIELAB system, and the differences through the CIEDE2000 formula.

**Key words:** Colorimetry, Instrumental color measurement, Measurement color geometries, Spectrophotometer, CIELAB color display system

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Osjet boje .....	2
2.2. Kolorimetrija.....	3
2.3. Karakteristike InkjetPsihofizičke karakteristike boja .....	3
2.4. Tropodržajne mjerenje boje .....	4
2.5. Uređaji za mjerenje boje .....	5
2.5.1. Spektrofotometar .....	5
2.6. Spektralne karakteristike materijala.....	7
2.7. Svojtvo osvjetljene površine .....	8
2.8. Geometrije mjerenja .....	9
2.9. Mjerenje sjaja.....	12
2.10. CIELAB sustav.....	14
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>16</b>
3.1. Mjerenje uzorka .....	16
3.2. Rezultati i rasprava .....	18
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>26</b>
<b>5. LITERATURA</b> .....	<b>27</b>

## 1. UVOD

Spektrofotometri su uređaji koji mjere refleksiju ili transmisiju u intervalima valnih dužina vidljivog dijela spektra. Postoji nekoliko standardnih geometrija mjerenja. U ovom radu ispitat će se utjecaj različitih geometrija mjerenja na izračun boje na sjajnim i mat otiscima s konvencionalnim bojama. Sjajne i matirane površine vezane su uz difuznu i zrcalnu refleksiju. Kod matiranih površina svjetlost se raspršuje u svim smjerovima, dok je kod sjajnih površina upadni kut jednak kutu refleksije.

Uređaj može mjeriti refleksiju na način da im je zrcalna komponenta uključena. Tada uređaj mjeri totalnu refleksiju uključujući difuznu refleksiju koja određuje boju i zrcalnu refleksiju koja određuje sjaj. Također se može mjeriti refleksija kod koje je zrcalna komponenta isključena. Tada uređaj mjeri samo difuznu refleksiju.

Za mjerenje je korištena geometrija mjerenja 45/0 te uređaj sa integracijskom sferom koji ima nekoliko mogućih kombinacija geometrija mjerenja (8:di ; 8:de ; di:8 ; de:8). Osim toga, usporedila su se mjerenja sa sferama različitih dijametara (6mm i 8mm) te opcija sa uključenom i isključenom zamkom za sjaj.

Rezultati su prikazani u CIELAB sustavu, a razlike prikazane preko formule za ukupnu razliku CIEDE2000. Cilj je prikazati odstupanja kod različitih geometrija mjerenja za mat i sjajni uzorak.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Osjet boje

Najveći izvor informacija kod čovjeka je vizualne prirode. Čovjekovo oko predstavlja najmoćnije osjetilo putem kojeg čovjek dobiva 80% informacija. Od toga 40% su vizualne informacije o boji. Taj podatak pokazuje koliko boja ima važnu ulogu u čovjekovu životu.

Danas je nauka o boji interdisciplinarna. Povezana je sa mnogim ljudskim zahvaljujući instrumentalnom mjerenju boje čije su vrijednosti u korelaciji sa vizualnim doživljajem. "Iako smo i danas deficitarni u pojmovima kojima izražavamo osjet boje (razlikujemo ih 10 milijuna) instrumentalno mjerenje omogućava nam komunikaciju kada ih opisujemo, uspoređujemo, receptiramo., [1]

Boja je dana definicijom; "Boja je isključivo psihološki osjet induciran svjetlom, odnosno osjet koji u oku izaziva svjetlost emitiranu iz nekog izvora svjetlosti i reflektiranu ili transmitiranu s neke obojene površine." [2]

Da bi razumjeli osjet boje, odnosno, nastanak boje nekog objekta, potrebno je poznavati tri faktora – izvor svjetla, karakteristike promatranog objekata i vizualni sustav čovjeka (ljudski faktor - fiziološki i psihološki).

Na percepciju boje utječe izvor svjetla sa svojim spektralnom raspodjelom zračenja. Svaki objekt koji se promatra ima svoju boju i strukturu kojima modificira spektralni sastav svjetla koje na njega pada, a promatračev vidni sustav je povezan s mozgom koji percipira boju i njene karakteristike (slika1).

IZVOR SVJETLA

PROMATRAČ



OBJEKT

Slika 1. Faktore potrebne za doživljaj boje

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

## 2.2. Kolorimetrija

Kolorimetrija je znanstvena disciplina koja se bavi bojama, njihovim mjerenjem i uspoređivanjem.

Kolorimetrija ima veliku primjenu u grafičkoj, kemijskoj i tekstilnoj industriji te se koristi i u fotografiji.

Osjet boje je subjektivan doživljaj pa se iz tog razloga javila potreba za određivanjem standarda koje je definirala Internacionalna komisija za rasvjetu (CIE – Commission Internationale de l’Eclairage).

Svaku boju uže definiraju ton, zasićenje i svjetlina. Ton i zasićenje određuju kvalitetu boje, a svjetlina kvantitetu neke boje.

## 2.3. Psihofizičke karakteristike boja

Psihofizičke karakteristike boje su: ton, zasićenje i svjetlina.

Ton boje je svojstvo boje koje predstavlja obilježje vizualnog osjeta na temelju kojeg boji dajemo određeno ime, npr. plava, zelena, žuta, crvena i sl.

Zasićenje boje predstavlja obilježje vizualnog osjeta pomoću kojeg određujemo čistoću boje, odnosno stupanj odstupanja boje od akromatske boje iste svjetline. Boja koja je nastala miješanjem manje je zasićena od boja od kojih je nastala.

Svjetlina boje predstavlja obilježje vizualnog osjeta koje nam pokazuje sličnost boje s nizom akromatske boje od crne preko sive pa sve do bijele.

Ton i zasićenje neke boje određuju njezinu kromatičnost, koja nije ovisna o svjetlini. Za mjerenje boje koristimo različite uređaje.

#### 2.4. Tropodražajne vrijednosti

Boje vidimo zahvaljujući građi našeg oka. Osjet boje u našem oku izaziva elektromagnetsko zračenje valnih dužina od 380 – 750 nm.

Na mrežnici oka smještene je više različitih vrsta fotoreceptora koji su živcima povezani s mozgom, te im je uloga pretvoriti svjetlosnu energiju u kemijske i električne živčane impulse.

Postoje dvije glavne vrste fotoosjetljivih stanica ili fotoreceptora. Jedne od njih su štapići koji registriraju svjetlost u tamnim okruženjima (0.2 lx), a druge su čunjići koji registriraju svjetlost u relativno svijetlom okruženju (20 lx). Postoje tri vrste čunjića koji imaju maksimalnu osjetljivost u kratkovalnom (S, 420-440 nm), srednjevalnom (M, 530-540 nm) i dugovalnom (L, 560-580 nm) spektralnom području.

#### 2.5. Uređaji za mjerenje boje

Izbor uređaja koji su korišteni ovisno o uzorku koji mjerimo i podacima koje mjerenjem želimo ostvariti.

Mjerenje boja može se obavljati vizualnom metodom ocjenjivanja ili instrumentalnom metodom pomoću uređaja. Kod vizualne metode vrednovanja boja moramo imati definirano osvjetljenje i uvjete promatranja koji se ostvaruju pomoću uređaja za vizualno ocjenjivanje boja koji sadrže standardnu vrstu rasvjete. U takvom uređaju ispitivani

uzorci se promatraju pod različitim izvorima svjetla. Postupak vizualnog vrednovanja boja nije precizan pa se zbog toga koristi instrumentalna metoda mjerenja boja. Kolorimetrijske vrijednosti dobivamo pomoću instrumentalnog mjerenja. Instrumentalno mjerenje boje je precizno definirano i mora se provoditi na način da je ono u korelaciji s vizualnom procjenom. To omogućava odabir geometrije promatranja, standardnog promatrača i vrstu rasvjete.

Kako bismo odabrali uređaj za mjerenje potrebno je poznavati karakteristike objekta odnosno boju jer ona određuje način mjerenja. Neke od karakteristika boje kod njihovog određivanja mogu biti određivanje pigmenta u boji, određivanje bojila, određivanje doživljaja ili određivanje kromatskih veličina koje definiraju razliku između dviju boja. [1]

Za instrumentalno mjerenje boje se mogu koristiti uređaje kao kolorimetar, denzitometar, spektrofotometar i spektralradiometar.

