

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Marijan Brekalo



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

Smjer: Tehničko – tehnološki



# **ZAVRŠNI RAD**

## **UTJECAJ GEOMETRIJE MJERENJA NA IZRAČUN BOJE**

Mentor:

prof. dr. sc. Rahela Kulčar

Student:

Marijan brekalo

Zagreb, 2017. godine



## **SAŽETAK**

Boje nekih uzoraka vrlo je lako vidjeti i vizualno definirati, ali instrumentalnim načinom mjerenja ponekad za neke specifične uzorke mogu se dobiti pogrešni rezultati. Usmjereni geometrija mjerenja ( $45^\circ:a:0^\circ$ ), koja je najčešća geometrija mjerenja u grafičkoj tehnologiji, za neke uzorke daje potpuno pogrešne rezultate u odnosu na sfernu geometriju mjerenja koja takve uzorke može puno točnije kolorimetrijski opisati. Različiti parametri mjerenja odabrane geometrije mjerenja također su važni. U ovom radu, ispitivat će se i utjecaj integracijskih sfera različitih veličina otvora za mjerenje. U ispitivanje su uključeni uzorci različitih karakteristika. Rezultati mjerenja biti će prezentirani u CIELAB sustavu te pomoću spektrofotometrijskih krivulja.

**KLJUČNE RIJEČI:** geometrija mjerenja, CIELAB sustav, spektrofotometrijska krivulja

## **ABSTRACT**

The colors of some patterns are very easy to see and visually define, but the instrumental measuring sometimes for some specific patterns can get the wrong results. The directional geometry of the measurement ( $45^\circ:0^\circ$ ), which is the most common geometrical measurements in the graphics technology, for some samples gives the wrong results in comparison to the spherical geometric measurements that such samples can be described more accurately. Different measurement parameters of selected geometric measurements are also important. In this paper, the influence of the integration spheres of different sizes of the measurement aperture will be investigated. Samples of different characteristics are included in the study. The measurement results will be presented in the CIELAB system and by spectrophotometric curves.

**KEY WORDS:** measurement geometry, CIELAB, spectrophotometric curve

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1 DOŽIVLJAJ BOJE.....	2
2.2 PSIHOFIZIKALNE KARAKTERISTIKE BOJE.....	4
2.3 UREĐAJI ZA MJERENJE BOJE.....	6
2.3.1 SPEKTROFOTOMETAR.....	7
2.4 GEOMETRIJE MJERENJA.....	8
2.4.1 GEOMETRIJA $45^\circ: 0^\circ$ .....	9
2.4.2 GEOMETRIJA $d: 8^\circ$ .....	11
2.5 RAZLIČITI MODELI INTERAKCIJE SVJETLOSTI.....	13
2.6 SJAJNOST.....	15
2.7 CIE XYZ.....	18
2.8 CIELAB.....	19
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	21
3.1 MATERIJALI I MJERNI UREĐAJI.....	21
3.2 POSTUPCI MJERENJA.....	25
3.3 REZULTATI I RASPARAVA.....	26
3.4 KRIVULJE SPEKTRALNE REFLEKSIJE.....	30
3.5 CIEDE2000.....	40
4. ZAKLJUČAK.....	41
5. LITERATURA.....	42



# 1. UVOD

Ovim radom ispituju se kolorimetrijska svojstva različitih uzoraka s različitim površinskim strukturama. Eksperiment se izvodi u laboratoriju ispitivanjem svakog uzorka određenim mjernim uređajima. Uzorci su specifični zbog toga što imaju karakteristične površine i kao takvi svrstani su u pet skupina. Uređaji koji se koriste su dva spektrofotometra koji imaju različite geometrije mjerenja. Prvi spektrofotometar mjeri pod kutem od  $45^\circ$  prema okomici, dok drugi sferni mjeri pod kutem od  $8^\circ$  prema okomici te ima u sebi integriranu zamku za sjaj. Zamka za sjaj se po potrebi ovog mjerenja može podešavati, te uzorke mjerimo na dva načina sa uključenom komponentom sjaja i bez sjaja. Rezultati se prezentiraju u CIELab prostoru te preko krivulja spektralne refleksije. Vrijednosti parametara dobiveni mjerenjem se kasnije analiziraju i uspoređuju.

## 2. TEORIJSKI DIO

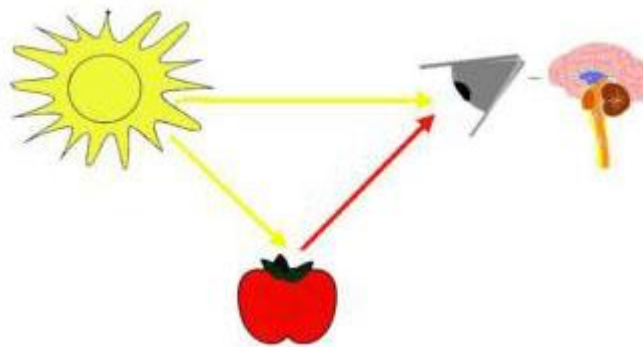
### 2.1 Doživljaj boje

Za doživljaj boje potrebna su tri uvjeta:

1. izvor svjetla koji je potreban za pobuđivanje osjeta vida
2. vizualni sustav promatrača
3. objekt koji se promatra i njegove osobine koje moduliraju svjetlost (svojstva apsorpcije, refleksije i transmisije svjetla)

U spektru sunčevog svjetla zastupljene su sve spektralne boje u idealnim odnosima, a njihov zbir predstavlja "bijelo" svjetlo. Promatrani predmet djeluje kao optički filter koji selektivno apsorbira dio ukupne svjetlosti odnosno transmitira, a dio reflektira. Ukoliko se dio ukupnog spektra "bijelog" svjetla apsorbira, odnosno reflektira, narušava se idealni zbir valnih duljina. Uslijed apsorpcije i refleksije na određenim valnim duljinama promatrač će doživjeti određenu boju. Naime, obojena tijela imaju najveći stupanj refleksije pri onim valnim duljinama koje odgovaraju boji tih tijela, odnosno uzorak onog obojenja čije su valne duljine u najvećem iznosu reflektirane, odnosno transmitirane. Prema teoriji vizualizacije, koja je i danas prihvaćena za tumačenje načina na koji ljudsko oko prepoznaje boje, postoje u oku dvije vrste fotoosjetljivih elemenata: štapići i čunjići. Oni zajednički pretvaraju svjetlosnu energiju kod promatrača u živčane impulse koji kod promatrača registriraju ton boje [1].





Slika 1. Tri uvjeta za doživljaj boje

(izvor: <http://image2.slideserve.com/3786135/do-ivljaj-boje-n.jpg>)

## 2.2 Psihofizikalne karakteristike boje

Ako se usporede različiti obojeni uzroci, na osnovnim subjektivnim perceptualnim karakteristikama, među njima će se utvrditi razlike u tri pogleda.

To su :

1. ton (eng. Hue-H)
2. svjetlina (eng. Lightness-L)
3. zasićenost (kromatičnost, eng. Chroma-C)

Svaka boja koju ljudsko oko vizualizira, percipira, ujedinjuje te tri dimenzije, od kojih se svaka može mijenjati bez utjecaja na druge dvije. Prema njima boja je prostorno, trodimenzionalno definirana.

Ton boje je atribut vizualnog doživljaja na osnovi kojeg točno definiramo pojedinu boju kao crvenu, plavu, ljubičastu itd., prema dominirajućoj valnoj duljini svake boje svjetla. Ta dimezija ne ovisi je li boja tamna ili svjetla, “jaka” ili “slaba”, t.j. nema količinskog značenja inteziteta [1].

