

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Ivana Martić



Sveučilište u Zagrebu
Grafčki fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

**Određivanje vizualnih tolerancija boje u ovisnosti o različitim
uvjetima promatranja**

Mentor:

doc. dr. sc. Rahela Kulčar

Student:

Ivana Martić

Zagreb, 2019.

SAŽETAK

Boja je psihofizički doživljaj koji ovisi o tome kako mozak reagira na reflektiranu svjetlost. U ovom radu je za eksperimentalni dio otisnut određeni broj uzoraka dva izabrana tona boje, te dva uzorka koji predstavljaju standarde tih tonova kako bi se odredile granice tolerancije promatrača na male promjene u boji. Instrumentalnim mjerenjem određena je razlika između standarda i uzoraka. Nakon toga, pod određenim vrstama rasvjete, vizualnim ocjenjivanjem uzoraka određenog broja ispitanika određivale su se granice tolerancije na kojima se uočava promjena u boji. Korištene su različite boje podloga u odnosu na koju su ispitanici morali ispitati prolaznost ili pad uzoraka. Ispitanici su prije ispitivanja bili i testirani pomoću Farnsworth-Munsell 100 hue testa na sposobnost razlikovanja boja. Cilj ispitivanja je odrediti do koje vrijednosti vizualna percepcija ne razlikuje nijanse, odnosno kolika je tolerancija ljudskog oka na razlike između boja, te koliko sama podloga i vrsta rasvjete utječe na razliku u doživljaju boje.

KLJUČNE RIJEČI: standard, uzorci, vrsta rasvjete, vizualno ocjenjivanje, tolerancija

ABSTRACT

Color is a psychophysical experience that depends on how the brain responds to reflected light. For the experimental part of this paper, a number of samples of two selected color tones were printed, together with two samples that represent the standards of these tones, to determine the limits of observers' tolerance to small color changes. Instrumental measurements were used to determine the difference between the standards and the samples. After that, under certain illuminants, the visual evaluation of the samples was performed by a number of respondents to determine the tolerance limits for color change. The respondents then had to pass or fail the samples based on different colors of the substrate. The respondents' color discernment ability was tested before the examination with the Farnsworth-Munsell 100 hue test. The aim of the study is to determine the value of the visual perception that does not distinguish between nuances, or the tolerance of the human eye to the differences among colors and how much the background and illuminant affect the difference in the color experience.

KEYWORDS: standard, samples, illuminant, visual evaluation, tolerance

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Boja i svjetlo	2
2.1 Svjetlo	2
2.2 Doživljaj boje.....	2
2.3 Komplementarne boje.....	3
3. Testovi za otkrivanje defektnog viđenja boja	4
3.1 Ishihara test	4
3.2 Farnsworth-Munsell 100 Hue Test	4
4. Brojčano vrednovanje boja	5
4.1 Standardizirani izvori svjetla	5
4.1.1 Dnevna svjetlost.....	5
4.1.2 A vrsta rasvjete	6
4.1.3 Fluorescentna vrsta rasvjete.....	6
4.2 Metamerija	6
4.3 Prostori boja.....	8
4.4 Kolorimetrijska razlika	10
5. Eksperimentalni dio	12
5.1 Metode	12
5.2 Instrumentalno mjerenje	15
5.3 Vizualno ocjenjivanje	16
6. Rezultati i rasprava	17
7. Zaključak	24
8. Literatura.....	25

1. UVOD

Boja u čovjekovom životu ima veliku ulogu, jer se iz nje dobiva mnogo informacija. Ona čini predmet atraktivnim, te utječe na promatračeve osjećaje. Kod različitih ljudi izaziva različite osjete boje.

Odnos između boje na podlozi i vizualne percepcije odavno je predmet interesa. S obzirom da svaki čovjek drugačije doživljava boju uvedeni su standardi radi lakše komunikacije. Poznato je i da prilikom reprodukcije dolazi do odstupanja, većih ili manjih, pa se upravo zato mjeri tolerancija odnosno prihvatljivost uzoraka.

Kako bi se to postiglo, u ovom radu korišteno je instrumentalno mjerenje i vizualno ocjenjivanje. Pri tome je izabrano 20 promatrača, kako bi rezultati bili što objektivniji. S obzirom da i uvjeti promatranja imaju značajan utjecaj na doživljaj boje, bilo je potrebno koristiti standardiziranu vrstu rasvjete i različite podloge, te odrediti njihov utjecaj uspoređujući rezultate sa rezultatima izmjerenim spektrofotometrom.

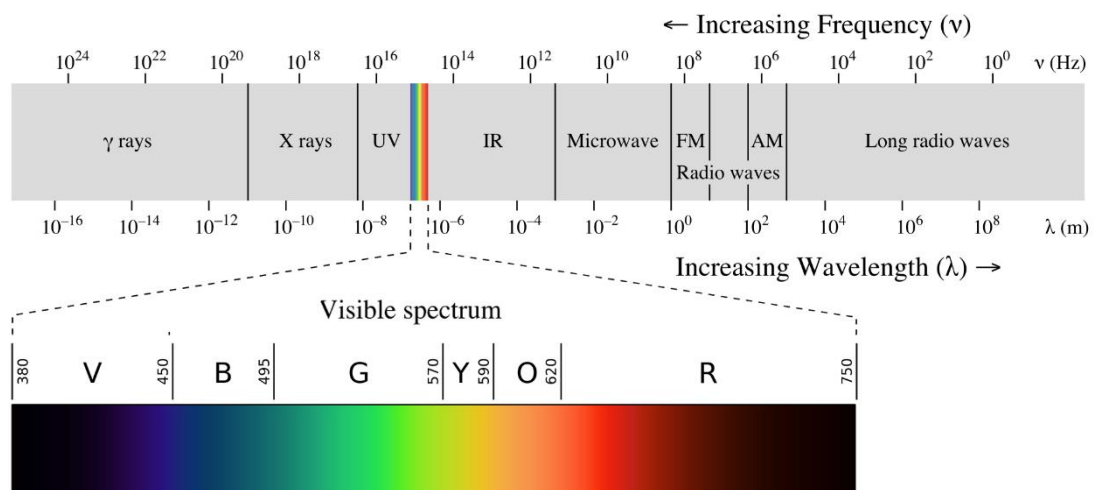
U cilju je napraviti što točnije i kvalitetnije ispitivanje, kako bi i rezultati bili takvi, pa su svi bitniji parametri odmah na početku uzeti u obzir, od kvalitete otiska, preko sposobnosti promatračevih vizualnih sustava na razlikovanje boja, pa sve do uvjeta promatranja radi smanjenja odvratanja pažnje.

2. BOJA I SVJETLO

Boja je psihološki fenomen koji nastaje u mozgu ulaskom svjetlosti u oko, odnosno psihofizički osjet izazvan elektromagnetskim zračenjem. Na taj način stvara se doživljaj boje koji ovisi o tome kako mozak reagira na stimulaciju. [1]

2.1 Svjetlo

Svjetlo je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od nekoliko pikometara do nekoliko kilometara. Ljudsko oko može percipirati samo svjetlost valnih duljina od 380 do 750 nanometara, pa se zato taj dio naziva vidljivi dio spektra. Svaku valnu duljinu iz tog raspona čovjek doživljava kao određenu boju.



Slika 1: Elektromagnetsko zračenje vidljivog dijela spektra

Izvor:

https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetsko_zra%C4%8Denje#/media/File:EM_spectrumrevised.png

2.2 Doživljaj boje

Za sam doživljaj boje potrebna su tri uvjeta, a to su izvor svjetla koji je potreban za pobuđivanje osjeta vida, osjet vida promatrača i njegov vizualni sustav, te objekt koji se promatra. U spektru sunčevog svjetla su zastupljene sve spektralne boje u idealnom odnosu, a njihov zbir čini „bijelo“ svjetlo. Apsorpcija i refleksija svjetlosti su važan dio

percepcije samog grafičkog medija. Većina podloga, kao što je papir, raspršuju svjetlost. Površina objekta reflektira svjetlo koje dolazi do njega, a sama površina može biti glatka ili hrapava, što će utjecati na smjer reflektirajuće zrake. I glatka i hrapava površina objekta sa istim bojilom reflektirat će istu valnu duljinu, pa će tako i njihov ton biti isti pod bilo kojim izvorom svjetla. Jedina razlika je što će se boja zbog izravnijeg raspršivanja svjetlosti od glatke površine doimati svjetlije, od one koja se reflektira od hrapavu površinu. [2]



Slika 2: Refleksija od glatku i hrapavu površinu

Izvor: Predavanja iz kolegija „Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcija boja“

Obojena tijela imaju najveći postotak refleksije pri onim valnim duljinama koje odgovaraju boji tih tijela. U slučaju kada je ukupno upadno zračenje apsorbirano, onda vidimo crno, a ako je reflektirano onda vidimo bijelo. Doživljaj boje mijenja se ovisno o promatraču, izvoru svjetlosti, uvjetima promatranja i drugim parametrima.

