

Usporedba vizualnih tolerancija boja kod studenata sa različitom sposobnošću raspoznavanja boja

Bašić, Martina

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:382628>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-13**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Martina Bašić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko - tehnološki

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA VIZUALNIH TOLERANCIJA BOJA KOD STUDENATA SA RAZLIČITOM SPOSOBNOŠĆU RASPOZNAVANJA BOJA

Mentor:
Izv. prof.dr.sc. Nina Knešaurek

Student:
Martina Bašić

Zagreb, 2014.

SAŽETAK

Istraživanje ovog rada je provedeno na praktičnim vježbama kolegija „Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boje“ na Grafičkom fakultetu, korištenjem *Farnsworth-Munsell 100 Hue testa* i spektrofotometra. Budući da svatko percepira boje različito, organizacija CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) definirala je standardnog promatrača i standardne uvjete koji se primjenjuju kod mjerenja boja. Rezultati su pohranjeni na računalo, te daljnjom obradom analizirani i prikazani grafički. Poseban aspekt ovog završnog rada stavljen je na usporedbu vizualnih tolerancija boja, a ideja je bila sve pojedinosti kompaktno sažeti u jedan zanimljiv rad s preglednim i kronološkim događajima.

KLJUČNE RIJEČI

sposobnost razlikovanja boja, defektivno viđenje boje, osjet boja

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OSNOVE O BOJI	2
2.1. Nastanak i opažanje boje	2
2.2. Boja s psihofizičkog aspekta	3
2.3. Boja s fizikalnog aspekta.....	4
2.4. Psihofizičke vs. fizikalne karakteristike boja	6
3. IZVORI SVJETLA.....	6
3.1. Izvorsvjetla u odnosu na vrstusvjetla	7
3.2. Dnevno svjetlo – izvorsvjetlosti D50	8
3.3. Svjetložarulje – izvorsvjetlosti A	9
3.4. Standardno osvjetljavanje i uvjeti promatranja uzroka	9
4. METAMERIJA	10
5. MJERENJE BOJA	11
5.1. Uređaji za mjerenje boja.....	13
5.2. Spektrofotometar.....	13
6. POVIJEST ANALIZE BOJA	14
6.1. Albert Munsell	14
6.2. Munsellov prostor boja	15
6.3. Ton	16
6.4. Svjetlina	17
6.5. Kromatičnost	17
6.6. Munsellov sustav HV/C	17
7. TEST ZA RASPOZNAVANJE BOJA.....	18
7.1. Ishihara test.....	19
7.2. Farnsworth - Munsell 100 Hue Test	20
8. Defektno viđenje boje.....	22
8.1. Starost i sposobnost pamćenja	24
8.2. Drugi čimbenici i načini svladavanja navedenih prepreka.....	25
9. CIELAB PROSTOR BOJA	25
10. EKSPERIMENTALNI DIO	28
11. REZULTATI I RASPRAVA	29
11.1. CIEDE2000 i grafički prikaz	29
11.2. Statistički i grafički prikaz uzoraka pod različitim izvorom svjetlosti	31
11.3. Klasifikacija ispitanika i broj pogrešaka FM Hue Testa	40
12. ZAKLJUČAK	45

13. LITERATURA.....46

1. UVOD

Boja donosi vitalnost u svemu što radimo. Bilo razvoju korporativnog identiteta ili novog proizvoda, boja ima moć da ostavi dojam koji razdvaja određenu sliku ili proizvod od svih ostalih. To je, za mnoge, osnovni element posebnosti proizvoda. Svaka osoba percipira boju drugačije, no postoji način da osoba vidi upravo onu boju koju mi želimo da vidi.

Nauka o bojama temelji se na konceptu standardnog promatrača koji predstavlja statistički podatak od ispitanika normalnog vida. Osjet normalnog vida posjeduju osobe čiji su receptori za boju (čunjići) osjetljivi i reagiraju u sva tri dijela spektra. Poznato je da postoji određeni postotak ljudi koji imaju poremećaj osjeta boja zbog nedostatka ili smanjene osjetljivosti receptora. Prema tome neke osobe imaju poremećaj protanopije, deuteranopije ili tritanopije. Testovi za otkrivanje sposobnosti razlikovanja boja koji se koriste u praksi su Ishihara test i Farnsworth-Munsell 100 Hue test (FM Hue Test). U ovom radu korišten je FM Hue test za ispitivanje kvalitete i sposobnosti razlikovanja boja kod studenata treće godine Grafičkog fakulteta. A drugi dio se odnosi na usporedbu vizualnih tolerancija boja kod studenata s različitom sposobnošću vida na temelju žutih uzoraka.

U teorijskom dijelu rada dano je pojašnjenje općenito o boji i njenim osjetima, Munsellovom testu, te defektnom viđenju boju i poremećajima koji su vezani za to. U eksperimentalnom dijelu grafički su prikazani i objašnjeni rezultati ispitanika. Ispitanici su razvrstavali žute uzorke pod dva različita uvjeta osvjetljenja, pod standardnom rasvjetom D50 i pod A vakum volfram žaruljom.

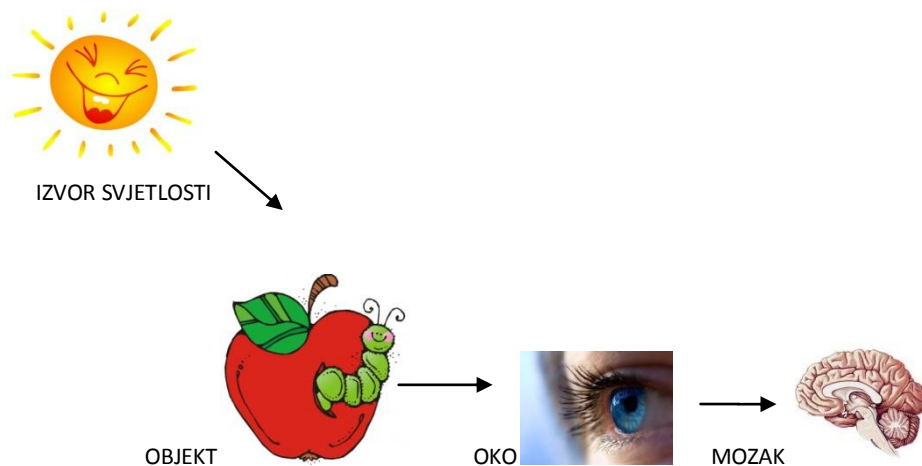
2. OSNOVE O BOJI

2. 1. Nastanak i opažanje boje

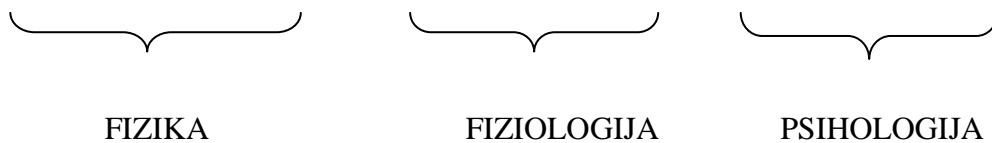
Boja nije svojstvo fizičkog svijeta, nego psihički doživljaj izazvan fizičkim poticajem (stimulusom) i zavisi od fiziološkog te od različitih psiholoških faktora.

Za doživljaj boje potrebna su tri osnovna faktora :

- izvor svjetla (potreban za pobuđivanje osjeta vida)
- molekularna struktura materijala s kojeg se svjetlo reflektira (ili propušta)
- čovjekov osjet boje, putem vidnog sustava i mozga [1.]



Slika 1: Doživljaj boje

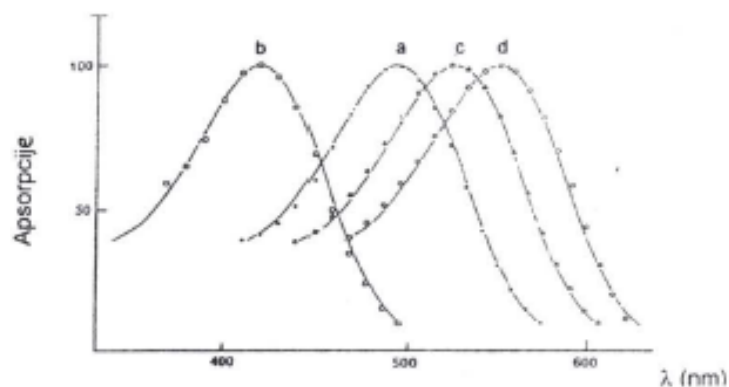


Ukoliko izostane jedan od osnovnih preduvjeta nema boje.

2.2. Boja s psihofizičkog aspekta

Doživljaj boje s psihofizičkog aspekta je zapravo osjet boje. Prvo se predmet osvijetli nekakvim izvorom svjetlosti tako da se nalaze u međusobnoj interakciji. Nakon toga receptori primaju odbijenu svjetlosnu energiju i tumače boju predmeta. Ljudsko oko je receptor, a mozak tumač, koji potrebne signale dobiva od oka (slika 1). Oko s fizikalnog stajališta predstavlja instrument koji sakuplja zrake svjetla i usmjerava ih u sliku na mrežnici, na stražnjoj stjenici oka. Unutar mrežnice postoje fotoreceptori (štapići i čunjići) od kojih se osjet boje dalje prenosi optičkim živcima do mozga. U svakom oku nalazi se oko 6- 7 milijuna čunjića, 100 milijuna štapića i 1 milijun živčanih vlakana. U centralnom području mrežnice nalazi se žuta pjega koja sadrži gusto koncentrirane čunjiće. Kod jakog svjetla to je mjesto najoštrijeg vida. Tri različite vrste čunjića definiraju spektralnu osjetljivost ljudskog oka, koja se kreće od 400 do 700 nm. Svaki ima svoj odvodni živac (možemo ih promatrati kao odvojene, ali preklapajuće spore filmove u boji) i djeluje kao najmanja samostalna vidna stanica. Gotovo su neosjetljivi kod slabog intenziteta svjetlosti.

Štapići se nalaze na periferiji mrežnice, jako su osjetljivi na svjetlost, pa je za osjet potrebno samo nekoliko fotona. Pomoću njih gledamo noću. Ne razlikuju boje, pa ih možemo promatrati i kao visoko osjetljivi, crno bijeli, filmovi slike koje stvaraju nisu jako dobro definirane (noću sve izgleda sivo). Relativna osjetljivost čunjića i štapića na svjetlo različitih valnih duljina nije jednaka. Štapići su najosjetljiviji u plavozelenom dijelu spektra, a čunjići u žutozelenom. [2.] [3.]



Slika 2: Spektralna apsorpcija fotoosjetljivih stanica prisutnih u mrežnici

Maksimumi apsorpcije valnih duljina kod:

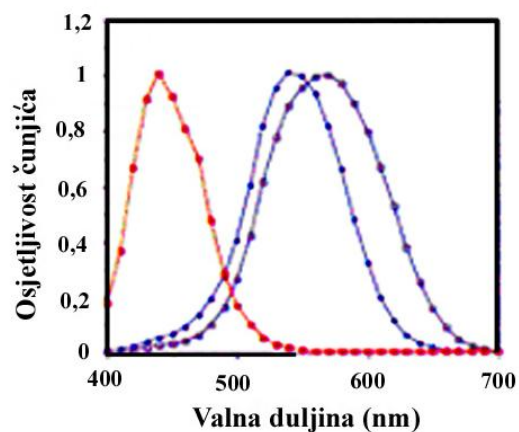
a $\lambda = 496$ nm štapići

b $\lambda = 419$ nm čunjići osjetljivi na ljubičasto-plavi dio vidljivog spektra

c $\lambda = 530$ nm čunjići osjetljivi na zeleni dio vidljivog spektra

d $\lambda = 558$ nm čunjići osjetljivi na crveni dio vidljivog spektra

Čunjići sadrže tri vrste pigmenata koji se razlikuju po reakciji na boje, a čije je postojanje dokazano mikrospektrodenzitometrom. Njihova maksimalna apsorpcija je kod valne duljine $\lambda_{\max} = 450$ nm (plavo područje), $\lambda_{\max} = 540$ nm (zeleno područje) i $\lambda_{\max} = 590$ nm (crveno područje). Različiti promatrači različito vode boje što je uglavnom uzrokovano različitom propustljivošću leće i žute pjege (slika 3). [3.]