Kromatske boje su svi tonovi boja raspoređeni u zatvoreni krug boja od 0 do 360 stupnjeva i predstavljaju mnogo tonova boja. Vrijednost svakog tona boje čita se u krugu boje obrnuto od kazaljke na satu. U kružnom prostoru boje (krugu boja) ton se svake boje (H) može definirati kao radijus kruga. Sredina kruga boje su svi akromatski tonovi od crne preko sivih do bijele “boje”. Kod kromatskih boja , svjetlost se razlikuje od tona boje , dok je kod akromatskih boja, svjetlost identična s obojenosti [1].

Svjetlina je atribut vizualnog doživljaja na osnovi kojeg neka uspoređivana površina u odnosu na neku definiranu površinu emitira (reflektira) više ili manje svjetla. Svjetlina boje je karakteristika koja opisuje sličnost boje s nizom akromatskih boja, od crne preko sive do bijele.

Svjetlina, L, je redoslijed svjetlosnih stupnjeva od 0 za apsolutno crno do 100 za apsolutno bijelo i podrazumijeva koliko je neka boja istog tona svjetla ili tamna, odnosno slična crnoj ili bijeloj boji.

### Zasićenost

Vrijednost zasićenosti-kromatičnost ukazuje na proporciju udjela čiste boje sadržane u ukupnom vizualnom doživljaju boje. Sa psiho-vizualne točke gledišta, zasićenost, odnosno kromatičnost, definira karakter boje svjetla ili neke površinu u kontrastu s bijelim (akromatskim), koja po definiciji nema svojstvenog tona. Promjena zasićenosti (kromatičnosti) neovisna je o tonu i kreće se linearno, od područja neutralne , akromatske točke do čiste boje [1].

## 2.3 Uređaji za mjerenje boje

Nekada nije dovoljno samo vizualno procjeniti boju i uspoređivati dva vrlo slična uzorka. Kako bi što preciznije odredili kolorimetrijske vrijednosti neke boje i njezina svojstva potrebni su uređaji koji će to odrediti. Odabir uređaja za mjerenje vrlo je važan faktor, no prije toga moramo poznavati karakteristike materijala, 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. [3]

Za instrumentalno mjerenje boje mogu koristiti kolorimetar, denzitometar, spektrofotometar.

### 2.3.1 Spektrofotometar

Uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. (U grafičkoj industriji najčešće se koriste spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 350 nm do 750 nm.) [2].

Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine pomoću monokromatora (prizma ili optička rešetka). Njima se osvjetljava ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spektrofotometrijska krivulja [2].



Slika 2. Spektrofotometar, (izvor: autorska slika)

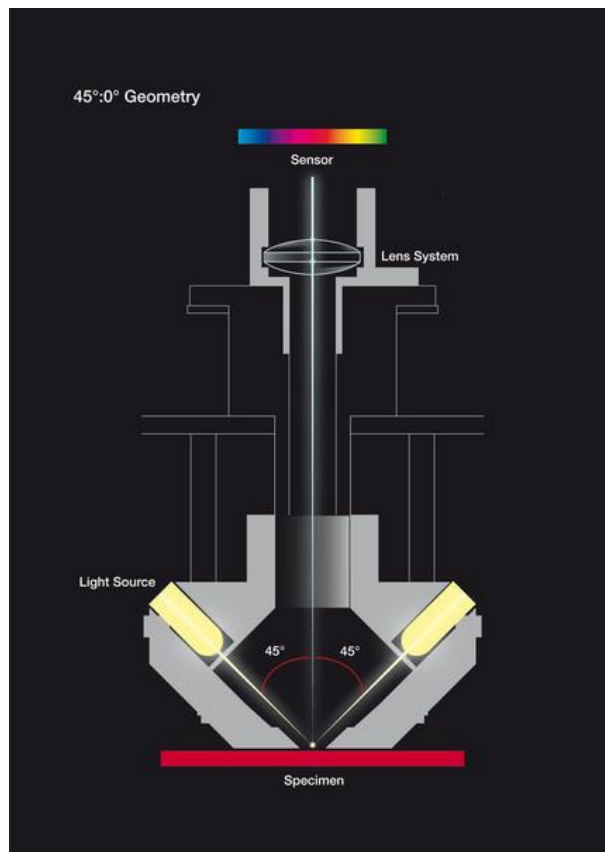
## 2.4 Geometrije mjerenja

Većina uređaja za mjerenje boje koristi nekoliko od CIE standardiziranih geometrija. 1931. godine CIE je definirala standardnog promatrača, standardne izvore svjetle, standardnu vrstu osvjetljenosti i standardnu geometriju osvjetljavanja i promatranja (mjerenja) uzoraka. Izbor geometrije je važan kod mjerenja sjajnih površina koje u usporedbi s površinama bez sjaja, ali s istim udjelom koloranta djeluju zasićenije i tamnije. Kako rezultati mjerenja uzoraka moraju biti u korelaciji s vizualnom procjenom, odabirom geometrije osvjetljavanja i načina mjerenja uzoraka može se to i ostvariti [3].

### 2.4.1 Geometrija $45^\circ: 0^\circ$

Geometrija  $45^\circ: 0^\circ$  koristi usmjereno osvjetljenje. Izvor svjetla osvjetljava uzorak, usmjeravajući svjetlo pod kutom od  $45^\circ$  prema okomici. Savršeno homogeno osvjetljenje uzorka, osobito ako ima strukturiranu površinu, može se postići samo pomoću prstenastog osvjetljenja (geometrija mjerenja  $45^\circ: 0^\circ$ ). Približavanjem "savršenosti" geometrije mjerenja od  $45^\circ: 0^\circ$  može se realizirati pomoću kružnog rasvjetnog uređaja, tj. geometrije mjerenja od  $45^\circ: 0^\circ$ . U ovoj varijaciji svjetlo se selektivno usmjerava na mjerni uzorak pomoću kružno raspoređenih svjetlosno vodljivih kabela. Broj svjetlosnih vodiča - dakle udaljenost između svake od njih - odlučujući je čimbenik kvalitete osvjetljenja. Za vrlo posebne primjene uzorak se može čak i osvijetliti jednim svjetlosnim snopom usmjerenim pod kutom od  $45^\circ$ . Kut gledanja je pod  $0^\circ$ . Ova geometrija se zove  $45^\circ \times 0^\circ$  [4].

Uređaji koji koriste geometriju  $45^\circ: 0^\circ$  i  $0^\circ: 45^\circ$  mjere samo na način da je komponenta sjaja isključena (reflectance-specular excluded-RSEX). Oni ustvari mjere izgled uzorka koji uključuje boju, sjaj i teksturu [3].