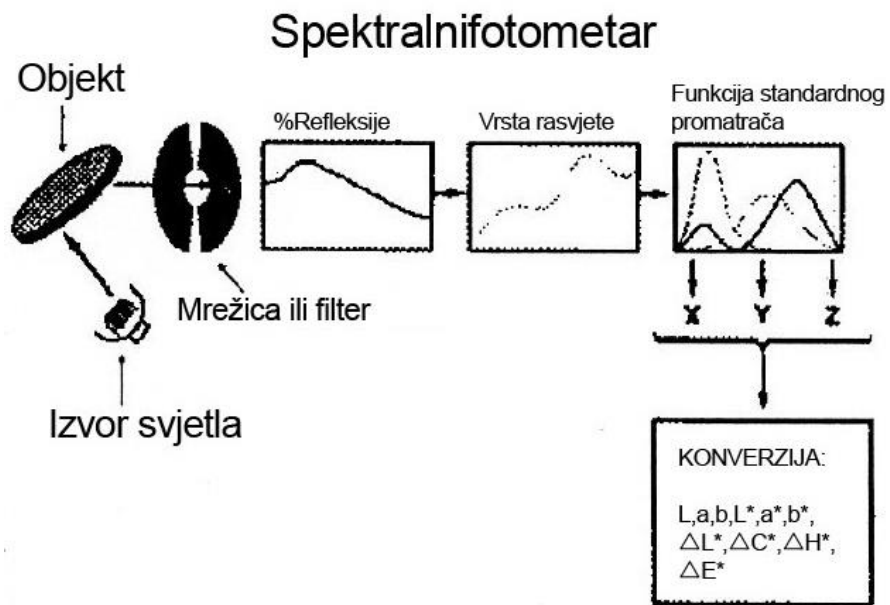
Mjerenje boje je zapravo mjerenje svjetla. Svi mjerni uređaji rade na tom principu. Svjetlo određenog spektralnog sastava se reflektira ili transmitira s površine koju mjerimo i ulazi u detektor. Detektor je zapravo brojač fotona, on ne može odrediti valne duljine fotona koje mjeri, pa uređaj mora imati filter za svjetlo koje ulazi u detektor. Razlika između denzitometra, kolorimetra i spektrofotometra je u broju i tipu filtera koji koriste, a i osjetljivosti samog detektora.

### 2.5.1. Spektrofotometar

Spektrofotometar je konstruiran za mjerenje spektralne refleksije ili transmisije nekog uzorka u intervalima valnih duljina vidljivog dijela spektra. Grafički prikaz rezultata mjerenja je spektrofotometrijska krivulja. Spektrofotometrijske krivulje se mogu promijeniti s geometrijskim osvjetljavanjem i mjerenjem. Uređaj funkcionira tako da rastavlja bijelo svjetlo pomoću prizme, optičke rešetke ili interferencijskih filtra, na intervale od 10 nm ili 20 nm, i mjeri vrijednosti za svaki interval (slika 3). Mjerenja pomoću spektrofotometra su najpreciznija (slika 2). [5]



Slika 2. Spektrofotometar TyeOne.



Slika 3. Princip rada spektrofotometra

( Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf))

## 2.6. Spektralne karakteristike materijala

Kada se zraka svjetla susretne s materijalom, slijede razne interakcije, poput zrcalne refleksije s prve površine (povezano sa sjajem), raspršenja unutar materijala (povezano s difuznom refleksijom/transmisijom), apsorpcijom unutar materijala (povezano s bojom) i kontinuirana transmisija kroz objekt (povezana s prozirnošću).

Kako bismo razumjeli grafički prikaz spektralnih karakteristika materijala, definirani su određeni termini za refleksiju, transmisiju, faktor refleksije, idealnu refleksiju i difuznu refleksiju (slika 4).

Transmisija je definirana kao omjer transmitiranog svjetla u odnosu na upadno svjetlo kod specifičnih geometrijskih uvjeta. [1]

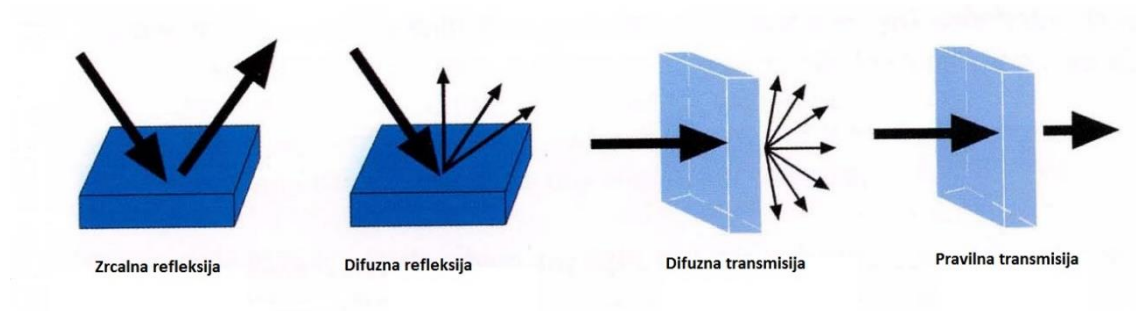
Faktor refleksije je definiran kao omjer reflektiranog svjetla s uzorka i reflektiranog svjetla s idealno reflektirajuće površine koja difuzno raspršuje svjetlo.

Idealna refleksija ili zrcalna refleksija je savršena refleksija svjetlosti (ili nekog drugog oblika vala) s površine, pri čemu se snop svjetlosti ulaznog smjera reflektira kao snop svjetlosti izlaznog smjera. Takvo ponašanje svjetlosti opisano je zakonom refleksije, koji uzima u obzir normalnu površinu, kod koje se događa da je kut smjera ulaznog i izlaznog svjetla isti; odnosno kut upada jednak je kutu izlaza. Primjer takve refleksije je reflektiranje svjetla s mirne površine mora.

Difuzna refleksija je refleksija koja se događa kod hrapave ili granulama posute površine gdje se zraka svjetlosti reflektira u nekoliko smjerova. Matirana boja ima veći postotak difuzne refleksije, dok veći postotak zrcalne refleksije posjeduju sjajne boje.

Difuzna transmisija se događa kad zraka svjetlosti prolazi kroz predmet, prilikom čega se dogodi da se zraka svjetlosti rasprši u svim smjerovima zbog mutnosti medija.

Pravilna transmisija je kad zraka svjetlosti prolazi neraspřena kroz neki predmet. To će se dogoditi ako medij ima sposobnost selektivne apsorpcije svjetla ili ako postoji prisutnost boje u mediju. [10]



Slika 4. Refleksni i transparentni objekti. Strelica lijevo prikazuje upadno svjetlo, a strelica prema desno prikazuje transmisijsko ili reflektirajuće svjetlo

( Izvor: [http://fotoprocеси.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocеси.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

## 2.7. Svojstvo osvjetljene površine

Svojstvo osvjetljene površine poput teksture, boje i sjaja mogu se naglasiti ovisno o izvoru svjetla (difuzni ili usmjereni izvor svjetla), o kutu osvjetljavanja i uzorka i kutu pod kojim se uzorak promatra.

Uređaji za mjerenje boje većinom koriste nekoliko standardnih geometrija.