Slika 3: Relativna spektralna osjetljivost dugovalnih (L), srednjevalnih (M) i kratkovalnih (S) čunjića. (Stockman, 1993)

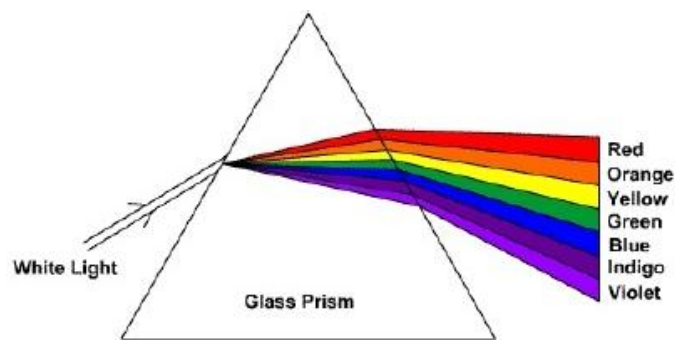
2.3. Boja s fizikalnog aspekta

Boja s fizikalnog aspekta definirana je fizičkim podražajem koji predstavlja vidljivo zračenje (380-750 nm). Svjetlo nastaje u izvorima svjetla koji mogu biti IZRAVNI (primarni) i NEIZRAVNI (sekundarni).

Izravni izvori su oni koji direktno emitiraju kontinuirani spektar koji ljudsko oko vidi kao bijelo svjetlo, isijavanjem, fosforescencijom, luminiscencijom itd. Mogu biti: prirodni (sunce) i umjetni (rasvjetna tijela).

Neizravni izvori su prenositelji energije zračenja, a to su gotovo sva tijela u prirodi. Ona primljenu energiju svjetla prenose apsorpcijom, refleksijom ili transmisijom. Boja tijela ovisi upravo o tome da li je tijelo neprozirno – boja nastaje refleksijom, a ako je prozirno boja nastaje – transmisijom.

Ako se bijelo svjetlo pomoću prizme rastavi na monokromatska svjetla različitih valnih duljina, onda se uz povoljne uvjete može razabrati ogroman niz boja i na taj način se vrši laboratorijsko prikazivanje vidljivog spektra. U prirodi se vidljivi spektar prikazuje kao duga. (slika 4). [1.]



Slika 4: Spektar bijelog svjetla

Izvor:

https://www.google.hr/search?q=spektar+bijelog+spektra&espv=2&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=RP_9U7bJJeLO7AbVxYCgBg&ved=0CAYO_AUoAQ&biw=1242&bih=545

2.4. Psihofizičke vs. fizikalne karakteristike boja

Psihofizičke karakteristike

Fizikalne karakteristike

TON	—————>	DOMINANTNA VALNA DULJINA
ZASIĆENJE	—————>	ČISTOĆA POBUDE
SVJETLINA	—————>	LUMINACIJA

Psihofizičke karakteristike interpretiraju boju sa stajališta promatrača (subjektivne), dok se fizikalne karakteristike mjere uređajima neovisno o promatraču (objektivne).

Psihofizičke – ono što promatrač osjeća

Fizikalne – ono što neki uređaj izmjeri. [4.]

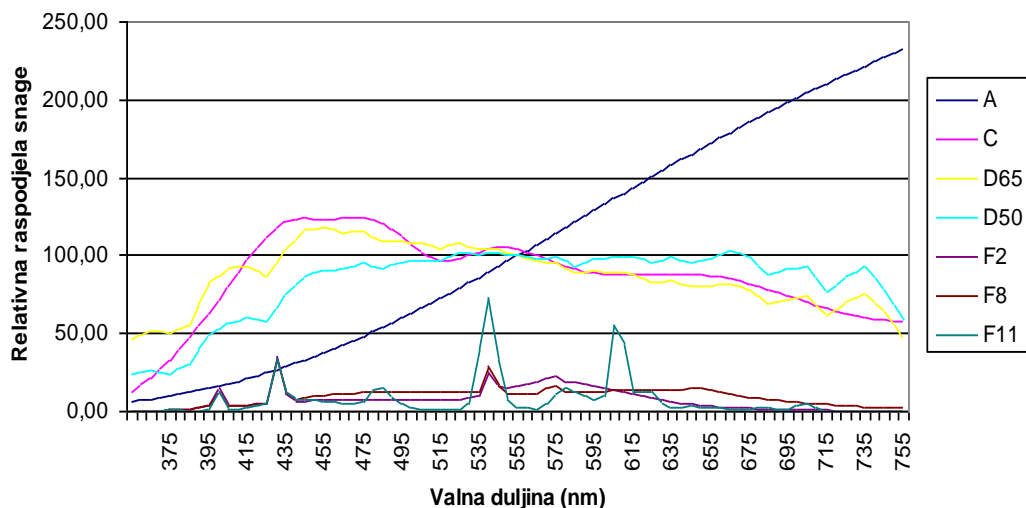
3. IZVORI SVJETLA

Svjetlo je energija koja se kreće pravocrtno od oko 300 000 km/s.

Svjetlost određuju fizikalne veličine: valna duljina, jakost zračenja i skup valnih duljina.

Temperaturu boje svjetlost izračunavamo pomoću spektralne raspodjele zračenja crnog tijela i Wienovog zakona. Otisci se promatraju pod različitim vrstama svjetlosti (volframova žarulja, fluorescentna lampa, veliki raspon dnevne svjetlosti, sunčeva svjetlost...). Zbog toga postoje faktori koji određuju karakteristike pojedinih vrsta svjetla. Kontrola reproduciranih boja obavlja se instrumentalno i vizualno, a broječni podaci dani su u ovisnosti o vrsti svjetla.

CIE komisija (*Commission Internationale de l'Eclairage*) 1931. godine standardizirala je izvore svjetla definirajući osvjetljenje preko spektralne raspodjele i izvore kao fizičke stvaraoce emisije (eng. *Illuminant*). [5.]



Slika 5: Raspodjela relativne energije zračenja spektra za različite izvore svjetla

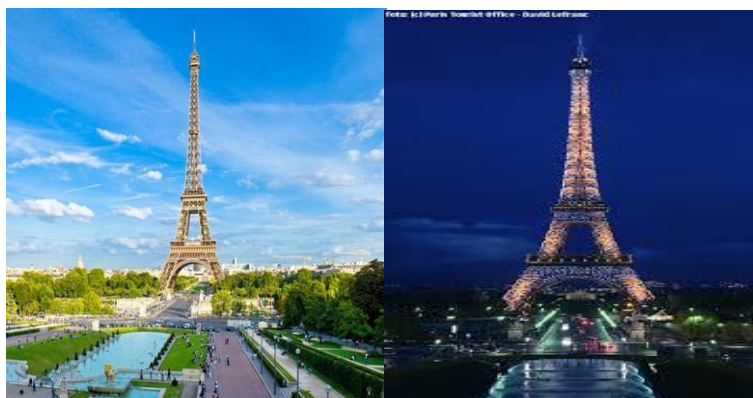
3.1. Izvor svjetla u odnosu na vrstu svjetla

Razlika između izvora svjetlosti (eng. *light source*) i vrsta svjetlosti (eng. *illuminant*) određene su CIE definicijama.

Izvor svjetla je fizički realizirano zračenje (svijeća, lampa, sunce) koje može biti izraženo i bročano sa spektralnom energijom zračenja ovisno o valnoj duljini.

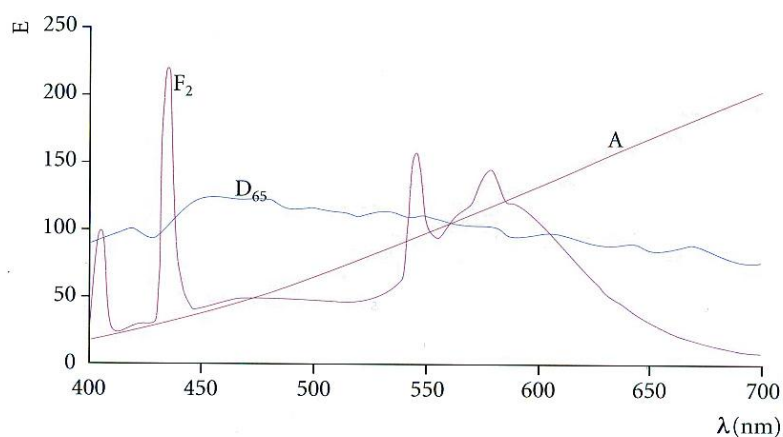
CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i nazvala ih “illuminants” (vrsta svjetlosti ili rasvjete).

Illuminant je niz brojeva (ovisnost relativne energije zračenja o valnoj duljini) koja predstavlja određenu vrstu bijelog svjetla i koristi se u *software-u* uređaja tijekom mjerenja boja. [3.]



Slika 6: Izvori svjetla (eng. light source) – prikaz dnevnog svjetla i svjetla žarulje

Izvor : https://www.google.hr/search?q=eiffelov+toranj&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=0gL-U87YH8yh7AaVjYDAAQ&ved=0CAGQ_AUoAQ&biw=1242&bih=545



Slika 7: Vrste svjetlosti (eng. illuminant)

3.2. Dnevno svjetlo – izvor svjetlosti D50

S obzirom na ravnotežu boja dnevno svjetlo je nešto plavije, što bi značilo da u izobilju energije kroz cijeli vidljivi dio spektra prevladava plava. To je posljedica selektivne absorpcije i raspršenosti visoke energije kraćih valnih duljina ljubičastoplavog svjetla u gornjoj atmosferi, što ima za posljedicu i čisto plavo nebo. Svaki će predmet težiti ka plavom s obzirom na dostupnu energiju svjetlosti. Sva dnevna svjetla nisu jednaka. Neposredno prije izlaska sunca ili predvečer prije zalaska, energija svjetla iznosi oko 5500K. Grafička industrija je izabrala D50 kao standardni izvor svjetla, budući da je to

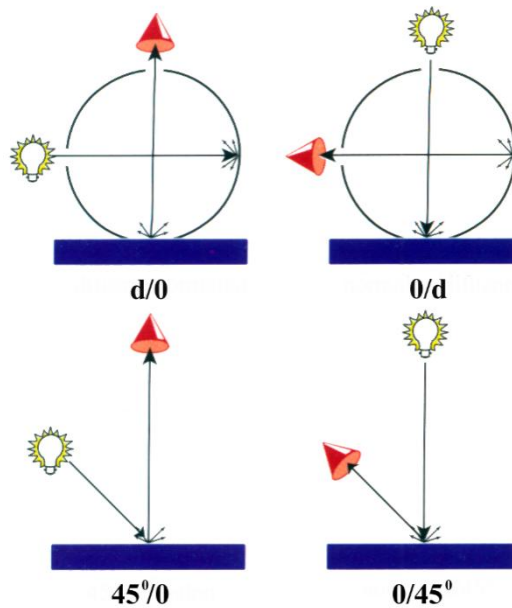
izvor između prosječne dnevne svjetlosti i umjetne žarulje, i upravo je to svjetlo koje je korišteno u ovom ispitivanju. [6.]