Slika 3. Geometrija 45 °: 0 °

(izvor: <https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/colour/the-way-colourimeters-see.html>)

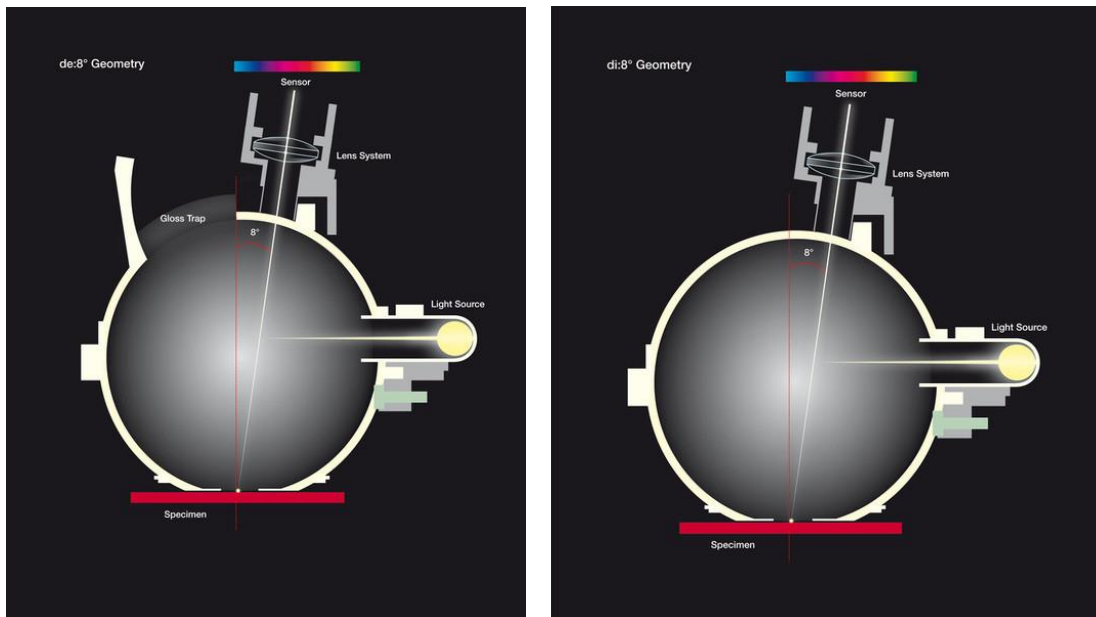


## 2.4.2 Geometrija $d: 8^\circ$

Mjerna geometrija  $d: 8^\circ$  ima optički uređaj koji omogućuje difuzno osvjetljenje (Ulbricht sfera). Svjetlo npr. xenonske svjetiljke projicirano u kuglu. Unutrašnjost kugle presvučena je visoko reflektirajućom supstancom bijele boje (barijev sulfat) koja jače reflektira svjetlo. Zatvarač, optički element unutar kugle, sprječava usmjerene zrake da izravno dođu do mjernog uzorka. Uzorak se nalazi na otvoru kugle i osvijetljen je iz svih smjerova, blizu savršene difuzne svjetlosti. Razlike u površinskom stanju (teksture i / ili razine sjaja) ne mogu utjecati na mjerenu vrijednost [4].

Kroz otvor na vrhu kugle senzor gleda površinu koja se mjeri pod kutom od  $8^\circ$  prema okomici. Kako bi se spriječio odsjaj reflektiranog svjetla s površine uzorka, mnogi instrumenti imaju sjajnu zamku. To može biti "optički" sjajna zamka, crna obložena šupljina izvan sfera. Kada se otvoreni otvor, koji je pod kutom od  $-8^\circ$  prema otvoru za pregled, otklanja svjetlost koja se drugačije odražava iz unutarnje stijenke kugle i stoga ne može osvijetliti uzorak. Kao jednako adekvatna alternativa, moguće je numeričko upravljanje sjaja. Ovdje dodatni izvor svjetla osvjetljava mjerni uzorak pomoću usmjerene zrake na  $-8^\circ$  u odnosu na normalan uzorak. Odnos između smjera i difuzne refleksije omogućuje izračunavanje sjaja komponente. Mjerni sustav koji uključuje sjaj zove se  $d: 8^\circ$ , dok je mjerni sustav bez sjaja opisan kao  $de: 8^\circ$  [4].

Ako se želi izmjeriti doživljaj i razlika u doživljaju boje 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 [3].



Slika 4. Prikaz geometrije de: 8 (lijevo) i di: 8 (desno)

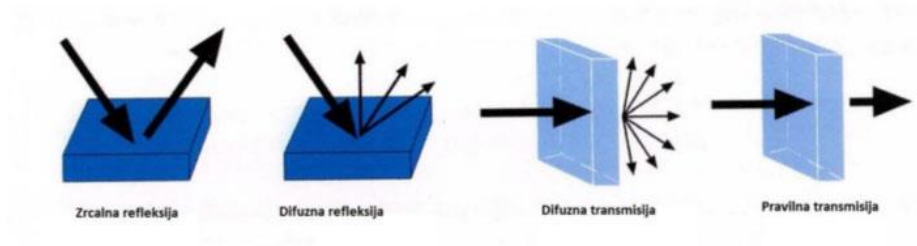
(izvor: <https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/colour/the-way-colourimeters-see.html>)

## 2.5 Različiti modeli interakcije svjetlosti sa površine objekata

Refleksija se definira kao promjena smjera širenja svjetlosne zrake (tj. vala), na granici dvaju sredstava. Ovo je najučestaliji primjer optičkih efekata – svjetlost putuje zrakom, doseže površinu nekog objekta, te se odbija, mijenjajući smjer svog širenja. Matematički, ta se promjena smjera opisuje pomoću dviju veličina – upadnog kuta, i kuta refleksije. Ti se kutevi definiraju s obzirom na normalu površine na koju svjetlost upada. Zakon refleksije jednostavno kaže: upadni kut je jednak kutu refleksije. Međutim, valja imati na umu da većina realnih tijela imaju površine koje nisu savršeno glatke. To znači da će normale na površinu biti različite za pojedine upadne zrake svjetlosti, a to nadalje znači i da će kutevi refleksija biti različiti za pojedine zrake, makar sve imaju iste upadne kuteve s obzirom na ravninu površine tijela. Drugim riječima, na grubim površinama će reflektirane zrake biti raspršene u različitim smjerovima. Iz tog razloga, možemo reći da postoje dvije različite vrste refleksija: zrcalna refleksija i difuzna refleksija. Kod idealno zrcalne refleksije, savršeno glatko tijelo reflektira sve zrake u istom smjeru, dok kod idealno difuzne refleksije, savršeno difuzno tijelo reflektira zrake svjetlosti jednoliko u svim smjerovima, čineći da se svjetlost širi iznad tijela u obliku polukugle [8].

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 [3].

Pravilna transmisija je kad zraka svjetlosti prolazi neraspšena kroz neki predmet. To će se dogoditi ako medij ima sposobnost selektivne apsorpcije svjetla ili ako postoji prisutnost boje u mediju [3].



Slika 5. Refleksni i transparentni objekti.

(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 Sjajnost

Površina materijala reflektira zrake svjetlosti koje padaju na nju. Zbog različitog stanja površine (više ili manje neravnih ploha) na koju svjetlost pada dolazi do difuzne refleksije, tj. upadni snop paralelnih zraka reflektira se u svim smjerovima te nam se ta površina čini manje sjajna ili da uopće nije sjajna. Glatkoća doprinosi sjaju papira sprečavajući svjetlost da se rasprši na površini papira. Mjerenje sjaja zasniva se na uspoređivanju ispitivanog uzorka s jednim sjajnim standardom. Određuje se udio svjetla koji se reflektira pod istim kutom pod kojim je upao. Što je taj udio veći, to je uzorak sjajniji [6].

sjajnost	ponašanje svjetlosti		
	refleksija	transmisija	apsorpcija
<i>metalna</i>	veoma velika	nema	nema
<i>polumetalna</i>	srednja	nema	nema
<i>dijamantska</i>	veoma velika	znatno	mala
<i>staklasta</i>	velika	znatno	mala
<i>sedefasta</i>	mala	malo	velika
<i>smolasta</i>	srednja	srednje	srednja
<i>svilasta (ili voskasta)</i>	srednja	malo	srednja
<i>mat</i>	nema	nema	velika

Tablica 1. Sjajnost pojedinih površina i njihova interakcija sa svjetlošću

(Izvor: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Sjajnost>)

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 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. [3].