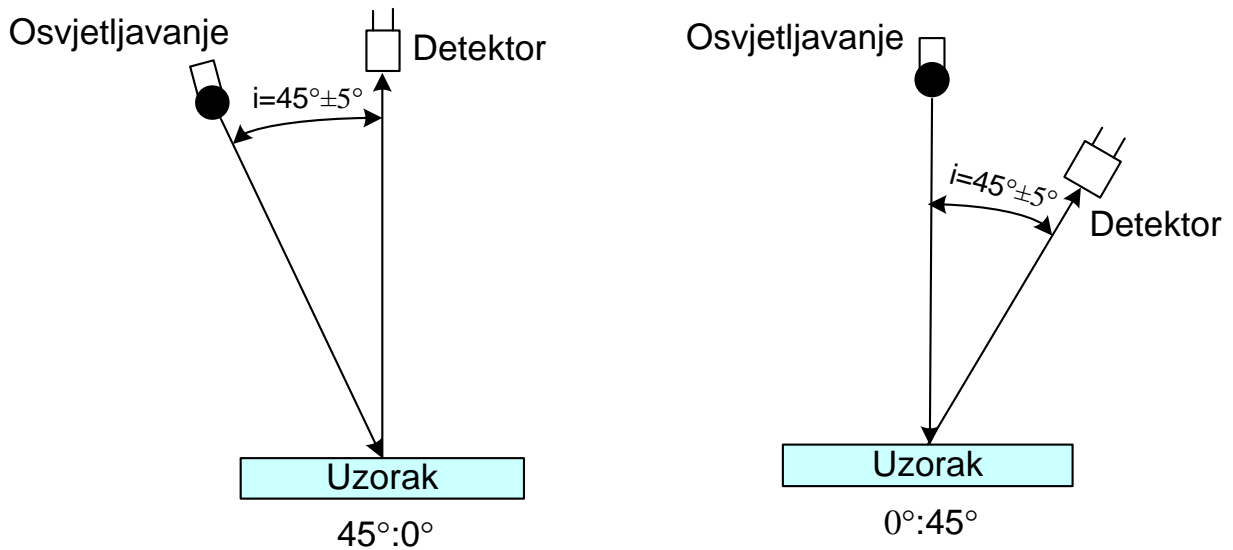
CIE je 1931. godine definirala standardnog promatrača, standardne izvore svjetla, standardnu vrstu osvjetljavanja i standardnu geometriju mjerenja i promatranja (mjerenja) uzoraka.

Vrlo je važan izbor geometrije mjerenja jer kod mjerenja sjajnih površina koje u usporedbi s površinama bez sjaja (mat površine), ali s istim sadržajem koloranata djeluju zasićenije i tamnije. Rezultati mjerenja uzoraka moraju biti u korelaciji s vizualnom procjenom, odabirom geometrije osvjetljavanja i načinom mjerenja uzoraka. [1]

Boja izgleda drugačije ovisno o uvjetima gledanja, tj. ovisno o kutu promatranja i kutu osvjetljavanja. Uvjeti mjerenja, tj. kut pod kojim zraka svjetlosti prolazi od izvora do

objekta i kut pod kojim se reflektirano svjetlo prima pomoću detektora, naziva se optičkom geometrijom. [3]

## 2.8. Geometrije mjerenja



Slika 5. Sustav osvjetljavanja, geometrije  $45^\circ:0^\circ$ ,  $0^\circ:45^\circ$ . Kod navedenih oznaka prvi brojčani podatak označava kut ili metodu osvjetljavanja uzorka, a drugi brojčani podatak predstavlja kut ili metodu promatranja uzorka

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf))

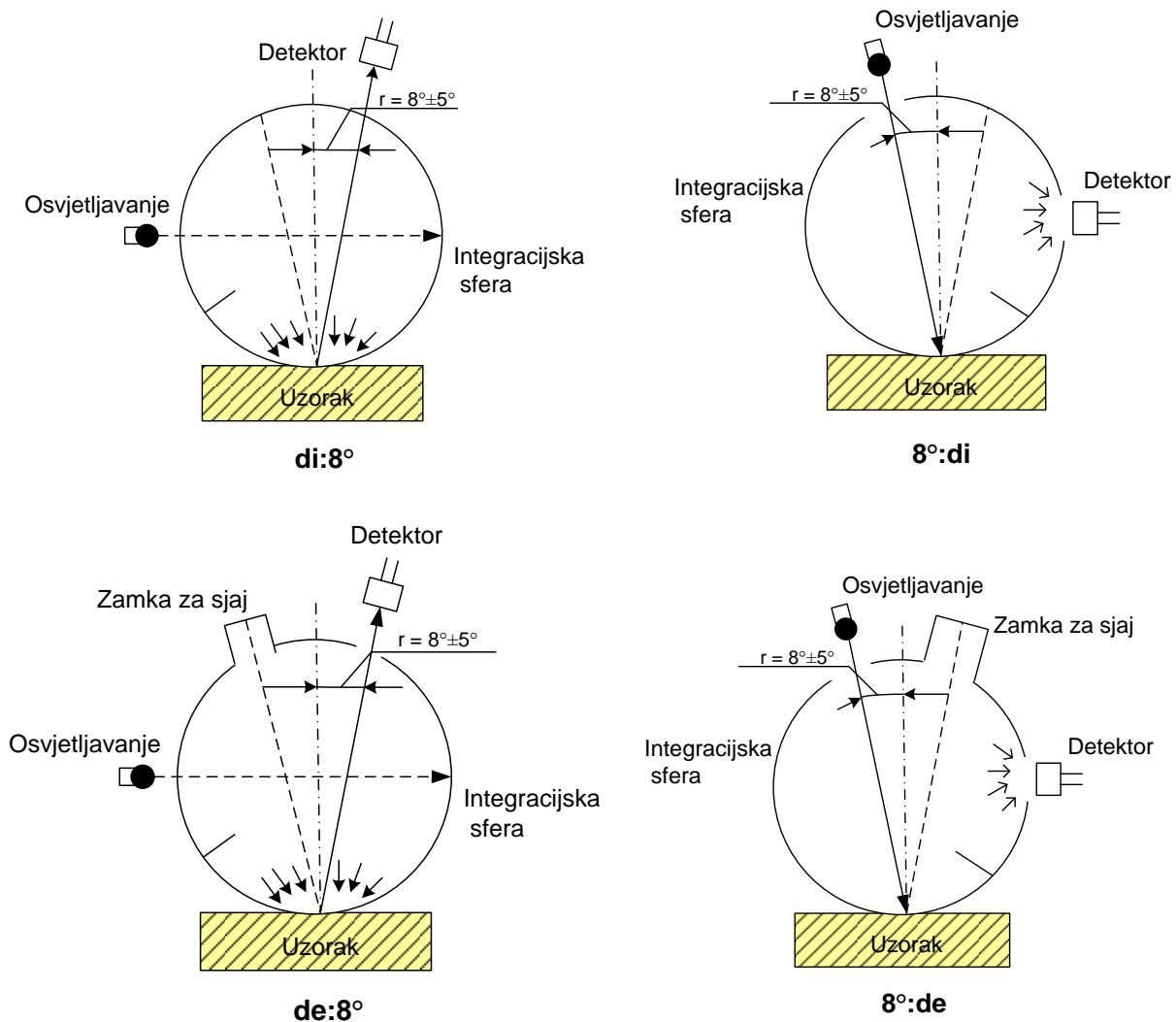
Kod geometrije mjerenja  $45^\circ:n$  ( $45^\circ:0^\circ$ ), u odnosu na okomicu površinu uzorka osvjetljavamo pod kutom od  $45 \pm 5$  stupnjeva, a svjetlo se detektira u okomitom smjeru. Kod geometrije mjerenja  $n:45^\circ$  ( $0^\circ:45^\circ$ ), osvjetljavamo površinu uzorka s okomice ( $0 \pm 5$ ), a s obzirom na okomicu svjetlo se detektira pod kutom od  $45 \pm 5$  (slika 5).

Mjerena ili promatrana boja ovisi o tome koliko je reflektirane svjetlosti detektirano. Određeni instrumenti mogu detektirati skoro cijelu količinu svjetla i u tom slučaju je boja nezavisna od sjaja uzorka, dok pak drugi instrumenti s  $0^\circ/45^\circ$  geometrijom isključuju



skoro svu spekularnu reflektiranu svjetlost i boja je usko vezana sa sjajem uzorka bijele pločice, koja u tom slučaju sudjeluje pri osvjetljavanju uzorka. [1]

Boja koju promatramo ili mjerimo ovisi o tome koliko je reflektirane svjetlosti detektirano. Boja je nezavisna od sjaja uzorka u slučaju kad instrument detektira gotovo cijelu količinu svijetla. Instrumenti s  $0^\circ/45^\circ$  geometrijom isključuju skoro svu spektralnu reflektiranu svjetlost i boja je usko vezana sa sjajem uzorka bijele pločice, koja u tom slučaju sudjeluje pri osvjetljavanju uzorka. [3]



Slika 6. Osvjetljavanje pod kutom od  $8^\circ$  i sakupljanje svjetla koje se reflektiralo u svim smjerovima i difuzno osvjetljavanje uzorka i detektiranje pod kutem od  $8^\circ$ .