3.3. Svjetlo žarulje – izvor svjetlosti A

Zahvaljujući Thomas Edisonu danas postoji svjetlo žarulje ili volframovo svjetlo, koje najviše zrači u crvenom dijelu spektra. To je razlog zašto se predmeti pod ovakvim svjetlom čine toplijima, s obzirom da se jako malo emitira u plavom dijelu spektra. Pružajući toplu atmosferu, svjetlo žarulje se najčešće koristi u domovima kod kuće, a korišteno je i u ovom ispitivanju. S obzirom na razliku zračenja u crvenom i plavom dijelu spektra percepcija boja može biti iskrivljena, što ne mora biti nužno loše. I ovu vrstu svjetlosti moguće je izraziti u Kelvinima, a približna vrijednost žarulje bila bi oko 2856 K. Za razliku od prijašnjeg dnevnog svjetla, svjetlo žarulje mnogo više emitira crvenu boju. [6.]

3.4. Standardno osvjetljavanje i uvjeti promatranja uzroka

Izgled vrlo sjajnih površina ovisi o odnosu kuta pod kojim svjetlo pada na uzorak i kuta promatranja. Ako svjetlo pada na uzorak iz jednog smjera tada je moguće nagibom njegove površine izbjeći sliku izvora svjetla na promatranoj površini. To se ne može izbjeći ako je ista površina osvijetljena iz različitih smjerova. Ako se površina promatra pod vrlo velikim izvorom svjetla kao što je oblačno nebo ili jednolika stropna rasvjeta, boja površine će uvijek biti viđena uz prisutnost površinske refleksije dijela svjetlosti nastale u izvoru svjetlosti. Obično kada je boja osvijetljena bijela, površinska refleksija dodaje bijelo svjetlo boji površine te tako smanjuje zasićenje boje. Zato sjajne površine izgledaju više zasićene pri direktnom nego pri difuznom osvjetljenju. Boja hrapave površine izgledat će svjetlija i manje zasićena nego ista boja sjajne površine jer kod hrapave površine svaka zraka upadnog svjetla bez obzira na kut upada daje nešto svjetla koje ulazi u oko, a da nije penetriralo kroz površinu. To su razlozi da je CIE komisija za rasvjetu definirala uvjete promatranja uzoraka. [7.]



Slika 8: Uvjeti osvjetljavanja i promatranja uzoraka kod mjerenja refleksije

Većina objekata difuzno reflektira svjetlost.

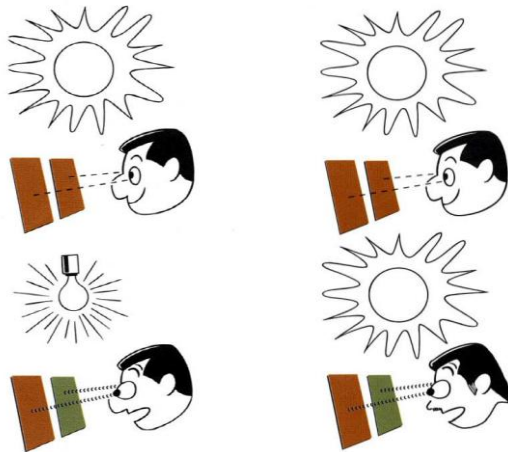
-Geometrije 45/0 i 0/45 predstavljaju mjerenje refleksije površine u jednom smjeru; geometrije 0/d i d/0 predstavljaju mjerenje refleksije površina pod difuznim osvjetljenjem. [5.]

4. METAMERIJA

Metametrija se pojavljuje kada dvije boje ostvaruju iste stimuluse pod određenim uvjetima, a različite kod nekih drugih. Metamerizam se može pojaviti u četiri oblika:

- a) metamerizam izazvan različitom vrstom svjetlosti
- b) metamerizam izazvan promatračem
- c) metamerizam izazvan veličinom promatranog polja
- d) metamerizam koji se pojavljuje promjenom geometrije promatranja uzorka

Krivulje spektralne refleksije dvaju objekata koji stvaraju metamerne stimuluse boja moraju imati iste vrijednosti kod najmanje tri različite valne duljine vidljivog djela spektra. [3.][8.]



Slika 9: Metamerizam izazvan vrstom svjetla i promatračem

Izvor: http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf

5. MJERENJE BOJA

Mjerenje boje predstavlja takav postupak vrednovanja boja koji se izvodi vizualnim ocjenjivanjem i instrumentalnim mjerenjem. Vizualna metoda vrednovanja boja zahtjeva definirano osvjetljenje i uvjete promatranja koji se postižu u specijalnom uređaju tzv. kućici za vizualno ocjenjivanje boja s različitim izvorima svjetla (*eng. Lightbooth, ColorMatchBox*). U njima se uzorci uspoređuju pod različitim izvorima svjetla, i upravo na taj način je izvršen eksperimentalni dio ovog rada.



Slika 10: Kućica za vizualno ocjenjivanje boja pod različitim izvorima svjetla

Izvor: http://cdn1.rpimaging.com/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/j/u/judge-ii_a.jpg

- A - volframova žarulja
- C - dnevno sjeverno svjetlo, prosječno dnevno svjetlo
- D65 - dnevno svjetlo, prosjek podnevnog svjetla diljem svijeta
- D50 - svjetlo na horizontu (izlazak i zalazak sunca)
- D55 - prosječno jutarnje i prosječno podnevno svjetlo
- D75 - dnevno svjetlo prekrivo oblacima
- F2, FCW, CWF, F - hladna bijela fluorescentna lampa
- TL4 ili TL84 - fluorescentna lampa koja se koristi u trgovačkim centrima u Europi i USA
- Ultralume 3000 - fluorescentna lampa koja se koristi u mnogim trgovačkim centrima u USA

Vizualni postupak vrednovanja boja zbog svoje male preciznosti se koristi kod prosuđivanja jednakosti tj. sličnosti dviju boja.

Instrumentalno mjerenje koje je precizno definirano mora se provoditi na način da je ono u korelaciji s vizualnom procjenom. To omogućava odabir geometrije promatranja, standardnog promatrača i izvora rasvjete.

Kod mjerenja boja potrebno je poznavati njezinu svrhu jer ona određuje način mjerenja i odabir uređaja za mjerenje.

Svrha mjerenja može biti određivanje doživljaja boje, određivanje kromatskih veličina koje definiraju razliku između dviju boja, određivanje bojila ili pigmenta u boji. [8.]

Svojstva osvijetljene površine kao što su boja, tekstura i sjaj mogu se naglasiti ovisno o

- izvoru svjetla (difuzni ili usmjereni)
- kutu između izvora svjetla i uzorka
- kutu pod kojim se uzorak promatra (vizualno uspoređivanje ili instrumentalno mjerenje)

5.1. Uređaji za mjerenje boja

Kod instrumentalnog mjerenja boje najčešće se koriste slijedeći uređaji:

- Kolorimetar – uređaj koji se koristi kod određivanja CIE tri stimulusnih vrijednosti
- Spektralnifotometar – uređaj za mjerenje spektralne refleksije ili transmisije
- Spektralniradiometar – uređaj za mjerenje spektralnog zračenja (*irradiance*) ili gustoće usmjerenog zračenja (*radiance*) [8.]

5.2. Spektrofotometar

Spektrofotometar je 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. Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine (ili intervale valnih dužina) pomoću monokromatora. Kao monokromator koristi se prizma ili optička rešetka. Pojedinačnim valnim dužinama izdvojenim monokromatorom, osvjetljava se ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi, MgO). 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 spomenuta, spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroracunalo za izračunavanje CIE tri stimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se predvidjeti koji će izvori svjetla dovesti do pojave metamerije. [3.] [8.]



Slika 11: Spektrofotometar

Izvor: http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitativne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf

6. POVIJEST ANALIZE BOJA

Raspravljati o boji se ne može, a da se ne spomene bar jedan dio vezan uz istraživanja, pokuse i zaključke. Riječ je o povijesti analize boja. Albert Munsell bio je prvi u povijesti koji je pobliže objasnio ljudski sustav vizualiziranja. Njegova empirijska analiza organizacije boja na čelu je svih modernih koordinacijskih sustava boja danas.

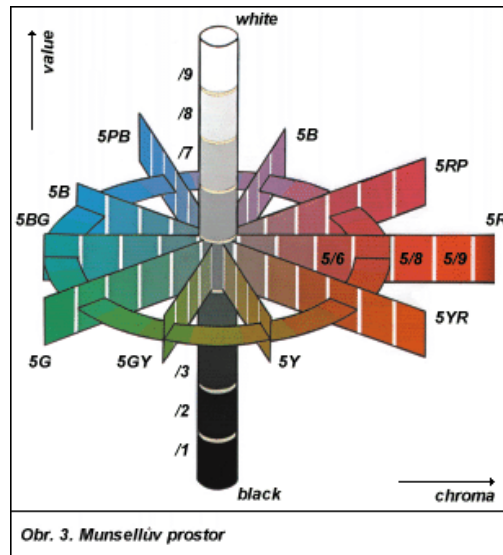
6.1 Albert Munsell

Albert Munsell bio je sveučilišni profesor u Bostonu. Premda je završio Julian likovnu akademiju u Parizu, njega se danas ne pamti kao poznatog umjetnika, već čovjeka koji je razvio sustav za organizaciju boja. Munsell bi izašao i započeo slikati sliku po danu, a vrativši se doma nastavio pod svjetlom lampe. Kad bi sljedeći dana izašao u prirodu nastaviti svoj rad, ubrzo je ustanovio da se boje naslikane po danu ne poklapaju sa onima pod umjetnim svjetlom. Odlučio je otkriti način kojim će se boje standardizirati i opisati na način da, neovisno o vanjskim uvjetima, one uvijek budu jednake. Ideja je bila da svakoj boji pripiše odgovarajući broj, putem kojeg može stvoriti šablonu i slikati bez da pred sobom gleda original. Poučavajući tako i svoje studente, uvijek je pokušavao usavršiti svoju metodu. U tom nastojanju Munsell je postavio tezu na koji način ljudski mozak vidi i organizira boju, a koja se održala do dan danas. Cijeli svoj život posvetio je istraživanju sustava prepoznavanja boja i premda su njegova istraživanja bila više

empirijska nego analitička, na njegovom se modelu temelje svi današnji sustavi numeričkog mapiranja boja. [6.]

