

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Iva Trogranić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

Određivanje tolerancija boje na temelju vizualnog ocjenjivanja i
instrumentalnog mjerenja

Mentor:

doc. dr. sc. Rahela Kulčar

Student:

Iva Trogranić

Zagreb 2018.

SADRŽAJ

1.Uvod.....	1
2.Boja i njene karakteristike	2
2.1 Svjetlo i doživljaj boje	2
2.2 Psihološki atributi boje.....	5
2.2 Modeli boja	7
3.Brojčano vrednovanje boja	8
3.1 CIE sustav.....	8
3.2 CIELUV i CIELAB	9
3.3 Kolorimetrijska razlika.....	11
4.Planiranje i provedba metode	12
4.1 Planiranje metode	12
4.2 Izrada uzoraka	12
4.3 Instrumentalno mjerenje	15
4.4 Vizualno ocjenjivanje	16
5.Rezultati i rasprava	17
6.Zaključak	30
Literatura	31

SAŽETAK

Boje su opisane mnogim karakteristikama, a neke od najvažnijih su ton, zasićenje i svjetlina. Pri uspoređivanju reprodukcije boja od nekog originala mogu se pojaviti odstupanja od vrijednosti koje uzimamo kao referentne ili standardne. Kako bi njihovo definiranje i prikazivanje u prostoru bilo što lakše CIE komisija je standardizirala sustave za prikaz i mjerenje boja. Jedan od mnogih je CIELAB sustav koji je korišten u ovom radu.

U ovom radu izabrana su dva tona boje, napravljeni su njihovi standardi i uzorci koji variraju oko tih standarda za male iznose. Uzorci su podvrgnuti instrumentalnom mjerenju, a potom i vizualnom ocjenjivanju pod standardnom vrstom rasvjete. Za prikaz rezultata, osim CIELAB sustava boja, korištena je i CIEDE2000 formula za izračun razlike u boji.

Cilj ovoga rada je odrediti granice vizualne tolerancije i povezati ih sa instrumentalnim mjerenjem kako bi se odredile vidljive razlike u bojama. Dakle, pokušalo se odrediti područje tolerancije za promatrače u kojem oni ne primjećuju razlike u nijansi između uzorka i standarda.

KLJUČNE RIJEČI: CIELAB sustav boja, reprodukcija boja, vizualno ocjenjivanje, instrumentalno mjerenje, CIEDE2000, promatrači, uzorci, tolerancija

1. UVOD

Velika većina informacija koju čovjek svakodnevno procesuirá (oko 80 %) proizašla je iz optičkog podražaja. Od toga su 40 % vizualne informacije o boji. Boje se nalaze svuda oko nas, a njeno tumačenje i percepcija razlikuju se od čovjeka do čovjeka. Fizičari boju opisuju elektromagnetskim zračenjem. Kažu da je boja psihološki doživljaj nastao fizičkim stimulusom. S kemijskog gledišta boja je opisana kemijskim strukturama spojeva kao npr. bojila, pigmenti... S marketinške strane boja je vrlo važan, pa čak i presudan faktor uspjeha nekog proizvoda na tržištu. Umjetnici su boje podijelili na tople (crvena i žuta) i hladne (plava i zelena). Definicija boje glasi da je boja psihofizički osjet induciran svjetlom, tj. osjet koji u oku izaziva svjetlost emitiranu iz nekog izvora svjetlosti i reflektiranu s neke obojene površine. [4]

Grana nauke o bojama koja se prvobitno bavi brojčanim određivanjem boje na određeni vizualni podražaj naziva se kolorimetrija. Prilikom reprodukcije boja mogu se pojaviti odstupanja od originala. Nastala odstupanja ponekad su vrlo uočljiva. Radi toga je potrebno odrediti granice tolerancija odstupanja reprodukcija od originala. [1]

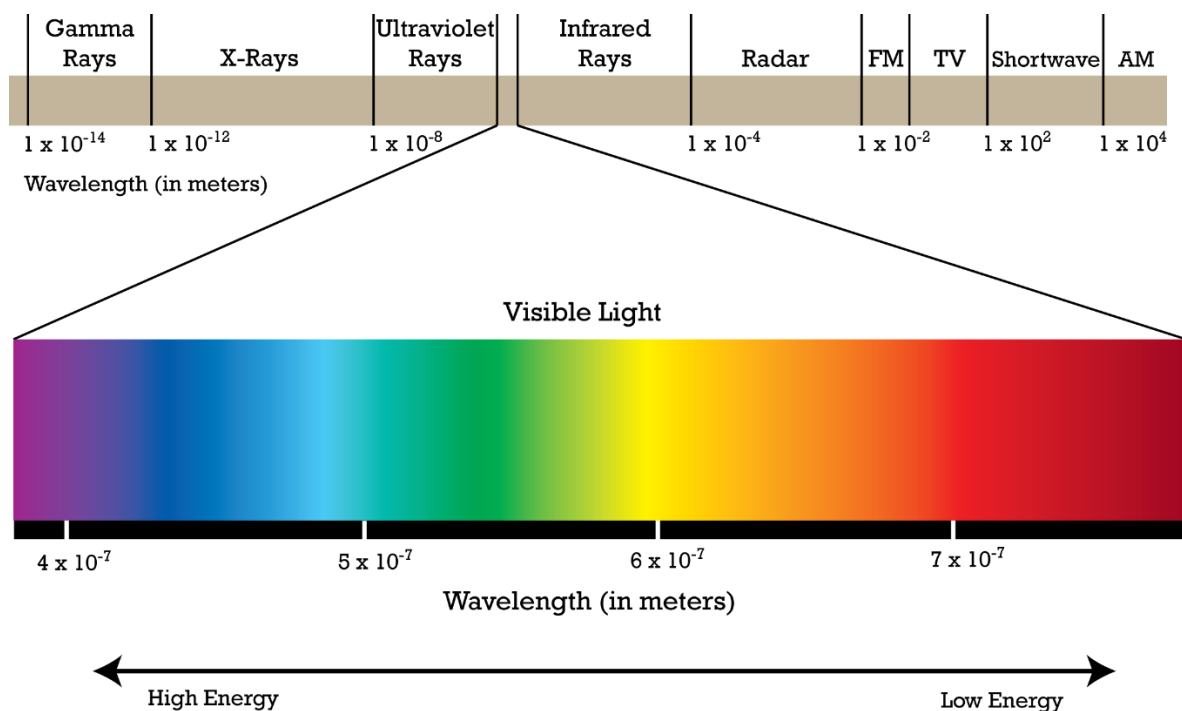
Za određivanje tolerancije na boje u ovom su radu korištena instrumentalna mjerenja i vizualna ocjenjivanja. Uzorci su prvo podloženi instrumentalnim mjerenjima spektrofotometrom. Potom su podvrgnuti vizualnom ocjenjivanju u kojem je sudjelovalo 20 promatrača. Kombinacijom ovih metoda dobiveni rezultati daju mogućnost određivanja tolerancije boja.

2. BOJA I NJENE KARAKTERISTIKE

2.1 Svjetlo i doživljaj boje

Boja je psihološki fenomen koji nastaje u mozgu kao posljedica utjecaja svjetla iz primarnog ili sekundarnog izvora zračenja na oko promatrača. Dakle boja je doživljaj izazvan elektromagnetskim zračenjem (slika 1) tj. svjetlom.

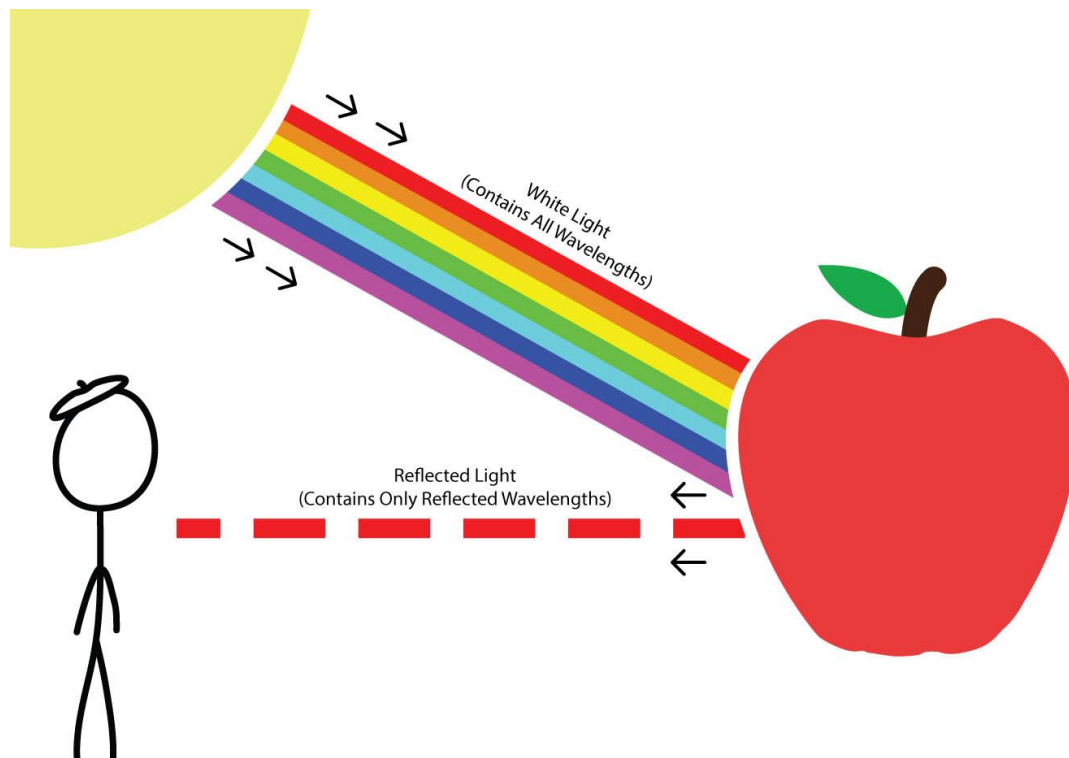
Svjetlost je zračenje elektromagnetskih valova određenih valnih duljina. Ono obuhvaća ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno zračenje. Ljudsko oko reagira na jako mali dio elektromagnetskog zračenja i to u rasponu od 380 nm do 750 nm. Svaku pojedinu valnu duljinu tog raspona oko doživljava kao određenu boju. Taj se raspon naziva vidljivim dijelom spektra elektromagnetskog zračenja.



Slika 1: Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor: <https://vignette.wikia.nocookie.net/godzilla/images/7/73/Electromagnetic-spectrum.png/revision/latest?cb=20160309032255>

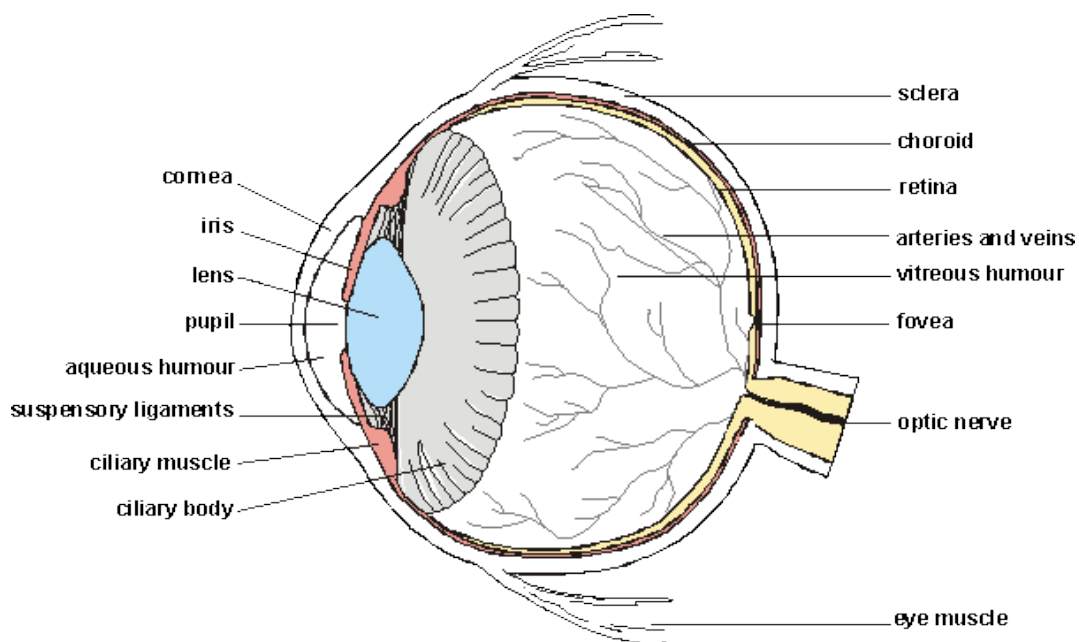
Bijela je svjetlost sastavljena od svih boja vidljivog spektra. Boja se u praksi smatra kao reflektirani dio tijela pri osvjetljavanju bijelom svjetlošću. Pri apsorpciji i refleksiji na određenim valnim duljinama promatrač doživljava određenu boju. Dakle obojena tijela imaju najveću refleksiju pri onim valnim duljinama koje odgovaraju boji tih tijela. Tijelo je onog obojenja čije su valne duljine u najvećem iznosu reflektirane (slika 2). Crno obojenje doživljava se pri potpunoj apsorpciji upadnog svjetla na tijelo, dok se potpuna refleksija doživljava kao bijelo. Sivo u jednakoj mjeri reflektira sva valna područja bijele svjetlosti, ali ih i u jednakoj mjeri apsorbira.



Slika 2: Refleksija sa crvenog predmeta

Izvor: <https://springsemester2015artz363.files.wordpress.com/2015/01/color-reflection-diagram1.png>

Ljudsko oko (slika 3) percipira boju radi dvije vrste fotoosjetljivih elemenata, a to su štapići i čunjići. Svjetlost dakle upada u oko kroz zjenicu koja se ovisno o intenzitetu upadnog svjetla skuplja ili širi. Potom preko leće pada na mrežnicu. Na mrežnici se nalaze fotoosjetljivi elementi (fotoreceptori), štapići i čunjići. (slika 4)

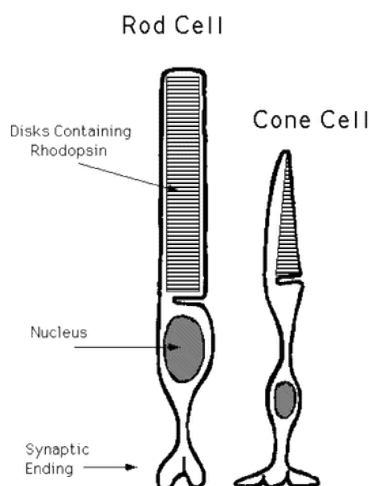


Slika 3: Presjek ljudskog oka

Izvor: <http://www.biologymad.com/nervoussystem/eyenotes.htm>

Štapići (skotoptički vid) su aktivni prilikom niskog osvjetljenja ili noćnog vida. Nisu osjetljivi na boje pa su odgovorni za doživljaj svjetline pojedine boje. U oku su smješteni prema vanjskom rubu mrežnice.

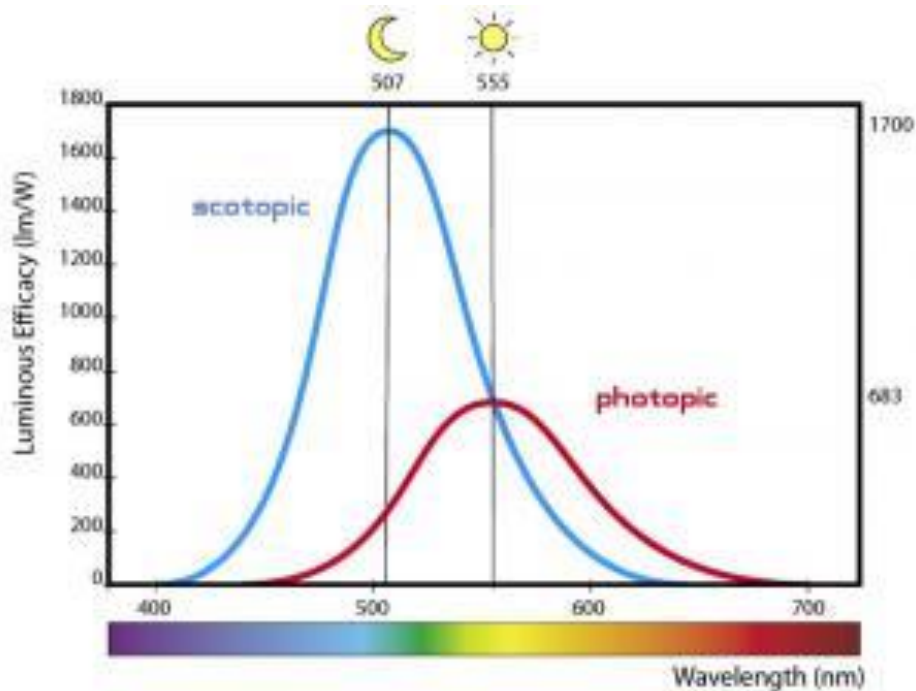
Čunjići (fotoptički vid) su aktivni kod dnevnog viđenja i odgovorni su za doživljaj tona boje. Smješteni su u žutoj pjegi, tj. u središtu same mrežnice oka.



Slika 4. Štapići i čunjići

Izvor: <https://hypertextbook.com/facts/2006/JenniferLeong.shtml>

Štapići i čunjići zajedno pretvaraju svjetlosnu energiju u živčane impulse, a promatrači to registriraju kao ton boje. [2]



Slika 5. Graf skoptičkog i fotoptičkog vida

Izvor: <https://www.datuopinion.com/vision-fotopica>

2.2 Psihološki atributi boje

Dimenzije boje, tj. psihološki atributi boje predstavljaju tri parametra: ton, zasićenje i svjetlinu. Svaka boja u ljudskom oku ujediniuje te tri dimenzije. Prema tome je boja u prostoru definirana trodimenzionalno.

Ton (eng. *Hue*) predstavlja dominantnu valnu duljinu. Bojama je dodijeljeno ime prema tonu, npr. plava, crvena, zelena... Svaka boja u ljudskom oku ujediniuje te tri dimenzije. Kromatske boje su svi tonovi prikazani uz pomoć kružne palete. U njoj se komplementarne boje nalaze jedna nasuprot drugoj. Prvu poznatu kružnu paletu sastavio je Moses Harris još 1776. nalik suvremenim rješenjima. (slika 6)



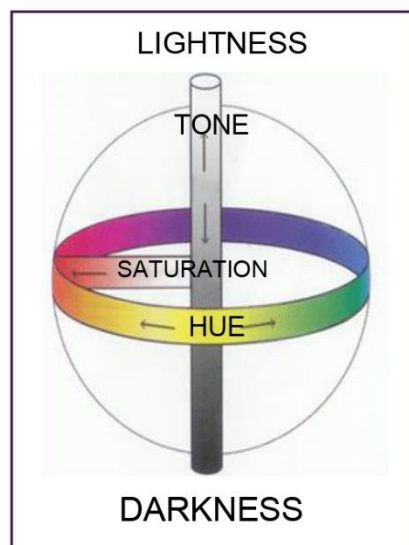
Slika 6. Kružna paleta

Izvor:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/BYR_color_wheel.svg/250px-BYR_color_wheel.svg.png

Zasićenje (eng. *Chroma*) je vrijednost koja ukazuje na udio čiste boje u ukupnom vizualnom doživljaju boje. Boje nastale miješanjem manje su zasićene od onih od kojih su nastale. Što su boje koje se miješaju udaljenije u spektru to je boja manje zasićena. Ton i zasićenje predstavljaju kromatičnost boje i ne ovise o svjetlini.

Svjetlina (eng. *Lightness*) podrazumijeva koliko je neka boja istog tona svijetla tj. tamna. Svjetlina pokazuje sličnost bijeloj ili crnoj boji. Brojčano 0 predstavlja apsolutnu crnu dok 100 predstavlja apsolutnu bijelu. [1]



Slika 7. Cilindrični koordinatni sustav tona, zasićenja i svjetline

Izvor: http://www.igiworldwide.com/ch/igi/images/fc_hue_sat_diag.jpg

2.3 Modeli boja

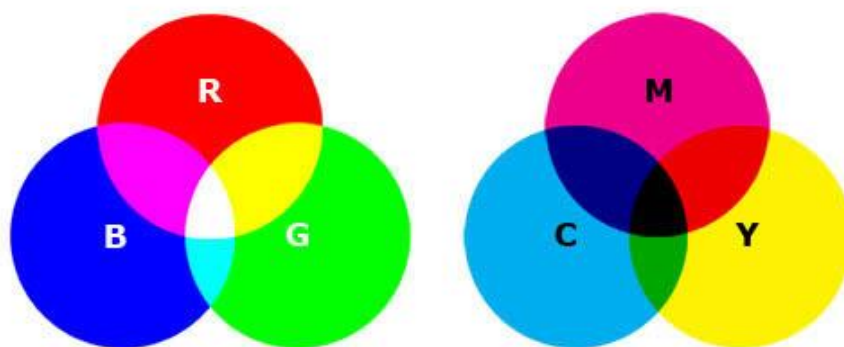
Komplementarne boje su one boje koje se u kružnoj paleti nalaze jedna nasuprot druge. Komplementarne boje međusobno se nadopunjuju, pa će tako njihova miješanja dati bijelu, sivu ili crnu. To ovisi miješali se svijetlo na principu aditivnog modela ili miješaju li se bojila i pigmenti suptraktivnim modelom boja.

Aditivno miješanje boja

Aditivno miješanje boja zasniva se na zbrajanju pojedinih komponenti spektra. To je sustav u kojem se združivanjem svjetlosnih spektara primara, tj. crvene, zelene i plave (RGB) dobivaju sekundarne boje iz aditivne sinteze. Svaka nijansa određene boje može se dobiti miješanjem primara aditivne sinteze, no niti se jedna osnovna boja aditivne sinteze ne može dobiti miješanjem dviju osnovnih boja. Zbrajanjem primara plave i zelene u istim omjerima dobiva se cijan, zbrajanjem plave i crvene nastaje magenta, dok zbrajanjem crvene i zelene, također u jednakim omjerima nastaje doživljaj žute boje. Potpunom aditivnom sintezom nastaje bijela svjetlost.

Suptraktivno miješanje boja

Suptraktivno miješanje boja zasniva se na oduzimanju jednog ili više područja valnih duljina vidljive svjetlosti. Ova sinteza radi na principu oduzimanja pojedinih dijelova spektra bijelom svjetlu uz pomoć filtera. Primari suptraktivnog miješanja boja su cijan, magenta i žuta (CMY). Filteri suptraktivnih primara bijeloj svjetlosti oduzimaju njihove komplementarne boje. Tako će filter cijan obojenja bijeloj svjetlosti oduzeti crvenu komponentu, magenta zelenu, a žuti filter plavu komponentu. Korištenjem sva tri filtera, tj. potpunom suptraktivnom sintezom nastaje crna.



Slika 8. Aditivni i suptraktivni modeli miješanja boja

Izvor: <https://inkmonstr.com/wp-content/uploads/2018/02/rgb-vs-cmyk-spot-color.jpg>

3. BROJČANO VREDNOVANJE BOJA

Teorijske postavke o bojama imali su još i u vrijeme grčkih filozofa Aristotela i Platona. Razvoj znanosti o boji javlja se tek sredinom 20. stoljeća. Kolorimetrija je grana nauka o bojama. Bavi se brojčanim određivanjem boje u odnosu na određeni vizualni podražaj. Dakle, kolorimetrija je zaslužna za točno i precizno vrednovanje boje, za određivanje točne razlike u boji te za točnu reprodukciju. [1]

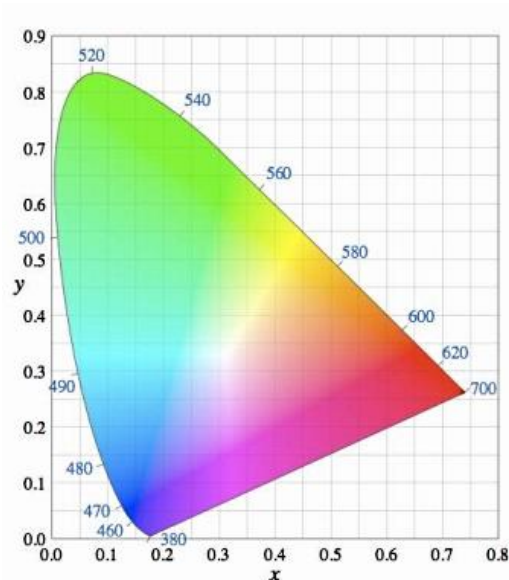
3.1 CIE SUSTAV

Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), tj. Internacionalna komisija za rasvjetu 1931. godine usvaja CIE sustav. To je prvi standardizirani matematički sustav za brojčano vrednovanje boje i razlike među njima. Tek tridesetak godine kasnije doživljava procvat u primjeni radi pojave digitalnih računala. U kolorimetriji CIE sustav doživljava boje ne opisuje tonom, zasićenjem i svjetlinom nego sa trikromatskim komponentama XYZ. One prikazuju numeričke vrijednosti udjela primarnih boja gdje X predstavlja koliko je crvene, Y zelene, a Z koliko je plave. U ovom sustavu boje se mogu prikazati kao točke u prostoru, ali ih je teško vizualizirati. Radi jasnijeg definiranja dimenzije boja, prema CIE boja je brojčano definirana s koordinatama kromatičnosti x, y, z i dobivaju se računski prema formulama:

$$x = X/(X+Y+Z) \quad y = Y/(X+Y+Z) \quad z = Z/(X+Y+Z)$$

$$X+Y+Z = 1$$

Koordinate kromatičnosti daju dvodimenzionalni dijagram. Dijagram kromatičnosti se radi svoga izgleda još naziva i potkova boje. (slika 9)



Slika 9. CIE dijagram kromatičnosti

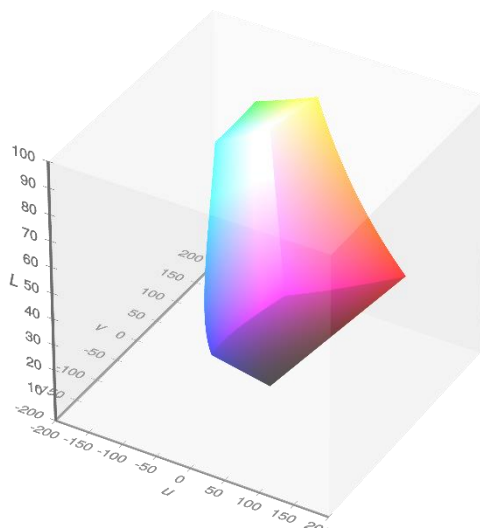
Izvor: http://www.s-sers.mb.edus.si/gradiva/rac/moduli/racunalnisko_oblikovanje/91_barvni_modeli/datoteke/image008m.jpg

Neki od nedostataka CIE dijagrama kromatičnosti je da ne prikazuje dovoljno kako boja izgleda budući da svjetlina nije dovoljno definirana. Također jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama i položaj boje ovisi o izvoru rasvjete. Radi ovih nedostataka javljaju se CIE $L^*a^*b^*$ i CIE $L^*u^*v^*$ prostori boja. [2]

3.2 CIELUV i CIELAB

CIELUV

CIE $L^*u^*v^*$ je trodimenzionalni prostor boja temeljen na aditivnoj sintezi. Sastoji se od tri vrijednosti. Prva je vrijednost svjetlina (L^*), a druge dvije opisuju raspon boja (u^* i v^*). Najveću je primjenu našao u industriji svjetlosnih uređaja i uređaja zasnovanih na aditivnoj sintezi. (slika 10)



Slika 10. CIE $L^*u^*v^*$ prostor boja

Izvor:

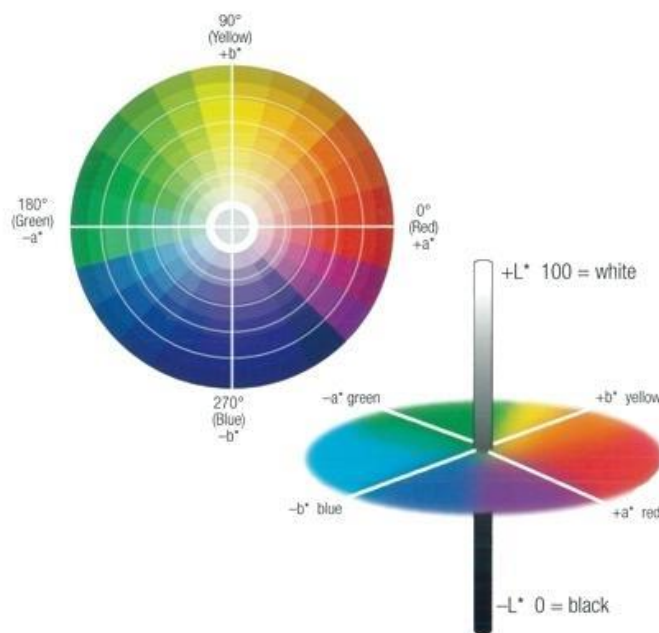
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/SRGB_gamut_within_CIELUV_color_space_isosurface.png

CIELAB

CIE L*a*b* je također trodimenzionalni model prikazivanja boja standardiziran 1976. godine. Ovaj se sustav pokazao kao najprihvatljivijim za brojčano vrednovanje boja. Koordinate CIE L*a*b* sustava odgovaraju teoriji suprotnih boja kao npr. svjetlo-tamno, plavo-žuto, crveno-zeleno... Jedna od najvažnijih osobina ljudskog vizualnog sustava za razumijevanje prostora boje je kromatska adaptacija koje je primijenjena u CIE L*a*b* sustavu. To je sposobnost prilagođavanja ljudskog vizualnog sustava različitim bojama svjetlosti radi očuvanja doživljaja boje objekta. Dakle ljudi opažaju jako male promjene u boji objekta pri promjeni svjetlosti.

Prostor boje opisan je pomoću tri osi. Prve dvije su kromatske osi, a^* i b^* , gdje os a^* predstavlja os crvena-zelena, a os b^* plava-žuta. Treća os je L^* (svjetlina- *Lightness*). To je akromatska os koja se po vertikalnoj osi mjeri od 0 do 100. Vrijednost 0 predstavlja crnu, a 100 bijelu. (slika 11)

CIE L*a*b* sustav koristi se kao model prikazivanja boja u mnogim aplikacijama upravo radi kromatske adaptacije. Također CIE L*a*b* uvodi formulu za izračun kolorimetrijske razlike boja (ΔE^*). [3]



Slika 11. CIE L*a*b* sustav boja

Izvor: <http://careeredge.info/wp-content/uploads/2018/02/the-truth-about-color-model-of-space-cielab-chart-pdf.jpg>

3.3 KOLORIMETRIJSKA RAZLIKA

Kolorimetrijska razlika (ΔE^*) se definira kao euklidska razlika između koordinata za dva podražaja, referentnog i podražajnog. Predstavlja razliku između dvije točke u sustavu. Iz grafičke perspektive ΔE predstavlja odstupanje originala od reprodukcije. Opisuje kvalitetu same reprodukcije. Najčešće je to vrijednost kojom se definiraju ugovoreni poslovi. Za standardnog promatrača određen je slijedeći kriteriji pri uspoređivanju dvije boje:

$\Delta E^* < 0,2$ razlika u boji nije vidljiva

$\Delta E^* < 0,5$ zanemariva razlika (preciznost instrumenta)

$\Delta E^* = 0,2 - 1$ vrlo mala, primjetna razlika

$\Delta E^* = 1 - 3$ razlika u boji je vidljiva

$\Delta E^* = 3 - 6$ razlika u boji je dobro vidljiva

$\Delta E^* = 6 - 12$ očigledna odstupanja

CIE komisija već dugi niz godina radi na poboljšavanju korelacije između vizualnih procjena i instrumentalnog mjerenja. Tako je zadnja poboljšana formula za izračun kolorimetrijske razlike donesena 2000. godine pod nazivom CIE ΔE 2000. Ta formula, osim svjetline, zasićenja i tona uključuje i različitost između zasićenja i tona. Također je zaslužna za prikazivanje boja u plavom dijelu spektra. [2]

5. PLANIRANJE I PROVEDBA METODE

5.1 Planiranje metode

Budući da je u reprodukciji boja u grafičkoj tehnologiji pojava odstupanja od originala neizbježna, potrebno je isplanirati na koji će se način izvršiti metoda određivanja tolerancije boja.

Planirano je usporediti instrumentalno mjerenje uzoraka s vizualnim ocjenjivanjem istih. Za početak su uzeta 2 tona boja i napravljeni su originali i njima vrlo slične reprodukcije, te su uzorci podvrgnuti instrumentalnom mjerenju. Podaci su dobiveni uz pomoć CIELAB sustava, a mjerene su L^* , a^* , b^* , C^* , h° i ΔE vrijednosti tonova uzoraka. Daljnjim računanjima određuje se konačna razlika između standarda i uzoraka u obliku odstupanja ΔE te tolerancija ispitanika u kojoj su ta odstupanja neprimjetna.

Kako bi vizualna procjena bila što realnija u istraživanju je sudjelovalo 20 promatrača. Ocjenjivanje je provedeno pri standardnoj vrsti rasvjete, D50. Promatrači su subjektivnom procjenom odlučili koji je uzorak vizualno sličan originalu, a koji ne. Dakle korištena je metoda pad/prolaz.

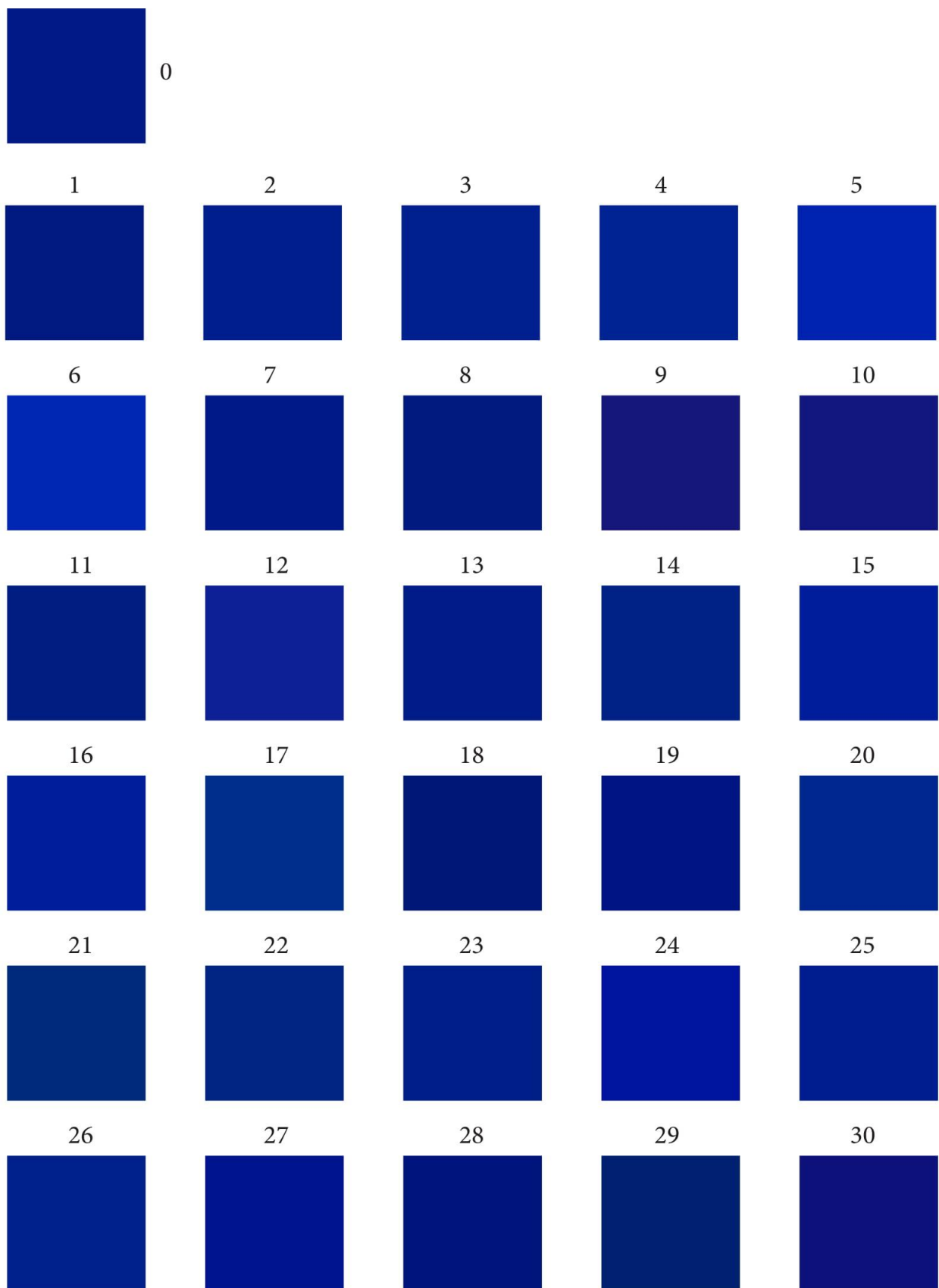
Cilj ove metode je pronaći vizualne tolerancije i povezati ih s instrumentalnim mjerenjima, tj. pronaći vidljive razlike u bojama, te odrediti područje tolerancije za promatrače u kojem oni ne primjećuju razlike u nijansi između uzoraka i standarda.

5.2 Izrada uzoraka

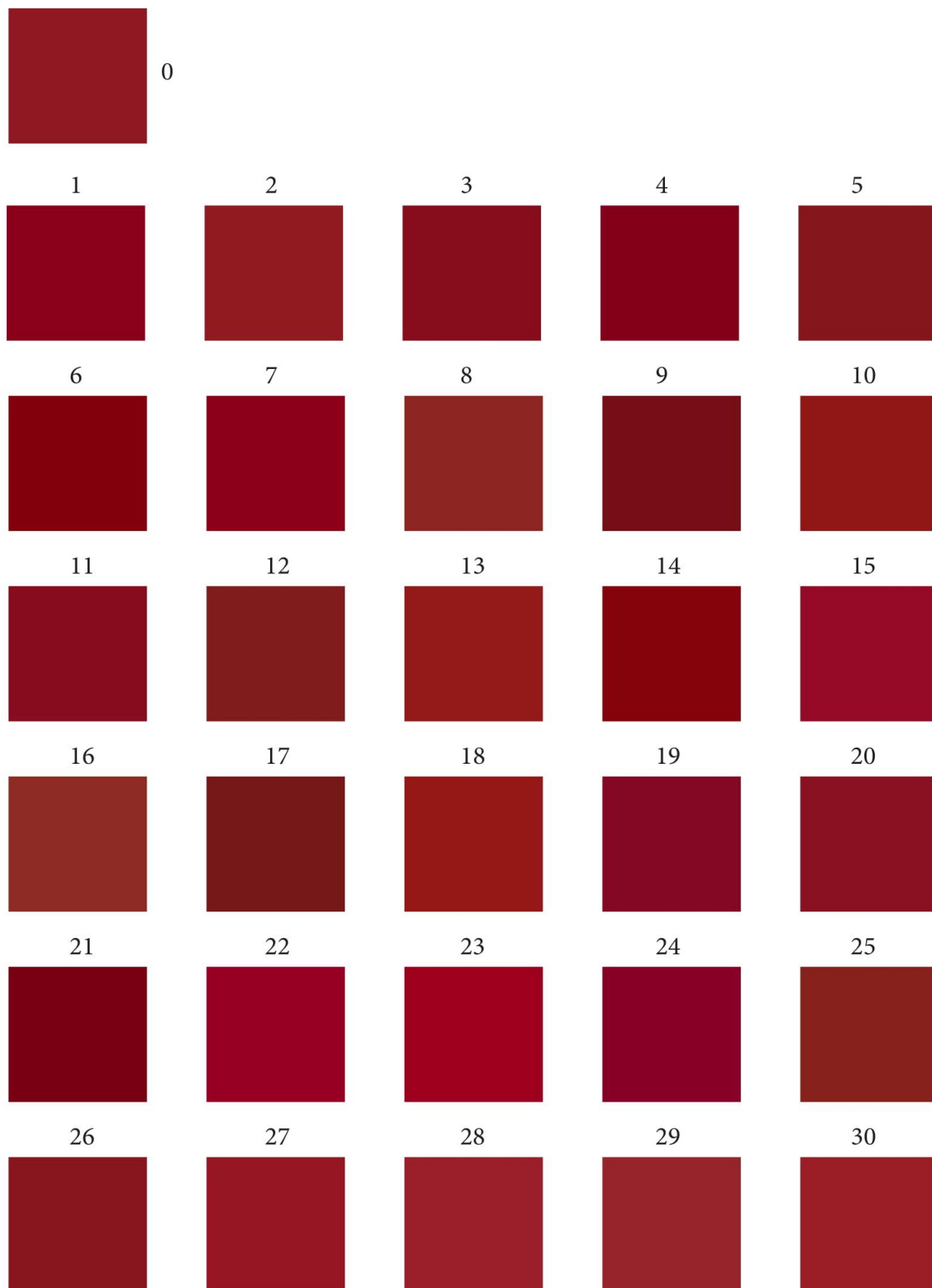
Za izradu uzoraka korišten je CIELAB sustav za prikazivanje boja. Kako bi istraživanje dalo što točnije podatke, korištena su dva različita tona boje. Za svaki od tona napravljen je po jedan standardni uzorak te po još 30 uzoraka vrlo sličnima njihovim standardima. Razlike su minimalne i to u L^* , a^* i/ili b^* vrijednostima.

Dakle napravljena su 2 standarda i 60 uzoraka. Dimenzije uzoraka su 3x3 cm. Za samu izradu uzoraka korišten je Adobe Photoshop radi lakšeg manipuliranja L^* , a^* , b^* vrijednostima i radi mogućnosti uzimanja minimalnih decimalnih pomaka za te vrijednosti. Za ispis uzoraka korišten je ink-jet pisač te su uzorci ispisani na foto papiru. Potom su uzorci numerirani na poleđini i izrezani na zadane dimenzije.

TABLICA 1. Tablica uzoraka 1.tona



TABLICA 2. Tablica uzoraka 2.tona



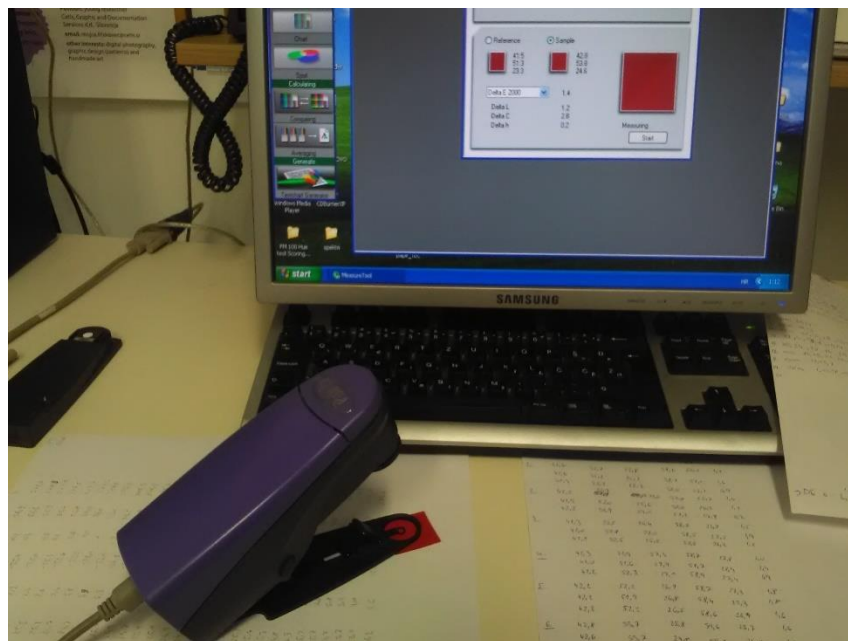
5.3 Instrumentalno mjerenje

Nakon rezanja i numeriranja uzoraka slijedilo je instrumentalno mjerenje. (slika 12) Procesu instrumentalnog mjerenja podvrgnuti su svi uzorci i njihovi standardi. Uzorci su mjereni spektrofotometrom koji uz pomoć zadanog *softwera* pretvara podatke u L^* , a^* i b^* vrijednosti. Osim tih osnovnih podataka mjereni su i C^* , tj. kromatičnost, h° (*hue angle*), tj. kut tona boja izražen u stupnjevima te CIEDE2000.

Spektrofotometar je uređaj koji iz polikromatske svjetlosti izdvaja monokromatsku svjetlost, tj. iz bijelog svjetla pomoću monokromatora izdvaja pojedinačne valne duljine i s njima osvjetljava uzorak i etalon. Etalon je površina koja reflektira gotovo svo upadno svjetlo. Jedan od načina dobivanja iznosa refleksije je dovođenja reflektiranih tokova na fotočeliju koja ih pretvara u električne impulse. Iz dobivenih valnih duljina i refleksija određuju se spektralne informacije i konstruira spektrofotometrijska krivulja. Prije samog mjerenja uzoraka potrebno je kalibrirati uređaj uz pomoć bijelog standarda. [2]

Pri svakom mjerenju i računanju dolazi do greške. Budući da je svako slijedeće mjerenje točnije od prethodnog uzorci su mjereni tri puta na različitim dijelovima površine. Iz dobivenih izmjerenih vrijednosti računata je aritmetička sredina i time su dobivene krajnje vrijednosti traženih podataka.

Kolorimetrijska razlika opisuje kvalitetu reprodukcije i odstupanja reprodukcija od originala tj. standarda. U ovom ispitivanju korištena je CIEDE2000 formula za izračun ukupne razlike u boji.



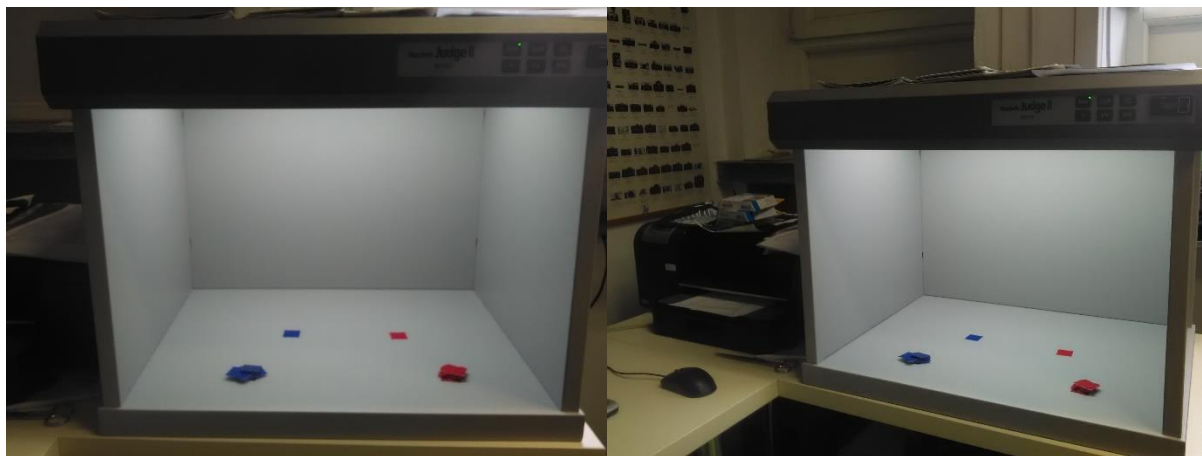
Slika 12. Instrumentalno mjerenje uzoraka

Izvor: fotografija autora

5.4 Vizualno ocjenjivanje

Vizualna metoda vrednovanja boja zahtjeva definirano osvjetljenje i uvjete promatranja. Takvi se uvjeti postižu u svjetlosnoj kabini za vizualnu ocjenu boja, tzv. *Ligh booth* ili *Color match box*. Uređaj služi za usporedbu uzoraka pod različitim izvorima svjetlosti. Vrste rasvjete koje uređaj može kombinirati su A (volframova žarulja), C (prosječno dnevno svjetlo), D50 (svjetlo na horizontu), D65 (dnevno svjetlo), D55 (prosječno jutarnje i prosječno podnevno svjetlo), D75 (dnevno svjetlo prekriveno oblacima), F2, FCW, F (hladna bijela fluorescentna svjetlost), te Ultralume 3000, TL4, TL84 (fluorescentne lampe za trgovačke centre). U ovom je radu korištena rasvjeta D50 (5000 K).

Vizualna metoda zamišljena je kao subjektivno ocjenjivanje sličnosti/jednakosti uzoraka s originalom, tj. s referentnim uzorkom. (slika 13, slika 14) Kako bi ta procjena bila što je više moguće objektivna uzorke je vizualno ispitalo 20 promatrača. Svaki od promatrača za zadatak je imao položiti ispitivani uzorak uz referentni i nakon promatranja pojedinog odlučiti je li uzorak prihvatljiv ili ne. Korištena je metoda pad/prolaz. Uzorci su promatrani u svjetlosnoj kabini za vizualnu ocjenu boja pod kutom od 45° s obzirom na okomicu uzorka, dok su uzorci osvijetljeni pod kutom od 90° . Uzorak je prihvaćen ako je 50% promatrača ili više smatralo da uzorak prolazi vizualni test.



Slika 13. i slika 14. Vizualno ocjenjivanje uzoraka u sivoj kućici sa standardnim vrstama rasvjete

Izvor: fotografija autora

6. REZULTATI I RASPRAVA

Prihvatljivost uzoraka ispitana je vizualnim ocjenjivanjem 20 promatrača. Od uzoraka 1. tona prihvaćeno je 13 od 30 uzoraka, dok je od 2. tona prihvaćeno 8 od 30 uzoraka.

Svi su uzorci instrumentalno izmjereni i dobiveni rezultati su uspoređeni s vizualnim. Kod instrumentalnog mjerenja obuhvaćeni su parametri ranije objašnjeni u poglavlju 5.3 - Instrumentalno mjerenje. Ti se podaci mogu vidjeti u dolje priloženim tablicama, Tablica 3. za 1.ton te Tablica 4. za 2. ton. Sve vrijednosti izražene su preko CIELAB sustava.

TABLICA 3. Podaci instrumentalnog mjerenja 1.tona

Br. Uzorka	L^*	a^*	b^*	h-angle/°	CIE Chroma	CIEDE2000
Standard	26,46	7,63	-54,56	277,96	55,1	
1	25,73	7,63	-55,87	277,8	56,37	0,72
2	25,73	7,26	-55,26	277,5	55,7	0,73
3	25,5	6,8	-55,13	277	55,53	1,02
4	25,57	7,03	-55,43	277,23	56,83	0,96
5	25,97	7,13	-55,93	277,27	56,33	0,89
6	25,8	7,43	-56,07	277,53	56,53	0,83
7	25,33	6,3	-53,7	276,67	54,1	1,03
8	25,2	6,37	-53,87	276,77	54,23	1,11
9	25,7	6,67	-55,43	276,87	55,83	1,08
10	25,73	6,63	-55,2	276,83	55,6	1,03
11	25,17	6,77	-53,83	277,13	54,2	1,02
12	25,2	6,1	-53,13	276,53	53,47	1,1
13	25,48	6,7	-55,37	276,9	55,77	1,14
14	25,67	6,33	-54,8	276,43	55,52	1,1
15	25,43	6,7	-54,43	277,03	54,87	0,95
16	25,4	7,93	-55,57	278,13	56,13	0,81
17	25,5	7,33	-54,57	277,63	55,57	0,73
18	26,43	6,83	-55,47	277	56,07	0,84
19	26,4	6,03	-53,63	276,4	54,03	0,77
20	26	6,7	-55,43	276,83	56,17	0,97
21	26,13	7,13	-55,33	277,33	55,8	0,64
22	25,97	6,6	-55,23	276,8	55,63	0,98
23	25,37	5,77	-53,9	276,2	54,17	1,3
24	26,7	5,43	-55,4	275,6	55,67	1,74

25	26,5	6,1	-54,93	276,33	55,3	1,13
26	26,53	7,47	-55,8	277,6	56,33	0,55
27	25,37	6,97	-54,5	273,3	54,93	0,9
28	26,37	3,07	-52,97	273,3	53,07	2,52
29	23,57	4,07	-49,13	274,7	49,3	2,35
30	26,77	5,43	-55,9	275,6	56,13	1,9

TABLICA 4. Podaci instrumentalnog mjerenja 2.tona

Br. Uzorka	L^*	a^*	b^*	h-angle/°	CIE Chroma	CIEDE2000
standard	41,53	50,87	23,4	24,53	55,57	
1	41,5	52,37	25,9	26,3	58,43	1,14
2	41,87	52	24,87	25,6	57,67	0,73
3	41,13	52,27	26,4	26,8	58,57	1,44
4	41,17	51,93	27,43	27,87	58,77	1,99
5	42,2	52,1	26,73	27,17	58,57	1,65
6	42,73	53,73	25,7	25,03	59,3	1,55
7	41,73	54,5	28,4	27,53	61,47	2,23
8	37,87	50,93	26,93	27,83	57,6	3,71
9	40,93	51,63	28,9	29,2	59,17	2,82
10	38,03	49,6	25,83	27,67	55,63	3,45
11	38,3	48,43	26,03	28,23	55	3,49
12	38,7	53,53	29,4	28,77	61,03	3,71
13	43,5	48,37	27,53	29,63	55,7	3,34
14	41,77	48,8	32,7	31,97	61,83	5,41

15	37,87	49,7	25,53	27,17	55,87	3,5
16	39,3	46,17	26,67	30,03	53,3	3,66
17	42,27	52,83	29,53	29,2	60,53	2,98
18	41,7	55,47	24,9	24,13	60,8	1,36
19	42,53	53,37	34,4	32,8	63,47	5,33
20	42,13	54,7	28,47	27,5	61,67	2,31
21	39,07	52,7	24,57	24,83	54,57	2,26
22	40,17	52,63	26,9	27,1	59,1	2,01
23	40,93	56,27	26,6	25,3	62,23	1,82
24	40,87	59,27	32,1	28,43	67,4	3,8
25	38,73	49,8	26,33	27,83	56,33	3,05
26	42	56,1	24,43	23,5	61,2	1,63
27	44,07	55,57	23,93	23,2	60,5	2,75
28	45,47	53,77	24,73	24,73	59,17	3,75
29	44,67	55,73	26,7	25,6	61,77	3,33
30	36,3	49,8	28,1	29,4	57,2	5,29

Instrumentalni podaci, a tako i vizualni, prikazani su kroz nekoliko različitih vrsta grafova. Svaki od njih apelira na određene podatke ovisno o vrsti grafa i o podacima koje sadrži.

Oba grafa za vizualno ocijenjene uzorke prikazani su uz pomoć histograma, tj. stupčastog grafa. Dakle grafovi prikazuju koliko je ljudi prihvatilo određeni uzorak. Kao što je već rečeno uzorak se smatra prihvatljivim ako je 50% ili više promatrača odlučilo da uzorak prolazi vizualno ocjenjivanje. Za oba tona i njihove uzorke brojka prihvatanja je minimalno 10/20. Graf prihvatanja uzoraka 1.tona prikazan je kroz Grafikon 1., dok je za 2.ton prikazan uz pomoć Grafikona 2.

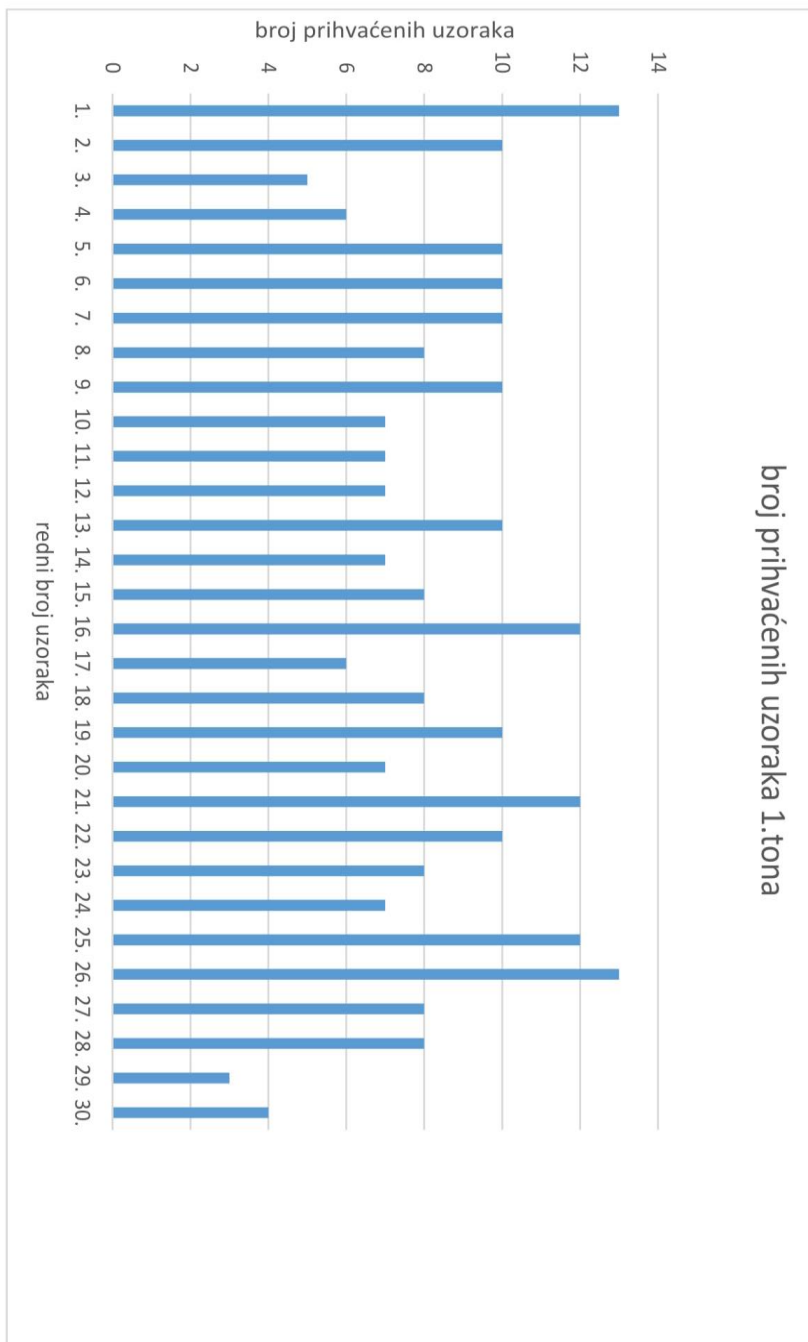
Prva vrsta grafikona korištena u instrumentalnom dijelu je graf raspršenja. Prikazan je u koordinatnom sustavu gdje su koordinate a^* i b^* vrijednosti uzoraka. Ovim je grafikonom prikazan raspored uzoraka u odnosu na standard. Razlike u a^* i b^* vrijednostima vrlo su male. Svjetlina (L^*) nije uzeta u obzir. Grafikon 3. prikazuje

raspršenje uzoraka 1.tona u odnosu na njihov standard, dok Grafikon 4. ukazuje na raspršenje uzoraka 2.tona.

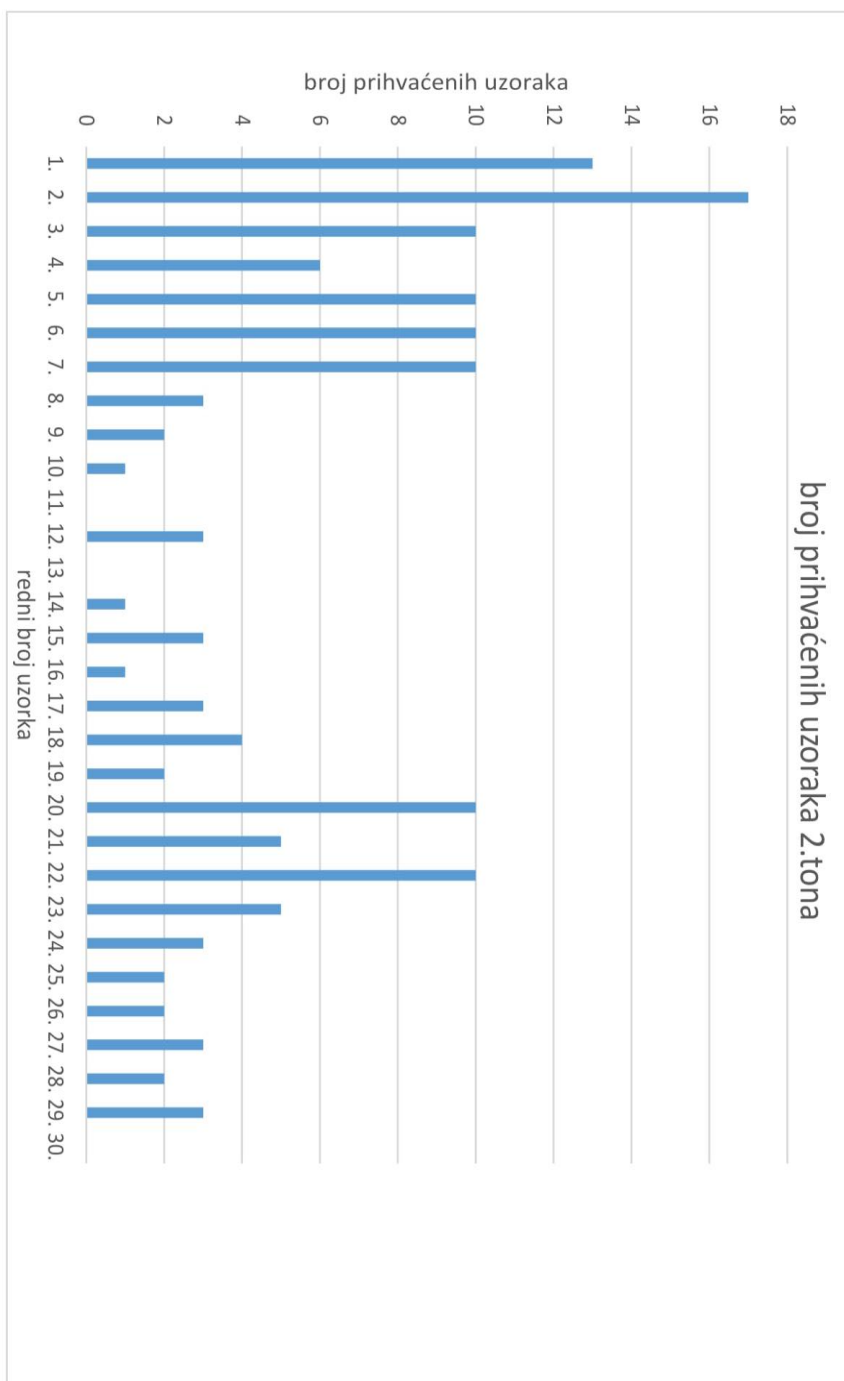
Grafovi u nastavku prikazani su stupčastim grafikonima. Budući da je u cilju mogućnost očitavanja točnih podataka i međusobna usporedba svih uzoraka, stupčasti grafikoni idealan su odabir. Prva grupa grafikona promatra kromatičnost uzoraka s obzirom na standard. Iz grafa se može iščitati vrijednost C^* (kromatičnost) i usporediti svaki uzorak sa standardom. Vidljivo je kako su te razlike u kromatičnosti vrlo male. Grafikon 5. opisuje kromatičnost uzoraka 1.tona, a Grafikon 6. kromatičnost 2.tona.

Druga grupa stupčastih grafikona pokazuje iznose CIEDE2000 pojedinog uzorka. Kao što je već ranije objašnjeno u poglavlju 5.3 – Instrumentalno mjerenje, vrijednost CIEDE2000 opisuje kvalitetu reprodukcije i odstupanje od originala. Ako je vrijednost CIEDE2000 manja ili jednaka od 2 razlike u boji vrlo su male i oku jedva primjetne. Tako je u Grafikonu 7. za prvi ton vrlo uočljivo kako gotovo svi uzorci (osim 28. i 29.) imaju CIEDE2000 < 2. Što se tiče grafikona za 2.ton, tj. Grafikona 8. vidljivo je kako uzorci imaju mnoštvo odstupanja od originala te CIEDE2000 iznosi daleko više od 2 za neke od uzoraka.

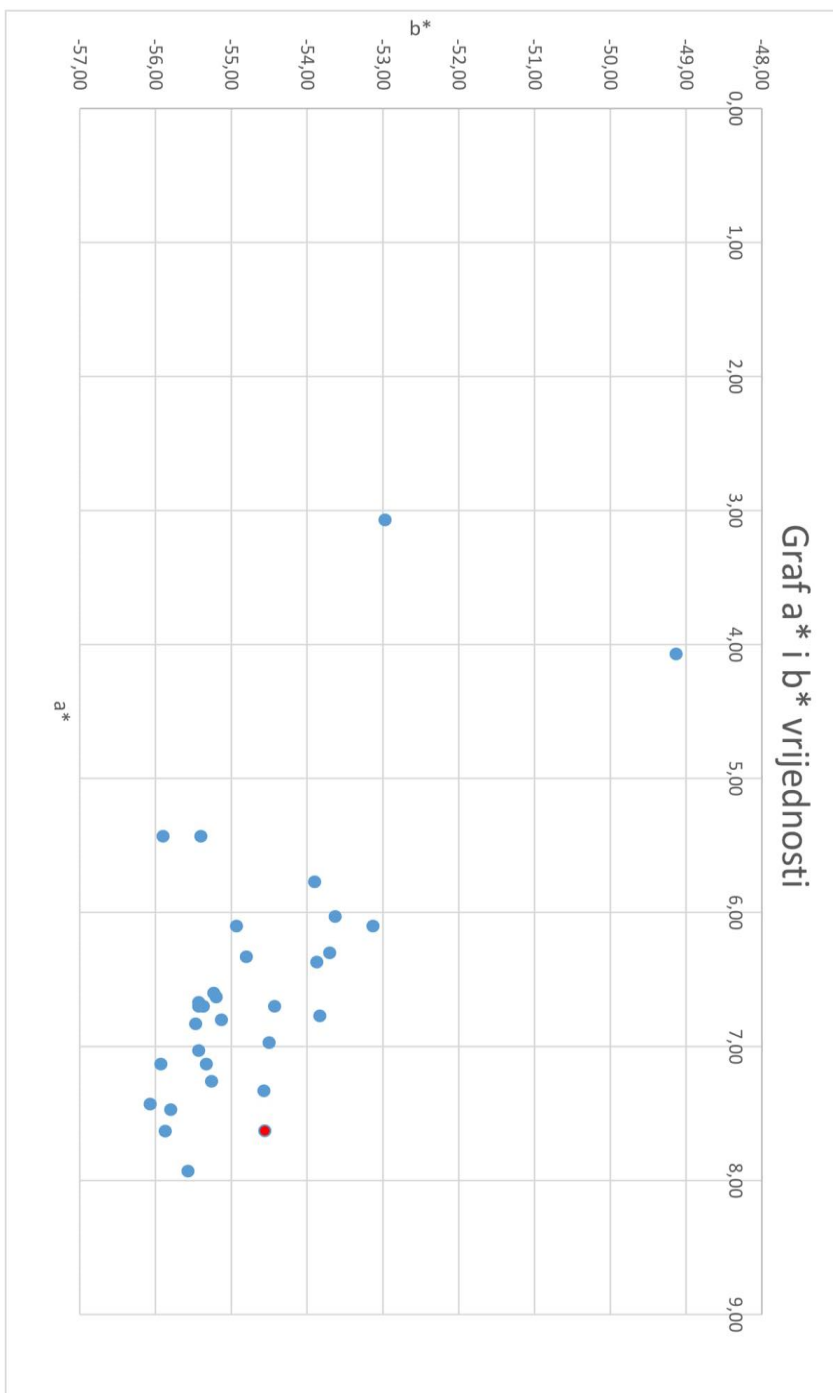
GRAFIKON 1. Graf prihvaćenih uzoraka 1.tona



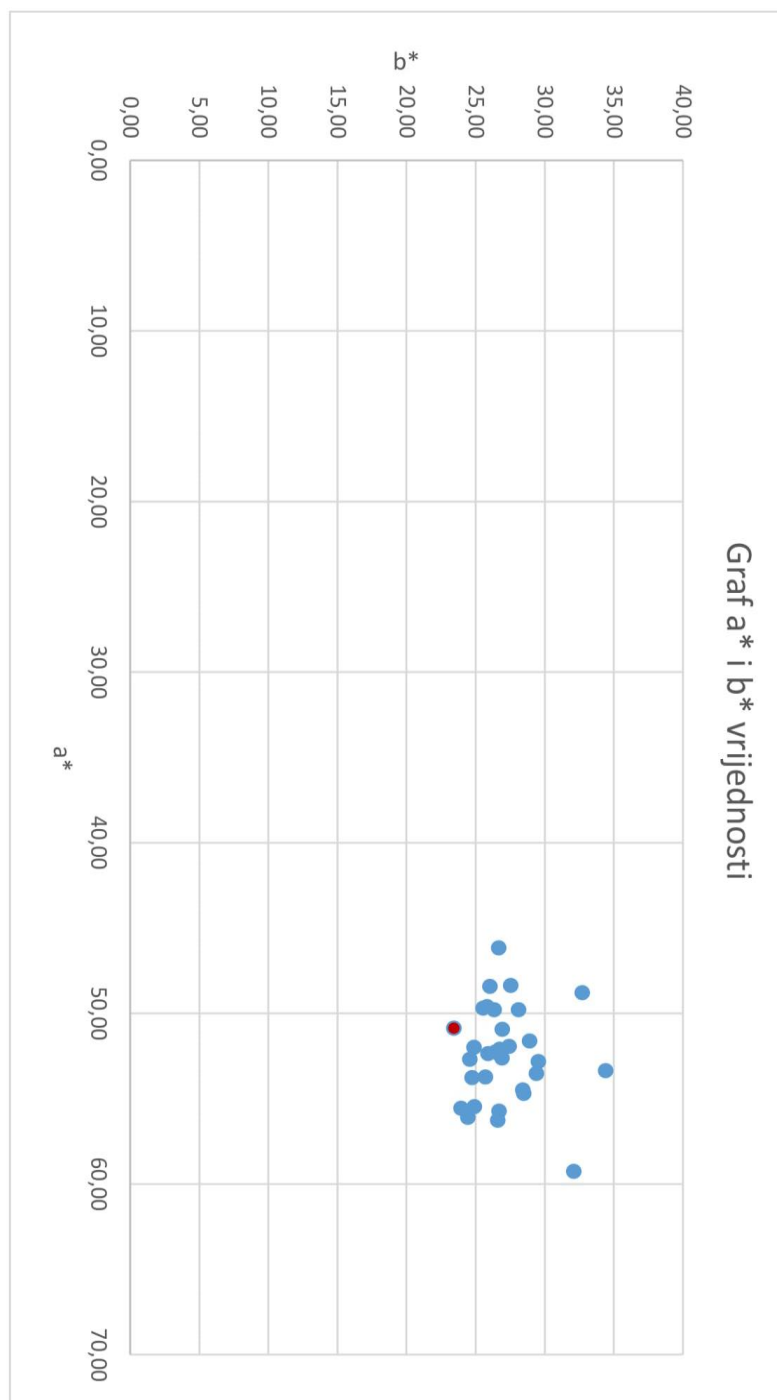
GRAFIKON 2. Graf prihvaćenih uzoraka 2.tona



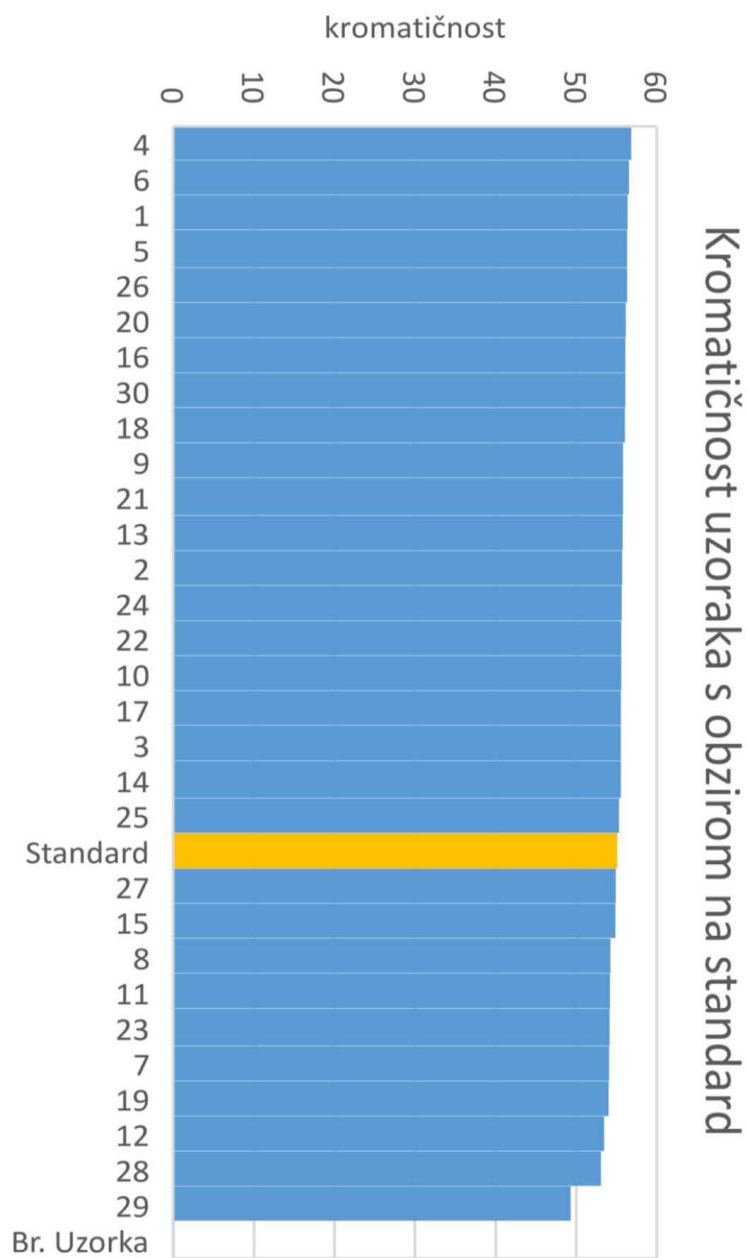
GRAFIKON 3. Graf raspršenja a^* i b^* vrijednosti 1.tona



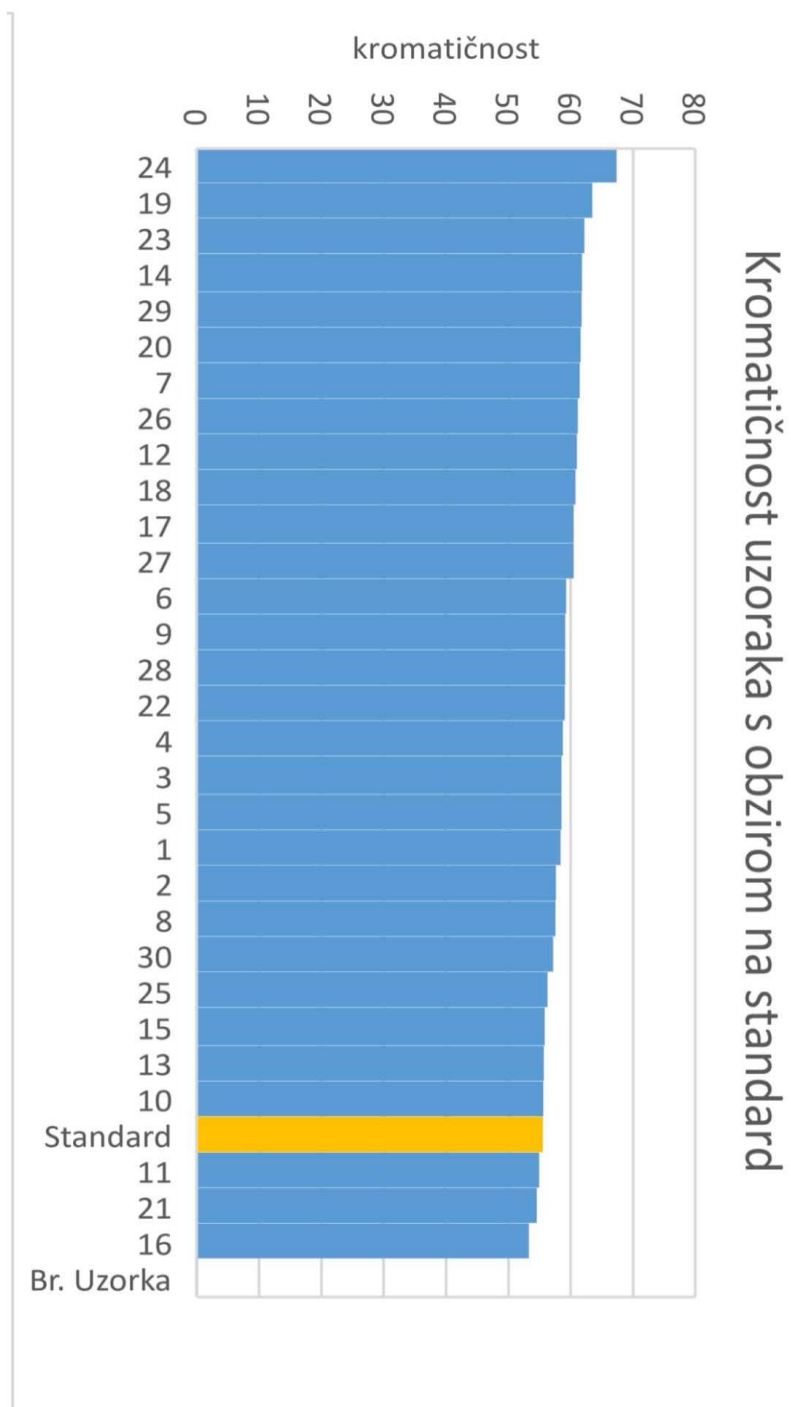
GRAFIKON 4. Graf raspršenja a^* i b^* vrijednosti 2.tona



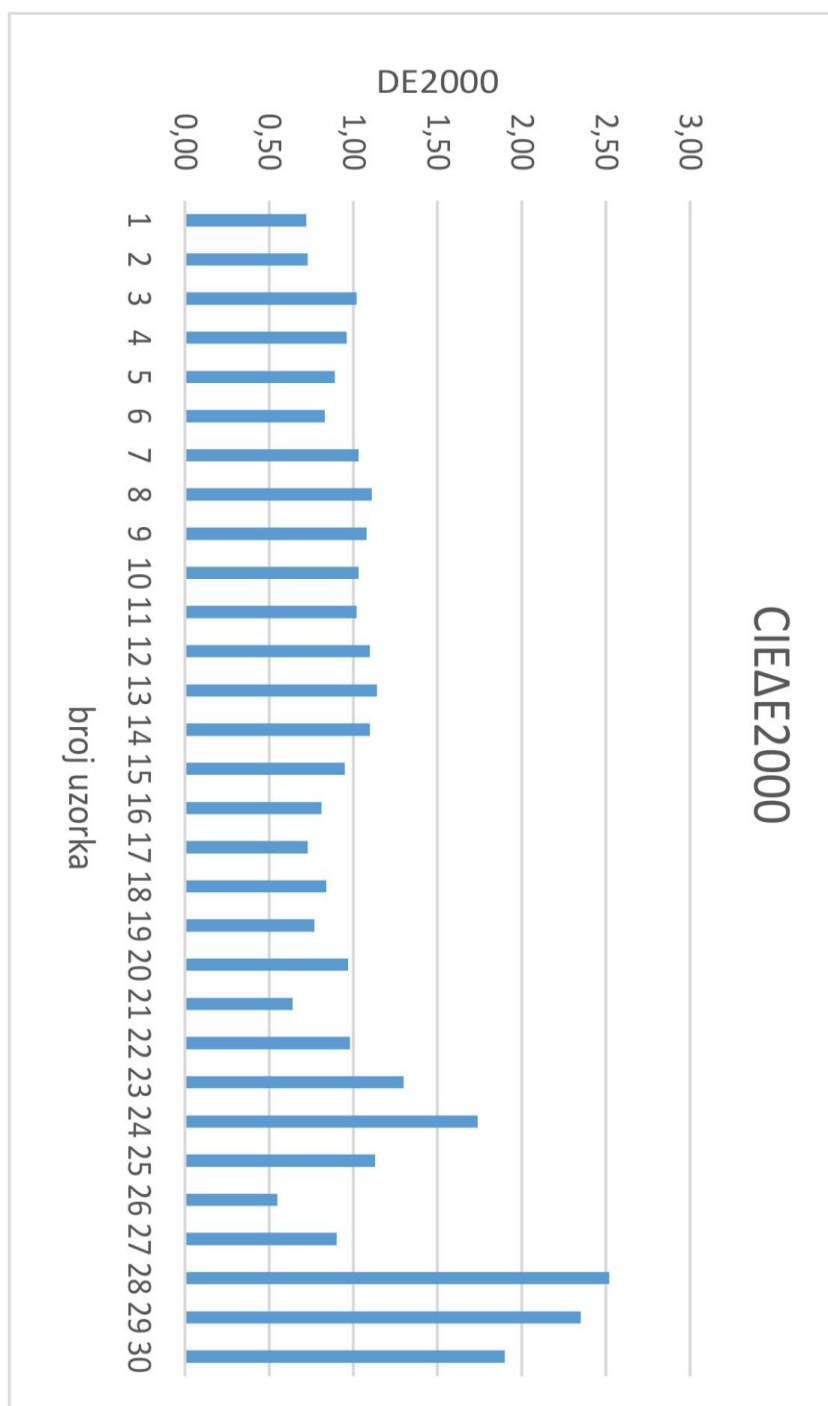
GRAFIKON 5. Kromatičnost uzoraka 1.tona s obzirom na standard



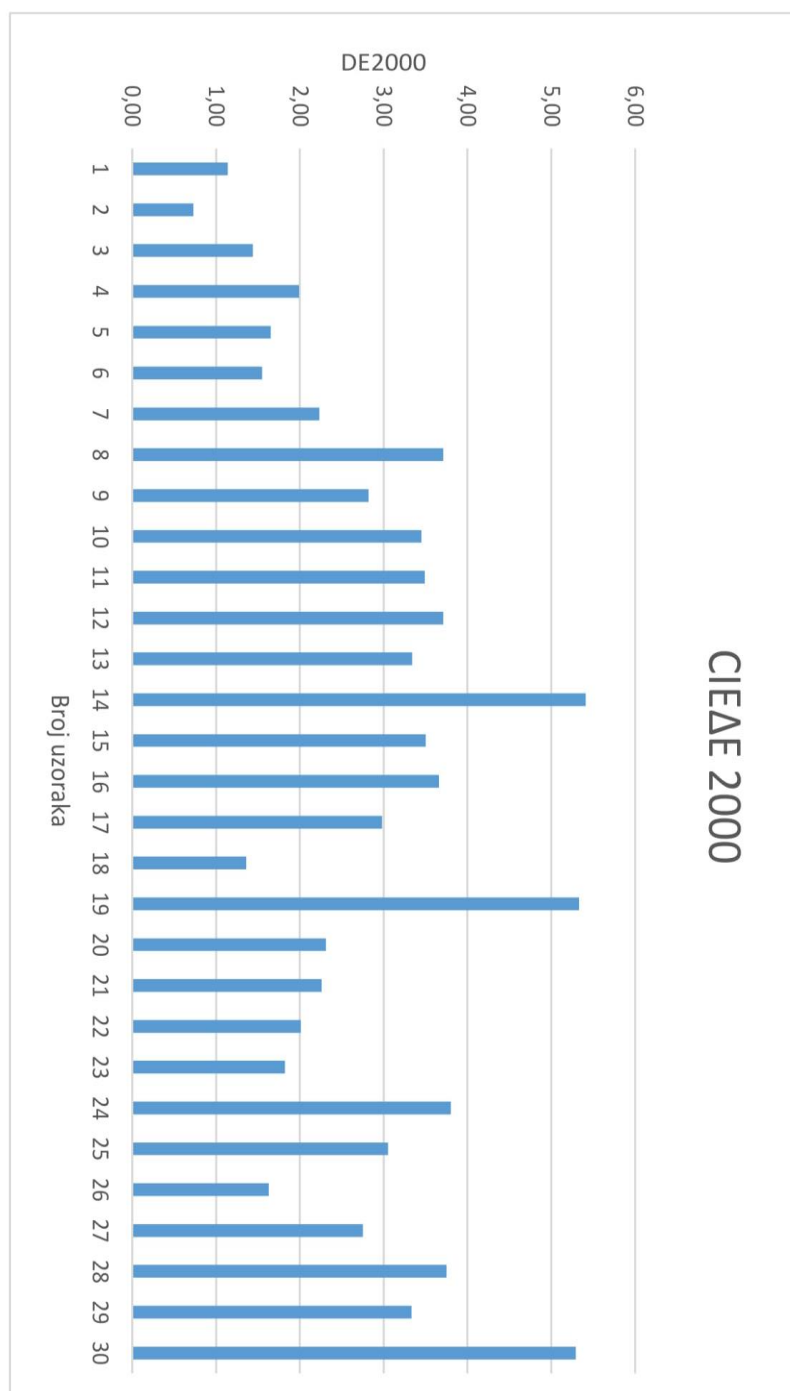
GRAFIKON 6. Kromatičnost uzoraka 2.tona s obzirom na standard



GRAFIKON 7. CIEDE2000 pojedinog uzorka 1.tona



GRAFIKON 8. CIEDE2000 pojedinog uzorka 2.tona



ZAKLJUČAK

Kolorimetrijske vrijednosti standarda prvog tona su $L^* = 26,46$, $a^* = 7,63$, $b^* = -54,56$, a za drugi ton iznose $L^* = 41,53$, $a^* = 50,87$ i $b^* = 23,4$. Kolorimetrijske vrijednosti reprodukcija za iste parametre mijenjaju se za male iznose. Bez obzira na te male promijene reprodukcije su znatno promijenjene. To je vidljivo iz podataka instrumentalnog dijela istraživanja, a posebice je vidljivo kod vizualnog ocjenjivanja.

Od 30 uzoraka prvog tona vizualnim ocjenjivanjem ih je prihvaćeno 13. Svi iznosi vrijednosti CIEDE2000 dobiveni instrumentalnim mjerenjem prvog tona (osim 28. i 29. uzorka) manji su od 2 što po standardima znači da je njihova reprodukcija uspješna te da su razlike jedva primjetne. Vizualni ocjenjivači odbacili su većinu uzoraka. Tako najveća CIEDE2000 razlika prihvaćenog uzorka 1.tona iznosi 1,14 (13. uzorak) što podrazumijeva granicu tolerancije tog tona.

Što se tiče drugog tona od njih 30 je prihvaćeno samo 8 uzoraka. Sama instrumentalna mjerenja odmah su ukazala na greške u reprodukciji što se može pripisati tiskovnoj podlozi ili korištenoj boji u ispisu. Vidljivo je iz podataka i grafikona kako uzorci drugog tona imaju CIEDE2000 veći od 2. Vizualna procjena to je i potvrdila. Najveći iznos CIEDE2000 prihvaćenih uzoraka iznosi 2,31 (20. uzorak).

Ovo istraživanje potvrdilo je činjenicu kako je niz parametara odgovoran za dobru i uspješnu reprodukciju. Uspješnost ispravne reprodukcije može biti nepredvidljiva i kompleksna. Boje su same po sebi neophodne u našim životima i njihovo je shvaćanje i daljnje razvijanje zanimljivo područje istraživanja.

LITERATURA

1. Parac-Osterman Đ. (2007.), *Osnove o boji i sustavi vrednovanja*, Tekstilno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
2. Kulčar R. (2018.), Predavanja iz kolegija „Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcija boje“, pdf
3. Berns R. S. (2000.), *Billmeyer and Saltzman's Principles of color technology- Third edition*, A Wiley-Interscience Publication – John Wiley&Sons, New York
4. Tanhofer N. (2008.), *O boji na filmu i srodnim medijima*, Akademija dramske umjetnosti Sveučilišta u Zagrebu i Novi Liber d.o.o., Zagreb