(Izvor: [http://fotoprocеси.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocеси.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

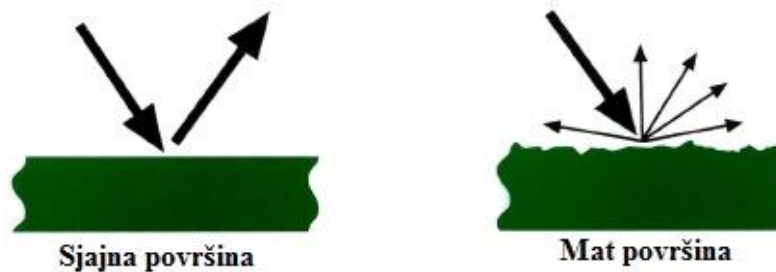
Sustavi koji koriste integracijsku sferu promatranje i osvjetljavanje uzoraka je ravnomjerno iz svih smjerova, te se uzorak osvjetljava difuznim svjetlom koje se reflektira s unutrašnjosti integracijske sfere. Sfera je premazana s tvari koja visoko difuzno reflektira svjetlo (npr. barijev sulfat-BaSO<sub>4</sub>). Instrument s d:n (de:8°), d:n (di:8°) optičkom geometrijom, osvjetljava uzorak difuzno i detektira svjetlo pod kutom od 8° u odnosu na okomicu (8±5 stupnjeva). Instrument s n:d (8°:de), n:D (8°:di) optičkom geometrijom osvjetljava uzorak pod kutom od 8° u odnosu na okomicu (8±5 stupnjeva) i sakuplja svjetlo koje se reflektiralo u svim smjerovima (slika 6.).

Tijekom mjerenja refleksije integracijska sfera sakuplja i detektira ulazno zračenje. Pregrade koje se nalaze u sferi sprečavaju da direktne zrake s izvora zračenja da stignu do uzorka, odnosno do otvora na kojem se vrši mjerenje. Kod ovakvih uređaja pri mjerenju boje zrcalna refleksija može biti uključena ili isključena. U slučaju da želimo uključiti spekularnu komponentu reflektiranog svjetla u mjerenje, tada reflektirajuća površina s istom refleksijom kao i stjenka sfere moraju biti smještene u zrcalnoj slici mjernog otvora. Ako želimo isključiti komponentu sjaja, crna zamka se treba smjestiti na otvor umjesto na reflektirajuću površinu. Ako se želi izmjeriti doživljaj i razlika u doživljaju boje na koje registrira naše oko, uzimajući u obzir efekt teksture, potrebno je mjeriti s isključenom komponentom sjaja. Ako nas zanima stvarna boja, tada mjerimo s uključenim sjajem.

Uređaj može mjeriti refleksiju na način da im je zrcalna komponenta uključena ( *eng. reflectance specular included – RSIN*). Tada uređaj mjeri totalnu refleksiju uključujući difuznu refleksiju koja određuje boju i zrcalnu refleksiju koja određuje sjaj. Također se može mjeriti refleksija kod koje je zrcalna komponenta isključena ( *eng. reflectance specular excluded- RSEX* ). Tada uređaj mjeri samo difuznu refleksiju. [1]

## 2.9. Mjerenje sjaja

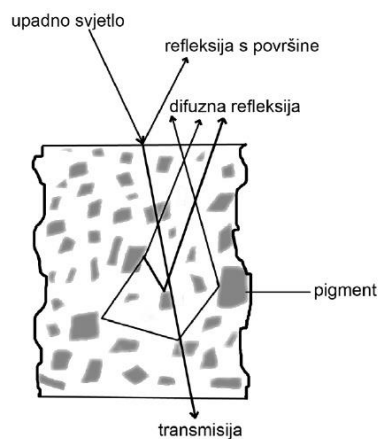
Sjajne i matirane površine vezane su uz difuznu i zrcalnu refleksiju. Kod matiranih površina svjetlost se raspršuje u svim smjerovima, dok je kod sjajnih površina upadni kut jednak kutu refleksije. Sjajne površine su jednolične i puno glatkije od matiranih (slika 7).



Slika 7. Refleksije svjetlosti kod sjajne i mat površine. ( Izvor: [10] )

Prilikom kontakta zrake svjetla i objekta pojavljuju se četiri različite interakcije (slika8);

1. Zrcalna refleksija sa prve površine (povezano sa sjajem)
2. Raspršenje unutar materijala (povezano sa difuznom refleksijom/transmisijom)
3. Apsorpcija unutar materijala (povezano sa bojom)
4. Kontinuirana transmisija kroz objekt (povezano sa prozirnošću)



Slika 8. Mikroskopski pregled upadanja svjetla na plastičnu kutiju.

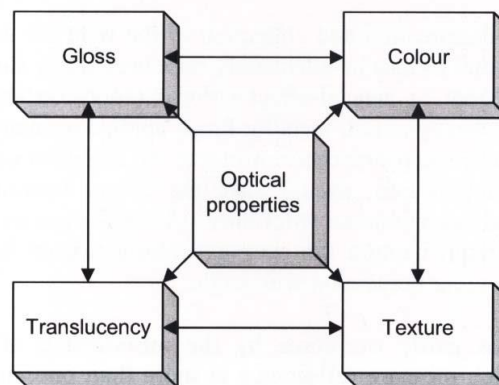
(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

Svjetlo koje se direktno reflektira od površine je sjajna komponenta i ima spektralni sastav, prema tome i boju upadne svjetlosti.

Svjetlo koje ulazi u tijelo materijala lomi se na rubovima i prolazi seriju interakcija sa česticama pigmenta, na svakih nekoliko pojavljuje se selektivna apsorpcija valnih dužina. Svjetlo koje konačno stigne do površine raspršuje se i nosi boju materijala. Prema tome komponenta sjaja može biti vidljiva samo iz jednog kuta ako je površina glatka ili iz malog niza kutova ako je površina teksturirana, dok je boja podloge vidljiva iz svih kutova.

Kompleksna je veza između fizičke strukture materijala i njezinih optičkih svojstva (kao što je refleksija, raspršenje).

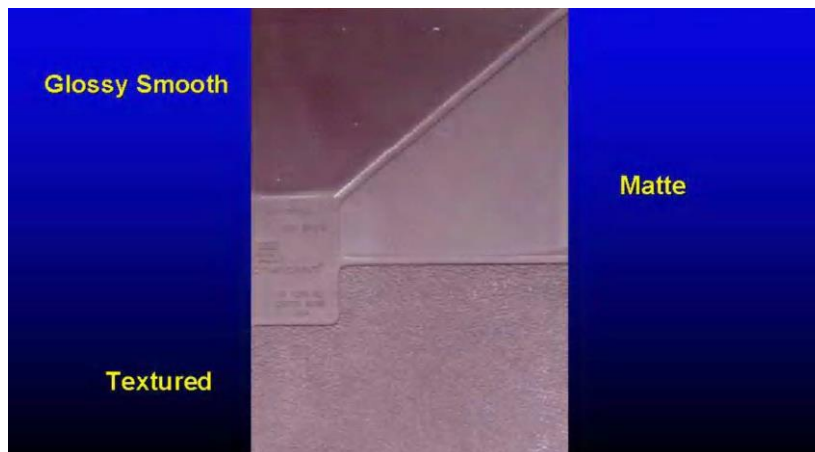
Optička svojstva ( *eng. optical properties* ) materijala možemo podijeliti na boju, sjaj, prozirnost i teksturu površine. Treba uočiti da optička svojstva materijala nisu nezavisne i da treba biti veza između boje i sjaja, i boje i prozirnosti, itd (slika 9).



Slika 9. Odnos optičkih svojstva materijala.

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

Ovisno o interakciji izvora svjetla i objekta, objekte možemo podijeliti na neprozirne, transparentne i napola transparentne materijale, što nam je važno da znamo kako bi objekt trebao biti izmjeran (slika 10). [1]

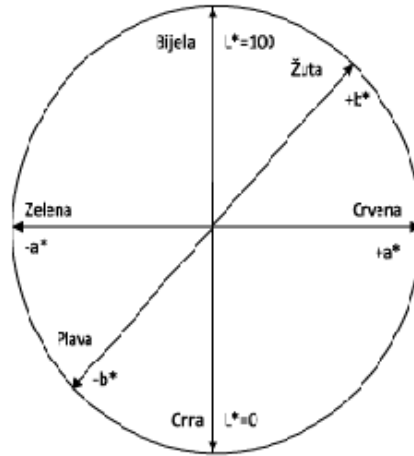


Slika 10. Ista boja na sva tri uzorka koji se razlikuju u teksturi površine (sjajna, mat i teksturirana površina).