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 izmjeren [3].



Slika 6. Ista boje na tri različite površine

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

## 2.7 CIE XYZ

Najjednostavniji prostor boja, CIE XYZ izveden je iz kolorimetrijskog modela koristeći podatke iz izvora svjetlosti, objekta i standardnog promatrača. CIE XYZ je podloga svih modernih CIE kolorimetrija. XYZ se izračunava množenjem tri vrijednosti: krivulja raspodjele spektralne snage izvora svjetlosti, krivulje spektralne refleksije objekta i krivulje vizualnog odgovora CIE standardnog promatrača. Svaka se krivulja sastoji od vrijednosti od 0-100% u rasponu 370 do 720 nm. Čitatelj će primijetiti da ovaj izračun uključuje tri faktora koji utječu na percepciju boje - izvor svjetla, spektralni sastav objekta i standardnog promatrača. Budući da proračun obuhvaća sve varijable koje utječu na ljudski vid, instrumenti koji koriste ovakav sustav mjerenja, pokušavaju prikazati što vjerodostojniji prikaz našem percipiranju boja i razlike u bojama. XYZ vrijednosti odgovaraju otprilike crvenom, zelenom i plavom podražaju stvorenom od strane objekta kada je osvijetljen određenim izvorom svjetlosti. CIE XYZ vrijednosti nisu lako povezane s percipiranim bojama, ali svi drugi prostori boja (kao npr. CIELab, CIE xyZ i CIE Luv) se izračunavaju iz CIE XYZ. U praksi XYZ vrijednosti se izravno koriste u nekim profilima monitora i drugim izračunima gdje se koriste više izvora svjetla [7].

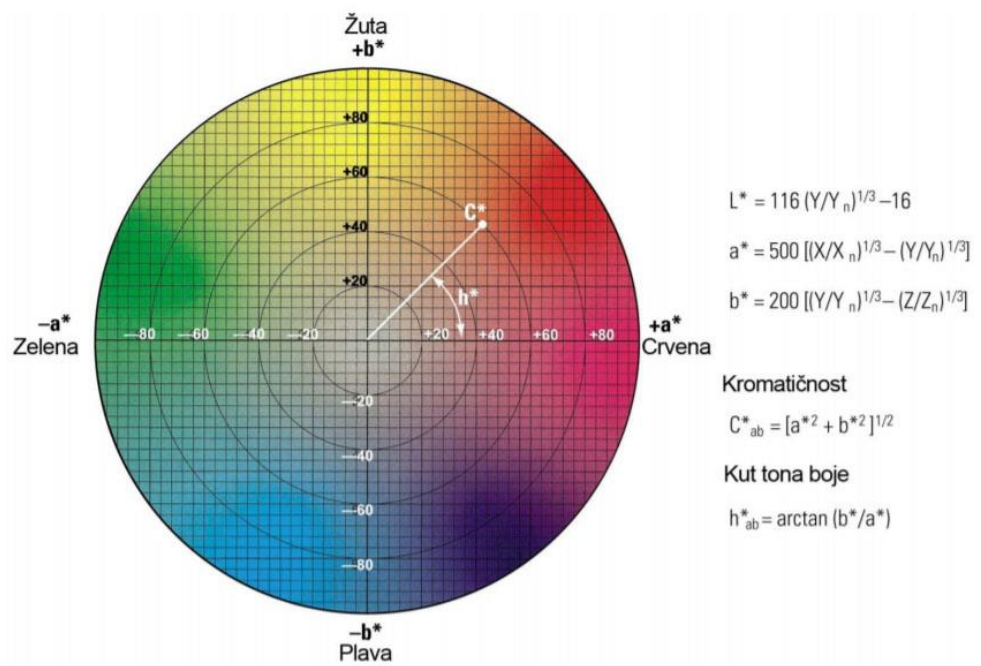


## 2.8 CIELab prostor boja

CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja zasnovan je na suprotnoj teoriji boja. Funkcija svjetline  $L^*$  daje skalu neutralne boje od crne do bijele (od 0 do 100 jedinica svjetline), a kromatičnost boje definira se u odnosu na neutralnu os koja ima vrijednost 0 kromatičnosti. CIE  $a^*$  je koordinata za crvenu-zelenu, a CIE  $b^*$  za žutu-plavu. CIE  $L^*a^*b^*$  svoju primjenu nalazi u formuli boja, procesnoj kontroli i kontroli kvalitete. Svaka boja definira se svjetlinom i kromatičnošću s tri točke na svakoj osi. Kako bi se došlo do CIE  $L^*a^*b^*$  prostora boja, potrebna je računaska operacija primjenjujući XYZ vrijednosti za objekt i bijelu točku izvora svjetlosti  $X_o, Y_o, Z_o$  [5].

Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti.

Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se odrediti boja [3].



Slika 7. CIELab prostor boja

(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) )

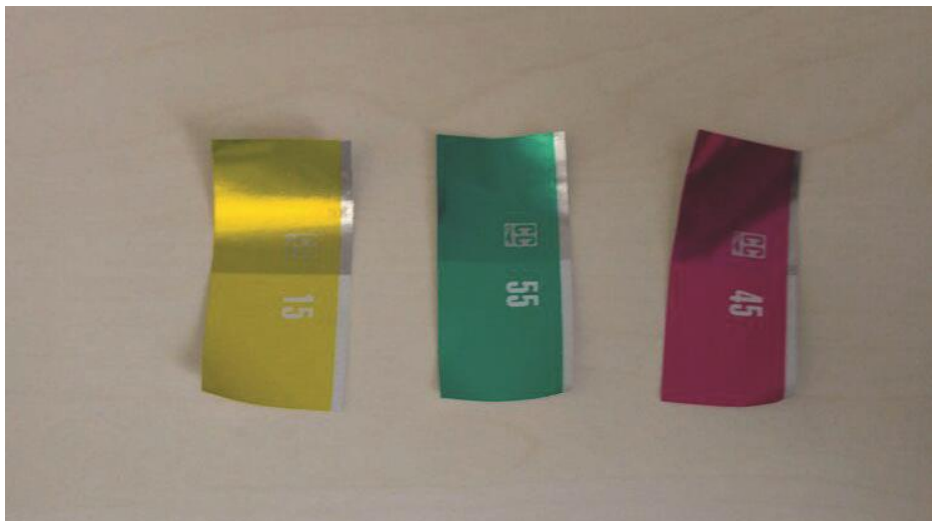
### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Ekperimentalni dio posvećen je ispitivanju utjecaja različitih geometrija mjerenja uređaja na različite vrste uzoraka.

Koristit će se tri geometrije mjerenja , te osamnaest uzoraka različitih površinskih karakteristika.

#### 3.1 Materijali i mjerni uređaji

Materijali koji su korišteni podijeljeni su u četiri grupa sa svojim karakterističnim bojama i površinskim strukturama.



Slika 8. Mat i sjajni uzorci



Slika 9. Tekstil u tri različite boje cyan, zelena i mangenta



Slika 10. Sjajni uzorci



Slika 11. Plastificirani uzorci (lijevo) i interferencijski sloj (desno)

### Mjerni uređaji

Spektrofotometar:  
GretagMacbeth Spectrolino  
sa geometrijom mjerenja  
 $45^\circ : 0^\circ$ , te otvorom mjerenja  
4 mm





Sferni spektrofotometar:  
OceanOptics USB200+ ;  
Uređaj sa integracijskom  
sferom koji ima nekoliko  
geometrija mjerenja u  
ovom slučaju korištene su  
geometrije mjerenja (8: di  
i 8: de), korištene je sfera  
dijametra 50mm, te  
otvora za mjerenje 8 mm

## 3.2 Postupci mjerenja

Korišteni su uzorci sa različitim površinskim strukturama ( mat, sjajni, tkanina, plastificirani i interferencijski sloj).