6.2 Munsellov prostor boja

Munsell je stvorio trodimenzionalni prostor u kojem su boje kružno poredane oko osi. Crvena nasuprot narančaste, narančasta nasuprot žute, žuta nasuprot zelene itd... U tzv. Munsellovom tijelu boja, boje su razvrstane u sustav, na osnovi konstantnog tona boje, zasićenja i svjetline. Najlakše će se uočiti promjena boja ukoliko se mijenja ton. Svjetlije i tamnije boje orijentiraju se prema središnjem djelu Munsellovog modela. Na dnu se nalazi crna, a na vrhu bijela. Treba obratiti pažnju da je svjetlo-tamna os bezbojna; niz svih akromatskih stepenica kojima se ne može pripisati niti jedna boja. Munsell je to nazvao vrijednost, dok se danas koristi pojednostavljen izraz svjetlina. Zasićenje ili povećanje zasićenost korak su od sivog. Boji koja se kreće od osi prema vanjskom rubu, pada sivoća, a ona postaje čišća. Nezasićene boje nalaze se oko središta, a zasićenost i čistoća rastu odmicanjem od centra prema vanjskom rubu. S vremenom, mnogi su sugerirali drukčiji sustav rasporeda boja. Ipak kao najefikasniji i najdugovječniji pokazao se upravo ovaj umjetnika Alberta Munsella. U Munsellovom sustavu koji je kasnije prerastao u atlas postoji 1450 obojenih malih površina različitog tona, zasićenja i svjetline, koje se nalaze na 40 stranica. Svaka stranica sadrži uzorke istog tona poredane u vertikalne i horizontalne redove. [6.]



Slika 12: Munsellov prostor boja

Izvor:

https://www.google.hr/search?q=MUNSELLOV+PROSTOR+BOJA&espv=2&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=PAU-U43IFYHf4OTynYDICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1242&bih=585

6.3. Ton

Prva stvar na koju se pomisli govoreći o nekoj boji je njezin ton. Krvavo crvena, rubin crvena, vatreno crvena, hrđavo crvena, crvena trule višnje itd... Sve su one različite premda spadaju u istu skupinu boja. Zahvaljujući tonu mi razlikujemo crvenu od zelene, plavu od žute itd... Munsell u svojim zapisima navodi da je ljudska priroda takva, da se grupiraju boje ovisno o tonovima. To dakle nije naučena vještina već urođena, što se vidi kod malog djeteta koje se igra šarenim kockicama. Potreba grupiranja sličnih čini se kao ljudska težnja nadvladati stvarima; slične spojiti sličnima, različite razdvojiti. Postoje mnogi načini prikaza raznolikosti boje, a Munsell je za što lakše razumijevanje za svoj model odabrao krug. Pomoću njega pruža se mogućnost svrstavanja svih glavnih boja u opseg kruga, čime je omogućen blag prijelaz jedne u drugu. Prema tome svrstao je boje, kako ih i danas vidimo, prema nijansama.



Slika 13: Ton boje

6.4.Svjetlina

Munsell je koristio riječ "vrijednost " kako bi opisao svjetlinu boje. Premda njegova terminologija nije više aktualna,svjetlina je kao osobina boje ostala sastavni dio svih koordinacijskih sustava boja.



Slika 14: Svjetlina boje

6.5. Kromatičnost

Žarke boje opisuju se kao blistave, bogate i čiste, a slabe kao prljave, mutne ili sive. Pojavu kad se boja čini jaka Munsell je nazvao kromatičnost. Jasno da se ona razlikuje i od svjetline i od tona, predstavljajući treći smjer po kojem se boja u sustavu kreće. Prema Munsellu, boja slabe kromatičnosti ima ujedno i male vrijednosti.

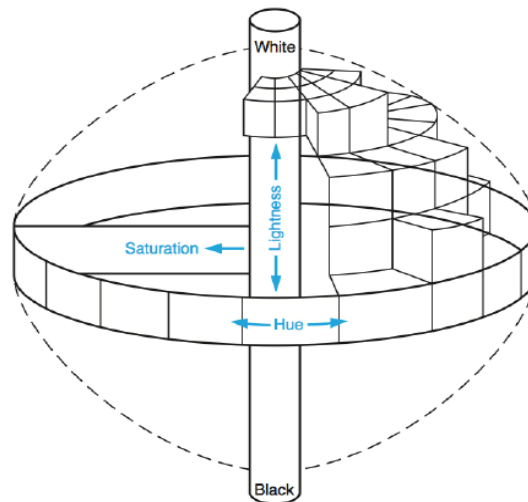


Slika 15: Zasićenje boje

6.6.Munsellov sustav HV/C

Munsell je ručno nacrtao stepenast prijelaz za svaku boju onako kako ga je on smatrao ispravnim. Sastavivši sve to u knjigu,uspio je na jednom mjestu okupiti strukturiran i organiziran set sa svim bojama i njihovim mogućnostima. Pomoću Munsellovog sustava boja,umjetnici kao i kupci bili su po prvi put u mogućnosti pomoću jednostavnih brojeva dobiti upravo onu koju su željeli. Munsellov model boja nije potpuno simetričan. Jedan od razloga je način na koji čovjek vidi boju, a drugi je otrovnost

tadašnjih bojila. Prvobitan trodimenzionalan model boja iz 1940. bio je nešto veći (prije spoznaje štetnosti olova, žive i drugih metala). Kako bi zaštitili svoje najbliže i sebe, donesen je zakon protiv upotrebe teških metala pri proizvodnji bojila.



Slika 16: Po ovom modelu se vidi da postoje tri neovisne dimenzije kad je riječ o boji nekog drugog predmeta. Pomoću suvremenog modela moguće je izračunati koji broj pripada kojoj boji. Koriste se sve tri dimenzije kako bi se odredio predmet i smjer. Ta se tehnika jednostavno mora prenijeti na subjektivan svijet boja.[6.]

Izvor: http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf

7. TEST ZA RASPOZNAVANJE BOJA

Dok je prava rijetkost da osoba ne raspozna niti jednu boju (svijet u sivom), češći je slučaj da osoba raspozna jednu ili dvije boje. Razlog tome je da se u oku nalaze tri na boju osjetljive kemikalije tzv. rhodopsini. Oko u načelu vidi samo tri osnovne boje: crvenu, zelenu i plavu, ali spajajući te tri boje u bezbroj kombinacija, čovjek je sposoban razmotriti tisuće i tisuće različitih boja. Ako međutim crveni i zeleni senzori reagiraju jednako ili ako postoje samo dva od tri rhodopsina, percepcija boja nije jednaka kao kod većine ostalih ljudi. U prosjeku jedan od 13 muškaraca je daltonist. Statistički gledano kod žena tek jedna od 300 ima isti taj nedostatak. Krivac tome je neispravna gen na "X" ili "Y" kromosomu, a Mendelin to opisuje kao "X-vezano recesivan". S obzirom da žene imaju dva "X" kromosoma rijetkost je da su oba dva

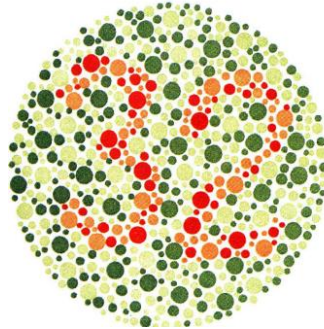
neispravna. Muškarci imaju samo jedan "X" kromosom, a ako taj posjeduje neispravan gen dolazi do daltonizma. Prilikom oplodnje muška sperma sadrži ili "X" ili "Y" kromosom. Ako je začeto žensko znači da su oba kromosoma bila "X". Ako je začeto muško znači da je majčin kromosom bio "X", a očev "Y". Prema tome, ako se rodi sin daltonist naslijedio je to od svoje majke. Otac može prenijeti daltonizam samo na svoju kćer, ali ne i na sina. Postoje i mnogi drugi uzroci ne raspoznavanja boja. Neki od njih su urođeni, a neki su posljedice ozljeda ili bolesti. Dugo se može o tome znanstveno raspravljati, ali ono što je važno je da se takvi nedostaci otkriju na vrijeme, kako ne bi kasnije došlo do iznenadnih problema. Kako bi se to spriječilo postoje testovi pomoću kojih je moguće ustanoviti dali osoba ispravno raspoznaje boje ili ne. Testovi za otkrivanje defektnog viđenja boje su i *Ishihara test* i *Farnsworth-Munsell 100 Hue Test*.

7.1. Ishihara test

Ishihara test je prvi put predstavljen 1917., a izumio ga je dr. Shinobu Ishihara, japanski oftalmolog. Čak i danas, njegov test ostaje jedan od glavnih testova za otkrivanje defektnog viđenja boje. Test se sastoji od niza obojanih ploča, tzv. Ishihara ploče, koje su dizajnirane tako da pružaju brzu i točnu procjenu vida kod osoba sa prirođenim ili stečenim poremećajem raspoznavanja boja. Svaka ploča sadrži krug ispunjen točkicama koje se pojavljuju u različitim bojama i veličinama. Unutar takvog uzorka nalaze se točke koje tvore lik (najčešće arapski brojevi) jasno vidljiv osobama s normalnim vidom (slika 17). Nedostatom ovog testa smatra se prisutnost likova koji predstavljaju isključivo brojeve te nije koristan kod male djece koja ih još nisu naučila. Iz tog su razloga napravljeni novi testovi u kojima se nalaze samo simboli (kvadrat, krug, automobil). Cijeli test se sastoji od trideset osam ploča, iako je uočavanje nepravilnosti viđenja vidljivo već nakon nekoliko ploča. Postoji i manji test koji sadrži dvadeset četiri ploče. Ploče se dijele na nekoliko različitih testova, ovisno o njihovom dizajnu. [9.]

- Transformacijske ploče, pojedinci sa defektnim viđenjem boje vide drugačiju sliku od osoba s normalnim vidom.
- Ploče nestajanja, samo osobe normalnog vida mogu prepoznati lik na ploči.

- Ploče skrivenih znamenki, samo pojedinci sa defektnim viđenjem boje mogu prepoznati lik.
- Dijagnostički ploče, namijenjene određivanju vrste i težine neispravnosti vida (protanopija ili deuteranopija) [10.]



Slika 17: Primjer Ishihara testa

Izvor: <http://www.creatogether.com/ishihara/>

7.2. Farnsworth - Munsell 100 Hue Test

FM Hue test (slika 18.) nudi jednostavnu metodu za ispitivanje sposobnosti razlikovanja boja, podatke koji se mogu primijeniti na mnoge psihološke i industrijske probleme vezane uz vid.

Prvenstveno se koristi za mjerenje nemogućnosti razlikovanja pojedinih boja kod nekih osoba i za razlikovanje osoba s normalnim vidom u rasponu izvrsne, prosječne i niske sposobnosti razlikovanja boja.



Slika 18: Farnsworth - Munsell 100 Hue Test

Rezultati FM Hue testa sugeriraju da ispitanici čiji rezultat seže od 0 – 16 imaju izvrsnu sposobnost prepoznavanja (*superior discrimination*), od 20 – 100 prosječnu (*average discrimination*) i od 100 na dalje imaju jako nisku sposobnost prepoznavanja boja (*low discrimination*).

FM Hue Test sadrži ukupno devedeset i tri boje sadržane u plastičnim kapticama, i smještene u četiri odvojene ladice. Pigmenti boje u kapticama izrađeni su od najstabilnijih materijala. Budući da ne sadrže kemikalije izuzetno su trajni, ali nije poželjna prevelika izloženost svjetlosti.