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) )

## 2.10. CIELAB sustav

CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) je međunarodna komisija za rasvjetu. Definirala je nekoliko sustava za mjerenje i promatranje boja. Danas najčešće korišten i najusavršeniji sustav vrednovanja boja je CIELAB sustav. CIELAB sustav prikazivanja boja je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača, a u obliku numeričkih vrijednosti opisuje sve boje koje može razlikovati ljudsko oko. Koordinate CIELAB sustava odgovaraju teoriji suprotnih boja, onosno parova crveno – zeleno, žuto – plavo, svijetlo – tamno. Prednost CIELAB sustava je uvođenje svjetline kao treće dimenzije.



Slika 11. CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja ( Izvor: [9] )

Kod CIELAB sustava boje su opisane pomoću tri osi od kojih su dvije kromatske ( $a^*$  - crvena/zelena os i  $b^*$  - žuta/plava os) i jedne akromatske osi koja se odnosi na svjetlinu ( $L^*$  - predstavlja svjetlinu) koja se mjeri od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje 0 označuje vrijednost za crnu, a 100 vrijednost za bijelu boju.

Pomicanjem boje od ishodišta prema rubu sustava, njena kromatičnost raste. Kromatičnost boje,  $C^*$ , dana je kao udaljenost između položaja boje i ishodišta. [9]

Temeljem izmjerenih vrijednosti sva tri parametra određuju 3D koordinate u prostoru boja. Prilikom analize primjenjuje se formula sa kojom se izračunava ukupna razlika u obojenju.

Zadnja revidirana formula za razliku u boji je CIEDE2000, koja osim svjetline, zasićenja i tona, uključuje različitosti između zasićenja i tona, zbog poboljšanja prikazivanja boja u plavom dijelu spektra, kao i faktor povećanja vrijednosti  $a^*$ , koji utječe na poboljšanje sivih boja. [9]

Ukupna razlika boja prema  $\Delta E^*_{00}$  definirana je matematičkim izrazom (1):

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

gdje je:

- korekcija svjetlosti:

$$\Delta L' = L'_b - L'_s,$$

b = uzorak (*batch*), s = standard

$$L' = L^*$$

$$S_L = 1 + 0.015(L'_m - 50)^2 / [20 + (L'_m - 50)^2]^{1/2}$$

$$L'_m = (L'_b + L'_s) / 2$$

- korekcija krome:

$$\Delta C' = C'_b - C'_s,$$

$$C' = (a'^2 + b'^2)^{1/2}$$

$$a' = a^*(1 + G)$$

$$G = 0.5 \{ 1 - [(C^* m^7) / (C^* m^7 + 25^7)]^{1/2} \}$$

$$C^*_m = (C'_s + C'_b) / 2$$

- korekcija tona boje:

$$\Delta H' = 2(C'_b - C'_s)^{1/2} \sin(\Delta h' / 2)$$

$$\Delta h' = h'_b - h'_s$$

$$h' = \arctan(b'/a'), \text{ kut } h' \text{ je izražen u stupnjevima od } 0^\circ - 360^\circ$$

$$S_H = 1 + 0.015 C'_m T$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(h'_m - 30) + 0.24 \cos(2h'_m) + 0.32 \cos(3h'_m + 6) - 0.20 \cos(4h'_m - 63)$$

$$h'_m = (h'_s + h'_b) / 2$$

- korekcija orijentacije elipsa u plavom području:

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

$$\Delta\Theta = 30\exp\{-[(h'_m - 275)/25]^2\}$$

$$R_C = 2[C'_m{}^7 / (C'_m{}^7 + 25^7)]^{1/2}$$



### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Mjerenje uzorka

U eksperimentalnom dijelu vršilo se ispitivanje kolorimetrijskih karakteristika purpurnih uzoraka za mat i sjajni uzorak ( CC85 mat i CC85 sjajni uzorak; slika 12 i slika 13), te koje razlike nastaju prilikom korištenja različitih vrsta geometrija u kombinaciji sa zamkom za sjaj i bez zamke za sjaj te sfera različitih veličina.



Slika 12. Ispitivani uzorak



Slika 13. Ispitivani uzorak

Ispitivani uzorak je lakirani aluminij kaširan na papir.

Korišteni uređanji:

Spektrofotometar: GretagMacbeth Spectrolino iProfilePro + SpectroScan (slika 14).



Slika 14. Spektrofotometar: GretagMacbeth Spectrolino

Sferni spektrofotometar: OceanOptics USB200+ ; Uređaj sa integracijskom sferom koji ima nekoliko mogućih kombinacija geometrija mjerenja (8:di ; 8:de ; di:8 ; de:8); korištene su dvije sfere sa različitim dijametrima (6mm i 8mm) (slika 15).



Slika 15. Sferni Spektrofotometar

### 3.2. Rezultati i rasprava

Na svakom uzorku (mat i sjajnom) slučajnim odabirom izabrana su tri mjerna mjesta. Iz ta tri mjerenja za svaki uzorak izračunata je srednja vrijednost.

Mat i sjajni uzorci iste boje izmjereni su u nekoliko kombinacija na tri različita mjesta te je na temelju toga izračunata srednja vrijednost.

Geometrija mjerenja spektrofotometra je bila podešena na standardni izvor svjetla D50 i standardni promatrač 2°.

Za mjerenje je korištena geometrija mjerenja 45/0, te uređaji sa integracijskom sferom koji imaju nekoliko mogućih kombinacija geometrija mjerenja (8:di ; 8:de ; di:8 ; de:8).

Tijekom mjerenja koristile su se sfere različitih dijametara (6mm i 8mm) te opcija s uključenom i isključenom zamkom za sjaj.

Rezultati mjerenja su prikazani u CIELAB sustavu preko kolorimetrijske razlike koje su nastale kod mat i sjajnog uzorka prikazane su preko formule za ukupnu razliku CIEDE2000.

Tablica 1. geometrije osvjetljavanja i mjerenja za različite uzorke.

Skraćeno ime	Geometrija mjerenja	Odabir sfere	Vrsta uzorka
A1az	di: 8	velika sfera sa zamkom za sjaj	mat uzorak
A1bz	di:8	velika sfera sa zamkom za sjaj	sjajni uzorak
A2a	di:8	mala sfera bez zamke za sjaj	mat uzorak
A2b	di:8	mala sfera bez zamke za sjaj	sjajni uzorak
A3a	di:8	velika sfera bez zamke za sjaj	mat uzorak
A3b	di:8	velika sfera bez zamke za sjaj	sjajni uzorak
B1az	8:di	velika sfera sa zamkom za sjaj	mat uzorak
B1bz	8:di	velika sfera sa zamkom za sjaj	sjajni uzorak
B2a	8:di	velika sfera bez zamke za sjaj	mat uzorak
B2b	8:di	velika sfera bez zamke za sjaj	sjajni uzorak
B3a	8:di	mala sfera bez zamke za sjaj	mat uzorak
B3b	8:di	mala sfera bez zamke za sjaj	sjajni uzorak
Ca	45/0		mat uzorak
Cb	45/0		sjajni uzorak

Veliko slovo A, B i C sa brojkama (1, 2, 3) označavaju korištenu geometriju mjerenja i veličinu sfere.

A1, A2 i A3 označavaju korištenje velike i male sfere kod geometrije mjerenja di:8.

B1, B2 i B3 označavaju korištenje velike i male sfere kod geometrije mjerenja 8:di.

C označavaju korištenje geometrije mjerenja 45/0.

a označavaju mat uzorak.

b označavaju sjajni uzorak.

z označavaju korištenje zamke za sjaj.