Uzorci su mjereni geometrijama  $45^\circ: 0^\circ$  ( izvor svjetla osvjetljava uzorak, usmjeravajući svjetlo pod kutom od  $45^\circ$  prema okomici), također je korišten sferni spektrofotometar sa dvije različite geometrije 8: di (osvjetljava uzorak pod kutom od  $8^\circ$  u odnosu na okomicu te mjeri sa spektralnom komponentom, te geometrija 8: de (osvjetljava uzorak pod kutom od  $8^\circ$  u odnosu na okomicu te mjeri bez spektralne komponente).

Rezultati mjerenja su prikazani u CIELAB sustavu , te preko spektrofotometrijskih krivulja. Razlike koje su nastale kod različith geometrija mjerenja prikazane su preko formule za ukupnu razliku CIEDE2000.

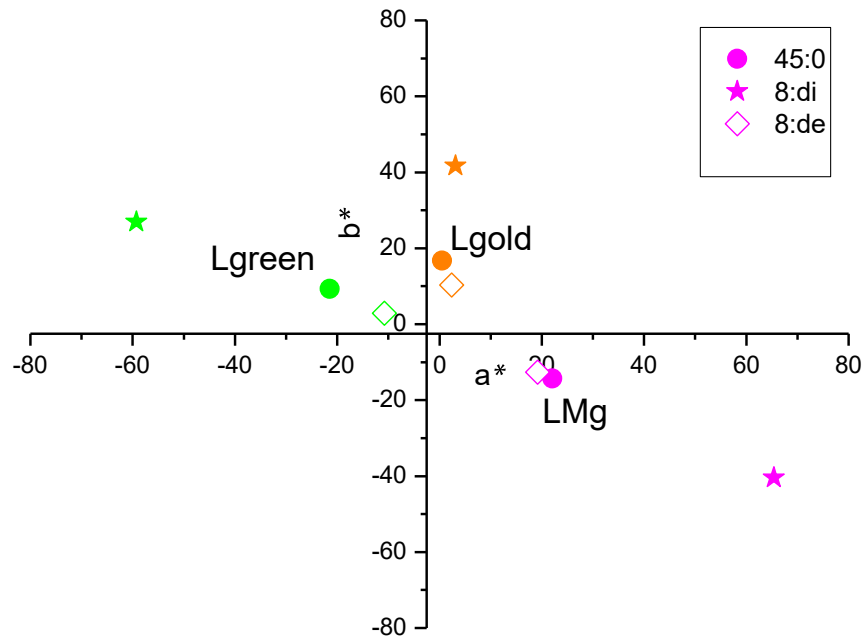
### 3.3 Rezutati i rasprava

Mjerenjem uzoraka dobivene su informacije koje su od značaja. Funkcija svjetline  $L^*$  daje skalu neutralne boje od crne do bijele (od 0 do 100 jedinica svjetline), a kromatičnost boje definira se u odnosu na neutralnu os koja ima vrijednost 0 kromatičnosti. CIE  $a^*$  je koordinata za crvenu-zelenu, a CIE  $b^*$  za žutu-plavu.

uzorak	$L^*$			$a^*$			$b^*$		
	8di	8de	45/0	8di	8de	45/0	8di	8de	45/0
AlGreenG	75,1	55,4	31,23	-66,2	-44,2	-36,39	-3,5	-12,9	-9,64
AlGreenM	60,0	58,0	55,73	-54,2	-57,6	-70,92	-3,2	-3,6	1,49
AlMgG	75,8	40,3	23,46	37,6	50,5	42,67	-9,8	-14,3	-6,17
AlMgM	50,7	46,7	40,61	59,3	62,5	72,69	-5,6	-10,2	-11,16
AlYG	90,5	68,0	48,57	-1,3	-10,3	-17,59	81,2	55,7	51,39
AlYM	84,0	81,3	79,02	-1,8	-2,4	-3,23	72,4	74,1	96,03
FCy	57,8	58,6	55,97	-31,7	-31,8	-35,7	-26,1	-27,1	-22,14
FMg	54,8	54,8	52,2	52,5	50,6	52,68	2,5	-0,0	2,06
FG	49,9	49,2	48,82	-27,3	-26,9	-35,52	21,2	18,5	27,36
LA	95,4	76,4	47,01	0,3	-2,2	23,81	-3,5	-6,3	8,13
Lgold	91,2	35,8	19,1	3,1	2,4	0,55	41,7	10,3	16,68
Lgreen	75,1	28,0	12,62	-59,3	-10,8	-21,46	26,9	2,9	9,33
LMg	60,5	27,5	9,03	65,4	19,2	22,06	-40,4	-12,6	-14,35
BM	32,2	32,1	14,61	1,7	1,7	-0,18	-2,1	-3,6	-0,94
BG	31,7	21,9	3,39	1,5	2,3	-0,38	-2,4	-3,8	-1,46
PG	63,0	59,3	58,4	-44,7	-49,5	-55,79	36,3	41,1	58,86
PMg	52,0	47,2	42,75	56,8	61,1	66,68	4,8	4,3	8,14
TL 1	38,5	40,8	11,46	15,4	6,0	1,03	-11,1	-8,0	-1,55
TL 2	41,7	40,4	11,5	13,7	14,8	1,19	-1,4	-7,4	-1,95

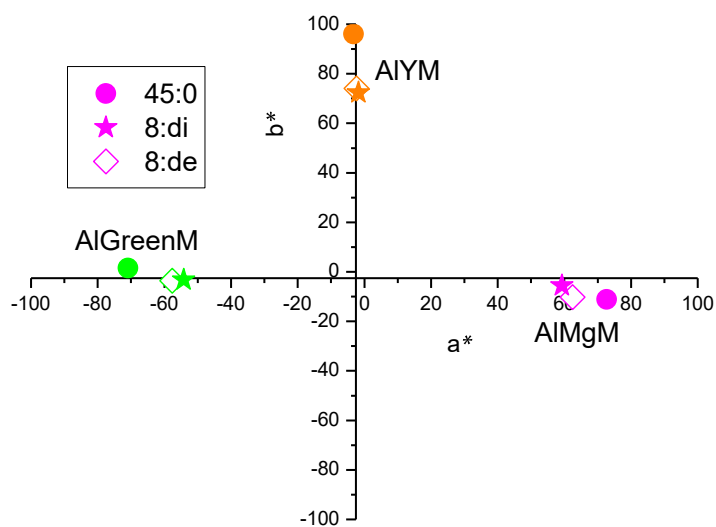
Tablica 2.  $L^*$   $a^*$   $b^*$  vrijednosti za tri geometrije mjerenja





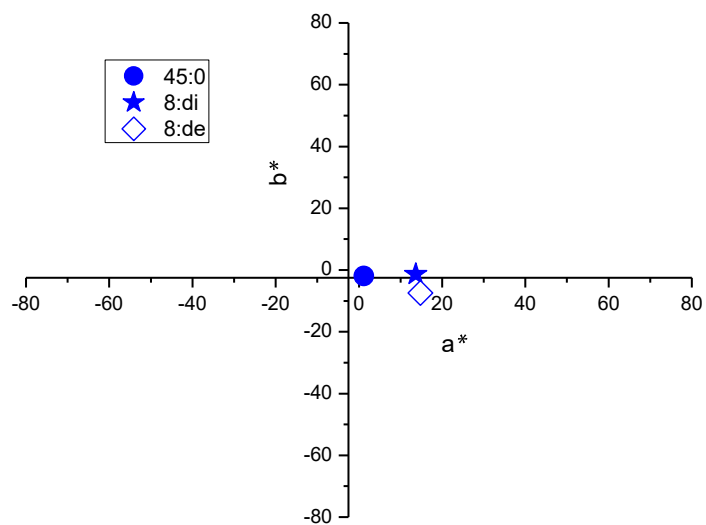
Slika 12. Luxor sjajni uzorci u a\* b\* dijagramu

Luxor sjajni uzorci mjereni geometrijom 8:di doimaju se svjetlije u tonu boje nego uzorci mjereni geometrijama koje ne uključuju sjaj. Luxor sjajni uzorci mjereni geometrijama 45 °: 0 ° i 8:de daju manja odstupanja u svjetlini, te su bliža središtu dijagrama i doimaju se tamnijim.