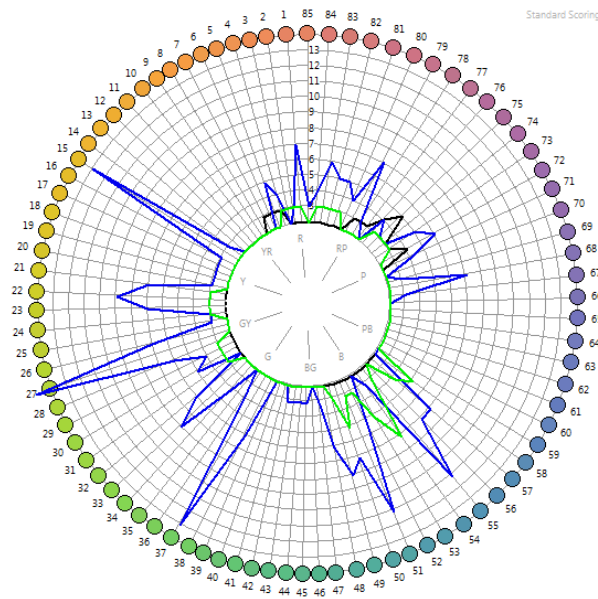
Mat površina boja u kapticama nužna je kako bi se uočile spektralne karakteristike boje iz svakog kuta. Površina je osjetljiva na otisak prstiju. U normalnim uvjetima korištenja preporuča se mijenjanje kapica svake dvije do četiri godine.

Kompjuterski program FM 100 Hue testa osmišljen je radi jednostavnijeg bodovanja rezultata testa, a uz to daje skup alata za planiranje, analizu i pohranu podataka.

FM 100 Hue Testa konstruiran je kao grafikon sastavljen od svih mogućih razlučivih boja - crvene, zelene, plave, itd., u svim nijansama od neutralne do potpuno zasićene, ali sve iste svjetline. Jednake udaljenosti na dijagramu (slika 19) predstavljaju jednake razlike boja promatranih normalnim okom.

Pretpostavimo da svaka točka predstavlja neku boju koja se lako, vidljivo razlikuje od svake susjedne boje. Sada imamo mjernu jedinicu koja se može primijeniti u razlikovanju boje. Moguće je da određene boje na grafikonu različiti ljudi percipiraju različito, pod posebnim uvjetima promatranja. S obzirom na percepciju ispitanika

možda će biti potrebno preskočiti tri, pet ili deset jedinica boje do pronalaska one boje koja se jednostavno osjetno razlikuje od prve. [11.]



Slika 19: Grafički prikaz izvrsne, prosječne i niske sposobnosti razlikovanja boja (izvrsna sposobnost, prosječna sposobnost, niska sposobnost)

8. Defektno viđenje boje

Slijepi na boje ne moraju nužno biti baš daltonisti, koji ne uočavaju crvenu boju. Neki na semaforu ili grani ne vide zeleno, pojedini ne razaznaju nijanse plave, a vrlo rijetki svijet vide samo u sivom. Sljepoća za boje je nemogućnost raspoznavanja pojedinih boja.

Najčešće se radi o nijansama:

- zelene boje -DEUTERANOPIJA : uzrokuje nedostatak čunjića osjetljivih na zelenu boju, a smetnje se pojavljuju u razlikovanju crvene i zelene boje. Za te osobe doživljaj zelene boje osobito pri slabijem svjetlu može biti taman sve do crne.

- crvene boje – PROTANOPIJA : pojava koja uzrokuje nemogućnost razlikovanja crvene i plavozelene boje, a relativna svjetlina crvene boje je mnogo niža nego kod normalnog promatrača.

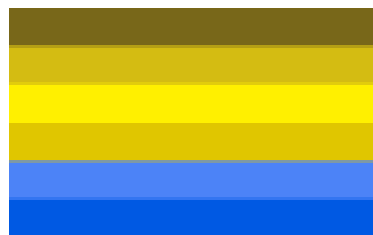
- plave boje – TRITANOPIJA : javlja se pri izostanku čunjića osjetljivih na plavu boju, a uzrokuju nemogućnost razlikovanja žute i plave boje. Relativna svjetlina plave boje je mnogo niža nego kod normalnog doživljaja boje. Tritanopija je obično uzrokovana bolešću.

Smetnje u raspoznavanju plave boje rjeđe se susreću. Nemogućnost raspoznavanja svih boja, i mogućnost gledanja samo nijansi sive boje izuzetno je rijetka. (monokromazija). Nekada se često, pogrešno, za sve vrste poremećaja kolornog vida upotrebljavao izraz daltonizam. Proizlazi iz imena znanstvenika Johna Daltona, i samog slijepog za boje, koji je po prvi puta u 18 stoljeću proučavao i opisivao ovaj fenomen. Dalton je bio protanop, te kao dječak nije mogao razlikovati crvene trešnje među zelenim listovima stabla. [8.]



Slika 20: Dugine boje kako ih vidi osoba s normalnim osjetom za boje, trikromat

Izvor: http://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Gay_flag.svg



Slika 21: Dugine boje kako ih vidi osoba s protanopijom (poremećaj razlikovanja boja u zeleno-žuto-crvenom dijelu spektra, sa smanjenom osjetljivošću za crveno)

Izvor: http://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Rainbow_Protanopia.svg



Slika 22: Dugine boje kako ih vidi osoba s deuteranopijom (poremećaj razlikovanja boja u zeleno-žuto-crvenom dijelu spektra, sa smanjenom osjetljivošću za zeleno)

Izvor: http://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Rainbow_Deuteranopia.svg

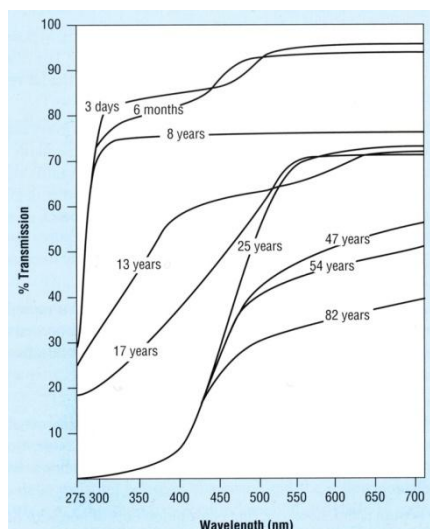


Slika 23: Dugine boje kako ih vidi osoba s tritanopijom (slabije razlikovanje boja u plavo-žutom spektru)

Izvor: http://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Rainbow_Tritanopia.svg

8.1. Starost i sposobnost pamćenja

Tijekom starenja leće u očima polako žute, te se boje ne vide više tako oštro kao nekad. Polako se stvara proteinski pigment zvan karotin koji požućuje rožnicu. To je progresivan proces što znači da se pogoršava godinama. Iz tog razloga osobe s velikom dobnom razlikom različito doživljavaju boje. No treba uzeti u obzir sljedeće; doživljaj boje nije samo urođena sposobnost, nego i naučena vještina. Komunikacija može biti jako dvosmislena i neefikasna kad je riječ o boji i njenoj razlici. [6.]



Slika 24: Proces slabljenja vida kroz starosnu dob

8.2. Drugi čimbenici i načini svladavanja navedenih prepreka

Postoje još mnogi drugi čimbenici koji utječu na percepciju boja. Najčešće su to stres i umor, a manje je poznato da to mogu biti i lijekovi, bolest pa čak kofein i nikotin. Što se čovjek više bavi temeljima i pojavama boja, to raste i broj stvari na koje mora obratiti pažnju. Kad god se procjenjuje boja, treba paziti na veličinu, oblik i teksturu predmeta, te uzeti u obzir okolinu i rasvjetu. Dobar kolorist će pri svakoj vizualnoj usporedbi primjerak postaviti uz standard, što ponekad zna biti nepraktično, ali obećava dobre rezultate. [6.]

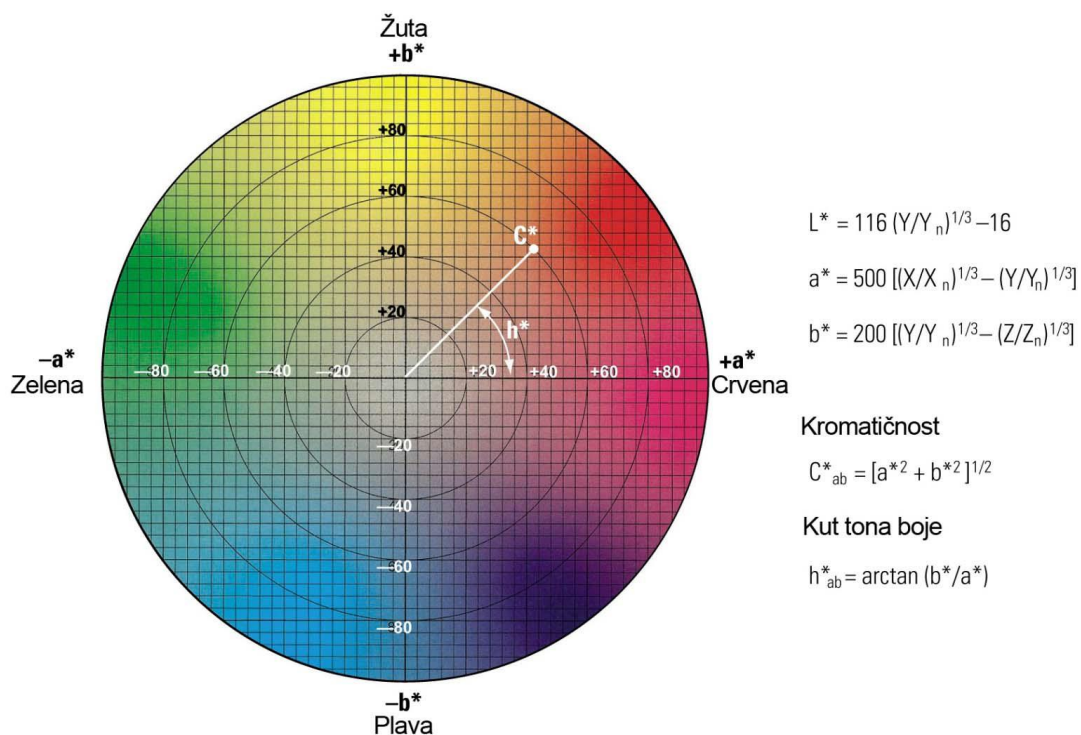
9. CIELAB PROSTOR BOJA

Većina istraživanja vezana za boje imala su svrhu postaviti osjet boje u uređen i metodičan prostor boja. Kao trodimenzionalni geometrijski model takvog prostora upotrijebljen je cilindričan prostor u kome su se morali naći svi osjeti boja koji se odnose na svojstva svjetline, tona i krome boja. Prostor je trebao biti tako uređen da jednake geometrijske udaljenosti odgovaraju jednakim vizualnim razlikama boja. Svrha poznavanja geometrijskih odnosa proizlazi iz potrebe pronalaženja veze između doživljenog prostora boje i odgovarajućeg prostora boje temeljenog na mjerenju

refleksije (transmisije) uzoraka. 1976. godine CIE je preporučila upotrebu dva približno ujednačena prostora boja i odgovarajuće matematičke izraze za određivanje razlike boja. Prostor i izrazi su izabrani između sličnih, zbog bolje korelacije s vizualnim prosuđivanjem. CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) ili skraćeno CIELUV se zbog mogućnosti upotrebe kromatičnog dijagrama koristi na televiziji, a CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) ili skraćeno CIELAB ima primjenu vezanu za industrije gdje se koriste bojila.

CIELAB je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača. Njegove koordinate odgovaraju teoriji suprotnih boja tj. parova, svjetlo–tamno, crveno–zeleno, žuto–plavo.

Prednost ovog sustava je i uvođenje svjetline kao treće dimenzije. Numeričke vrijednosti u CIELAB sustavu opisuju sve boje koje može razlikovati ljudsko oko. U CIELAB sustavu boje su opisane pomoću tri osi: dvije kromatske, a^* (crvena - zelena) i b^* (plava - žuta). Svjetlina L (*luminance*) je akromatska os koja se mjeri od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje je 0 vrijednost za crnu, a 100 za bijelu. [7.]