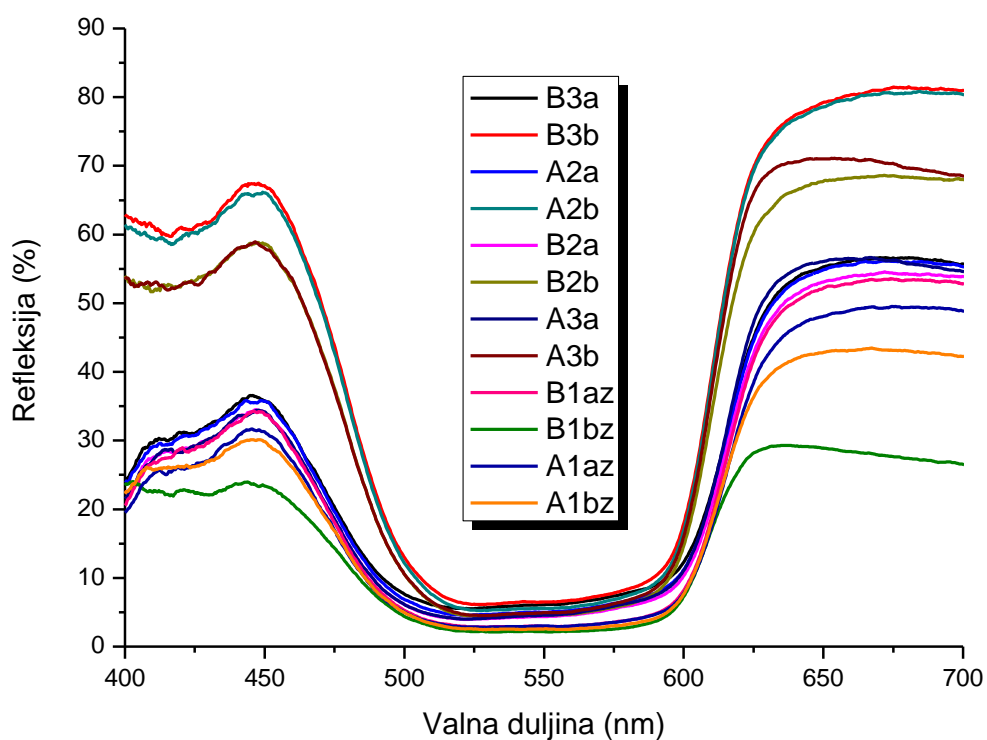
Srednje vrijednosti su izračunate prema formulama i prikazane u tablici 2;

$$L = \frac{L1 + L2 + L3}{3}; a = \frac{a1 + a2 + a3}{3}; b = \frac{b1 + b2 + b3}{3}; i \text{ za } C = \frac{C1 + C2 + C3}{3}.$$

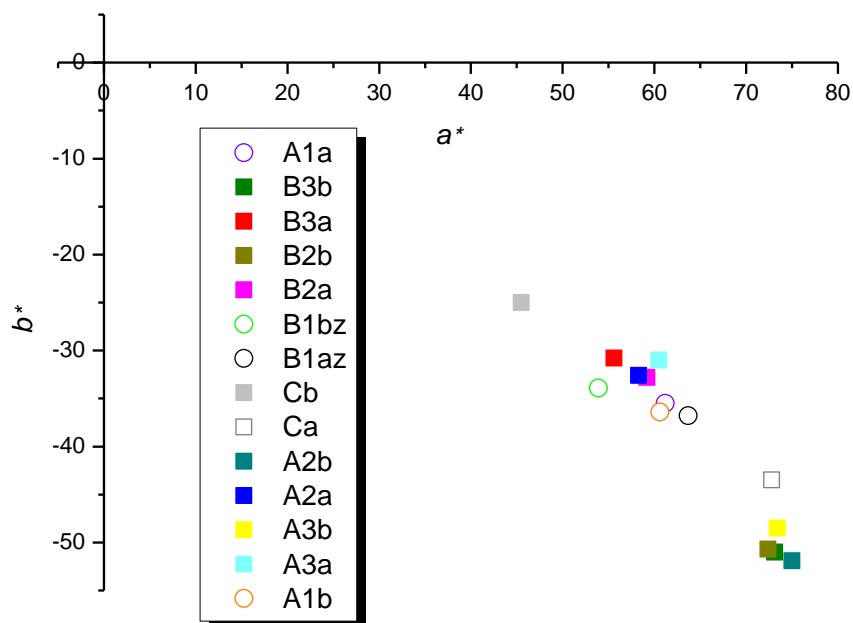
Tablica 2. Srednje vrijednosti za uzorke L\*a\*b\*C\* vrijednosti ;

Uzorak	Srednje vrijednosti			
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C*</i>
A1az	35,97	62,57	-36,4	72,3
A1bz	30,87	54,97	-33,97	64,6
A2a	40,2	58,13	-32,3	66,5
A2b	48,3	73,9	-51,2	89,9
A3a	39,9	60,4	-30,97	67,9
A3b	45,8	73,53	-48,6	88,13
B1az	35,97	67,7	-36,7	73,43
B1bz	30,7	52,97	-32,97	62,4
B2a	38,7	59,13	-32,7	67,57
B2b	44,7	72,4	-50,7	88,4
B3a	41,73	55,53	-30,8	63,5
B3b	48,93	73,1	-51,03	89,13
Ca	34,3	72,8	-43,6	84,97
Cb	20,3	45,7	-25,4	52,2

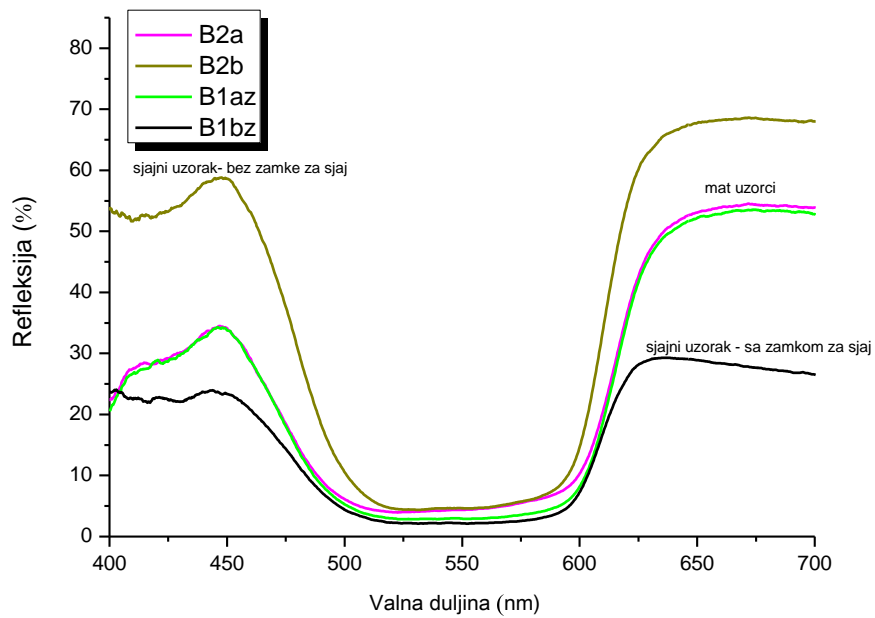
Utjecaj kako djeluju različite geometrije osvjetljavanja i mjerenja u kombinaciji sa velikom i malom sferom, bez zamke za sjaj i sa zamkom za mat i sjajni uzorak korišteni su prikazi krivulja spektralne refleksije kao i CIELAB sustav boja (slika 17).



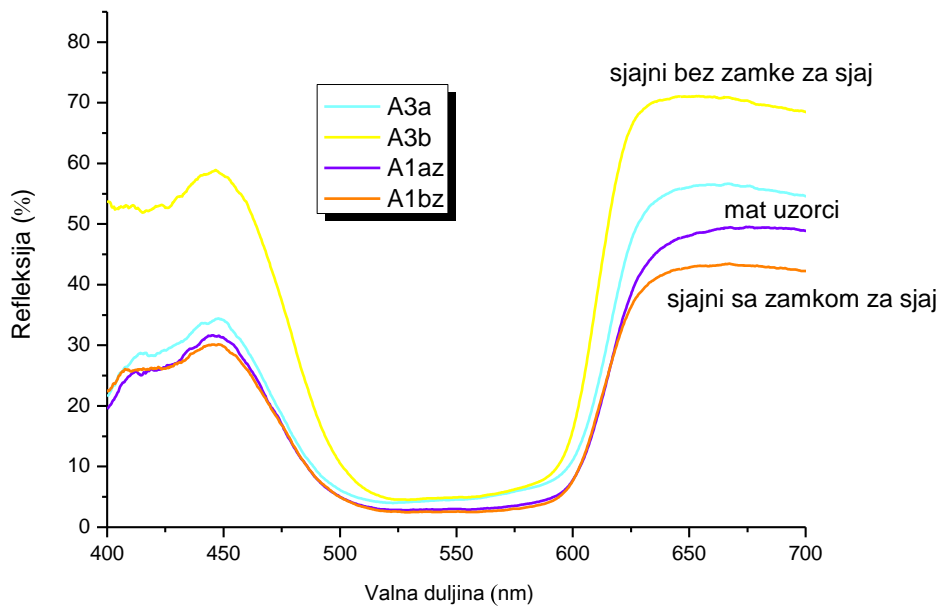
Slika 16. Krivulje spektralne refleksije za 8:di, di:8 i 45/0 geometrije za valne duljine od 400 do 700nm.