Slika 13. Mat uzorci u a\*b\* dijagramu

Mat uzorci smješteni su na koordinatnim osima a\*b\* dijagrama i nema velikih odstupanja u svjetlini za tri uzorka mjerena geometrijom 8:di i 8:de. Geometrija 45 °: 0 ° daje veći utisak zasićenosti za sva tri uzorka nego kod geometrija 8:di i 8:de.

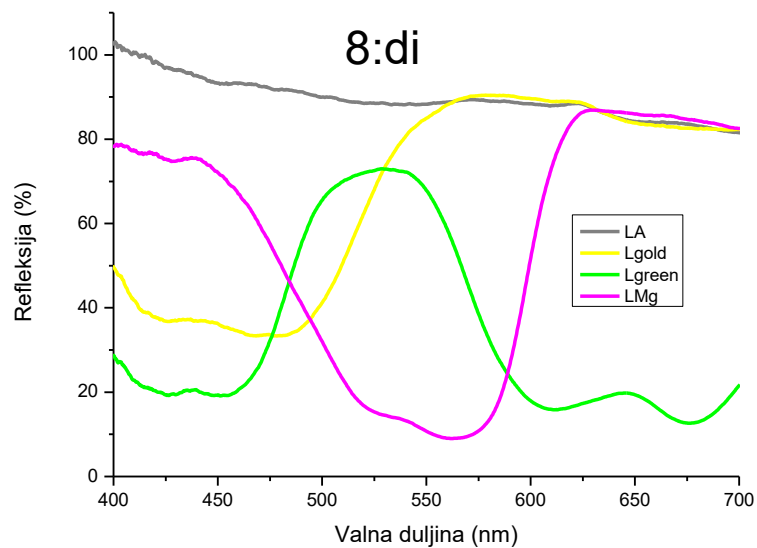


Slika 14. Prikaz interferencijskog uzorka u  $a^*b^*$  dijagramu

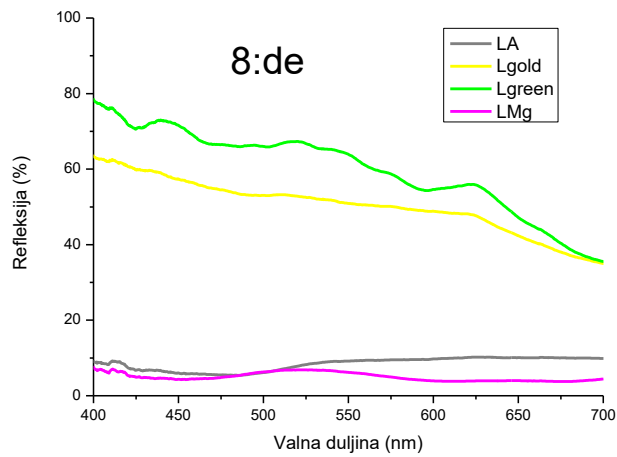
Interferencijski uzorak mjeren geometrijama  $45^\circ: 0^\circ$ , 8:di i 8:de smješten je na  $a^*$  osi prema crvenom udjelu. Uzorak se doima vrlo taman za geometriju  $45^\circ: 0^\circ$ , dok geometrija 8:di i 8:de daju malo veću povišenost u svjetlini.

### 3.4 Krivulje spektralnih refleksija

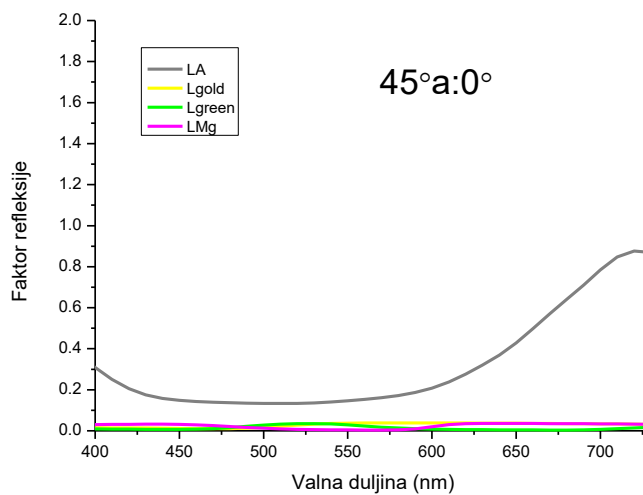
U svrhu prikazivanja obojenja i različitih spektralnih površina na različitim geometrijama korišteni su prikazi krivulja refleksije. Rezultati su prikazani dijagramima spektralnih refleksija sa definiranom x osi za pojedine uzorke, dok je na y osi definirana spektralna refleksija izražena u postocima (%).



Slika 15. Spektrofotometrijska krivulja za četiri sjajna uzorka korištenjem geometrije 8: di

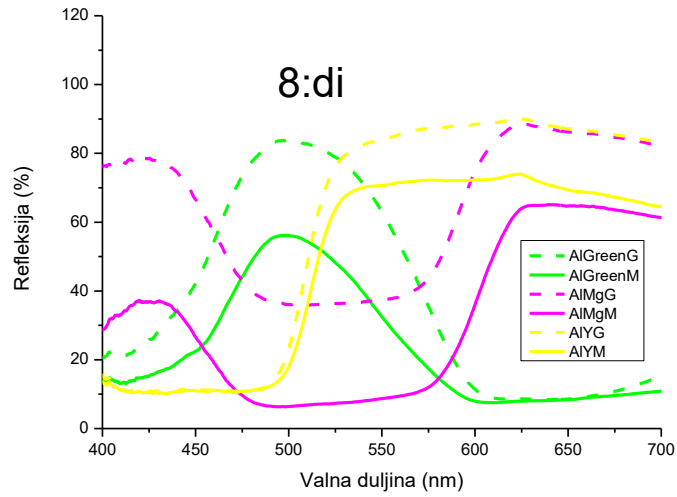


Slika 16. Spektrofotometrijska krivulja za četiri sjajna uzorka korištenjem geometrije 8: de