2.3 Komplementarne boje

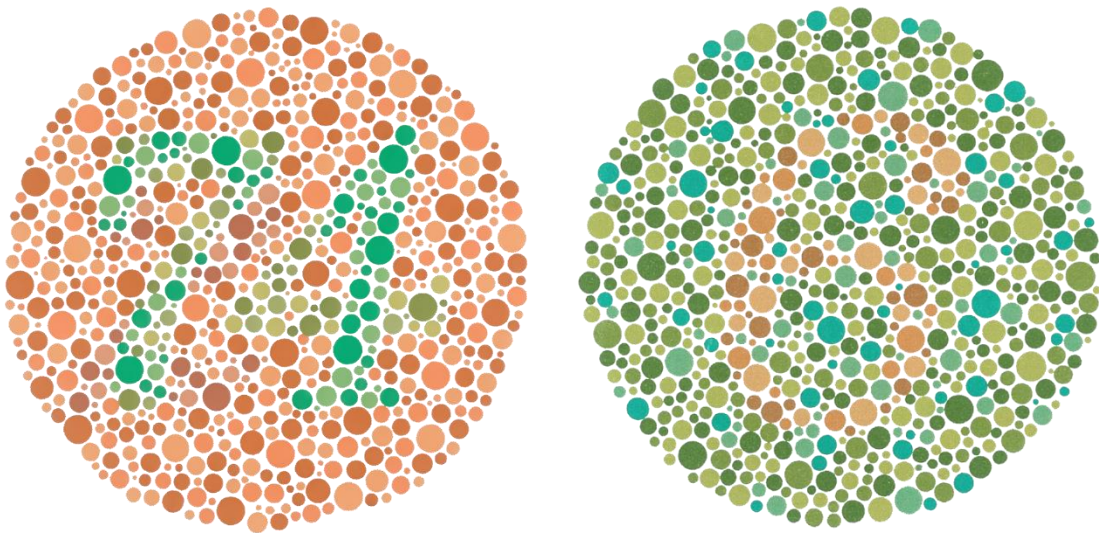
Komplementarne boje odnosno suprotni parovi boja su npr. plava-žuta, crvena-zelena. Razlog ovome je defektno viđenje boja, te podrazumijeva da prilikom sljepoće na neku boju, čovjek gubi osjećaj i za njenu komplementarnu boju. Komplementarne boje su one boje koje se međusobno nadopunjuju, a rezultat njihovog miješanja će biti bijela, siva ili crna, ovisno miješaju li se na principu aditivnog ili suptraktivnog miješanja boja. Iz toga proizlazi da obojena podloga reflektira svjetlo vlastite boje, a apsorbira svjetlo njene komplementarne boje.

3. TESTOVI ZA OTKRIVANJE DEFEKTOG VIDENJA BOJA

3.1 Ishihara test

Japanski oftalmolog Ishihara je 1929. godine predložio testiranje osoblja na mornarici i avijaciji na osjetljivost za boje. Izradio je predloške na kojima je upisao brojeve na podlogu u suprotnom odnosu boja. Ta testiranja pokazala su da je najčešće defektno viđenje boje na parovima suprotnih odnosno komplementarnih boja, te da je najučestalija sljepoća na crvenu boju ukoliko se ona nalazi na njenoj komplementarnoj, zelenoj boji.

Taj test je prihvaćen tek 1958. godine kao test za ispitivanje defektnog viđenja boje, te se upotrebljava i danas. [3]



Slika 3: Ishihara test

Izvor: <https://www.colour-blindness.com/colour-blindness-tests/ishihara-colour-test-plates/>

3.2 Farnsworth-Munsell 100 Hue Test

Farnsworth-Munsell 100 Hue Test je jedan od najpoznatijih testova za sposobnost razlikovanja boja. Farnsworth je opisao F-M 100 hue test prvi put 1949. godine i od tada se naširoko koristi diljem svijeta. Ukupan broj grešaka odnosi se na ozbiljnost nedostatka viđenja boje. Razdvaja ljude sa normalnim vidom u skupine izvrsnog, prosječnog i niskog razlikovanja boja. Kada je ukupan broj grešaka pri prvom ispitivanju u rasponu od 0 – 16 onda ispitanik spada u skupinu izvrsnih, što čini oko 16% ljudske populacije. Prosječno

razlikovanje boja ima 68% populacije koji naprave od 20 – 100 grešaka u testu, dok nisko razlikovanje boja ima 16% stanovništva u slučaju da naprave preko 100 grešaka. [4]



Slika 4: Farnsworth – Munsell 100 Hue Test

Izvor: <https://www.ideedaprodurre.com/en/product/farnsworth-munsell-100-hue-test/>

4. BROJČANO VREDNOVANJE BOJA

Svaka osoba na različit način doživljava svjetlost, a samim time i boju. Zbog toga se javlja potreba za definiranjem boje, kako bi se ljudi lakše sporazumili prilikom komunikacije o bojama. Tek tridesetih godina 20.-og stoljeća počeo je razvoj bročajnog vrednovanja boje, razvojem CIE kolorimetrijskog sustava koji se bavi kvantitativnim vrednovanjem boje. Razvija se znanost pod nazivom kolorimetrija koja se bavi broječanim vrednovanjem odnosno određivanjem boje u odnosu na određeni vizualni podražaj.

4.1 Standardizirani izvori svjetla

4.1.1 Dnevna svjetlost

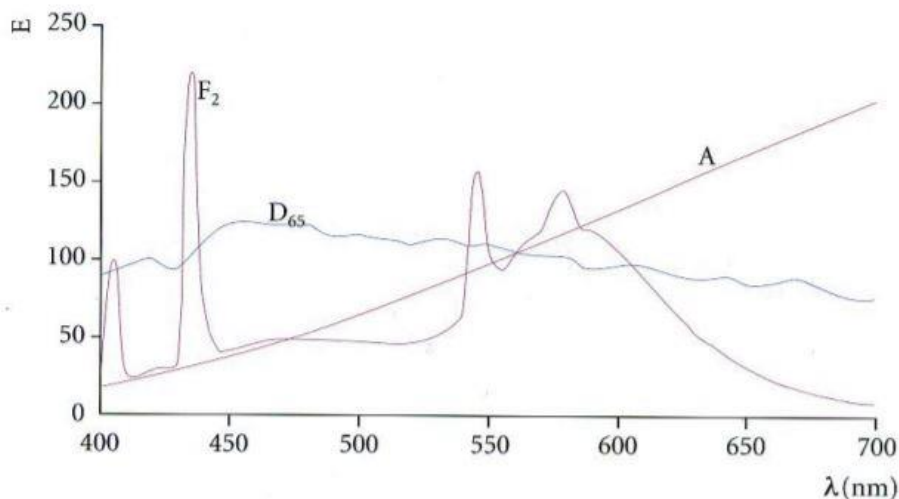
Za ljude je ova svjetlost neutralna, odnosno prirodna. Predstavlja seriju rasvjetnih tijela koje je teško umjetno proizvesti, ali se matematički lako opisuju. Postoji D50, D55, D65 i D75, te imaju različitu primjenu. D50 primjenjuje se u grafičkoj industriji, D55 u tekstilnoj industriji, dok D65 u papirnoj industriji. Dnevna svjetlost je iznimno varijabilna, tako da temperatura svjetlosti može varirati od 5 500K - 10 000K, ali s obzirom na ravnotežu boja ima nešto više plave jer odgovara poslijepodnevnoj dnevnoj svjetlosti.

4.1.2 A vrsta rasvjete

Predstavlja svjetlo žarulje odnosno volframovo svjetlo, koje izraženo u kelvinima iznosi oko 2856K. Ova svjetlost ima najveću refleksiju u crvenom dijelu spektra, tako da nije svejedno gdje će se primjenjivati, jer se pod tim svjetlom predmeti doimaju drugačije. Najčešću primjenu ima kao žarulja u kućama.

4.1.3 Fluorescentna vrsta rasvjete

Karakterizira ju diskontinuirana energetska spektralna distribucija, pa postoje standardizirani izvori F2, F7 i F11. Predlažu se hladni, bijeli fluorescentni izvori, koji posjeduju refleksiju u plavom i zelenom dijelu spektra.



Slika 5: Prikaz različitih vrsta rasvjete

Izvor: Predavanja iz kolegija „Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcija boja“

Kod promatranja bitan je i način osvjetljavanja uzorka, gdje bitnu ulogu igraju svjetlosne kabine koje imaju sposobnost regulacije količine i ravnoteže spektralnog zračenja, te prikazuju kako se predmeti ponašaju pod različitim svjetlosnim uvjetima. [2]

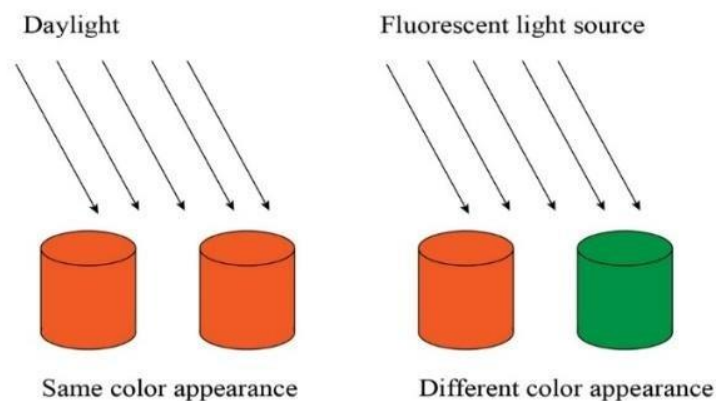
4.2 Metamerija

Osim što je standardiziranje različitih izvora svjetlosti bitno za što preciznije mjerenje, također je bitno i za određivanje metamerije. Metamerija je fenomen pri kojem se dva obojena uzorka doimaju iste nijanse pod jednim izvorom svjetla, dok su potpuno različite nijanse pod drugim izvorom svjetla. Do ove pojave dolazi jer određeni izvori svjetla u

sebi nemaju sve valne duljine vidljivog dijela spektra, pa samim time je moguće da će promatrač doživjeti drugačiji ton boje pod različitim izvorima. Ovisi o krivuljama spektralne refleksije, jer ako su jednake u najmanje tri točke u vidljivom dijelu spektra, doći će pojave metamerijskog para.

Postoje različiti tipovi metamerije, a to su:

- a) metamerija uvjetovana promjenom osvjetljenja
- b) metamerija uvjetovana promjenom promatrača
- c) metamerija uvjetovana promjenom veličine polja promatranja
- d) metamerija uvjetovana promjenom geometrije promatranja



Slika 6: Primjer metamerije

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/The-phenomenon-of-Metamerism_fig1_324083067

Metamerija uvjetovana promjenom osvjetljenja se pojavljuje kada se metamerijski par osvjetli jednom vrstom rasvjete i pri tome ima isti ton boje, ali kada se osvjetli nekom drugom vrstom rasvjete stvori osjećaj različitih boja.

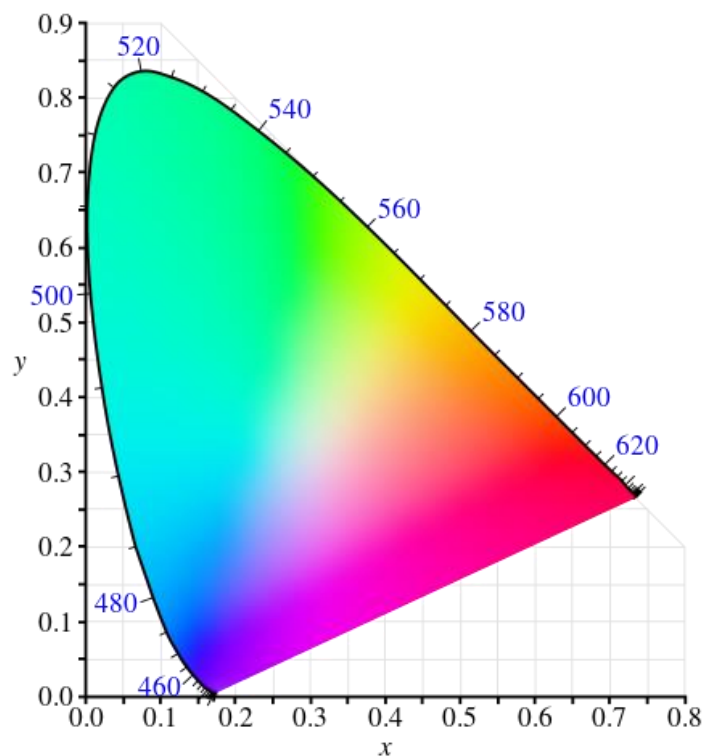
Metamerija uvjetovana promjenom promatrača događa se pri promatranju metamerijskog para pod istim uvjetima i istim svjetlom, ali od strane dva različita promatrača od kojih jednom par izgleda iste boje, a drugom različite.

Metamerija uvjetovana promjenom veličine polja promatranja nastaje prilikom promjene kuta gledanja, jer se time doima da se objekt promatra pri različitim udaljenostima.

Metamerija uvjetovana promjenom geometrije promatranja značajna je kod sjajnih površina. Kod promatranja metamerijskog para može se dogoditi da se par podudara pod jednom geometrijom promatranja, a pod drugom ne. Za sjajne predmete bitno je da refleksija nije ista pod svakim kutom, te zato nije svejedno pod kojim kutom taj objekt promatramo. [1]

4.3 Prostor boja

CIE XYZ dijagram je osnova definiranja prostora boja. CIE prostori boja iz 1931. stvaraju prvu vezu između boja opisanih valnim duljinama u vidljivom dijelu spektra, te onih opaženih ljudskim okom. CIE XYZ izrađen 1931. godine od strane CIE odnosno Međunarodne komisije za rasvjetu dobiven je pomoću CIE RGB prostora boja, tako da je CIE XYZ sastavljen samo od primarnih boja odnosno tristimulusnih vrijednosti. Međutim, ovdje nisu prikazane sve boje vidljivog dijela spektra, pa je proširen krivuljom, nadopunjujući dio spektra koji nedostaje. Taj prostor boja nazvan CIE Yxy prostor boja prikazuje se CIE dijagramom kromatičnosti.



Slika 7: CIE dijagram kromatičnosti

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

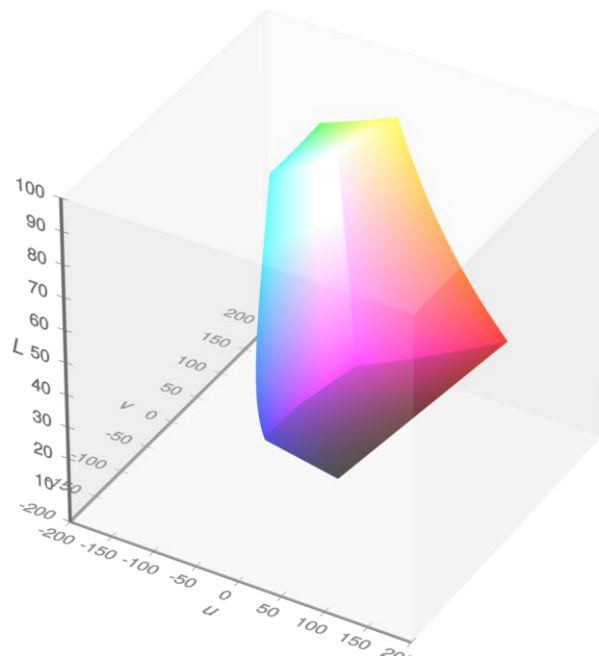
X pokazuje koliko je crvene, Y koliko je zelene, a Z koliko je plave. Iz njih se može lako izračunati x, y, z koji se ucrtavaju u dijagram kromatičnosti.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

CIE je 1976. definirala transformaciju tristimulusnih vrijednosti u trodimenzionalni prostor boja odnosno u CIE $L^*u^*v^*$ i CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja.

CIE $L^*u^*v^*$ je trodimenzionalni sustav sa pravokutnim koordinatama, te ima tri kanala veličina koji su u međusobnoj vezi, a to su: L^* koji prikazuje svjetlinu, te u^* i v^* koji prikazuju raspon boja. Ovaj prostor boja koristi se za prikaz boja na televiziji i monitorima, odnosno u industriji svjetlosnih uređaja.

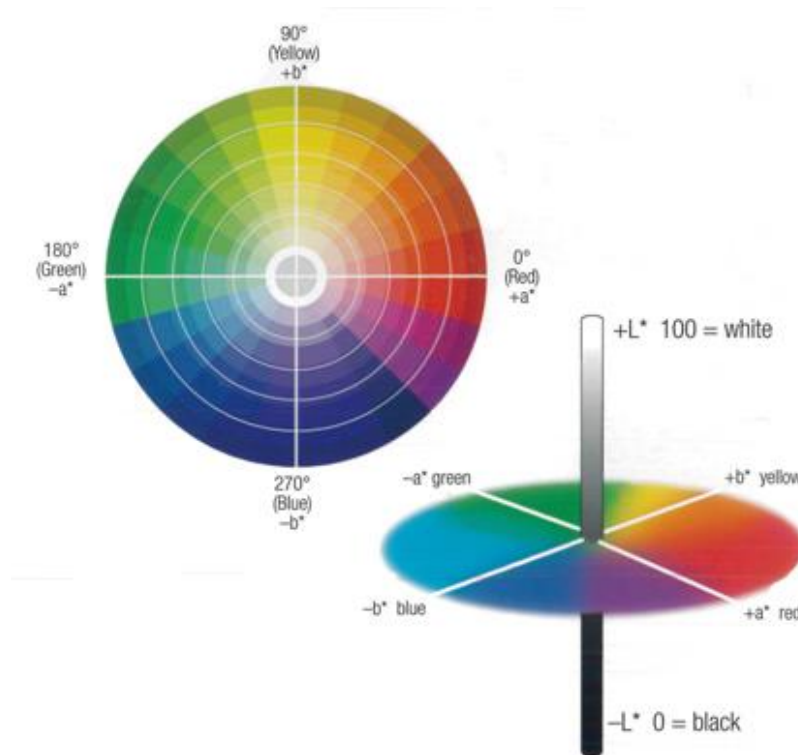


Slika 8: CIE $L^*u^*v^*$

Izvor:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SRGB_gamut_within_CIELUV_color_space_isosurface.png

CIE $L^*a^*b^*$ je trodimenzionalni prostor boja koji prikazuje boju u tri vrijednosti: L^* koja predstavlja akromatsku os i opisuje svjetlinu od 0 do 100, gdje je 0 crna, a 100 bijela, te kromatske osi a^* i b^* . Os a^* predstavlja nijanse od crvene do zelene, a b^* os nijanse od žute do plave. Ovaj prostor boja također je definiran od strane CIE 1976. godine, te se koristi u grafičkoj industriji i najbolje odgovara vizualnoj percepciji boje. Opisuje sve boje vidljive ljudskom oku, te je nezavisan od uređaja koji se koristi. Također, uvodi formulu za izračun kolorimetrijske razlike.



Slika 9: CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja

Izvor: https://www.bonlalum.com/education/the_truth_about_color.shtml

4.4 Kolorimetrijska razlika

Ljudsko oko može vidjeti razlike i sličnosti u boji, ali ne može percipirati kolika je ta razlika, odnosno kolika je razlika u tonu, svjetlini i zasićenju, te razlike između tih parametara. Zato dolazi do razvoja sustava za definiranje razlika u boji, te stvaranja vrijednosti ΔE što predstavlja ukupnu razliku u boji između standarda i ispitivanog uzorka. Dakle, svaka je boja definirana vrijednostima X, Y, Z, ali je problem što one odstupaju od vizualne percepcije. 1976. godine dolazi do izračunavanja ukupne razlike

preko $L^*a^*b^*$ vrijednosti, ali se smatra slabim za izračunavanje malih razlika u boji. Poboľšanjem CIELAB formule dolazi do nastanka CIEDE2000 formule kao glavne formule za izračunavanje kolorimetrijske razlike. [5]

ΔE ne daje definiciju boje, nego je to broj dobiven računanjem razlike parametara koji boju u potpunosti definiraju. Tako da je uz pomoć tog broja moguće odrediti granicu tolerancije odnosno prihvatljivosti, u odnosu na koju su uzorci prihvatljivi ili ne, tj. određuje se hoće li proći ili pasti.

Pri uspoređivanju dvije boje kriteriji su slijedeći:

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

$\Delta E^* = 0,2 - 1 \rightarrow$ vrlo mala razlika u boji, ali ju je moguće primjetiti

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

$\Delta E^* = 3 - 6 \rightarrow$ naglašena razlika

$\Delta E^* > 6 \rightarrow$ očigledna razlika, neprihvatljiva

5. EKSPERIMENTALNI DIO

5.1 Metode

Prilikom reprodukcije u grafičkoj tehnologiji odstupanja su neizbježna, pa je samim time potrebno odrediti granicu tolerancije do koje su odstupanja moguća. Potrebno je usporediti instrumentalno mjerenje i vizualno ocjenjivanje zadanih uzoraka.

Prvenstveno je bilo potrebno izraditi uzorke koji će se mjeriti. Korišten je Adobe Photoshop CS3, te CIELAB sustav za prikazivanje boja na kojem su bile moguće vrlo male promjene vrijednosti. Korištena su dva različita tona boje, a za svaki ton je napravljen jedan proizvoljan standard, te 12 njemu sličnih uzoraka, sa minimalnim razlikama u L^* , a^* , b^* vrijednostima.

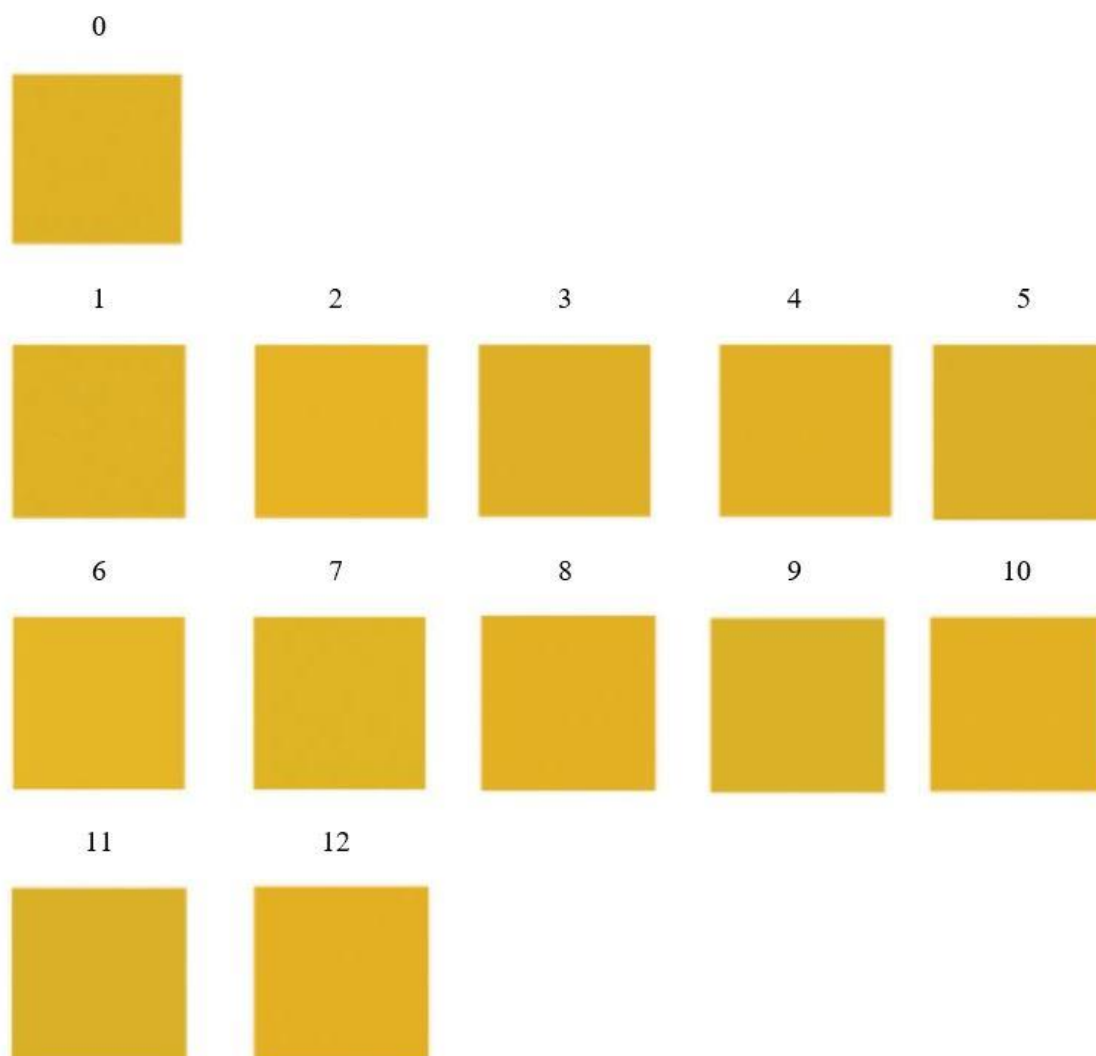
Zatim su ti uzorci isprintani na foto papiru kako bi otisak bio što kvalitetniji. Instrumentalno su izmjerene vrijednosti $CIE L^*a^*b^*$ standarda, te svakog uzorka, i izračunata je kolorimetrijska razlika CIEDE2000 u odnosu na standard. Uzorci su rezani na dimenzije 2,5cm x 2,5cm, te su označeni na poleđini. Nakon toga su podvrgnuti vizualnom ocjenjivanju. Pri istraživanju sudjelovalo je 20 promatrača, koji su prije toga testirani F-M 100 Hue testom odnosno testom sposobnosti razlikovanja boja kako bi rezultati bili što točniji. S obzirom da su ispitivanja rađena u svjetlosnim kabinama, korištene su dvije vrste rasvjete, DAY i A, te dvije različite podloge, jedna neutralna siva, i druga komplementarna.

Cilj ispitivanja je odrediti vizualne tolerancije u odnosu na različite vrste rasvjete i u odnosu na podlogu, povezati ih sa instrumentalnim mjerenjima i kolorimetrijskim razlikama, te na taj način odrediti prihvatljivost uzoraka od strane promatrača i granicu tolerancije pri kojoj ne primjećuju razlike u nijansama između standarda i uzorka.

TABLICA 1: Tablica uzoraka 1. tona

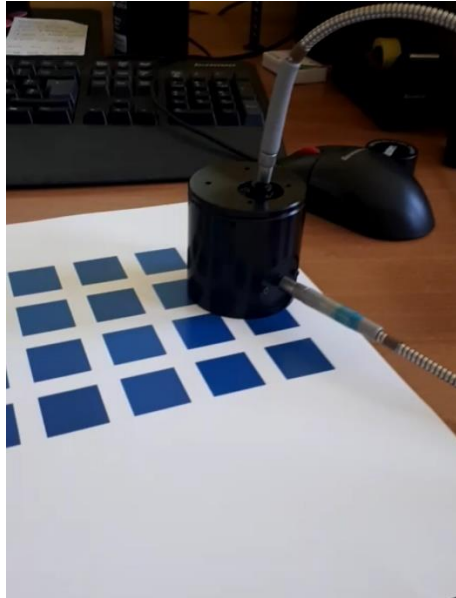
0					
	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10
	11	12			

TABLICA 2: Tablica uzoraka 2. tona



5.2 Instrumentalno mjerenje

Kada su uzorci napravljeni i isprintani, slijedi instrumentalno mjerenje. Uzorci su izmjereni spektrofotometrom koji preračunava podatke u $L^*a^*b^*$ vrijednosti. Nakon izračunavanja svih vrijednosti uslijedilo je mjerenje kolorimetrijske razlike uz pomoć CIEDE2000 formule.



Slika 10: Instrumentalno mjerenje spektrofotometrom

Spektrofotometar je uređaj za mjerenje spektra elektromagnetskog zračenja, a sastoji se od izvora zračenja, monokromatora i detektora. U spektrofotometru se iz bijelog svjetla pomoću monokromatora izdvajaju pojedinačne valne duljine s kojima se osvjetljava ispitivani uzorak. Reflektirani tokovi se dovode na fotoćeliju koja ih pretvara u električne impulse, te se to očitava kao refleksija. Uz pomoć nje i valnih duljina konstruira se spektrofotometrijska krivulja. [2]

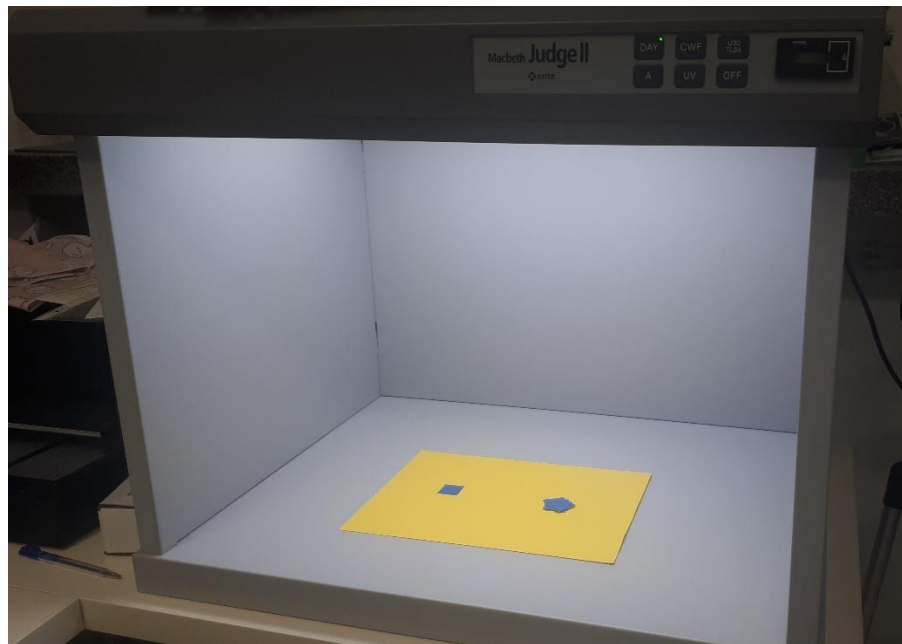
Na početku mjerenja uređaj je kalibriran pomoću bijelog standarda. Izvršena su po tri mjerenja sa svakog uzorka, i uzeta je njihova aritmetička sredina kako bi rezultati bili što precizniji.

5.3 Vizualno ocjenjivanje

Nakon mjerenja uzorci su izrezani i označeni. Prije samog testiranja, svih 20 ispitanika bilo je testirano na sposobnost razlikovanja boja pomoću Farnsworth-Munsell 100 Hue Testa. Utvrđeno je da pola ispitanika ima izvrsnu sposobnost razlikovanja boja, dok druga polovica ima prosječnu sposobnost razlikovanja boja.

Ispitivanje je provedeno u svjetlosnoj kabini zbog standardizirane vrste rasvjete. Samim time bilo se je i lakše koncentrirati prilikom ispitivanja, jer je smanjeno odvratanje pažnje. Ispitivani su svi uzorci na dvije podloge (neutralnoj sivoj, te komplementarnoj) i pod dvije različite vrste rasvjete (DAY i A).

Uzorci su se raspoređivali u dvije skupine kao prolaz i pad, odnosno oni uzorci koji su promatraču isti kao standard, te oni koji su različiti.



Slika 11: Vizualno ocjenjivanje u svjetlosnoj kabini

6. REZULTATI I RASPRAVA

U tablicama su prikazani podaci dobiveni instrumentalnim mjerenjem, dok su podaci dobiveni vizualnim ocjenjivanjem prikazani pomoću stupičastog grafa. Prihvaćeni su oni uzorci koje je prihvatilo minimalno 50% ispitanika, što znači 10/20 promatrača.

Iz toga slijedi da je za prvi ton boje na neutralnoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete prihvaćen samo 5. uzorak, koji ima jako malu razliku i podrazumijevalo se da će biti prihvaćen.

Za prvi ton boje na neutralnoj podlozi pod A vrstom rasvjete također je prihvaćen samo 5. uzorak sa neprimjetnom razlikom.

Za prvi ton boje na njenoj komplementarnoj žutoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete prihvaćen je 2. i 5. uzorak, što znači da u ovom slučaju prihvatljivost seže do $\Delta E = 0,6$, tako da je primjetan utjecaj podloge na doživljaj boje.

Kod grafikona broj četiri, osim prihvatljivosti 2. i 5. uzorka prihvaćen je i 12. uzorak čija razlika iznosi 0,8. U ovom slučaju značajnu je ulogu imala A vrsta rasvjete koja je povećala refleksiju žute podloge, a samim time zbog njenog utjecaja i toleranciju ispitivanog uzorka.

Prelaskom na drugi ton boje na neutralnoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete prihvaćeni uzorci su 1, 3, 4, 5, 10, te 12. Iz tablice 4. moguće je vidjeti da je najveća razlika čak 1,3 koja je iznenađujuće velika.

Promjenom vrste rasvjete na A opet su prihvaćeni isti uzorci. Nije došlo do metamerije, ali je zaključeno da ljudi imaju veću granicu tolerancije na žute uzorke, odnosno da veća odstupanja kod žute boje također mogu biti prihvatljiva.

Korištenjem njene komplementarne plave boje kao podloge, iz grafikona 7. prihvaćeni su uzorci 1, 3, 4, 5, 8, 10 i 12. S obzirom da se radi o istim uzorcima, vrijedi isti zaključak kao i kod prethodnog.

Grafikon 8. može samo dokazati zaključeno. Jedina razlika je što 8. uzorak nije prihvaćen, a on ima najveću razliku u vrijednosti a^* , koji predstavlja udio zelene odnosno crvene, što utječe na kut tona boje, na što su ljudi dokazano najosjetljiviji.

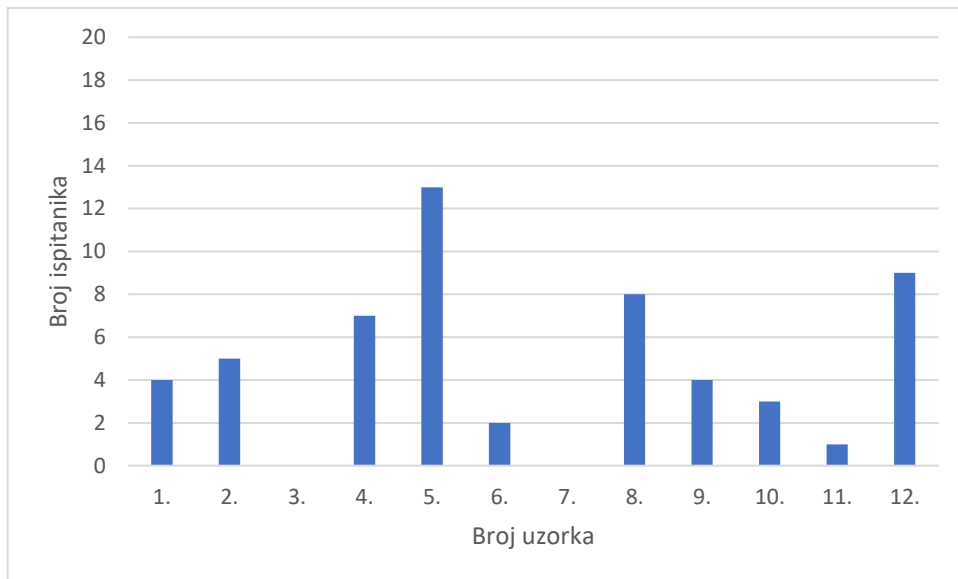
Tablica 3: Podaci instrumentalnog mjerenja 1. tona

Broj uzorka	CIE L^*	CIE a^*	CIE b^*	CIEDE2000
standard	42,93	-5,4	-35,53	
1.	43,73	-6,03	-36,43	0,9697
2.	43,53	-5,23	-36,73	0,6441
3.	41,4	-3,27	-34,63	2,1956
4.	43,83	-4,36	-38	1,073
5.	43,07	-5,43	-35,33	0,1402
6.	44,6	-6,5	-37,5	1,9528
7.	41,73	-4,43	-34,27	1,4626
8.	43,6	-6,27	-35,73	0,8833
9.	44,17	-6,97	-36,43	1,6823
10.	41,87	-4,87	-34,17	1,2016
11.	41,6	-3,87	-34,67	1,747
12.	43,73	-5,07	-37,37	0,8864

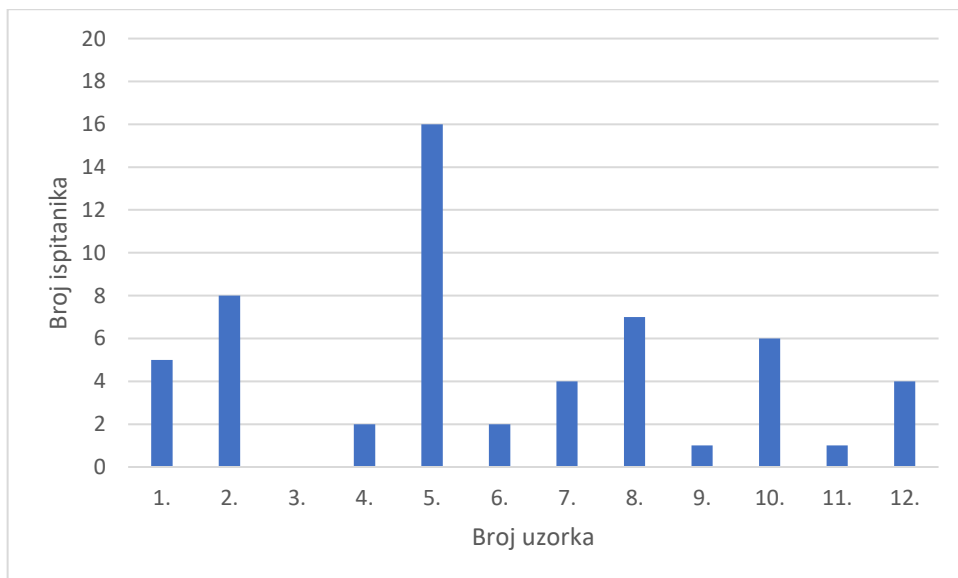
Tablica 4: Podaci instrumentalnog mjerenja 2. tona

Broj uzorka	CIE L^*	CIE a^*	CIE b^*	CIEDE2000
standard	69	10,17	54,7	
1.	69	10,33	54,83	0,1005
2.	70,1	12,17	55,97	1,5048
3.	68,07	11,33	53,57	1,2017
4.	68,6	12,2	54,83	1,3678
5.	68,57	9,4	54,53	0,6024
6.	70,9	10,13	57,27	1,6659
7.	70,43	8	56,7	2,0431
8.	69,4	11,6	55,57	0,9431
9.	68,87	7,57	55,13	1,7791
10.	69,17	11,4	55,8	0,7778
11.	67,7	7,8	53,5	1,8335
12.	68,63	11,6	55,37	0,9425

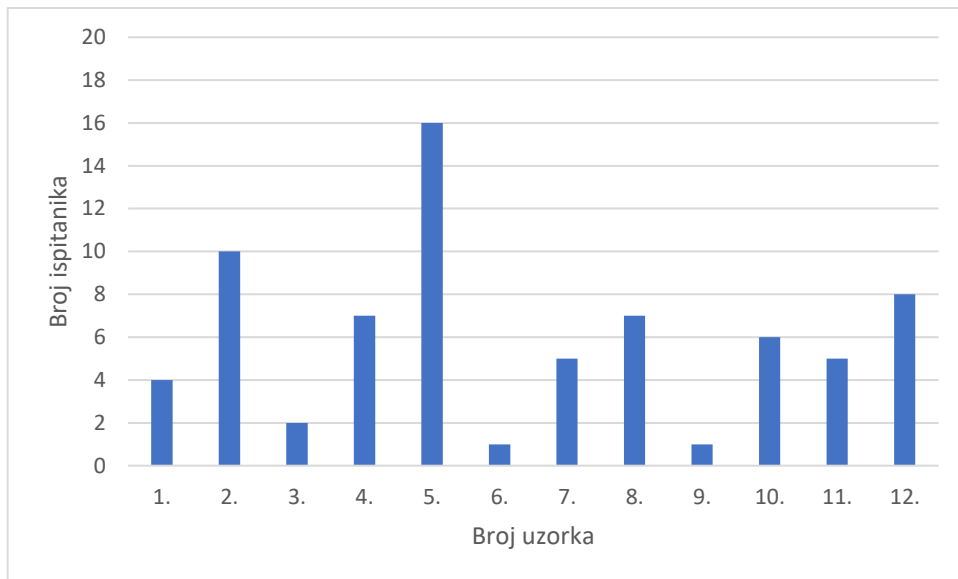
GRAFIKON 1: Broj prihvaćenih uzoraka 1. tona na neutralnoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete



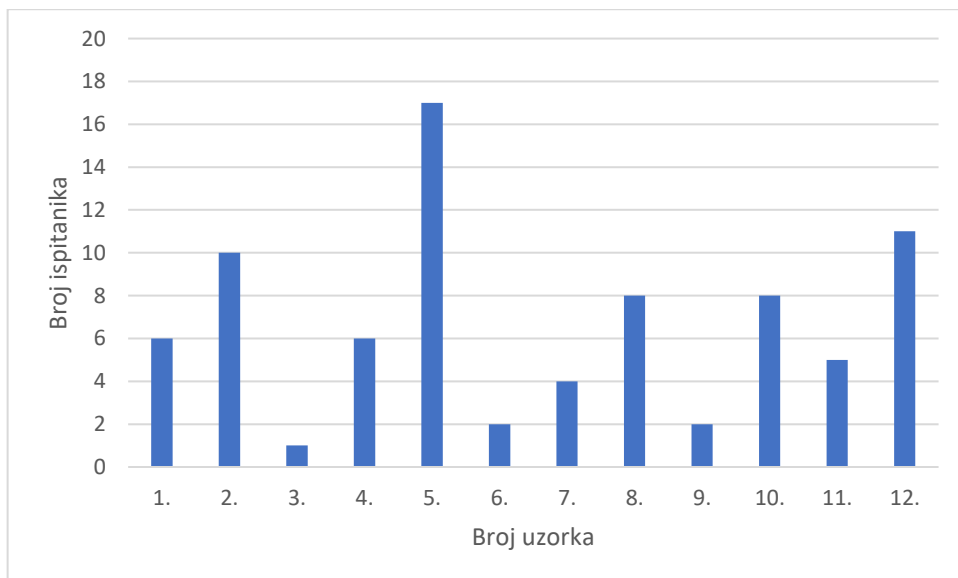
GRAFIKON 2: Broj prihvaćenih uzoraka 1. tona na neutralnoj podlozi pod A vrstom rasvjete



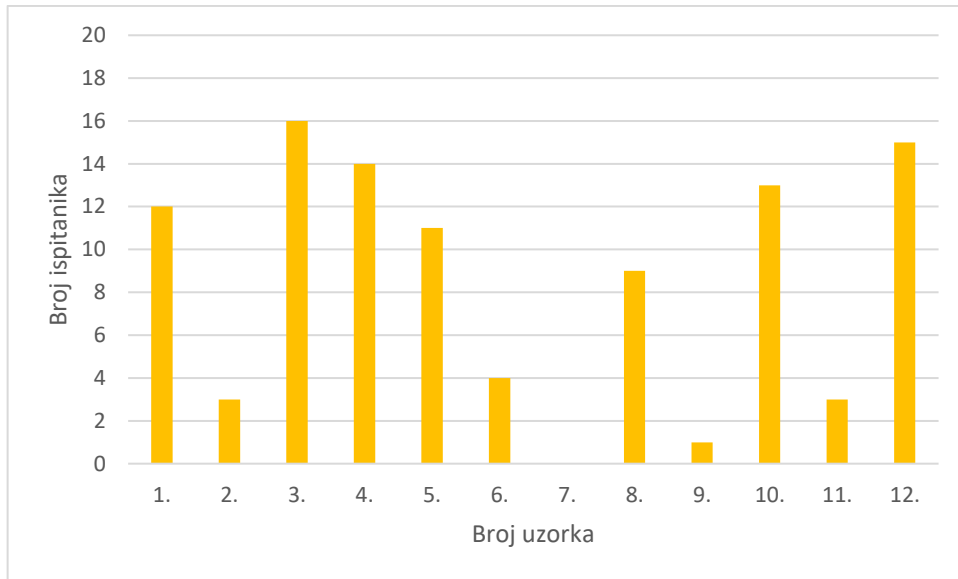
GRAFIKON 3: Broj prihvaćenih uzoraka 1. tona na komplementarnoj žutoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete



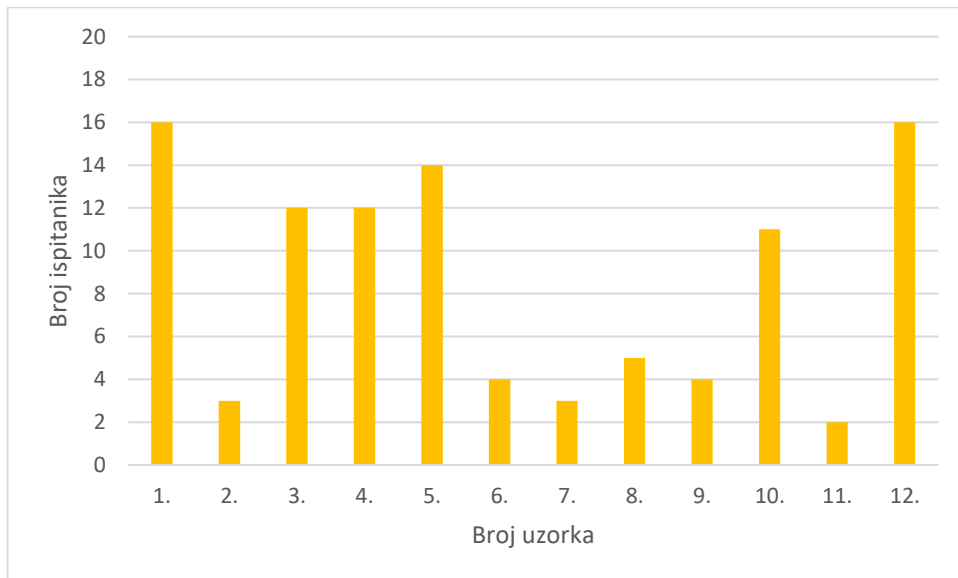
GRAFIKON 4: Broj prihvaćenih uzoraka 1. tona na komplementarnoj žutoj podlozi pod A vrstom rasvjete



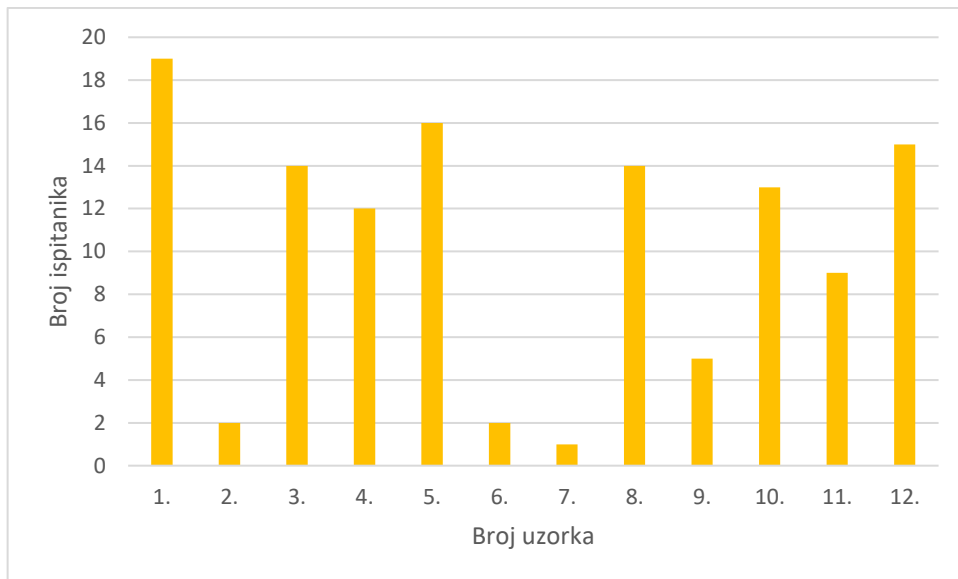
GRAFIKON 5: Broj prihvaćenih uzoraka 2. tona na neutralnoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete



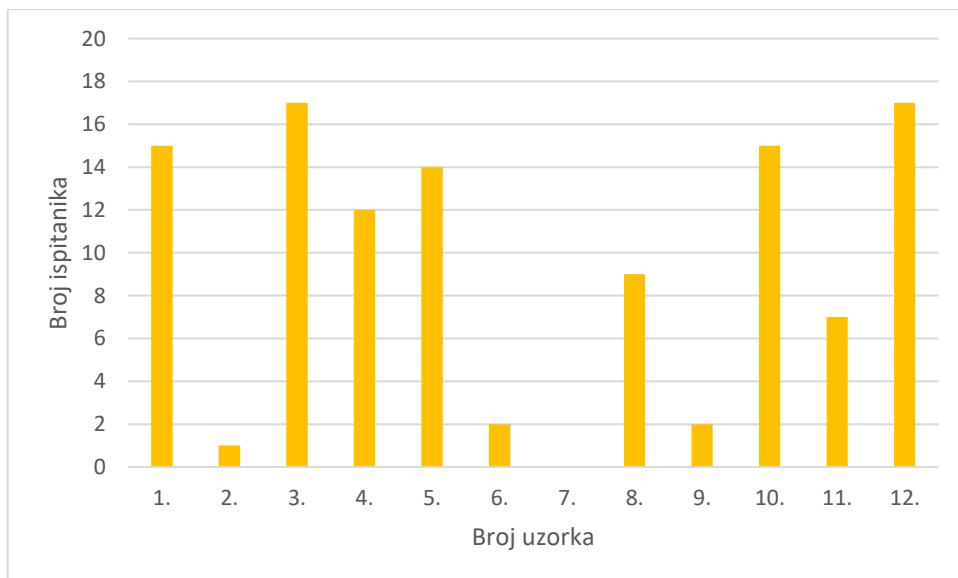
GRAFIKON 6: Broj prihvaćenih uzoraka 2. tona na neutralnoj podlozi pod A vrstom rasvjete



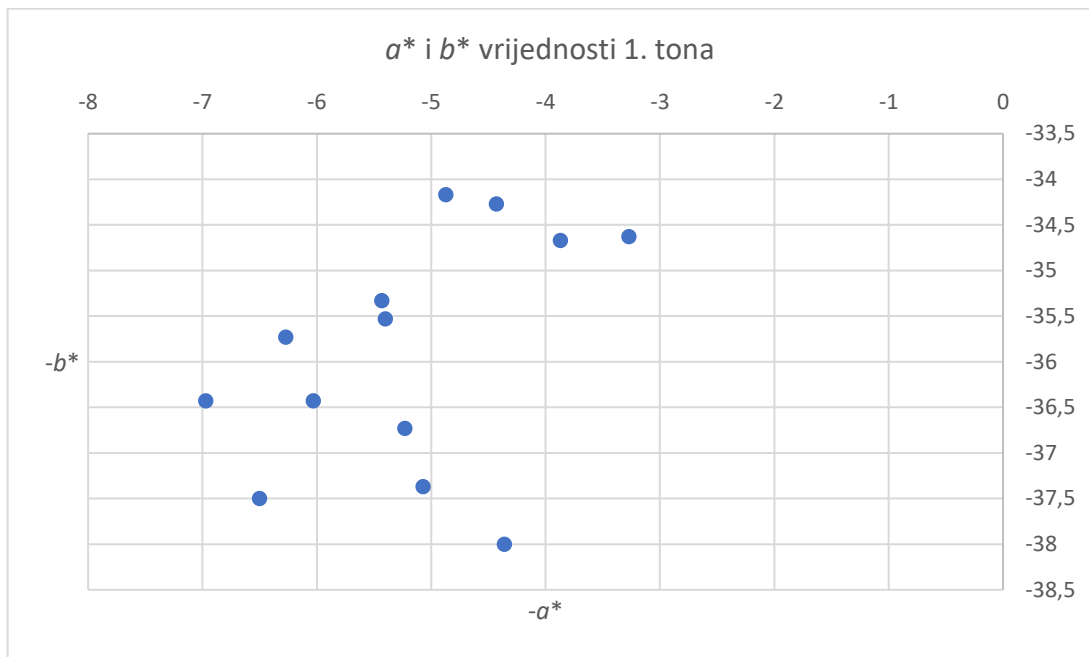
GRAFIKON 7: Broj prihvaćenih uzoraka 2. tona na komplementarnoj plavoj podlozi pod DAY vrstom rasvjete



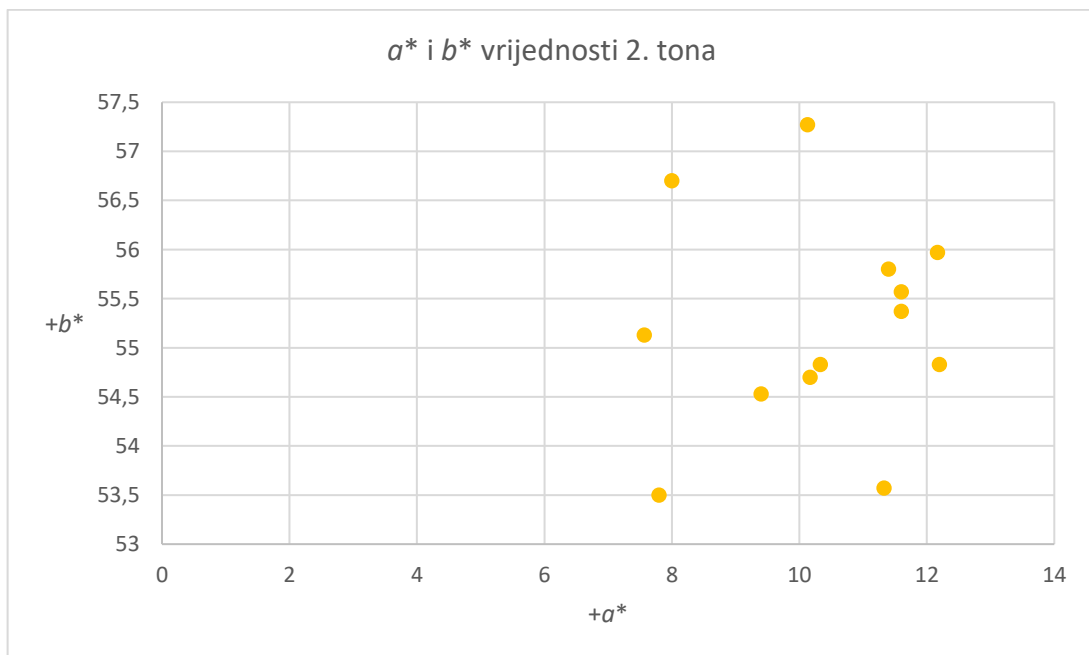
GRAFIKON 8: Broj prihvaćenih uzoraka 2. tona na komplementarnoj plavoj podlozi pod A vrstom rasvjete



GRAFIKON 9



GRAFIKON 10



7. ZAKLJUČAK

Budući da odstupanja u reprodukciji nije moguće izbjeći, određena je granica tolerancije za ispitivane uzorke. Prilikom ovog ispitivanja vrsta rasvjete nije imala toliki utjecaj na doživljaj boje, tako da nije došlo do metamerije i svi uzorci koji su prihvaćeni pod jednom vrstom rasvjete, prihvaćeni su i pod drugom. Jedini značajniji utjecaj imala je podloga, pogotovo na prvi ton, zbog svoje refleksije promijenila je doživljaj plave boje. Zanimljivo je i to što su ispitanici primjetili da je baš na toj podlozi uzorke bilo teže odrediti, jer im je ta žuta podloga umarala oči.

S obzirom na dobivene rezultate, tolerancija plave boje na neutralnoj podlozi je vrlo mala i njena razlika CIEDE2000 iznosi 0,1, dok na žutoj podlozi iznosi 0,6.

Za 2. žuti ton boje granica tolerancije je značajno veća i razlika doseže čak 1,3. Kod tako velike razlike, usporedbom tog uzorka i standarda, zaključeno je da je najveća razlika između njih zapravo u kutu tona boje, na što je ljudsko oko najosjetljivije, što u ovom slučaju nije bilo primjetno.

Ovo ispitivanje pokazalo je da i minimalne razlike mogu napraviti neprihvatljiv uzorak, te da značajan broj čimbenika utječe kako na reprodukciju, tako i na vizualno ocjenjivanje.

8. LITERATURA

1. Zjakić I., Milković M. (2010.), Psihologija boja, Veleučilište u Varaždinu
2. Kulčar R. (2019.), Predavanja iz kolegija „Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja“, pdf, dostupno na: https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2257202/mod_resource/content/1/Kmirb_2019-1.dio.pdf, 10.07.2019.
3. Parac – Osterman Đ. (2007.), Osnove o boji i sustavi vrjednovanja, Sveučilište u Zagrebu
4. Farnsworth D. (1957.), The Farnsworth – Munsell 100 – hue test, pdf, dostupno na: https://www.xritephoto.com/documents/literature/gmb/en/gmb_fm100_instructions_en.pdf, 10.07.2019.
5. Schanda J. (2007.), Colorimetry, University of Pannonia, Hungary