Slika 25: CIELAB prostor boja

9.1. Razlika boje

Ukupna razlika boja ili kolorimetrijska razlika (ΔE^*) predstavlja razliku između dvije boje u CIE sustavu. Definira se kao euklidska razlika između koordinata za dva položaja boja, referentnog i uspoređivanog.

Ukupna razlika u boji prema CIE 1976 (ΔE^*_{ab}) izračunava se sljedećom formulom:

$$\Delta E^*_{ab} = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

gdje su:

$$\Delta L^* = L^* - L^*_{ref},$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_{ref},$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_{ref},$$

Tijekom vremena, uočeni su nedostaci navedene fomule za ΔE^*_{ab} . Kolorimetrijske razlike računane prema toj formuli ne koreliraju dovoljno sa vizualnim procjenama. U cilju poboljšanja korelacije između vizualnih procjena i instrumentalnog mjerenja, 1994. godine CIE je predložila izmijenjenu formulu pod nazivom CIEDE1994 (ΔE^*_{94}). Ta formula prilagođava vrijednosti svjetline, zasićenja i tona tako što uzima u obzir faktore k i S , koji ispravljaju varijacije u percipiranoj veličini razlika boja u različitim područjima CIELAB prostora boja.

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.[12.]

Ukupna razlika boja prema ΔE^*_{00} definirana je matematičkim izrazom:

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

Definiranje korištenja različitih formula za određivanje razlika u perceptualno uniformnim prostorima još uvijek nije u potpunosti završeno, što potvrđuje niz studija koje ukazuju na određene nedostatke i daju prijedloge daljnjih modifikacija. Za potrebe računanja kolorimetrijske razlike termokromnih boja u ovom radu, koristio se izraz CIEDE2000 (ΔE^*_{00}). Formula za izračunavanje implementirala se u Microsoft Excel-u.

Kriteriji koji pokazuju koliko su velike razlike u boji su sljedeći:

ΔE^*_{00}	Opis
< 0,2	Razlika nije uočljiva,
< 0,5	Zanemariva razlika (preciznost instrumenta)
0,5 - 1	Jedva primjetna, vrlo mala razlika
1 - 3	Vidljiva, mala razlika
3 - 6	Dobro vidljiva, očita razlika
6 - 12	Vrlo dobro vidljiva, iznimno velika razlika
> 12	Nedopustiva razlika

Tablica 1: Uočljivost razlika uzoraka prema CIEDE2000 [13.]

10. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu ovog rada prvi dio se odnosi na ispitivanje kvalitete i sposobnosti razlikovanja boja kod studenata treće godine Grafičkog fakulteta.

Krivulja na dobivenom grafikonu definira stupanj pogreške, veća izbočenja i oštrije krivulje znače veći broj uzastopnih pogrešaka u rješavanju testa, a manja i tupa izbočenja znače manji broj pogrešaka koje nisu uzastopne nego povremene. Na slici 19. plava boja krivulje označava velike pogreške koje se pojavljuju povremeno, a crna manje pogreške nastale pri slaganja Farnsworth-Munsellovih kapica.

Drugi dio ispitivanja izvršen je na temelju dvadeset tri žuta uzorka, koja su ispitanici promatrali pod izvorom svjetlosti D50 (T=5000 K) i A (T= 2854 K).

Izvor svjetla A odnosi se na standardiziranu volframovu žarulju čije zračenje je intenzivnije u crvenom dijelu spektra, D50 se odnosi na prosječnu dnevnu rasvjetu. Ispitivanjem su utvrđeni uzorci koji su prihvaćeni od strane svakog pojedinca, u odnosu na standard.

U oba eksperimentalna dijela pristupila su trideset tri ispitanika. Testovi su se izveli u kućici sa standardnim vrstama rasvjete za vizualnu ocjenu boja MachbethJudge II, X-Rite, a rezultati su prikazani grafički i statistički.

Konačni cilj ovog rada je na temelju ovih ispitivanja napraviti usporedbu vizualnih tolerancija boja kod studenata s različitom sposobnošću raspoznavanja boja.

11.REZULTATI I RASPRAVA

11.1.CIEDE2000 i grafički prikaz

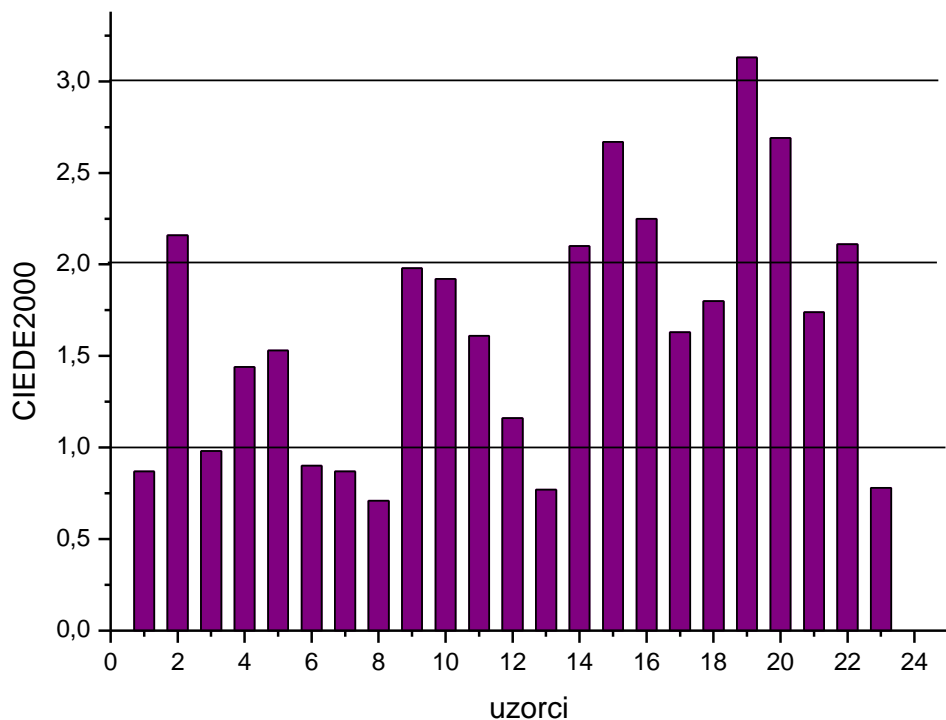
Tablica 2. daje prikaz svih vrijednosti standarda i uzoraka, te njihovu ukupnu CIEDE2000 razliku, koja je određena pomoću spektrofotometra. Crvenom bojom su označeni uzorci čija je ukupna razlika manja od 1, a ukupno ih je sedam. Devet uzoraka ima ukupnu razliku između jedan i dva, označeni su crnom bojom. Šest uzoraka, koji su između dva i tri, obojeni su u plavo, a samo jedan(zeleni) uzorak ima ukupnu razliku veću od tri. Razlike svih uzoraka su određene s obzirom na standardni uzorak.

CIEDE2000 svih uzoraka i standarda također su prikazane i slikom 26. [12.][13.]

UZORAK	L*	a*	b*	CIEDE(2000)
STD	87,2	-2,6	82,6	0
1	86,7	-3,2	79,3	0,87
2	87,6	1,2	83,3	2,16
3	87,7	-1,1	84,3	0,98
4	88,9	-1	84	1,44
5	88,9	-1,1	85,7	1,53
6	88,5	-2,3	84	0,9

7	86,7	-3,2	79,3	0,87
8	87,6	-3,8	82,8	0,71
9	89,6	-0,5	84,7	1,98
10	89,5	-0,4	83,3	1,92
11	88,7	-0,5	85	1,61
12	88,6	-1,4	83,9	1,16
13	88,2	-1,9	83,4	0,77
14	87,1	-6,1	80	2,1
15	86,8	-7,1	79,8	2,67
16	86,6	-6,6	82,7	2,25
17	86,8	-5,5	82,6	1,63
18	89,4	-0,6	81,5	1,8
19	89,1	2,5	82,9	3,13
20	89	1,7	83,6	2,69
21	88,3	0	85,5	1,74
22	87,5	-4,8	81,3	2,11
23	87,1	-3,9	81,5	0,78

Tablica 2: L^* , a^* , b^* vrijednosti standarda i uzoraka te CIEDE2000 ukupna razlika boja



Slika 26: Grafički prikaz CIEDE2000 između standarda i svakog pojedinog uzorka

11.2. Statistički i grafički prikaz uzoraka pod različitim izvorom svjetlosti

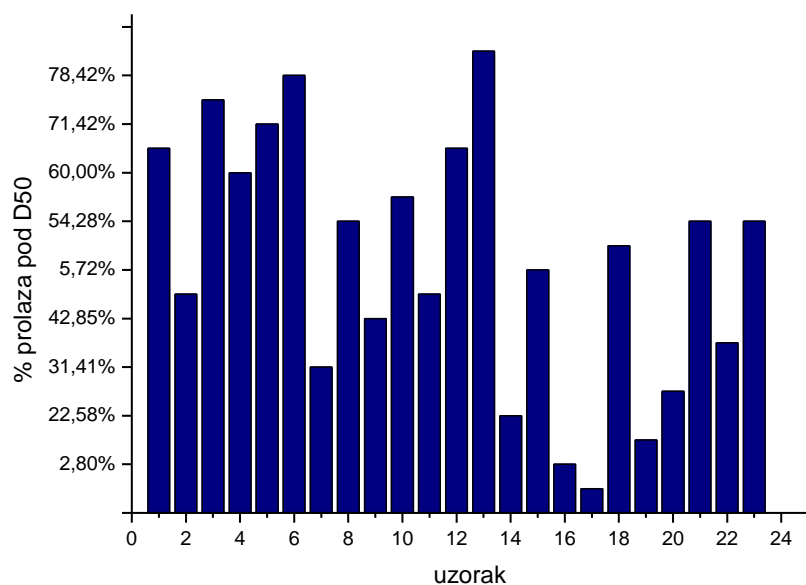
Tablica 3. i 4. daju prikaz svih prihvaćenih (+), žutih, uzoraka od strane trideset tri ispitanika, pod izvorom svjetlosti D50, i pod izvorom svjetlosti A. Upravo pomoću tih tablica je napravljena poveznica ovog rada. Crvenom bojom su označeni ispitanici čija je sposobnost prepoznavanja boja, određena FM Hue Testom, izvrsna. Plava boja označava ispitanike sa prosječnom, dok ljubičasta određuje ispitanike sa najnižom sposobnošću raspoznavanja boja. Najveći postotak prihvatljivosti pod oba izvora svjetla iznosi 82,86 %, ali za različite uzorke.