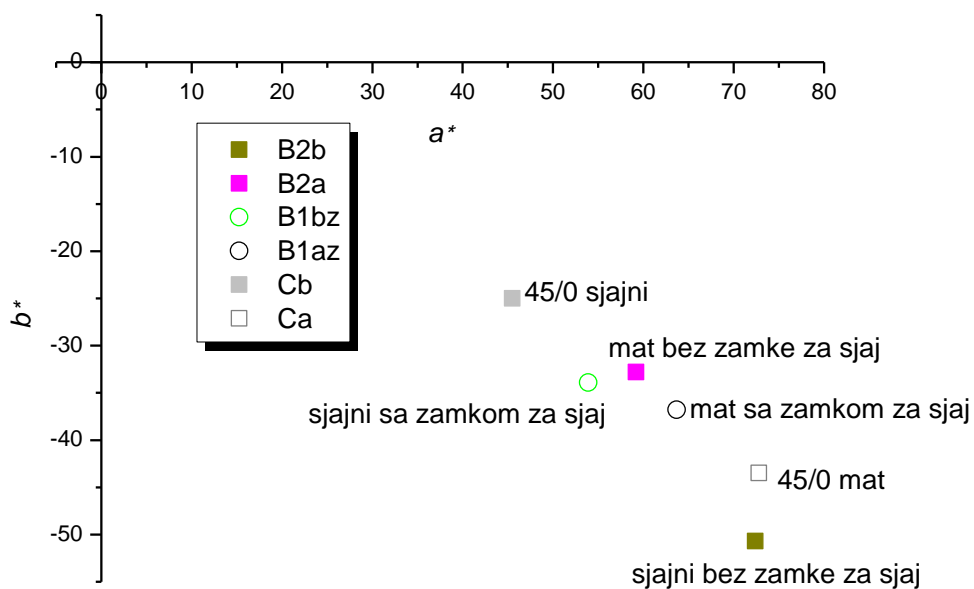
Slika 17. Prikazuje  $a^*$ ,  $b^*$  vrijednosti u CIELAB sustavu za 8:di, di:8 i 45/0 refleksije.



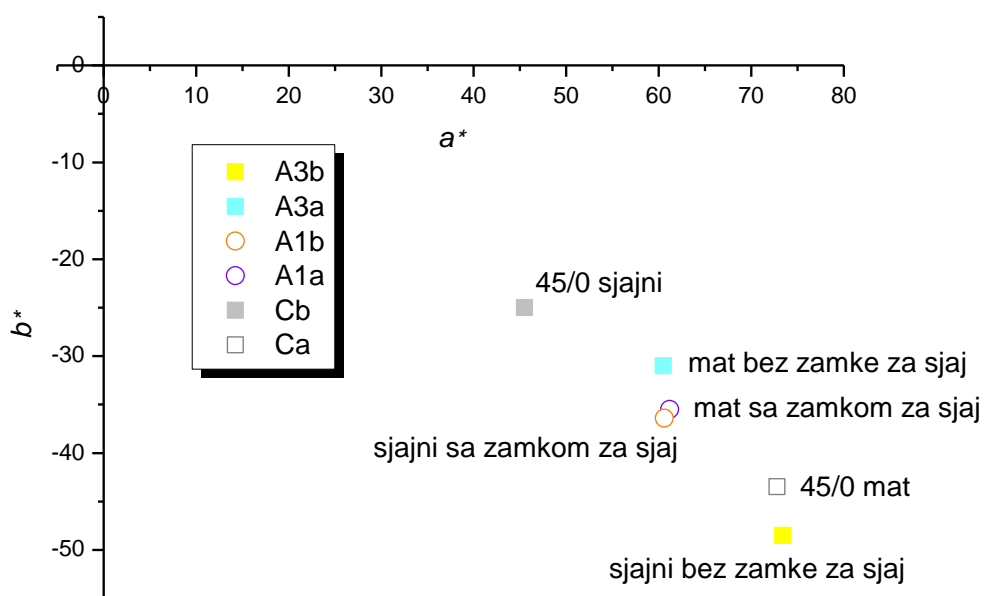
Slika 18. Spektrofotometrijska krivulja 8:di, prilikom korištenja velike sfere sa zamkom za sjaj i bez zamke za sjaj.



Slika 19. Spektrofotometrijska krivulja di:8, prilikom korištenja velike sfere sa zamkom za sjaj i bez zamke za sjaj.

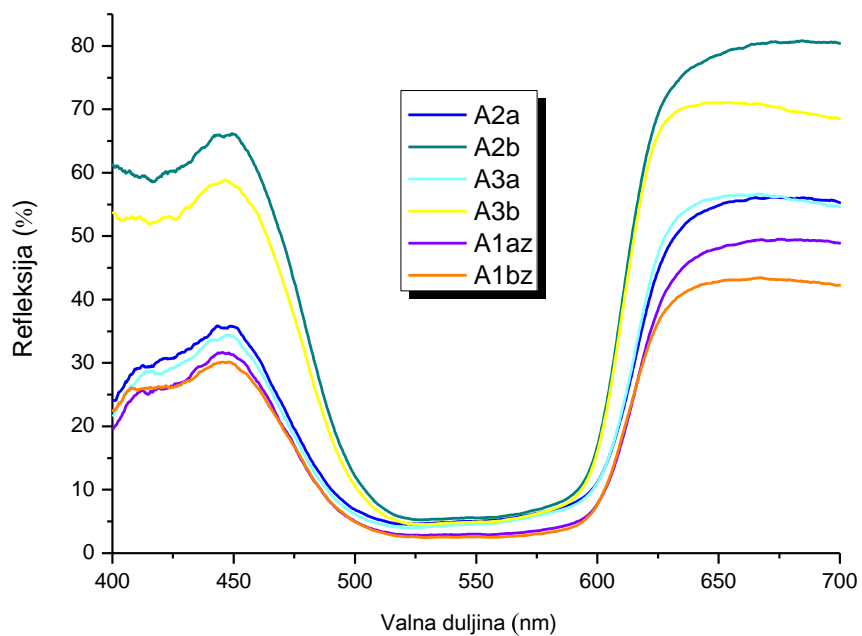


Slika 20. Prikazuje položaj boje u CIELab prostoru boje 8:di za mat i sjajne uzorke sa zamkom za sjaj i bez zamke za sjaj, i refleksije 45/0 za mat i sjajne uzorke bez zamke za sjaj.