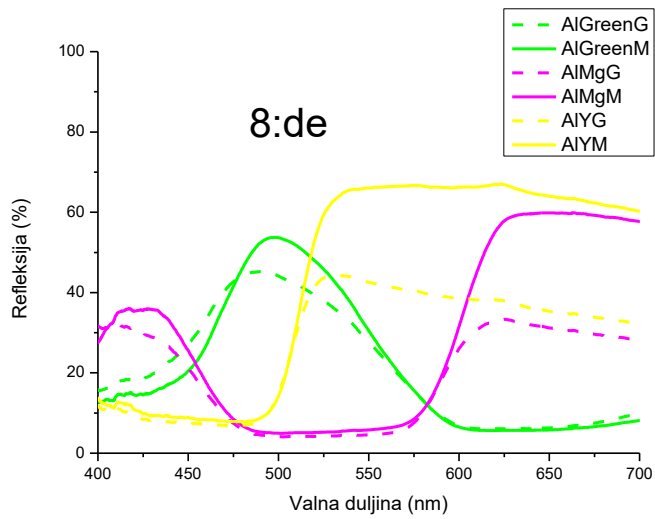


Slika 17. Spektrofotometrijska krivulja za četiri sjajna uzorka korištenjem geometrije 45 °: 0 °

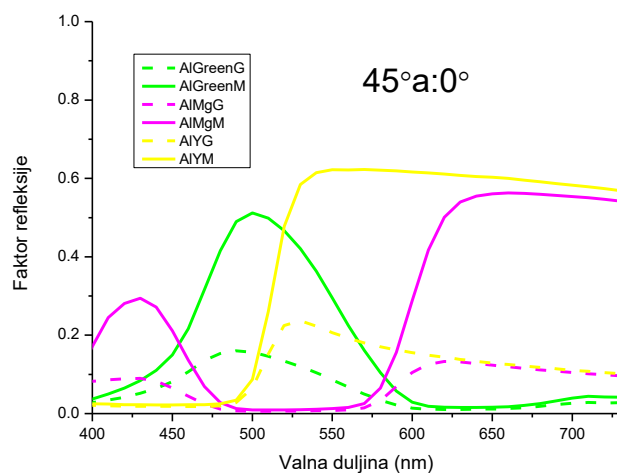
Usporedbom krivulja za luxor sjajne uzorke utvrđeno je da dolazi do velikih odstupanja u krivuljama refleksija za uzorke mjerene sa trima geometrijama. Uzorci mjereni geometrijom 8:di daje najbolji prikaz , za razliku od geometrija koje ne uključuju sjaj.



Slika 18. Spektrofotometrijska krivulja za šest uzorka kombinirano 3 para sa mat i sjajnom strukturom korištenjem geometrije 8: di



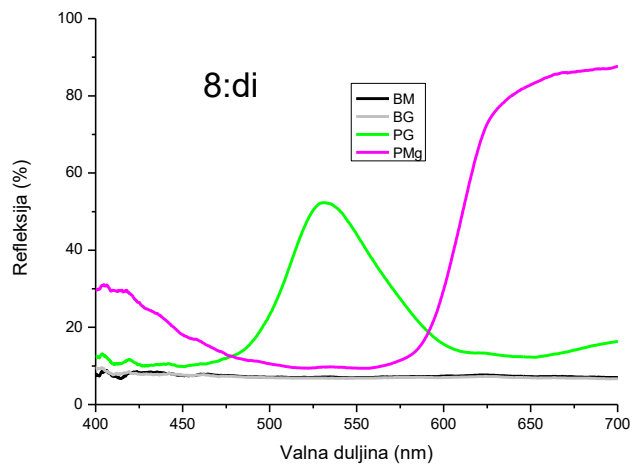
Slika 19. Spektrofotometrijska krivulja za šest uzorka kombinirano 3 para sa mat i sjajnom strukturom korištenjem geometrije 8: de



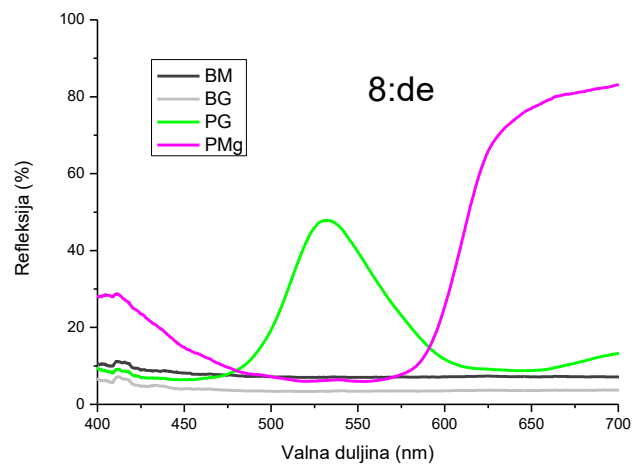
Slika 20. Spektrofotometrijska krivulja za šest uzorka kombinirano 3 para sa mat i sjajnom strukturom korištenjem geometrije  $45^\circ:0^\circ$

Usporedbom krivulja za mat uzorke utvrđeno je da tri mjerne geometrije daju minimalne pomake u krivuljama refleksije, dok za sjajne uzorke, najsvjetlije se doimaju uzorci mjereni sa geometrijom 8:di, dok se uzorci mjereni geometrijom  $45^\circ:0^\circ$  doimaju najtamnije.

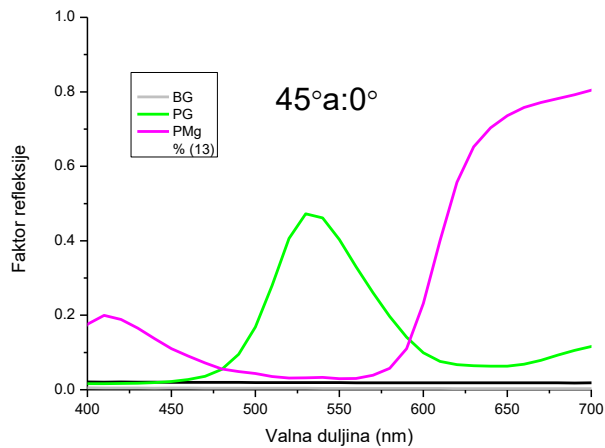




Slika 21. Spektrofotometrijska krivulja za četiri plastificirana uzorka geometrije 8: di

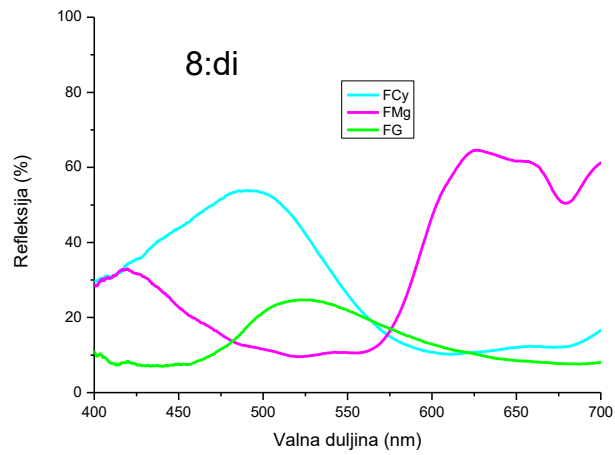


Slika 22. Spektrofotometrijska krivulja za četiri plastificirana uzorka geometrije 8: de

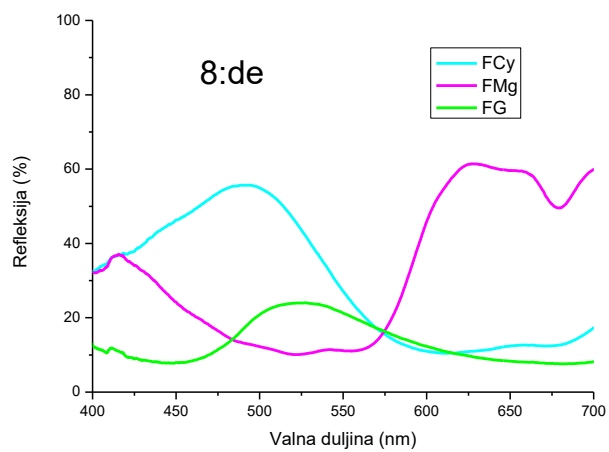


Slika 23. Spektrofotometrijska krivulja za četiri plastificirana uzorka geometrije  $45^\circ:0^\circ$

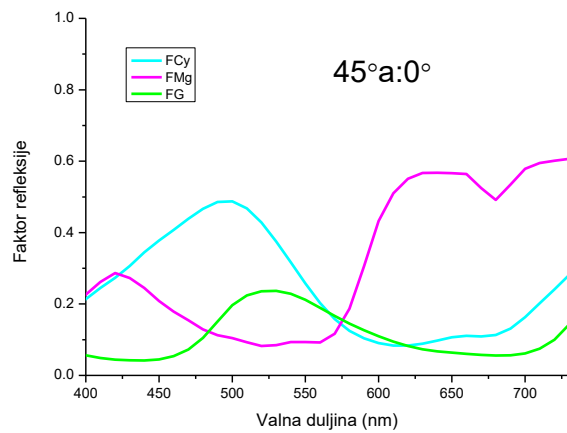
Usporedbom krivulja za plastificirane uzorke utvrđena su minimalna odstupanja za obojene uzorke (PG i PMg), dok geometrija  $45^\circ:0^\circ$  za uzorke (BM i BG) daje sniženu vrijednost refleksije i uzorak se doima tamniji u odnosu na geometriju 8:di i 8:de.



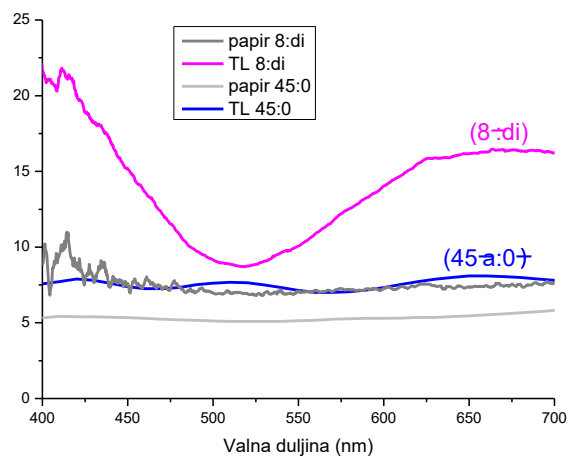
Slika 24. Spektrofotometrijska krivulja za tri tekstilna uzorka korištenjem geometrije 8:di



Slika 25. Spektrofotometrijska krivulja za tri tekstilna uzorka korištenjem geometrije 8:de



Slika 26. Spektrofotometrijska krivulja za tri tekstilna uzorka korištenjem geometrije 45 °: 0 °



Slika 27. Spektrofotometrijska krivulja za interferenciju na tankom listiću, usporedba efekta interferencije mjeranjem sa dvije geometrije 8: di i 45 °: 0 ° na crnom papiru

Usporedbom krivulja za tekstilne uzorke utvrđeno je da su odstupanja minimalna za tri mjerne geometrije, jer tekstil nema efekt površine (sjajnost), nego samo teksturu, te se mjeri samo doživljaj boje. Efekt interferencije dao je niže vrijednosti u refleksiji s geometrijom bez sjaja.

### 3.5 CIEDE2000

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.

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

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

Tablica 3. Pokazuje izračunate vrijednosti za CIEDE2000

<b>8di / 8de (CIEDE2000)</b>	<b>uzorak</b>	<b>8 di / 45/0 (CIEDE2000)</b>
18,577	AlGreenG	43,8439
2,0343	AlGreenM	6,3837
32,4231	AlMgG	52,3931
4,4808	AlMgM	10,3902
18,0803	AlYG	39,3783
1,8896	AlYM	6,0052
0,8497	FCy	3,4885
1,3581	FMg	2,2346
1,5363	FG	3,2077
12,8295	LA	42,4007
48,7093	Lgold	68,9914
50,8759	Lgreen	59,8042
34,9779	LMg	44,8764
1,3541	BM	12,9482
7,4668	BG	19,3098
3,6880	PG	7,4387
4,9516	PMg	9,5185
8,2166	TL 1	24,4591
4,3562	TL 2	23,7923

## 4. Zaključak

Početni cilj rada bio je istražiti da li različite geometrije mjerenja utječu na kolorimetrijsko mjerenje istih uzoraka. Provedbom kolorimetrijskih mjerenja u laboratoriju Grafičkog fakulteta dobiveni rezultati, obrađivali su se odgovarajućim programima i formulama, čime se moglo nastaviti s daljnjom obradom podataka i izvođenja zaključka. Instrumentalnim istraživanjima i analizom utvrđeno je da različite geometrije mjerenja uređaja daju različite kolorimetrijske vrijednosti kod nekih uzoraka, a kod kod nekih uzoraka odstupanja su zanemariva.

Mat premazi davali su “skoro iste” (minimalna odstupanja u nekim vrijednostima) rezultate u tri geometrije mjerenja kao i plastificirani uzorci, dok su sjajni uzorci kod korištenja geometrije 8: di davali veća odstupanja u refleksiji od sjajnih uzoraka koji su mjereni u geometrijama koje isključuje komponentu sjaja.

Sjajne i matirane površine imaju različitu refleksije s površine i kao takve smjer kretanja svjetlosti na različitim površinama daje različite smjerove odbijanja. Zato je bitan odabir geometrije kod mjerenja sjajnih površina, koja u usporedbi s mat površinom djeluje zasićenije i tamnije.

Rezultati za tanke listiće su različiti u različitim geometrijama. Efekt interferencije dao je različite rezultate s uključenom komponentom sjaja, dok je geometrija bez sjaja dala niže vrijednosti u refleksiji. Najmanja odstupanja u kolorimetrijskim mjerenjima dali su uzorci tkanine, koja nema efekt površine, samo boje. Kod tkanine krivulje refleksije su skoro identične u tri mjerne geometrije, tako da površina bez efekta ne zahtjeva određenu geometriju mjerenja, zbog toga što se samo mjeri doživaljaj boje.

Ako želimo dobiti informaciju o boji kao što ju vidimo, preporučeno je mjeriti bez komponente sjaja, ukoliko površine nema efekta kao tekstil sve tri geometriju daju vrijednosti viđenja boje. Sjajni uzorci bi trebali bit mjereni s komponentom uključenog sjaja kako bi smo uračunali efekt površine.

## 5. Literatura

- [1] Đurđica Parac – Osterman , (2007). Osnove u boji i sustavi vrednovanja, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (12.7.2017)
- [2] Katedra za reproduksijsku fotografiju: Kontrola boja dostupno na: [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf) (20.7.2017)
- [3] Katedra za fotografske procese, (2015), Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja dostupna na: <http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/pages/kolegiji/kvalitativne-metode-ispitivanja-rep.-boja/nastavni-materijali.php> (20.7.2017)
- [4] <https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/colour/the-way-colourimeters-see.html> (15.8.2017)
- [5] <http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Osvrti-683-685.pdf> (15.8.2017)
- [6] Ivan Kičinbaći, (2014). Utjecaj elektromagnetskog zračenja na degradaciju optičkih svojstava pigmentiranog papira, završni rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu (15.8.2017)
- [7] Richarhard M. Adams, Color Management Handbook A Practical Guide (12.7.2017)
- [8] [http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/Magisterij/10\\_Sajko/fms.html](http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/Magisterij/10_Sajko/fms.html) (15.8.2017)