UZORCI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
I1																						+	+	
I2	+	+	+	+	+	+		+		+		+	+						+	+	+			
I3	+	+	+	+	+			+		+		+	+										+	+
I4	+	+	+			+						+	+					+						
I5		+	+		+	+	+		+	+	+		+					+	+					
I6	+					+		+		+		+	+										+	+
I7	+	+	+	+	+					+		+	+	+				+					+	
I8	+			+	+	+							+	+										+
I9	+	+	+				+		+				+	+			+	+				+	+	
I10	+			+		+	+	+	+	+		+	+									+	+	+
I11	+	+	+	+	+	+		+			+	+	+					+				+	+	+
I12	+		+		+	+		+				+											+	+
I13		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+					+	+	+	+			
I14	+		+	+	+	+	+	+					+	+			+					+	+	+
I15	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+					+	+	+	+			
I16	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+						+		+	+			
I17	+	+	+	+		+			+	+			+										+	+
I18	+		+		+			+			+	+	+									+		
I19			+			+		+	+	+	+	+	+					+						+
I20					+	+		+				+	+	+									+	+
I21	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+		+	+	+	+	+
I22	+		+	+	+	+		+	+		+	+	+					+				+		+
I23			+	+	+	+		+			+	+	+					+		+	+			+
I24			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+						+			+		
I25			+		+	+		+	+	+	+	+	+					+				+		+
I26				+		+							+											
I27		+		+	+				+		+	+					+		+	+	+			
I28	+			+	+					+			+					+						
I29		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					+				+		+
I30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					+				+		+
I31	+		+	+	+	+				+	+	+												+
I32	+						+							+	+		+							
I33	+		+			+	+		+	+			+										+	+

Tablica 3: Prihvaćeni uzorci od strane ispitanika pod izvorom svjetlosti D50

UZORCI	%-tak PROLAZA SVAKOG UZORKA
1	68,57%
2	45,72%
3	74,82%
4	60,00%
5	71,42%
6	78,42%
7	31,41%
8	54,28%
9	42,85%
10	57,14%
11	45,72%
12	68,57%
13	82,86%
14	22,58%
15	5,72%
16	2,8%
17	14,28%
18	51,43%
19	20,00%
20	22,85%
21	54,28%
22	37,14%
23	54,28%

Tablica 4: Prihvaćeni uzorci pod izvorom svjetlosti D50



Slika 27: Grafički prikaz postotka prolaza uzoraka pod vrstom rasvjete D50

UZORCI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
I1	+	+				+		+	+		+	+	+											
I2	+	+	+		+	+		+				+	+					+				+		
I3			+			+							+											+
I4						+					+		+											
I5	+	+	+		+	+		+	+		+	+	+					+						
I6	+					+		+		+		+	+										+	+
I7	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+					+	+					
I8					+	+			+			+	+										+	+
I9			+			+					+		+											
I10	+		+	+	+	+					+	+	+											+
I11	+		+	+		+	+	+			+	+	+										+	+
I12		+				+	+	+			+		+	+								+		
I13		+	+		+	+			+	+	+	+	+					+	+	+	+			
I14	+	+	+		+	+	+	+		+	+		+					+					+	+
I15	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+		+		

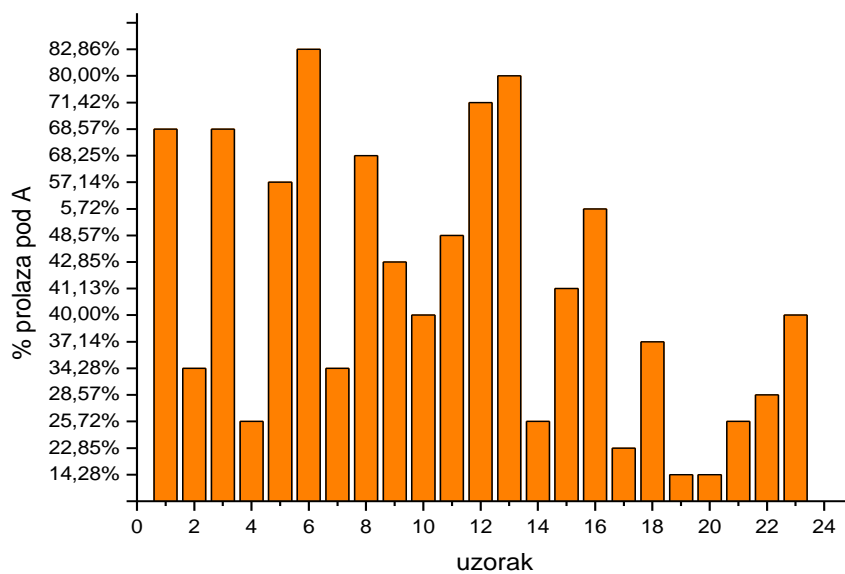
I16		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+					+	+	+	+			
I17	+		+											+										
I18	+		+	+		+							+											
I19	+					+	+	+				+	+											+
I20	+					+		+					+					+						
I21	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+		+	+	+	+	+
I22	+	+	+		+	+			+	+		+	+											
I23	+	+	+		+	+		+	+	+		+	+					+						+
I24			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+					+			+			
I25			+		+	+		+	+	+	+	+	+					+			+			+
I26	+		+		+							+	+											+
I27								+		+		+			+	+	+							
I28	+					+		+				+	+											
I29	+		+		+	+	+	+				+	+	+	+		+						+	+
I30			+	+	+	+	+	+	+	+		+	+					+						+
I31			+	+	+		+		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+			+	
I32							+							+	+		+							+
I33	+		+	+	+	+						+											+	

Tablica 5: Prihvaćeni uzorci pod izvorom svjetlosti A

UZORCI	%-tak PROLAZA SVAKOG UZORKA
1	68,57%
2	34,28%
3	68,57%
4	25,72%
5	57,14%
6	82,86%
7	34,28%
8	68,25%
9	42,85%
10	40,00%
11	48,57%

12	71,42%
13	80,00%
14	25,72%
15	41,13%
16	5,72%
17	22,85%
18	37,14%
19	14,28%
20	14,28%
21	25,72%
22	28,57%
23	40,00%

Tablica 6: Prihvaćeni uzorci pod izvorom svjetlosti A



Slika 28: Grafički prikaz postotka prolaza uzoraka pod vrstom rasvjete A

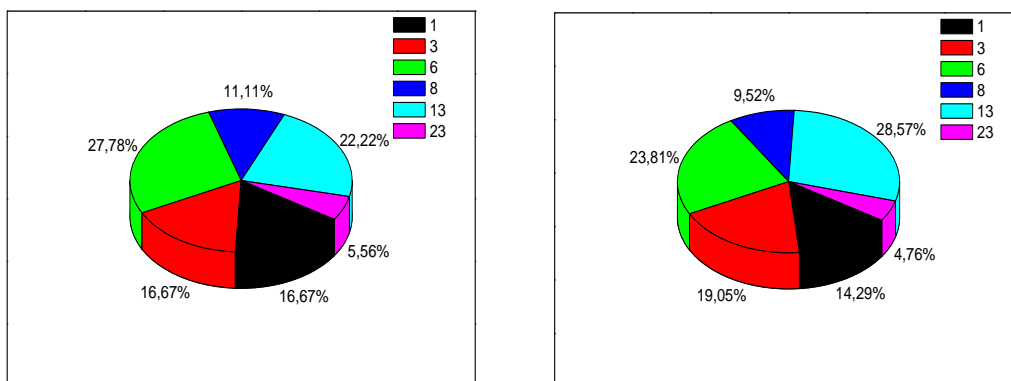
Ispitanici	$\Delta E < 1$	$\Delta E = 1-2$	$\Delta E = 2-3$	$\Delta E > 3$
9	2	2	1	0
26	2	1	0	0
12	5	3	1	0
6	5	5	1	0
17	5	3	2	0
18	4	4	1	0
5	3	5	1	0
14	6	5	2	0
30	6	9	2	0
22	6	7	0	0
28	2	4	0	0
31	5	6	0	0
8	4	4	1	0
10	5	6	1	0
11	6	6	2	0
21	6	9	3	0
23	5	6	1	1
7	3	5	2	0
29	5	9	1	0
2	4	5	2	1
16	2	8	2	1
19	5	7	0	0
1	1	4	1	0
20	4	2	2	0
4	4	2	1	0
33	6	2	1	0
15	4	8	2	1
24	4	8	1	1
25	5	7	1	0
13	3	8	2	1
27	0	8	2	1
3	6	6	2	0
32	1	2	2	0

Tablica 7: Broj izabranih uzoraka koji imaju CIEDE2000 manju od 1, između 1-2, između 2-3 i veću od 3 pod izvorom svjetla D50

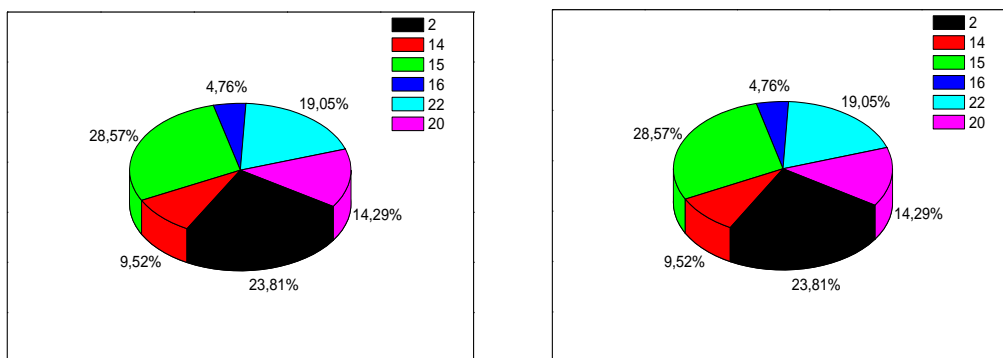
Ispitanici	$\Delta E < 1$	$\Delta E = 1-2$	$\Delta E = 2-3$	$\Delta E > 3$
9	3	1	1	0
26	3	3	0	0
12	3	4	2	0
6	5	3	0	0
17	3	0	0	0
18	4	1	0	0
5	5	6	1	1
14	6	5	2	0
30	5	7	0	0
22	5	3	1	0
28	4	2	0	0
31	1	9	5	0
8	4	3	1	0
10	5	5	0	0
11	6	4	1	0
21	6	10	4	0
23	6	6	1	0
7	5	6	1	1
29	6	4	3	0
2	5	4	0	0
16	3	8	2	1
19	4	3	0	0
1	1	0	1	0
20	4	1	0	0
4	2	1	0	0
33	5	3	1	0
15	5	8	4	1
24	4	8	2	1
25	5	6	1	0

13	4	8	2	1
27	1	3	3	0
3	6	0	0	0
32	1	2	2	0

Tablica 8: Broj izabranih uzoraka koji imaju CIEDE2000 manju od 1, između 1-2, između 2-3 i veću od 3 pod izvorom svjetla A



Slika 29: Prikaz pogrešaka za izvore svjetlosti A i D50, koji imaju CIEDE2000 manju od 1



Slika 30: Prikaz pogrešaka za izvore svjetlosti A i D50, koji imaju CIEDE2000 2 - 3

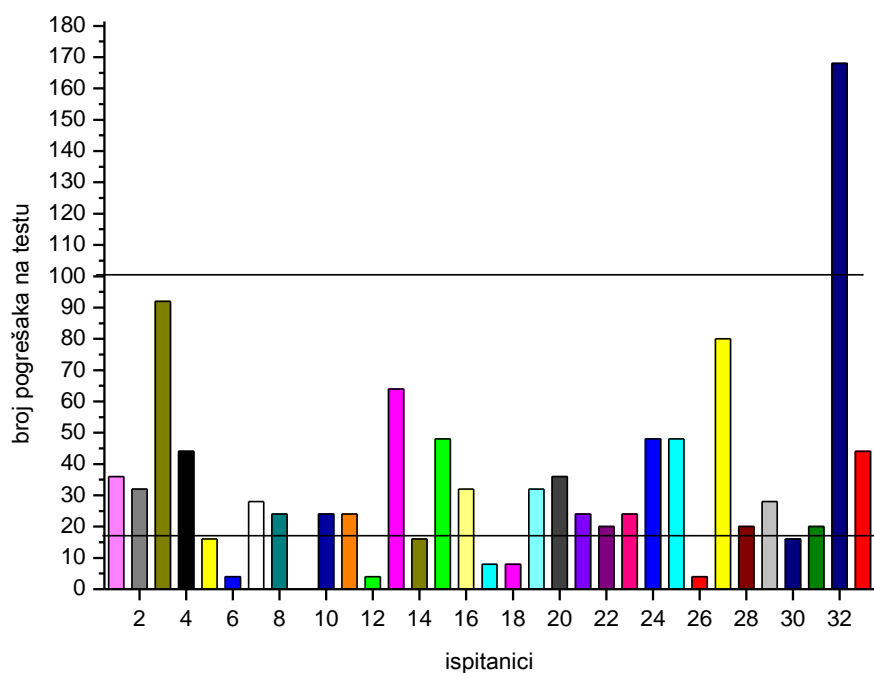
11.3. Klasifikacija ispitanika i broj pogrešaka FM Hue Testa

Svi ispitanici su kategorizirani s obzirom na broj pogrešaka, na tri već navedene kategorije. Samo jedan ispitanik, od ukupno trideset i tri, je riješio test bez ijedne pogreške, a slijede ga tri ispitanika sa po četiri pogreške. Ukupan broj ispitanika koji spada u *superior* skupinu je devet. Najviše ispitanika spada u *average* skupinu, njih trinaest, a samo jedan ispitanik pripada *low* skupini. Prosječno vrijeme za rješavanje testa je deset minuta po ispitaniku. Najočitiije pogreške su u zelenom i ljubičasto-plavom dijelu spektra, dok su u crvenom i crveno-ljubičastom neznatne. Ispitanici su najmanje griješili slažući žuti spektar boja. Iz polarnih grafova možemo zaključiti da je najbolja moć raspoznavanja nijansi boja kod osoba sa izvrsnom sposobnosti u žutom i žuto-crvenom dijelu spektra.

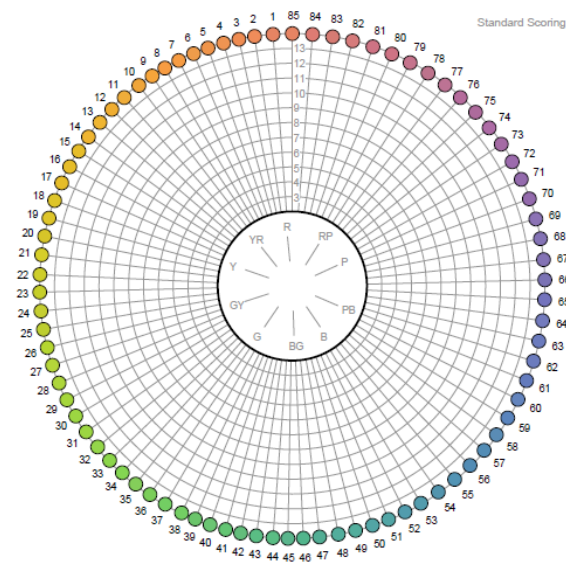
Ispitanici	Klasifikacija	Br. pogr. (Munsell)
9	Superior	0
26	Superior	4
12	Superior	4
6	Superior	4
17	Superior	8
18	Superior	8
5	Superior	16
14	Superior	16
30	Superior	16
22	Average	20
28	Average	20
31	Average	20
8	Average	24
10	Average	24
11	Average	24
21	Average	24
23	Average	24

7	Average	28
29	Average	28
2	Average	32
16	Average	32
19	Average	32
1	Average	36
20	Average	36
4	Average	44
33	Average	44
15	Average	48
24	Average	48
25	Average	48
13	Average	64
27	Average	80
3	Average	92
32	Low	168

Tablica 9: Klasifikacija ispitanika na temelju FM 100 Hue Testa i broj pogrešaka

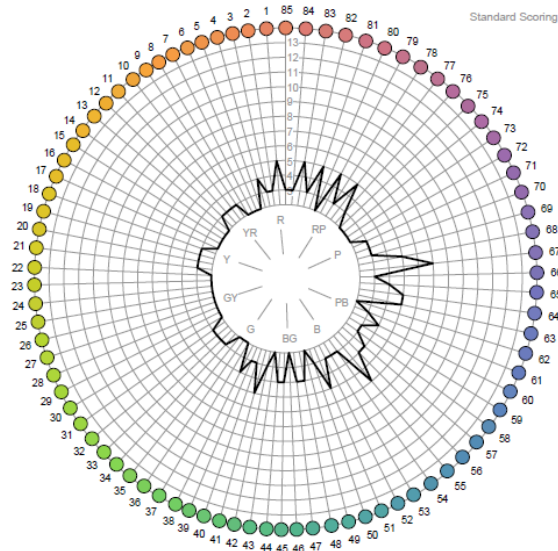


Slika 31: Grafički prikaz broja pogrešaka na FM 100 Hue Testu svakog pojedinog ispitanika



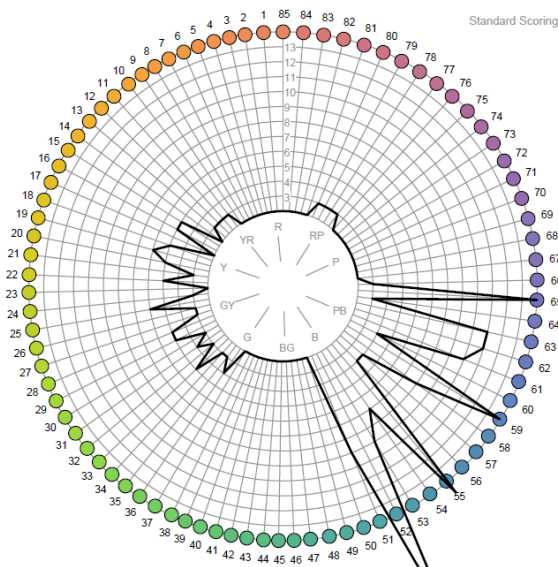
Slika 32: Prikaz osobe s odličnom sposobnošću raspoznavanja boja preko polarnog grafa

Od ukupno osam ispitanika koji spadaju u superior skupinu, samo jedan ispitanik je odradio test bez ijedne pogreške (slika 32.). Rezultati njegovog testa sa žutim uzorcima su također jako dobri, što dodatno potvrđuje njegovu veliku sposobnost raspoznavanja boja.



Slika 33. Prikaz osobe sa prosječnom sposobnošću raspoznavanja boja preko polarnog grafa.

Slika 33. prikazuje osobe s prosječnom sposobnosti razlikovanja boja, njih ukupno dvadeset četiri. Kod ovih polarnih grafova pogreške su gotovo jednako raspoređene po cijeloj kružnici. Nema značajnih razlika za određene nijanse boja. Osobe sa prosječnom sposobnosti razlikovanja boja griješe na svim poljima boje podjednako. Najveće odstupanje je zamjena Farnsworth-Munsellovih kapica za tri nijanse. Prosječno vrijeme rješavanja testa kod ovih ispitanika je sedam i pol minuta. Možda je upravo vrijeme razlog zašto su neki ispitanici riješili test bolje od drugih, a najviše pogrešaka pojavljuje u žuto-zelenom dijelu spektra.



Slika 34. Prikaz osobe sa niskom sposobnošću raspoznavanja boja preko polarnog grafa.

Iako je većina ispitanika imala izvrsnu i prosječnu sposobnost razlikovanja nijansi boje jedan od ispitanika je postigao loš rezultat te je time svrstan u kategoriju osoba s niskom sposobnosti razlikovanja boja. Na slici 34. mogu se uočiti velika odstupanja od unutarnje kružnice s oštrim vrhovima, što znači da su pogreške u slaganju boja bile konstantno netočne. Unatoč tome rezultati njegovog testa tolerancije na žutu boju nisu tako loši. Iz ovoga istraživanja možemo iščitati da ispitanik unatoč lošem rezultatu koji se odnosi na sve boje, dobro prepoznaje nijanse žute boje.

12. ZAKLJUČAK

Vizualnom metodom možemo odrediti uzorke prihvatljive u odnosu na definirani standard. Da bi se smanjila subjektivnost promatrača i slučajnost izbora, broj ispitanika treba biti što veći. Instrumentalnim mjerenjem kromatskih karakteristika prihvaćenih i neprihvaćenih uzoraka omogućuje se analiza razlika i određivanje uspoređivanjem L^* , a^* , b^* vrijednosti. Rezultati većine studenata koji imaju jako veliku sposobnost raspoznavanja žute boje, također imaju i dobar rezultat FM Hue Testa. No, kao i uvijek postoje iznimke. Student koji spada u kategoriju niskog prepoznavanja boja po Munsellu, ima prihvatljive rezultate tolerancije na žute uzorke. Ispitanici čiji Sposobnost raspoznavanja boja je od velike važnosti u životu svakog pojedinca, ona je jedan oblik komunikacije među ljudima. Boja ne predstavlja samo karakteristiku nekog predmeta već ima puno veću ulogu u njegovom značenju. Stoga, što više znamo o boji, bolje možemo vladati njome i prilagoditi je svojim potrebama i uspjesima.

13. LITERATURA

1. ***<http://sr.scribd.com/doc/184829396/Sustavi-Boje-i-Kolorimetrija-Seminarski-Rad> , (10.7.2014)
2. ***http://physics.mef.hr/Predavanja/seminar_optika/main1e.html, *Štapići i čunjići* (13.07.2014.)
3. Knešaurek N., (2014). Predavanja iz kolegija „*Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boje*“, pdf
4. Strgar Kurečić M. (2014.). Predavanja iz kolegija „*Reprodukcijaska fotografija 2*“, pdf
5. ***https://www.google.hr/search?q=kolorimetrijska+razlika&rlz=1C1FNWS_enHR565HR565&oq=kolorimetrijska+razlika&aqs=chrome..69i57j69i61j0l4.5877j0j7&sourceid=chrome&es_sm=122&ie=UTF-8, *Kolorimetrijska razlika* (14.7.2014)
6. Stanić Ivana; (2009). *Osnove kolorimetrije i praktična primjena kod upravljanja kvalitetom boje*, diplomski rad, Grafički fakultet, Zagreb
7. Blažek Momir; (1998). *Kolorimetrijska analiza vizualno prihvatljivih kromatskih razlika od standardne boje*, diplomski rad, Grafički fakultet, Zagreb
8. BernsRoy S., (2000). *Billmayer and Saltzman's Principles of Color Tehnology*, Third edition, John Wiley&Sons, New York
9. Jankulija Maja;(2010). *Anomalije vida i testovi za određivanje kvalitete i sposobnosti razlikovanja boja*, završni rad, Grafički fakultet, Zagreb
10. ***http://en.wikipedia.org/wiki:Color_perception_test, *Color percepcion test*, (17.7.2014.)
11. *Farnsworth-Munsell 100 Hue Test*, Scoring Tool, CD
12. Golob V., Golob D., *Teorija barvne metrike. V Interdisciplinarnost barve. Del 1, V znanosti*. Uredila S. Jeler, M. Kumar, Maribor, Društvo kolorista Slovenije, 2001.
13. Kumar, M. Barvna odstopanja v ofsetnom tisku, V Interdisciplinarnost barve. 2.del: v aplikaciji. Uredila S.Jeler in M.Kumar. Maribor: Društvo koloristov Slovenije, 2003.