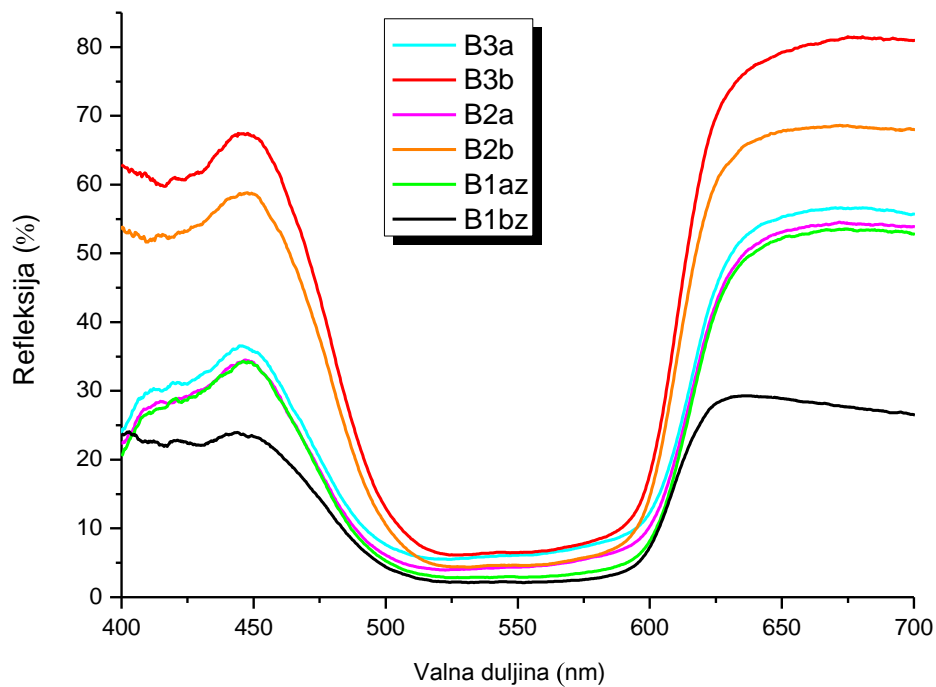


Slika 21. CIELab kordinate di:8 za mat i sjajne uzorke





Slike 22. Spektrofotometrijska krivulja di:8 za mat i sjajne uzorke

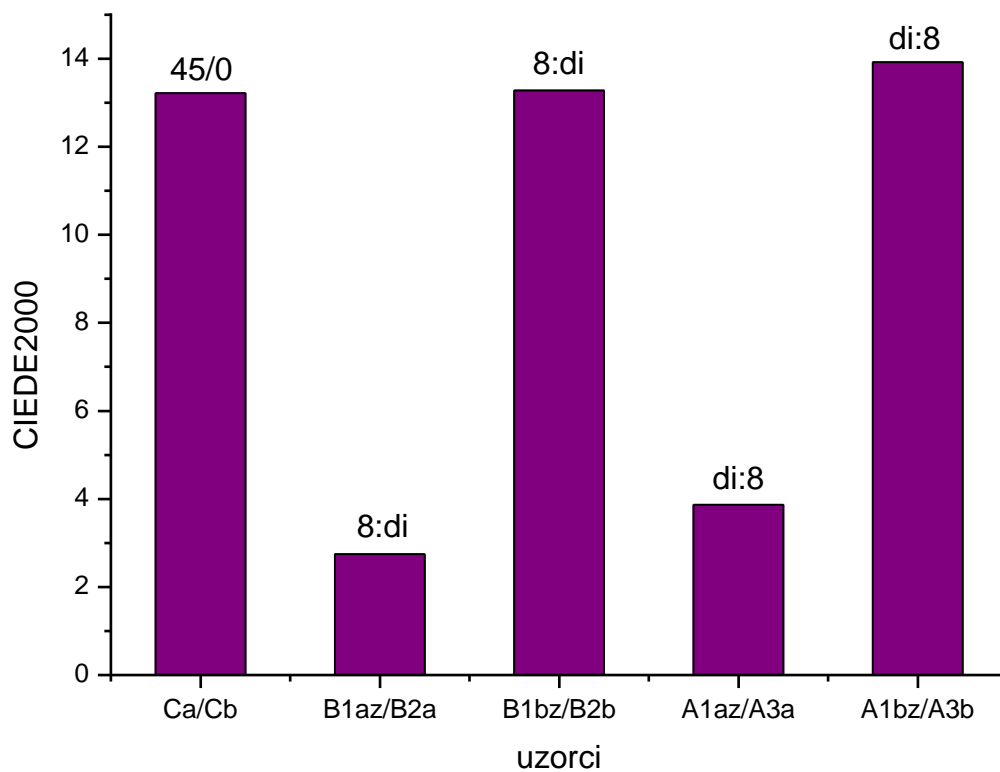


Slika 23. Spektrofotometrijska krivulja 8:di za mat i sjajne uzorke

Tablica 3. Kolorimetrijske razlike;

Uzorak	CIEDE2000
B1bz/B2b	13,28
B1az/B2a	2,75
A1az/A3a	3,87
A1bz/A3b	13,92
B2a/B3a	2,87
B2b/B3b	4,21
A2a/A3a	1,06
A2b/A3b	2,58
Ca/Cb	13,22

Tablica 3. Pokazuje izračunate vrijednosti za CIEDE2000.



Slika 24. Kolorimetrijske razlike CIEDE2000 izračunatu iz srednjih  $L^*a^*b^*$  vrijednosti uzoraka. Slika 24. pokazuje izračunate vrijednosti za CIEDE2000. U dijagramu se može vidjeti koji uzorci imaju najmanja odstupanja od standarda.

#### 4. ZAKLJUČAK

U kolorimetriji, prilikom ispitivanja uzoraka, potrebno je poznavati karakteristike i svojstva boja i materijala, kao i geometriju osvjetljavanja i mjerenja kod spektrofotometra. Mjerni uređaji koji su korišteni kako bismo definirali boje u CIELAB sustavu su napravljeni tako da funkcioniraju s visokom preciznošću. Koristeći različite spektralne fotometre i CIELAB sustav za prikazivanje boja, definirane su vrijednosti za mat i sjajni uzorak.

Sjajne i matirane površine vezane su uz difuznu i zrcalnu refleksiju. Kod matiranih površina svjetlost se raspršuje u svim smjerovima, dok je kod sjajnih površina upadni kut jednak kutu refleksije. Zbog tog je važan izbor geometrije kod mjerenja sjajnih površina koje u usporedbi s površinama bez sjaja, ali s istim sadržajem koloranta djeluju zasićenije i tamnije. Zasićenje predstavlja udaljenost boje na radijusu vektora od akromatske osi. Što je udaljenost boje od akromatske osi veća, veće je i zasićenje boje.

Uređaj može mjeriti refleksiju na način da im je zrcalna komponenta uključena. Tada uređaj mjeri totalnu refleksiju uključujući difuznu refleksiju koja određuje boju i zrcalnu refleksiju koja određuje sjaj. Također se može mjeriti refleksija kod koje je zrcalna komponenta isključena. Tada uređaj mjeri samo difuznu refleksiju. Za mjerenje je korištena geometrija mjerenja 45/0 te uređaj sa integracijskom sferom koji ima nekoliko mogućih kombinacija geometrija mjerenja (8:di ; 8:de ; di:8 ; de:8).

Osim toga, usporedila su se mjerenja sa sferama različitih dijametara (6mm i 8mm) te opcija sa uključenom i isključenom zamkom za sjaj. Rezultati su prikazani u CIELAB sustavu, a razlike prikazane preko formule za ukupnu razliku CIEDE2000. U dijagramu na slici 24 se može vidjeti koji uzroci imaju najmanja odstupanja od standarda.

Prikazana su odstupanja kod različitih geometrija mjerenja za mat i sjajni uzorak. Kod mat uzoraka sa uključenom funkcijom za sjaj (RSIN) kod geometrije mjerenja di:8 dobivena su veća odstupanja nego kod geometrije mjerenja 8:di. Te uključena funkcija zamke za sjaj kod mat uzoraka (RSIN) ne predstavlja neku ulogu (slika 18).

Ako se želi izmjeriti doživljaj i razlika u doživljaju boje koje registrira naše oko, kod sjajnih površina treba se koristiti uređaj sa integracijskom sferom koji ima nekoliko mogućih kombinacija geometrija mjerenja (8:di ; 8:de ; di:8 ; de:8).

## 5. LITERATURA

- [1] Katedra za fotografske procese, (2015), Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja, dostupno na:  
[http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-20Kvalitativne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-20Kvalitativne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf), 2.3.2015.
- [2] Đurđica Parac – Ostern, (2007). Osnove u boji i sustavi vrednovanja, Tehstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [3] Rahela Kulčar, (2010). Kalorimetrijska analiza i parametri stabilnosti uv-termokromnih boja, doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na:  
<http://eprints.grf.unizg.hr/1428/1/Doktorski%20rad%-20Kulcar%20Rahela.pdf>, 15.3.2015.
- [4] Fraser B., Murphy C., Bunting F. (2005). Real World Color Management – Second Edition, Peachpit Press, Berkeley
- [5] Golob V., Golob D. (2001). Teorija barvne metrike. V Interdisciplinarnost barve. Del 1, V znanosti. Uredila S. Jeler, M. Kumar, Maribor, Društvo kolorista Slovenije
- [6] Katedra za fotografske procese, (2015). Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja, dostupno na: <http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/color.pdf> , 2.3.2015.
- [8] Billmeyer and Saltzman's, (2000). Principles of color technology – Third edition, Roy S. Berns
- [9] Ivana Lešković, (2013). Utjecaj različitih izvor svjetla na doživljaj boje, završni rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [10] Ivana Stanić, (2009). Osnove kolorimetrije i praktična primjena kod upravljanja kvalitetom boja, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu