

# Metoda za definiranje odnosa između kvantitativnoga pokazatelja i ljudske percepcije odstupanja u boji

---

**Gazibarić, Zoran**

**Doctoral thesis / Doktorski rad**

**2021**

*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:216:526738>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Zoran Gazibarić

**METODA ZA DEFINIRANJE ODNOSA  
IZMEĐU KVANTITATIVNOGA  
POKAZATELJA I LJUDSKE  
PERCEPCIJE ODSTUPANJA U BOJI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Zoran Gazibarić

**METODA ZA DEFINIRANJE ODNOSA  
IZMEĐU KVANTITATIVNOGA  
POKAZATELJA I LJUDSKE  
PERCEPCIJE ODSUPANJA U BOJI**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

prof. dr. sc. Nikola Mrvac,  
izv. prof. dr. sc. Predrag Živković

Zagreb, 2021.



University of Zagreb

Faculty of Graphic Arts

Zoran Gazibarić

**METHOD FOR DEFINING THE  
RELATIONSHIP BETWEEN A  
QUANTITATIVE INDICATOR AND  
HUMAN PERCEPTION OF COLOR  
DEVIATION**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Nikola Mrvac, Full Professor

Predrag Živković, Associate Professor

Zagreb, 2021

**UDK 655:535.646.7**

***Imenovano Povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada:***

1. prof.dr.sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. doc. dr. sc. Miroslav Mikota, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. prof. dr. sc. Danijel Radošević, Sveučilište u Zagrebu Fakultet organizacije i informatike, vanjski član

***Imenovano Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada:***

1. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. doc. dr. sc. Miroslav Mikota, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. doc. dr. sc. Mile Matijević, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
4. prof. dr. sc. Danijel Radošević, Sveučilište u Zagrebu Fakultet organizacije i informatike, vanjski član
5. izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek, Sveučilište Sjever, vanjski član
6. doc. dr. sc. Denis Jurečić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenski član
7. prof. dr. sc. Mario Tomiša, Sveučilište Sjever, zamjenski vanjski član

***Mentori:***

1. prof. dr. sc. Nikola Mrvac, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet
2. izv. prof. dr. sc. Predrag Živković, Univerzitet u Beogradu Tehnološko – metalurški fakultet

***Datum obrane doktorskoga rada:*** 26. svibnja 2021.

***Mjesto obrane doktorskoga rada:*** Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

***Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada donijelo je sljedeću odluku:***

„Obranio s ocjenom summa cum laude (*s najvećom pohvalom*) jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

## **BIOGRAFIJE MENTORA**

**Prof. dr. sc. Nikola Mrvac** rođen je 28. svibnja 1969. u Desnom Sredičku. Diplomirao je 1994. na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Godine 2001. obranio je magistarski rad na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu pod naslovom „Razvoj tiskarstva u multimedijском društvu”. Doktorsku disertaciju pod naslovom „Sinteza interakcija odabranih parametara grafičke reprodukcije” je obranio 2003. na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i time postao prvi doktor znanosti na području grafičke tehnologije. Nakon studija, 1994. se najprije zapošljava kao nastavnik grafičke tehnologije na Grafičkoj školi u Zagrebu te zatim iste godine prelazi raditi na Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Na istom Fakultetu 2012. izabran je u zvanje znanstvenog savjetnika, a 2013. u zvanje redovitog profesora te 2018. u znanstveno nastavno zvanje redovitog profesora u trajnom zvanju u interdisciplinarnom području znanosti (znanstveno područje grafička tehnologija i znanstveno područje informacijske i komunikacijske znanosti). Kao član i kao voditelj projekta sudjelovao je u realizaciji sljedećih projekata u okviru Nacionalnog znanstvenog istraživačkog programa Ministarstva znanosti i tehnologije.

1999. – 2002. „Utjecaj tehnika digitalnog tiska i grafičkih materijala na efikasnost reciklacije papira”, 2002. -2006. „Određivanje svojstava i formulacija papira za digitalni tisak i njegovu reciklaciju” 2007. – 2012. „Studij tehnoloških čimbenika grafičkog dizajna za sustavno unapređenje kvalitete”, kao član i 2007. – 2012. „Evaluacija kvantitativnih i kvalitativnih kriterija procesa grafičke reprodukcije”, kao voditelj. Od 2013. do 2019. godine voditelj je više znanstvenih potpora vezanih za standardizaciju grafičkih prikaza u multimedijском okruženju. Dobitnik je nagrade Društva sveučilišnih nastavnika i drugih znanstvenika u Zagrebu mladim znanstvenicima i umjetnicima za znanstveni rad na području grafičke tehnologije, području tehničkih znanosti za akademsku godinu 2000/2001. Unatoč tome što je 2012. godine izabran u najviše zvanje na području grafičke tehnologije, posljednjih desetak godina njegov najveći doprinos u znanstveno-nastavnom radu je u interdisciplinarnom području, s ciljem unapređenja rada ustanova u kojima radi te s kojima surađuje. Radom u nizu sveučilišnih i fakultetskih povjerenstava (Povjerenstvo za inovacije i transfer tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Povjerenstvo za izradu strategije e-učenja Sveučilišta u Zagrebu,

Povjerenstvo za e-učenje Sveučilišta u Zagrebu itd.) znatno pridonosi institucionalnom razvoju. Aktivno je sudjelovao u usklađivanju programa Grafičkog fakulteta s bolonjskim procesom. Novi program sveučilišnog studija Grafičke tehnologije na Grafičkom fakultetu u Zagrebu nastao razvojem osnovne ideje te sheme studiranja preuzete iz njegovog prijedloga. Jedan je od autora stručnog preddiplomskog studija Multimedia, oblikovanje i primjena te sveučilišnog diplomskog studija Ambalaža na Sveučilištu Sjever, kao i srodnih studija Univerziteta u Travniku. Na nacionalnoj razini aktivno je sudjelovao (kao član Vijeća za nacionalni kurikulum, kao član Radne skupine za tehničko i informatičko područje te kao Predsjednik vijeća za strukovno obrazovanje) u izradi dokumenata vezanih za kurikulum. Autor je metodologije i sustava EVALUS (sustava za razvoj i evaluaciju kompetencija) i softvera EVA, koji pomaže pri istom.

Primjena njegovih istraživanja omogućuje novi pristup razvoju sustava visokog obrazovanja koji povezuje formalno i neformalno obrazovanje. Novi pristup, za razliku od postojećega, omogućuje tri ključne razlike: 1) novi pristup omogućava, za razliku od staroga, ugradnju mehanizma odstranjivanja nepotrebnog znanja, 2) za razliku od postojećih pristupa, koji su usmjereni prema prijenosu znanja nastavnika, novi pristup je usmjeren prema studentovu stjecanju znanja, 3) sadašnji pristupi usmjereni su prema sadržaju koji se uče, dok je novi pristup usmjeren prema načinu kako se nešto uči. Implementacija navedenog pristupa na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu rezultirala je višestrukim povećanjem interesa studenata za studijskim programima. Može se istaknuti njegov mentorski rad i rad s mladim znanstvenicima. Dosad je pod njegovim mentorstvom obranjeno: 7 doktorskih disertacija, 3 magistarska rada, 81 diplomski rad te 31 završni rad. S većinom kandidata kojima je bio mentor nakon završetka studija nastavlja suradnju, kojom pridonosi kako razvoju Grafičkog fakulteta tako i institucija u kojima se zapošljavaju. Od ak. god. 2014/2015. do 2018/19. obnašao je dužnost prodekana za poslovanje te od ak. god. 2018/19. obnaša funkciju dekana na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Osim toga, sudjeluje i u nizu drugih aktivnosti koje promoviraju znanstveno područje, struku i obrazovanje. Dosad je objavio više od 120 znanstvenih radova (poglavlja u knjizi, radova u znanstvenim časopisima, zbornicima radova itd.).

**Izv. prof. dr. sc. Predrag Živković** rođen je 13. lipnja 1963. u Beogradu. Osnovnu školu završio je 1978. godine u Beogradu, kao nositelj Vukove diplome. Srednju školu završio je u Beogradu 1982. godine i stekao zvanje laboratorijskog tehničara za fiziku.

Na Tehnološko-metalurški fakultet upisao se 1982. godine, a počeo je studirati 1983., poslije odsluženja vojnog roka. Kao student s ostvarenim visokim prosjekom ocjena, bio je stipendist Univerziteta u Beogradu i nositelj diplome „Panta Tutundžić”. Stručnu praksu obavio je 1987. godine u švicarskoj tvrtki Kliše+Lito AG, Cirihi. Diplomirao je 1989. godine na Katedri za grafičko inženjerstvo TMF, sa srednjom ocjenom 9,12 i ocjenom diplomskog rada 10.

Po diplomiranju, iste se godine zaposlio u Društvenom preduzeću Saropak iz Zemuna, gdje se bavio problematikom projektiranja i izrade ambalaže.

Krajem 1990. prešao je iz proizvodnje na TMF u Beogradu u svojstvu asistenta pripravnika na Katedri za Grafičko inženjerstvo za predmete Tehnologija i tehnička priprema štampe i Grafičke mašine.

Magistrirao je 1995. godine na Katedri za grafičko inženjerstvo TMF, sa srednjom ocjenom 9,60. Iste godine izabran je za asistenta na toj katedri, za predmete Tehnologija štampe i Primena računara u grafičkoj industriji prema novom nastavnom planu. Godine 1999. reizabran je za asistenta na predmetima Primena računara u grafičkoj industriji i Tehnologija štampe. Doktorirao je 2002. godine na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju TMF. Godine 2003. izabran je u zvanje docenta na Katedri za grafičko inženjerstvo. Godine 2009. izabran je u zvanje izvanrednog profesora na Katedri za grafičko inženjerstvo, za uže znanstveno područje Inženjerstvo materijala. Godine 2014. ponovno je izabran u zvanje izvanrednog profesora na Katedri za grafičko inženjerstvo, za uže znanstveno područje Inženjerstvo materijala.

Od školske godine 2002./03. do 2006./07. predavao je na Grafičkom odseku Tehničkog fakulteta u Bitolju, Univerzitet Sveti Kliment Ohridski, predmete Reprofotografija i Štamparske forme.

U periodu 2008. – 2010. bio ovlašteni konzultant švicarskog grafičkog instituta UGRA za PSO certifikaciju. Posjeduje certifikate japanske tvrtke Screen za sustave za osvjetljavanje filma (od 2002.) i za termalne CtP sustave (od 2009., kao i tvrtke FUJI za violet CtP sustave.

Školske godine 2011./12. predavao je na PIM univerzitetu u Banjoj Luci predmete Štamparske forme i Reprodukciona tehnika. Od školske godine 2011./12. predaje je na Grafičkom fakultetu Univerziteta u Travniku predmete Štampanje i Kontrola kvaliteta, a od 2012./13. Tehnike štampanja i Grafički standardi.



Od školske godine 2012./13. predavao je na BLC-u u Banjoj Luci predmete Tehnologija štampe i štamparske forme, Organizacija grafičke proizvodnje, Grafički dizajn i Grafički materijali i tehnologije.

U periodu od 1991. do danas, u kojem se na TMF-u promijenilo pet nastavnih planova, sudjelovao je u održavanju nastave iz većeg broja predmeta. Trenutno je zadužen za predmete Upravljanje bojom u industriji ambalaže i Sistemi pakovanja na master akademskim studijima. Na osnovnim akademskim studijima zadužen je za predmete Osnovi grafičkog inženjerstva, Priprema za štampanje, Tehnike štampanja, Standardizacija i kvalitet u grafičkoj industriji.

Kao koautor s dr. Ristom Trajkovićem napisao udžbenik „Štampanje” (1998.), a s dr. Draganom Mitrakovićem i Sinišom Kukuljem pomoćni udžbenik „Korelbukvar” (1993.) za dio nastave iz predmeta Primena računara u grafičkoj industriji. Kao koautor s profesorom Trajkovićem napisao je udžbenik za višu školu „Tehnologija štampanja” (1997). Za sve predmete na kojima je bio angažiran od 2005. do danas osigurao je suvremen udžbenički materijal u elektroničkom obliku.

Dr. Predrag Živković je bio mentor u 18 diplomskih radova, pet master radova, dva završna rada, član vijeća za obranu 18 diplomskih radova i član vijeća za obranu dviju doktorskih disertacija.

U okviru svog znanstveno-istraživačkog rada dr. Predrag Živković je bio koautor: poglavlja u knjizi međunarodnog značaja ranga M11 i poglavlja u knjizi međunarodnog značaja ranga M12, 35 radova u međunarodnim časopisima (jedan iz kategorije M21a, šest iz kategorije M21, osam iz kategorije M22 i 21 iz kategorije M23), 15 radova u časopisima nacionalnog značaja, 15 priopćenja na znanstvenim skupovima međunarodnog značaja i 15 priopćenja na skupovima nacionalnog značaja. Sudjelovao je u realizaciji triju projekata osnovnih istraživanja i devet projekata suradnje s gospodarstvom.

Radovi dr. Predraga Živkovića su, prema Scopusu, u siječnju 2021., bez autocitata autora i koautora, bili citirani 288 puta ( $h = 11$ ).

Godine 2019. je izabran za izvanrednog profesora Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet.

Od 2006. godine kao član Organizacionog odbora, a od 2015. i kao član Naučnog odbora, aktivno sudjeluje u pripremi već tradicionalnog međunarodnog Simpozijuma CPAG (celuloza, papir, ambalaža i grafika). Bio je i član naučnog odbora III. Međunarodnog naučno-stručnog simpozija grafičkih tehnologija i dizajna GETID 2013.

Član je triju komisija pri Institutu za standardizaciju Srbije:

- KS H006 u području Celuloza, papir i karton;

- KS Z261-5 u području Ambalaža;
- KS H130 u području Grafička tehnologija.

Trenutno je zaposlen na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na Katedri za grafičko inženjerstvo, u zvanju izvanrednog profesora. Obavlja funkcije člana Komisije za stručnu praksu i šefa Katedre za Grafičko inženjerstvo.

Govori engleski i ruski, služi se njemačkim jezikom.

Oženjen je i otac je jednog djeteta.

*Mojoj obitelji, koja je imala razumijevanja i strpljenja.*

*Zahvaljujem mentorima na podršci, usmjeravanju i kontinuiranoj motivaciji.*

*Zahvaljujem svim članovima Povjerenstva koji su svojim sugestijama pridonijeli kvaliteti ovoga doktorskog rada.*

*Zahvaljujem dr. sc. Vladimiru Cviljušcu s Grafičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, koji je nesebično i s velikom predanošću sudjelovao u izradi originalnog programa ColorChanger.*

*Zahvaljujem Razvojno-istraživačkom centru grafičkog inženjerstva Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu na ustupljenoj opremi za tisak i spektrofotometrijska mjerenja uzoraka za testiranje.*

*Zahvaljujem Studiju „Avalon” iz Gradiške na ustupljenoj opremi, prostoru i vremenu za provođenje ispitivanja.*

*Isto tako zahvaljujem svim ispitanicima koji su odvojili svoje dragocjeno vrijeme za sudjelovanje u ispitivanju.*

## SAŽETAK

Percepcija boje kod humanog promatrača predstavlja subjektivni doživljaj, što otežava njenu kvantifikaciju i određivanje prihvatljivih tolerancija za odstupanje boje od referentne vrijednosti u bilo kojoj industrijskoj proizvodnji. U disertaciji je prikazana originalna metoda zasnovana na originalnom računalnom programu ColorChanger koja na jednostavan način omogućava da se pojedini ispitanik testira u pogledu percepcije razlika u boji te da se kvantitativno okarakterizira pokazateljima kao što su prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika. Testiranje se provodi na proizvoljno definiranom skupu boja, uz poštivanje uvjeta da se zadana boja može prikazati na korištenom kalibriranom zaslonu. Ispitaniku se na kalibriranom zaslonu prikazuje referentno i promjenjivo polje boje, a ispitanik reagira kada primijeti da se polja razlikuju i kada razlika postane neprihvatljivo velika. Na temelju odgovora ispitanika računalni program ColorChanger bilježi  $L^*a^*b^*$  koordinate promjenjivog polja na koje ispitanik reagira te se kvantitativno izražava odstupanje u boji pomoću odabrane jednadžbe za izračun  $\Delta E$ . Uspoređeni su rezultati ispitivanja dviju grupa ispitanika razvrstanih po spolu, od kojih je bilo 10 ženskih i 10 muških, za određeni skup od 24 boje. Utvrđeni su određeni trendovi koji se mogu pripisati pripadnosti određenoj spolnoj grupi. Sprovedeno je ocjenjivanje i rangiranje ispitanika u pogledu osjetljivosti za razlike u boji za pojedine boje i više odabranih boja. Pokazano je da se može odrediti prosječna vrijednost praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike ispitivane grupe za kompletan skup boja obuhvaćenih testiranjem. Prag osjetljivosti za 75 % ispitanika iz grupe iznosi  $\Delta E \leq 1,09$ . Jedva primjetna razlika za 75 % ispitanika iznosi  $\Delta E \leq 3,04$ . Neprihvatljiva razlika za 75 % ispitanika iznosi  $\Delta E \leq 5,82$ . U disertaciji je dokazano je da se rezultati testiranja ispitanika mogu primijeniti na situacije kada ispitanik promatra boje dobivene suptraktivnom sintezom u procesu tiskanja. Metodom opisanom u ovom radu može se kvantificirati  $\Delta E$  za bilo koju procesnu ili spotnu boju koja se može reproducirati u gamutu zaslona na kojem se provodi testiranje.

### **Ključne riječi:**

Percepcija boje, odstupanje u boji, osjetljivost promatrača, tolerancija.

## **ABSTRACT**

Perception of a color by a human observer is a subjective experience, making it difficult to quantify and determine acceptable tolerances for deviation of color from a reference value in any industrial production. This dissertation presents an original method based on the original computer program ColorChanger, which easily allows an individual subject to be tested for the perception of color differences and to be quantitatively characterized by indicators such as sensitivity threshold, barely noticeable difference and unacceptable difference. Testing is performed on an arbitrarily defined set of colors where the default color can be displayed on a calibrated screen. The subject is shown a reference and variable color field on a calibrated monitor, and the subject responds when he notices that the fields are different and when the difference becomes unacceptably large. Based on the subject's response, the computer program ColorChanger records the L \* a \* b \* coordinates of the variable field to which the subject responds and quantifies the color deviation using a selected equation to calculate  $\Delta E$ . It is determined that the test results of the subjects can be applied to situations when the subject observes the colors obtained by subtractive synthesis in the printing process. Using the method described in this paper, it is possible to quantify  $\Delta E$  for any spot color that can be reproduced in the gamut of the screen on which the test is performed. Respondents can be assessed and ranked in terms of sensitivity to color differences of individual colors or multiple selected colors according to any criteria (according to tone, brightness, contrast, position in the selected color space, color atlas, color chart, etc.)...

### **Methodology**

The system consists of a computer, an expanded gamut calibration monitor, a spectrophotometer with calibration software and originally developed software to carry out the test method. Software has the following functions:

- It allows the researcher to generate an initial set of reference colored fields, that will be shown to the subject during the experiment.
- It allows the researcher to adjust the conditions of the experiment (the size, spacing and background color of the reference and variable fields, the step of changing colors, the extent to which colors change, the speed at which colors change, the number of changes per second, to show fields randomly ...).

- It allows the researcher to define a data set for the respondent, which can include personal data of respondent, which can be important for future research. The first three functions are accomplished by creating a configuration file.
- It automatically registers the  $L^* a^* b^*$  values when the respondent reacts to the variable color field.
- It automatically calculates color difference  $\Delta E$  according to the selected equation (in this work the  $\Delta E^*_{00}$  was selected).
- At the end of the test the software automatically generates a table with  $L^* a^* b^*$  and  $\Delta E^*_{00}$  values of all fields, recorded when the respondent adjusts color of changeable field to be equal as reference field or confirms the slightest noticeable or unacceptable color difference between reference and changeable fields.

The procedure consists of two series of tests. In each series the two fields of known colorimetric values – the reference field and adjustable or changeable field are shown to respondent whose task is to react to color changes. The first test determines the threshold of the respondent's sensitivity to particular reference color. In the second test the respondent decides upon the slightest (barely visible) and the unacceptable difference in the coloring of the two fields. The software collects the data from the test and generates a table of an individual respondent's sensitivity to color difference.

#### Main results

The device and method are convenient for quantification of an individual observer's tolerance to color difference for one or more specific color. Since initial setting can be adjusted, this method can be used to test the color perception of a certain human observer to a particular color or a set of colors. A typical example for this is when manufacturer of a colored product and his client are trying to objectively determine color tolerance that is acceptable for both parties.

This method enables a constant check on the person responsible for choosing and evaluating the color, the person who makes final decision of acceptance or rejection of the product, for instance in printing, packaging, coating, automotive, chemical and many other industries.

In many aforementioned studies, it is assumed that a human observer's perception of color difference changes over time and is subject to many influences. Those changes for one particular respondent can be easily tracked by his re-testing under the same circumstances and using the same  $\Delta E$  formula for data processing.

This method offers tools to challenge the personalization of tolerance values to color difference sensitivity for each respondent. Of course, personalization will not directly influence color reproduction technologies, but it can cut some steps in it due to more strict tolerance values.

It has been shown that the average value of the sensitivity threshold, barely noticeable differences and unacceptable differences of the test group can be determined for the complete set of colors covered by the test. The sensitivity threshold for 75% of respondents in the group is  $\Delta E_{00} \leq 1.09$ . The barely noticeable difference for 75% of respondents is  $\Delta E_{00} \leq 3.04$ . An unacceptable difference for 75% of respondents is  $\Delta E_{00} \leq 5.82$ .

Certain trends have been identified that can be attributed to belonging to a particular gender group. The results have been obtained by testing two different gender groups: a group of ten male and a group of ten female subjects, who were asked to compare a specific set of 24 colour. Gender differences are not large, but there are still some statistically significant indicators that indicate the following:

- Women have a lower sensitivity threshold for 17% of colors, and men for 8% of colors.
- Women have a lower barely noticeable difference for 46% of colors.
- Women have a lower unacceptable difference for 13% of colors.

**Keywords:**

Color differences, color tolerance, human observer, evaluation.



# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>3</b>
1.1.1. Ciljevi istraživanja .....	3
1.1.2. Hipoteze.....	3
<b>1.2. OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. BOJA I SVJETLOST</b> .....	<b>5</b>
2.1.1. Spektralna raspodjela .....	7
2.1.2. Temperatura boje svjetlosnog izvora .....	8
2.1.3. Snaga izvora svjetlosti.....	9
<b>2.2. ATRIBUTI BOJA</b> .....	<b>9</b>
2.2.1. Povijesni razvoj danas prihvaćenih atributa boja.....	9
2.2.2. Uobičajene definicije atributa boja.....	12
2.2.2.1. <i>Nijansa</i> .....	12
2.2.2.2. <i>Osvjetljenost i svjetlina</i> .....	13
2.2.2.3. <i>Zasićenost, kroma</i> .....	13
2.2.3. Huntove postavke iz 1977. ....	14
<b>2.3. FAKTORI KOJI UTJEČU NA DOŽIVLJAJ BOJE</b> .....	<b>14</b>
2.3.1. Biološka reakcija na stimulaciju bojom .....	14
2.3.2. Kolektivna podsvijest.....	15
2.3.3. Osobno nesvjesno .....	15
2.3.4. Svjesna simbolika i asocijacija .....	15
2.3.5. Psihološki utjecaj.....	15
2.3.6. Utjecaj kulture i ponašanja .....	16
2.3.7. Trendovska moda i stil.....	16
2.3.8. Utjecaj osobnosti .....	16
<b>2.4. TEORIJE PERCEPCIJE BOJA</b> .....	<b>17</b>
2.4.1. Trikromatska teorija.....	17
2.4.2. Teorija oponentnih boja .....	18
2.4.3. Zonska teorija.....	19
<b>2.5. RAZLIKOVANJE BOJA – KOLIKO BOJA RAZLIKUJE HUMANI PROMATRAČ?</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6. SUSTAVI ZA OPISIVANJE BOJA – ATLASI BOJA</b> .....	<b>23</b>
2.6.1. Munsellov sustav za opisivanje boja .....	24
2.6.2. NCS sustav boja.....	26
2.6.3. OSA sustav boja .....	27
2.6.4. DIN sustav boja .....	28
<b>2.7. PROSTORI BOJA - MATEMATIČKI MODELI IZGLEDA BOJA</b> .....	<b>30</b>
2.7.1. CIE XYZ prostor boja .....	31
2.7.2. CIE xyY prostor boja.....	32
2.7.3. CIELAB prostor boja .....	35
<b>2.8. MJERENJE BOJE</b> .....	<b>36</b>

2.8.1. Instrumentalna kolorimetrija .....	37
2.8.2. Vizualni kolorimetar .....	38
2.8.3. Uporaba osobnog računala kao vizualnog kolorimetra .....	40
2.8.4. Uporaba osobnog računala za usporedbu razlika u boji .....	41
2.9. KOLORIMETRIJSKE RAZLIKE .....	42
2.10. PSIHOFIZIKA .....	46
2.10.1. Osnove psihofizike .....	47
2.10.2. Psihofizičke metode .....	51
2.10.2.1. Metoda podešavanja .....	52
2.10.2.2. Metoda limita .....	52
2.10.2.3. Metoda konstantnih stimulusa .....	53
2.10.3. Psihofizičke tehnike .....	54
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	56
3.1. PLAN EKSPERIMENTA .....	56
3.2. TIJEK ISPITIVANJA POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER .....	58
3.3. OPREMA .....	60
3.4. PROGRAM COLORCHANGER .....	61
3.4.1. Podešavanje programa .....	61
3.4.2. Način rada programa tijekom prikazivanja boja na zaslonu .....	63
3.4.3. Struktura rezultata .....	67
3.5. ODABIR TESTNIH POLJA .....	69
3.6. USPOREDBA REZULTATA TESTIRANJA POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER I S OTISKA NA PAPIRU .....	70
3.6.1. Kreiranje i tiskanje testnih polja .....	72
3.6.2. Spektrofotometrijsko mjerenje otisnutih polja .....	73
3.6.3. Provođenje testa s tiskanim poljima .....	73
4. REZULTATI I DISKUSIJA .....	74
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA PRAGA OSJETLJIVOSTI .....	76
4.1.1. Distribucija vrijednosti praga osjetljivosti po ispitanicima .....	76
4.1.2. Prag osjetljivosti prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama) .....	77
4.1.3. Disperzija rezultata ispitivanja praga osjetljivosti svih ispitanika po pojedinim bojama .....	79
4.1.4. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje praga osjetljivosti prema spolu (pojedinačno po bojama) .....	80
4.1.5. Ocjena ispitanika prema vrijednosti praga osjetljivosti .....	82
4.1.5.1. Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom .....	83
4.1.5.2. Ocjena ispitanika prema vrijednosti praga osjetljivosti za pojedine boje .....	84
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA JEDVA PRIMJETNE RAZLIKE .....	85
4.2.1. Distribucija vrijednosti jedva primjetne razlike po ispitanicima .....	85
4.2.2. Jedva primjetna razlika prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama) .....	86
4.2.3. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za jedva primjetnu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama .....	88
4.2.4. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje jedva primjetne razlike prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama) .....	90
4.2.5. Ocjena ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike .....	91
4.2.5.1. Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti jedva primjetne razlike za sve ispitivane boje obuhvaćene ovim testom .....	91
4.2.5.2. Ocjena ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike za pojedine boje .....	93
4.3. REZULTATI ODREĐIVANJA NEPRIHVATLJIVE RAZLIKE .....	94
4.3.1. Distribucija vrijednosti neprihvatljive razlike po ispitanicima .....	94
4.3.2. Neprihvatljiva razlika po spolu (pojedinačno po bojama) .....	95

4.3.3.	Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za neprihvatljivu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama.....	96
4.3.4.	Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje neprihvatljive razlike po spolu (pojedinačno po bojama).....	98
4.3.5.	Ocjena ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike .....	99
4.3.5.1.	<i>Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti neprihvatljive razlike za sve ispitivane boje obuhvaćene ovim testom .....</i>	<i>99</i>
4.3.5.2.	<i>Ocjena ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike za pojedine boje .....</i>	<i>100</i>
4.4.	<b>PREGLED USPOREDBE REZULTATA ZA PRAG OSJETLJIVOSTI, JEDVA PRIMJETNU RAZLIKU I NEPRIHVATLJIVU RAZLIKU U BOJI .....</b>	<b>101</b>
4.4.1.	Disperzija ukupnih rezultata ispitivanja tolerancije svih ispitanika u odnosu na prosjek.....	101
4.4.2.	Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije (prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika, neprihvatljiva razlika) svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama .....	103
4.4.3.	Prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika u boji prema spolu ispitanika.....	105
4.4.4.	Povezanost vremena izvršenja danog dijela zadatka s pragom osjetljivosti, jedva primjetnom razlikom i neprihvatljivom razlikom .....	105
4.4.5.	Vrijeme rješavanja pojedinačnih zadataka prema spolu .....	106
4.5.	<b>PONOVLJIVOST REZULTATA TESTIRANJA .....</b>	<b>106</b>
4.5.1.	Ponovljivost testiranja – prag osjetljivosti .....	106
4.5.2.	Ponovljivost testiranja – jedva primjetna razlika .....	108
4.5.3.	Ponovljivost testiranja – neprihvatljiva razlika .....	110
4.6.	<b>USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER I TISKANIH POLJA NA PAPIRU .....</b>	<b>113</b>
5.	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>114</b>
5.1.1.	Znanstveni doprinos disertacije .....	116
5.1.2.	Smjerovi budućih istraživanja .....	116
6.	<b>REFERENCE .....</b>	<b>117</b>
7.	<b>PRILOZI.....</b>	<b>125</b>
7.1.	POPIS TABLICA .....	125
7.2.	POPIS SLIKA .....	128
7.3.	PRILOG A.....	130
8.	<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>136</b>

## 1. UVOD

Danas široko prihvaćen sustav za kvantitativno opisivanje boja CIELAB temelji se na teoriji komplementarnih boja te je nastao kubnom transformacijom CIE tristimulusnih vrijednosti. U kvantifikaciji boje, koja predstavlja subjektivni doživljaj promatrača, i dalje su prisutni neki problemi. Prostor boja nije jedinstven, pa tako odstupanje u boji izraženo određenom vrijednošću  $\Delta E$  nekom promatraču u jednom dijelu prostora boja može biti prihvatljivo, a u drugom ne. Kako je promatrač subjektivna kategorija, dva promatrača mogu isto odstupanje u boji doživjeti na različite načine, te je jednom prihvatljivo, a drugom ne.

U dosadašnjem kvantitativnom pristupu iskazivanja razlike u boji upotrebljavaju se spektralne tristimulusne vrijednosti –  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  i  $z(\lambda)$ , koje su definirane za prosječnog promatrača bez obzira na starosnu dob, spol, profesiju, životno okruženje i sl. U psihofizičkom smislu, za opisivanje razlike u boji ili same boje mogu biti važne i specifičnosti koje nose grupe ili pojedinci.

U brojnim granama industrije pitanje odstupanja boje od zadanog standarda je od kritične važnosti da bi klijent prihvatio proizvod (tiskani proizvodi, ambalaža, fasadni premazi, tekstil, obojene plastične mase, metalni premazi). Danas se boja može mjeriti relativno jednostavno. Suvremeni spektrofotometri su mali, prijenosni, brzi, točni i precizni instrumenti koji daju mnoštvo podataka o boji, uključujući i podatak o odstupanju boje od reference ili standarda. Međutim, u praksi se javljaju problemi tumačenja brojčanih vrijednosti za odstupanje u boji.

Ne postoji jedinstveni stav o tome kolika je vrijednost  $\Delta E$  prihvatljiva, već to ovisi o mnoštvu činitelja. Npr. u ISO standardu 12647-6 za fleksotisak dopušteno odstupanje za primarne boje iznosi  $\Delta E = 8$ , a za ofset tisak u ISO standardu 12647-2 dopušteno odstupanje za primarne boje iznosi  $\Delta E = 3,5$ .

Schapfler 1993. godine definira tablicu za ocjenjivanje razlika u boji  $\Delta E$  [1]. Klasifikacija ocjene razlika u boji prikazana u Tablici. 1.1 vrijedi za prosječnog promatrača za bilo koju boju. Intervali tolerancija prikazanih u tablici ne prikazuju precizno osjećaj za razlike u boji jednog promatrača/ispitanika niti specifično po bojama.

Tablica. 1.1. Klasifikacija kolorimetrijskih razlika.

$\Delta E < 0,2$	Razlika se ne vidi
$0,2 < \Delta E < 1$	Razlika se primjećuje
$1 < \Delta E < 3$	Razlika se vidi
$3 < \Delta E < 6$	Razlika se dobro vidi
$6 < \Delta E$	Očigledno odstupanje

Različiti ljudi s normalnim vidom mogu istu boju vidjeti drukčije. Isto tako, dva različita promatrača mogu različito reagirati na isto odstupanje u boji. Čak i isti promatrač može različito reagirati na ista odstupanja u boji, ovisno o umoru ili raspoloženju.

Postojeći modeli boja nisu istoznačni. Zbog toga odstupanje u boji izraženo istim kvantitativnim pokazateljem, vrijednošću  $\Delta E$ , promatrač može u različitim dijelovima tako opisanog prostora boja drukčije doživjeti te mu negdje može biti prihvatljivo, a negdje ne. [2]

U okviru rada definiran je postupak za ispitivanje osjetljivosti promatrača na različita odstupanja u boji u različitim dijelovima prostora boja.

U okviru rada će se na originalno koncipiranom sustavu ispitivati osjetljivost pojedinog promatrača na odstupanje u boji. Na kalibriranom će se monitoru ispitanicima prikazivati referentno polje i polje kojemu se na neki način mijenja boja, a oni će nakon što uoče razliku u boji reagirati preko tipkovnice. Softver razvijen u okviru ovog rada automatski će registrirati  $L^*a^*b^*$  vrijednosti promjenjivog polja boje i na kraju testa za konkretnog ispitanika generirati mapu osjetljivosti i tolerancije na odstupanje u boji u čitavom prostoru boja. Na temelju odgovora većeg broja ispitanika izradit će se mapa koja pokazuje percepciju prosječnog promatrača određene grupe.

Ovim će se radom stvoriti preduvjet za mapiranje osjećaja za boju slično MacAdamovim elipsama, ali s razlikom što krajnji cilj nije definiranje standardnog promatrača, već mapiranje osjećaja za boju pojedinca ili mapiranje osjećaja ciljne grupe. U ovom će se radu istražiti divergencija tolerancija za razlike u boji. Samim time će se stvoriti novi prostor za personalizaciju procjene boje grafičkih rješenja, bilo da se radi o prikazu na monitoru ili otisku ili proizvodima drugih industrija.

Na ovaj je način dobivena metoda koja pomaže da se prije sklapanja dogovora o nekom poslu gdje je boja, odnosno podudarnost dobivene boje sa zadanom, jedan od kritičnih parametara kvalitete, utvrde kvantitativni pokazatelji dopuštenih tolerancija u odstupanju u boji  $\Delta E$  za konkretnog promatrača. Time se izbjegava mogući nesporazum između naručitelja i izvođača posla.

Ovim se pristupom pridonosi tumačenju mjerenih rezultata odstupanja u boji tako što postoji mogućnost karakterizacije pojedinca i njegove tolerancije za odstupanje u boji. Na taj

se način personalizira tolerancija prema pojedincu koji odlučuje o najvećem dopuštenom odstupanju boje.

Pregledom dosadašnjih istraživanja vezanih za kolorimetrijske razlike  $\Delta E$  ukazala se potreba za dopunom i proširenjem spoznaja vezanih za određivanje i tumačenje vrijednosti tolerancije  $\Delta E$ .

Disertacija je podijeljena u dvije cjeline: teorijski dio i eksperimentalni dio. U teorijskom dijelu bit će objašnjena osnovna polazišta na kojima se temelji eksperimentalni dio.

Eksperimentalni dio disertacije opisuje metodologiju istraživanja. Opisan je originalni softver, kao i metoda kojom se provodi karakterizacija humanog promatrača na razlike u boji.

## **1.1. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA**

### **1.1.1. Ciljevi istraživanja**

1. Razviti praktičnu metodu za određivanje praga osjetljivosti i tolerancije pojedinca na odstupanje u boji za pojedinačne boje, dio ili cijeli prostor boja.

2. Okarakterizirati pojedinog promatrača u pogledu njegove osjetljivosti i tolerancija na odstupanje u boji.

3. Otkriti pravilnosti u percepciji odstupanja u boji među promatračima koje povezuju neke zajedničke karakteristike grupe.

Krajnji ishod rada je određivanje metode koja će u praksi omogućiti definiranje tolerancije za odstupanje boje konačnog proizvoda od referentne vrijednosti koja će biti prihvatljiva i za naručitelja posla i za proizvođača.

### **1.1.2. Hipoteze**

1. Opisanom metodom može se odrediti vrijednost  $\Delta E$  koju promatrač prihvaća za bilo koju konkretnu boju prikazanu aditivnom sintezom boja.

2. Rezultati dobiveni opisanom metodom mogu se, pod određenim uvjetima, primijeniti na ocjenu percepcije razlike boja dobivenih suptraktivnom sintezom.

3. Opisanom metodom može se utvrditi postoje li pravilnosti u percepciji odstupanja u boji  $\Delta E$  među promatračima koje se mogu utvrditi i uzeti kao smjernice u dizajnu i reprodukciji grafičkih rješenja.

## **1.2. OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS**

1. Razvoj nove metode za određivanje praga osjetljivosti i tolerancije pojedinca na odstupanje u boji za jednu boju i prostor boja;
2. Definiranje parametara pojedinog promatrača u pogledu njegove osjetljivosti i tolerancija na odstupanje u boji.
3. Determinacija pravilnosti u percepciji odstupanja u boji među promatračima koje povezuju neke zajedničke karakteristike grupe.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. BOJA I SVJETLOST

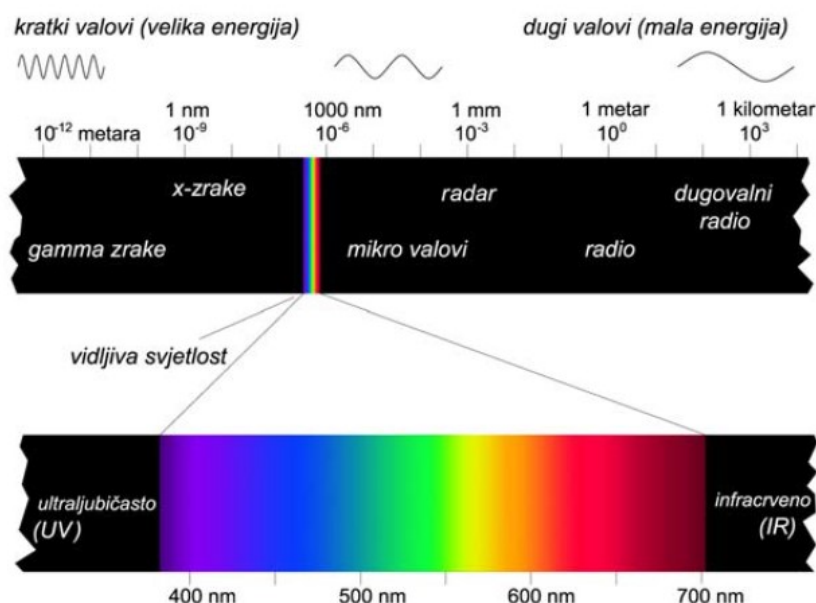
Prema definiciji CIE iz 1987. godine boja je svojstvo vizualne percepcije koje se sastoji od bilo koje kombinacije kromatskog i akromatskog sadržaja [3] [4].

Sharma u svojoj knjizi (*Digital Color Imaging Handbook*) iz 2002. godine navodi da percipirana boja ovisi o spektralnoj distribuciji bojenog stimulusa, veličini, obliku, strukturi i okruženju stimulusa. Ovisi o adaptaciji vizualnog sustava promatrača, njegovom prevladavajućem iskustvu vezanom za sličnu pojavnost stimulusa [4] [5].

Boja predstavlja fiziološku kategoriju, odnosno doživljaj koji nastaje u centru za vid u kori velikog mozga humanog promatrača.

Da bi se ostvarila vizualna percepcija, moraju se ispuniti tri uvjeta koji su u međusobnoj interakciji. Tri uvjeta su prisutnost izvora svjetlosti, objekta promatranja i humanog promatrača.

Svjetlost je složeni elektromagnetski proces koji ima kako valna, tako i čestična (korpuskularna) svojstva. Valna i korpuskularna teorija se ne isključuju, već dopunjuju jedna drugu, te svjetlost ima dualističku prirodu. Vidljiva svjetlost predstavlja dio spektra elektromagnetskog zračenja koji je vidljiv ljudskom oku. Osim vidljivog zračenja (svjetlost), elektromagnetski spektar sastoji se i od gama zračenja, rendgenskog zračenja, ultraljubičastog zračenja, infracrvenog zračenja, mikrovalnog zračenja i radiovalova. U elektromagnetskom spektru čovjeku vidljiva svjetlost zauzima veoma mali dio (Slika 2.1.).



Slika 2.1. Spektar elektromagnetskih valova i vidljivog dijela spektra [6].



Pojave kao što su difrakcija, interferencija i polarizacija posljedice su valne prirode svjetlosti, a fotoelektrični efekt, luminiscencija i atomski spektri su posljedica korpuskularne prirode svjetlosti. Ljudsko oko razlikuje pojedine frekvencije kao zasebne boje. Iz tradicionalnih razloga, umjesto frekvencije se za klasifikaciju boja upotrebljavaju valne duljine svjetlosti u zraku (koje su približno jednake onima u vakuumu), Tablica 2.1.

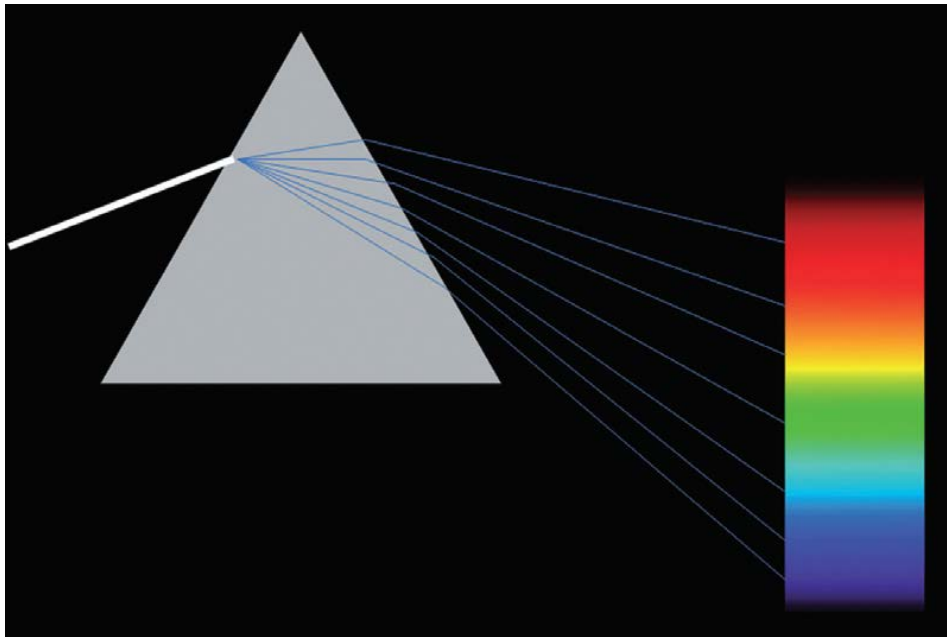
Tablica 2.1. Valne duljine monokromatske svjetlosti koja se percipira kao različite boje.

Boje	Raspon valnih duljina (nm)
Ljubičasta	380 – 440
Indigo plava	440 – 460
Plava	460 – 510
Zelena	510 – 560
Žuta	560 – 610
Narančasta	610 – 660
Crvena	660 – 760

Treba imati na umu da bi svjetlosna zraka određene frekvencije  $\nu$  pri prelasku iz zraka (vakuumu) u neku optički gušću sredinu promijenila valnu duljinu  $\lambda$ , dok bi njezina frekvencija ostala ista budući da izvor zračenja definira frekvenciju, a valna duljina ovisi o odnosu brzine prostiranja svjetlosti u danoj sredini  $v_v$  i frekvenciji vala  $\nu$  ( $\lambda = v_v / \nu$ ).

Vrsta interakcije ovisi o sastavu spektralne emisije izvora svjetlosti i molekularnom sastavu materijala objekta koji selektivno reflektira ili propušta svjetlost koja na njega pada. Na taj način se modificirana svjetlost skuplja preko promatračeva oka i interpretira u mozgu kao doživljaj boje.

Sunce kao prirodni izvor svjetla emitira velik broj valnih duljina, dok je ljudsko oko osjetljivo na manji broj valnih duljina, i to u rasponu od 380 do 740 nm. Ako se podjednako emitiraju sve valne duljine, govori se o bijeloj svjetlosti, koja se kroz prizmu (Slika 2.2.) može razložiti na sve boje vidljivog dijela spektra. Sir Isaac Newton je prvi konstruirao staklenu optičku prizmu pomoću koje je iz bijele svjetlosti prelamanjem svjetlosti dobio spektar boja [7]. Vidljivi dio spektra može se podijeliti na tri dijela: plavu, zelenu i crvenu.

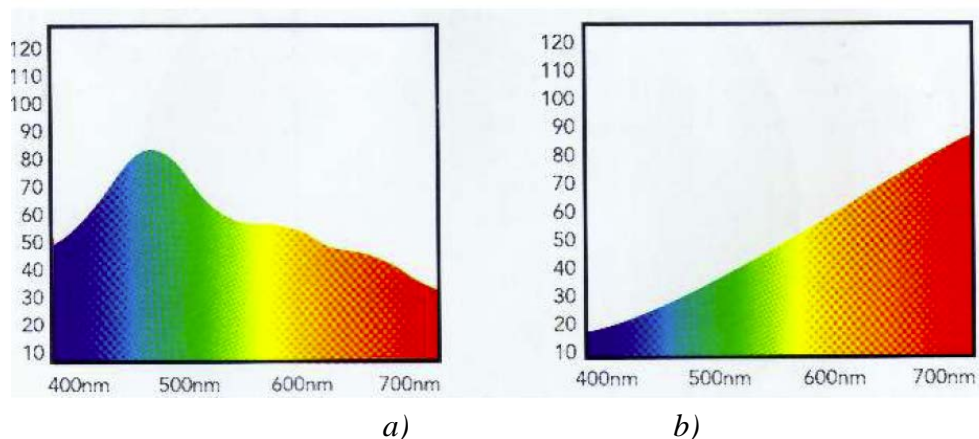


Slika 2.2. Shematski prikaz uskog snopa dnevnog svjetla koji prolazi kroz prizmu i razdvaja se na sve boje vidljivog dijela spektra [8].

Osnovne karakteristike izvora svjetlosti su: spektralna raspodjela, temperatura svjetlosti i snaga izvora svjetlosti.

### 2.1.1. Spektralna raspodjela

Krivulja spektralne raspodjele svjetlosti dobiva se mjerenjem relativnog intenziteta zračenja svjetlosnog izvora po valnim duljinama i predstavlja precizan opis spektralnog sastava svjetlosti. Na primjeru a) i b) sa Slike 2.3. vide se različiti spektralni sastavi dvaju izvora svjetlosti.



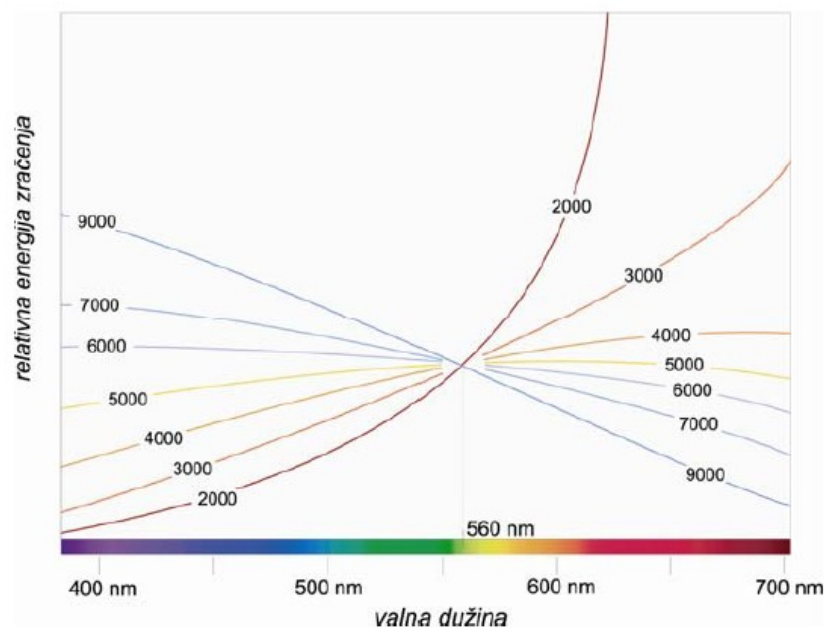
Slika 2.3. Spektralni sastavi dvaju izvora svjetlosti: a) dnevna svjetlost; b) žarulja.

Na prvom primjeru spektralne raspodjele krivuljom su prikazana nešto jača emitiranja u području plave boje, što je karakteristično za prirodne izvore svjetlosti, dok je na drugom

primjeru vidljivo jače emitiranje u crvenom području, što je karakteristično za umjetno osvjetljenje s užarenim volframovim vlaknom.

### 2.1.2. Temperatura boje svjetlosnog izvora

Temperatura boje svjetlosnog izvora definira se kao apsolutna temperatura apsolutno crnog tijela na kojoj ono emitira svjetlost istog spektralnog sastava kao i promatrani izvor svjetlosti. Spektralne emisije različitih temperatura idealnog crnog tijela u vidljivom dijelu spektra, normalizirane tako da sve imaju jednaku vrijednost kod valne duljine 560 nm prikazane su na Slici 2.4.



Slika 2.4. Spektralne emisije različitih temperatura idealnog crnog tijela [6].

Apsolutno crno tijelo ne reflektira ništa od svjetlosti koja padne na njega (totalna apsorpcija), a zbog svoje zagrijanosti emitira (zrači) svjetlost. Planckov zakon opisuje intenzitet zračenja idealnog crnog tijela, ovisno o temperaturi za sve frekvencije elektromagnetskog zračenja [9] [10].

Međunarodna komisija za osvjetljenje definirala je nekoliko standardnih osvjetljivača, odnosno funkcija distribucije spektralne emisije, prema temperaturi boje. To su:

- CIE A: odgovara kućnoj žarulji s užarenim vlaknom od tungstena, 2856 K
- B: odgovara direktnoj Sunčevoj svjetlosti u podne, 4874 K
- C: odgovara indirektnoj Sunčevoj svjetlosti na sjevernoj hemisferi, 6774 K
- D: odgovara različitim dnevnim svjetlostima, ovisno o navedenoj temperaturi

- D50 – 5003 K (svjetlost horizonta u svitanje ili zalazak sunca); D55 – 5503 K (srednje jutarnje ili popodnevno svjetlo); D65 – 6504 K (srednja podnevna svjetlost); D75 – 7504 K (dnevna svjetlost po oblačnom danu); obično se upotrebljavaju u grafičkoj industriji kao izvori svjetlosti za promatranje otisaka i originala u grafičkoj industriji.
- F2: hladna fluorescentna lampa, 4200 K
- F7: širokopojasna fluorescentna lampa koja daje dnevnu svjetlost, 6500 K
- F11: uskopojasna bijela fluorescentna lampa, 4000 K.

### 2.1.3. Snaga izvora svjetlosti

Snaga izvora svjetlosti predstavlja energiju koju izvor svjetlosti emitira u jedinici vremena. Može se izraziti u energetske jedinicama ( $W = J / s$ ) ili kao svjetlosni fluks koji se izražava svjetlosnim jedinicama, lumenima. Svjetlosni fluks je jednak proizvodu intenziteta svjetlosnog izvora i prostornog kuta kroz koji se emitira svjetlost.

## 2.2. ATRIBUTI BOJA

### 2.2.1. Povijesni razvoj danas prihvaćenih atributa boja

Neovisno o načinu stvaranja doživljaja konkretne boje, svaka boja posjeduje inherentne karakteristike, odnosno atribute.

Ideja o atributima boja razvijala se sporo, čak i stari Grci o kromatskim atributima boja nisu imali jasnu predodžbu. Poznati su im bili samo pojmovi svijetlog, tamnog i nijanse.

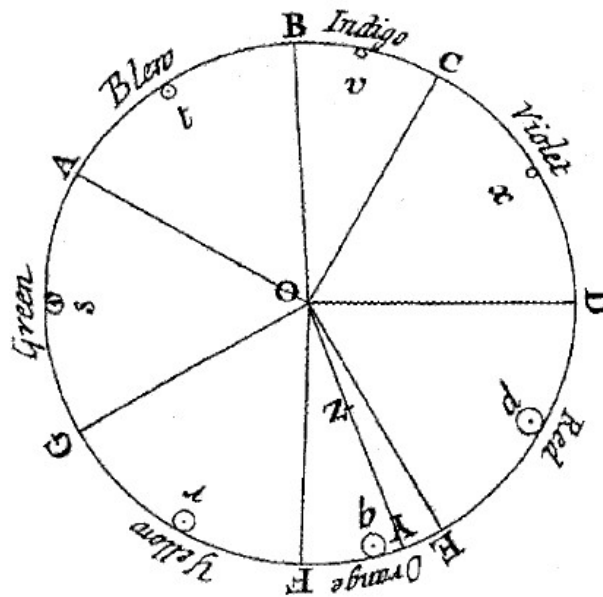
Filozofi su pravili jednostavne linearne ljestvice boja koje u početku nisu imale vidljiv red, nešto kasnije su ih redali po svjetlini. Nije se težilo formiranju spektra redanjem boja po tonovima.

U Aristotelovoj ljestvici boja prije žute dolazi bijela, a iza žute grimizna, ljubičasta, zelena i plava, a potom crna. Petobojna Kalcidiusova ljestvica u svom centru ima crvenu i njen redoslijed je: bijela, žuta, crvena, plava, crna.

U 12. stoljeću umjetnici su zaključili da čiste boje imaju svoje tamnije i svjetlije nijanse. Pun raspon tonaliteta boja neki umjetnici su počeli proučavati zato da izbjegnu stanovitu drečavost koja nastaje kad se slika čistim kromatskim pigmentima. Glavni među njima bio je Leonardo da Vinci, koji je razvio *sfumato* (zadimljeni) stil slikanja, a neki povjesničari umjetnosti smatraju da je prvi uvidio razliku između svjetline i zasićenosti [11].

Pojam zasićenost kao osobinu boja iz spektra prvi put spominje Newton. Pojam je zasnovan na njegovim eksperimentima s preklapanjima svjetlosnih zraka različitih valnih duljina. Newton je točke na radijalnoj liniji svog dijagrama opisao kao indikativne boje

„proporcionalne punoći ili jačini boje iz prizme, što znači njenoj udaljenosti od bjeline” (Slika 2.5.)

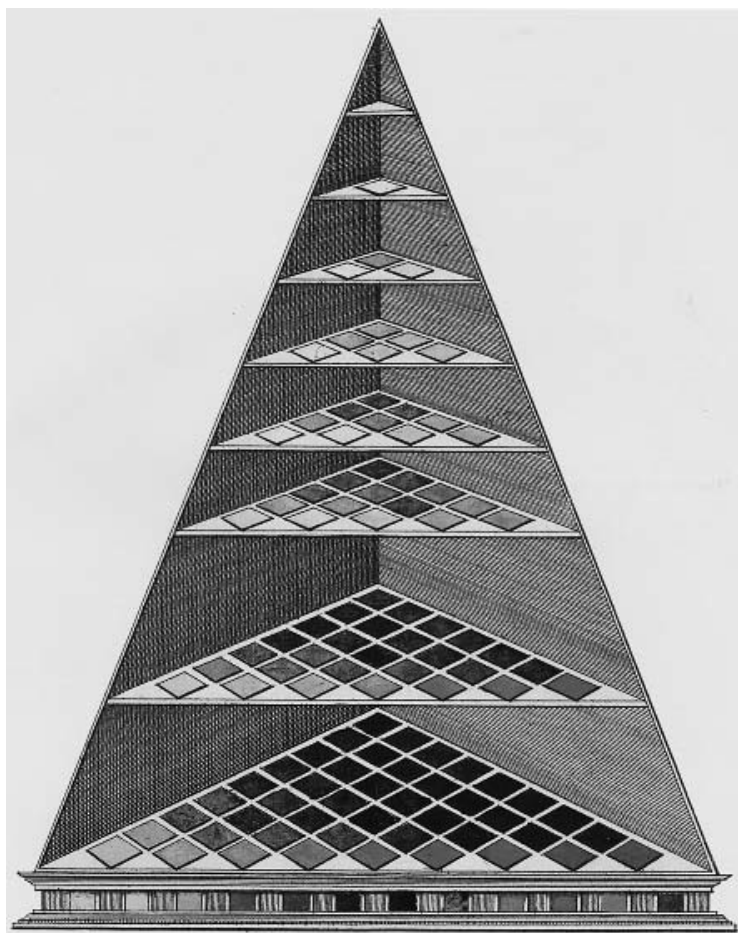


Slika 2.5. Newtonov krug boja, 1704 [11].

Newton je razlikovao sedam primarnih i beskonačan broj miješanih boja. On je svjetlinu boja opisao na takav način da se sive i sivosmeđe boje mogu dobiti miješanjem crne i bijele, koje se od savršene bijele ne razlikuju po boji, nego samo po svjetlini. Po prvi put se spominje da na našu percepciju boja utječe treći atribut, svjetlina.

Mayer je sredinom 18. stoljeća razvio prvi plan za trodimenzionalni prikaz sustava boja. U njegovoj trokutastoj piramidi boje su, idući od površine prema unutrašnjosti piramide, sve zasićenije [12].

Ni Lambert nije poznao zasićenost ili obojenost kao poseban atribut neke boje, iako se iz njegove piramide to može vidjeti (Slika 2.6.). Najniža razina sadrži 45 boja, dok više razine sadrže manji broj boja s porastom svjetline, završavajući s bijelom na vrhu piramide. Crna se nalazi na najnižoj razini [11].



Slika 2.6. Prikaz Lambertove piramide u boji, 1772 [11].

Slikar Runge je dao jasno objašnjenje pojma zasićenosti, samo što nije upotrebljavao taj termin. Runge je shvatio da se zasićenost neke čiste boje može smanjiti dodatkom njene komplementarne boje. Kad čistoj zelenoj boji, koja je produkt žute i plave, dodamo malu količinu crvene, ona prelazi u smeđu ili sivu [13].

Grassmann je Newtonovom dijagramu dodao matematičku osnovu koja se temelji na Helmholtzovim i Maxwellovim idejama o tri fundamentalna procesa bojenja. On također po prvi put eksplicitno spominje tri atributa čija kombinacija formira našu percepciju neke boje: „I napokon, ako promatramo svjetlost koja se odbija s neke proizvoljne kompozicije, naše oko u njoj može zapaziti samo ova tri spomenuta atributa. Drugim riječima, bilo koji dojam koji na oko ostavlja neka svjetlost može se imitirati miješanjem neke homogene boje određenog intenziteta s bijelom svjetlošću odgovarajućeg intenziteta. Stoga trebamo razlikovati tri stvari kod svakog našeg dojma o boji: intenzitet boje, nijansu i intenzitet prisutne bezbojne svjetlosti [14]. Grassmann je dao i opću vezu između opažajnih atributa boja i fizičkih veličina koje su za njih vezane.

U Heringovu sustavu [15] čiste boje se nalaze svaka na jednom vrhu jednakostraničnih trokuta. Ostale boje u svakom trokutu sastoje se od sive ljestvice i od zasjenjenih (*verhüllte*) boja iste nijanse kao i čista boja. Hering nikad nije eksplicitno objasnio kako se svjetlina kao poseban atribut treba uklopiti u njegov „sustav prirodnih boja”. Po Heringu, svaka se boja može opisati kao rezultat crne, bijele i jedne ili dviju primarnih boja. Tako da su u većini slučajeva boje imale četiri atributa. Npr. za smeđu, to su udio žute, udio crvene, udio bijele i udio crne. Hering nije upotrebljavao izraz zasićenost. On je boje s „podjednako jakim zasjenjenjem (*verhüllte*)” definirao kao boje koje sadrže isti omjer od čiste do totalne boje.

Godine 1917. psiholog C. Stumpf je potpuno odbacio termin zasićenost kao atribut boje, smatrajući ga kognitivnom apstrakcijom koja ovisi o tome kako mi neku boju vidimo u odnosu na našu predodžbu idealne [11].

Munsell se, pokušavajući razviti neko pogodno nastavno sredstvo, prvi oslonio na jednu novu formu sfere boja koju je sam razvio 1898. godine. Munsell je studirao umjetnost u Parizu oko 1880. i za izraz svjetlina se odlučio pod utjecajem francuskog izraza *valeur* u slikanju tonovima. Grčki izraz *chroma* (površinski sloj, boja) je također bio široko rasprostranjen termin za boju u francuskoj umjetničkoj literaturi. Munsell je svoja tri atributa boja, koji se u principu podudaraju s Helmholtzovim, stoga nazvao nijansa, vrijednost i *chroma*. Njegova ljestvica vrijednosti sastoji se od deset koraka [11].

Ostwald je u svom sustavu odbacio pojam svjetline kao atributa i preuzeo Heringovu teoriju o sadržaju crne, bijele i jedne ili dviju čistih boja. Ali je za razliku od Heringa, svoj krug nijansi bazirao na tri primarne boje – žutoj, crvenoj i plavoj [16]. Boje objekata definirao je kao rezultat naše percepcije čiste boje i naše percepcije bijele i crne.

### **2.2.2. Uobičajene definicije atributa boja**

Gunter Wyszecki u svom radu iz 1981. godine zapaža da su tri Munsellova psihološka atributa koji su postali općeprihvaćeni kad se radi o bojama objekata dovoljni da bi promatrač s normalnim vidom i sposobnošću opažanja boja neku boju doživio kao prevladavajuću. On je ta tri atributa nazvao nijansa, svjetlina i kromatičnost [17].

#### **2.2.2.1. Nijansa**

Termin nijansa definira se kao onaj atribut vizualne percepcije na temelju kojeg se neka površina doživljava kao slična crvenoj, žutoj, zelenoj ili plavoj ili kombinaciji dviju od tih boja iz zatvorenog kruga [4]. Prema ovoj definiciji nijansa je ona promjenjiva veličina čiju promjenu možemo pratiti u Munsellovom krugu boja ili nekom drugom prihvatljivom krugu boja.

### 2.2.2.2. *Osvijetljenost i svjetlina*

Svjetlina je atribut vezan za osvijetljenost, a definicija joj je: „onaj atribut vizualne percepcije zbog kojeg se čini da neka površina emitira ili reflektira više ili manje svjetlosti” [4]. Osvijetljenost se općenito smatra osobinom izvora svjetlosti, tako da se svjetlina može definirati kao „osvijetljenost neke površine u odnosu na osvijetljenost slične površine koju čovjek opaža kao bijelu”. Tako se svjetlina može nazvati i relativnom osvjetljenošću, koja se generalno odnosi na boje objekata (a ne na boje svjetlosnih zraka).

Osvijetljenost u fizičkom smislu predstavlja odnos svjetlosnog fluksa i površine na koju on pada. Prema Lambertovom kosinusnom zakonu, osvijetljenost se može izraziti kao odnos proizvoda jačine svjetlosnog izvora i kosinusa kuta između pravca prostiranja svjetlosnih zraka i normale na površinu, podijeljen s kvadratom rastojanja između svjetlosnog izvora i površine.

### 2.2.2.3. *Zasićenost, kroma*

Helmholtzova *Sättigung*, ili saturacija, je atribut vizualnog podražaja koji omogućava procjenu koliko čiste kromatske boje ima u nekom podražaju [4].

Termin kroma usko je vezan za Munsellov istoimeni termin i odnosi se na „atribut vizualnog podražaja koji omogućava procjenu koliko čiste kromatske boje negdje ima, neovisno o količini akromatske boje. Ista definicija, samo drukčije formulirana, glasi: „atribut boje koji pokazuje stupanj odstupanja te boje od sive iste svjetline” [18]. Zasićenost se može vezati za pojam nazvan obojenost – analogno povezanosti svjetline i osvjetljenosti, jer na zasićenost ne utječu ni osvjetljenost ni svjetlina. A na kromu da – ona se povećava sa svjetlinom.

Iz navedenog se može uvidjeti da je pojam krome teško shvatljiv. Kao pojam jasno je definiran u posljednjih stotinjak godina. U narodnoj psihologiji nema termina koji bi mu odgovarao. Empirijski dokaz ovog autora zasnovan na više od stotinu neobučениh promatrača koji su trebali poslagati Munsellove kartice iste nijanse u Munsellov model vrijednost/kroma pokazao je da je mnogima bilo prilično teško to učiniti jer im nije bila jasna razlika između krome i svjetline.

Jedno nedavno istraživanje potvrdilo je da je mnogo teže procijeniti razliku između boja koje se razlikuju samo po kromi nego između onih koje se razlikuju po svjetlini ili nijansi [19].



### **2.2.3. Huntove postavke iz 1977.**

Godine 1977. R. W. G. Hunt [20] predložio je novu sustavnu terminologiju za opis atributa boja, i to na četiri razine:

1. Razina percepcije (psihološki)
2. Psihofizička razina (vezana za podražaj)
3. Psihometrijska razina (ljestvice intervala)
4. Psihokvantitativna razina (ljestvice proporcija)

U pojmove koji opisuju percepciju spadaju osvijetljenost, svjetlina, nijansa, zasićenost i uočena kroma.

Psihometrijskim terminima dodaje se ispred modifikator 'metrički', a psihokvantitativnim 'kvantitativni'. Psihokvantitativni termini su kontroverzni zbog mnoštva problema filozofske prirode koji ih okružuju.

Hunt je također predložio reviziju termina kroma i uveo novi atribut boje: obojenost/punoća boje, i definirao ga kao „atribut vizualnog podražaja zahvaljujući kojem boja neke površine izgleda više ili manje kromatično”. Obojenost se odnosi na kromatsku jačinu koju čovjek opaža neovisno o jačini podražaja. Hunt je na primjer upotrijebio kazališna svjetla različitog intenziteta da nam približi termin obojenost.

Predložio je da definicija opažene krome bude da je to količina kromatske boje koju u sličnim bojama čovjek opaža proporcionalno prosječnoj osvijetljenosti okoline. Njegovi prijedlozi metričke nijanse i metričke krome su isti kao, npr. oni u CIELAB formulama.

## **2.3. FAKTORI KOJI UTJEČU NA DOŽIVLJAJ BOJE**

Meerwein, Rodeck i Mahnke pretpostavljaju da na doživljaj boje utječe šest nezavisnih faktora [21].

Tih šest faktora su: biološka reakcija na stimulaciju bojom, kolektivna podsvijest, svjesna simbolika i asocijacija, utjecaj kulture i ponašanja, trendovska moda i stil, osobnost.

### **2.3.1. Biološka reakcija na stimulaciju bojom**

Vid je uvjetovan postojanjem svjetlosti i suradnjom oka i mozga kao organa, ali „vid” nije sam sebi svrha. Iza optičke, postoji i energetska pozadina koja vidljivu svijetlost kao bojenu stimulaciju usmjerava prema mozgu, odakle ona dalje utječe na metabolizam i funkcije drugih organa.

To objašnjava činjenicu da se npr. puls povećava zbog stimulacije crvenom bojom, a smanjuje zbog stimulacije plavom bojom. Biološke reakcije se javljaju isključivo na fiziološkoj razini. Ove reakcije su neovisne o tome kako čovjek razmišlja o bojama, njihovim kombinacijama ili estetskoj razini.

### **2.3.2. Kolektivna podsvijest**

Kolektivno nesvjesno je dio naše psihe i nema nikakve veze s našim reakcijama koje smo prikupili kroz osobno iskustvo u životu. Kolektivno nesvjesno odražava primordijalne karakteristike, latentne slike, originalne obrasce, dojmove i iskustva. Takvi sadržaji nazivaju se arhetipovi i oni su predispozicija ili potencijal za naše doživljaje. Neuroinformatika nam pokazuje da ljudska bića skladište takve podatke milijunima godina kroz proces evolucije u svojim genetičkim mapama i mogu to dokazati tako što su u stanju učiti. Arhetipski, opći primarni značaj boja mora se stoga razmotriti u odnosu na naše iskustvo naših reakcija na boju.

On potječe iz vremena kada su ljudi bili povezani sa svojim prirodnim okruženjem.

### **2.3.3. Osobno nesvjesno**

Osobno nesvjesno treba uzeti u obzir uz kolektivno. To podrazumijeva da je osobno iskustvo koje je povezano s bojom povezano s nesvjesnim iskustvom i svakako utječe na osobnu reakciju, odnosno doživljaj boje. Npr. nakon nesreće je vrlo moguće da osoba odbacuje crvenu boju kao reakciju na crvenu boju krvi.

### **2.3.4. Svjesna simbolika i asocijacija**

Mnoge primjere izražavanja bojom, simbole i asocijacije ljudi interpretiraju na isti način. Žuta je povezana sa suncem i svjetlošću, crvena s krvlju i vatrom, plava s nebom i vodom, zelena s prirodom. Ljudski doživljaj prirode proizvodi osnovne asocijacije koje se kroz proces evolucije prostiru na druge vidove asocijacija.

Naprimjer, crvena je vezana za krv i vatru, a nadalje i za agresiju, revoluciju i rat, ali isto tako i za život i ljubav.

### **2.3.5. Psihološki utjecaj**

Psihološki utjecaj, a posebno onaj vezan za asocijacije, uvijek dolazi u obzir jer kulturno, intelektualno, estetsko i drugo nasljeđe variraju od individue do individue. Istraživanja na većem broju različitih grupa ljudi pokazala su da postoje kolektivni i individualni odgovori na pojedine asocijacije vezane za boju, a koje se opet dijele s većinom. Interkulturalne studije i analize pokazuju nevjerojatne sličnosti koje se tiču preferencije boja, asocijacija koje uzrokuju boje, utjecaja na raspoloženje i konotaciju.

### **2.3.6. Utjecaj kulture i ponašanja**

Iako postoje univerzalne reakcije na boju, to ne dovodi do sprečavanja razvoja asocijacija uvjetovanih specifičnostima grupe i kultura. To se posebno odnosi na grupe prema religiji, filozofiji ili tradiciji gdje poimanje određenih boja u tom kontekstu ima veoma važnu ulogu.

### **2.3.7. Trendovska moda i stil**

Skoro svake godine pojavljuju se novi trendovi vezani za boju u modi i konzumerizmu uopće, arhitekturi, ali ipak u malo duljim vremenskim intervalima u odnosu na godinu. Iako su trendovi kratkog vijeka, ipak ostavljaju utjecaj na rasuđivanje vezano za boje i mogu ostvariti ili razviti privremene nove asocijacije. Trendovi u modi i potrošačkoj sferi mogu se i strateški planirati radi postizanja određenih ekonomskih ciljeva.

### **2.3.8. Utjecaj osobnosti**

U ukupnom doživljaju boje dominiraju osobni faktori kojima su obuhvaćeni:

- osobno rasuđivanje
- struktura osobnosti i temperament
- fizička i psihička konstitucija
- godine i spol i
- osjetljivost na boje.

Veoma je važno i koliko dugo traje utjecaj kolornog stimulusa, kontekst u kojem boja egzistira i kako je viđena.

Naše viđenje i odgovor na boju, kao i naša preferencija ili indiferencija, nisu konstante.

One se mijenjaju kao i bilo koji drugi vid utjecaja ili kursa našeg osobnog razvoja.

Naš doživljaj boje je isto tako uvjetovan i promjenama i dinamikom našeg okruženja.

Mora se svakako naglasiti da različite parametre koji utječu na naš doživljaj boje nikako ne treba promatrati odvojeno, nego manje ili više interaktivno.

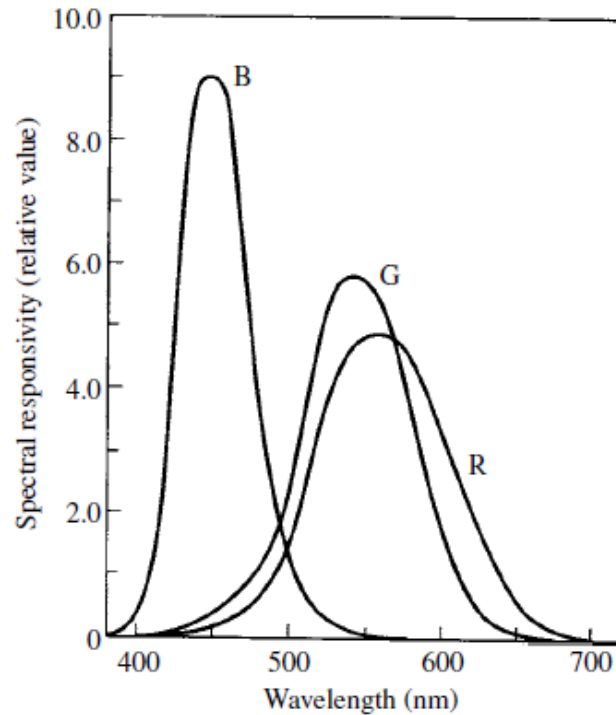
Istraživanja na području arhitekture ukazuju na to da boja okruženja utječe na sposobnost učenja kod studenata [22]. Istraživanja iz psihologije ukazuju na to da bez obzira na prepoznatljivu boju, djeca uzrasta 5 – 10 godina ne mogu gledanjem fotografije prepoznati osnovne materijale: drvo, metal, vodu i kamen, za razliku od odraslih [23]. Istraživanja ukazuju na to da postoji velika razlika u sklonostima prema plavoj, zelenoj, ružičastoj i crnoj boji kod dječaka i djevojčica uzrasta 7 – 9 godina koji pohađaju žensku odnosno mušku školu [24]. U pojedinim istraživanjima iz psihologije se potvrđuje da u različitim sredinama dajemo različite nazive istim bojama i one pobuđuju različite osjećaje.

## **2.4. TEORIJE PERCEPCIJE BOJA**

U oku postoje tri vrste čunjića osjetljivih na tri različita područja elektromagnetskih zračenja valnih duljina elektromagnetskog spektra [25] [26]. Čunjići koji su odgovorni za percepciju malih valnih duljina pripadaju prvoj skupini i označavaju se sa S. Ti su čunjići najosjetljiviji na valne duljine od oko 430 nm. Čunjići odgovorni za percepciju srednjih valnih duljina pripadaju drugoj skupini i označavaju se sa M. Najosjetljiviji su na valne duljine od oko 530 nm. Treću skupinu čine čunjići koji su osjetljivi na veće valne duljine od oko 560 nm. Označavaju se sa L i imaju najjači odziv na valne duljine od 560 nm. S percepcijom plave, zelene i crvene boje često se povezuju odzivi S, M i L čunjića, iako to nije u potpunosti točno. Dvije klasične teorije vizualne percepcije boja razvijene su veoma rano, još u 19. stoljeću, a radi se o trikromatskoj i teoriji suprotnih procesa. Obje teorije su danas utkane u suvremenu zonsku teoriju percepcije boja.

### **2.4.1. Trikromatska teorija**

Trikromatsku teoriju predložio je Young 1802. Teoriju je kvantitativno izrazio i proširio Helmholtz 1894. godine. Trikromatska teorija pretpostavlja da mrežnica obuhvaća tri vrste fotoreceptora (čunjića) koji su osjetljivi na crvenu, zelenu i plavu boju te da su sve boje okarakterizirane stupnjem odziva tih fotoreceptora. Na primjer, osjećaj žute generira se istodobnim odzivom fotoreceptora osjetljivih na crvenu i zelenu boju. Trikromatska teorija je jednostavna i lako razumljiva jer pretpostavlja samo tri fotoreceptora [27]. Na Slici 2.7. prikazan je spektralni odziv triju fotoreceptora prema suvremenim spoznajama [28].

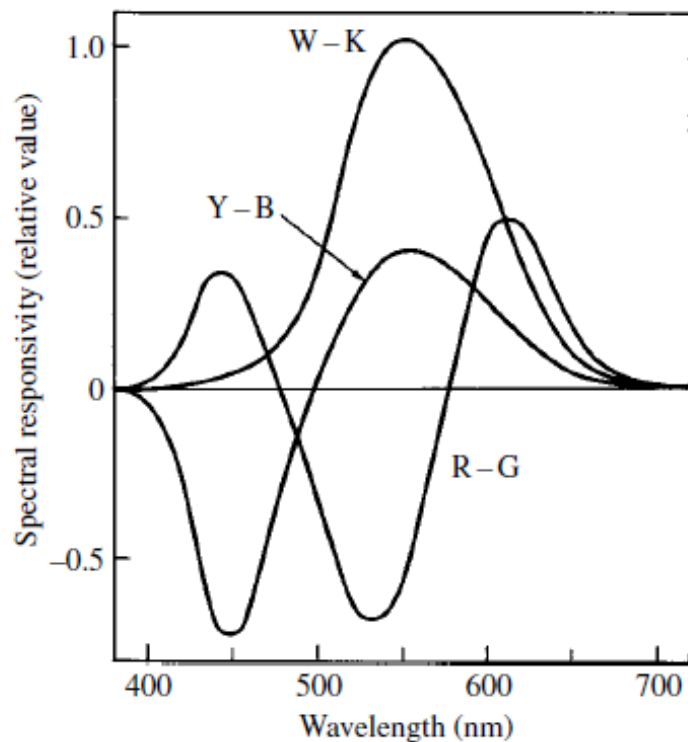


Slika 2.7. Spektralni odzivi crvene (R), zelene (G) i plave (B) fotoreceptori u trikromatskoj teoriji [28].

Trikromatska teorija temelji se na eksperimentalnom rezultatu da se gotovo sve boje mogu reproducirati pravilnim miješanjem triju izvora svjetla – crvenog, zelenog i plavog.

#### 2.4.2. Teorija oponentnih boja

Hering je 1878. predložio hipotezu koja kaže da mrežnica sadrži tri vrste fotoreceptora koji reagiraju na suprotnosti crveno – zeleno, žuto – plavo i bijelo – crno, te da su sve boje karakterizirane stupnjem odziva tih fotoreceptora [29]. Na primjer, prva vrsta fotoreceptora reagira pozitivno na crvenu, a negativno na zelenu. Ta se teorija naziva teorija suprotnih procesa ili teorija oponentnih boja, a temelji se na empirijskim činjenicama koje pokazuju da mogu postojati žučkasto crvena i plavkasto crvena, ali ne zelenkasto crvena boja, te da su stoga zelena i crvena suprotne ili oponentne boje. Na Slici 2.8 prikazani su spektralni odzivi pretpostavljenih oponentnih fotoreceptora. Na prikazu pozitivne i negativne vrijednosti nemaju posebno značenje, ali pokazuju da su crvena i zelena oponentne boje [28].



Slika 2.8. Spektralni odzivi crveno – zeleno (R-G), žuto – plavo (Y-B), i bijelo – crno (W-K) fotoreceptora u teoriji oponentnih boja [27].

Budući da se smatra da su četiri boje, tj. crvena i zelena te žuta i plava u osnovi teorije oponentnih boja, teorija je poznata i kao teorija četiri boje.

### 2.4.3. Zonska teorija

Zonska teorija objedinjuje klasične teorije, Yung-Helmholtzovu i Heringovu teoriju suprotnih procesa. Nazivamo je i modernom Heringovom teorijom [30] [31].

Sredinom dvadesetog stoljeća dokazano je da iza fotoreceptora (čunjića) osjetljivih na zelenu, crvenu i plavu boju u mrežnici postoji zona bipolarnih nervnih stanica. Čovjekov vizualni sustav funkcionira na temelju signala koji nastaju zbog razlike u percepciji triju vrsta čunjića, po teoriji suprotnih procesa. Sa štapića u bipolarnu stanicu stiže izravni signal. Stimulacijom signala sa sve tri vrste S, M i L čunjića mijenja se pobuđenost bipolarnih stanica. Mogu primiti pozitivan ili negativan signal (+ ili -). Bipolarne stanice šalju suprotne informacije istim živčanim putem.

Postoje tri različite vrste suprotnih nervnih kanala zaduženih za prijenos plave ili žute, crvene ili zelene te bijele ili crne boje. Nikada ne može doći do situacije da se istim nervnim kanalom prenose impulsi plave i žute ili crvene i zelene boje. Potom se nervnim kanalom informacije prenose u ganglijske stanice očnog živca, magnocelularne i parvocelularne ili P stanice. P stanice obrađuju najveći dio informacija o boji te se dijele na dvije skupine. U prvu

skupinu spadaju one P stanice koje registriraju razlike između poslanih signala s L i M čunjića. U drugoj skupini su P stanice, koje su zadužene za registraciju između S čunjića i kombiniranih signala s M i L čunjića. Također, P stanice prenose i informacije o jakosti svjetlosti [32].

## **2.5. RAZLIKOVANJE BOJA – KOLIKO BOJA RAZLIKUJE HUMANI PROMATRAČ?**

Ovo je zanimljivo pitanje na koje je u prošlosti dano nekoliko odgovora. Prvi napori koji su uloženi u tom smjeru bavili su se ograničenim pitanjem koliko različitih koraka ljudsko oko razlikuje u okviru vidljivog spektra.

E. Mandelstamm je prvi pokušao odgovoriti na to pitanje tako što je napravio nekoliko eksperimenata, o kojima postoji njegov izvještaj iz 1867. [33] Mjerenja koja su godinama smatrana validnim proveo je 1872. W. Dobrowolsky [34]. Kries je 1882. obradio rezultate Dobrowolskog i utvrdio da spektar možemo podijeliti na 208 različitih koraka / primjetnih prelaza [35]. Taj je broj povećan na 235 nakon što su 1884. König i Dieterici izveli svoje eksperimente [36].

Međutim, pri promatranju boja u spektru postoji problem sažimanja razlika u nijansi, zasićenju i svjetlini, što uvelike ovisi o eksperimentalnim uvjetima. Kad je napravio korekciju po pitanju razlika u svjetlini, L. A. Jones je 1917. našao 128 primjetnih prijelaza [37].

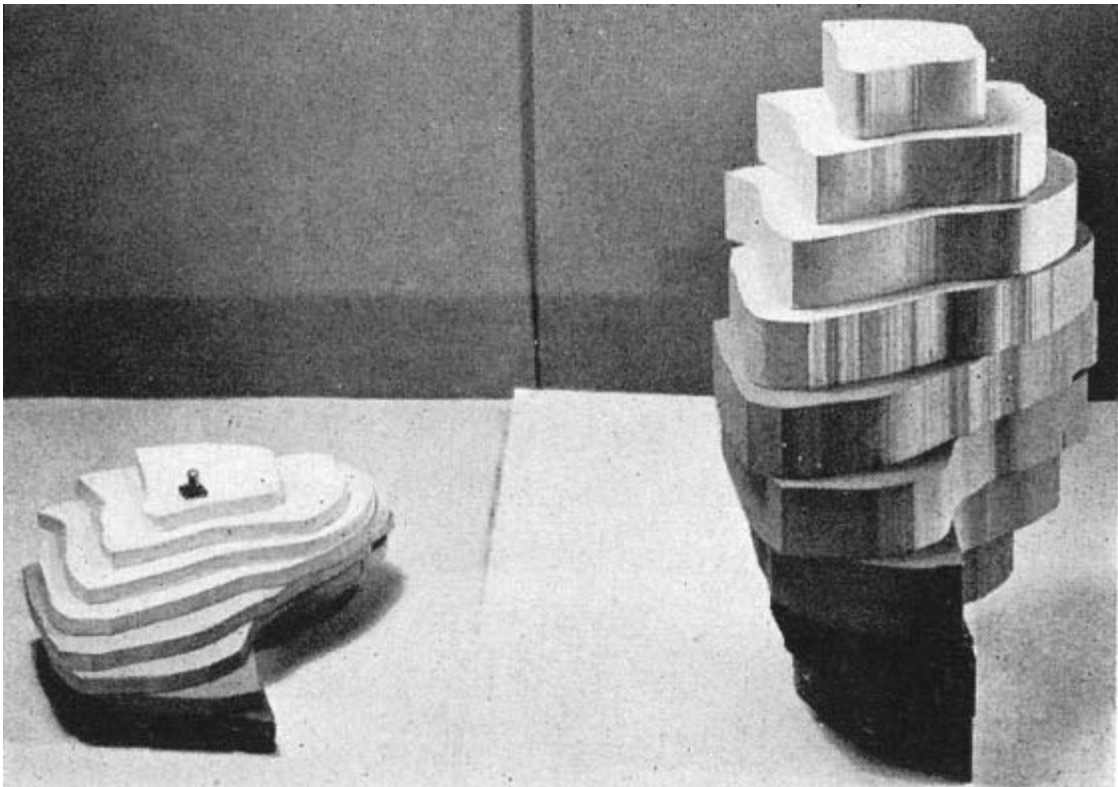
Otada su napravljeni brojni pokušaji da se utvrdi razlikovanje valnih duljina, a najvažniji je onaj koji su 1934. izvršili Wright i Pitt [38] i pokušaj Bedforda i Wyszeckog iz 1958 [39], čiji su ishodi bili dosta slični. MacAdam je 1947. [40] na temelju podataka koje je dobio usporedbom grešaka koje su ispitanici radili u pokušaju združivanja istih boja, došao do broja od 250 jedva primjetnih razlika, što nije veliko odstupanje u odnosu na rezultate koje su dobili König i Dieterici.

Ali boju, kao što znamo, ne čini samo nijansa, već i osvijetljenost/svjetlina i zasićenost/kroma. Tako je 1896. Titchener [41] procijenio da je ukupni broj boja koje možemo opaziti kao različite oko 33 000.

Do 1939. ovaj broj je, po Boringovoj procjeni, narastao na 300 000 [42]. Ali ni Titchener ni Boring nisu uzeli u obzir da su boja svjetlosnih zraka i boja fizičkih tijela dvije različite kategorije. Iste godine (1939.) Judd je procijenio broj mogućih različitih fizičkih boja na 10 milijuna [43]. Ta se cifra često citirala.

Godine 1943. pokušavajući složiti boje u neko psihološko geometrijsko tijelo (Slika 2.9.), Nickerson i Newhall su izračunali da se broj razina koje se međusobno jedva primjetno razlikuju može zaokružiti na oko 7,5 milijuna za desni model sa Slike 2.9. i na 1 875 000 u

uvjetima manje povoljne vidljivosti (primjenjivo na lijevi model sa Slike 2.9.) [44]. Taj se broj odnosi na geometrijski oblik boja koji doseže do krajnjih granica fizičkih boja.



*Slika 2.9. Model Nickersona i Newhalla na temelju Munsellova modela. Dva prikaza predstavljaju velike i male razlike. Lijevo: na razini Munsellova atlasa. Desno: na razini jedva primjetnih razlika (JND) [11].*

Na temelju podataka iz 1942. godine, koje je dobio usporedbom grešaka koje se pojavljuju pri pokušaju združivanja istih boja, MacAdam se 1947. ograničio na određivanje broja boja koje možemo razlikovati percepcijski u ravni konstantnog osvjetljenja. Uzevši kao JND limit tri standardne devijacije od grešaka napravljenih pri združivanju istih boja, on je izračunao da je broj boja koje je u uvjetima njegovog eksperimenta u okviru ravni konstantnog osvjetljenja bilo moguće razlikovati oko 17 000.

Ovo je pitanje i nedavno ponovno postavljeno, pa su 1981. godine A. Hard i L. Sivik procijenili broj boja koje se mogu razlikovati sa određenim stupnjem sigurnosti 10 do 20 000 (za razliku od Juddovih 10 milijuna) [45]. Indow je 1995. došao do broja od oko 7 milijuna boja koje je moguće međusobno razlikovati. [46].

Koristeći se CIELAB formulom kao osnovom i pretpostavivši da je mogućnost razlikovanja fizičkih boja ograničena na 1 CIELAB jedinicu totalne razlike među bojama, M. R. Pointer i G. G. Attridge su 1998. izračunali da broj fizičkih boja koje je moguće razlikovati iznosi čak 2,28 milijuna [47]. Također su izračunali i da je 16,78 milijuna teoretski limit broja fizičkih boja koje mogu biti prikazane na monitoru.



Formula koja matematički opisuje vezu između razlika među atributskim komponentama i ukupne uočene razlike je Nickersonova formula iz 1936. [48] koja je dovedena u vezu s Munsellovim sustavom.

Istraživanje koje su proveli Bellamy i Newhall (1942) pokazalo je da definicija ove formule ovisi o veličini razlika. Drugim riječima, kvantitativni odnosi između Munsellovih atributa su se znatno promijenili kad se ispitivalo na JND razini [49].

Iznenadujuće, pretpostavka da se valjano razvrstane uočene razlike mogu sabrati pomoću euklidske formule nikad nije bila ni eksplicitno testirana ni dokazana. Jedan od razloga je što je teško napraviti ljestvicu boja s malim razlikama u nijansi, kromi i svjetlini vizualnim uočavanjem a da je dovoljno pouzdana i valjana da bi se na temelju nje mogla napraviti bilo kakva dalja ispitivanja.

Indow je (1999a, 2002) [50] [51] također pokušao unaprijediti formulu za razlikovanje boja zasnovanu na komponentama do kojih se došlo vizualnim putem, pa je vizualnom procjenom Munsellovih razlika (kreiranih sa svrhom da se stvori i analizira multidimenzionalni prikaz – objašnjenje: Indow, 1988) [52] pokušao pronaći geometrijski oblik u okviru kojeg bi boje bile poslagane tako da prostorna udaljenost između njih odgovara vizualno uočenim razlikama. Korijen srednje kvadratne greške (RMS – *root mean square*) koja se javlja pri upotrebi te njegove formule manji je od one koja se dobije primjenom Adams-Nickersonove, ali veći od one koja se dobije kod formule CIE94. Iste godine je Indow (1999c) [53] ispitivao i točnost predviđanja razlika u bojama po Munsellu na temelju procjenjivanja razlika u glavnim komponentama nijanse i svjetline. Najnižu kvadratnu grešku je dobio s formulom koja objedinjuje procijenjenu vrijednost razlike i zasebno procijenjene razlike između glavnih nijansi:

$$\tilde{d}(\Delta V, \Delta \bar{\xi}) = a_V \Delta V + (d_0 + \sum a_a \Delta \bar{\xi}_a), \quad (2.1)$$

gdje je  $\tilde{d}$  faktor predviđanja razlike u boji,  $\Delta V$  Munsellova vrijednost razlike,  $\Delta \bar{\xi}_a$  razlika u glavnoj komponenti nijanse, a  $a_a$  odgovarajuća procjena glavne razlike u komponentama (vrijednosti  $a_R = 0.199$ ,  $a_Y = 0.031$ ,  $a_G = 0.098$ ,  $a_B = 0.136$ ,  $d_0 = 0.610$  i  $a_V = 0.459$ ). Glavne komponente nijanse su funkcije vrijednosti i krome.

Indowovo istraživanje koje je uključivalo različite podatke i glavne komponente nijansi također je pokazalo da se najbolji rezultati dobiju kad se razlike u komponentama jednostavno zbroje. Budući da je 10 maksimalna vrijednost koju normalizacija opaženih glavnih komponenti nijanse može imati, svaku individualnu komponentu treba procjenjivati zasebno.

Najlakše je uočiti razliku među bojama ako je glavna komponenta nijanse crvena. Da bi se između dvije plave nijanse uočila ista razlika kao ona koju primjećujemo pri 1,0 za crvenu, potrebno je 1,5 PHC jedinica (PHC – *principal hue component* – glavna komponenta nijanse).

Za zelene nijanse analogan vizualni rezultat dala bi razlika od 2,2, a za nijanse gdje je razina žute podešena najniže moguće a da ona ipak prevladava – 3,4 PHC jedinice.

Kroz Indowov rad s glavnim komponentama nijansi implicitno se potvrđuje da u sastav svake nijanse ulaze i psihološki faktori koji utječu na to kako je čovjek opaža, odnosno doživljava. Oni su i sastavni dio ljudskog opažanja krome. Kromatska razlika i razlika u svjetlini. Pri om se razlika u svjetlini zasebno opaža (vjerojatno uključujući i Helmholtz-Kohlrauschov efekt) [54]. I, kao što je već spomenuto, Indowovim promatračima nije bilo lako uvidjeti razlike između glavnih komponenti nijansi kad su procjenjivali površine jednake svjetline, a različite Munsellove razine krome.

Nijansa, svjetlina i kroma su nužni atributi koji osiguravaju da bi se za neki dio prostora moglo smatrati da je jedinstvene boje. Svjetlina i kroma mogu biti zamijenjene drugim atributima, ali samo ako nam nije cilj da se postigne uniformnost u razlikama.

Tijekom povijesti su predlagana dva kompleta osnovnih atributa percepcije boje. Zajednička im je nijansa.

U Heringovom pristupu zasjenjenost je opisana relativnom količinom opažene crne ili bijele. Ali zasjenjenost se može opisati i pomoću svjetline i krome. Nikad nitko nije odredio u kakvom su odnosu ta dva seta atributa kad su u sličnim okolnostima, jer različiti eksperimentalni podaci s konstantnom kromom i podjednakim razlikama u nijansi iz nejasnih razloga prilično jako variraju.

Također je pokazano i da psihološki doživljaj obojenog prostora s jedinstvenim nijansama duž kromatske osi nije uniforman jer se u svakom od četiri kvadranta nađe različit broj nijansi koje se međusobno razlikuju za istu vrijednost. Izgleda da se veza između krome i razlika u nijansi znatno mijenja s veličinom razlika u nijansi.

## **2.6. SUSTAVI ZA OPISIVANJE BOJA – ATLASI BOJA**

Sustavom za opisivanje boja ili kolor modelom se, jednostavnije rečeno, propisuje kojim se koordinatama ili brojčanim vrijednostima ili na neki drugi način opisuje boja. Za prikazivanje boja upotrebljavaju se određeni atlas boja koji pomažu da se pronađe neka boja te se tako omogućuje vizualna povezanost između uzoraka. U atlasima boja se samo na osnovi ljudske intuicije, izostavljajući fizikalne komponente boja, boje organiziraju prema određenim perceptivnim karakteristikama (ton, zasićenje, sličnost, svjetlina, jačina, kromatičnost i sl.).

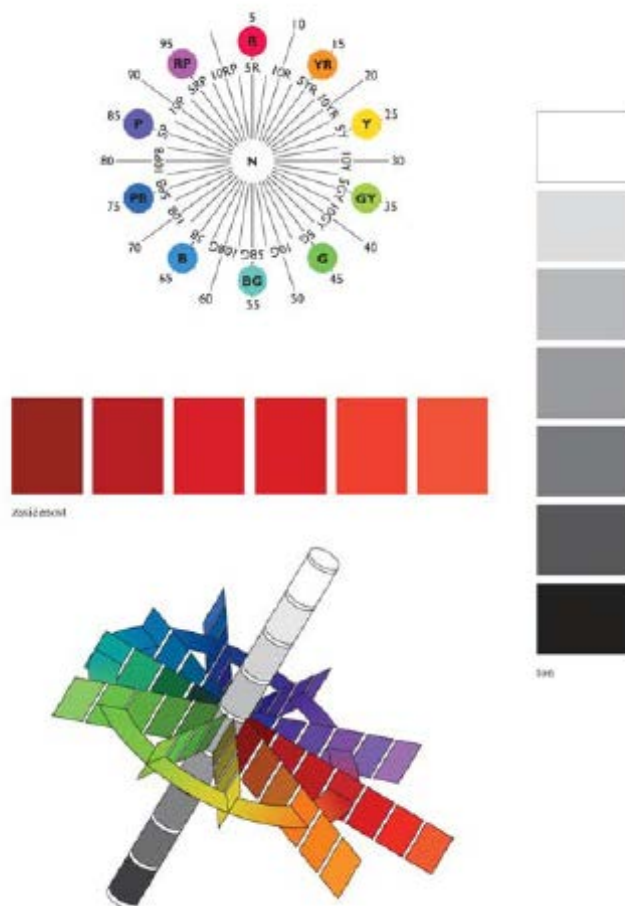
Modeli temeljeni na percepciji i pojavnosti boja su: Munsell, NCS, OSA, DIN. [55].

### **2.6.1. Munsellov sustav za opisivanje boja**

Profesor slikarstva i umjetnik Albert H. Munsell [56] prvobitno je za svoje studente osmislio sistem za opisivanje boja baziran na Rungovoj [57] sferi boja (Slika 2.10.). Munsellov atlas boja je izrađen sa stvarnim uzorcima koji se raspoređuju u vidu stranica. Svaka je stranica istog tona boje s određenim brojem polja. Od dna prema vrhu stranice povećava se svjetlina. S lijeve na desnu stranu povećava se zasićenost boje. Razlika u percepciji boje između dva susjedna uzorka je konstantna (Slika 2.11). Te se stranice, osim u formi atlasa, mogu rasporediti i u prostoru.

Po tim principima svaka se boja može opisati preko tri veličine: ton boje (*Munsell hue*), svjetlina (*Munsell value*) i zasićenost (*Munsell chroma*) [58].

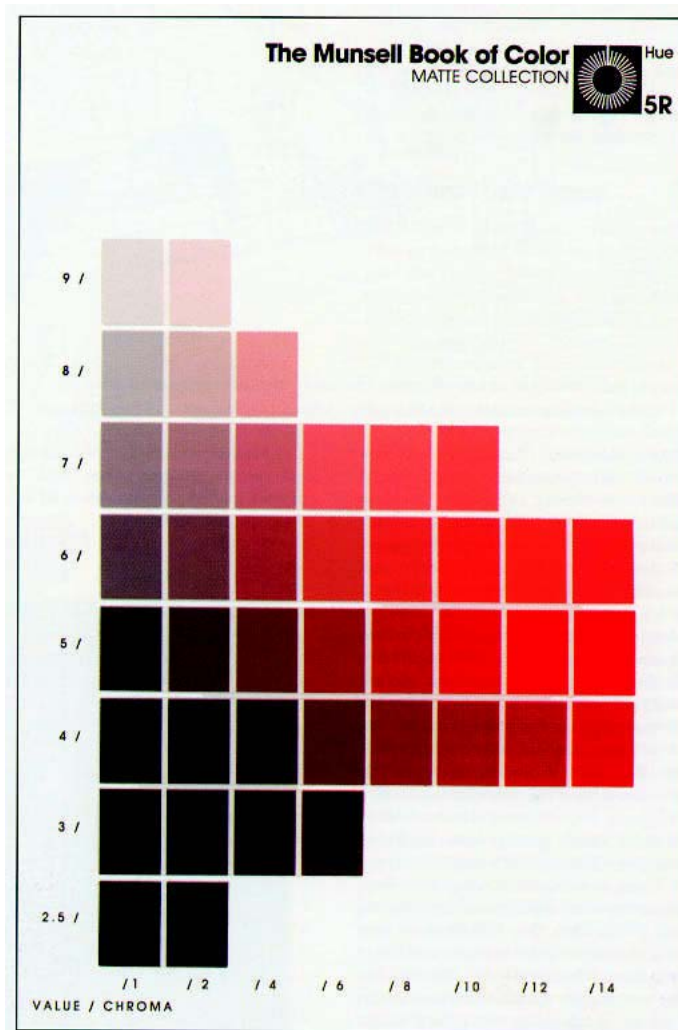
*Munsell hue* (ton) podijeljen je u deset cjelina. Pet cjelina predstavlja osnovne tonove boja: 5R (crvena), 5Y (žuta), 5G (zelena), 5B (plava) i 5P (purpurna), a pet ostalih cjelina međutonove koji su označeni: 5YR (žutocrvena), 5GY (zelenožuta), 5BG (plavozelena), 5PB (purpurnoplava) i 5RP (crvenopurpurna). Svaka od tih cjelina podijeljena je u novih deset dijelova, što rezultira s ukupno 100 tonova.



Slika 2.10. Munsellov sustav boja [59].

*Munsell chroma* (zasićenost) je kalibrirani ton za svako zasićenje od nule (neutralna siva) do maksimuma intenziteta boje za svaki ton. Vrijednost zasićenja krome od 0 ukazuje na crnu, sivu ili bijelu, a povećanje vrijednosti krome ukazuje na sve višu čistoću boje.

Munsell value (svjetlina) predstavlja raspon od čiste crne (0) do čiste bijele (10), a svaki dio je podijeljen u decimalne dijelove, što rezultira sa sto stupnjeva ljestvice svjetline. Osnova ove veličine je činjenica da ljudsko oko registrira svjetlinu logaritamski.



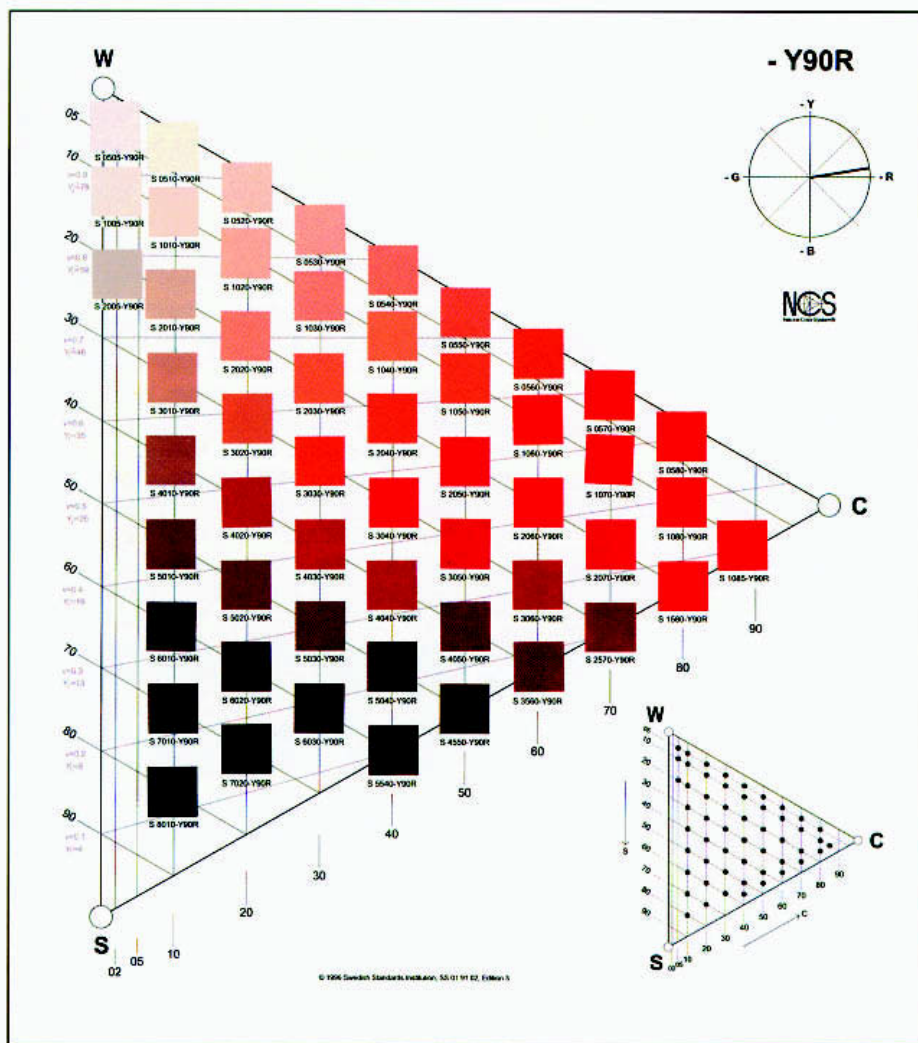
Slika 2.11. Stranica konstantnog tona boje iz moderne verzije Munsellove knjige o bojama [11].

### 2.6.2. NCS sustav boja

Sustav prirodnih boja razvijen je u Švedskoj 1970-ih. Izvore vuče još od Heringa i Ostwalda, a isto tako i nešto novijih napora Johanssona (1949.) i Hesselgrena (1954.). Temelji se na teoriji suprotnosti boja opisanih percepcijom tako da se bazično više upotrebljava za usporedbu boja nego za njihovo miješanje. NCS model se zasniva na ideji šest elementarnih percepcija boja koje su opisane kao „suprotne boje” – bijela, crna, zelena, crvena, žuta i plava.

Četiri su kromatske elementarne boje (žuta, crvena, zelena i plava) i dvije nekromatske elementarne boje (bijela i crna). Bilježenje NCS boja temelji se na ideji da bilo koji normalan promatrač u danoj boji može prepoznati dvije ili više od šest elementarnih boja [59] [60] [61].

Boje u NCS modelu se definiraju kroz tri vrijednosti: količinu tamnoće (*darkness*), zasićenost (*saturation*) te tonom (*hue*) – postotak dvije boje od crvene, plave, žute, zelene (Slika 2.11). NCS model boja upotrebljava se kao standard u nekim skandinavskim zemljama i nekim zemljama Europske unije.



Slika 2.12. NCS trokut konstantne nijanse Y90R s punom bojom C, bijelom W i crnom S [11].

### 2.6.3. OSA sustav boja

Osnovna ideja OSA [11] [62] sustava boja je prikazivanje specifikacije stimulusa čiji je izgled jednak prostoru percepcije. Osim toga, namjera je i dizajnirati skup uzoraka tako da je percepcijski raspored između susjednih uzoraka jednak iako su tonovi, zasićenost i svjetlina uzoraka različiti. U OSA sustavu boja svaki je uzorak definiran u vrijednostima triju koordinata  $L$ ,  $j$  i  $g$ , gdje vrijednost  $L$  koordinate predstavlja razliku u svjetlini,  $j$  predstavlja razliku promjene u plavkasto/žučkastom, a  $g$  predstavlja razliku promjene u crvenkasto/zelenkastom (Slika 2.13).



Slika 2.13. OSA sustav boja [11].

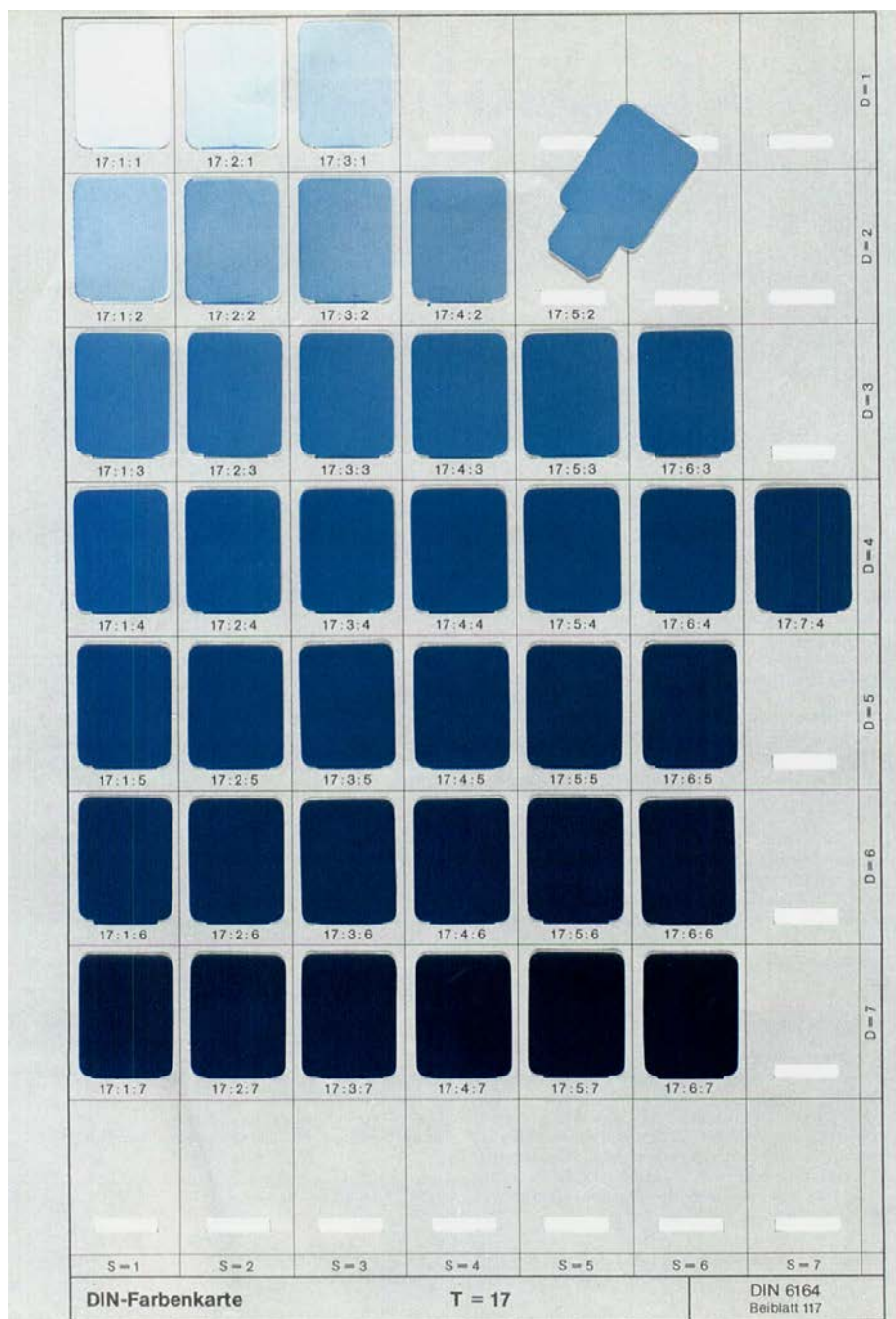
#### 2.6.4. DIN sustav boja

DIN sustav boja je razvijen kao njemački standard za opis boja. Načela na kojima počiva DIN sustav boja vrlo su slična Munsellovom sustavu s varijacijama broja kolorimetrijskih ograničenja kako bi sustav bio prikladan za upotrebu [63] [64] [65]. Kao i kod drugih sustava, postoji i DIN-ov atlas boja [67].

Boje u DIN sustavu se definiraju kroz sljedeće tri vrijednosti: količinu tamnoće (*darkness*), zasićenost (*saturation*) te ton (*hue*). Kolorimetrijski parametri DIN sustava boja su: standardno osvjetljenje D65, CIE 1931 standardni kolorimetrijski promatrač i geometrija mjerenja  $45^\circ / 0^\circ$  [65].

DIN ljestvica za definiranje tona konstruirana je tako da je DIN ton definiran kao konstanta za linije konstantne dominantne i komplementarne valne duljine [63] [65]. Navedeno pojednostavljenje čini jednostavnijom transformaciju između tristimulusnih koordinata i DIN tona. Kod DIN zasićenosti linije konstantnog zasićenja mjere jednostavnu razinu tamnoće, a razina je tada povećana pod pretpostavkom da su linije konstantnog zasićenja jednake za sve stupnjeve tamnoće, tako da DIN ton i zasićenje možemo odmah izračunati iz kromatskih koordinata. DIN tamnoća je suprotna od ljestvice za svjetlinu određene pri određivanju neutralnih boja. Kod neneutralnih boja tamnoća za uzorak se određuje kao izravna funkcija uzorka faktora svjetline u odnosu na CIE izvor svjetla C. Relativni faktor osvjetljenja je osvjetljenje uzorka koji se dijeli s osvjetljenjem optimalne boje iste zasićenosti kao uzorak [67] [69].

Na Slici 2.14 prikazana je velika kartica iz DIN sustava za opisivanje boja, a prati je opis kolorimetrijskih vrijednosti koje su dane za standard i uzorak. Razlika između njih izražena je u koordinatama DIN sustava boja (Slika 2.15).



Slika 2.14. Velika kartica u boji iz DIN-a [11].



## Farbe DIN 6164 **21:1:1**

Farbmaßzahlen nach DIN 5033

für den 2°-Normalbeobachter  
Meßgeometrie 45/0

für Normlichtart D 65

Sollwerte

$x = 0,2997$      $y = 0,3410$      $Y = 65,83$

Meßwerte

$x = 0,300$      $y = 0,342$      $Y = 65,2$

Abweichungen nach DIN 6164:

$\Delta T = +0,10$      $\Delta S = +0,05$      $\Delta D = +0,02$

Das Farbmuster ist vor unnötiger Belichtung und unsachgemäßer  
Behandlung zu schützen!

Meßdatum:    Oktober 1981

HERAUSGEBER: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin  
Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, Berlin 30  
Vertr.-Nr. 11046

Slika 2.15. Tekst uz veliku karticu u boji iz DIN-a [11].

Tablica boja. 21: 1: 1 znači  $T = 21$ ,  $S = 1$ ,  $D = 1$ . Kolorimetrijske vrijednosti su dane za standard i uzorak, razlika između njih izražena je u koordinatama DIN sustava boja. Zarez se upotrebljava kao decimalni marker.

### 2.7. PROSTORI BOJA - MATEMATIČKI MODELI IZGLEDA BOJA

Prema CIE, prostor boja predstavlja geometrijski prikaz boje u prostoru, obično od 3 dimenzije [69].

Prostori boja dijele se prema IFRA Special Reportu iz 1996. na [70]:

- prostore koji su ovisni o uređajima i
- prostore koji nisu ovisni o uređajima.

Prostori boja koji ovise o uređaju prikazuju boje u odnosu na karakteristike uređaja. Najčešće primjenjivani prostori boja koji ovise o uređaju su RGB, CMY, CMYK, YCC prostori boja.

Prostori boja neovisni o uređaju temelje se na podudaranju s percepcijom standardnog promatrača, kao i percepcijskoj uniformnosti.

Nabrojani su neki prostori boja koji ne ovise o uređaju su: HSB, CIE XYZ, CIE xyY, CIE Lab, CIELAB i CIE Luv.

CIELAB prostor boja razvijen iz CIE XYZ i CIE xyY modela boja upotrijebljen je u eksperimentalnom dijelu disertacije te će biti objašnjen.

### 2.7.1. CIE XYZ prostor boja

CIE XYZ prostor boja prvi je model boja koji boje nastoji prikazati onako kako se one pojavljuju u čovjekovom vizualnom sustavu [71] [72]. Tristimulusne vrijednosti  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  odgovaraju ukupnom stupnju pobuđenosti pojedinih grupa fotoreceptora u ljudskom oku, pretežno osjetljivih na crvenu ( $X$ ), zelenu ( $Y$ ) i plavu ( $Z$ ) svjetlost, ukupnom svjetlošću koja dolazi s objekta koji se promatra.

CIE XYZ prostor boja temelji se na istraživanjima koja su 1920. godine proveli W. D. Wright i J. Guild, a definirala ga je 1931. godine CIE komisija. Taj je prostor boja povezan s primarnim tristimulusnim standardnim vrijednostima boja  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ . Primari  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  su imaginarne matematičke konstrukcije dobivene standardizacijom i zbog toga ne predstavljaju realne boje. Same koordinate boje, označene kao  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  su primari unutar tog prostora, definiraju boju analogno aktivnostima  $L$ ,  $M$  i  $S$  čunjića unutar čovjekova vizualnog sustava. Koordinata  $X$  je linearna kombinacija aktivnosti svih čunjića koja je definirana tako da njena vrijednost ne može biti negativna. Koordinata  $Y$  shvaća se kao svjetlina boje jer je percepcija svjetline razmjerna odzivu fotoreceptora u oku humanog promatrača na zeleni dio spektra u situacijama dobre osvjetljenosti. Može se reći da je funkcija svjetline percipirane boje analogna funkciji osjetljivosti  $M$  čunjića. Koordinata  $Z$  razmjerna je aktivnostima  $S$  čunjića povezanih s percepcijom plave boje.

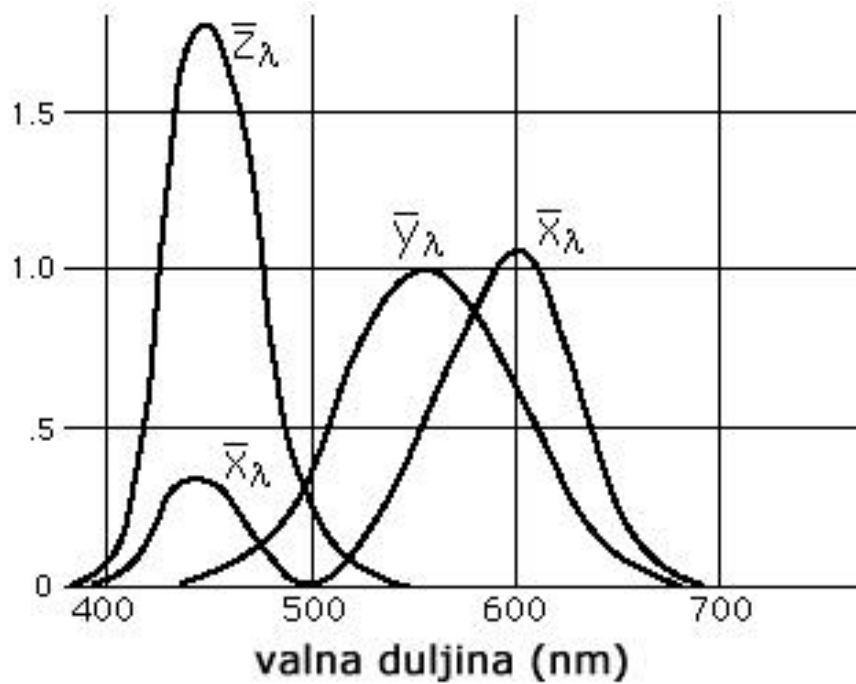
Tristimulusne standardne vrijednosti boja mogu se definirati kao integral umnoška gustoće snage zračenja i funkcija usklađivanja boja [73] [74] (eng. *color matching functions*, jedn. (2.2)-(2.4))  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  i  $\bar{z}(\lambda)$ :

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \quad (2.2)$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \quad (2.3)$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda, \quad (2.4)$$

gdje su:  $I(\lambda)$  gustoća snage zračenja (*Spectral Power Distribution*), elektromagnetskog zračenja svjetlosnog izvora za pojedinu valnu duljinu  $\lambda$  monokromatske svjetlosti;  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  i  $\bar{z}(\lambda)$  krivulje standardnog promatrača ili funkcije usklađivanja boja za standardnog promatrača iz CIE 1931, prikazane na slici Slici 2.16.



Slika 2.16. Grafički prikaz color matching funkcija  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  i  $\bar{z}(\lambda)$  [76].

Funkcija  $\bar{y}(\lambda)$  normalizirana je na vrijednosti 1.0 na valnoj duljini od 560 nm i jednaka je funkciji svjetline:

$$\bar{y}(\lambda) = V(\lambda) \quad (2.5)$$

Ostale dvije funkcije usklađivanja boja  $\bar{x}(\lambda)$  i  $\bar{z}(\lambda)$  usklađene su s  $\bar{y}(\lambda)$  tako da su im vrijednosti integrala jednake integralu ispod krivulje  $\bar{y}(\lambda)$ , odnosno:

$$\int_{380}^{780} \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} \bar{z}(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.6)$$

Sve tri funkcije su nenegativne na čitavom području definicije.

Primarne tristimulusne vrijednosti  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  mogu se konvertirati u  $L$ ,  $M$ ,  $S$  stimulusne vrijednosti matricnom transformacijom. Sljedeća matrična relacija poznata je kao Hunt-Pointer-Estevézova jednačba koja je dobivena pod uvjetima CIE standardnog osvjetljenja D65 [75]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1982 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

### 2.7.2. CIE xyY prostor boja

Pomoću tristimulusnih vrijednosti  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  nije moguće stvoriti vizualnu predodžbu boje, te je zbog toga izgrađen CIE xyY prostora boja. Pomoću tristimulusnih vrijednosti,  $X$ ,  $Y$  i  $Z$

direktno se definiraju novi parametri kromatičnosti boje  $x$  i  $y$  prostora CIE  $xyY$ . Parametri  $x$  i  $y$  definirani su kao:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2.8)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2.9)$$

Koordinata  $z$  jednaka je:

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y \quad (2.10)$$

Parametri  $x$  i  $y$  daju informacije o tonu (H) i zasićenosti (C). Nazivaju se koordinatama kromatičnosti. U ovom prikazu nije predložena svjetlina boje  $Y$ . Vrijednosti  $x$ ,  $y$  i  $z$  su normalizirane.

Obrnuto, i tristimulusne vrijednosti  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  mogu se izračunati pomoću koordinata kromatičnosti  $x$  i  $y$ :

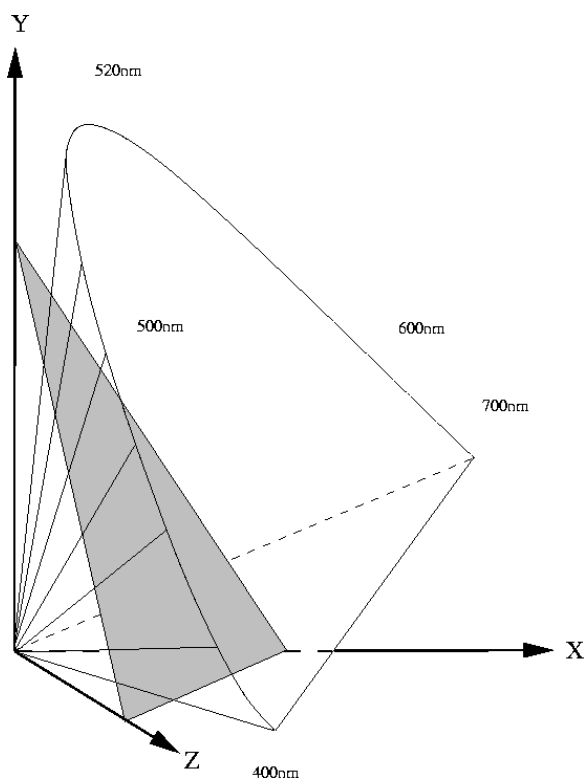
$$X = \frac{x}{y} Y \quad (2.11)$$

$$Z = \frac{z}{y} Y \quad (2.12)$$

Provjera relacije je jednostavna:

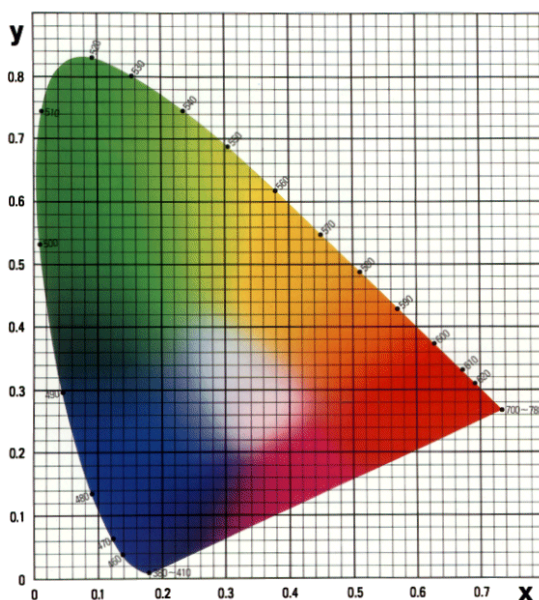
$$x + y + z = 1 \quad (2.13)$$

Jednadžba (2.13) predstavlja jednadžbu ravnine u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu (Slika 2.17).



Slika 2.17. Ravnina  $x+y+z=1$  na CIE XYZ dijagramu [78].

Projekcijom CIE XYZ prostora boja na promatranu ravninu  $x+y+z=1$  dobije se dijagram kromatičnosti, koji se zbog svog specifičnog oblika naziva i potkovom boja (Slika 2.18).



Slika 2.18. Dijagram kromatičnosti ili x-y dijagram boja [79].

Tonska ljestvica svih boja vidljivog dijela spektra nalazi se u prostoru boja koji je predložen dijagramom kromatičnosti (Slika 2.18). Točka akromatičnosti nalazi se središtu dijagrama kromatičnosti. Za idealno bijelo tijelo tristimulusne vrijednosti iznose:

$$X = Y = Z = 100 \quad (2.14)$$

Stoga se vrijednosti koordinata kromatičnosti dobiju kao:

$$x = y = \frac{100}{100 + 100 + 100} = \frac{1}{3} = 0.333 \quad (2.15)$$

Dijagram kromatičnosti često se upotrebljava u praksi, ali njegov najveći nedostatak je izostanak dimenzije svjetline. Svjetlina se definira kao  $Y$  i vrlo često dolazi do izražaja, poglavito pri opisivanju akromatskih boja.

Potpuna definicija boje nužno sadrži sve tri komponente  $x$ ,  $y$  i  $Y$ . Međutim, pomoću navedenih koordinata  $x$ ,  $y$  i  $Y$  nije moguće stvoriti vizualnu predodžbu boja.

### 2.7.3. CIELAB prostor boja

U CIELAB (ili CIE  $L^*a^*b^*$ ) prostoru boja je definirana pomoću tri različite varijable:  $L$ ,  $a$  i  $b$  [76]. Parametri  $a$  i  $b$  definiraju ton boje, dok parametar  $L$  predstavlja njenu svjetlinu. CIELAB prostor boja izgrađen je radi nadopune i poboljšanja prostora CIE XYZ. Kolorimetrijske razlike među različitim bojama u CIE XYZ prostoru boja ne podudaraju se s njihovom vizualnom percepcijom. Na primjer, u CIE XYZ prostoru razlike između zelene i zelenožute su relativno velike, dok su razlike između plave i crvene relativno male.

Organizacija CIE 1976 uvodi novi perceptualno homogen CIELAB prostora boja kojim rješava pitanje homogenosti CIE XYZ prostora. Unutar ovog modela kolorimetrijske razlike prema percepciji promatrača usklađene su s kolorimetrijskim razlikama među bojama koje se utvrđuju kolorimetrijskim mjerenjima. Zbog toga se ovaj model upotrebljava za modeliranje boja u psihofizičkim eksperimentima. CIELAB prostor boja zasniva se na teoriji suprotnih boja po Heringu.

CIELAB bojani prostor predstavlja trokoordinatni sistem (Sl. 2.8), pri čemu koordinate imaju sljedeće značenje:

- $L^*$ , koordinata svjetline; ima vrijednosti od 0 do 100. Što je broj manji, boja je sličnija apsolutno crnoj, što je broj veći, boja je sličnija apsolutno bijeloj.
- $a^*$ ; zeleno-crvena koordinata; pokazuje koliki je udio zelene, odnosno crvene komponente u nekoj boji;
- $b^*$ ; plavo-žuta koordinata; pokazuje koliki je udio plave, odnosno žute komponente u nekoj boji.

Koordinate  $a^*$  i  $b^*$  zajedno predstavljaju kromatičnost neke boje, a koordinata  $L$  definira njenu svjetlinu. Za male vrijednosti  $a^*$  i  $b^*$  dobivaju se nezasićene (sive) boje, slično kao kod

Munsellovog ili HSB sustava. Nasuprot tome, što su vrijednosti na osima  $a^*$  i  $b^*$  veće, dobivaju se zasićenije boje.

Koordinate  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  izvedene su direktno iz  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  koordinata CIE XYZ modela boja, transformacijskim jednadžbama:

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (2.16)$$

$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2.17)$$

$$b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right], \quad (2.18)$$

gdje je  $f(t)$  po dijelovima definirana kao funkcija trećeg korijena i linearna funkcija

$$f(t) = \begin{cases} \sqrt[3]{t}, & \text{za } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29}, & t \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \end{cases} \quad (2.19)$$

Trodimenzionalna točka  $(X_n, Y_n, Z_n)$  predstavlja trodimenzionalne vrijednosti referentne bijele točke za CIE 20 standardnog promatrača. Indeksom  $n$  označavaju se normirane veličine. Model CIELAB predstavlja najpotpuniji model boja kojim se reprezentiraju sve promatraču vidljive boje. CIELAB prihvaćen je kao standard za mjerenje boja u grafičkim komunikacijama ISO13655:1996.; ICC.1:1998-09, te je kao funkcija ugrađen u suvremene spektrofotometre i dio je većine sustava za upravljanje bojama.

## 2.8. MJERENJE BOJE

U području grafičkih komunikacija fizička interpretacija boje, koja omogućava i kvantitativno mjerenje boja, od iznimnog je značaja [77]. Mjerenje boja temeljeno na elektromagnetskom zračenju izvodi se pomoću spektrometrijskih i kolorimetrijskih metoda te se naziva instrumentalna kolorimetrija.

Razliku u boji koja je uzrokovana promjenom vizualnog efekta uspoređenih uzoraka moguće je izraziti računanjem kolorimetrijske razlike  $\Delta E$ . Postupak mjerenja sustavom uspoređivanja i usklađivanja boja prema jednakosti naziva se vizualna kolorimetrija. Izmjerene vrijednosti boje najčešće se predstavljaju u CIELAB sustavu.

### **2.8.1. Instrumentalna kolorimetrija**

Boja se može mjeriti na više načina, pomoću sljedećih uređaja:

- kolorimetara i
- spektrometara.

Mjerenje kolorimetrijske razlike odvija se pomoću kolorimetra, koji svojim izvorom svjetlosti osvjetljava uzorak, a zatim reflektiranu svjetlost propušta kroz crveni, zeleni i plavi filter kako bi simulirao standardnog promatrača za jedan od standardnih izvora svjetlosti prema temperaturi boje, najčešće C. Zatim fotokonduktor iza svakog filtra mjeri količinu propuštene svjetlosti i izražava je kroz veličine XYZ.

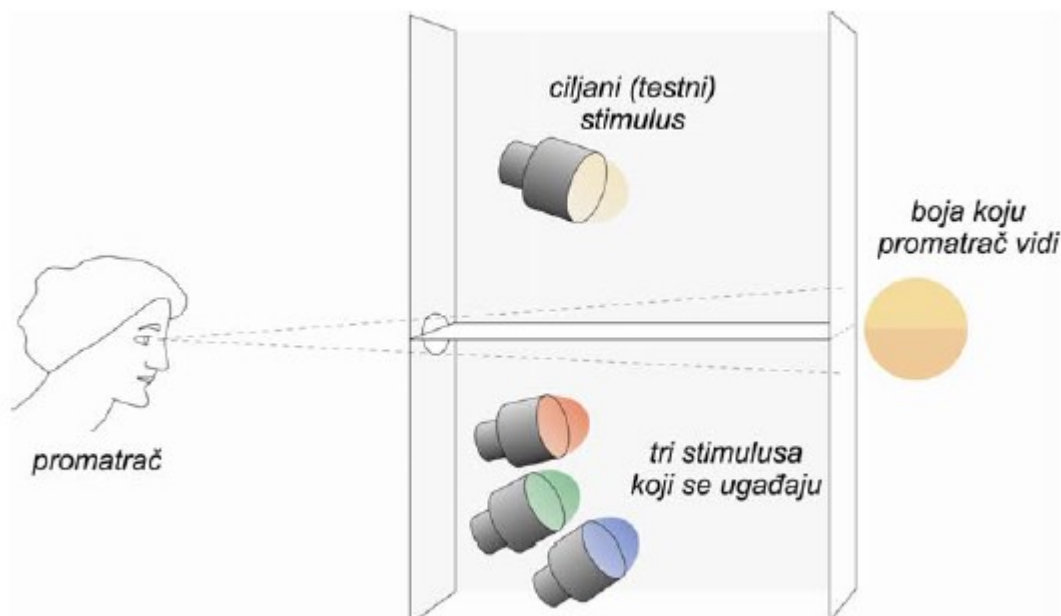
Spektrofotometri isto tako osvjetljavaju uzorak, ali reflektiranu ili propuštenu svjetlost razlažu na spektar pomoću difrakcijske rešetke. Spektar zatim pada na niz dioda tako raspoređenih da svaka mjeri intenzitet svjetlosti na određenoj valnoj duljini. Spektralni podaci se obrađuju u procesoru koji, uzimajući u obzir funkciju koja opisuje spektralnu emisiju izabranog osvjetlivača po valnim duljinama i funkciju usklađivanja boja za izabranog standardnog promatrača, izračunava XYZ vrijednosti.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da su vizualne metode za mjerenje i određivanje boje subjektivne, dok je mjerenje boje instrumentima objektivno.



### 2.8.2. Vizualni kolorimetar

Vizualna metoda za mjerenje boja temelji se na vizualnom tristimulusnom eksperimentu prikazanom na Slici 2.19.

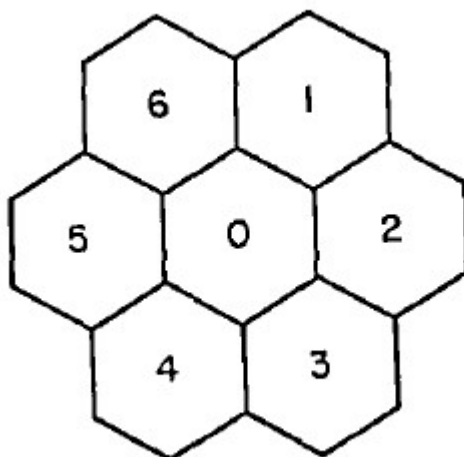


Slika 2.19. Vizualni tristimulusni eksperiment [82].

Vidno polje u vizualnom tristimulusnom eksperimentu organizirano je tako da se istodobno promatra testni i ugađajući stimulus kroz otvor u zastoru. Utjecaj okoline na subjektivni osjet boje u potpunosti je spriječen. Na gornju polovinu bijelog zaslona pada svjetlo iz monokromatskog izvora svjetla. Donja polovica zaslona osvjetljava se svjetlima triju primarnih boja iz tri različita izvora. Regulacijom intenziteta pojedinih komponenti primarnih boja na donjoj polovici zaslona moguće je dobiti boju istovjetnu boji na gornjoj polovici zaslona.

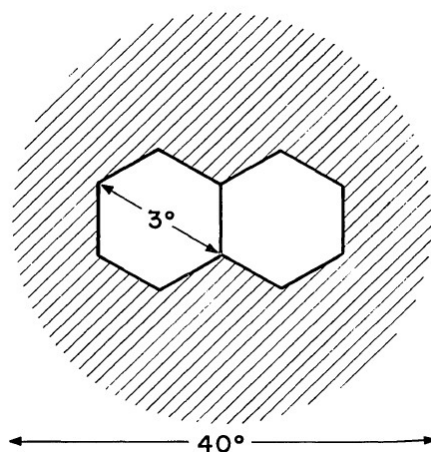
Wyszecki i Fielder (1965. i 1971. godine) u svojim radovima provode vizualni tristimulusni eksperiment s heksagonalnim poljima [83] [79] [80].

Wyszecki 1965. godine objavljuje preliminarne rezultate ponovljivosti ugađanja boja za jednog ispitanika. Kolorimetar se sastoji od sedam jedinica za miješanje boja, kombiniranih tako da daju skup od sedam heksagonalnih vidnih polja, kao što je prikazano na Slici 2.20. Polja označena brojevima od 1 do 6 ugađaju se prema polju označenom s 0 [83].



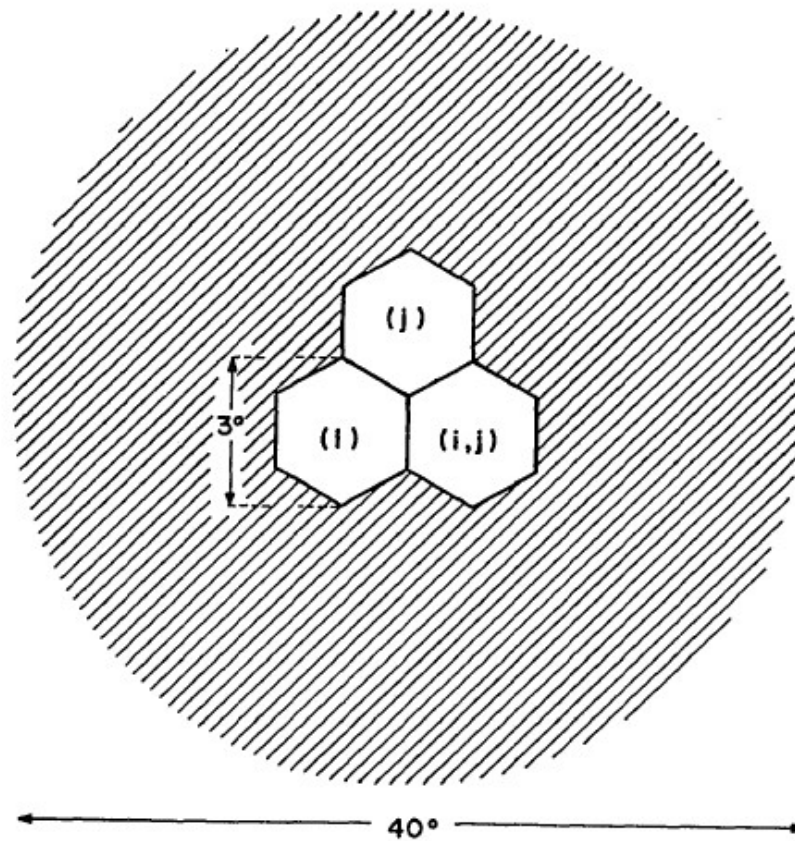
Slika 2.20. Niz od sedam vidnih polja koja pruža kolorimetar [83].

Wyszecki i Fielder 1971. godine objavljuju rezultate ugađanja boje za tri ispitanika s 28 boja uzetih tako da pokrivaju čitav gamut kolorimetra. Eksperiment se provodi s dva heksagonalna polja postavljena jedno uz drugo (Slika 2.21) [79].



Slika 2.21. Dva vidna polja koja pruža kolorimetar [84].

Wyszecki i Fielder 1971. godine objavljuju i rezultate ugađanja boje za tri ispitanika i s više od 30 pari boja. Prikupljen je opširniji skup podataka promatranja koji nudi uvjerljivi dokaz u pogledu preciznosti podudaranja razlika u bojama [80]. Eksperiment se provodi s tri heksagonalna polja postavljena jedno uz drugo (Slika 2.22).

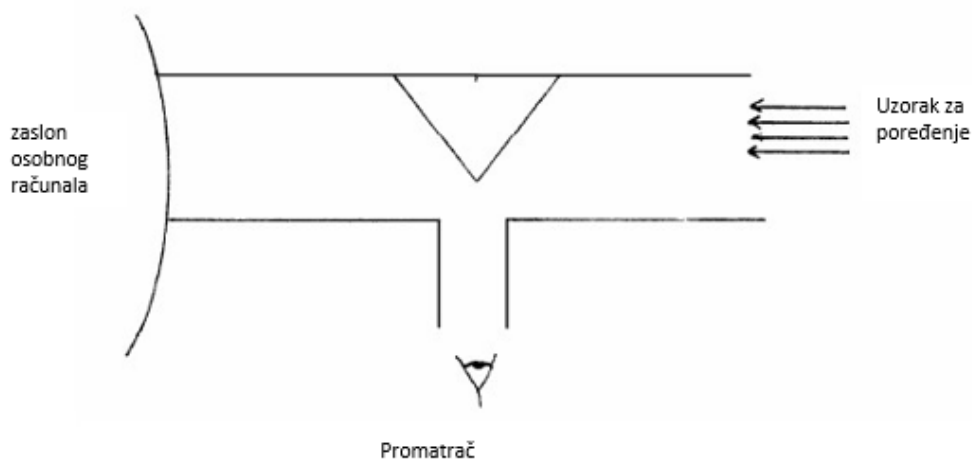


Slika 2.22. Tri vidna polja koja pruža kolorimetar [85].

### 2.8.3. Uporaba osobnog računala kao vizualnog kolorimetra

U istraživačkoj studiji Zavoda za fiziku (Stokholm University) Sällström Perh 1998. godine [81] opisuje upotrebu zaslona osobnih računala kao vizualnih kolorimetara. Određivanje (usklađivanje) boja ovom metodom istovjetno je klasičnom vizualnom tristimulusnom eksperimentu.

Prizmično tijelo s dvije identične bijele površine postavljeno je tako da svaki od izvora koji se uspoređuju osvjetljava jednu od površina. Promatrač kroz cijev gleda u područje prizme gdje se sastaju dvije površine i tako vidi dva polupolja. Slijeva i zdesna su površine osvjetljene jednim i drugim stimulusom. Lijeva površina osvjetljena je stimulusom koji dolazi s monitora, a desna površina stimulusom koji dolazi od uzorka (Slika 2.23).



Slika 2.23. Upotreba osobnog računala kao vizualnog kolorimetra [86].

#### 2.8.4. Uporaba osobnog računala za usporedbu razlika u boji

U svom radu Salvadori i Goñi iznose metodu usporedbe kolornih razlika dobivenih pomoću klasičnog kolorimetra i računarskog sustava koji se sastoji od digitalne kamere, razvijenog softvera i kontroliranog okruženja. Zaključak je da su ukupne kolorne razlike uzoraka mjerenih ovom metodom i istih uzoraka mjerenih klasičnim kolorimetrom približne i da se mogu uzeti u obzir [82].

Szafir i ostali bave se u svom radu pitanjem percepcije razlike u boji, tvrde da konvencionalni metrički podaci o razlikama u boji znatno podcjenjuju potrebne razlike između kodiranih vrijednosti i da potrebne razlike između oznaka variraju ovisno o vrsti vizualizacije koja se primjenjuje.

Njihov eksperiment temeljen je na empirijski potvrđenoj metodi iz znanosti o boji te konstrukciji modela vjerojatnosti percepcije razlika u boji kako bi se stvorili metrički podaci koje bi dizajneri trebali uzeti u obzir pri stvaranju vizualizacija. Ispitanicima su prezentirana polja za usporedbu boja putem internetske veze i oni su odgovarali na test gledajući boje na svojim monitorima [83, 84].

Liang i ostali proveli su dva odvojena, ali slična eksperimenta na Sveučilištu Leeds (UK), odnosno Sveučilištu Zhejiang (Kina). Proučeno je jedanaest MacAdamovih centara boja unutar opsega boja zaslona računala. Oba eksperimenta za procjenu razlika u boji provedena su pomoću Eizo zaslona primjenom metode omjera [85].

## 2.9. KOLORIMETRIJSKE RAZLIKE

Odstupanje u boji predstavlja rastojanje između pozicije boje originala i boje uzorka u sustavu za specifikaciju boje i izražava se numeričkim vrijednostima pomoću različitih jednadžbi za izračunavanje odstupanja u boji. Jedna od često korištenih jednadžbi razvijena je 1976. godine [86]. Ova jednadžba označava se sa  $\Delta E^*_{ab}$  i koristi se CIELAB sistemom za definiranje odstupanja u boji.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.20)$$

gdje  $L_1^*$ ,  $a_1^*$  i  $b_1^*$  predstavljaju izmjerene vrijednosti originala, dok  $L_2^*$ ,  $a_2^*$  i  $b_2^*$  predstavljaju izmjerene vrijednosti uzorka.

$\Delta E^*_{ab}$  dobiveno na temelju  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  koordinata obuhvaća sferu oko točke boje izmjenog originala u CIELAB sustavu, pri čemu se veličina sfere ne mijenja s položajem točke boje u CIELAB sustavu. Stoga svaka boja koja se nalazi unutar sfere s dovoljno malim prečnikom  $\Delta E^*_{ab}$  ima vrlo malo odstupanje od originalne boje, pa je pri usporedbi originala i uzorka ta razlika vizualno neuočljiva, dok svaka boja koja se nalazi izvan sfere vizualno veoma jasno odstupa u boji od originalne boje.

$\Delta E^*_{CMC}$ ,  $\Delta E^*_{94}$  i  $\Delta E^*_{00}$  definiraju se pomoću CIE  $L^*c^*h^*$  sustava i izračunavaju se pomoću  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  promjenjivih, pri čemu se uzimaju sljedeće razlike [87].

$$\Delta c^* = \sqrt{(a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.21)$$

$$\Delta h^* = \sqrt{(a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 - (\Delta c^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta c^*)^2} \quad (2.22)$$

Ove metode za računanje odstupanja u boji koriste se elipsoidnim, a ne sferičnim razdaljinama, kao kod računanja  $\Delta E^*_{ab}$  pomoću CIELAB sustava.

Kod njih se veličina i oblik elipsoida dinamički mijenja ovisno o položaju izmjerene boje u sustavu za specifikaciju boje. Tako su na primjer u narančastom dijelu sustava elipsoide uže, dok su u zelenom dijelu elipsoide šire. Također, elipsoide su veće u više zasićenim dijelovima nego u manje zasićenim dijelovima. Ovi novi modeli omogućavaju veće slaganje između vizualnog doživljaja i izmjenog odstupanja u boji [88].

Jednadžba  $\Delta E^*_{CMC}$  je razvijena 1988. godine od strane Vijeća za mjerenje boja udruženja slikara Velike Britanije (Colour Measurement Committee of the Society of Dyers and Colourists) i osigurava bolju usuglašenost između vizualnog ocjenjivanja i instrumentalnih mjerenja odstupanja u boji nego jednadžba  $\Delta E^*_{ab}$ . Kod  $\Delta E^*_{CMC}$  jednadžbe, odstupanje u boji matematički odgovara elipsoidi oko boje originala s poluosima koje odgovaraju tonu,

zasićenosti i svjetlini. Elipsoida predstavlja opseg prihvatljivosti i varira u veličini ovisno o položaju boje u sustavu.

Odstupanje u boji se u ovom slučaju izražava preko odstupanja u svjetlini,  $\Delta L^*$ , zasićenosti,  $\Delta C^*$ , i tonu,  $\Delta h^*$ .

Jednadžba za  $\Delta E^*_{CMC}$  glasi [89]:

$$\Delta E^*_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l - S_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{c - S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h^*}{S_h}\right)^2} \quad (2.23)$$

gdje su

$$\Delta L^* = L_1^* - L_2^* \quad (2.24)$$

$$\Delta C^* = C_1^* - C_2^* \quad (2.25)$$

$$C_1^* = \sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}} \quad (2.26)$$

$$C_2^* = \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}} \quad (2.27)$$

$$\Delta h^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} - \Delta C^{*2}} \quad (2.28)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^* \quad (2.29)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^* \quad (2.30)$$

$$S_L = \begin{cases} 0,511 & L_1^* \leq 16 \\ \frac{0,040975 \cdot L_1^*}{1 + 0,01765 \cdot L_1^*} & L_1^* \geq 16 \end{cases} \quad (2.31)$$

$$S_C = \frac{0,0638 \cdot C_1^*}{1 + 0,0131 \cdot C_1^*} + 0,638 \quad (2.32)$$

$$T = \begin{cases} 0,56 + |0,2 \cdot \cos(h_1 + 168^\circ)| & 164^\circ \leq h_1 \leq 345^\circ \\ 0,36 + |0,4 \cdot \cos(h_1 + 35^\circ)| & h_1 < 164^\circ, h_1 > 345^\circ \end{cases} \quad (2.33)$$

$$F = \sqrt{\frac{C_1^{*4}}{C_1^{*4} + 1900}} \quad (2.34)$$

$$h_1 = \arctan\left(\frac{b_1^*}{a_1^*}\right) \quad (2.35)$$

Budući da ljudsko oko lakše podnosi veća odstupanja u svjetlini,  $L$ , nego u zasićenosti,  $c$ , prvobitno je usvojen sljedeći odnos  $L:c = 2:1$ . Ovakav odnos dopušta dvostruko veće odstupanje u svjetlini nego u zasićenosti neke boje. Međutim, budući da se mjerenje odstupanja u boji provodi u različitim industrijskim granama, jednadžba za  $\Delta E^*_{CMC}$  dopušta promjenu ovog odnosa radi boljeg usuglašavanja s ljudskom percepcijom odstupanja u boji.

Jednadžbu  $\Delta E^*_{94}$  razvilo je 1994. Tehničko vijeće Međunarodne komisije za osvjetljenje (CIE). Kao i kod jednadžbe  $\Delta E^*_{CMC}$ , odstupanje u boji  $\Delta E^*_{94}$  jednadžbe matematički odgovara elipsoidi oko boje originala s poluosima koje odgovaraju tonu, zasićenosti i svjetlini.

Jednadžba  $\Delta E^*_{94}$  je izražena na sljedeći način:

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{1 + K_1 \cdot C_1^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h^*}{1 + K_2 \cdot C_1^*}\right)^2} \quad (2.36)$$

gdje su

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{1 + K_1 \cdot C_1^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h^*}{1 + K_2 \cdot C_1^*}\right)^2} \quad (2.37)$$

$$\Delta L^* = L_1^* - L_2^* \quad (2.38)$$

$$\Delta C^*_{ab} = C_1^* - C_2^* \quad (2.39)$$

$$C_1^* = \sqrt{a_1^{*2} + b_1^{*2}} \quad (2.40)$$

$$C_2^* = \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}} \quad (2.41)$$

$$\Delta h^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} - \Delta C^*_{ab}{}^2} \quad (2.42)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^* \quad (2.43)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^* \quad (2.44)$$

Jednadžba  $\Delta E^*_{94}$  također omogućava promjenu odnosa između odstupanja u svjetlini ( $K_L$ ) i zasićenosti ( $K_1, K_2$ ). Taj odnos također utječe na veličinu i oblik elipsoida, slično kao i odnos l:c kod  $\Delta E^*_{CMC}$ .

$K_L, K_1$  i  $K_2$  su konstante i njihove vrijednosti za grafičku industriju su  $K_L = 1, K_1 = 0,045$  i  $K_2 = 0,015$ .

Jednadžba  $\Delta E^*_{00}$  je razvijena 2000. godine usavršavanjem  $\Delta E^*_{94}$  jednadžbe za izračunavanje odstupanja u boji radi boljeg usuglašavanja između vizualnog ocjenjivanja i izmjerenog odstupanja u boji pomoću instrumenata. Odstupanje u boji se i u ovom slučaju izražava preko odstupanja u svjetlini ( $\Delta L'$ ), zasićenosti ( $\Delta C'$ ) i tonu ( $\Delta H'$ ), pri čemu se upotrebljavaju koeficijenti  $S_L, S_C$  i  $S_h$  koji uključuju utjecaj svjetline, zasićenosti i kuta tona. U dijelu sustava s najmanjom zasićenošću ti su koeficijenti približno jednaki 1, pri čemu se elipsoida odstupanja u boji svodi na odgovarajuću sferu. U dijelu sustava s najvećom zasićenošću koeficijent  $S_C$  je znatno veći od odgovarajućih  $S_L$  i  $S_h$  koeficijenata, što elipsoidu čini izduženijom u smjeru porasta zasićenosti. Koeficijenti  $K_L, K_C$  i  $K_h$  ovise o uvjetima mjerenja, ali se obično uzimaju tako da im je vrijednost jednaka 1.

Jednadžba  $\Delta E^*_{00}$  definirana je na sljedeći način [90]:

$$\Delta E^*_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_h \cdot S_h}\right)^2 + R_T \cdot \left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right) \cdot \left(\frac{\Delta H'}{K_h \cdot S_h}\right)} \quad (2.45)$$

gdje su

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^* \quad (2.46)$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2} \quad (2.47)$$

$$\bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2} \quad (2.48)$$

$$a'_1 = a_1^* + \frac{a_1^*}{2} - \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 257}}\right) \quad (2.49)$$

$$a'_2 = a_2^* + \frac{a_2^*}{2} - \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 257}}\right) \quad (2.50)$$



$$C'_1 = \sqrt{a_1'^2 + b_1^{*2}} \quad (2.51)$$

$$C'_2 = \sqrt{a_2'^2 + b_2^{*2}} \quad (2.52)$$

$$\bar{C}' = \frac{C'_1 + C'_2}{2} \quad (2.53)$$

$$\Delta C' = C'_2 - C'_1 \quad (2.54)$$

$$h'_1 = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b_1^*}{a_1'}\right) & \arctan\left(\frac{b_1^*}{a_1'}\right) \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{b_1^*}{a_1'}\right) + 360^\circ & \arctan\left(\frac{b_1^*}{a_1'}\right) < 0 \end{cases} \quad (2.55)$$

$$h'_2 = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b_2^*}{a_2'}\right) & \arctan\left(\frac{b_2^*}{a_2'}\right) \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{b_2^*}{a_2'}\right) + 360^\circ & \arctan\left(\frac{b_2^*}{a_2'}\right) < 0 \end{cases} \quad (2.56)$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_2 - h'_1| \leq 180^\circ \\ h'_2 - h'_1 + 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ, h'_2 \leq h'_1 \\ h'_2 - h'_1 - 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ, h'_2 > h'_1 \end{cases} \quad (2.57)$$

U današnjoj praksi rezultat proračunavanja malih razlika među bojama obično se izražava kao odnos između ukupno uočenih razlika i razlika u nijansi, kromi i osvjetljenu tih boja. I u svim slučajevima kad je vizualna razlika mala, podaci koji ih opisuju izražavaju se preko totalne razlike. A razlaganje te totalne razlike na komponente može se izraziti samo matematički, na temelju pretpostavke da je prostor oko boje euklidski. Korelacija između vizualno uočene i izračunane razlike poboljšana je uvođenjem empirijskih funkcija, ali za male vizualne razlike ne možemo znati koliko se izračunani podaci slažu s rezultatima dobivenim vizualnim putem jer vizualne podatke jednostavno nemamo. Zato ovo područje tek treba proučiti [11].

## 2.10. PSIHOFIZIKA

Vid i sluh imaju slične funkcije: transformiranje fizičke energije u format koji mozak može upotrijebiti kako bi upravljao organizmom čiji je dio. Registriranje mirisa i ukusa ovisi o interakciji posebnih kemijskih senzora u odgovarajućim organima sa organskim ili

neorganskim kemikalijama iz naše okoline. Ostale, specijalizirane senzacije, kao što su razni osjećaji zadovoljstva ili bola, najvjerojatnije su rezultat generiranja elektrokemijskih signala isključivo unutar organizma.

Psihofizičke metode su empirijski pokušaji da se otkrije veza između podražaja i senzoričkih odgovora organizma na te podražaje mjerenjem onoga što osoba opiše da je opazila ili da je na nju utjecalo.

Kategorizacijom ovih senzoričkih odgovora i analizom veze između intenziteta podražaja i osjećaja koji proizvedu, psihofizika pokušava otkriti kako senzorna psihologija funkcionira i utvrditi zajedničke postavke između neurobiologije i psihologije.

Moglo bi se očekivati da je senzorički odgovor proporcionalan intenzitetu podražaja, ali se pokazalo da je to rijetko točno. Matematička potkrijepljenost psihofizike povezana je s mjernom teorijom, granom primijenjene matematike.

Jedan od postulata mjerne teorije je da mjera nije isto što i atribut koji se njome mjeri. Mjerenjem razlike između dviju boja mi ne otkrivamo ništa o prirodi tih dviju boja. W. S. Sarle (1995) definira mjerenje nekog atributa bilo koje grupe predmeta kao „proces dodjeljivanja brojeva ili drugih simbola predmetima na takav način da ti brojevi ili simboli reflektiraju vezu između atributa koji se mjere. Svaki način dodjeljivanja tih brojeva ili simbola kako bi se nešto izmjerilo se zove mjerna ljestvica.

### **2.10.1. Osnove psihofizike**

Problem koji leži u srcu psihofizike je nedostatak znanja o tome kako se ljudski osjećaji i iskustva pohranjuju. To je ono što je filozof D. J. Chalmers nazvao ozbiljnim problemom ljudske svijesti [96]. Zbog nedostatka tog znanja, svi pokušaji da se stvori fundamentalna teorija psihofizike ostaju na razini spekulacija. Fechner je doživio kritiku svog suvremenika Kriesa da je veličina senzoričkog osjećaja rezultat skrivenih procesa (koji se ne mogu kognitivno spoznati) i da, kao rezultat, brojevi koji se pripisuju senzoričkim osjećajima nemaju numeričku vrijednost u matematičkom smislu, već su samo oznake s kojima je nama zgodno baratati. Brojevi nas zapravo mogu i navesti na pogrešan zaključak da su rezultat nekog mjerenja u fizičkom smislu i da sadrže neku preciznost koju nemaju [11].

U biti, psihofizika nema precizan odgovor. Psihofiziku treba promatrati kao u osnovi empirijski, praktični pokušaj da poveže intenzitet podražaja s intenzitetom senzoričkog odgovora, ili točnije, percepcije. Mjerenje ili skaliranje psihološkog intenziteta ili razlika nužno uključuje i sud. Sud se definira kao „proces formiranja mišljenja ili procjene razlikovanjem ili usporedbom”, a procesi donošenja sudova i njihovi neurološki izrazi nama nisu poznati [11].

Ako se sa  $S$  obilježi senzorički osjećaj, a s  $R$  procijenjeni numerički odgovor na intenzitet podražaja ( $I$ ), implicitna psihofizička transformacija  $F1$  može se izraziti na sljedeći način:

$$a S = F1 (I) \quad (2.58)$$

S druge strane, reakcija promatrača,  $R$ , povezana je s intenzitetom funkcije procjene  $F2$ :

$$a R = F2 (I) \quad (2.59)$$

Ove dvije funkcije za izražavanje transformacije obično se izjednače, što daje rezultat

$$a R = F(I) \quad (2.60)$$

Bez poznavanja vrijednosti bilo koje od ove dvije komponente, nemoguće je odrediti vrijednost druge [96]. Jednadžba (2.60) je matematički izraz pretpostavke koja leži u osnovi psihofizike.

Bilo je nekoliko pokušaja da se razvije fundamentalna teorija psihofizike, a jedan od njih je i pokušaj K. H. Norwicha (1993) [11]. Norwich se bazirao na teoriji informacija. Intenzivniji podražaji nose više informacija nego oni koji su manje intenzivni. Po njemu se na temelju senzoričkog osjećaja može mjeriti količina informacija koju dani podražaj nosi:

$$a S = kH \quad (2.61)$$

gdje je  $S$  perceptualna varijabla (intenzitet senzoričkog odgovora),  $k$  pozitivna konstanta, a  $H$  informacije o podražaju koje se mogu konvertirati. Za  $S$  se uzima da je rezultat nekoliko različitih podražaja, a  $H$  se računa kao funkcija vjerojatnosti svakog podražaja koji se promatra.

Dok je neke od podražaja lako fizički izmjeriti (npr. granice i domet ljudskog vida), za neke druge se smatra da trpe kontinualne promjene na mikroskopskom razini. Za Weber-Fechnerov zakon, kao i za Stevenov zakon o jačini, pokazalo se da su samo specijalni slučajevi Norwicheva zakona, pri čemu se Weber-Fechnerov prije odnosi na podražaje s većom količinom informacija, a zakon o jačini na one s manjom. No sam po sebi Norwichev zakon, naravno, ne pruža objašnjenje „teškog problema” [11].

Psihofizička mjerenja se mogu provesti na različitim točkama u naizgled kontinuiranoj senzornoj reakciji:

1. apsolutni donji prag / donja granica zamjetljivosti,
2. donje granice skokova na sljedeću jačinu osjećaja (samo primjetne razlike) i
3. skaliranje cijelog spektra.

Donja granica zamjetljivosti i donja granica skokova na sljedeću jačinu osjećaja su već određeni dolje opisanim Fechnerovim metodama.

Šezdesetih godina (1963) Green i Sweets su razvili teoriju detekcije signala, koja Fechnerovu ideju o diskretnom donjem osjetilnom pragu razbija na dva dijela:

1. neurofizički predodređenu bazičnu komponentu (sposobnost razlikovanja različitih senzoričkih osjećaja –  $d'$  (*discriminability*)) i

2. kognitivno predodređen proces odlučivanja –  $\beta$  (*response bias* – dio senzoričkog odgovora koji ovisi o našim predrasudama).

Kao rezultat, postoje četiri tipa moguće reakcije na podražaj: pogodak, promašaj, lažna uzbuna i opravdano zanemarivanje.

Fechner je smatrao da se ljestvica senzoričkog osjećaja može izvesti iz sposobnosti razlikovanja različitih senzoričkih podražaja i da samo znatna/primjetna smanjenja i povećanja u njihovoj jačini mogu utjecati na jačinu senzoričkog odgovora.

Stevens je, s druge strane, postulirao da se na jačinu senzoričkog odgovora može direktno utjecati. On je mjerenje opisivao kao pripisivanje numeričke vrijednosti objektima u skladu s nekim određenim pravilima, što kao rezultat daje neke empirijski utvrđene odnose. Za obje teorije postoje eksperimentalni podaci koji im idu u prilog.

Današnji psihofizičari izgleda više naginju teoriji da je sastavni dio fundamentalnog procesa sposobnost uviđanja razlika. A može se reći da je za izradu senzoričke ljestvice nužno prilagođavati udaljenosti između podražaja kako bi se dostigao neki interni ili eksterni standard, ili da bi se razlike u osjetilnom odgovoru mogle procijeniti i numerički izraziti [11].

Za psihofizičke sudove je poznato da na njih utječu okolnosti pod kojima se donose. Na primjer, poznato je da rezultati metode mjerenja u omjeru 1 : 2 ovise o tome daju li se podražaji od jačega prema slabijem ili obrnuto (što se naziva efekt histereze).

Za skaliranje boja, kao i za skaliranje mnogih drugih oblika percepcije, razina adaptacije uvelike utječe na rezultate mjerenja. Može se navesti primjer da opažanje sive ljestvice uvelike ovisi o stupnju osvjetljenosti okoline.

I za redosljed podražaja je dokazano da utječe na rezultate skaliranja. Jedan od mogućih razloga za to su promjene u razini adaptacije koje se baziraju na prethodno doživljenim podražajima.

Zna se da na rezultat utječu i opseg prikazanih podražaja i njihova razina, posebno u slučaju procjene njihove jačine. Apsolutna vrijednost u odnosu na koju se neko među patuljcima naziva malenim, srednjim ili velikim veoma se razlikuje od one koja vlada među košarkašima.

Dobro je poznato i da na ljudsku percepciju utječu okolnosti. Kako se doživljava svjetlina neke površine ne ovisi samo o razini adaptacije, već i o ostalim okolnostima, na

primjer promatra li se ta površina u sjeni ili na direktnom svjetlu. Slični faktori utječu i na doživljaj obojenih površina.

Usprkos nedostatku solidne osnove, psihofizika opstaje zbog svog prilično praktičnog značaja. Stalna zainteresiranost za nju može biti i posljedica onog što je L. E. Marks nazvao metaforičkim imperativom.

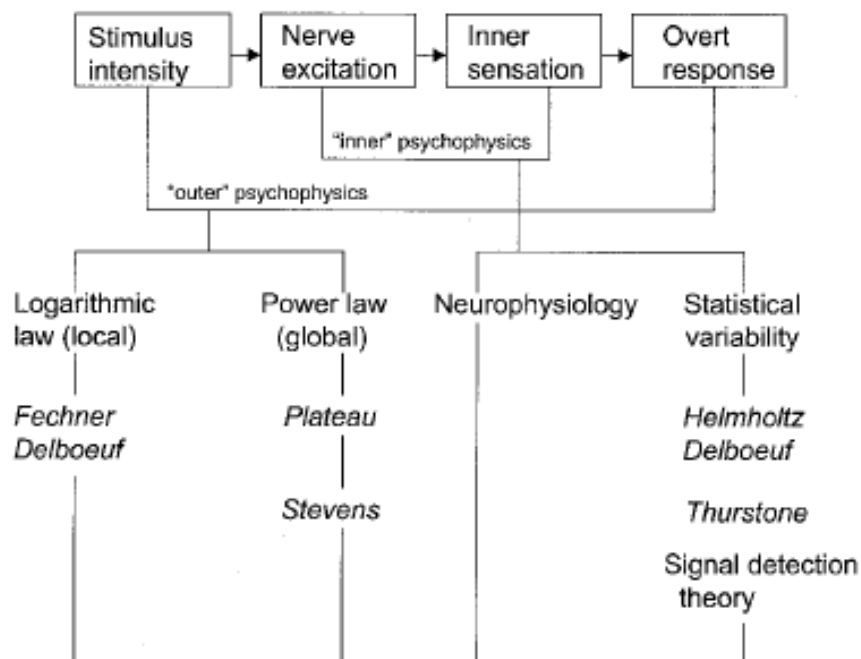
Kad se na ovo gleda iz perspektive Fechnerove unutarnje i vanjske psihofizike, konvencionalni psihofizički doživljaj se može prikazati shemom kao na Slici 2.24.

Odnos između podražaja i svjesnog doživljaja predstavlja klasičnu psihofiziku.

Odnos između nervnog podražaja i unutarnjeg senzoričkog odgovora spada u domenu neuropsihologije i kao takav je podložan promjenjivosti ovih procesa koji se, kao što je rečeno, mogu tretirati na razne načine.

Klasično gledište psihofizike je da ljudi reagiraju na podražaje.

Moderno gledište je da ljudi na temelju podražaja postupaju tako da ih svaka osoba interpretira na način koji pridonosi ostvarenju njenih ciljeva.



Slika 2.24. Konvencionalno psihofizičko iskustvo viđeno iz perspektive Fechnerove unutarnje i vanjske psihofizike (modificirao Murray, 1993.).

### **2.10.2. Psihofizičke metode**

Za mjerenje percepcije i procjenu reakcije ispitanika na podražaj izazvan stimulusom primjenjuju se psihofizičke metode. Psihofizičke metode su skup alata i procedura pomoću kojih je moguće detektirati, procijeniti i opisati kako same vizualne procese, a tako i reakcije ispitanika na percipirani podražaj [91].

U psihofizičkom eksperimentu utvrđuje se može li ispitanik:

- detektirati stimulus
- identificirati i opisati stimulus
- razlikovati jedan stimulus od drugih stimulusa
- opisati veličinu i prirodu zamijećene razlike među stimulusima [92].

Iritacija ili stimulacija uzrokuju privremeni porast fiziološkog odgovora cijelog organizma ili nekih njegovih dijelova. Može stimulirati tijelo ili bilo koji njegov dio da pravilno reagiraju. Stoga se psihofizika kao znanstvena disciplina bavi i istraživanjem percepcijske reakcije na djelovanje fizičkih podražaja.

Psihofizički alati se u velikoj mjeri upotrebljavaju u praktičnim primjenama u vizualnim znanostima [93]. Bitni elementi vizualne komunikacije su informacije o boji. U grafičkim komunikacijama psihofizički eksperimenti provode se s ciljem evaluacije percepcije različitih vizualnih stimulusa koji se javljaju u procesu grafičke komunikacije [94, 95, 96]. Cilj istraživanja je utvrđivanje utjecaja stimulusa na vizualnu percepciju kako bi se što učinkovitije kontrolirao proces prijenosa vizualnih informacija, kao i utjecaj različitih efekata na percepciju vizualne informacije.

Standardni CIE promatrač, kao najbolji sustav zadužen za percepciju boja, definiran je psihofizičkom metodologijom [97].

Najniža vrijednost intenziteta stimulusa koju ispitanik može percipirati je apsolutni prag percepcije. Za ispitivanje detekcije praga percepcije u području psihofizičkih istraživanja upotrebljavaju se tri znanstvene metode [98]:

- metoda podešavanja
- metoda limita
- metoda konstantnih stimulusa.

### **2.10.2.1. Metoda podešavanja**

Metoda podešavanja najjednostavnija je metoda za određivanje pragova promatrača za zadani podražaj [99].

Ta tehnika omogućuje promatraču da ima kontrolu nad veličinom samog podražaja. Promatrač mora prilagoditi veličinu podražaja kako bi postigao željeni cilj ili kriterij.

Kriterij može uključivati podešavanje podražaja do trenutka kada se podražaj jedva uočava (za apsolutni JND) ili prilagođavanje podražaja do trenutka kada se podražaj razlikuje od drugog (za razliku JND).

Prag percepcije se zatim definira kao aritmetička sredina za nekoliko ispitivanja, kao i za nekoliko promatrača.

Metoda se može objasniti na primjeru slike u boji i njene kompresije prije nego što promatrač uoči razliku. Za ovaj primjer može se organizirati test na takav način da promatrač na zaslonu računala promatra dvije slike u boji, jednu kao original, a drugu komprimiranu. Promatrač klizačem može povećavati ili smanjivati stupanj kompresije. Zadatak je da se klizačem podešava kompresija dok promatrač ne uoči razliku između originala i podešavane slike. Metoda podešavanja ima veliku prednost jer je brza, laka za postavku i jednostavna za izračun praga percepcije. To rezultira manjom preciznošću u odnosu na druge dvije metode. S obzirom na navedeno, ova metoda se često upotrebljava kao pilot-eksperiment da bi se dobile polazne osnove za druge dvije metode. [5]

Višestrukim ponavljanjem ispitivanja intenziteta apsolutnog praga na različite varijacije stimulusa percepcije moguće je konstruirati psihometrijsku krivulju. Psihometrijska krivulja može se dobiti primjenom numeričke matematike, koja podrazumijeva interpolaciju dobivenih frekvencija ispravnih odgovora ispitanika. Krivulja se može dobiti i regresijskom analizom, metodom maksimalne vjerodostojnosti ili drugim metodama statistike.

Izgradnja psihometrijske krivulje zauzima središnje mjesto u teoriji i praksi psihofizike kao znanstvene discipline, prema matematičaru i psihologu Falmagneu [100].

Matematički opis objektivnog, fizički mjerljivog intenziteta podražaja na subjektivni intenzitet percepcije je podrazumijevani put utvrđivanja psihofizičkog odnosa između stimulusa i promatrača.

### **2.10.2.2. Metoda limita**

Metoda limita daje preciznije podatke nego metoda podešavanja. Može se pretpostaviti da je nešto kompleksnija za provedbu. U ovoj tehnici eksperimentator ne kontrolira veličinu

stimulusa i pojavnost samog stimulusa. Veličine stimulusa se prikazuju ispitaniku u redefiniranim uzlaznim i silaznim nizovima.

Kod silaznih nizova početni stimulus se prezentira dosta iznad praga percepcije. Promatrač odgovara verbalno ili zapisom preko nekog odzivnog medija kada registrira stimulus. Ako promatrač uoči stimulus, odgovara s „da”, a zatim se prikazuje stimulus umanjenih veličina. Veličina stimulusa se umanjuje dok promatrač ne izvjesti da više nije u stanju percipirati stimulus.

Kod uzlaznih nizova prvi stimulus se prezentira tako da definitivno nije vidljiv. Promatrač odgovara vidi li stimulus ili ne. Ako odgovori da ne vidi stimulus, veličina stimulusa nastavlja se povećavati. Sve se ponavlja dok je promatrač u stanju vidjeti stimulus.

Prag se određuje srednjom vrijednošću između veličina stimulusa kada promatrač prvi put percipira stimulus u uzlaznom nizu i kada ne percipira stimulus u silaznom nizu [5].

Primjenom metode limita ispitanik se navikava na stimulus te postoji mogućnost da može izvještavati detekciju stimulusa koji više ne percipira. Zbog toga je Georg von Bekesy uveo princip skaliranja u svojoj studiji detekcije sluha, emitiranjem zvučnih signala većeg intenziteta koje postupno snižava, provedenoj 1960. godine [98]. Ovom metodom dobivaju se vrlo pouzdani i kvalitetni podaci o pragu percepcije i u vizualnoj psihofizici.

Često se ova metoda upotrebljava za dobivanje grube ideje gdje se događa prijelazna točka i tako se minimizira mogućnost uvrštavanja netočnih podataka u analizu.

### **2.10.2.3. Metoda konstantnih stimulusa**

Metodom konstantnih stimulusa svakom ispitaniku se prezentira tipično 5 do 7 stimulusa u slučajnom redoslijedu, iako ovaj broj može varirati. Ispitanik može detektirati ili ne detektirati svaki od tih stimulusa, ali oni su raspoređeni tako da pokrivaju predviđeno područje praga percepcije. Eksperiment se ponavlja više puta s promjenama redoslijeda stimulusa. Kako ispitanik ne bi mogao predvidjeti razinu sljedećeg poticaja, eksperiment se ponavlja više puta nad ispitanikom, do 50 puta. Tako je smanjena mogućnost pogreške uzrokovane navikavanjem ispitanika na stimulus ili ispitanikovim očekivanjem. Friedrich Hegelmaier prvi je opisao metodu konstantnih stimulusa u radu objavljenom 1852. godine [101]. Na temelju rezultata dobivenih pomoću ove metode može se pristupiti izradi psihometrijske funkcije.



### **2.10.3. Psihofizičke tehnike**

Za izvođene psihofizičke metode utvrđena su pravila i procedure koje se nazivaju psihofizičke tehnike.

U grafičkim komunikacijama upotrebljavaju se psihofizičke tehnike za proučavanje vizualne percepcije raznih vizualnih informacija. Vizualna psihofizika bavi se psihofizikom vizualne percepcije [102].

Odnos između grafičke reprodukcije i originala uvijek se dovodi u vezu u pogledu sličnosti. Težnja svake grafičke tehnike je da se grafičkom reprodukcijom postigne što veći stupanj sličnosti s originalom.

Precizno opisane različite tehnike vizualnog ocjenjivanja iznijeli su Braun, Fairchild i Alezi 1996. godine [103]. Opisane tehnike mogu se uspješno primijeniti na uspoređivanje testnog i referentnog stimulusa, kao i na ispitivanje odnosa između originala i reprodukcije.

Najvažnije tehnike mogu se klasificirati kao pet psihofizičkih metoda:

- memorijsko usuglašavanje
- sukcesivno binokularno memorijsko usuglašavanje
- simultano binokularno usuglašavanje
- simultano halaskopsko usuglašavanje
- sukcesivno Gazfeldovo halaskopsko usuglašavanje.

Prilikom memorijskog usuglašavanja testni i referentni stimulus ne smiju se promatrati u isto vrijeme niti se smiju pogledati više puta. Ocjena testnog stimulusa se daje na temelju memorijske usporedbe.

Sukcesivno binokularno memorijsko usuglašavanje je tehnika slična memorijskom usuglašavanju. U ovoj tehnici ispitanik smije ponovno pogledati referentni stimulus u bilo koje vrijeme. Ocjena testnog stimulusa se daje na temelju memorijske usporedbe kao i kod memorijskog usuglašavanja.

Simultano binokularno uspoređivanje podrazumijeva usporedbu referentnog i testnog stimulusa u isto vrijeme. Referentno i testno polje su istodobno u vidnom polju ispitanika. Ispitanik donosi ocjenu simultanim uspoređivanjem stimulusa te je ova tehnika znatno preciznija, a istodobno i brža od prethodne dvije.

Simultanim halaskopskim usuglašavanjem usporedba testnog i referentnog stimulusa se provodi tako da se testni stimulus promatra jednim, a referentni drugim okom. Pregrada je postavljena između ispitanikovih očiju kako bi se spriječilo da se jednim okom vide oba polja.

Sukcesivno Gazfeldovo halaskopsko usuglašavanje složeniji je psihofizički postupak, u kojem se ispitivanje provodi slično simultanom halaskopskom usuglašavanju, s razlikom što se stimulusi ne promatraju istodobno, već odvojeno, jedan za drugim.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. PLAN EKSPERIMENTA

Na temelju postavljenih hipoteza i ciljeva postavljeno je istraživanje koje se sastoji od sljedećih koraka (Slika 3.1):

- izrada programa za ispitivanje percepcije ispitanika za razliku u boji
- izbor skupa referentnih boja za provođenje ispitivanja
- izbor skupa referentnih ispitanika
- testiranje ispitanika u kontroliranim uvjetima
- prikupljanje i statistička obrada rezultata dobivenih pomoću programa za ispitivanje
- izrada tiskanih obojenih uzoraka radi provjere usuglašenosti rezultata dobivenih pomoću programa i s tiskanih polja.

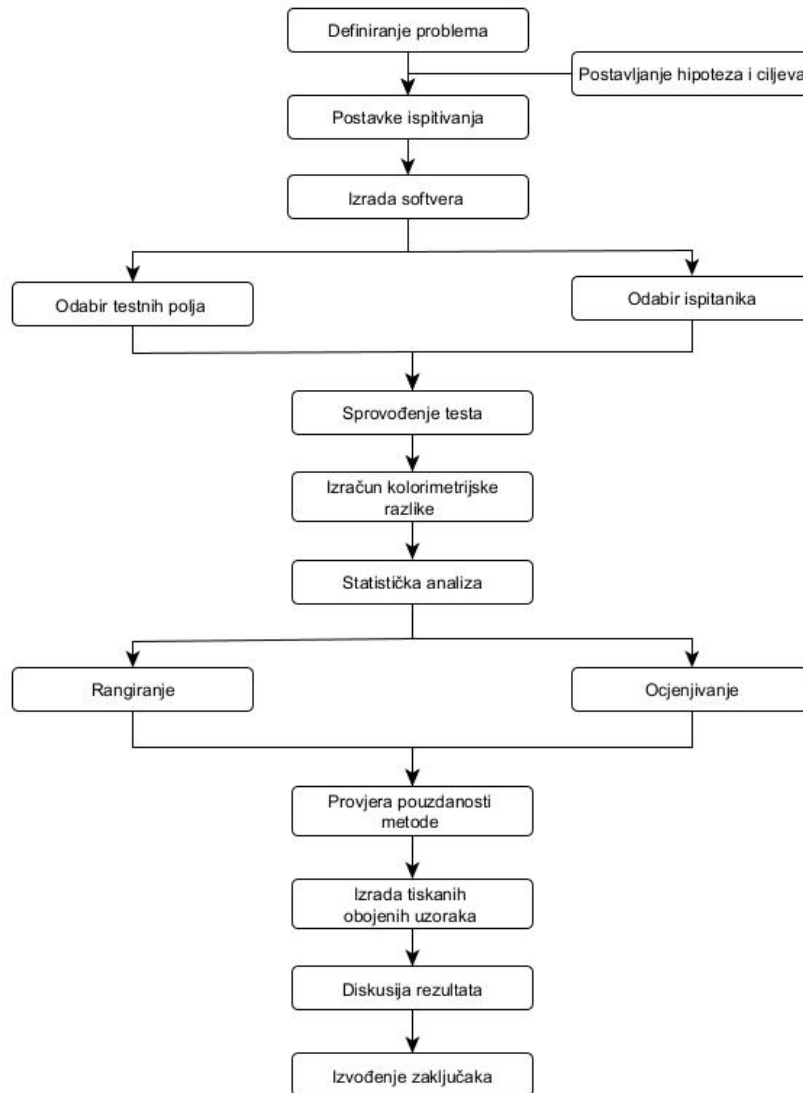
Pomoću originalnog programa ColorChanger, načinjenog za potrebe ove disertacije, mogu se primijeniti metode ispitivanja opisane u poglavlju 2.11., i to:

- metoda podešavanja za detekciju stimulusa
- metoda limita zajedno s metodom konstantnih stimulusa za razlikovanje jednog stimulusa od drugih stimulusa.

Obje navedene metode provode se tehnikom simultanog binokularnog usuglašavanja opisanog u poglavlju 2.12.

Spomenuti program omogućava:

- istodobno prikazivanje obojenih polja na kalibriranom zaslonu, i to referentnog i podesivog, ili referentnog i promjenjivog
  - definiranje broja i boje referentnih polja
  - manualno upravljanje promjenama boje podešavanog polja
  - automatsko mijenjanje boje promjenjivog polja
- memoriranje rezultata ispitivanja, odnosno informacije o bojama podesivog polja koje je ispitanik ugodio prema referentnom polju (prag osjetljivosti), ili informacije o boji promjenjivog polja koju je ispitanik uočio kao jedva primjetno različitu ili neprihvatljivo različitu od boje referentnog polja.



Slika 3.1. Shema plana istraživanja.

Oba polja, referentno i podešavano, odnosno promjenjivo, prikazuju se jedno pored drugog na kalibriranom zaslonu, te u slučaju postizanja istovjetnosti predstavljaju dva stimulusa iste spektralne distribucije.

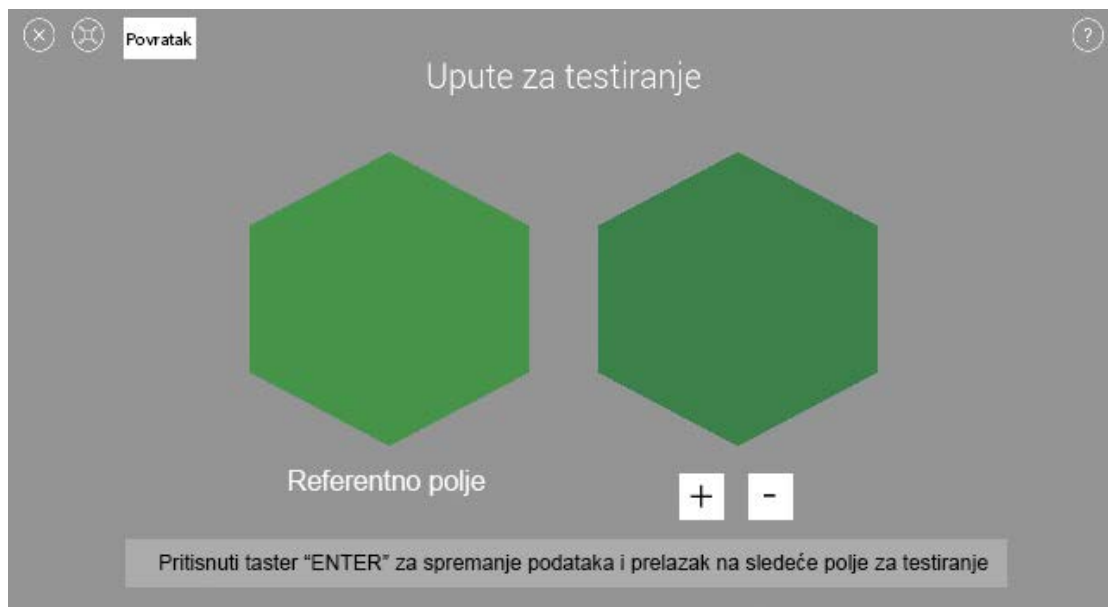
Na temelju prikupljenih podataka izračunava se razlika u boji za sva polja i sve ispitanike, poslije čega se pristupa statističkoj obradi rezultata. Metodama deskriptivne statistike dobivaju se podaci na temelju kojih se ispitanici mogu okarakterizirati i rangirati prema vlastitom osjećaju za razlike u boji.

Rezultati dobiveni ovakvim eksperimentom omogućavaju definiranje odnosa između kvantitativnog pokazatelja i ljudske percepcije razlike u boji.

Iskazivanjem tolerancija za razlike u boji, njihovim rangiranjem i ocjenjivanjem predloženi su percipirani osjećaji za razlike u boji svakog ispitanika iz grupe ispitanika, te se može okarakterizirati i cijela grupa.

### 3.2. TIJEK ISPITIVANJA POMOĆU PROGRAMA ColorChanger

Neposredno ispitivanje provodi se tako da se u programu ColorChanger na kalibriranom zaslonu ispitaniku prikazuju obojena polja (Slika 3.2). Ispitanik interaktivno sudjeluje u ispitivanju reagirajući na vizualni stimulus komandama s tipkovnice ili miša osobnog računala.



Slika 3.2. Prikaz sučelja programa ColorChanger.

Na osnovnom ekranu (Slika 3.2) prikazana su dva polja, od kojih je lijevo polje referentno, a desno polje promjenjivo ili podešavajuće.

Obavljaju se dvije osnovne vrste testiranja:

- Manualno mijenjanje boje podešavanog polja komandama koje ispitanik zadaje preko tipkovnice, pri čemu se početna boja podešavanog polja na početku testiranja razlikuje od boje referentnog polja; cilj je da ispitanik podesi da boja podešavanog polja vizualno bude jednaka referentnom polju.
- Automatska promjena boje promjenjivog polja, pri čemu je boja promjenjivog polja na početku testiranja jednaka boji referentnog polja s ugrađenim nasumičnim vremenskim odmakom prije početka automatske promjene boja kako bi se uklonila mogućnost da korisnik samo stišće razmaknicu i odmah zaustavi test; cilj je da ispitanik reagira putem tipkovnice čim primijeti da se boja promjenjivog polja razlikuje od boje referentnog polja, a zatim da ponovno reagira kad razlika u boji postane za njega prevelika, odnosno neprihvatljiva.

Tijekom rada program zapisuje podatke koji predstavljaju osnovu za izračun tri vrste kriterija za promatrača-ispitanika:

- prag osjetljivosti (PO) ispitanika na razlike u boji

- jedva primjetna razlika (JPR) u boji koju ispitanik može uočiti
- neprihvatljiva razlika u boji (NPR), koju ispitanik više ne može tolerirati.

Ispitivanje se odvija u standardnim ambijentalnim uvjetima promatranja. Ti su uvjeti definirani u skladu s ISO 3664:2009 – normom kojom su specificirani uvjeti promatranja za grafičku tehnologiju i profesionalnu fotografiju:

- kut promatranja – 10 °
- udaljenost ispitanika od zaslona – 50 cm
- boja ambijenta – neutralna mat siva
- zamračeni prostor u kojem se provodi ispitivanje.

Za sprovođenje ispitivanja odabrana je grupa od 20 ispitanika razvrstanih po spolu, od kojih je bilo 10 ženskih i 10 muških, u dobi od 20 do 40 godina, raznih profesionalnih orijentacija. Svi su ispitanici prije uključivanja u istraživanje testirani Ishihara testom na sljepilo na boje. U istraživanju su sudjelovali samo kandidati koji su uspješno prošli Ishihara test.

Prije serije ispitivanja na grupi ispitanika program omogućava administratoru modeliranje velikog broja parametara svakog testiranja, među kojima je skup referentnih polja, dopušteni raspon podešavanja u odnosu na referentne vrijednosti, skup podataka o svakom ispitaniku i drugi parametri detaljno nabrojani u poglavlju 3.4.1.

Na početku ispitivanja program traži popunjavanje tablice s osobnim podacima, koji mogu biti važni za analizu pokazuju li ispitanici s nekim zajedničkim karakteristikama sličnost u percepciji razlika u boji.

Poslije popunjavanja tablice s podacima ispitaniku se nudi mogućnost rada u testnom okruženju da bi se obučio i prilagodio radu u programu. Rezultati dobiveni u ovom režimu rada se ne memoriraju.

Nakon podešavanja uvjeta ispitivanja, podešavanja programa i obuke za rad u njemu, pristupa se neposrednom ispitivanju. U prvoj fazi neposrednog ispitivanja ispitanik ugađa boju podesivog polja prema referentnom polju. U drugoj fazi ispitanik reagira čim primijeti razliku u boji između referentnog i promjenjivog polja, i još jednom, kada ta razlika postane neprihvatljiva.

Tijekom ispitivanja boja promjenjivog ili podesivog polja se svaki put mijenja u jednom od tri pravca osi CIELAB sustava. S obzirom na to da se po svakoj osi vrijednosti mogu mijenjati u dva smjera, proizlazi da se za svaku boju i kriterij percepcije na kraju dobiva po šest rezultata, koji se simbolički mogu označiti kao L+, L-, a+, a-, b+ i b-.

Referentne boje za koje želimo testirati percepciju ispitanika pojavljuju se nasumičnim redoslijedom, čime se postiže da ispitanik ne zna koju sljedeću boju da očekuje i u kojem pravcu i smjeru će teći promjena.

Tijekom ispitivanja program memorira podatke o bojama koje je ispitanik podesio ili na koje je reagirao i na kraju generira Excel tablicu (Prilog A). Excel tablica sadrži:

- CIELAB vrijednosti za sva referentna polja
- CIELAB vrijednosti za prag osjetljivosti koje je ispitanik podesio u prvoj fazi ispitivanja
- CIELAB vrijednosti za jedva primjetnu razliku i neprihvatljivu razliku na koje je ispitanik reagirao u drugoj fazi ispitivanja.

Na temelju podataka iz generirane Excel tablice, za svako od 24 testna polja izračunava se:

- $\Delta E$  između referentnog polja i polja koje je podesio ispitanik u prvoj fazi testiranja; ovo predstavlja prag osjetljivosti ispitanika; izračunano je  $\Delta E$  posebno za svaki smjer promjene CIELAB koordinata po osima, ukupno 144 rezultata; to vrijedi i za sljedeća dva kriterija; na kraju je za svaku boju izračunana prosječna vrijednost  $\Delta E$  iz šest rezultata;
- $\Delta E$  između referentnog polja i promjenjivog polja kada je ispitanik prvi put primijetio razliku; ovo predstavlja jedva primjetnu razliku;
- $\Delta E$  između referentnog polja i promjenjivog polja kada je razlika postala veća nego što bi ispitanik mogao prihvatiti; ovo predstavlja neprihvatljivu razliku.

Za izračun  $\Delta E$  izabrana je formula  $\Delta E_{2000}$ , opisana u poglavlju 2.9., jer najtočnije opisuje perceptualnu kolornu razliku.

### 3.3. OPREMA

U ispitivanju je upotrijebljena sljedeća oprema (hardver):

- UHD monitor (zaslon) Eizo ColorEdge CG248-4K s hardverskom kalibracijom
- osobno računalo s instaliranim operativnim sustavom i programom ColorChanger
- Spektrofotometar, Built-in Calibration Sensor EIZO EX1, koji je integriran sa zaslonom i ima funkciju kalibracijskog senzora.

Da bi se pokrio što veći dio prostora boje i da bi prikaz boja na zaslonu bio što točniji, u ispitivanju je upotrijebljen zaslon vrhunskih performansi, s proširenim gamutom, hardverskom kalibracijom i sljedećim detaljnijim karakteristikama.

- dijagonala: 60.45 cm
- prirodna rezolucija: 3840 x 2160
- tip: IPS

- pozadinsko svjetlo: Wide-Gamut LED
- Dual Display Port
- gustoća piksela: 185 ppi
- vidni kut (H / V): 178°, 178°
- svjetlina: 350 cd/m<sup>2</sup>
- stupanj kontrasta: 1000:1
- vrijeme odziva: 14 ms (*Gray-to-gray*)
- pokrivenost proširenog gamuta: Adobe RGB: 99 %, DCI-P3:93 %.

Zaslon se redovito kalibrira pomoću ugrađenog spektrofotometra Built-in Calibration Sensora EIZO EX1. Ovaj spektrofotometar radi s programom za upravljanje bojama ColorNavigator 6. Tijekom ispitivanja bio je aktivan odgovarajući monitorski ICC profil.

### **3.4. PROGRAM ColorChanger**

Program ColorChanger izvorno je napravljen za potrebe ovog istraživanja, da bi omogućio procjenu promatračeve percepcije razlika u boji za jednu određenu boju ili skup izabranih boja.

Način rada programa već je objašnjen u poglavlju 3.2. U nastavku će biti objašnjeno kako se program podešava prije ispitivanja, po kojem principu se na zaslonu prikazuju boje sa zadanim CIELAB vrijednostima i kako su strukturirani rezultati ispitivanja.

#### **3.4.1. Podešavanje programa**

Prije početka ispitivanja treba zadati određeni broj parametara u programu, o kojima ovise uvjeti i tijek ispitivanja. Ti parametri su:

- podaci o boji referentnog polja u CIELAB koordinatama; broj referentnih polja koji se može zadati nije ograničen
- veličina i oblik polja
- razmak između polja
- boja pozadine referentnog i promjenjivog polja u CIELAB koordinatama
- vremenski interval promjene boje
- granične vrijednosti do kojih se boja podešavanog ili promjenjivog polja može mijenjati, u CIELAB koordinatama
- brzina promjene boje
- broj promjene boja u sekundi



- skup podataka o ispitaniku.

Spomenuti parametri se zadaju tako što se pomoću tekst editora kreira konfiguracijska datoteka i snimi u odgovarajuću mapu, odakle će program ColorChanger preuzeti potrebne informacije.

U ovom je ispitivanju program ColorChanger bio podešen na sljedeći način:

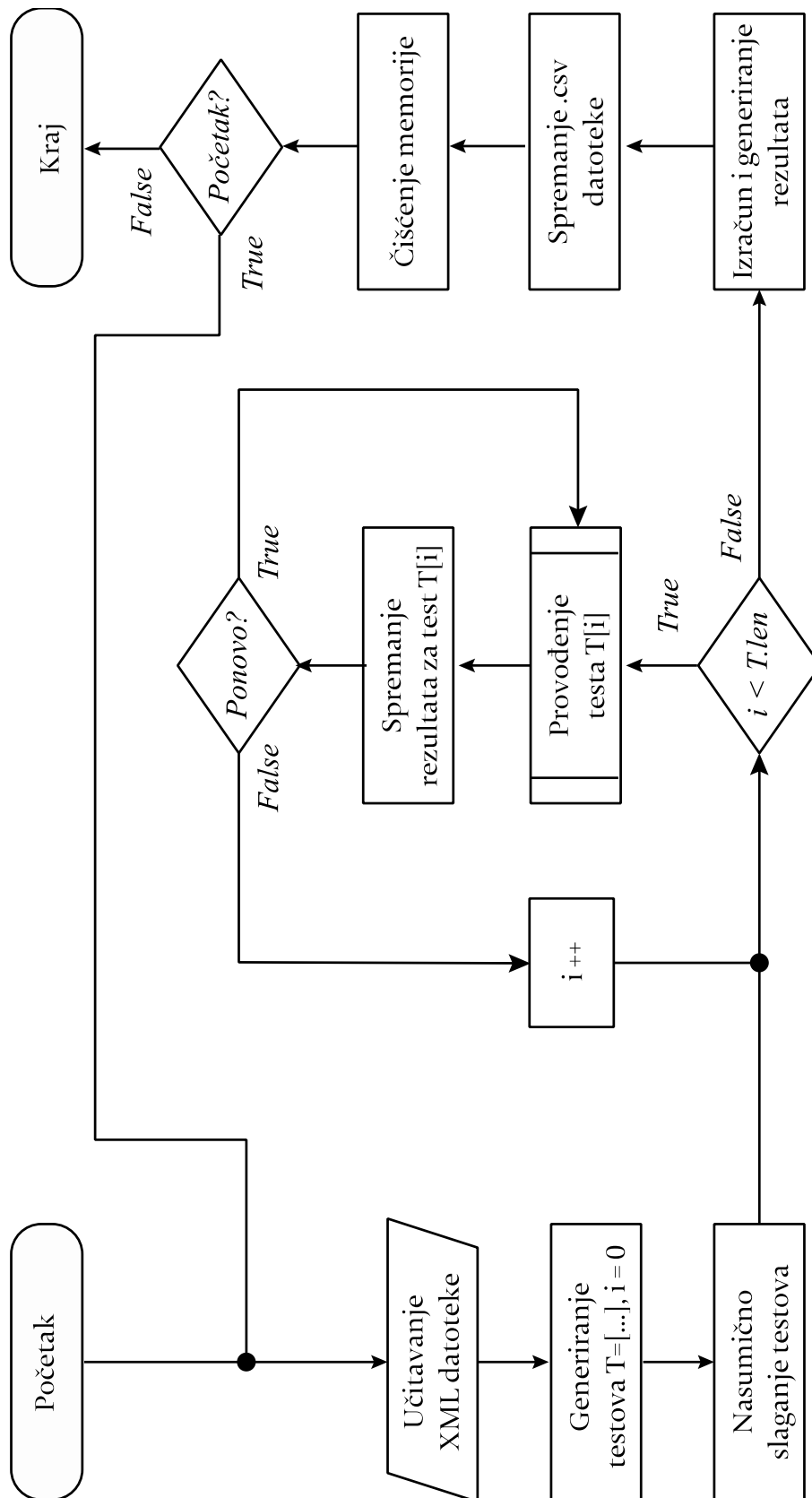
- Visina mjernih polja [px]: 400
- Širina mjernih polja [px]: 400
- Maska uključena: *true*
- Razmak između polja [px]: 100
- Korak gumba za L kanal: 0,15
- Korak gumba za a kanal: 0,15
- Korak gumba za b kanal: 0,15
- Raspon za L kanal: 14
- Raspon za a kanal: 14
- Raspon za b kanal: 14
- Trajanje animacije za cijeli krug boje [sec]: 6
- Vremenski interval promjene boje [ms]: 50
- Koliko puta se boja promijenila u 1s: 20
- Maksimalni vremenski pomak animacije [s]: 3
- Minimalni vremenski pomak animacije [s]: 1

U cilju profiliranja ispitanika program je bio podešen da prikuplja i sljedeće podatke:

- Email
- Spol
- Godište
- Razina školovanja
- Profesija
- Upotreba računala
- Vrijeme provedeno u prirodi
- Godišnje doba
- Karakter

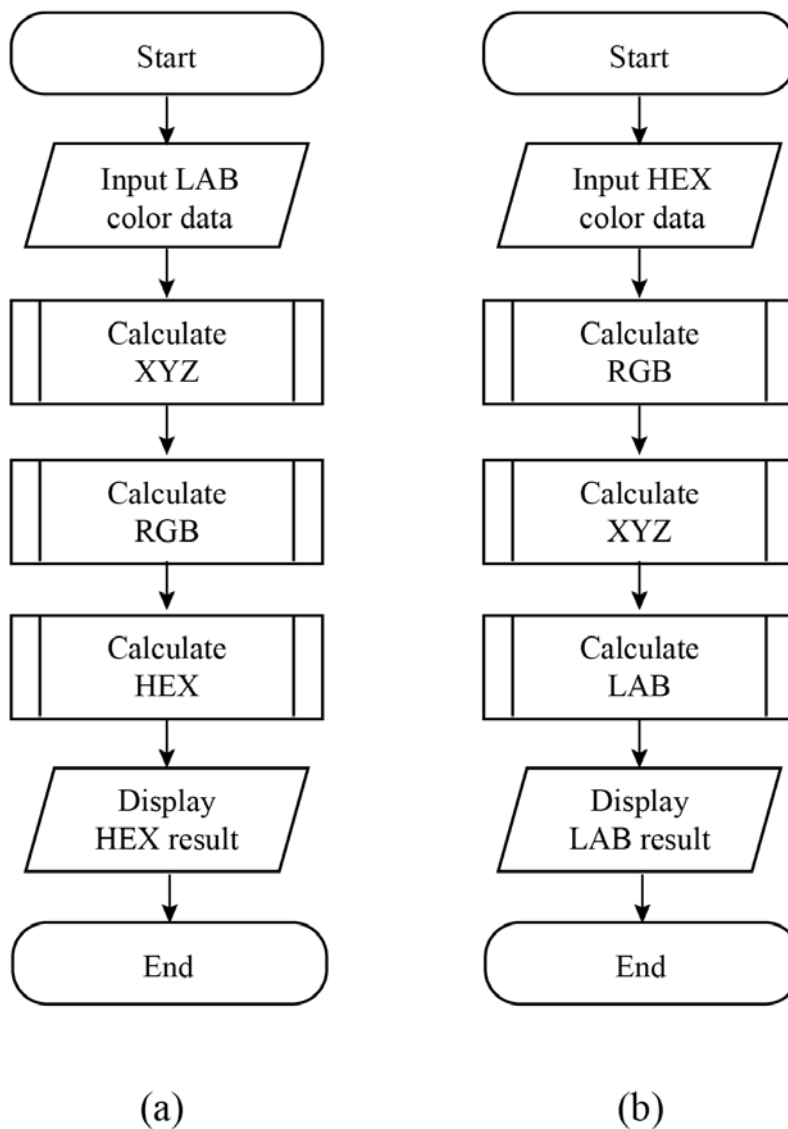
### 3.4.2. Način rada programa tijekom prikazivanja boja na zaslonu

Dijagram toka rada programa prikazan je na Slici 3.3.



Slika 3.3. Dijagram toka rada programa ColorChanger.

Procedura pretvorbe iz jednog kolornog sustava u drugi prikazana je na dijagramu toka (Slika 3.4).



Slika 3.4. Dijagram toka pretvorbe boje u programu ColorChanger.

Pretvorba iz jednog prostora boja u drugi moguća je u oba smjera, kako je i prikazano na isječku iz tablica testiranja preciznosti Tablica 3.1 i Tablica 3.2.

Tablica 3.1. Pretvorba iz Laba u HEX. Tablica testiranja preciznosti.

LAB to HEX				
Rb.	Lab (entered)	XYZ (calculate)	RGB (calculate)	HEX (calculate)
L - kanal				
1.	L: 10.1 a: 0 b: 0	X: 0.0110 Y: 0.0114 Z: 0.0094	Red: 28 Green: 28 Blue: 28	#1c1c1c
2.	L: 20.2 a: 0 b: 0	X: 0.0293 Y: 0.0304 Z: 0.0251	Red: 49 Green: 49 Blue: 49	#313131
3.	L: 30.3 a: 0 b: 0	X: 0.0613 Y: 0.0636 Z: 0.0525	Red: 71 Green: 71 Blue: 71	#474747
4.	L: 40.4 a: 0 b: 0	X: 0.1108 Y: 0.1149 Z: 0.0948	Red: 95 Green: 95 Blue: 95	#5f5f5f
5.	L: 50.5 a: 0 b: 0	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 120 Green: 120 Blue: 120	#787878
a - channel				
1.	L: 50.5 a: 10.1 b: 0	X: 0.2016 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 137 Green: 114 Blue: 121	#897279
2.	L: 50.5 a: 20.2 b: 0	X: 0.2228 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 153 Green: 107 Blue: 121	#996b79
3.	L: 50.5 a: 30.3 b: 0	X: 0.2456 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 167 Green: 99 Blue: 122	#a7637a
4.	L: 50.5 a: 40.4 b: 0	X: 0.2698 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 181 Green: 90 Blue: 122	#b55a7a
5.	L: 50.5 a: 50.5 b: 0	X: 0.2956 Y: 0.1884 Z: 0.1555	Red: 195 Green: 78 Blue: 123	#c34e7b
b - channel				
1.	L: 50.5 a: 0 b: 10.1	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.1179	Red: 126 Green: 120 Blue: 103	#7e7867
2.	L: 50.5 a: 0 b: 20.2	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.0869	Red: 130 Green: 119 Blue: 86	#827756
3.	L: 50.5 a: 0 b: 30.3	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.0619	Red: 133 Green: 119 Blue: 67	#857743
4.	L: 50.5 a: 0 b: 40.4	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.0422	Red: 135 Green: 119 Blue: 48	#877730
5.	L: 50.5 a: 0 b: 50.5	X: 0.1817 Y: 0.1884 Z: 0.0272	Red: 137 Green: 119 Blue: 22	#897716

Tablica 3.2. Pretvorba iz HEX-a u Lab. Tablica testiranja preciznosti.

HEX to LAB				
Rb.	HEX (entered)	RGB (calculate)	XYZ (calculate)	Lab (calculate)
L - kanal				
1.	#1c1c1c	Red: 28 Green: 28 Blue: 28	X: 0.0112 Y: 0.0116 Z: 0.0096	L: 10.268 a: 0.0016 b: -0.001
2.	#313131	Red: 49 Green: 49 Blue: 49	X: 0.0296 Y: 0.0307 Z: 0.0253	L: 20.3272 a: 0.0016 b: -0.0003
3.	#474747	Red: 71 Green: 71 Blue: 71	X: 0.0607 Y: 0.0630 Z: 0.0519	L: 30.1595 a: 0.0005 b: 0.0002
4.	#5f5f5f	Red: 95 Green: 95 Blue: 95	X: 0.1103 Y: 0.1144 Z: 0.0944	L: 40.3176 a: 0.0004 b: 0
5.	#787878	Red: 120 Green: 120 Blue: 120	X: 0.1811 Y: 0.1878 Z: 0.1549	L: 50.4313 a: 0.0001 b: 0
a - channel				
1.	#897279	Red: 137 Green: 114 Blue: 121	X: 0.2012 Y: 0.1878 Z: 0.1563	L: 50.4382 a: 10.2134 b: -0.328
2.	#996b79	Red: 153 Green: 107 Blue: 121	X: 0.2228 Y: 0.1878 Z: 0.1552	L: 50.437 a: 20.491 b: -0.0578
3.	#a7637a	Red: 167 Green: 99 Blue: 122	X: 0.2444 Y: 0.1872 Z: 0.1564	L: 50.3611 a: 30.3927 b: -0.4892
4.	#b55a7a	Red: 181 Green: 90 Blue: 122	X: 0.2687 Y: 0.1879 Z: 0.1553	L: 50.4413 a: 40.2097 b: -0.0726
5.	#c34e7b	Red: 195 Green: 78 Blue: 123	X: 0.2956 Y: 0.1880 Z: 0.1564	L: 50.458 a: 50.705 b: -0.3137
b - channel				
1.	#7e7867	Red: 126 Green: 120 Blue: 103	X: 0.1827 Y: 0.1892 Z: 0.1180	L: 50.6039 a: 0.1021 b: 10.2461
2.	#827756	Red: 130 Green: 119 Blue: 86	X: 0.1816 Y: 0.1875 Z: 0.0874	L: 50.4 a: 0.447 b: 19.8261
3.	#857743	Red: 133 Green: 119 Blue: 67	X: 0.1813 Y: 0.1878 Z: 0.0612	L: 50.4332 a: 0.1216 b: 30.481
4.	#877730	Red: 135 Green: 119 Blue: 48	X: 0.1809 Y: 0.1879 Z: 0.0423	L: 50.446 a: -0.1604 b: 40.2105
5.	#897716	Red: 137 Green: 119 Blue: 22	X: 0.1812 Y: 0.1883 Z: 0.0271	L: 50.4988 a: -0.2012 b: 50.5833

Iz Tablice 3.1 i Tablice 3.2 vidljivo je da su odstupanja za svaki kanal, provedeno na pet mjerenja, mala. Najveće odstupanje u konverziji svedeno je na manje od 1 %.

Navedeni sustav može primiti ulaznu vrijednost na četiri decimale, što ne može nijedan poznati sustav.

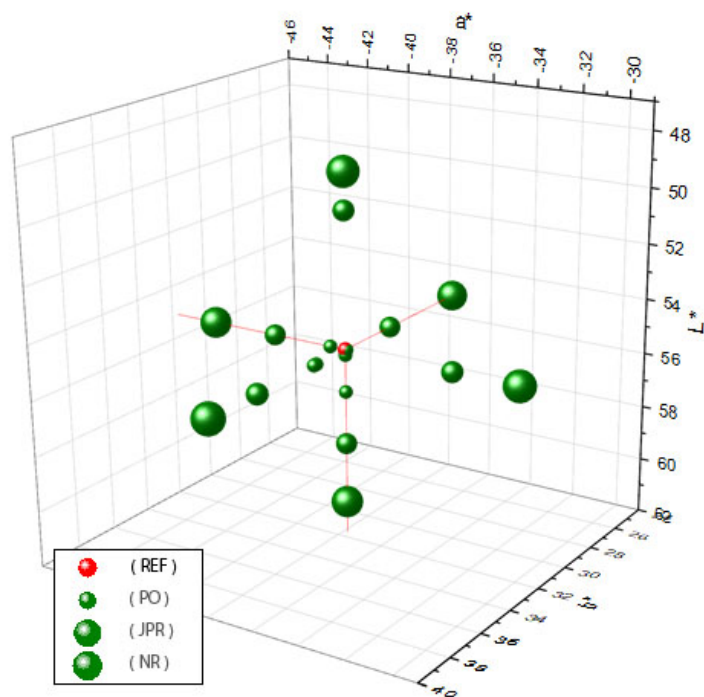
### **3.4.3. Struktura rezultata**

Program automatski registrira vrijednosti *Lab* kada ispitanik reagira na polje s promjenjivom bojom i sprema ih u memoriju. Za svaku spremljenu vrijednost program automatski izračunava razliku u boji  $\Delta E$  prema odabranoj jednadžbi.

Na kraju testa softver automatski generira tablicu s vrijednostima *Lab* i  $\Delta E$  svih polja zabilježenih kad ispitanik prilagodi boju promjenjivog polja da bude jednaka referentnom polju (prag osjetljivosti) ili potvrdi jedva primjetnu razliku ili neprihvatljivu razliku u boji između referentnog i promjenjivog polja.

U prvoj vrsti testa mijenjanjem boje podešavanog polja komandama ispitanika preko tipkovnice polazi se od polja čije se boje razlikuju i određuje se prag osjetljivosti promatrača na odstupanje u boji. Pritiskom na gumb + ili – mijenja se boja podešavanog polja s ciljem da se postigne istovjetnost s bojom referentnog polja (Slika 3.2). Nakon podešavanja boje desnog polja pritiskom na tipku *Enter* spremaju se podaci. Program zatim automatski prikazuje sljedeće polje za testiranje.

Primjer raspona kretanja ispitanika za jednu referentnu boju prikazan je na Slici 3.5. Crvena kuglica u sredini dijagrama predstavlja referentnu boju. Najmanje zelene kuglice reprezentiraju prag osjetljivosti na odstupanje u boji određenog ispitanika.



Slika 3.5. Raspon kretanja vrijednosti praga osjetljivosti (PO), jedva primjetne razlike (JPR) i neprihvatljive razlike (NR) jednog ispitanika za jednu boju (REF).

Promjene u boji koje nastaju na podešavanom (desnom) polju sa Slike 3.2 kada se aktivira gumb + ili – događaju se prema utvrđenoj proceduri promjena, prikazanoj u Tablici 3.3.

Tablica 3.3. Smjerovi promjene Laba.

Redni broj promjene	Veličine	Konst. veličina	Poz. promjena veličine +	Neg. promjena veličine -
1	$L$		*	
	$a$	*		
	$b$	*		
2	$L$	*		
	$a$			*
	$b$	*		
3	$L$			*
	$a$	*		
	$b$	*		
4	$L$	*		
	$a$	*		
	$b$		*	
5	$L$	*		
	$a$		*	
	$b$	*		
6	$L$	*		
	$a$	*		
	$b$			*

U drugoj vrsti testiranja određuju se jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika u boji. Promjene desnog obojenog polja odvijaju se automatski, dok se od ispitanika zahtijeva da reagira kada primijeti razliku u odnosu na testno polje pritiskom na razmaknicu, nakon čega se promjena boje nastavlja. Kako se promjena boje nastavlja, od ispitanika se zahtijeva da reagira pritiskom na razmaknicu kada razlika u boji postane neprihvatljiva. Na Slici 3.5 kuglicama srednje veličine prikazane su vrijednosti jedva primjetne razlike, a najvećim kuglicama prikazane su vrijednosti neprihvatljive razlike u sustavu CIELAB.

### **3.5. ODABIR TESTNIH POLJA**

Za ovaj eksperiment odabrane su CIELAB vrijednosti 24 testna polja uzete s X-Rite ColorChecker Classic kartice koja se temelji na *Color-Rendition Chartu* [104]. Tablica boja (*Color-Rendition Chart*) razvijena je kako bi se olakšale kvantitativne ili vizualne procjene postupaka reprodukcije boja koji se upotrebljavaju u fotografiji, na televiziji i u tisku. Niz od 24 obojena polja uključuje spektralne simulacije svijetle i tamne boje ljudske kože, lišća, plavog neba i plavog cvijeta (cikorije). Isto tako, uključene su primarne boje aditivne i suptraktivne sinteze kao i ljestvica od šest neutralnih.

Za ovaj eksperiment nije bilo ključno da se na zaslonu postignu apsolutno točne vrijednosti kao na kartici X-Rite ColorChecker, već da polja budu približno u onim dijelovima prostora boje kao polja s te kartice i da se pokriju svi njegovi dijelovi. Osim toga, za ovaj eksperiment je ključno da se točno odredi razlika u boji, a ne apsolutna vrijednost boje u CIELAB koordinatama. Tablica s CIELAB vrijednostima (Tablica 3.4) preuzeta je sa stranice [www.babelcolor.com](http://www.babelcolor.com). [105]



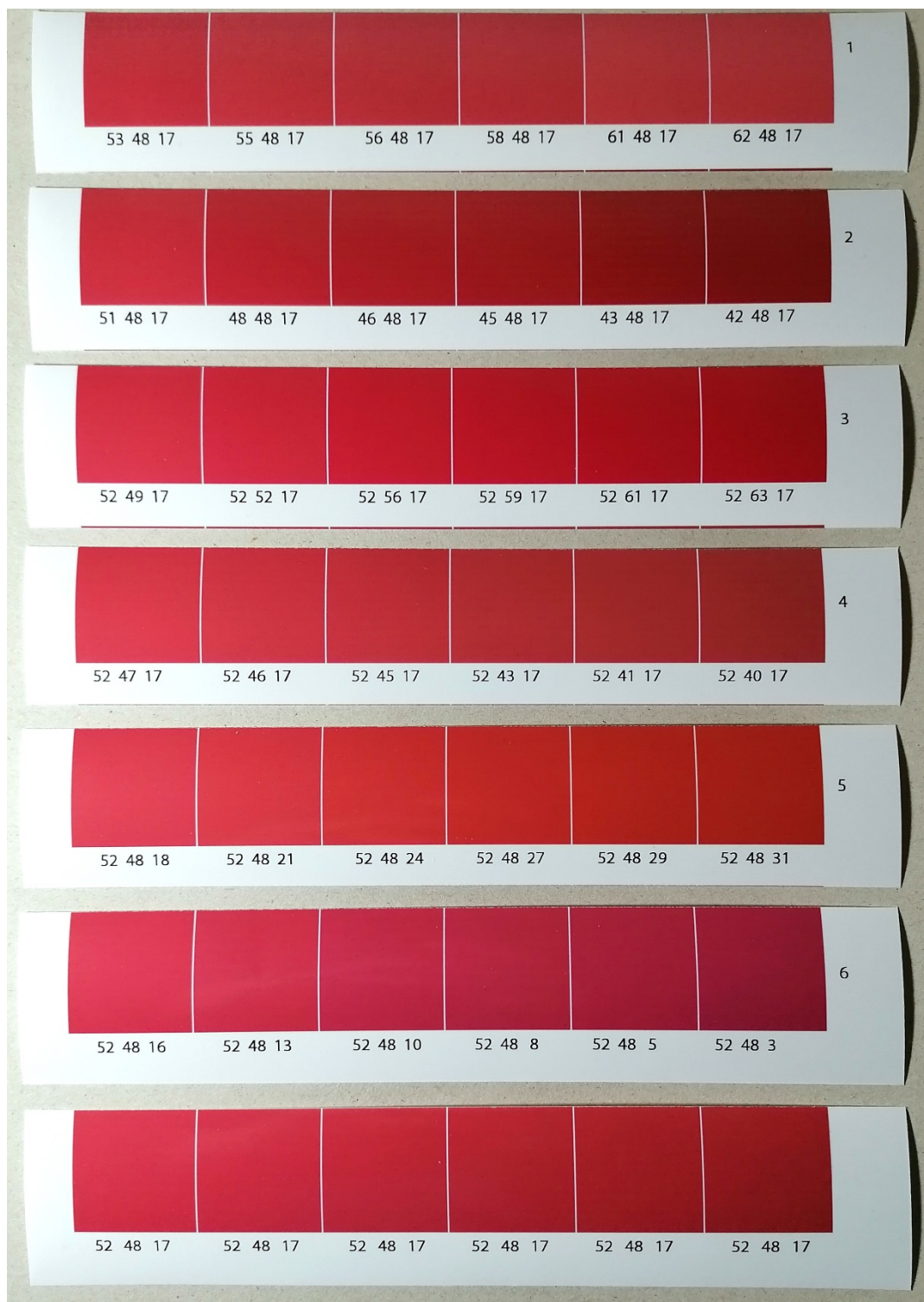
Tablica 3.4. Tablica referentnih boja.

No.	Color name	xyY (CIE D50)			L*a*b* (CIE D50)		
		x	y	Y	L*	a*	b*
1	<i>dark skin</i>	0,4325	0,3788	10,34	38,44	13,61	14,53
2	<i>light skin</i>	0,4191	0,3748	35,25	65,95	17,91	17,87
3	<i>blue sky</i>	0,2761	0,3004	18,47	50,06	-4,52	-22,25
4	<i>foliage</i>	0,3700	0,4501	13,35	43,28	-13,21	21,94
5	<i>blue flower</i>	0,3020	0,2877	23,24	55,31	8,82	-24,60
6	<i>bluish green</i>	0,2856	0,3910	41,74	70,69	-33,03	-0,11
7	<i>orange</i>	0,5291	0,4075	31,17	62,65	35,35	57,86
8	<i>purplish blue</i>	0,2339	0,2155	11,40	40,24	9,74	-44,35
9	<i>moderate red</i>	0,5008	0,3293	19,79	51,60	47,80	16,90
10	<i>purple</i>	0,3326	0,2556	6,44	30,50	21,07	-20,02
11	<i>yellow green</i>	0,3989	0,4998	44,35	72,46	-23,30	57,00
12	<i>orange yellow</i>	0,4962	0,4428	43,58	71,95	19,46	68,12
13	<i>blue</i>	0,2040	0,1696	5,79	28,87	14,81	-50,15
14	<i>green</i>	0,3270	0,5033	23,07	55,15	-37,80	31,64
15	<i>red</i>	0,5709	0,3298	12,68	42,28	54,12	28,67
16	<i>yellow</i>	0,4694	0,4732	60,81	82,27	4,02	79,99
17	<i>magenta</i>	0,4177	0,2704	20,07	51,91	49,80	-13,82
18	<i>cyan</i>	0,2151	0,3037	19,03	50,72	-28,11	-27,95
19	<i>white 9.5 (.05 D)</i>	0,3488	0,3628	91,29	96,53	-0,47	2,42
20	<i>neutral 8 (.23 D)</i>	0,3451	0,3596	58,85	81,21	-0,64	0,27
21	<i>neutral 6.5 (.44 D)</i>	0,3446	0,3590	35,95	66,48	-0,53	0,00
22	<i>neutral 5 (.70 D)</i>	0,3438	0,3589	19,12	50,83	-0,64	-0,14
23	<i>neutral 3.5 (1.05 D)</i>	0,3423	0,3576	8,93	35,85	-0,54	-0,49
24	<i>black 2 (1.5 D)</i>	0,3439	0,3565	3,20	20,81	0,03	-0,39

### 3.6. USPOREDBA REZULTATA TESTIRANJA POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER I S OTISKA NA PAPIRU

Izvršena karakterizacija ispitanika opisanom metodom dovedena je u vezu s općom osjetljivošću ispitanika na razlike u boji  $\Delta E$  u standardnim uvjetima promatranja. Rezultati za toleranciju na razlike u boji  $\Delta E$  koji su dobiveni pomoću programa ColorChanger uspoređeni su s rezultatima vizualnog testa s otisnutim bojama na papiru.

Uspoređena su referentna i promjenjiva polja otisnuta na papiru s CIELAB vrijednostima koja neznatno odstupaju od onih iz programa ColorChanger. Polja su uspoređena pri osvjetljenju D 50. Primjer testnih polja otisnutih na papiru prikazan je na Slici 3.6.

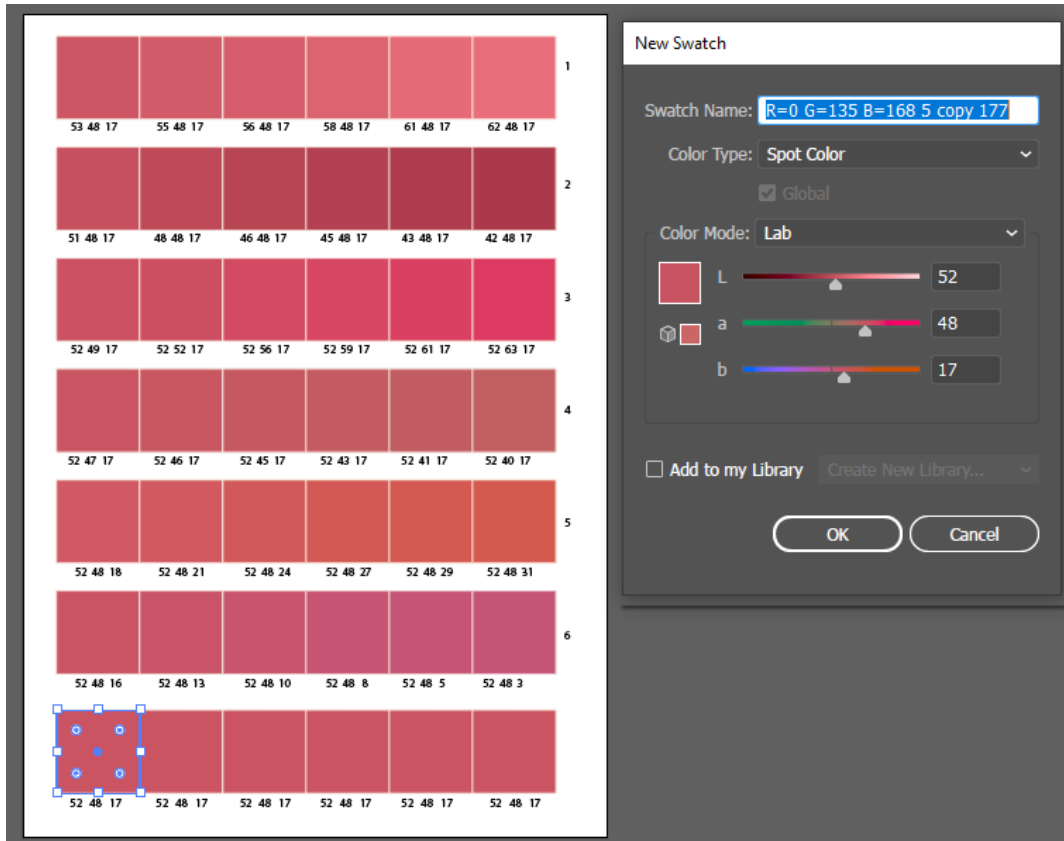


Slika 3.6. Otisci umjereno crvene (moderate red).

Za vizualnu provjeru metode izabrano je nekoliko boja koje su otisnute: dvije procesne boje, cijan (*cyan*) i magenta (*magenta*) i dvije neprocesne boje, umjereno crvena (*moderate red*) i zelena (*green*) po CIELAB vrijednostima iz Tablice 3.4.

### 3.6.1. Kreiranje i tiskanje testnih polja

Testna polja su kreirana pomoću programa Adobe Illustrator, gdje se za testna polja definirala boja iz CIELAB prostora boja preko opcije New Swatch (Slika 3.7). Testna polja su snimljena kao PDF datoteka i tiskana kalibriranim pisačem Epson 9880.



Slika 3.7. Kreiranje polja za tisak u programu Adobe Illustrator CC 2019.

Testna polja su kreirana tako da se u šest redova slažu kartice, pri čemu se u svakom redu mijenja jedna od veličina CIELAB u pozitivnom (+) ili negativnom (-) smjeru. Tako se imitira test koji se provodi pomoću programa ColorChanger, ali s nešto većim korakom između polja. Ukupno se na jednoj plohi tiska 36 polja s različitim CIELAB vrijednostima i 6 polja s referentnim CIELAB vrijednostima.

Za tiskovnu podlogu upotrijebljen je Epson *matt proofing paper*, gramature 170 g/m<sup>2</sup> koji se prije tiskanja kondicionirao u sobi 48 sati u propisanim standardnim ambijentalnim uvjetima (temperatura od 23 °C i relativna vlaga od 55 %). Testni uzorci za zelenu (*green*), cijan (*cyan*), magentu (*magenta*) i umjereno crvenu (*moderate red*) boju otisnuti su u nakladi od po 4 primjeraka na kalibriranom stroju za digitalni tisak Epson 9880.

### **3.6.2. Spektrofotometrijsko mjerenje otisnutih polja**

S obzirom na moguća odstupanja u sustavu upravljanja bojom, boja svih otisnutih polja izmjerena je spektrofotometrom da bi se radilo sa stvarnim vrijednostima boje. Mjerenja su obavljena refleksnim spektrofotometrom X-Rite SpectroEye koji je bio podešen na D50, 2 °, bez filtra.

Da bi se povećala statistička točnost rezultata mjerenja, boja za svako kontrolno polje dobivena je uprosječivanjem (*averaging*) na poljima iz naklade od 4 primjeraka.

### **3.6.3. Provođenje testa s tiskanim poljima**

Ispitanik uzima traku s referentnim poljima (Slika 3.6, sedmi red) i postavlja je na sivu podlogu uz pojedine trake na kojima se polja mijenjaju po određenoj CIELAB koordinati. Promatranje se obavlja u uvjetima dnevne svjetlosti D 50. Ispitanik traži promjenjivo polje na kojem uočava jedva primjetnu razliku, a zatim i polje na kojem je razlika u boji u odnosu na referentno polje neprihvatljiva. Uočena polja se označavaju, a zatim se izračunava razlika u boji između označenog i referentnog polja i sprema u tablicu. Tako se dobivaju rezultati koji se mogu usporediti s onima koji su dobiveni pomoću programa ColorChanger.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultat psihofizičkog vizualnog eksperimenta provedenog u ovom istraživanju su percipirane CIELAB vrijednosti referentnih i podešavajućih i referentnih i promjenjivih šesterokutnih obojenih polja prikazivanih ispitaniku. Razlike u boji evaluiralo je 20 ispitanika na 24 testna polja boje. Nad svim rezultatima provedena je deskriptivna statistička analiza. Statistička analiza napravljena je u statističkom okruženju R 4.0.2 (R Core Team, 2020) i u statističkom softveru JASP (JASP Team, 2020) [106] [107].

Deskriptivna statistika sadrži:

- minimum i maksimum
- srednju vrijednost (očekivanje)
- standardnu devijaciju
- donji i gornji kvartil
- medijan
- intervale pouzdanosti
- varijance
- percentilni prag.

Svi spomenuti parametri proračunati su s ciljem analize kakvoće podataka koji su dobiveni psihofizičkim vizualnim eksperimentom.

Pravokutni dijagrami (engl. *Box and Whisker Plot*) upotrijebljeni su za grafički prikaz distribucije podataka. Deblja crna crta označava medijan (položajna srednja vrijednost) – pokazatelj srednje vrijednosti podataka. Unutar dijagrama nalaze se pravokutnici koji predstavljaju vrijednosti srednjih 50 % podataka (interkvartilni raspon između 25 % i 75 %). Oni kod neparametarskih testova imaju ulogu pokazatelja raspršenja podataka. Vodoravne crne linije predstavljaju najmanju i najveću vrijednost dobivenih podataka unutar pojedinog uzorka koja nije tzv. *outlier* (kružić iznad ili ispod linije).

Statistički značajnima u analizi smatraju se razlike potvrđene na razini  $p < 0.1$ .

Velike razlike među ispitanicima po Cohenovoj klasifikaciji su sve razlike  $d > 0.8$ . Umjerene razlike među ispitanicima po Cohenovoj klasifikaciji su sve razlike  $0.5 < d < 0.8$ .

Rangiranje ispitanika provedeno je pomoću percentilnog ranga kao mjere pozicije u nizu. Upotrebljava se `percentilerank.exc`, koji isključuje vrijednosti 1 i 0. Percentilni rang najviše

vrijednosti u našem istraživanju stavlja ispitanika na posljednje mjesto u nizu. Percentilni rang ukazuje od koliko posto ispitanika određeni ispitanik ima veći ili jednak rezultat za danu vrijednost.

Z skor izražen je u jedinicama standardne devijacije i pokazuje za koliko se standardnih devijacija rangirani ispitanik razlikuje od srednje vrijednosti. Vrijednost Z skora s pozitivnim predznakom ukazuje na to da je ispitanik lošiji od prosjeka, dok negativan predznak ukazuje na to da je bolji od prosjeka.

Spearmanov koeficijent  $\rho_s$  korelacije upotrebljava za izražavanje intenziteta povezanosti dviju varijabli kada se radi o nekim ekstremnim slučajevima i/ili trendu povezanosti koji nije sasvim linearan. Spearmanov koeficijent od 0.2 do 0.3 predstavlja malu povezanost varijabli, 0.3 - 0.5 srednju, a preko 0.5 velike povezanosti varijabli.

Welch *t* test upotrebljava se za utvrđivanje razlika među dvjema aritmetičkim sredinama.

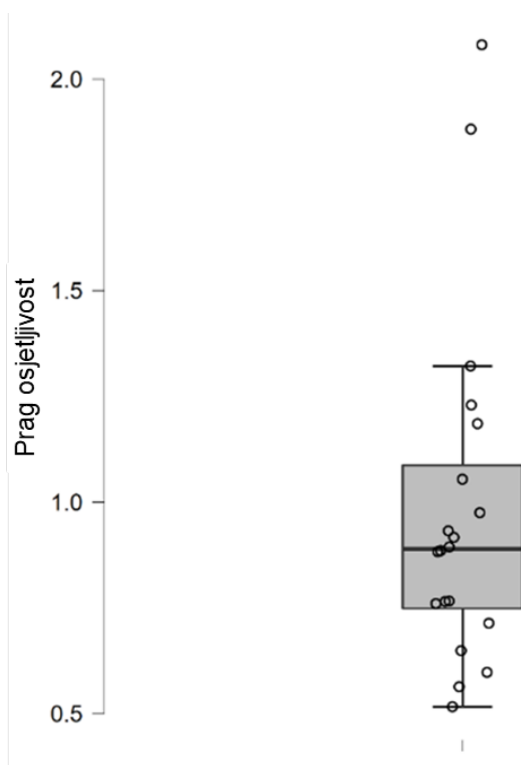
Deskriptivna statistička analiza omogućila je i korekciju pogrešaka koje su se pojavile pri testiranju. Uočene su i izdvojene vrijednosti koje su nastale zbog umora ili nekog drugog utjecaja na ispitanike koji su sudjelovali u eksperimentu. Spomenute vrijednosti označene su kao nevalidni slučajevi i izdvojene su iz analize.

Nevalidne vrijednosti podrazumijevaju sve podatke o pragu osjetljivosti, jedva primjetnoj razlici i neprihvatljivoj razlici pri variranju pojedinačnih dimenzija  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  u pozitivnom ili negativnom smjeru, u kojima je neprihvatljiva razlika bila veća od jedva primjetne razlike. Ovo je situacija u kojoj ispitanik sugerira da su manje razlike koje su mu neprihvatljive od one koju prvu uoči, te se zbog toga ti podaci smatraju nevalidnima za mjerenje ( $NR < JPR$ ). Eliminiranih podataka (pri čemu podatkom smatramo pojedinačnu vrijednost praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike ili neprihvatljive razlike), bilo je ukupno 144, dakle 5,14 % od ukupno 2880 podataka o navedena tri parametra (6 x 20 x 24).

## 4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA PRAGA OSJETLJIVOSTI

### 4.1.1. Distribucija vrijednosti praga osjetljivosti po ispitanicima

Na Slici 4.1 prikazana je distribucija praga osjetljivosti po ispitanicima. Pravokutni dijagram sa Slike 4.1 prikazuje disperziju rezultata praga osjetljivosti ispitanika.



Slika 4.1. Distribucija vrijednosti praga osjetljivosti po ispitanicima.

Vrijednost medijana iznosi 0,89, a podaci pokazuju disperziju (veći interkvartilni raspon). Prag osjetljivosti  $\Delta E_{00} < 0,75$  ima 5, ili u postocima, 25 % ispitanika, a isto tako 5, ili u postocima, 25 % ispitanika ima prag osjetljivosti  $\Delta E_{00} > 1,09$ , s tim da dva ispitanika imaju izrazito visok prag osjetljivosti u odnosu na ostale ispitanike.

Na temelju prikazane disperzije rezultata na dijagramu distribucije vrijednosti praga osjetljivosti može se utvrditi da oko 3/4 ispitanika ima prosječan prag osjetljivosti manji od 1,09, a da samo 1/4 reagira tek na veće razlike u boji.

#### 4.1.2. Prag osjetljivosti prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.1 prikazani su rezultati određivanja praga osjetljivosti razdvojeni prema spolu ispitanika.

Tablica 4.1. Prag osjetljivosti prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{weibh}$	df	p	$p_{BH^*}$	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	0,84	0,40	0,010	18,000	0,992	0,992	0,004	-0,872	0,881
	Žensko	10	0,84	0,42							
blue	Muško	10	0,63	0,21	-2,527	18,000	0,021	0,504	-1,130	-2,067	-0,167
	Žensko	10	1,17	0,64							
purple	Muško	10	0,96	0,62	1,221	18,000	0,238	0,940	0,546	-0,355	1,433
	Žensko	10	0,68	0,42							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	0,94	0,62	0,718	18	0,482	0,940	0,321	-0,566	1,200
	Žensko	10	0,79	0,30							
dark skin	Muško	10	0,86	0,42	-0,030	18,000	0,977	0,992	-0,013	-0,890	0,863
	Žensko	10	0,86	0,22							
purplish blue	Muško	10	0,96	0,84	-0,401	18,000	0,693	0,940	-0,179	-1,055	0,702
	Žensko	10	1,10	0,80							
red	Muško	10	0,85	0,47	-0,707	18,000	0,489	0,940	-0,316	-1,194	0,571
	Žensko	10	1,05	0,75							
foliage	Muško	10	0,86	0,80	0,426	18,000	0,675	0,940	0,191	-0,691	1,067
	Žensko	10	0,75	0,12							
blue sky	Muško	10	0,93	0,45	-0,722	18,000	0,480	0,940	-0,323	-1,201	0,564
	Žensko	10	1,18	1,02							
cyan	Muško	10	1,22	0,36	-0,384	18,000	0,705	0,940	-0,172	-1,048	0,709
	Žensko	10	1,31	0,68							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	0,65	0,24	-0,786	9,573	0,451	0,940	-0,351	-1,233	0,548
	Žensko	10	1,06	1,56							
moderate red	Muško	10	1,03	0,45	1,170	17,999	0,257	0,940	0,523	-0,377	1,409
	Žensko	10	0,81	0,43							
magenta	Muško	10	0,77	0,39	0,603	12,290	0,557	0,940	0,270	-0,618	1,147
	Žensko	10	0,71	0,22							
green	Muško	10	0,84	0,28	-0,401	17,778	0,693	0,940	-0,180	-1,055	0,701
	Žensko	10	0,93	0,35							
blue flower	Muško	10	0,83	0,49	-0,594	14,261	0,562	0,940	-0,266	-1,143	0,621
	Žensko	10	1,01	0,86							
orange	Muško	10	1,29	0,66	1,215	15,107	0,243	0,940	0,543	-0,362	1,432
	Žensko	10	0,92	0,42							
light skin	Muško	10	0,89	0,38	-0,213	17,801	0,834	0,985	-0,095	-0,971	0,783
	Žensko	10	0,94	0,43							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	0,57	0,31	-0,959	10,121	0,360	0,940	-0,429	-1,314	0,477
	Žensko	10	0,95	1,21							
bluish green	Muško	10	0,91	0,55	-0,507	17,751	0,618	0,940	-0,227	-1,103	0,656
	Žensko	10	1,05	0,50							
orange yellow	Muško	10	1,15	0,62	1,234	16,977	0,234	0,940	0,552	-0,352	1,440
	Žensko	10	1,07	0,48							
yellow green	Muško	10	0,95	0,73	0,265	13,241	0,795	0,985	0,119	-0,761	0,994
	Žensko	10	0,86	0,33							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	1,04	0,75	0,176	15,341	0,862	0,985	0,079	-0,799	0,955
	Žensko	10	1,00	0,50							
yellow	Muško	10	1,11	0,52	0,025	17,781	0,980	0,992	0,011	-0,865	0,888
	Žensko	10	1,20	0,59							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	1,20	0,78	-1,287	12,494	0,221	0,940	-0,576	-1,470	0,340
	Žensko	10	2,08	2,05							

Iz Tablice 4.1 se može vidjeti da za neke boje postoje statistički značajne razlike u percepciji razlika u boji između pripadnika dvaju spolova iz ispitivane grupe. Za prag osjetljivosti za plavu (*blue*) boju utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika ( $p = 0,021$ )



( $d = -1,130$ ) između muškaraca i žena ispitivanih u ovom istraživanju. Muškarci na uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost praga osjetljivosti od žena za plavu (*blue*) boju.

Za prag osjetljivosti za bijelu (*white* 9,5 (.05D)) boju utvrđeno je da postoji statistički umjerena razlika ( $d = -0,576$ ) između muškaraca i žena ispitivanih u ovom istraživanju. Muškarci na uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost praga osjetljivosti od žena za bijelu (*white* 9,5 (.05D)) boju.

Za prag osjetljivosti za:

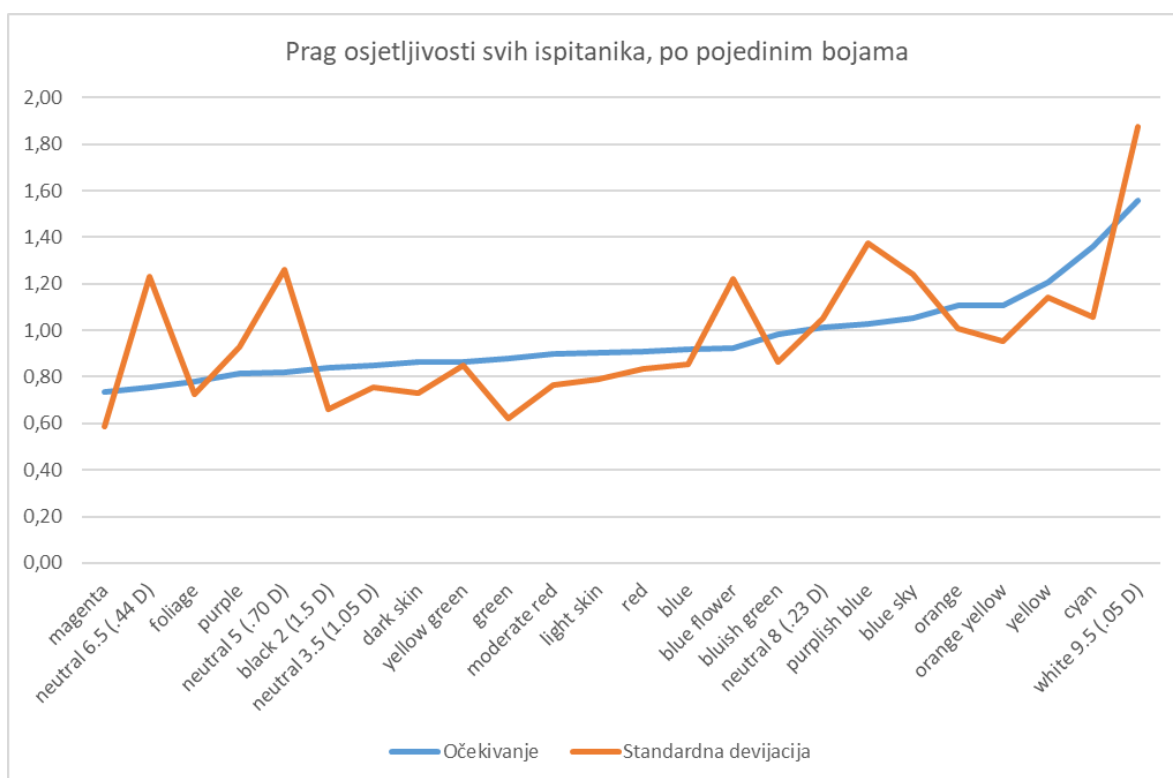
- narančastožutu (*orange yellow*,  $d = 0,552$ )
- narančastu (*orange*,  $d = 0,543$ )
- umjereno crvenu (*moderate red*,  $d = 0,523$ ) i
- ljubičastu (*purple*,  $d = 0,546$ )

boju utvrđeno je da postoji statistički umjerena razlika između muškaraca i žena koji su ispitivani u ovom istraživanju. Žene na uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost praga osjetljivosti od muškaraca za ove četiri boje.

Analizom podataka iz Tablice 4.1 može se zaključiti da se za 18 od 24 boje u testu nije moglo utvrditi razlikuje li se prag osjetljivosti kod pripadnika različitih spolova. Od šest boja gdje je utvrđena statistička razlika, na dvije boje manji prag osjetljivosti imaju pripadnici muškog, a na četiri pripadnice ženskog spola.

#### 4.1.3. Disperzija rezultata ispitivanja praga osjetljivosti svih ispitanika po pojedinim bojama

Na Slici 4.2 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanja) praga osjetljivosti po bojama (očekivanja), za sva 24 ispitanika i standardna devijacija za svaku boju.



Slika 4.2. Prag osjetljivosti svih ispitanika po pojedinim bojama.

Na dijagramu na Slike 4.2 vidi se da vrijednosti standardne devijacije praga osjetljivosti nisu u linearnoj korelaciji s očekivanjem praga osjetljivosti.

Iz vrijednosti standardne devijacije može se zaključiti da postoji određena raznolikost u percepciji ispitanika za boje iz uzorka, što potvrđuje spomenutu pretpostavku da bi za svakog trebalo odrediti individualne pokazatelje percepcije razlike u boji.

U Tablici 4.2 prikazane su vrijednosti očekivanja praga osjetljivosti za pojedine boje za sva 24 ispitanika i standardne devijacije po bojama. Boje su rangirane od one za koju su ispitanici pokazali najmanju vrijednost praga osjetljivosti do najveće vrijednosti.

Tablica 4.2. Disperzija rezultata ispitivanja za prag osjetljivosti svih ispitanika po pojedinim bojama.

Boja	Očekivanje	Standardna devijacija	Medijana	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Interval povjerenja -95%	Interval povjerenja +95%
magenta	0,73	0,59	0,65	0,04	2,00	0,26	1,10	0,48	0,99
neutral 6.5 (.44 D)	0,75	1,23	0,45	0,05	5,52	0,22	0,76	0,21	1,29
foliage	0,78	0,73	0,62	0,05	3,05	0,35	0,98	0,46	1,10
purple	0,82	0,93	0,49	0,03	3,79	0,25	1,11	0,41	1,22
neutral 5 (.70 D)	0,82	1,26	0,46	0,06	5,48	0,24	0,93	0,27	1,37
black 2 (1.5 D)	0,84	0,66	0,74	0,05	2,35	0,34	1,16	0,55	1,13
neutral 3.5 (1.05 D)	0,85	0,75	0,69	0,05	3,01	0,31	1,22	0,52	1,18
dark skin	0,86	0,73	0,72	0,06	2,75	0,32	1,19	0,54	1,18
yellow green	0,86	0,85	0,68	0,09	3,32	0,27	1,03	0,49	1,24
green	0,88	0,62	0,72	0,13	2,29	0,41	1,19	0,61	1,15
moderate red	0,90	0,77	0,65	0,08	2,69	0,35	1,31	0,56	1,23
light skin	0,90	0,79	0,72	0,11	3,08	0,36	1,24	0,56	1,25
red	0,91	0,83	0,70	0,08	3,33	0,34	1,24	0,54	1,27
blue	0,92	0,85	0,64	0,10	3,19	0,37	1,16	0,54	1,29
blue flower	0,92	1,22	0,63	0,05	5,37	0,37	1,05	0,39	1,46
bluish green	0,98	0,86	0,81	0,07	3,30	0,31	1,29	0,60	1,36
neutral 8 (.23 D)	1,01	1,06	0,65	0,08	4,28	0,35	1,30	0,55	1,48
purplish blue	1,03	1,37	0,61	0,07	5,27	0,31	1,13	0,43	1,63
blue sky	1,05	1,24	0,75	0,07	5,33	0,44	1,21	0,51	1,60
orange	1,11	1,01	0,71	0,07	3,35	0,36	1,71	0,67	1,55
orange yellow	1,11	0,95	0,91	0,06	3,14	0,39	1,61	0,69	1,53
yellow	1,21	1,14	1,02	0,08	4,14	0,40	1,76	0,70	1,71
cyan	1,36	1,06	1,13	0,11	3,98	0,71	1,84	0,90	1,82
white 9.5 (.05 D)	1,56	1,87	0,97	0,09	6,81	0,50	1,86	0,74	2,38

Vidljive su razlike između standardne devijacije i očekivanja za prag osjetljivosti. Za sve ispitivane boje prema disperziji očekivanja i standardne devijacije među ispitanicima se ne može utvrditi veza za prag osjetljivosti. Može se zaključiti da je prag osjetljivosti potpuno individualan za svakog ispitanika.

Od svih boja najmanja vrijednost očekivanja praga osjetljivosti (0,73), a također i standardne devijacije (0,59), dobivena je za boju magenta (*magenta*), što dovodi do zaključka da je većini ispitanika u ovom testu bilo najlakše odrediti prag osjetljivosti za ovu boju i da su na nju bili najosjetljiviji.

#### 4.1.4. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje praga osjetljivosti prema spolu (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.3 prikazano je trajanje testiranja prigodom određivanja praga osjetljivosti. Podaci su grupirani prema pripadnosti određenoj spolnoj grupi.

Tablica 4.3. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje praga osjetljivost prema spolu (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	t <sub>welch</sub>	df	p	p <sub>BH</sub> *	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	175,09	89,31	1,359	15,728	0,193	0,386	0,608	-0,303	1,500
	Žensko	10	128,89	59,86							
blue	Muško	10	167,22	66,06	0,692	17,746	0,498	0,566	0,309	-0,577	1,187
	Žensko	10	145,43	74,51							
purple	Muško	10	157,31	89,60	1,195	15,720	0,250	0,400	0,534	-0,370	1,422
	Žensko	10	116,58	59,99							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	192,89	87,17	2,128	13,472	0,052	0,303	0,951	-0,01	1,882
	Žensko	10	126,90	44,96							
dark skin	Muško	10	136,23	57,45	0,956	15,501	0,354	0,447	0,428	-0,468	1,310
	Žensko	10	115,48	37,54							
purplish blue	Muško	10	265,07	409,70	0,862	9,594	0,410	0,492	0,385	-0,517	1,269
	Žensko	10	151,61	74,49							
red	Muško	10	173,49	84,67	1,749	14,944	0,101	0,303	0,782	-0,149	1,690
	Žensko	10	118,52	52,00							
foliage	Muško	10	208,25	141,30	2,085	10,657	0,062	0,303	0,932	-0,045	1,874
	Žensko	10	110,87	43,06							
blue sky	Muško	10	163,82	61,82	1,893	15,049	0,078	0,303	0,847	-0,092	1,761
	Žensko	10	120,25	38,41							
cyan	Muško	10	170,77	52,44	1,746	17,060	0,099	0,303	0,781	-0,144	1,685
	Žensko	10	123,96	66,60							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	182,95	90,68	2,125	9,919	0,060	0,303	0,950	-0,038	1,900
	Žensko	10	120,48	20,52							
moderate red	Muško	10	149,07	101,45	0,274	17,745	0,787	0,812	0,122	-0,757	0,998
	Žensko	10	137,33	89,93							
magenta	Muško	10	194,85	151,86	1,213	13,292	0,246	0,400	0,542	-0,367	1,433
	Žensko	10	129,64	76,51							
green	Muško	10	220,57	159,17	1,463	12,470	0,168	0,367	0,654	-0,270	1,555
	Žensko	10	139,89	71,27							
blue flower	Muško	10	247,51	306,18	1,279	9,628	0,231	0,400	0,572	-0,353	1,471
	Žensko	10	121,51	57,21							
orange	Muško	10	176,47	129,77	1,066	11,263	0,309	0,412	0,477	-0,431	1,365
	Žensko	10	129,99	46,39							
light skin	Muško	10	148,56	61,60	0,243	13,423	0,812	0,812	0,108	-0,771	0,984
	Žensko	10	138,20	120,19							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	162,34	52,55	1,534	17,940	0,143	0,343	0,686	-0,227	1,581
	Žensko	10	127,30	49,59							
bluish green	Muško	10	156,90	59,86	1,053	16,606	0,307	0,412	0,471	-0,427	1,355
	Žensko	10	123,45	80,67							
orange yellow	Muško	10	184,89	160,47	1,092	11,297	0,298	0,412	0,488	-0,421	1,377
	Žensko	10	126,00	57,80							
yellow green	Muško	10	200,51	122,14	1,947	11,366	0,077	0,303	0,871	-0,091	1,800
	Žensko	10	120,44	44,68							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	200,59	113,38	0,661	15,215	0,519	0,566	0,295	-0,592	1,173
	Žensko	10	156,31	179,12							
yellow	Muško	10	206,07	143,93	2,267	10,058	0,047	0,303	1,014	0,014	1,973
	Žensko	10	99,90	34,96							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	152,78	62,39	1,561	16,879	0,137	0,343	0,698	-0,218	1,596
	Žensko	10	113,93	47,93							

Iz Tablice 4.3 vidljivo je da za pet boja postoje statistički značajne, a za devet boja statistički umjerene razlike u utrošenom vremenu za rješavanje zadataka za određivanje praga osjetljivosti među ispitanicima muškog i ženskog spola.

Utvrđeno je da za sljedeće boje postoji statistički značajna razlika:

- žuta (*yellow*), ( $p = 0,047$ ,  $d = 1,014$ ),
- siva (*neutral 3.5 (1.05 D)*), ( $p = 0,052$ ,  $d = 0,951$ ),
- zelenolisna (*foliage*), ( $p = 0,062$ ,  $d = 0,932$ ),
- žutozelena (*yellow green*), ( $p = 0,077$ ,  $d = 0,871$ ) i
- nebo plava (*blue sky*), ( $p = 0,078$ ,  $d = 0,847$ ).

Za svih pet boja muškarci u uzorku imaju veći utrošak vremena za izvođenje zadataka za određivanje praga osjetljivost od žena.

Utvrđeno je da za sljedeće boje postoji statistički umjerena razlika:

- crvena (*red*), ( $d = 0,782$ ),
- cijan (*cyan*), ( $d = 0,781$ ),
- bijela (*white 9.5 (.05 D)*), ( $d = 0,698$ ),
- siva (*neutral 6.5 (.44 D)*), ( $d = 0,686$ ),
- zelena (*green*), ( $d = 0,654$ ),
- crna (*black 2 (1.5 D)*), ( $d = 0,608$ ),
- plavi cvijet (*blue flower*,  $d = 0,572$ ),
- magenta (*magenta*), ( $d = 0,542$ ) i
- ljubičasta (*purple*) ( $d = 0,534$ ).

Za svih devet boja muškarci u uzorku imaju veći utrošak vremena za rješavanje zadataka za određivanje praga osjetljivosti nego žene.

#### **4.1.5. Ocjena ispitanika prema vrijednosti praga osjetljivosti**

Metoda prikazana u ovom radu omogućava rangiranje ispitanika prema njegovom pragu osjetljivosti za sve ili pojedine boje obuhvaćene testiranjem.

U nastavku rada prikazani su rezultati rangiranja ispitanika prema pragu osjetljivosti na sve boje obuhvaćene ovim testiranjem, kao i za četiri boje koje su primjer kako se za bilo koju boju koja je predmet interesa može izvršiti rangiranje praga osjetljivosti ispitanika. Odabrane su žuta, plava, crvena i zelena, kao suprotne boje, kako bi se pokazalo da se može rangirati u bilo kojem dijelu CIELAB prostora boja.

#### 4.1.5.1. Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom

U Tablici 4.4. prikazano je rangiranje ispitanika prema srednjoj vrijednosti (očekivanje) njihovog praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom. Za svakog ispitanika prikazane su:

- srednje vrijednosti praga osjetljivosti,
- percentilni rang, koji ukazuje koliki postotak ukupnog broja ispitanika ima manji prag osjetljivosti i
- Z skor, koji ukazuje na to koliko je prag osjetljivosti nekog ispitanika viši ili niži od srednje vrijednosti, ali izraženo preko standardne devijacije.

Tablica 4.4. Rangiranje ispitanika prema srednjim vrijednostima praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom.

Ispitanik	Ukupno		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	1,882	0,904	2,221
2	1,322	0,857	0,844
3	0,760	0,285	-0,537
4	0,765	0,333	-0,525
5	0,649	0,190	-0,811
6	0,894	0,523	-0,208
7	0,516	0,047	-1,137
8	0,766	0,380	-0,523
9	0,917	0,571	-0,152
10	1,230	0,809	0,618
11	0,883	0,428	-0,235
12	2,082	0,952	2,713
13	0,932	0,619	-0,114
14	0,563	0,095	-1,021
15	1,054	0,714	0,186
16	0,885	0,476	-0,230
17	0,714	0,238	-0,651
18	0,975	0,666	-0,009
19	1,185	0,761	0,509
20	0,597	0,142	-0,937

\*Visina – očekivanje praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom.

Na primjer, vrijednost percentilnog praga (0,952) označava ispitanika br. 12 kao najlošije rangiranog po visini praga osjetljivosti. Z skor ovog ispitanika iznosi 2,713.

Vrijednost percentilnog praga (0,047) označava ispitanika br. 7 kao najbolje rangiranog po visini praga osjetljivosti. Z skor za ispitanika broj 7 iznosi -1,137.

Razlika Z skora između najboljeg i najlošijeg ispitanika izražena u standardnim devijacijama iznosi 3,850.

Na ovaj način pokazano je kako se iz neke grupe ispitanika može izdvojiti onaj s najvećom ili najmanjom općom osjetljivošću za razlike u boji.

#### 4.1.5.2. Ocjena ispitanika prema vrijednosti praga osjetljivosti za pojedine boje

U Tablici 4.5 prikazani su rezultati rangiranja ispitanika prema pragu osjetljivosti za pojedine boje, žutu, plavu, crvenu i zelenu.

Tablica 4.5. Rangiranje ispitanika prema pragu osjetljivosti za žutu, crvenu, zelenu i plavu boju

Ispitanik	Žuta boja (yellow)			Crvena boja (red)			Zelena boja (green)			Plava boja (blue)		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	2,202	0,904	1,935	0,537	0,238	-0,663	1,204	0,857	1,007	0,653	0,380	-0,460
2	1,131	0,571	-0,043	0,606	0,333	-0,551	0,806	0,476	-0,253	1,008	0,714	0,196
3	1,283	0,666	0,238	0,485	0,142	-0,746	1,061	0,666	0,555	0,809	0,523	-0,173
4	0,992	0,428	-0,300	0,834	0,619	-0,182	0,896	0,523	0,030	0,460	0,142	-0,819
5	0,875	0,190	-0,515	0,681	0,380	-0,430	0,759	0,380	-0,401	0,390	0,047	-0,948
6	1,046	0,523	-0,199	1,346	0,809	0,648	1,033	0,619	0,464	0,540	0,333	-0,670
7	0,946	0,333	-0,384	0,304	0,047	-1,040	0,492	0,142	-1,249	0,439	0,095	-0,856
8	1,444	0,857	0,535	1,703	0,857	1,227	1,155	0,761	0,853	0,487	0,190	-0,768
9	0,960	0,380	-0,358	0,762	0,476	-0,299	0,907	0,571	0,065	1,014	0,761	0,207
10	1,038	0,476	-0,214	1,308	0,761	0,587	0,542	0,190	-1,092	0,540	0,285	-0,670
11	1,344	0,761	0,350	0,786	0,523	-0,260	1,105	0,714	0,694	0,658	0,428	-0,452
12	2,674	0,952	2,806	2,669	0,952	2,791	1,613	0,952	2,304	1,696	0,904	1,470
13	0,917	0,238	-0,437	2,198	0,904	2,028	0,751	0,333	-0,430	1,303	0,809	0,741
14	0,438	0,095	-1,322	0,896	0,714	-0,081	0,441	0,047	-1,410	0,724	0,476	-0,329
15	1,386	0,809	0,428	0,803	0,571	-0,231	1,160	0,809	0,868	2,630	0,952	3,197
16	0,924	0,285	-0,425	0,599	0,285	-0,562	1,293	0,904	1,289	0,844	0,619	-0,107
17	0,818	0,142	-0,621	0,743	0,428	-0,328	0,717	0,285	-0,537	0,537	0,238	-0,676
18	1,284	0,714	0,240	0,838	0,666	-0,175	0,777	0,428	-0,347	0,832	0,571	-0,130
19	1,230	0,619	0,140	0,518	0,190	-0,693	0,560	0,238	-1,034	1,475	0,857	1,060
20	0,150	0,047	-1,854	0,305	0,095	-1,039	0,452	0,095	-1,377	1,003	0,666	0,187

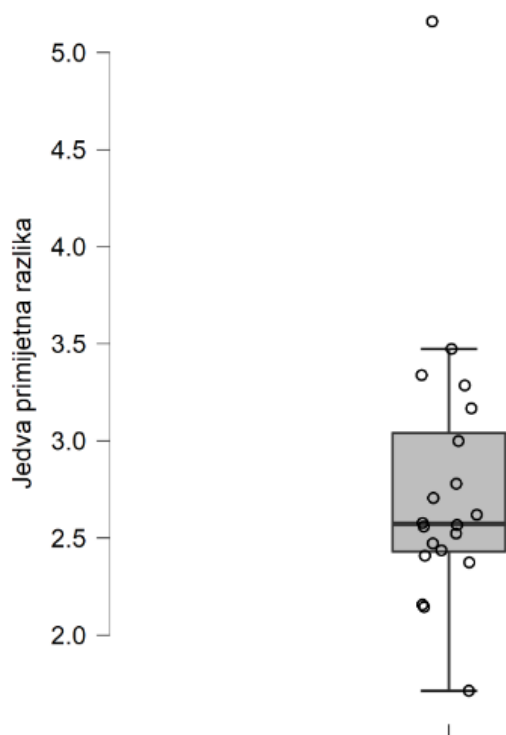
\*Visina – prag osjetljivosti ispitanika na danu boju.

Iz prikazanih tablica se vidi da ispitanik br. 12 ima najveći prag osjetljivosti za 3 od četiri prikazane boje, a za četvrtu je drugi po redu. Najmanji prag osjetljivosti za pojedine boje imaju ispitanici 20 (za žutu), 7 (za crvenu), 14 (za zelenu) i 5 (za plavu).

## 4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA JEDVA PRIMJETNE RAZLIKE

### 4.2.1. Distribucija vrijednosti jedva primjetne razlike po ispitanicima

Na Slici 4.3. prikazana je distribucija rezultata određivanja jedva primjetne razlike po ispitanicima. Pravokutni dio dijagrama prikazuje disperziju rezultata.



Slika 4.3. Distribucija vrijednosti jedva primjetne razlike po ispitanicima.

Vrijednost medijana iznosi 2,57, a podaci pokazuju disperziju (veći interkvartilni raspon). Jedva primjetnu razliku nižu od 2,43 ima 5, ili u postocima, 25 % ispitanika, a isto tako 5, ili u postocima, 25 % ispitanika ima veće vrijednosti za jedva primjetnu razliku od 3,04, pri čemu jedan ispitanik ima izrazito visoku vrijednost za jedva primjetnu razliku u odnosu na ostale ispitanike.

Na temelju prikazane disperzije rezultata na dijagramu distribucije vrijednosti jedva primjetne razlike može se utvrditi da oko 3/4 ispitanika reagira na jedva primjetnu razliku manju od 3,04.



#### 4.2.2. Jedva primjetna razlika prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.6 prikazani su rezultati određivanja jedva primjetne razlike prema spolu ispitanika.

Tablica 4.6. Jedva primjetna razlika prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{\text{weib}}$	df	p	$p_{BH^*}$	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	3,68	1,08	0,302	18,000	0,766	0,766	0,135	-0,745	1,011
	Žensko	10	3,56	0,60							
blue	Muško	10	2,96	0,98	1,226	18,000	0,236	0,602	0,548	-0,354	1,435
	Žensko	10	2,50	0,65							
purple	Muško	10	2,47	0,96	0,820	18,000	0,423	0,754	0,367	-0,523	1,246
	Žensko	10	2,21	0,37							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	3,58	1,03	2,168	18,000	0,044	0,339	0,970	0,027	1,889
	Žensko	10	2,76	0,60							
dark skin	Muško	10	3,28	1,16	0,935	18,000	0,362	0,724	0,418	-0,474	1,299
	Žensko	10	2,85	0,88							
purplish blue	Muško	10	2,82	0,80	2,137	18,000	0,047	0,339	0,956	0,014	1,874
	Žensko	10	2,18	0,51							
red	Muško	10	2,77	1,00	0,633	18,000	0,534	0,766	0,283	-0,602	1,161
	Žensko	10	2,53	0,64							
foliage	Muško	10	2,89	0,96	1,665	18,000	0,113	0,339	0,745	-0,174	1,644
	Žensko	10	2,29	0,64							
blue sky	Muško	10	3,22	1,41	2,118	18,000	0,048	0,339	0,947	0,007	1,865
	Žensko	10	2,22	0,53							
cyan	Muško	10	2,92	0,93	0,313	18,000	0,758	0,766	0,140	-0,740	1,016
	Žensko	10	2,80	0,74							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	3,47	1,20	1,124	15,635	0,278	0,607	0,503	-0,399	1,389
	Žensko	10	2,96	0,80							
moderate red	Muško	10	2,58	0,92	0,376	15,931	0,712	0,766	0,168	-0,713	1,044
	Žensko	10	2,44	0,63							
magenta	Muško	10	2,58	1,12	0,478	14,877	0,640	0,766	0,214	-0,670	1,090
	Žensko	10	2,38	0,68							
green	Muško	10	2,62	0,55	1,735	17,784	0,100	0,339	0,776	-0,146	1,678
	Žensko	10	2,16	0,62							
blue flower	Muško	10	3,27	1,55	1,805	12,615	0,095	0,339	0,807	-0,137	1,723
	Žensko	10	2,29	0,71							
orange	Muško	10	2,66	1,12	0,423	14,835	0,678	0,766	0,189	-0,693	1,065
	Žensko	10	2,49	0,68							
light skin	Muško	10	2,79	0,74	0,344	16,129	0,735	0,766	0,154	-0,727	1,030
	Žensko	10	2,65	1,06							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	3,08	0,87	1,888	15,246	0,078	0,339	0,844	-0,094	1,757
	Žensko	10	2,46	0,55							
bluish green	Muško	10	2,57	0,92	0,465	15,155	0,648	0,766	0,208	-0,675	1,084
	Žensko	10	2,41	0,58							
orange yellow	Muško	10	2,82	1,01	1,207	11,922	0,251	0,602	0,540	-0,373	1,432
	Žensko	10	2,40	0,41							
yellow green	Muško	10	2,48	0,99	1,782	14,149	0,096	0,339	0,797	-0,139	1,708
	Žensko	10	1,84	0,55							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	3,61	0,89	0,725	17,997	0,478	0,765	0,324	-0,563	1,203
	Žensko	10	3,32	0,90							
yellow	Muško	10	2,49	0,93	0,423	17,775	0,677	0,766	0,189	-0,692	1,065
	Žensko	10	2,32	0,83							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	3,61	1,10	0,789	17,872	0,440	0,754	0,353	-0,536	1,232
	Žensko	10	3,23	1,01							

Iz Tab. 4.6 može se vidjeti da za neke boje postoje statistički značajne razlike u percepciji jedva primjetne razlike između pripadnika dva spola iz ispitivane grupe.

Utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika za jedva primjetnu razliku za pet ispitivanih boja:

- tamno sivu (*neutral 3.5 (1.05 D)*) ( $p= 0,044$ ) ( $d= 0,970$ )
- purpurno plavu (*purplish blue*) ( $p= 0,047$ ) ( $d= 0,956$ )
- nebeski plavu (*blue sky*),  $p= 0,048$ ) ( $d= 0,947$ )
- sivu (*neutral 6.5 (.44 D)*), ( $p= 0,078$ ) ( $d= 0,844$ )
- plavi cvijet (*blue flower*), ( $p= 0,095$ ) ( $d= 0,807$ ).

Za svih pet boja žene u uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost jedva primjetne razlike od muškaraca.

Utvrđeno je da postoji statistički umjerena razlika za jedva primjetnu razliku za šest boja:

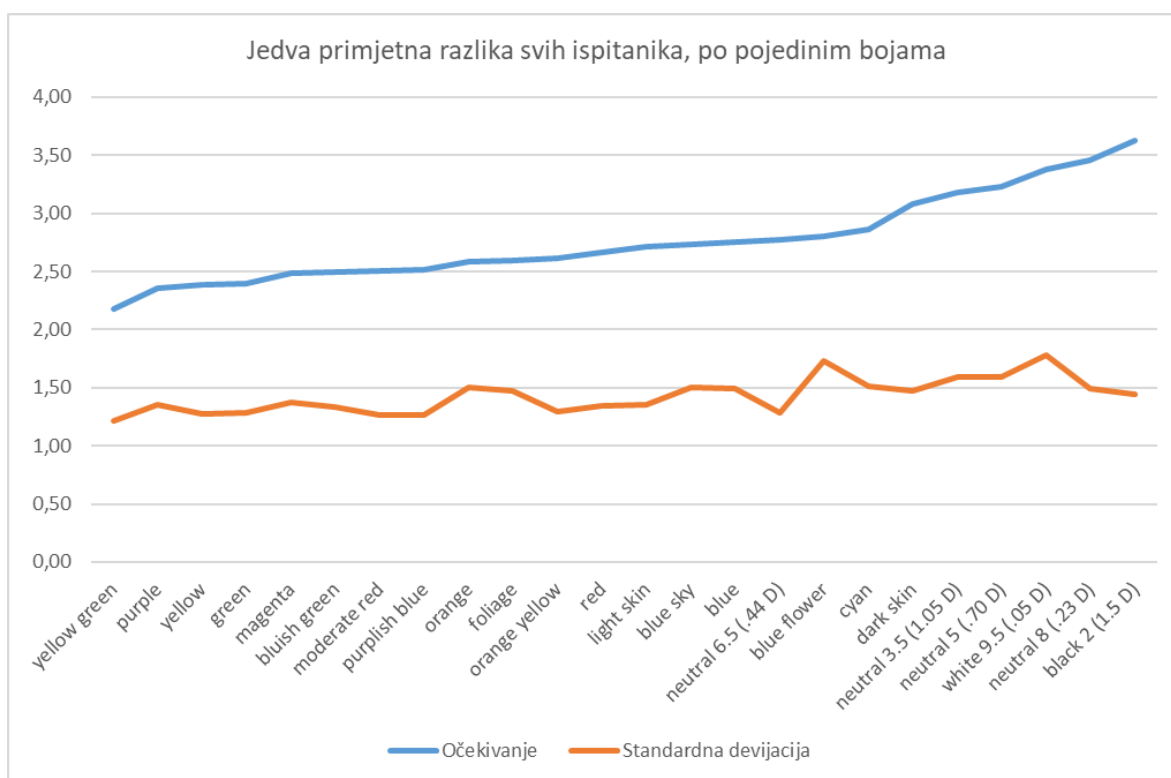
- žutozelenu (*yellow green*), ( $d = 0,797$ )
- zelenu (*green*), ( $d = 0,776$ )
- zelenolisnu (*foliage*), ( $d = 0,745$ )
- plavu (*blue*), ( $d = 0,548$ )
- narančastožutu (*orange yellow*), ( $d = 0,540$ ) i
- sivu (*neutral 5 (.70 D)*), ( $d = 0,503$ ).

Za svih šest boja s umjerenom statističkom razlikom žene u uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost praga osjetljivosti od muškaraca.

Na temelju ovih rezultata može se reći da su pripadnice ženskog spola koje su sudjelovale u ovom testiranju statistički pokazale da imaju nižu srednju vrijednost jedva primjetne razlike od muškaraca za 11 od ukupno 24 boje obuhvaćene testiranjem. Za ostalih 13 boja nije bilo moguće utvrditi postoje li statistički značajne razlike u percepciji između muškaraca i žena.

### 4.2.3. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za jedva primjetnu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama

Na Slici 4.4 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanja) jedva primjetne razlike po bojama, za sva 24 ispitanika i standardna devijacija za svaku boju.



Slika 4.4. Jedva primjetna razlika svih ispitanika po pojedinim bojama.

Dijagram na Slici 4.4 prikazuje da vrijednosti standardne devijacije jedva primjetne razlike nisu u linearnoj korelaciji sa srednjom vrijednosti (očekivanje) jedva primjetne razlike. Raspon jedva primjetne razlike po bojama za cijelu grupu ispitanika kreće se od 2,18 do 3,63, pri čemu je standardna devijacija prilično ujednačena i kreće se od 1,28 do 1,78.

U Tablici 4.7 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanje) jedva primjetne razlike za pojedine boje za sva 24 ispitanika i standardne devijacije po bojama. Boje su rangirane od one za koju su ispitanici pokazali najmanju vrijednost jedva primjetne razlike do najveće vrijednosti.

Tablica 4.7. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za jedva primjetnu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama.

Boja	Očekivanje	Standardna devijacija	Medijana	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Interval povjerenja -95%	Interval povjerenja +95%
yellow green	2,18	1,21	2,09	0,39	5,19	1,38	2,83	1,65	2,71
purple	2,35	1,36	2,17	0,39	5,71	1,50	2,94	1,76	2,95
yellow	2,38	1,27	2,37	0,35	5,09	1,46	3,22	1,82	2,94
green	2,39	1,28	2,33	0,35	5,58	1,51	3,02	1,83	2,95
magenta	2,49	1,37	2,42	0,31	5,34	1,57	3,22	1,88	3,09
bluish green	2,49	1,33	2,47	0,47	5,31	1,57	3,16	1,91	3,08
moderate red	2,50	1,26	2,46	0,42	5,30	1,76	3,20	1,95	3,05
purplish blue	2,51	1,27	2,35	0,60	5,21	1,65	3,21	1,96	3,07
orange	2,59	1,51	2,64	0,34	5,86	1,52	3,40	1,93	3,25
foliage	2,60	1,47	2,26	0,47	6,32	1,74	3,29	1,96	3,24
orange yellow	2,61	1,29	2,48	0,56	6,08	1,88	3,08	2,05	3,18
red	2,67	1,35	2,48	0,74	6,02	1,77	3,45	2,08	3,26
light skin	2,71	1,35	2,64	0,63	6,28	1,81	3,24	2,12	3,30
blue sky	2,74	1,50	2,47	0,46	6,01	1,73	3,63	2,08	3,40
blue	2,75	1,49	2,62	0,46	6,26	1,80	3,48	2,10	3,40
neutral 6.5 (.44 D)	2,78	1,28	2,74	0,68	6,08	2,04	3,31	2,22	3,34
blue flower	2,80	1,73	2,56	0,17	7,13	1,87	3,44	2,04	3,56
cyan	2,87	1,51	2,90	0,35	5,61	1,84	4,02	2,20	3,53
dark skin	3,08	1,48	2,93	0,50	6,56	2,26	3,85	2,44	3,73
neutral 3.5 (1.05 D)	3,18	1,59	2,89	0,70	6,99	2,25	4,07	2,49	3,88
neutral 5 (.70 D)	3,23	1,59	3,02	0,71	7,18	2,15	3,88	2,53	3,93
white 9.5 (.05 D)	3,38	1,78	3,11	0,91	8,23	2,22	4,20	2,60	4,16
neutral 8 (.23 D)	3,46	1,49	3,30	0,93	7,10	2,51	4,16	2,80	4,11
black 2 (1.5 D)	3,63	1,44	3,47	1,35	6,51	2,75	4,30	3,00	4,26

Za sve ispitivane boje prema disperziji srednje vrijednosti (očekivanja) i standardne devijacije među ispitanicima se ne može utvrditi veza u osjećaju jedva primjetne razlike. Može se zaključiti da je jedva primjetna razlika potpuno individualna za svakog ispitanika.

Od svih ispitivanih boja najmanja vrijednost očekivanja za jedva primjetnu razliku (2,18), a i za standardnu devijaciju (1,21) dobivena je za žutozelenu (*yellow green*) boju, što dovodi do zaključka da je većini ispitanika bilo najlakše odrediti jedva primjetnu razliku za tu boju i da je za nju dobivena najmanja vrijednost jedva primjetne razlike.

#### 4.2.4. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje jedva primjetne razlike prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.8 prikazano je trajanje testiranja za određivanje jedva primjetne razlike. Podaci su grupirani prema pripadnosti određenoj spolnoj grupi.

Tablica 4.8. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje jedva primjetne razlike prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{\text{welch}}$	df	p	$p_{\text{BH}}$	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	13,13	6,07	0,393	15,482	0,700	0,926	0,176	-0,706	1,051
	Žensko	10	12,23	3,96							
blue	Muško	10	17,93	12,71	1,292	11,781	0,221	0,733	0,578	-0,340	1,473
	Žensko	10	12,34	5,06							
purple	Muško	10	13,73	8,66	1,000	13,356	0,335	0,733	0,447	-0,453	1,332
	Žensko	10	10,66	4,40							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	10,72	3,01	0,074	12,33	0,942	0,942	0,033	-0,844	0,909
	Žensko	10	10,54	6,87							
dark skin	Muško	10	12,88	5,59	0,346	18,000	0,733	0,926	0,155	-0,725	1,031
	Žensko	10	12,02	5,59							
purplish blue	Muško	10	12,66	2,93	0,190	11,464	0,853	0,942	0,085	-0,794	0,960
	Žensko	10	12,16	7,84							
red	Muško	10	15,06	7,48	0,280	17,215	0,783	0,940	0,125	-0,754	1,001
	Žensko	10	14,21	6,02							
foliage	Muško	10	13,68	6,28	1,774	10,238	0,106	0,733	0,793	-0,163	1,717
	Žensko	10	10,03	1,65							
blue sky	Muško	10	12,13	4,92	1,440	12,651	0,174	0,733	0,644	-0,279	1,543
	Žensko	10	9,66	2,27							
cyan	Muško	10	16,36	5,89	0,083	16,830	0,935	0,942	0,037	-0,840	0,913
	Žensko	10	16,10	7,72							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	11,48	5,35	1,380	12,701	0,191	0,733	0,617	-0,302	1,514
	Žensko	10	8,91	2,48							
moderate red	Muško	10	14,84	7,83	1,026	14,794	0,321	0,733	0,459	-0,440	1,343
	Žensko	10	11,87	4,73							
magenta	Muško	10	13,42	7,26	0,149	15,481	0,884	0,942	0,067	-0,811	0,942
	Žensko	10	13,01	4,73							
green	Muško	10	17,15	10,11	1,561	11,211	0,146	0,733	0,698	-0,238	1,606
	Žensko	10	11,86	3,57							
blue flower	Muško	10	14,45	9,38	1,622	9,976	0,136	0,733	0,725	-0,222	1,641
	Žensko	10	9,51	2,19							
orange	Muško	10	15,37	7,20	1,039	13,383	0,317	0,733	0,465	-0,437	1,350
	Žensko	10	12,72	3,67							
light skin	Muško	10	13,51	7,39	0,427	17,166	0,675	0,926	0,191	-0,691	1,067
	Žensko	10	12,23	5,91							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	10,01	4,54	0,989	17,872	0,336	0,733	0,442	-0,452	1,324
	Žensko	10	8,08	4,17							
bluish green	Muško	10	12,91	4,58	0,419	17,061	0,680	0,926	0,187	-0,694	1,063
	Žensko	10	12,14	3,60							
orange yellow	Muško	10	17,18	6,05	0,385	16,800	0,705	0,926	0,172	-0,709	1,048
	Žensko	10	15,96	7,95							
yellow green	Muško	10	15,26	6,69	1,266	15,109	0,225	0,733	0,566	-0,342	1,457
	Žensko	10	12,10	4,18							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	12,67	5,96	0,672	15,209	0,512	0,893	0,300	-0,587	1,178
	Žensko	10	11,18	3,77							
yellow	Muško	10	20,47	5,27	-0,667	9,310	0,521	0,893	-0,298	-1,177	0,596
	Žensko	10	29,01	40,18							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	15,32	8,54	0,813	16,809	0,428	0,856	0,363	-0,527	1,243
	Žensko	10	12,56	6,50							

Iz Tablice 4.8 je vidljivo da za sedam boja:

- zelenolisnu (*foliage*),  $d = 0,793$ )
- plavi cvijet (*blue flower*,  $d = 0,725$ )
- zelenu (*green*,  $d = 0,698$ )
- nebeski plavu (*blue sky*,  $d = 0,644$ )
- sivu (*neutral 5 (.70 D)*,  $d = 0,617$ )
- plavu (*blue*,  $d = 0,578$ ) i
- žuto zelenu (*yellow green*,  $d = 0,566$ )

postoje statistički umjerene razlike u utrošenom vremenu za izvođenje zadataka za određivanje jedva primjetne razlike među ispitanicima muškog i ženskog spola. Rezultati su iskazani pojedinačno po bojama. U svih sedam slučajeva muškarcima je bilo potrebno nešto više vremena za izvršavanje zadatka. U ostalih 17 slučajeva nije bilo moguće statističkim metodama utvrditi postoje li razlike u brzini određivanja jedva primjetne razlike.

#### **4.2.5. Ocjena ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike**

Ispitanici su ocijenjeni i rangirani i prema vrijednosti jedva primjetne razlike u boji koju su pokazali na testiranju, i to za sve boje obuhvaćene testom i za neke pojedinačne boje (žutu, plavu, crvenu i zelenu).

##### **4.2.5.1. Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti jedva primjetne razlike za sve ispitivane boje obuhvaćene ovim testom**

U Tablici 4.9 prikazano je rangiranje ispitanika prema srednjoj vrijednosti jedva primjetne razlike koju je pokazao na testu, za sve boje obuhvaćene testiranjem. Za svakog ispitanika prikazane su:

- srednje vrijednosti jedva primjetne razlike
- percentilni rang, koji pokazuje koliki postotak ukupnog broja ispitanika uočava jedva primjetnu razliku i
- Z skor, koji pokazuje koliko je jedva primjetna razlika nekog ispitanika viša ili niža od srednje vrijednosti, ali izraženo preko standardne devijacije.

Tablica 4.9. Ocjena ispitanika prema srednjim vrijednostima jedva primjetne razlike za sve boje obuhvaćene testom.

Ispitanik	Ukupno		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	3,168	0,761	0,555
2	3,339	0,857	0,796
3	2,436	0,285	-0,474
4	2,567	0,476	-0,290
5	2,409	0,238	-0,513
6	2,374	0,190	-0,562
7	2,145	0,095	-0,885
8	5,160	0,952	3,360
9	2,577	0,523	-0,276
10	3,000	0,714	0,319
11	2,472	0,333	-0,424
12	3,473	0,904	0,986
13	2,559	0,428	-0,302
14	2,620	0,571	-0,216
15	2,523	0,380	-0,352
16	2,779	0,666	0,009
17	2,156	0,142	-0,868
18	2,706	0,619	-0,094
19	1,713	0,047	-1,492

\*Visina – očekivanje jedva primjetne razlike za sve boje obuhvaćene testom.

Rangiranje je izvršeno izračunom percentilnog ranga srednje vrijednosti (očekivanja) jedva primjetne razlike svakog ispitanika na sve boje.

Vrijednost percentilnog praga (0,952) označava ispitanika br. 8 kao najlošije rangiranog po visini jedva primjetne razlike. Z skor za ispitanika broj 8 iznosi (3,360).

Vrijednost percentilnog praga (0,047) označava ispitanika br. 19 kao najbolje rangiranog po visini jedva primjetne razlike. Z skor za ispitanika broj 19 iznosi (-1,492).

Vidljivo je da je ispitanik br. 7 i dalje među najbolje rangiranima, kao drugi, a kandidat 12 je ponovno među najslabije rangiranima (drugi odostraga).

Razlika Z skora između najboljeg i najlošije ispitanika izražena u standardnim devijacijama iznosi (4,852).

#### 4.2.5.2. Ocjena ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike za pojedine boje

U Tablici 4.10 prikazani su rezultati rangiranja ispitanika prema jedva primjetnoj razlici za pojedine boje (žutu, plavu, crvenu i zelenu).

Tablica 4.10. Rangiranje ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike za žutu, crvenu, zelenu i plavu boju.

Ispitanik	Žuta boja (yellow)			Crvena boja (red)			Zelena boja (green)			Plava boja (blue)		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	2,435	0,666	0,035	1,658	0,047	-1,204	2,858	0,761	0,758	4,400	0,904	1,990
2	2,264	0,476	-0,164	3,246	0,857	0,720	3,046	0,857	1,062	3,461	0,857	0,873
3	3,042	0,857	0,742	1,707	0,142	-1,146	3,158	0,904	1,243	2,838	0,571	0,131
4	1,859	0,238	-0,635	2,275	0,428	-0,457	2,388	0,476	-0,004	1,733	0,142	-1,183
5	1,727	0,190	-0,790	2,236	0,285	-0,505	1,696	0,190	-1,125	0,922	0,047	-2,147
6	1,884	0,285	-0,606	2,290	0,476	-0,439	2,627	0,666	0,384	2,595	0,380	-0,158
7	2,280	0,523	-0,145	2,123	0,238	-0,641	1,664	0,142	-1,176	1,722	0,095	-1,197
8	4,888	0,952	2,891	5,230	0,952	3,124	3,789	0,952	2,265	4,488	0,952	2,094
9	2,220	0,380	-0,215	2,240	0,333	-0,500	1,897	0,285	-0,799	3,053	0,714	0,388
10	2,838	0,809	0,505	2,960	0,666	0,373	2,542	0,571	0,245	3,097	0,761	0,439
11	1,726	0,142	-0,790	2,832	0,619	0,218	2,587	0,619	0,318	2,616	0,428	-0,132
12	2,361	0,571	-0,051	2,556	0,523	-0,117	3,027	0,809	1,031	2,803	0,523	0,090
13	2,236	0,428	-0,196	3,543	0,904	1,080	2,019	0,333	-0,600	2,268	0,285	-0,547
14	2,619	0,714	0,249	3,239	0,809	0,711	1,837	0,238	-0,896	2,430	0,333	-0,353
15	1,725	0,095	-0,791	2,695	0,571	0,052	1,323	0,047	-1,728	3,048	0,666	0,382
16	2,374	0,619	-0,036	3,181	0,761	0,640	2,663	0,714	0,442	2,699	0,476	-0,034
17	1,925	0,333	-0,558	2,063	0,190	-0,714	2,228	0,380	-0,262	2,223	0,238	-0,600
18	4,003	0,904	1,861	2,270	0,380	-0,463	2,380	0,428	-0,017	2,925	0,619	0,235
19	0,910	0,047	-1,740	1,668	0,095	-1,192	1,623	0,095	-1,242	2,013	0,190	-0,849
20	2,777	0,761	0,433	3,032	0,714	0,460	2,452	0,523	0,099	3,213	0,809	0,578

\*Visina – jedva primjetna razlika za danu boju.

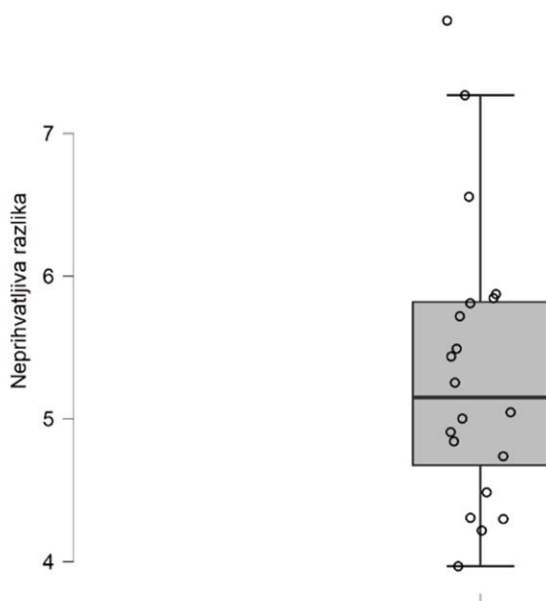
Iz prikazanih tablica se vidi da je ispitanik 19 za sve četiri boje ili najbolji ili među najbolje rangiranim kandidatima. S druge strane, kandidat 8 je najlošije rangiran za sve četiri izabrane boje.



### 4.3. REZULTATI ODREĐIVANJA NEPRIHVATLJIVE RAZLIKE

#### 4.3.1. Distribucija vrijednosti neprihvatljive razlike po ispitanicima

Na Slici 4.5 prikazana je distribucija rezultata određivanja neprihvatljive razlike po ispitanicima. Pravokutni dio dijagrama prikazuje disperziju rezultata.



Slika 4.5. Distribucija vrijednosti neprihvatljive razlike po ispitanicima.

Vrijednost medijana iznosi 5,15, a podaci pokazuju disperziju (veći interkvartilni raspon). Neprihvatljivu razliku nižu od 4,68 ima 5, ili u postocima, 25 % ispitanika, a isto tako 5, ili u postocima, 25 % ispitanika ima veće vrijednosti za neprihvatljivu razliku od 5,82, pri čemu jedan ispitanik ima izrazito visoku vrijednost za neprihvatljivu razliku u odnosu na ostale ispitanike.

Na temelju prikazane disperzije rezultata na dijagramu distribucije vrijednosti jedva primjetne razlike može se tvrditi da oko 3/4 ispitanika reagira na neprihvatljivu razliku manju od 5,82.

### 4.3.2. Neprihvatljiva razlika po spolu (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.11 prikazani su rezultati određivanja neprihvatljive razlike prema spolu ispitanika.

Tablica 4.11. Neprihvatljiva razlika po spolu (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{welch}$	df	p	$p_{BH^*}$	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	6,54	1,10	0,370	18,000	0,716	0,950	0,165	-0,715	1,041
	Žensko	10	6,36	1,00							
blue	Muško	10	5,13	1,14	0,370	18,000	0,715	0,950	0,166	-0,715	1,041
	Žensko	10	4,95	0,97							
purple	Muško	10	4,92	1,06	-0,098	18,000	0,923	0,950	-0,044	-0,920	0,833
	Žensko	10	4,97	0,98							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	6,39	1,60	0,404	18,000	0,691	0,950	0,180	-0,700	1,056
	Žensko	10	6,12	1,29							
dark skin	Muško	10	6,06	1,31	0,214	18,000	0,833	0,950	0,096	-0,783	0,971
	Žensko	10	5,92	1,50							
purplish blue	Muško	10	5,06	1,36	0,185	18,000	0,856	0,950	0,083	-0,795	0,958
	Žensko	10	4,96	0,88							
red	Muško	10	5,39	1,23	0,192	18,000	0,850	0,950	0,086	-0,792	0,962
	Žensko	10	5,27	1,61							
foliage	Muško	10	5,48	1,08	1,154	18,000	0,264	0,950	0,516	-0,383	1,401
	Žensko	10	4,92	1,08							
blue sky	Muško	10	6,10	1,99	1,522	18,000	0,145	0,950	0,681	-0,232	1,576
	Žensko	10	4,98	1,24							
cyan	Muško	10	5,56	0,96	0,230	18,000	0,821	0,950	0,103	-0,776	0,979
	Žensko	10	5,47	0,76							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	6,33	1,62	0,656	17,988	0,520	0,950	0,293	-0,592	1,171
	Žensko	10	5,86	1,58							
moderate red	Muško	10	4,97	0,91	0,063	18,000	0,950	0,950	0,028	-0,849	0,905
	Žensko	10	4,95	0,91							
magenta	Muško	10	4,61	1,03	-0,261	17,927	0,797	0,950	-0,117	-0,993	0,762
	Žensko	10	4,72	0,97							
green	Muško	10	4,97	1,24	1,143	17,367	0,268	0,950	0,511	-0,388	1,397
	Žensko	10	4,39	1,02							
blue flower	Muško	10	5,53	1,58	0,770	14,945	0,453	0,950	0,344	-0,546	1,224
	Žensko	10	5,08	0,97							
orange	Muško	10	4,77	1,40	-0,390	17,076	0,701	0,950	-0,175	-1,050	0,706
	Žensko	10	4,99	1,11							
light skin	Muško	10	5,31	1,09	0,346	17,990	0,733	0,950	0,155	-0,725	1,031
	Žensko	10	5,14	1,12							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	5,54	1,35	-0,073	17,982	0,943	0,950	-0,033	-0,909	0,844
	Žensko	10	5,58	1,31							
bluish green	Muško	10	4,86	0,72	-0,200	15,539	0,844	0,950	-0,090	-0,965	0,789
	Žensko	10	4,94	1,10							
orange yellow	Muško	10	4,95	1,36	0,245	14,999	0,810	0,950	0,110	-0,770	0,985
	Žensko	10	4,82	0,84							
yellow green	Muško	10	4,36	1,11	0,580	15,753	0,570	0,950	0,259	-0,626	1,136
	Žensko	10	4,12	0,75							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	6,39	1,29	0,746	17,865	0,465	0,950	0,334	-0,554	1,212
	Žensko	10	5,98	1,18							
yellow	Muško	10	4,80	1,12	0,899	15,176	0,383	0,950	0,402	-0,492	1,284
	Žensko	10	4,42	0,71							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	6,59	1,57	-0,257	17,996	0,800	0,950	-0,115	-0,991	0,764
	Žensko	10	6,77	1,59							

Može se vidjeti da za neke boje postoje statistički umjerene razlike u percepciji neprihvatljive razlike između pripadnika dvaju spolova iz ispitivane grupe.

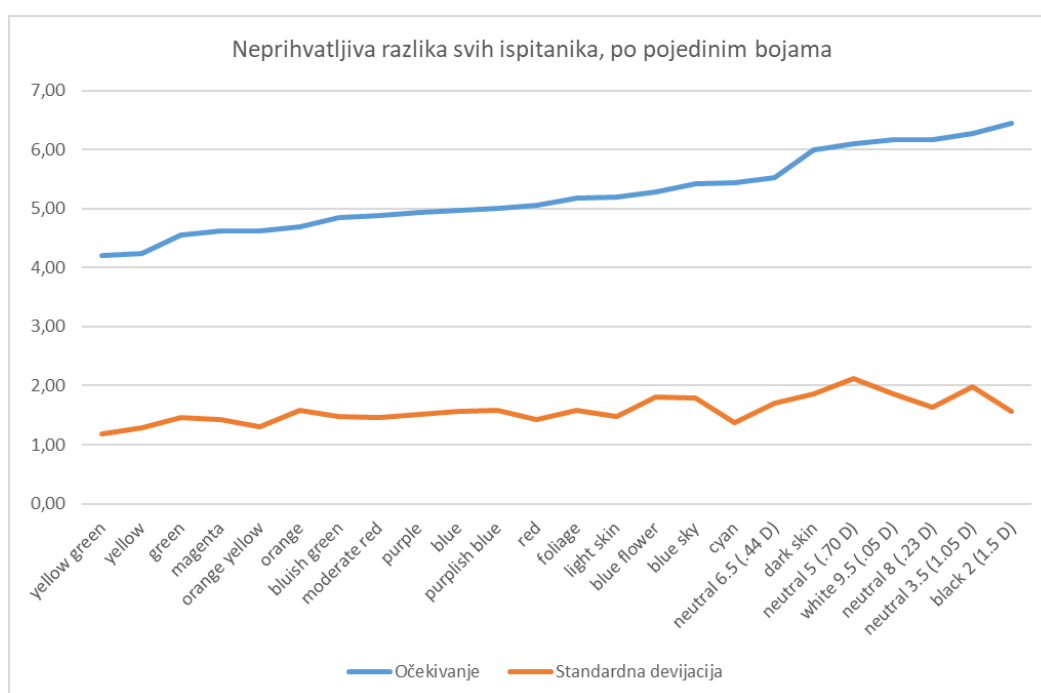
Utvrđeno je da postoji statistički umjerena razlika za neprihvatljivu razliku za tri boje:

- nebeski plavu (*blue sky*), ( $d = 0,681$ )
- zelenolisnu (*foliage*), ( $d = 0,516$ )
- zelenu (*green*), ( $d = 0,511$ ).

Za sve tri boje žene na uzorku imaju nižu prosječnu vrijednost neprihvatljive razlike od muškaraca.

#### 4.3.3. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za neprihvatljivu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama

Na Slici 4.6 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanja) neprihvatljive razlike po bojama, za sva 24 ispitanika i standardna devijacija za svaku boju.



Slika 4.6. Neprihvatljiva razlika svih ispitanika po pojedinim bojama.

Na dijagramu sa Slike 4.6 vidi se da vrijednosti standardne devijacije neprihvatljive razlike nisu u linearnoj korelaciji sa srednjim vrijednostima (očekivanjem) praga osjetljivosti. Raspon neprihvatljive razlike po bojama za cijelu grupu ispitanika kreće se od 4,20 do 6,44, pri čemu je standardna devijacija prilično ujednačena i kreće se od 1,18 do 2,12.

U Tablici 4.12 prikazane su srednje vrijednosti neprihvatljive razlike za pojedine boje za sva 24 ispitanika i standardne devijacije po bojama. Boje su rangirane od one za koju su ispitanici pokazali najmanju vrijednost neprihvatljive razlike do najveće vrijednosti.

Tablica 4.12. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za neprihvatljivu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama.

Boja	Očekivanje	Standardna devijacija	Medijana	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Interval povjerenja -95%	Interval povjerenja +95%
yellow green	4,20	1,18	4,18	2,12	6,25	3,36	4,98	3,69	4,72
yellow	4,24	1,28	4,31	1,74	6,34	3,46	5,17	3,68	4,80
green	4,55	1,47	4,62	1,77	7,39	3,57	5,30	3,91	5,19
magenta	4,62	1,43	4,54	2,20	7,17	3,49	5,53	3,99	5,24
orange yellow	4,62	1,31	4,54	2,31	6,94	3,73	5,41	4,05	5,19
orange	4,69	1,58	4,50	1,89	7,43	3,74	5,75	4,00	5,39
bluish green	4,85	1,48	4,86	1,95	7,37	3,90	5,75	4,20	5,50
moderate red	4,88	1,45	4,91	2,17	7,82	3,79	5,81	4,24	5,52
purple	4,93	1,50	4,67	2,41	7,90	3,93	6,03	4,28	5,59
blue	4,97	1,56	4,99	2,18	7,62	4,01	6,07	4,28	5,65
purplish blue	5,01	1,57	4,78	2,61	8,30	3,97	5,95	4,32	5,70
red	5,06	1,43	4,99	2,48	7,77	4,13	5,97	4,44	5,69
foliage	5,17	1,59	4,77	2,88	8,42	3,93	6,36	4,48	5,87
light skin	5,19	1,48	4,88	3,17	8,39	4,16	6,07	4,54	5,84
blue flower	5,27	1,80	4,98	2,58	9,77	4,06	6,03	4,48	6,06
blue sky	5,42	1,79	5,15	2,50	9,41	4,19	6,22	4,63	6,20
cyan	5,44	1,37	5,50	2,99	8,00	4,62	6,24	4,84	6,04
neutral 6.5 (.44 D)	5,53	1,71	5,25	3,19	9,83	4,35	6,25	4,78	6,28
dark skin	5,99	1,86	5,71	2,65	10,05	4,87	6,98	5,18	6,80
neutral 5 (.70 D)	6,09	2,12	5,65	2,96	11,10	4,74	6,89	5,16	7,02
white 9.5 (.05 D)	6,17	1,86	6,03	2,92	9,58	4,81	7,60	5,35	6,98
neutral 8 (.23 D)	6,17	1,63	6,02	3,28	9,65	5,16	7,05	5,46	6,89
neutral 3.5 (1.05 D)	6,27	1,97	6,04	2,91	9,84	4,93	7,56	5,40	7,13
black 2 (1.5 D)	6,44	1,56	6,36	3,93	9,59	5,36	7,33	5,75	7,12

Za sve ispitivane boje prema disperziji vrijednosti očekivanja i standardne devijacije među ispitanicima se ne može utvrditi veza u osjećaju neprihvatljive razlike. Može se zaključiti da je neprihvatljiva razlika individualna za svakog ispitanika.

Od svih ispitivanih boja najmanja je vrijednost očekivanja za neprihvatljivu razliku (4,20), a i za standardnu devijaciju (1,18) dobivena za žutozelenu (*yellow green*) boju, što dovodi do zaključka da je većini ispitanika bilo najlakše odrediti neprihvatljivu razliku za žutozelenu (*yellow green*) boju i da za nju toleriraju najmanju vrijednost neprihvatljive razlike.

#### 4.3.4. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje neprihvatljive razlike po spolu (pojedinačno po bojama)

U Tablici 4.13 prikazano je trajanje testiranja pri određivanju neprihvatljive razlike. Podaci su grupirani prema pripadnosti određenoj spolnoj grupi.

Tablica 4.13. Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje neprihvatljive razlike po spolu (pojedinačno po bojama).

Boja	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{welch}$	df	p	$p_{BH^*}$	d	Interval povjerenja	
										d -95%	d +95%
black 2 (1.5 D)	Muško	10	23,18	5,25	0,539	17,562	0,597	0,886	0,241	-0,642	1,118
	Žensko	10	21,80	6,16							
blue	Muško	10	28,99	13,31	0,880	16,135	0,392	0,886	0,393	-0,499	1,274
	Žensko	10	24,47	9,34							
purple	Muško	10	26,05	11,66	0,988	13,792	0,340	0,886	0,442	-0,457	1,326
	Žensko	10	21,91	6,26							
neutral 3.5 (1.05 D)	Muško	10	21,03	5,95	0,26	16,896	0,798	0,886	0,116	-0,763	0,992
	Žensko	10	20,23	7,73							
dark skin	Muško	10	23,34	6,76	0,078	17,245	0,938	0,938	0,035	-0,842	0,911
	Žensko	10	23,07	8,36							
purplish blue	Muško	10	24,25	8,61	0,248	17,880	0,807	0,886	0,111	-0,768	0,987
	Žensko	10	23,26	9,35							
red	Muško	10	30,42	9,64	0,600	16,293	0,557	0,886	0,268	-0,617	1,146
	Žensko	10	28,17	6,89							
foliage	Muško	10	24,30	5,91	1,726	15,638	0,104	0,886	0,772	-0,156	1,677
	Žensko	10	20,42	3,92							
blue sky	Muško	10	23,28	7,09	1,301	15,440	0,212	0,886	0,582	-0,327	1,473
	Žensko	10	19,80	4,60							
cyan	Muško	10	36,12	13,32	0,643	16,630	0,529	0,886	0,288	-0,598	1,165
	Žensko	10	32,74	9,92							
neutral 5 (.70 D)	Muško	10	20,25	6,91	1,095	16,059	0,290	0,886	0,490	-0,410	1,375
	Žensko	10	17,33	4,81							
moderate red	Muško	10	27,44	8,40	1,046	14,244	0,313	0,886	0,468	-0,433	1,353
	Žensko	10	24,25	4,76							
magenta	Muško	10	27,69	6,52	0,322	16,315	0,752	0,886	0,144	-0,736	1,020
	Žensko	10	26,55	9,09							
green	Muško	10	30,81	12,74	1,428	13,331	0,176	0,886	0,639	-0,281	1,536
	Žensko	10	24,36	6,45							
blue flower	Muško	10	23,15	9,85	0,956	13,468	0,356	0,886	0,427	-0,471	1,311
	Žensko	10	19,80	5,08							
orange	Muško	10	28,73	8,94	0,748	15,420	0,466	0,886	0,334	-0,555	1,213
	Žensko	10	26,21	5,79							
light skin	Muško	10	24,45	11,22	0,250	14,821	0,806	0,886	0,112	-0,768	0,987
	Žensko	10	23,42	6,80							
neutral 6.5 (.44 D)	Muško	10	18,08	6,75	0,241	17,873	0,812	0,886	0,108	-0,771	0,984
	Žensko	10	17,38	6,21							
bluish green	Muško	10	27,79	9,65	0,868	15,431	0,399	0,886	0,388	-0,505	1,269
	Žensko	10	24,63	6,26							
orange yellow	Muško	10	38,77	22,76	1,035	13,051	0,320	0,886	0,463	-0,440	1,348
	Žensko	10	30,49	11,10							
yellow green	Muško	10	26,49	5,70	0,485	17,973	0,634	0,886	0,217	-0,666	1,093
	Žensko	10	25,23	5,92							
neutral 8 (.23 D)	Muško	10	21,65	6,41	0,268	14,940	0,792	0,886	0,120	-0,759	0,996
	Žensko	10	21,01	3,94							
yellow	Muško	10	44,97	19,30	-0,272	13,133	0,790	0,886	-0,122	-0,997	0,758
	Žensko	10	48,73	39,14							
white 9.5 (.05 D)	Muško	10	29,31	9,57	-0,098	15,984	0,923	0,938	-0,044	-0,920	0,833
	Žensko	10	29,83	13,87							

Iz Tablice 4.13 vidljivo je da za tri boje:

- zelenolisnu (*foliage*), ( $d = 0,772$ )
- zelenu (*green*), ( $d = 0,639$ )
- nebeski plavu (*blue sky*), ( $d = 0,582$ )

postoje statistički umjerene razlike u utrošenom vremenu za rješavanje zadataka za određivanje neprihvatljive razlike među ispitanicima muškog i ženskog spola. Rezultati su iskazani pojedinačno po bojama. U ova tri slučaja muškarcima je bilo potrebno nešto više vremena za izvršavanje zadatka. U 21 slučaju nije bilo moguće statističkim metodama utvrditi postoje li razlike u brzini određivanja neprihvatljive razlike.

#### **4.3.5. Ocjena ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike**

Ispitanici su ocijenjeni i rangirani i prema vrijednosti neprihvatljive razlike u boji koju su pokazali na testiranju, i to za sve boje obuhvaćene testom i za neke pojedinačne boje (žutu, plavu, crvenu i zelenu).

##### ***4.3.5.1. Ocjena ispitanika prema srednjoj vrijednosti neprihvatljive razlike za sve ispitivane boje obuhvaćene ovim testom***

U Tablici 4.13 prikazano je rangiranje ispitanika prema srednjoj vrijednosti neprihvatljive razlike koju je pokazao na testu za sve boje obuhvaćene testiranjem. Za svakog ispitanika prikazane su:

- srednje vrijednosti neprihvatljive razlike
- percentilni rang, koji pokazuje koliki postotak ukupnog broja ispitanika uočava manju neprihvatljivu razliku i
- Z skor, koji pokazuje koliko je neprihvatljiva razlika nekog ispitanika viša ili niža od srednje vrijednosti, ali izraženo preko standardne devijacije.

Tablica 4.14. Ocjena ispitanika prema srednjim vrijednostima neprihvatljive razlike za sve boje obuhvaćene testom.

Ispitanik	Ukupno		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	5,438	0,571	0,094
2	7,791	0,952	2,437
3	5,047	0,476	-0,295
4	4,300	0,142	-1,040
5	4,308	0,190	-1,031
6	5,255	0,523	-0,089
7	5,003	0,428	-0,339
8	6,557	0,857	1,208
9	5,492	0,619	0,148
10	5,720	0,666	0,374
11	4,843	0,333	-0,498
12	5,875	0,809	0,529
13	7,268	0,904	1,916
14	4,909	0,380	-0,433
15	4,219	0,095	-1,120
16	5,811	0,714	0,466
17	3,969	0,047	-1,370
18	4,739	0,285	-0,602
19	4,486	0,238	-0,854
20	5,847	0,761	0,501

\*Visina – očekivanje neprihvatljive razlike za sve boje obuhvaćene testom.

Rangiranje je izvršeno izračunom percentilnog ranga očekivanja neprihvatljive razlike svakog ispitanika na sve boje.

Vrijednost percentilnog praga (0,952) označava ispitanika br. 2 kao najlošije rangiranog po visini neprihvatljive razlike. Z skor za ispitanika broj 2 iznosi (2,437).

Vrijednost percentilnog praga (0,047) označava ispitanika br. 17 kao najbolje rangiranog po visini jedva primjetne razlike. Z skor za ispitanika broj 17 iznosi (-1,370).

Razlika Z skora između najboljeg i najlošijeg ispitanika izražena u standardnim devijacijama iznosi (3,807).

#### 4.3.5.2. Ocjena ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike za pojedine boje

U Tablici 4.15 prikazani su rezultati rangiranja ispitanika prema neprihvatljivoj razlici za pojedine boje (žutu, plavu, crvenu i zelenu).

Tablica 4.15. Rangiranje ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike za žutu crvenu, zelenu i plavu boju.

Ispitanik	Žuta boja (yellow)			Crvena boja (red)			Zelena boja (green)			Plava boja (blue)		
	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor	*Visina	Percentilni rang	Z skor
1	5,196	0,761	0,632	4,332	0,285	-0,717	4,328	0,476	-0,310	4,553	0,285	-0,472
2	5,560	0,904	1,022	6,634	0,857	0,933	8,316	0,952	3,169	7,478	0,952	2,364
3	5,148	0,666	0,581	4,459	0,333	-0,627	5,315	0,761	0,551	5,364	0,571	0,314
4	3,821	0,285	-0,841	4,289	0,238	-0,748	4,106	0,285	-0,503	3,628	0,142	-1,369
5	4,167	0,380	-0,470	4,864	0,380	-0,336	3,624	0,095	-0,924	3,090	0,047	-1,891
6	3,937	0,333	-0,717	5,128	0,476	-0,147	5,341	0,809	0,573	5,383	0,666	0,333
7	4,596	0,476	-0,011	5,688	0,714	0,255	4,510	0,523	-0,151	4,674	0,428	-0,354
8	7,125	0,952	2,699	7,782	0,904	1,756	4,907	0,619	0,195	5,757	0,809	0,695
9	4,762	0,619	0,167	4,890	0,428	-0,317	4,288	0,428	-0,345	6,306	0,857	1,228
10	5,374	0,809	0,823	6,057	0,809	0,519	5,080	0,666	0,346	5,370	0,619	0,320
11	3,515	0,095	-1,169	5,300	0,571	-0,024	4,654	0,571	-0,025	5,198	0,523	0,154
12	4,664	0,523	0,062	5,630	0,666	0,213	5,553	0,857	0,759	4,850	0,476	-0,184
13	5,544	0,857	1,005	9,384	0,952	2,904	5,590	0,904	0,791	6,319	0,904	1,240
14	4,667	0,571	0,066	5,517	0,619	0,132	3,736	0,142	-0,827	4,414	0,238	-0,607
15	3,742	0,190	-0,926	4,043	0,142	-0,924	2,452	0,047	-1,947	4,388	0,190	-0,632
16	4,513	0,428	-0,100	5,920	0,761	0,421	5,261	0,714	0,504	5,464	0,714	0,411
17	3,648	0,142	-1,027	3,563	0,047	-1,268	4,220	0,333	-0,404	3,538	0,095	-1,456
18	3,790	0,238	-0,875	4,205	0,190	-0,808	4,057	0,238	-0,547	4,658	0,333	-0,370
19	3,178	0,047	-1,530	3,800	0,095	-1,099	4,052	0,190	-0,551	4,672	0,380	-0,357
20	5,176	0,714	0,611	5,168	0,523	-0,118	4,278	0,380	-0,353	5,692	0,761	0,632

Iz prikazanih tablica vidi se da je ispitanik 19 za sve četiri boje ili najbolje ili među najbolje rangiranim kandidatima. S druge strane, kandidat 8 je među najlošije rangiranim za sve četiri izabrane boje.

#### 4.4. PREGLED USPOREDBE REZULTATA ZA PRAG OSJETLJIVOSTI, JEDVA PRIMJETNU RAZLIKU I NEPRIHVATLJIVU RAZLIKU U BOJI

##### 4.4.1. Disperzija ukupnih rezultata ispitivanja tolerancije svih ispitanika u odnosu na prosjek

U Tablici 4.16 zbirno su, za cijelu grupu ispitanika, prikazani rezultati određivanja srednje vrijednosti (očekivanje), standardne devijacije i drugih statističkih pokazatelja za prag osjetljivosti, jedva primjetnu razliku i neprihvatljivu razliku za 24 boje obuhvaćene testiranjem.

Tablica 4.16. Pregled srednjih vrijednosti, standardne devijacije i drugih statističkih pokazatelja za prag osjetljivosti, jedva primjetnu razliku i neprihvatljivu razliku u boji za cijelu grupu ispitanika testiranih na sve 24 boje.

	Min	Max	Očekivanje	Standardna devijacija	Donji kvartil	Medijana	Gornji kvartil	Interval povjerenja -95%	Interval povjerenja +95%
Prag osjetljivosti	0,52	2,08	0,98	0,41	0,75	0,89	1,09	0,80	1,16
Jedva primjetna razlika	1,71	5,16	2,77	0,71	2,43	2,57	3,04	2,46	3,08
Neprihvatljiva razlika	3,97	7,79	5,34	1,00	4,68	5,15	5,82	4,90	5,79

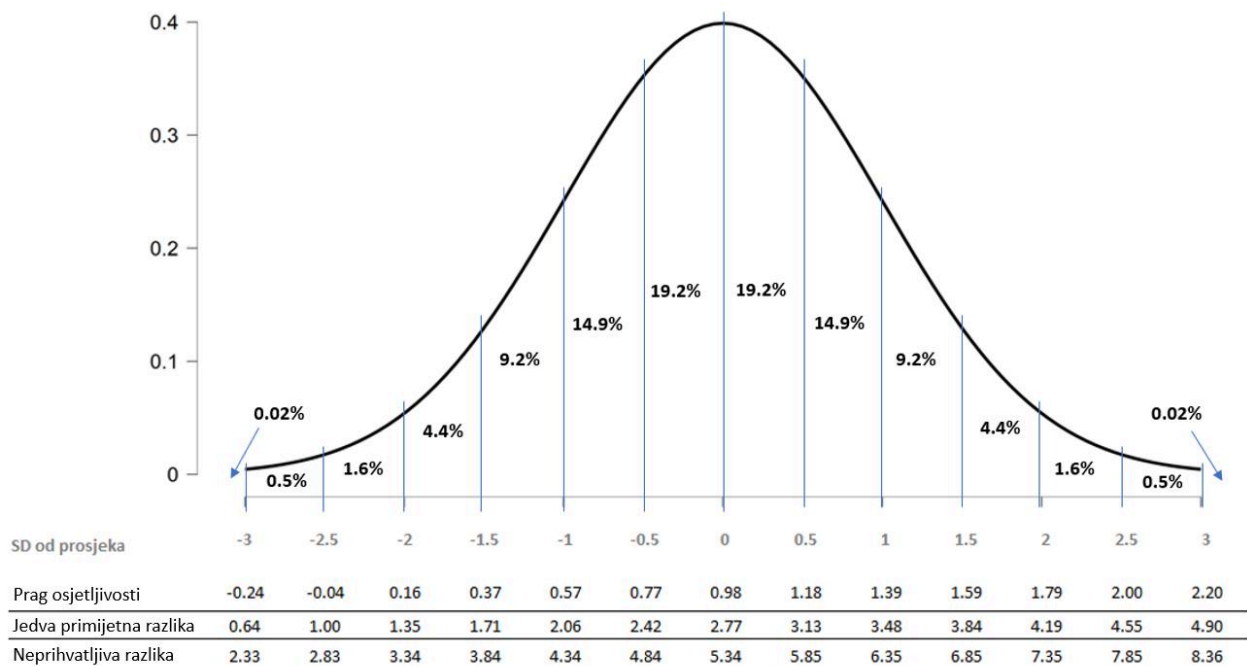


Može se uspostaviti sljedeći opći skup vrijednosti tolerancija:

- Očekivanje za prag osjetljivosti iznosi 0,98. To znači da većina ispitanika za većinu boja nije osjetljiva za razlike manje od 0,98.
- Očekivanje za jedva primjetnu razliku iznosi 2,77. Jedva primjetna razlika predstavlja najznačajniju vrijednost tolerancije pri ocjenjivanju razlike u boji. To je donja granica intervala razlika u boji koju treba ostvariti u realnoj proizvodnji. Za većinu ispitanika će razlika u boji od 2,77 biti u potpunosti prihvatljiva, jer taj rezultat ukazuje na to da će je primijetiti tek uz mnogo pažnje i koncentracije.
- Očekivanje za neprihvatljivu razliku iznosi 5,34. Za većinu ispitanika rezultat će za najveći broj boja obuhvaćenih ispitivanjem biti neprihvatljiv ako se od referentne boje razlikuju za više od 5,34.

Standardna devijacija za prag osjetljivosti iznosi 0,41, za jedva primjetnu razliku 0,71 i za neprihvatljivu razliku 1. Standardna devijacija se u određenoj mjeri povećava s povećanjem očekivane vrijednosti.

Na Slici 4.7 prikazana je grafička interpretacija postotnog udjela broja ispitanika koji pripadaju određenim intervalima praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike.



Slika 4.7. Interpretacija varijabilnosti podataka na temelju standardne devijacije.

Na primjer,  $14,9\% + 19,2\% + 19,2\% + 14,9\% = 68,2\%$  ispitanika ima:

- prag osjetljivosti u rasponu od 0,57 do 1,39
- jedva primjetnu razliku u rasponu od 2,06 do 3,48 i

- neprihvatljivu razliku u rasponu od 4,34 do 6,35.

U situaciji kada nije moguće obaviti detaljnu provjeru percepcije razlika u boji nekog ispitanika mogu se uzeti gore spomenute srednje vrijednosti dobivene testiranjem grupe ispitanika. Međutim, mnogo točniji i pouzdaniji podaci bi se dobili kad bi se određeni ispitanik testirao, i to na specifično odabran skup boja u kojima će se tiskati ili proizvoditi konkretan proizvod. Tako bi se dobile ugovorne vrijednosti tolerancija za svaku kritičnu boju, čime bi se izbjegle sve proizvoljnosti u kontroliranju kvalitete krajnjih proizvoda.

U Tablici 4.17 prikazana je međusobna povezanost očekivanja za prag osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike.

Tablica 4.17. Međusobna povezanost praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike u toleranciji promjena boje.

		$\rho_s$	p	Interval povjerenja $\rho_s - 95\%$	Interval povjerenja $\rho_s + 95\%$
Prag osjetljivosti	PO - JPR	0,376	0,103	-0,070	0,701
Jedva primjetna razlika	PO - NR	0,317	0,173	-0,146	0,666
Neprihvatljiva razlika	JPR - NR	0,694	0,001	0,363	0,869

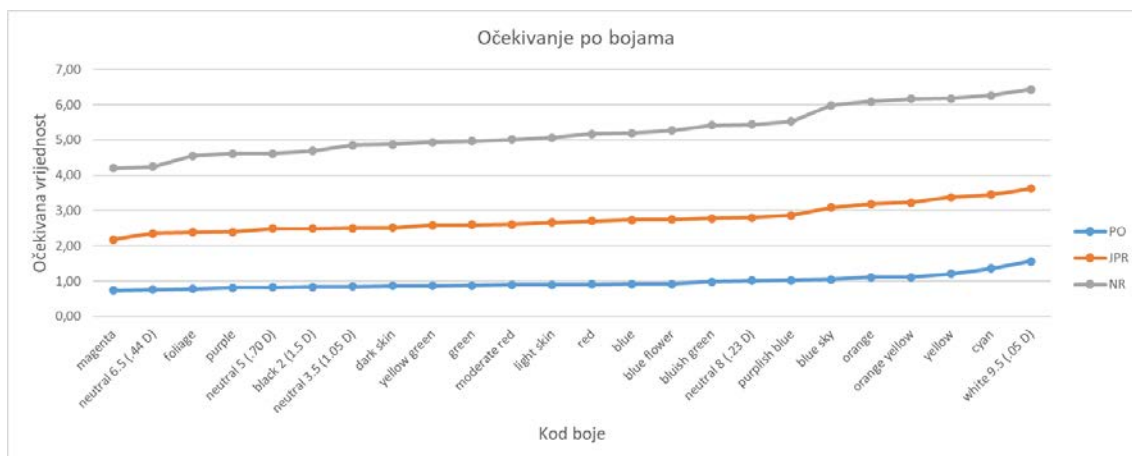
Očituje se velika povezanost ( $\rho_s=0,694$ ) jedva primjetne razlike (JPR) i neprihvatljive razlike (NR). Statistički značajna ( $p=0,001$ ).

Očituje se umjerena povezanost ( $\rho_s=0,376$ ) praga osjetljivosti (PO) i jedva primjetne razlike (JPR). Statistički značajna ( $p=0,103$ ).

Očituje se umjerena povezanost ( $\rho_s=0,317$ ) praga osjetljivosti (PO) i neprihvatljive razlike (NR). Statistički bez značaja ( $p=0,173$ ).

#### 4.4.2. Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije (prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika, neprihvatljiva razlika) svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama

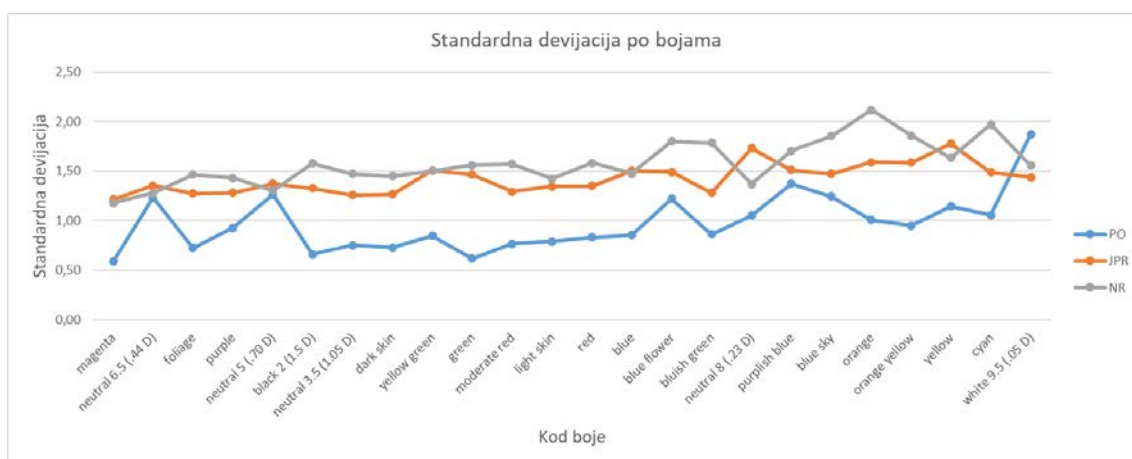
Na Slici 4.8 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanja) tolerancije svih ispitanika za razlike u boji posebno izražene za svaku boju iz ispitivanja.



Slika 4.8. Srednja vrijednost (očekivanje) tolerancije svih ispitanika po bojama.

Sa Slike 4.8 se vidi prema srednjoj vrijednosti (očekivanju) tolerancije na razlike u boji da postoji razlika u percepciji od boje do boje. Iz razlike srednjih vrijednosti (očekivanja) percepcije razlike u boji za prag osjetljivosti (PO), jedva primjetnu razliku (JPR) i neprihvatljivu razliku (NR) može se zaključiti da bi bilo opravdano da se ispitanici okarakteriziraju za percepciju razlika u boji posebno za svaku boju primijenjenu u tisku ili proizvodnji.

Na Slici 4.9 prikazana je standardna devijacija tolerancije svih ispitanika za razlike u boji posebno izražena za svaku boju iz ispitivanja.



Slika 4.9. Standardna devijacija po bojama.

Sa Slike 4.9 se vidi da su rasponi po kategorijama veliki. Prema vrijednosti standardne devijacije vidi se da postoji velika razlika u percepciji razlika u boji od boje do boje, i da bi bilo opravdano da se ispitanici okarakteriziraju za percepciju razlika u boji posebno za svaku boju primijenjenu u tisku ili proizvodnji.

#### 4.4.3. Prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika u boji prema spolu ispitanika

U Tablici 4.18 prikazane su srednje vrijednosti (očekivanje) praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike u boji prema spolu za cijelu grupu ispitanika.

Tablica 4.18. Prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika u toleranciji na promjene boje prema spolu ispitanika.

Varijabla	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{welch}$	df	p	d	Interval povjerenja d -95%	Interval povjerenja d +95%
Prag osjetljivost	Muško	10	0,927	0,358	-0,491	17,556	0,629	-0,22	-1,096	0,663
	Žensko	10	1,013	0,420						
Jedva primjetna razlika	Muško	10	2,967	0,893	1,305	13,401	0,214	0,584	-0,33	1,477
	Žensko	10	2,553	0,456						
Neprihvatljiva razlika	Muško	10	5,442	1,090	0,449	17,615	0,659	0,201	-0,681	1,077
	Žensko	10	5,238	0,939						

Vidi se da su samo za jedva primjetnu razliku dobiveni rezultati koji se umjereno statistički razlikuju među pripadnicima dvaju spolova.

Muškarci iz uzorka imaju **višu** vrijednost (2,967) srednje vrijednosti (očekivanja) jedva primjetne razlike od žena (2,553).

Muškarci iz uzorka imaju **višu** vrijednost srednje vrijednosti (očekivanja) (5,442) i neprihvatljive razlike od žena (5,238).

#### 4.4.4. Povezanost vremena izvršenja danog dijela zadatka s pragom osjetljivosti, jedva primjetnom razlikom i neprihvatljivom razlikom

U Tablici 4.19 prikazan je stupanj korelacije između određenog kriterija percepcije razlike u boji i vremena izvršenja potrošenog za obavljanje određene vrste testiranja.

Tablica 4.19. Povezanost vremena izvršenja danog dijela zadatka s pragom osjetljivosti, jedva primjetnom razlikom i neprihvatljivom razlikom.

Parametar	Ukupno	
	$\rho_s$	<b>p</b>
Prag tolerancije	-0,345	0,000
Jedva primjetna razlika	0,445	0,000
Neprihvatljiva razlika	0,358	0,000

Vrijeme rješavanja pojedinačnih dijelova zadatka korelirano je s visinom praga osjetljivosti, jedva primjetnom razlikom i neprihvatljivom razlikom. Za analizu povezanosti upotrijebljen je Spearmanov koeficijent korelacije, uz pomoć kojega se korelacija radi na rangovima varijabli kako bi se neutralizirala prisutnost ekstremnih slučajeva.

Iz Tablici 4.19 može se vidjeti umjerena ( $\rho_s = -0,345$ ) negativna korelacija vremena rješavanja zadatka s pragom osjetljivosti, kao i umjerena ( $\rho_s = 0,445$ ) pozitivna korelacija s jedva primjetnom razlikom i ( $\rho_s = 0,358$ ) s neprihvatljivom razlikom.

Sve korelacije su ukupno i odvojeno po dimenzijama statistički značajne ( $p = 0,000$ ) osim korelacije vremena koje je proteklo prilikom variranja  $b$  dimenzije boje kod jedva primjetne razlike.

Iz navedenih podataka može se zaključiti da više vremena za izvođenje zadatka u prvom testu za određivanje praga osjetljivosti (PO) ne znači i bolju (nižu) vrijednost praga osjetljivosti. U drugom dijelu testa za određivanje jedva primjetne razlike (JPR) i neprihvatljive razlike (NR) više vremena za izradu testa značilo je i bolju (nižu) vrijednost tolerancije.

#### 4.4.5. Vrijeme rješavanja pojedinačnih zadataka prema spolu

U Tablici 4.20 prikazano je vrijeme rješavanja pojedinih vrsta testiranja za određivanje praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike prema spolu.

Tablica 4.20. Vrijeme rješavanja pojedinačnih zadataka po spolu.

Parametar	Spol	n	Očekivanje	Standardna devijacija	$t_{welch}$	df	p	d	Interval povjerenja	
									d -95%	d +95%
Vrijeme - prag osjetljivosti	Žensko	10	126,79	48,40	-2,064	15,828	0,056	-0,923	-1,843	0,022
	Muško	10	183,09	71,41						
Vrijeme - jedva primjetna razlika	Žensko	10	12,545	3,191	-0,883	14,835	0,392	-0,395	-1,276	0,499
	Muško	10	14,262	5,26						
Vrijeme - neprihvatljiva razlika	Žensko	10	24,794	4,417	-0,844	14,64	0,412	-0,377	-1,258	0,516
	Muško	10	27,104	7,443						

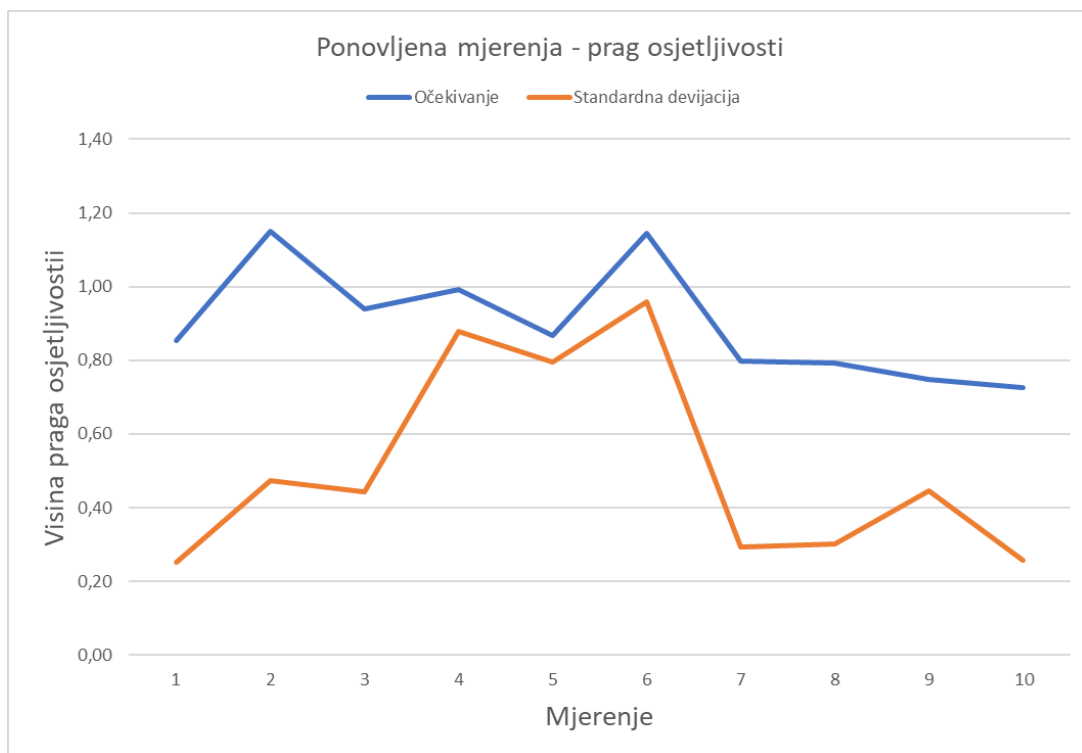
U Tablici 4.20 vidi se da negativna Cohenova  $d$  mjera veličine efekta pokazuje da su žene na uzorku imale dosljedno niže rezultate od muškaraca, odnosno da su u općem slučaju brže dolazile do rezultata od muškaraca.

## 4.5. PONOVLJIVOST REZULTATA TESTIRANJA

Radi utvrđivanja pouzdanosti metode, pojedini ispitanici su obavili veći broj uzastopnih testiranja. Tako dobiveni rezultati međusobno su uspoređeni kako bi se utvrdilo dobivaju li se konzistentni rezultati.

### 4.5.1. Ponovljivost testiranja – prag osjetljivosti

Na Slike 4.10 prikazani su rezultati ponovljenih testiranja istog ispitanika radi određivanja praga osjetljivosti.



Slika 4.10. Rezultati ponovljivosti za prag osjetljivosti.

Iz dijagrama sa Slike 4.10 i Tablice 4.21 vidi se da se većina srednjih vrijednosti (očekivanja) praga osjetljivosti dobivenih uzastopnim testiranjem nalaze u rasponu od 0,80 do 1,15, osim posljednje tri koje su ispod 0,8, što bi se moglo pripisati efektu učenja.

Tablica 4.21. Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena testiranja praga osjetljivosti.

Redoslijed mjerenja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Očekivanje	0,85	1,15	0,94	0,99	0,87	1,15	0,80	0,79	0,75	0,73
Standardna devijacija	0,25	0,48	0,44	0,88	0,80	0,96	0,29	0,30	0,45	0,26
Minimum	0,47	0,29	0,43	0,31	0,31	0,49	0,41	0,34	0,31	0,32
Maksimum	1,39	2,55	2,11	4,85	4,48	5,47	1,56	1,38	2,33	1,26
Donji kvartil	0,66	0,85	0,56	0,63	0,61	0,79	0,58	0,53	0,50	0,50
Medijana	0,82	1,10	0,93	0,78	0,71	0,91	0,76	0,82	0,62	0,77
Gornji kvartil	0,94	1,35	1,17	1,00	0,80	1,17	0,99	0,98	0,85	0,88
Interval povjerenja -95%	0,75	0,96	0,76	0,64	0,55	0,76	0,68	0,67	0,57	0,62
Interval povjerenja +95%	0,95	1,34	1,12	1,34	1,19	1,53	0,91	0,91	0,93	0,83

Prema podacima iz Tablice 4.21 izračunani *t*-test za uparene uzorke ( $t_{paired}(23) = 2.896$ ,  $p = 0.008$ ) pokazuje da je pad vrijednosti između prvog i posljednjeg testiranja statistički značajan.

U Tablici 4.22 prikazani su osnovni statistički pokazatelji rezultata testiranja jednog ispitanika za određivanje praga osjetljivosti.

Tablica 4.22. Osnovni statistički pokazatelji rezultata ponovljenih testiranja za prag osjetljivosti za jednog ispitanika.

Očekivanje	0,90
Standardna devijacija	0,15
Minimum	0,73
Maksimum	1,15
Donji kvartil	0,78
Medijana	0,86
Gornji kvartil	1,03
Interval povjerenja -95%	0,81
Interval povjerenja +95%	1,00

Podaci iz Tablice 4.22 predstavljaju karakterizaciju ispitanika prema pragu osjetljivosti za boje zadane u testu.

Očekivanje praga osjetljivosti (0,90) kvantitativno je izražena srednja vrijednost razlike u boji  $\Delta E$  koju ispitanik za cjelokupni uzorak (24) boje iz testa nije u stanju percipirati. Vrijednost  $\Delta E$  za prag osjetljivosti ispitanika izražena je jednadžbom  $\Delta E_{2000}$  te se kao takva može uspoređivati s očekivanjem razlike u boji koja se provodi instrumentalnom analizom nad istim uzorkom od (24) boje.

U Tablici 4.23 prikazana je korelacija rezultata ponovljenih testiranja jednog ispitanika u cilju određivanja praga osjetljivosti.

Tablica 4.23. Korelacije susjednih testiranja praga osjetljivosti.

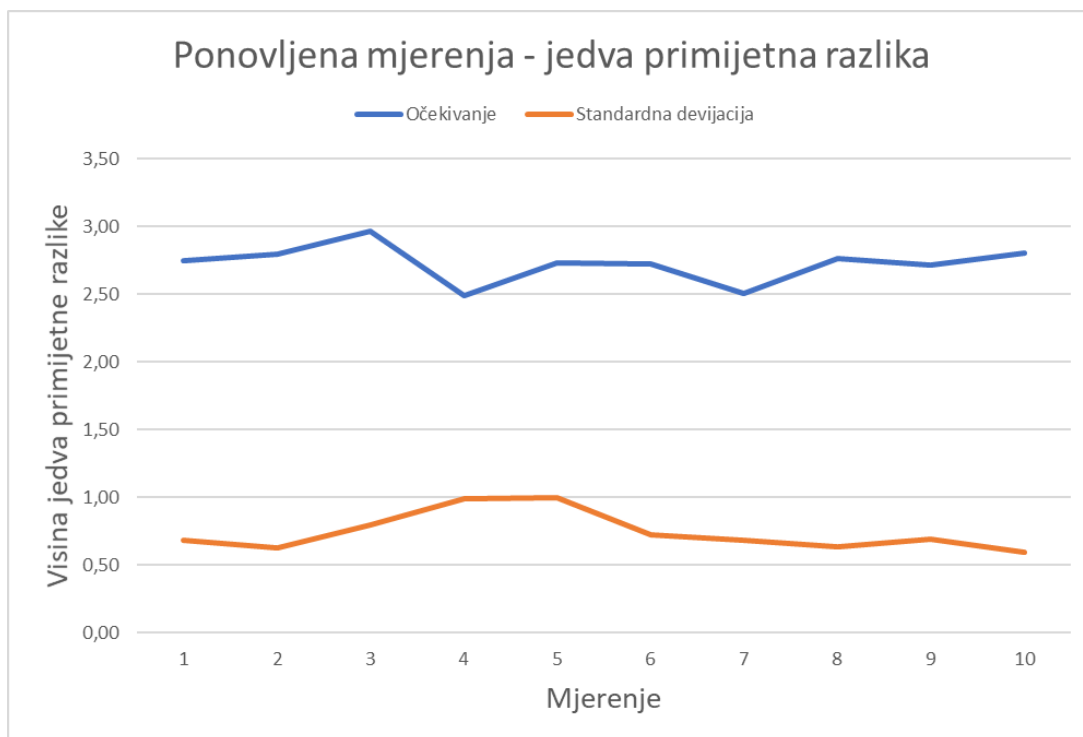
Mjerenje	sa	mjerenjem	$\rho_s$	$P_{BH}$
PO1	-	PO2	0,311	0,139
PO2	-	PO3	0,568	<b>0,018</b>
PO3	-	PO4	0,467	<b>0,036</b>
PO4	-	PO5	0,463	<b>0,036</b>
PO5	-	PO6	0,406	0,055
PO6	-	PO7	0,421	0,051
PO7	-	PO8	0,539	<b>0,020</b>
PO8	-	PO9	0,589	<b>0,018</b>
PO9	-	PO10	0,526	<b>0,020</b>

Vidljive su korelacije između uzastopnih testiranja praga osjetljivosti jednog ispitanika za (24) boje ispitivane u ovom istraživanju.

Prosječna vrijednost korelacije iz Tablice 4.23 među uzastopnim testiranjima praga osjetljivosti ( $\rho_s=0.477$ ) pokazuje srednju povezanost varijabli.

#### 4.5.2. Ponovljivost testiranja – jedva primjetna razlika

Na Slici 4.11 prikazani su rezultati ponovljenih testiranja istog ispitanika radi određivanja jedva primjetne razlike.



Slika 4.11. Rezultati ponovljivosti za jedva primjetnu razliku.

Iz dijagrama sa Slike 4.11 i Tablice 4.24 vidljivo je da se većina srednjih vrijednosti (očekivanja) jedva primjetne razlike dobivenih uzastopnim testiranjem nalaze u rasponu od 2,70 do 2,80 te se primjećuje veoma izražena ujednačenost srednjih vrijednosti (očekivanja) posljednja tri testiranja.

Tablica 4.24. Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena mjerenja jedva primjetne razlike.

Redoslijed mjerenja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Očekivanje	2,75	2,79	2,96	2,49	2,73	2,72	2,51	2,76	2,71	2,80
Standardna devijacija	0,68	0,63	0,79	0,99	1,00	0,73	0,68	0,63	0,69	0,59
Minimum	2,08	1,46	1,85	0,89	0,99	2,02	1,57	1,70	1,81	1,62
Maksimum	5,21	4,20	5,31	5,88	6,02	4,91	5,06	4,65	4,82	4,33
Prvi kvartil	2,37	2,36	2,46	2,01	2,21	2,21	2,01	2,37	2,28	2,50
Medijana	2,51	2,80	2,79	2,33	2,52	2,47	2,52	2,65	2,57	2,67
Treći kvartil	2,88	3,08	3,34	2,69	3,27	2,97	2,67	2,93	2,92	2,97
Interval povjerenja -95%	2,48	2,54	2,65	2,10	2,33	2,43	2,24	2,51	2,44	2,57
Interval povjerenja +95%	3,02	3,04	3,28	2,89	3,13	3,01	2,78	3,02	2,99	3,04

Prema podacima iz Tablice 4.24 izračunani  $t$ -test za sparane uzorke ( $t_{paired}(23) = -0.776, p = 0.446$ ) pokazuje da porast vrijednosti između prvog i posljednjeg testiranja statistički nije značajan.

U Tablici 4.25 prikazani su osnovni statistički pokazatelji rezultata testiranja jednog ispitanika za određivanje jedva primjetne razlike.



Tablica 4.25. Prosječni rezultati za ponovljena testiranja jedva primjetne razlike za jednog ispitanika.

Očekivanje	2,72
Standardna devijacija	0,14
Minimum	2,49
Maksimum	2,96
Prvi kvartil	2,66
Medijana	2,74
Treći kvartil	2,80
Interval povjerenja -95%	2,64
Interval povjerenja +95%	2,81

Podaci iz Tablice 4.25 predstavljaju karakterizaciju ispitanika prema jedva primjetnoj razlici za boje zadane u testu.

Očekivanje jedva primjetne razlike (2,72) kvantitativno je izražena srednja vrijednost razlike u boji  $\Delta E$  koju je ispitanik za cjelokupni uzorak (24) boje iz testa u stanju percipirati. Vrijednost  $\Delta E$  za jedva primjetnu razliku koju ispitanik osjeća izražena je formulom  $\Delta E_{2000}$  te se kao takva može uspoređivati s očekivanjem razlike u boji koja se provodi instrumentalnom analizom nad istim uzorkom od (24) boje.

U Tablici 4.26 prikazana je korelacija rezultata susjednih uzastopnih testiranja jednog ispitanika u cilju određivanja jedva primjetne razlike.

Tablica 4.26. Korelacije susjednih testiranja jedva primjetne razlike.

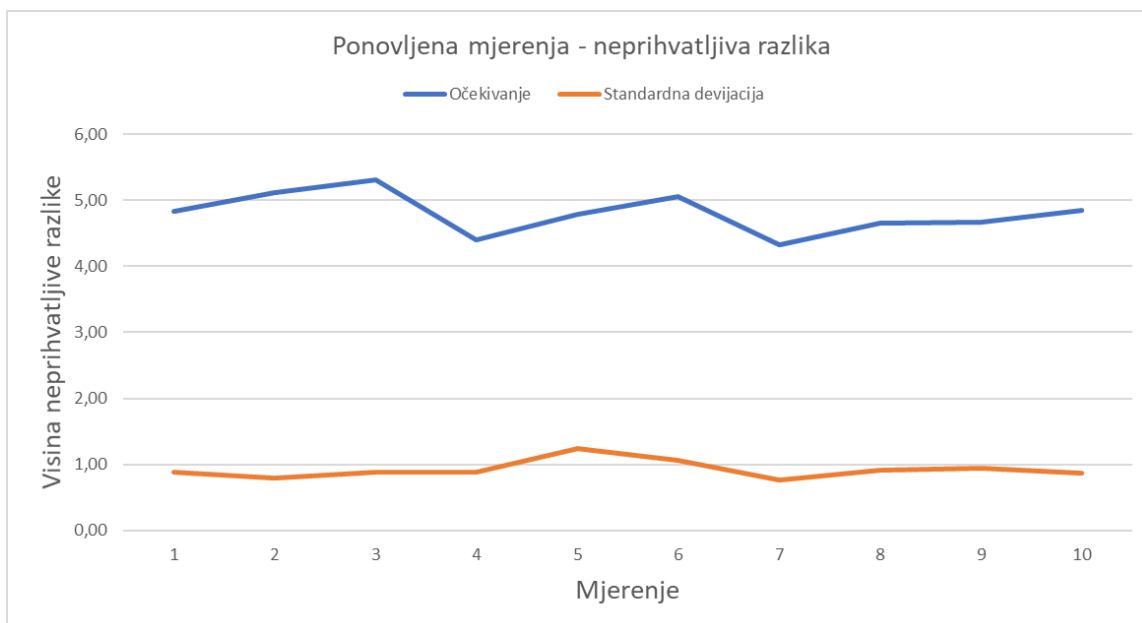
Mjerenje	sa	mjerenjem	$\rho_s$	$p_{BH}$
JPR1	-	JPR2	0,538	<b>0,023</b>
JPR2	-	JPR3	0,381	0,078
JPR3	-	JPR4	0,464	<b>0,039</b>
JPR4	-	JPR5	0,689	<b>0,000</b>
JPR5	-	JPR6	0,519	<b>0,023</b>
JPR6	-	JPR7	0,525	<b>0,023</b>
JPR7	-	JPR8	0,259	0,221
JPR8	-	JPR9	0,457	<b>0,039</b>
JPR9	-	JPR10	0,379	0,078

Vidljive su korelacije između uzastopnih testiranja jedva primjetne razlike jednog ispitanika za (24) boje ispitivane u ovom istraživanju.

Prosječna vrijednost korelacije iz Tablice 4.26 među uzastopno ponovljenim mjerenjima praga osjetljivosti ( $\rho_s = 0.468$ ) pokazuje srednju povezanost varijabli.

### 4.5.3. Ponovljivost testiranja – neprihvatljiva razlika

Na Slici 4.12 prikazani su rezultati ponovljenih testiranja istog ispitanika radi određivanja neprihvatljive razlike.



Slika 4.12. Rezultati ponovljivosti za neprihvatljivu razliku.

Iz dijagrama sa Slike 4.12 i Tablice 4.28 vidljivo je da se srednje vrijednosti (očekivanje) neprihvatljive razlike dobivene uzastopnim testiranjem nalaze u rasponu od 4,33 do 5,30. Primjetno je da su rezultati posljednja tri testa prilično ujednačeni.

Tablica 4.27. Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena mjerenja neprihvatljive razlike.

Redosljed mjerenja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Očekivanje	4,83	5,12	5,30	4,40	4,79	5,06	4,33	4,66	4,66	4,85
Standardna devijacija	0,88	0,80	0,88	0,89	1,24	1,07	0,76	0,92	0,94	0,87
Minimum	3,73	4,00	3,85	2,86	3,34	3,80	3,28	3,33	3,30	3,81
Maksimum	7,96	6,98	6,95	6,69	8,33	8,26	6,18	6,78	7,59	7,55
Prvi kvartil	4,38	4,61	4,82	3,86	3,97	4,33	3,80	3,89	4,10	4,35
Medijana	4,62	5,04	5,00	4,34	4,50	4,58	4,17	4,61	4,49	4,66
Treći kvartil	4,82	5,56	5,84	4,74	5,23	5,39	4,79	4,95	4,87	4,98
Interval povjerenja -95%	4,48	4,80	4,95	4,05	4,30	4,63	4,02	4,29	4,29	4,50
Interval povjerenja +95%	5,18	5,44	5,65	4,76	5,29	5,48	4,63	5,03	5,04	5,20

Prema podacima iz Tablice 4.27 izračunani  $t$ -test za uparene uzorke ( $t_{paired}(23) = -0.321, p = 0.751$ ) pokazuje da porast vrijednosti između prvog i posljednjeg mjerenja statistički nije značajan.

U Tablici 4.28 prikazani su osnovni statistički pokazatelji rezultata testiranja jednog ispitanika za određivanje neprihvatljive razlike.

Tablica 4.28. Prosječni rezultati za ponovljena mjerenja neprihvatljive razlike za jednog ispitanika.

Očekivanje	4,80
Standardna devijacija	0,31
Minimum	4,33
Maksimum	5,30
Prvi kvartil	4,59
Medijana	4,81
Treći kvartil	5,07
Interval povjerenja -95%	4,61
Interval povjerenja +95%	4,99

Podaci iz Tablice 4.28 predstavljaju karakterizaciju ispitanika prema neprihvatljivoj razlici za boje zadane u testu.

Očekivanje neprihvatljive razlike (4,80) je kvantitativno izražena srednja vrijednost razlika u boji  $\Delta E$  koju ispitanik za cjelokupni uzorak (24) boje iz testa nije spreman ocijeniti kao prihvatljivu. Vrijednost  $\Delta E$  za neprihvatljivu razliku koju ispitanik osjeća izražena je preko jednadžbe  $\Delta E_{2000}$  te se kao takva može uspoređivati s očekivanjem razlike u boji koja se provodi instrumentalnom analizom s istim uzorkom (24) boje.

U Tablici 4.29 prikazana je korelacija rezultata susjednih uzastopnih testiranja jednog ispitanika radi određivanja neprihvatljive razlike.

Tablica 4.29. Korelacije susjednih mjerenja neprihvatljive razlike.

Mjerenje	sa	mjerenjem	$\rho_s$	$p_{BH}$
NR1	-	NR2	0,816	<b>0,000</b>
NR2	-	NR3	0,724	<b>0,000</b>
NR3	-	NR4	0,637	<b>0,001</b>
NR4	-	NR5	0,829	<b>0,000</b>
NR5	-	NR6	0,818	<b>0,000</b>
NR6	-	NR7	0,787	<b>0,000</b>
NR7	-	NR8	0,683	<b>0,000</b>
NR8	-	NR9	0,728	<b>0,000</b>
NR9	-	NR10	0,676	<b>0,000</b>

Vidljive su korelacije između uzastopnih mjerenja neprihvatljive razlike jednog ispitanika za (24) boje ispitivane u ovom istraživanju.

Prosječna vrijednost korelacije iz Tablice 4.29 među uzastopno ponovljenim mjerenjima neprihvatljive razlike ( $\rho_s = 0.744$ ) pokazuje veliku povezanost varijabli.

#### 4.6. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER I TISKANIH POLJA NA PAPIRU

U Tablici 4.30 prikazana je usporedba rezultata dobivenih za jednog ispitanika pri određivanju jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike u boji. Rezultati dobiveni pomoću programa ColorChanger uspoređeni su s rezultatima dobivenim vizualnom analizom tiskanih testnih polja za odabrani skup boja.

Tablica 4.30. Usporedba rezultata testa na monitoru i otisku.

	Rezultati dobiveni pomoću programa ColorChanger		Rezultati dobiveni vizualnom analizom otiska na papiru		Razlika: ColorChanger-otisak	
	JPR	NR	JPR	NR	JPR	NR
<i>green</i>	1,64	3,72	1,39	3,44	0,25	0,28
<i>magenta</i>	1,34	3,36	1,89	4,17	-0,55	-0,82
<i>cyan</i>	1,75	4,74	1,21	3,25	0,54	1,50
<i>moderate red</i>	1,63	4,01	1,34	3,83	0,29	0,18

Iz navedene tablice se prije svega vidi da je u većini slučajeva razlika između rezultata dobivenih ovim dvjema metodama mala (ispod 0,82). Samo se neprihvatljiva razlika za cijan dobivena pomoću dvije metode razlikuje za 1,5. Razlika koja se pojavljuje može se djelomično pripisati različitom broju koraka promjene boje u dvjema metodama jer je korak promjene boje u tisku bio manji nego u programu ColorChanger.

Dalje, iz tablice se vidi da je ispitanik za tri od četiri boje koje su analizirane i vizualno na otisku (zelenu (*green*), cijan (*cyan*) i umjereno crvenu (*moderate red*)) veće vrijednosti i JPR i NR dobio pomoću programa ColorChanger u odnosu na vizualnu analizu otiska.

Može se zaključiti da se kriteriji za jedva primjetnu razliku i neprihvatljivu razliku u boji koji se postavljaju upotrebom metode zasnovane na programu ColorChanger mogu upotrijebiti za procjenu percepcije razlika u boji koju ispitanik ima tijekom promatranja tiskanih proizvoda.

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati predočeni u ovoj disertaciji pokazuju da je za praktične potrebe opravdano okarakterizirati pojedinog ispitanika u pogledu njegove osjetljivosti za razlike u boji kvantitativno izražene pokazateljem  $\Delta E$ . Osjetljivost ispitanika  $\Delta E$  je izražena sljedećim rasponom vrijednosti:

- prag osjetljivosti u rasponu od 0,52 do 2,08
- jedva primjetnu razliku u rasponu od 1,71 do 5,16 i
- neprihvatljivu razliku u rasponu od 3,97 do 7,79.

U disertaciji je prikazana originalna metoda zasnovana na originalnom programu ColorChanger, koji na jednostavan način omogućava da se pojedini ispitanik testira u pogledu percepcije razlika u boji i da se kvantitativno okarakterizira pokazateljima kao što su prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika. Ovo se može provesti na proizvoljno definiranom skupu boja, uz poštivanje uvjeta da se zadana boja može prikazati na korištenom kalibriranom zaslonu.

Na temelju ponovljenih ispitivanja istog ispitanika pokazano je da je metoda dovoljno osjetljiva i pouzdana jer među rezultatima ponovljenih testiranja jednog ispitanika nema značajnih odstupanja. Odstupanja rezultata u ponovljenim ispitivanjima:

- prag osjetljivosti 0,73 do 1,15
- jedva primjetna razlika 2,51 do 2,96
- neprihvatljiva razlika 4,33 do 5,30.

Uočeno je da postoji određeni trend učenja, ali ne utječe mnogo na rezultate, tako da se može zaključiti da se validni podaci karakterizacije mogu dobiti i iz prvog testiranja, te nema potrebe za ponavljanjem.

Dokazano je da se rezultati testiranja ispitanika pomoću programa ColorChanger mogu primijeniti na situacije kada ispitanik promatra boje dobivene suptraktivnom sintezom u procesu tiskanja, jer su razlike između kvantitativnih pokazatelja razlike u boji dobivenih pomoću dviju metoda male (u sedam od osam slučajeva obuhvaćenih ovim ispitivanjem manje od 0,82). To znači da je metoda prikazana u disertaciji primjenjiva u praksi pri određivanju kvantitativnog pokazatelja razlike u boji na otisku koju je ispitanik spreman prihvatiti.

Primjena može osobito biti korisna za evaluaciju razlika u boji  $\Delta E$  za spotne boje kod kojih dosad nije utvrđivan niti predlagan kvantitativni kriterij za  $\Delta E$  razliku. Metodom opisanom u ovom radu možemo kvantificirati  $\Delta E$  za bilo koju spotnu boju koja se može reproducirati u gamutu zaslona na kojem se provodi testiranje.

Navedenom metodom može se ispitivati percepcija razlika u boji kod pojedinaca ili grupa ispitanika. Može se provesti ocjenjivanje i rangiranje ispitanika u pogledu osjetljivosti za razlike u boji pojedinih boja ili više odabranih boja prema bilo kojem kriteriju (prema tonu, svjetlini, suprotnosti, položaju u odabranom prostoru boja, atlasu boja, karti boja i sl.).

Pokazano je da se može odrediti prosječna vrijednost praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike ispitivane grupe za kompletan skup boja obuhvaćenih testiranjem. Prag osjetljivosti za 75 % ispitanika iz grupe iznosi  $\Delta E \leq 1,09$ . Jedva primjetna razlika za 75 % ispitanika iznosi  $\Delta E \leq 3,04$ . Neprihvatljiva razlika za 75 % ispitanika iznosi  $\Delta E \leq 5,82$ .

U disertaciji su uspoređeni rezultati ispitivanja dviju grupa ispitanika razvrstanih po spolu, od kojih je bilo 10 ženskih i 10 muških, za određeni skup od 24 boje. Utvrđeni su određeni trendovi koji se mogu pripisati pripadnosti određenoj spolnoj grupi. Razlike između spolova nisu velike, ali ipak postoje neki statistički značajni pokazatelji koji ukazuju na sljedeće:

- niži prag osjetljivosti za 17 % boja pokazuju žene, te za 8 % boja muškarci
- nižu jedva primjetnu razliku za 46 % boja pokazuju žene
- nižu neprihvatljivu razliku za 13 % boja pokazuju žene.

Trendovi koji su prepoznati na temelju statističkih pokazatelja za vrijeme rješavanja testa su:

- za određivanje praga osjetljivosti za 38 % boja muškarci su imali duže vrijeme rješavanja testa
- za određivanje jedva primjetne razlike za 29 % boja muškarci su imali duže vrijeme rješavanja testa
- za određivanje neprihvatljive razlike za 13 % boja muškarci su imali duže vrijeme rješavanja testa.

Dakle, u onim slučajevima kada je uočena neka razlika na temelju pripadnosti određenom spolu, žene su pokazale da su osjetljivije na razlike u boji i da brže određuju te razlike tijekom testiranja.

### **5.1.1. Znanstveni doprinos disertacije**

Disertacijom je ostvaren sljedeći znanstveni doprinos:

1. Razvijena je nova metoda za određivanje praga osjetljivosti i tolerancije pojedinca na odstupanje u boji za jednu boju i prostor boja.
2. Definirani su parametri pojedinog promatrača u pogledu njegove osjetljivosti i tolerancije na odstupanje u boji.
3. Determinirane su pravilnosti u percepciji odstupanja u boji među promatračima koje povezuju neke zajedničke karakteristike grupe.

### **5.1.2. Smjerovi budućih istraživanja**

U disertaciji je izrađena metoda za definiranje odnosa između kvantitativnog pokazatelja i ljudske percepcije razlike u boji. Ukazuje se potreba da se navedenom metodom ispituju veće grupe ispitanika zbog statističke značajnosti podataka. U budućim istraživanjima planiraju se ispitivati tolerancije za razlike u boji određenih spotnih boja i upotreba dobivenih tolerancija  $\Delta E$  kao preporuke za kontrolu u reprodukciji nekom od tehnika tiska.

Planira se da se softver ColorChanger razvija, da postupak testiranja bude fleksibilniji i da omogući dobivanje kvalitetnijih rezultata automatskim eliminiranjem podataka koje je ispitanik unio očitom pogreškom zbog umora ili nepažnje.

Podaci iz budućih istraživanja mogu se upotrijebiti kao smjernice za određivanje kriterija kvalitete u reprodukciji određenih boja koja bi bila personalizirana prema pojedincu ili određenoj grupi koja ima slične tolerancije za razlike u boji.

Krajnji ishod rada je određivanje metode koja će u praksi omogućiti definiranje tolerancije za odstupanje boje konačnog proizvoda od referentne vrijednosti koja će biti prihvatljiva i za naručitelja i posla i za proizvođača.

## 6. REFERENCE

- [1] K. Schläpfer, Farbmeterik in der Reproduktionstechnik und im Mehrfarbendruck. 2. izd., St. Gallen.: UGRA, 1993.
- [2] D. B. JUDD, »Chromaticity Sensibility to Stimulus Differences,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 22, br. 2, p. 72, 1932.
- [3] M. Milković, I. Zjakić i D. Vusić, »Kolorimetrija u multimedijским komunikacijama,« Milković, M., Varaždin, 2010.
- [4] »CIE 1987. International lighting vocabulary, 4th ed. Vienna, Austria: Commission Inter-nationale de l'Éclairage.«.
- [5] G. Sharma, Digital Color Imaging Handbook., USA: CRC Press, Inc., 2002.
- [6] B. Fraser, C. Murphy i F. Bunting, Real World Color Management, Berkeley: Peachpit Press, 2003.
- [7] B. H. Walker, »Optical Engineering Fundamentals,« The International Society for Optical Engineering, Bellingham,, Washington, 1998.
- [8] R. G. Kuehni, Color An Introduction to Practice and Principles, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [9] M. Csele, »Fundamentals of Light Sources and Lasers. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.,« John Wiley & Sons, Hoboken., New Jersey, 2004.
- [10] R. A. Serway i C. Vuille, »Essentials of College Physics.,« Thomson Learning., 2007.
- [11] R. G. Kuehni, Color space and its divisions : color order from antiquity to the present; ISBN 0-471-32670-4..
- [12] A. Fiorentini i B. B. Lee, »Tobias Mayer's On the relationship between colors.,« *Color Research and Application* 25:66–74., svez. 25, p. 66–74, 2000.
- [13] A. Schwarz, »Die Lehren von der Farbenharmonie (The doctrines of color harmony). Göttingen: Muster-Schmidt.,« 1999.



- [14] H. Grassmann, »Zur Theorie der Farbenmischung. *Annalen Der Physik Und Chemie*, 165(5), 69–84. doi:10.1002/andp.18531650505,« *Annalen Der Physik Und Chemie*, svez. 165, br. 5, pp. 70-71, 1853.
- [15] Hering, E 1905–11. *Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn*. Berlin: Springer. Published in installments 1905, 1907, 1911. English translation: *Outlines of a Theory of the Light Sense*, transl. L. M. Hurvich and D. Jameson. Cambridge: Harvard University Press., 1964.
- [16] C. E. Foss, D. Nickerson i W. C. Granville, »Analysis of the Ostwald color system.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 34, pp. 361-382, 1944.
- [17] G. Wyszecki, »Uniform color spaces. In Golden Jubilee of Colour in the CIE.,« Society of Dyers and Colourists., Bradford, 1981.
- [18] ASTM E284. *Standard Terminology of Appearance*. West Conshohocken PA, American Society of Testing Materials., 1996.
- [19] M. Melgosa, M. Rivas, E. Hita i F. Vinot, »Are we able to distinguish color attributes?,« *Color Research & Application*, svez. 25, br. 5, pp. 356-367, 2000.
- [20] R. W. G. Hunt, »The Specification of Colour Appearance. I. Concepts and Terms.,« *Color Research & Application*, svez. 2, br. 2, pp. 55-68, 1977.
- [21] Meerwein, Rodeck i Mahnke., Color – Communication in Architectural Space.
- [22] N. A. Jalila, R. M. Yunusb i N. S. Saidc, »Environmental Colour Impact upon Human Behaviour,« u *AicE-Bs 2011 Famagusta*, Famagusta, 2011.
- [23] B. Balas, »Children’s use of visual summary statistics for material categorization,« *Journal of Vision*, svez. 17, br. 12, p. 1–11, 2017.
- [24] M. Mohebb, »Investigating the gender-based colour preference in children,« u *International Conference on Education & Educational Psychology (ICEEPSY 2013)*, 2013.
- [25] C. Jaffe, »Medical imaging, vision, and visual psychophysics.,« *Med Radiogr Photogr*, svez. 60, br. 1, pp. 1-48, 1984.
- [26] E. Thompson, »Colour Vision, Evolution and Perceptual content,« Syntesse.,« *Kluwer Academic Publishers*, svez. 104, br. 1, pp. 1-32, 1995.

- [27] N. Ohta i A. Robertson, »Color Vision and Color Specification Systems,« Colorimetry, 2006.
- [28] D. B. Judd i G. Wyszecki, Color in Business, Science, and Industry, 3d ed., New York: Wiley., 1975.
- [29] K. E. K. Hering, »Zur Lehre vom Lichtsinne.,« Gerold., Wien, 1878.
- [30] E. B. Goldstein, Sensation and perception. ISBN 978-0-495-60149-4., Cengage Learning, 2009.
- [31] K. Nassau, »Fundamentals of Color Science, in: K. Nassau (ed.),« *Color for Science, Art and Technology*, svez. 1, pp. 1-30., 1998.
- [32] R. W. Massof i J. F. Bird, »A general zone theory of color and brightness vision. I. Basic formulation.,« *Opt. Soc. Am.*, svez. 68, pp. 1465-1471, 1978.
- [33] E. Mandelstamm, »Contribution to the physiology of colors.,« *Archive for Ophthalmology*, svez. 13, pp. 399-406, 1867.
- [34] W. Dobrowolsky, »Beiträge zur physiologischen Optik.,« 1872.
- [35] J. Kries, »Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse.,« *Archiv für Anatomie. Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, pp. 1-178, 1882.
- [36] A. König i C. Dietrici, »Über die Empfindlichkeit des normalen Auges für Wellenlängenunterschiede des Lichtes.,« *Annalen der Physik und Chemie*, svez. 22, pp. 579-589, 1884.
- [37] L. A. Jones, »The fundamental scale of pure hue and retinal sensibility to hue differences.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 1, pp. 63-77, 1917.
- [38] W. D. Wright i F. H. G. Pitt, »Hue discrimination on normal colour-vision.,« u *Proceedings of the Physical Society*, London, 1934.
- [39] R. E. Bedford i G. Wyszecki, »Wavelength discrimination for point sources.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 48, pp. 129-135, 1958.
- [40] D. L. MacAdam, »Note on the number of distinct chromaticities.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 37, pp. 308-309, 1947.
- [41] E. B. Titchener, »Outline of Psychology.,« Macmillan, New York, 1896.
- [42] E. G. Boring, »Introduction to Psychology.,« Wiley, New York, 1939.

- [43] D. B. Judd i K. L. Kelly, »Method of designating colors.,« *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, svez. 23, pp. 355-381, 1939.
- [44] D. Nickerson i S. M. Newhall, »A psychological color solid.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 13, pp. 419-422, 1943.
- [45] A. Hård i L. Sivik, »NCS-Natural Color System: A Swedish standard for color notation.,« *Color Research and Application*, svez. 6, pp. 129-138, 1981.
- [46] T. Indow, »Psychophysical scaling: Scientific and practical applications. In R. D. Luce et al, eds., *Geometric Representations of Perceptual Phenomena*, Mahwah NJ: Erlbaum«.
- [47] M. R. Pointer i G. G. Attridge, »The number of discernible colours.,« *Color Research and Application*, svez. 23, pp. 52-54, 1998.
- [48] D. Nickerson, »The specification of color tolerances. *Textile Research*,« *Textile Research*, svez. 6, pp. 509-514, 1936.
- [49] B. R. Bellamy i S. M. Newhall, »Attributive limens in selected regions of the Munsell color solid.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 32, pp. 456-473, 1942.
- [50] T. Indow, »Predictions based on Munsell notation: I. Perceptual color differences.,« *Color Research and Application*, svez. 24, p. 10–18, 1999a.
- [51] T. Indow, »Color differences predicted by color component differences.,« *Color Research and Application*, svez. 27, p. 425–429, 2002.
- [52] T. Indow, »Multidimensional studies of Munsell color solid.,« *Psychological Review*, svez. 95, p. 456–470., 1988.
- [53] T. Indow, »Principal hue curves and color difference.,« *Color Research and Application*, svez. 24, p. 266–279., 1999c.
- [54] R. G. Kuehni, »An opponent-color model for the Sanders-Wyszecki Helmholtz-Kohlrausch effect data set.,« *Color Research and Application* , svez. 25, p. 292–293, 2000.
- [55] D. Rich, »Instruments and methods for colour measurement, In *Colour Engenering*, ed. Green P. and MacDonald L.,« Chichester, UK, John Weily & Sons, 2003.

- [56] A. H. Munsell, »"Atlas of the Munsell Color System",:Wadsworth–Howland & Company Malden, MA, ASIN B007FSORQS,« 1915.
- [57] »[https://www.colorsystem.com/?page\\_id=771&lang=en](https://www.colorsystem.com/?page_id=771&lang=en),« 12 2020. [Mrežno].
- [58] G. Wyszecki i W. S. Stiles, "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas", Second Edition, ISBN 978-0471399186, New York: Wiley-Classics, 2000.
- [59] K. S. Shevell, Ur., The Science of Color, Elsevier Science, 2003, p. 196.
- [60] Swedish Standards Institution, Swedish Standard SS 01 91 01 CIE tristimulus values and chromaticity coordinates for some 16000 colour notations according to SS 01 91 00. Stockholm: SSI, 1983.
- [61] Swedish Standards Institution, Swedish Standard SS 01 91 03 CIE tristimulus values and chromaticity coordinates for colour samples in SS 01 91 02. Stockholm, 1982.
- [62] Swedish Standards Institution, Swedish Standard SS 0191 02 colour atlas, 2nd edn. Stockholm: SSI, 1989.
- [63] C. Oleari, »Uniform color space for 10° visual field and OSA uniform color scales.,« *J. Opt. Soc. Am.*, svez. 10, pp. 1490-1498, 1993.
- [64] J. F. W. Billmeyer, »Survey of color order systems.,« *Color Research and Application*, svez. 12, pp. 173-186, 1987.
- [65] G. Derefeldt, »"Colour appearance systems", In The Perception of Colour, ed. Gouras P., CRC Press Inc., Boca Raton, ISBN 9780333452271,« 1991, pp. 218-261.
- [66] M. Richter i K. Witt, »The story of the DIN color system.,« *Color Research and Application*, svez. 11, pp. 138-145, 1986.
- [67] DIN 6164 Part 1: DIN color chart. System based on the 2-degree standard colorimetric observer, Beuth-Verlag, Berlin, 1980.
- [68] S. Rosch, »Die Kennzeichnung der Farben.,« *Physikalische Zeitschrift*, svez. 29, pp. 83-91, 1928.
- [69] E. Schrodinger, »Theorie der pigmente von grosster leuchtkraft,« *Annalen der Physik*, Leipzig, 1920.

- [70] »www.cie.co.at http://eilv.cie.co.at/term/226,« International Commission on Illumination . [Mrežno].
- [71] S. Kurt i S. Walter, »Farbmanagement-Systeme. Ifra. Special Report, 2.18.,« Ifra., Darmstadt., 1996.
- [72] T. Smith i J. Guild, »The C.I.E. colorimetric standards and their use.,« *Transactions of the Optical Society*, svez. 33, br. 3, pp. 73-134, 1931–32.
- [73] W. D. Wright, »Golden Jubilee of Colour in the CIE—The Historical and Experimental Background to the 1931 CIE System of Colorimetry. In Schanda, János. Colorimetry.,« *Wiley Interscience*, pp. 9-24, 2007.
- [74] B. Anderson, »Perceptual organization and White's illusion, Perception, 32, Pion ltd. 1. London, UK, Perce14. 269-84 [22.4.5],« 2003.
- [75] A. M. Anile, V. Capasso i A. Greco, Progress in Industrial Mathematics at ECMI, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York., 2000.
- [76] D. Matković, »Spektralne karakteristike videokamera i njihovo usklađivanje s primarima zaslona,« *Tehnički glasnik*, svez. 6, br. 2, pp. 115-122, 2012.
- [77] M. D. Fairchild, Color Appearance Models, 3rd Ed. Wiley-IS&T, Chichester, UK. ISBN 978-1-119-96703-3, 2013.
- [78] C. Lilley, F. Lin, W. Hewitt i H. T. , »Colour in Computer Graphics,« *TTI, Manchester, UK*, p. 23, 2000.
- [79] G. Hoffmann, »CIE Colour Space,« Emden, Germany, 2005.
- [80] S. A., Sharma A. (2004). Understanding Color Management, Thomson Press, New York., 2004.
- [81] G. Wyszecki i W. Stiles, Color Science. Second Edition., New York: JohnWiley & Sons, Inc., 2000.
- [82] G. Beretta, »Understanding Colour,« Paint Publishing, HP Palo Alto, 2003.
- [83] G. Wyszecki, »Matching Color Differences\*,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 55, br. 10, p. 1319, 1965.
- [84] G. Wyszecki i G. H. Fielder, »New Color-Matching Ellipses.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 61, br. 9, p. 1135, 1971.
- [85] G. Wyszecki i G. H. Fielder, »Color-Difference Matches.,« *Journal of the Optical Society of America*, svez. 61, br. 11, p. 1501, 1971.

- [86] P. Sällström, »Using a Personal Computer as a Visual Colorimeter,« Department of Physics, Stockholm University, Sweden, 1998.
- [87] S. Goñi i V. Salvadori, »Color measurement: comparison of colorimeter vs. computer vision system.,« *Food Measure*, svez. 11, p. 538–547, 2017.
- [88] D. A. Szafir, »Modeling Color Difference for Visualization Design.,« *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, svez. 24, br. 1, p. 392–401, 2018.
- [89] D. A. Szafir, M. Stone i M. Gleicher, »Adapting Color Difference for Design.,« u *Color and Imaging Conference, 22nd Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings (pp. 228-233(6). Society for Imaging Science and Technology.*, 2014.
- [90] J. Liang, M. Georgoula, N. Zou, G. Cui i M. R. Luo, »Colour difference evaluation using display colours.,« *Lighting Research & Technology*, svez. 0, pp. 1-13, 2017.
- [91] W. Backhaus, R. Kliegl i J. S. Werner, »Color Vision: Perspectives from Different Disciplines. Walter de Gruyter. p. 188. ISBN 9783110154313. Retrieved 2014-12-02.,« 1998.
- [92] Real World Color Management, Second Edition (Bruce Fraser).
- [93] A. Sharma, Understanding Color management, 2004.
- [94] »[http://brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_DeltaE\\_CMC.html](http://brucelindbloom.com/index.html?Eqn_DeltaE_CMC.html),« [Mrežno].
- [95] »[http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_DeltaE\\_CIE2000.html](http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_DeltaE_CIE2000.html),« [Mrežno].
- [96] D. J. Chalmers, Philosophy of mind series. The conscious mind: In search of a fundamental theory., Oxford: Oxford University Press, 1996.
- [97] L. E. Marks i D. Algom, Psychophysical scaling. In M. H. Birnbaum (Eds.), Measurement, judgment, and decision making. Handbook of perception and cognition, San Diego: CA: Academic Press, 1998.
- [98] V. Bruce, P. R. Green i M. A. Georgeson, »Visual perception (3rd ed.),« *Psychology Press.*, 1996.

- [99] G. Gescheider, »Chapter 1: Psychophysical Measurement of Thresholds: Differential Sensitivity.,« u *Psychophysics: the fundamentals (3rd ed.)*. Lawrence Erlbaum Associates., 1997.
- [100] G. Gescheider, »Chapter 5: The Theory of Signal Detection.,« u *Psychophysics: the fundamentals (3rd ed.)*, Lawrence Erlbaum Associates., 1997.
- [101] M. Milković, N. Mrvac i M. Matijević, »Evaluation of the chromatic assimilation effect intensity in Munker-White samples made by standard methods of rendering.,« *Technical gazette.*, svez. 17, br. 2, pp. 163-172, 2010.
- [102] M. Milković, N. Mrvac i D. Vusić, »Evaluation of the chromatic adaptation effect intensity by "tuning" the desaturated achromatic reproductions produced in offset.,« *Technical gazette.*, svez. 18, br. 4, pp. 519-528, 2011.
- [103] S. Sueeprasan, M. R. Luo i P. A. Rhodes, »Investigation of colour appearance models for illumination changes across media.,« *Color Research & Application*, svez. 26, br. 6, p. 428–435, 2001.
- [104] W. P. Tanner Jr i T. G. Birdsall, »Definitions of  $d'$  and  $\eta$  as Psychophysical Measures.,« *Journal of the Acoustical Society of America (Acoustical Society of America)*, svez. 30, br. 10, p. 922–928, 1958.
- [105] G. Gescheider, »Chapter 3: The Classical Psychophysical Methods.,« u *Psychophysics: the fundamentals (3rd ed.)*, Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [106] T. T. Norton, D. A. Corliss i J. E. Bailey, »The Psychophysical Measurement of Visual Function.,« Butterworth-Heinemann, Woburn, Massachusetts., 2002.
- [107] J. Falmagne, »Elements of psychophysical theory.,« *Oxford: Oxford University Press, Clarendon Press.*, 1985.
- [108] D. Laming i J. Laming, »F. Hegelmaier: On memory for the length of a line.,« *Psychological Research.*, svez. 54, br. 4, pp. 233-239, 1992.
- [109] G. A. Gescheider, »Psychophysics, Method, Theory and Application.,« *Erlbaum Associates, Hillsdale*, 1958.
- [110] K. M. Braun, M. D. Fairchild i P. J. Alessi, »Viewing techniques for cross-media image comparisons.,« *Color Research and Application*, svez. 21, br. 1, pp. 6-17, 1996.

- [111] C. McCamy, H. Marcus i J. Davidson, »A Color-Rendition Chart,« *Journal of Applied Photographic Engineering*, svez. 2, br. 3, pp. 95-99, 1976.
- [112] »www.babelcolor.com,« [Mrežno]. Available  
[https://www.babelcolor.com/colorchecker-2.htm#CCP2\\_data](https://www.babelcolor.com/colorchecker-2.htm#CCP2_data).
- [113] *R Core Team. R: A language and environment for statistical computing*  
 Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org/>, 2020.
- [114] *JASP Team. JASP (Version 0.14.1)[Computer software]*. Retrieved from  
<https://jasp-stats.org/>, 2020.

## 7. PRILOZI

### 7.1. POPIS TABLICA

Tablica 1.1 Klasifikacija kolorimetrijskih razlika .....	2
Tablica 2.1 Valne duljine monokromatske svjetlosti koja se percipira kao različite boje 6	
Tablica 3.1 Pretvorba iz Laba u HEX. Tablica testiranja preciznosti.....	65
Tablica 3.2 Pretvorba iz HEX-a u Lab. Tablica testiranja preciznosti. ....	66
Tablica 3.3 Smjerovi promjene Laba.....	68
Tablica 3.4 Tablica referentnih boja .....	70
Tablica 4.1 Prag osjetljivosti prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama) .....	77
Tablica 4.2 Disperzija rezultata ispitivanja za prag osjetljivosti svih ispitanika, po pojedinim bojama.....	80
Tablica 4.3 Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje praga osjetljivosti prema spolu (pojedinačno po bojama).....	81
Tablica 4.4 Rangiranje ispitanika prema srednjim vrijednostima praga osjetljivosti za sve boje obuhvaćene testom .....	83
Tablica 4.5 Rangiranje ispitanika prema pragu osjetljivosti za žutu, crvenu, zelenu i plavu boju.....	84
Tablica 4.6 Jedva primjetna razlika prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama)..	86
Tablica 4.7 Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za jedva primjetnu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama.....	89



Tablica 4.8 Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje jedva primjetne razlike prema spolu ispitanika (pojedinačno po bojama).....	90
Tablica 4.9 Ocjena ispitanika prema srednjim vrijednostima jedva primjetne razlike za sve boje obuhvaćene testom.....	92
Tablica 4.10 Rangiranje ispitanika prema vrijednosti jedva primjetne razlike za žutu, crvenu, zelenu i plavu boju .....	93
Tablica 4.11 Neprihvatljiva razlika po spolu (pojedinačno po bojama).....	95
Tablica 4.12 Disperzija rezultata ispitivanja tolerancije za neprihvatljivu razliku svih ispitanika po pojedinim bojama i tolerancije po bojama.....	97
Tablica 4.13 Vrijeme rješavanja zadatka za određivanje neprihvatljive razlike po spolu (pojedinačno po bojama).....	98
Tablica 4.14 Ocjena ispitanika prema srednjim vrijednostima neprihvatljive razlike za sve boje obuhvaćene testom .....	100
Tablica 4.15 Rangiranje ispitanika prema vrijednosti neprihvatljive razlike za žutu crvenu, zelenu i plavu boju .....	101
Tablica 4.16 Pregled srednjih vrijednosti, standardne devijacije i drugih statističkih pokazatelja za prag osjetljivosti, jedva primjetnu razliku i neprihvatljivu razliku u boji za cijelu grupu ispitanika testiranih na sve 24 boje .....	101
Tablica 4.17 Međusobna povezanost praga osjetljivosti, jedva primjetne razlike i neprihvatljive razlike u toleranciji promjena boje.....	103
Tablica 4.18 Prag osjetljivosti, jedva primjetna razlika i neprihvatljiva razlika u toleranciji na promjene boje prema spolu ispitanika .....	105
Tablica 4.19 Povezanost vremena izvršenja danog dijela zadatka s pragom osjetljivosti, jedva primjetnom razlikom i neprihvatljivom razlikom .....	105
Tablica 4.20 Vrijeme rješavanja pojedinačnih zadataka po spolu.....	106
Tablica 4.21 Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena testiranja praga osjetljivosti .....	107
Tablica 4.22 Osnovni statistički pokazatelji rezultata ponovljenih testiranja za prag osjetljivosti za jednog ispitanika .....	107
Tablica 4.23 Korelacije susjednih testiranja praga osjetljivosti .....	108
Tablica 4.24 Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena mjerenja jedva primjetne razlike .....	109
Tablica 4.25 Prosječni rezultati za ponovljena testiranja jedva primjetne razlike za jednog ispitanika .....	110

Tablica 4.26 Korelacije susjednih testiranja jedva primjetne razlike .....	110
Tablica 4.27 Osnovni statistički pokazatelji za ponovljena mjerenja neprihvatljive razlike .....	111
Tablica 4.28 Prosječni rezultati za ponovljena mjerenja neprihvatljive razlike za jednog ispitanika .....	112
Tablica 4.29 Korelacije susjednih mjerenja neprihvatljive razlike.....	112
Tablica 4.30 Usporedba rezultata testa na monitoru i otisku.....	113

## 7.2. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Spektar elektromagnetskih valova i vidljivog dijela spektra [6]. .....	5
Slika 2.2. Shematski prikaz uskog snopa dnevnog svjetla koji prolazi kroz prizmu i razdvaja se na sve boje vidljivog dijela spektra [8]. .....	7
Slika 2.3. Spektralni sastavi dvaju izvora svjetlosti: a) dnevna svjetlost; b) žarulja. ....	7
Slika 2.4. Spektralne emisije različitih temperatura idealnog crnog tijela [6]......	8
Slika 2.5. Newtonov krug boja, 1704 [11]......	10
Slika 2.6. Prikaz Lambertove piramide u boji, 1772 [11]......	11
Slika 2.7. Spektralni odzivi crvene (R), zelene (G) i plave (B) fotoreceptori u trikromatskoj teoriji [28]. .....	18
Slika 2.8. Spektralni odzivi crveno – zeleno (R-G), žuto – plavo (Y-B), i bijelo – crno (W-K) fotoreceptora u teoriji oponentnih boja [27]......	19
Slika 2.9. Model Nickersona i Newhalla na temelju Munsellova modela. Dva prikaza predstavljaju velike i male razlike. Lijevo: na razini Munsellova atlasa. Desno: na razini jedva primjetnih razlika (JND) [11]......	21
Slika 2.10. Munsellov sustav boja [59]......	25
Slika 2.11. Stranica konstantnog tona boje iz moderne verzije Munsellove knjige o bojama [11]. .....	26
Slika 2.12. NCS trokut konstantne nijanse Y90R s punom bojom C, bijelom W i crnom S [11]. .....	27
Slika 2.13. OSA sustav boja [11]......	28
Slika 2.14. Velika kartica u boji iz DIN-a [11]......	29
Slika 2.15. Tekst uz veliku karticu u boji iz DIN-a [11]. .....	30
Slika 2.16. Grafički prikaz color matching funkcija $\bar{x}(\lambda)$ , $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ [76]. .....	32
Slika 2.17. Ravnina $x+y+z=1$ na CIE XYZ dijagramu [78]. .....	34
Slika 2.18. Dijagram kromatičnosti ili x-y dijagram boja [79]......	34
Slika 2.19. Vizualni tristimulusni eksperiment [82]......	38
Slika 2.20. Niz od sedam vidnih polja koja pruža kolorimetar [83]. .....	39
Slika 2.21. Dva vidna polja koja pruža kolorimetar [84]......	39
Slika 2.22. Tri vidna polja koja pruža kolorimetar [85]. .....	40
Slika 2.23. Upotreba osobnog računala kao vizualnog kolorimetra [86]. .....	41

Slika 2.24. Konvencionalno psihofizičko iskustvo viđeno iz perspektive Fechnerove unutarnje i vanjske psihofizike (modificirao Murray, 1993.).	50
Slika 3.1. Shema plana istraživanja.	57
Slika 3.2. Prikaz sučelja programa ColorChanger.	58
Slika 3.3. Dijagram toka rada programa ColorChanger.	63
Slika 3.4. Dijagram toka pretvorbe boje u programu ColorChanger.	64
Slika 3.5. Raspon kretanja vrijednosti praga osjetljivosti (ST), jedva primjetne razlike (SND) i neprihvatljive razlike(UAD jednog ispitanika za jednu boju (REF)).	68
Slika 3.6. Otisci umjereno crvene (moderate red).	71
Slika 3.7. Kreiranje polja za tisak u programu Adobe Illustrator CC 2019.	72
<i>Slika 4.1. Distribucija vrijednosti praga osjetljivosti po ispitanicima.</i>	76
Slika 4.2. Prag osjetljivosti svih ispitanika po pojedinim bojama.	79
Slika 4.3. Distribucija vrijednosti jedva primjetne razlike po ispitanicima.	85
Slika 4.4. Jedva primjetna razlika svih ispitanika po pojedinim bojama.	88
Slika 4.5. Distribucija vrijednosti neprihvatljive razlike po ispitanicima.	94
Slika 4.6. Neprihvatljiva razlika svih ispitanika po pojedinim bojama.	96
Slika 4.7. Interpretacija varijabilnosti podataka na temelju standardne devijacije.	102
Slika 4.8. Srednja vrijednost (očekivanje) tolerancije svih ispitanika po bojama.	104
Slika 4.9. Standardna devijacija po bojama.	104
Slika 4.10. Rezultati ponovljivosti za prag osjetljivosti.	107
Slika 4.11. Rezultati ponovljivosti za jedva primjetnu razliku.	109
Slika 4.12. Rezultati ponovljivosti za neprihvatljivu razliku.	111

### 7.3. PRILOG A

STRUKTURA REZULTATA TESTIRANJA JEDNOG ISPITANIKA POMOĆU PROGRAMA COLORCHANGER

Promjena po L+

R.br.	Boja	L(ref)	a(ref)	b(ref)	L+(PO)	a(PO)	b(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L+(JPR)	a(JPR)	b(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L+(NR)	a(NR)	b(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black-2 (L5 D)	20,81	0,03	-0,39	21,61	0,03	-0,39	0,56	12,20	25,83	0,03	-0,39	3,60	2,65	28,28	0,03	-0,39	5,43	3,95	2,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	71,04	-33,03	-0,11	0,27	15,16	73,96	-33,03	-0,11	2,46	1,55	76,52	-33,03	-0,11	4,33	2,71	2,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	66,60	17,91	17,87	0,53	16,18	70,15	17,91	17,87	3,33	2,23	72,48	17,91	17,87	5,10	3,31	1,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	72,81	-23,30	57,00	0,26	18,00	76,19	-23,30	57,00	2,75	1,87	77,94	-23,30	57,00	4,00	2,81	2,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	39,24	13,61	14,53	0,69	13,55	45,56	13,61	14,53	6,44	3,76	47,54	13,61	14,53	8,36	4,70	1,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	51,01	-4,52	-22,25	0,95	14,85	53,91	-4,52	-22,25	3,80	1,78	56,24	-4,52	-22,25	6,02	2,81	3,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	63,90	35,35	57,86	1,05	11,98	65,57	35,35	57,86	2,43	1,58	68,13	35,35	57,86	4,49	2,95	2,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	55,05	-37,80	31,64	0,09	16,48	60,05	-37,80	31,64	4,46	2,24	62,38	-37,80	31,64	6,47	3,26	1,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	82,16	-0,64	0,27	0,65	12,31	85,99	-0,64	0,27	3,19	2,26	89,03	-0,64	0,27	5,13	3,62	1,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	52,38	-0,64	-0,14	1,54	12,40	52,46	-0,64	-0,14	1,62	0,77	55,26	-0,64	-0,14	4,32	2,01	3,00	0,00
11	neutral 3.5 (L05 D)	35,85	-0,54	-0,49	37,70	-0,54	-0,49	1,56	13,69	40,28	-0,54	-0,49	3,80	2,23	43,43	-0,54	-0,49	6,64	3,64	3,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	44,98	-13,21	21,94	1,59	11,74	48,41	-13,21	21,94	4,92	2,43	51,45	-13,21	21,94	8,01	4,03	2,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	52,86	49,80	-13,82	0,93	14,49	54,59	49,80	-13,82	2,61	1,49	57,39	49,80	-13,82	5,22	2,95	2,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	51,52	-28,11	-27,95	0,80	14,08	54,22	-28,11	-27,95	3,44	1,90	56,55	-28,11	-27,95	5,64	3,10	3,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	31,60	21,07	-20,02	0,86	14,94	34,70	21,07	-20,02	3,35	2,30	38,43	21,07	-20,02	6,48	3,97	2,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	40,29	9,74	-44,35	0,04	12,31	42,69	9,74	-44,35	2,20	1,16	46,77	9,74	-44,35	6,05	3,11	3,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	51,50	47,80	16,90	0,10	13,53	56,15	47,80	16,90	4,38	2,43	57,78	47,80	16,90	5,88	3,33	1,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	83,37	4,02	79,99	0,74	12,81	86,94	4,02	79,99	3,08	2,51	88,80	4,02	79,99	4,27	3,47	2,00	0,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	30,57	14,81	-50,15	1,31	13,00	33,89	14,81	-50,15	3,95	2,70	36,34	14,81	-50,15	5,96	4,00	1,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	97,00	-0,47	2,42	0,28	9,86	99,10	-0,47	2,42	1,50	16,93	96,65	-0,47	2,42	0,07	20,89	1,00	12,00
21	red	42,28	54,12	28,67	42,78	54,12	28,67	0,46	14,44	47,53	54,12	28,67	4,96	2,67	50,80	54,12	28,67	8,25	4,43	2,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	55,06	8,82	-24,60	0,24	15,29	57,18	8,82	-24,60	1,73	1,04	59,16	8,82	-24,60	3,52	2,02	2,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	71,85	19,46	68,12	0,08	13,63	77,20	19,46	68,12	3,85	2,82	79,77	19,46	68,12	5,66	4,19	1,00	0,00
24	neutral 6.5 (44 D)	66,48	-0,53	0,00	67,28	-0,53	0,00	0,64	18,97	67,41	-0,53	0,00	0,75	0,42	70,56	-0,53	0,00	3,22	2,10	3,00	0,00

Promjena po L-

R br.	Boja	L (ref.)	a(ref.)	b(ref.)	L-(PO)	a(PO)	b(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L-(JPR)	a(JPR)	b(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L-(NR)	a(NR)	b(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black 2 (1.5 D)	20,81	0,03	-0,39	21,31	0,03	-0,39	0,35	12,11	17,78	0,03	-0,39	2,08	1,69	14,63	0,03	-0,39	4,18	3,12	3,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	69,69	-33,03	-0,11	0,77	14,93	66,14	-33,03	-0,11	3,59	2,45	64,16	-33,03	-0,11	5,21	3,54	1,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	66,75	17,91	17,87	0,65	15,48	63,03	17,91	17,87	2,42	1,35	61,40	17,91	17,87	3,81	2,05	3,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	72,96	-23,30	57,00	0,37	17,34	70,01	-23,30	57,00	1,87	1,11	67,79	-23,30	57,00	3,60	2,13	2,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	38,64	13,61	14,53	0,17	12,73	34,94	13,61	14,53	2,94	1,90	32,37	13,61	14,53	5,02	3,23	1,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	51,01	-4,52	-22,25	0,95	12,37	46,79	-4,52	-22,25	3,24	1,75	44,93	-4,52	-22,25	5,04	2,76	1,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	64,35	35,35	57,86	1,43	11,37	59,38	35,35	57,86	2,83	1,79	57,05	35,35	57,86	4,94	2,84	3,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	54,60	-37,80	31,64	0,52	15,40	52,70	-37,80	31,64	2,36	1,38	51,07	-37,80	31,64	3,98	2,29	3,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	81,11	-0,64	0,27	0,07	14,99	76,66	-0,64	0,27	3,18	2,05	74,21	-0,64	0,27	4,96	3,15	2,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	50,43	-0,64	-0,14	0,40	13,02	49,78	-0,64	-0,14	1,05	0,55	46,51	-0,64	-0,14	4,29	1,99	2,00	0,00
11	neutral 3.5 (1.05 D)	35,85	-0,54	-0,49	36,35	-0,54	-0,49	0,42	25,79	32,82	-0,54	-0,49	2,47	1,43	29,55	-0,54	-0,49	5,04	2,93	2,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	43,93	-13,21	21,94	0,60	11,61	39,90	-13,21	21,94	3,04	1,87	37,56	-13,21	21,94	5,06	3,15	1,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	52,56	49,80	-13,82	0,64	12,78	49,81	49,80	-13,82	2,09	1,17	47,36	49,80	-13,82	4,55	2,22	2,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	51,67	-28,11	-27,95	0,95	15,05	50,72	-28,11	-27,95	0,00	0,03	46,40	-28,11	-27,95	4,29	1,98	3,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	30,40	21,07	-20,02	0,08	12,65	28,63	21,07	-20,02	1,44	0,97	25,72	21,07	-20,02	3,62	2,46	2,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	41,79	9,74	-44,35	1,38	15,02	38,26	9,74	-44,35	1,73	1,11	36,04	9,74	-44,35	3,60	2,31	2,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	54,05	47,80	16,90	2,40	11,10	48,33	47,80	16,90	3,27	1,58	45,88	47,80	16,90	5,69	2,70	1,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	84,27	4,02	79,99	1,34	11,43	75,97	4,02	79,99	4,40	3,42	74,10	4,02	79,99	5,76	4,42	2,00	0,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	30,27	14,81	-50,15	1,08	13,42	26,77	14,81	-50,15	1,58	1,13	24,20	14,81	-50,15	3,47	2,39	2,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	98,65	-0,47	2,42	1,24	3,67	91,28	-0,47	2,42	3,17	2,57	88,13	-0,47	2,42	5,15	4,03	1,00	0,00
21	red	42,28	54,12	28,67	43,23	54,12	28,67	0,87	12,79	39,25	54,12	28,67	2,70	1,41	36,68	54,12	28,67	4,89	2,61	2,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	55,81	8,82	-24,60	0,47	15,99	52,63	8,82	-24,60	2,58	1,39	50,64	8,82	-24,60	4,55	2,43	1,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	72,90	19,46	68,12	0,71	16,23	67,63	19,46	68,12	3,35	2,40	65,77	19,46	68,12	4,85	3,40	1,00	0,00
24	neutral 6.5 (.44 D)	66,48	-0,53	0,00	66,83	-0,53	0,00	0,28	12,18	63,91	-0,53	0,00	2,11	1,14	62,05	-0,53	0,00	3,68	2,02	1,00	0,00

Promjena po a+

R.br.	Boja	L(ref)	a(ref)	b(ref)	L(PO)	a+(PO)	b(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L(JPR)	a+(JPR)	b(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L(NR)	a+(NR)	b(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black 2 (1.5 D)	20,81	0,03	-0,39	-0,22	-0,39	0,37	20,31	-0,22	20,81	3,65	-0,39	4,84	1,76	20,81	6,56	-0,39	8,05	3,06	1,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	-32,38	-0,11	0,27	12,48	-32,38	70,69	-27,78	-0,11	2,27	2,85	70,69	-23,35	-0,11	4,42	4,83	3,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	20,81	17,87	1,93	10,22	20,81	65,95	21,64	17,87	2,45	2,02	65,95	25,03	17,87	4,44	3,82	3,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	-22,95	57,00	0,18	12,39	-22,95	72,46	-23,07	57,00	0,12	0,13	72,46	-17,35	57,00	3,16	3,17	3,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	14,11	14,53	0,41	15,72	14,11	38,44	18,04	14,53	3,34	2,46	38,44	20,61	14,53	5,01	3,80	1,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	-4,17	-22,25	0,31	17,86	-4,17	50,06	-0,20	-22,25	4,08	1,95	50,06	2,25	-22,25	6,51	3,04	1,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	35,55	57,86	0,11	11,86	35,55	62,65	43,98	57,86	4,44	4,28	62,65	46,08	57,86	5,46	5,21	2,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	-37,00	31,64	0,32	15,27	-37,00	55,15	-31,27	31,64	2,74	3,50	55,15	-28,35	31,64	4,07	5,02	3,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	0,16	0,27	1,18	18,50	0,16	81,21	2,39	0,27	4,35	1,74	81,21	4,61	0,27	7,10	2,88	1,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	-0,14	-0,14	0,73	20,37	-0,14	50,83	2,74	-0,14	4,81	1,87	50,83	5,19	-0,14	7,75	3,12	3,00	0,00
11	neutral 3.5 (1.05 D)	35,85	-0,54	-0,49	-0,34	-0,49	0,29	14,61	-0,34	35,85	1,56	-0,49	3,08	0,96	35,85	4,36	-0,49	6,67	2,40	3,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	-13,46	21,94	0,17	12,90	-13,46	43,28	-10,18	21,94	2,24	1,62	43,28	-7,73	21,94	4,23	2,94	3,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	51,35	-13,82	0,48	12,64	51,35	51,91	52,48	-13,82	0,83	1,27	51,91	56,92	-13,82	2,14	3,26	2,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	-23,71	-27,95	2,08	13,71	-23,71	50,72	-22,74	-27,95	2,56	2,90	50,72	-19,01	-27,95	4,48	4,86	1,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	20,37	-20,02	0,42	13,03	20,37	30,50	24,34	-20,02	1,83	1,79	30,50	29,00	-20,02	4,17	4,27	3,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	11,29	-44,35	1,09	15,16	11,29	40,24	11,72	-44,35	1,40	1,07	40,24	14,87	-44,35	3,59	2,49	3,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	49,20	16,90	0,48	12,18	49,20	51,60	56,32	16,90	2,75	4,52	51,60	59,58	16,90	3,72	6,27	2,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	6,02	79,99	1,16	14,95	6,02	82,27	9,97	79,99	3,46	2,95	82,27	13,12	79,99	5,29	4,64	3,00	0,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	13,36	-50,15	0,99	25,82	13,36	28,87	18,54	-50,15	2,52	1,74	28,87	21,11	-50,15	4,21	3,04	2,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	-0,12	2,42	0,51	11,65	-0,12	96,53	7,81	2,42	10,38	4,10	96,53	-0,47	2,42	0,00	6,70	1,00	1,00
21	red	42,28	54,12	28,67	53,87	28,67	0,09	13,25	53,87	42,28	56,80	28,67	0,93	1,47	42,28	60,54	28,67	2,16	3,40	3,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	9,62	-24,60	0,66	13,99	9,62	55,31	11,85	-24,60	2,44	1,62	55,31	15,24	-24,60	4,93	3,42	2,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	22,06	68,12	1,54	15,15	22,06	71,95	26,34	68,12	4,04	3,21	71,95	30,31	68,12	6,28	5,20	1,00	0,00
24	neutral 6.5 (44 D)	66,48	-0,53	0,00	-0,63	0,00	0,14	15,88	-0,63	66,48	1,45	0,00	2,90	0,96	66,48	3,90	0,00	6,06	3,00	3,00	0,00

Promjena po a-

R.br.	Boja	L(ref.)	a(ref.)	b(ref.)	L(PO)	a-(PO)	b(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L(JPR)	a-(JPR)	b(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L(NR)	a-(NR)	b(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black 2 (1.5 D)	20,81	0,03	-0,39	20,81	1,13	-0,39	1,59	11,21	20,81	-4,05	-0,39	5,39	2,21	20,81	-6,39	-0,39	7,93	3,46	1,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	70,69	-31,03	-0,11	0,83	10,68	70,69	-35,95	-0,11	1,15	1,34	70,69	-39,91	-0,11	2,62	3,39	3,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	65,95	21,11	17,87	2,12	10,21	65,95	14,06	17,87	2,89	2,13	65,95	11,84	17,87	4,74	3,26	2,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	72,46	-22,80	57,00	0,25	11,99	72,46	-28,90	57,00	2,72	2,57	72,46	-30,88	57,00	3,63	3,62	2,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	38,44	15,31	14,53	1,35	12,06	38,44	9,53	14,53	3,68	2,21	38,44	7,08	14,53	6,20	3,55	1,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	50,06	-3,72	-22,25	0,72	12,42	50,06	-5,57	-22,25	0,92	0,56	50,06	-9,19	-22,25	3,84	2,52	3,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	62,65	37,20	57,86	0,99	11,16	62,65	30,45	57,86	2,71	2,21	62,65	26,83	57,86	4,80	4,20	3,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	55,15	-38,95	31,64	0,45	12,78	55,15	-43,52	31,64	2,18	2,84	55,15	-46,90	31,64	3,38	4,33	3,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	81,21	-0,29	0,27	0,51	12,90	81,21	-3,67	0,27	3,97	1,37	81,21	-5,54	0,27	6,08	2,32	1,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	50,83	0,31	-0,14	1,41	11,98	50,83	-2,74	-0,14	2,83	1,01	50,83	-5,54	-0,14	6,08	2,33	3,00	0,00
11	neutral 3.5 (1.05 D)	35,85	-0,54	-0,49	35,85	-0,64	-0,49	0,14	17,94	35,85	-3,92	-0,49	4,42	1,81	35,85	-6,14	-0,49	6,86	2,97	3,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	43,28	-12,56	21,94	0,46	12,51	43,28	-16,24	21,94	2,02	1,66	43,28	-19,51	21,94	3,98	3,18	1,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	51,91	51,20	-13,82	0,44	11,07	51,91	45,95	-13,82	1,25	2,07	51,91	43,03	-13,82	2,25	3,44	3,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	50,72	-21,61	-27,95	3,13	8,83	50,72	-34,53	-27,95	2,80	2,92	50,72	-38,73	-27,95	4,50	5,06	1,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	30,50	20,97	-20,02	0,06	14,03	30,50	16,29	-20,02	3,05	2,26	30,50	13,72	-20,02	4,90	3,62	3,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	40,24	10,39	-44,35	0,46	12,35	40,24	5,19	-44,35	3,21	2,16	40,24	2,62	-44,35	5,01	3,34	2,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	51,60	49,95	16,90	0,73	10,55	51,60	40,80	16,90	2,57	3,23	51,60	37,30	16,90	3,98	4,89	2,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	82,27	2,27	79,99	1,01	14,30	82,27	0,40	79,99	2,09	1,98	82,27	-2,98	79,99	4,03	3,74	2,00	0,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	28,87	12,46	-50,15	1,61	20,24	28,87	10,49	-50,15	2,96	2,30	28,87	8,39	-50,15	4,40	3,37	2,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	96,53	0,48	2,42	1,39	13,68	96,53	-3,39	2,42	3,88	1,41	96,53	-6,19	2,42	7,04	2,85	1,00	0,00
21	red	42,28	54,12	28,67	42,28	54,62	28,67	0,18	14,94	42,28	47,82	28,67	2,35	3,40	42,28	45,95	28,67	3,10	4,34	2,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	55,31	8,87	-24,60	0,04	13,14	55,31	5,32	-24,60	3,03	1,93	55,31	2,29	-24,60	5,79	3,48	2,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	71,95	19,36	68,12	0,06	12,18	71,95	15,96	68,12	2,11	1,86	71,95	12,23	68,12	4,40	3,79	3,00	0,00
24	neutral 6.5 (44 D)	66,48	-0,53	0,00	66,48	-1,08	0,00	0,78	12,98	66,48	-2,28	0,00	2,40	0,99	66,48	-4,61	0,00	5,22	2,20	2,00	0,00



Promjena po b+

R. br.	Boja	L (ref)	a (ref)	b (ref)	L (PO)	a (PO)	b+(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L (JPR)	a (JPR)	b+(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L (NR)	a (NR)	b+(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black 2 (1.5 D)	20,81	0,03	-0,39	20,81	0,03	-1,54	1,10	23,00	20,81	0,03	3,11	3,30	1,70	20,81	0,03	5,09	4,97	2,59	1,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	70,69	-33,03	0,54	0,43	13,92	70,69	-33,03	4,09	2,76	2,31	70,69	-33,03	6,66	4,39	3,62	3,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	65,95	17,91	19,42	1,00	12,04	65,95	17,91	23,00	3,21	2,32	65,95	17,91	25,80	4,83	3,69	1,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	72,46	-23,30	57,95	0,30	14,98	72,46	-23,30	61,55	1,41	2,31	72,46	-23,30	64,58	2,31	3,64	2,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	38,44	13,61	13,83	0,49	13,58	38,44	13,61	17,68	2,12	1,72	38,44	13,61	20,36	3,82	2,95	2,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	50,06	-4,52	-22,50	0,11	14,74	50,06	-4,52	-20,38	0,87	0,96	50,06	-4,52	-15,72	3,33	3,48	3,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	62,65	35,35	58,96	0,42	12,18	62,65	35,35	65,09	2,65	3,48	62,65	35,35	67,78	3,57	4,71	1,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	55,15	-37,80	33,34	0,72	16,45	55,15	-37,80	34,32	1,13	1,44	55,15	-37,80	38,64	2,88	3,51	3,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	81,21	-0,64	-0,88	1,13	13,63	81,21	-0,64	3,77	3,21	1,88	81,21	-0,64	5,99	5,03	2,87	2,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	50,83	-0,64	-0,84	0,68	13,79	50,83	-0,64	1,84	1,90	1,07	50,83	-0,64	4,53	4,25	2,48	2,00	0,00
11	neutral 3.5 (1.05 D)	35,85	-0,54	-0,49	35,85	-0,54	0,46	0,94	11,76	35,85	-0,54	3,36	3,61	2,12	35,85	-0,54	5,58	5,45	3,25	1,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	43,28	-13,21	22,29	0,19	13,55	43,28	-13,21	27,89	3,02	3,21	43,28	-13,21	30,81	4,38	4,78	2,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	51,91	49,80	-12,87	0,44	11,91	51,91	49,80	-8,57	2,45	2,84	51,91	49,80	-6,12	3,62	4,11	1,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	50,72	-28,11	-27,60	0,16	12,79	50,72	-28,11	-23,52	2,08	2,01	50,72	-28,11	-20,48	3,63	3,48	2,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	30,50	21,07	-19,67	0,21	13,00	30,50	21,07	-15,00	3,04	2,30	30,50	21,07	-12,79	4,39	3,45	1,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	40,24	9,74	-43,25	0,52	12,88	40,24	9,74	-41,08	1,57	1,51	40,24	9,74	-37,93	3,17	2,96	3,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	51,60	47,80	18,15	0,69	17,28	51,60	47,80	21,33	2,45	2,42	51,60	47,80	23,67	3,73	3,67	3,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	82,27	4,02	86,04	1,29	20,01	82,27	4,02	85,01	1,07	2,55	82,27	4,02	85,01	1,07	9,81	3,00	1,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	28,87	14,81	-51,30	0,54	12,75	28,87	14,81	-48,52	0,78	0,90	28,87	14,81	-46,88	1,58	1,81	3,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	96,53	-0,47	4,12	1,49	10,57	96,53	-0,47	8,14	4,63	2,81	96,53	-0,47	14,44	8,73	6,18	1,00	0,00
21	red	42,28	54,12	28,67	42,28	54,12	30,07	0,72	11,40	42,28	54,12	33,80	2,62	2,78	42,28	54,12	36,95	4,19	4,17	3,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	55,31	8,82	-24,40	0,13	12,86	55,31	8,82	-21,68	1,91	1,33	55,31	8,82	-19,12	3,63	2,56	1,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	71,95	19,46	68,02	0,03	12,71	71,95	19,46	73,49	1,48	2,90	71,95	19,46	76,64	2,31	4,58	1,00	0,00
24	neutral 6.5 (.44 D)	66,48	-0,53	0,00	66,48	-0,53	0,05	0,05	16,39	66,48	-0,53	1,98	1,90	0,91	66,48	-0,53	4,20	3,84	1,88	3,00	0,00

Promjena po b-

R.br.	Boja	L(ref.)	a(ref.)	b(ref.)	L(PO)	a(PO)	b(PO)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (PO) [sec]	L(JPR)	a(JPR)	b(JPR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (JPR) [sec]	L(NR)	a(NR)	b(NR)	$\Delta E^*00$	Vrijeme (NR) [sec]	Vremenski pomak [sec]	Broj kružnih animacija boje
1	black.2 (1.5 D)	20,81	0,03	-0,39	20,81	0,03	-1,24	0,82	12,51	20,81	0,03	-3,54	2,89	1,73	20,81	0,03	-5,52	4,53	2,75	1,00	0,00
2	bluish green	70,69	-33,03	-0,11	70,69	-33,03	1,44	1,03	20,09	70,69	-33,03	-2,79	1,80	1,19	70,69	-33,03	-5,24	3,45	2,32	3,00	0,00
3	light skin	65,95	17,91	17,87	65,95	17,91	20,62	1,76	11,32	65,95	17,91	13,55	2,93	2,06	65,95	17,91	10,64	5,00	3,62	1,00	0,00
4	yellow green	72,46	-23,30	57,00	72,46	-23,30	58,70	0,54	12,90	72,46	-23,30	50,93	2,01	2,90	72,46	-23,30	47,90	3,08	4,26	3,00	0,00
5	dark skin	38,44	13,61	14,53	38,44	13,61	16,08	1,06	11,21	38,44	13,61	11,15	2,42	1,57	38,44	13,61	8,11	4,67	2,97	2,00	0,00
6	blue sky	50,06	-4,52	-22,25	50,06	-4,52	-21,15	0,51	16,26	50,06	-4,52	-27,03	1,99	2,38	50,06	-4,52	-29,72	2,98	3,75	2,00	0,00
7	orange	62,65	35,35	57,86	62,65	35,35	57,91	0,02	12,19	62,65	35,35	53,54	1,70	2,35	62,65	35,35	51,91	2,37	3,24	3,00	0,00
8	green	55,15	-37,80	31,64	55,15	-37,80	32,44	0,34	11,76	55,15	-37,80	27,67	1,74	1,76	55,15	-37,80	24,87	3,02	3,04	2,00	0,00
9	neutral 8 (23 D)	81,21	-0,64	0,27	81,21	-0,64	0,47	0,20	12,59	81,21	-0,64	-3,38	3,59	2,07	81,21	-0,64	-6,61	6,05	3,58	2,00	0,00
10	neutral 5 (70 D)	50,83	-0,64	-0,14	50,83	-0,64	0,51	0,64	16,26	50,83	-0,64	-2,36	2,10	1,04	50,83	-0,64	-4,69	4,10	2,15	3,00	0,00
11	neutral 3.5 (1.05 D)	35,85	-0,54	-0,49	35,85	-0,54	-1,34	0,81	13,33	35,85	-0,54	-3,99	3,18	1,86	35,85	-0,54	-6,56	5,24	3,01	3,00	0,00
12	foliage	43,28	-13,21	21,94	43,28	-13,21	22,29	0,19	12,12	43,28	-13,21	18,91	1,68	1,62	43,28	-13,21	16,57	3,03	2,65	2,00	0,00
13	magenta	51,91	49,80	-13,82	51,91	49,80	-14,22	0,18	13,05	51,91	49,80	-19,07	2,39	2,40	51,91	49,80	-22,10	3,74	3,76	1,00	0,00
14	cyan	50,72	-28,11	-27,95	50,72	-28,11	-26,85	0,50	12,95	50,72	-28,11	-33,67	2,42	3,01	50,72	-28,11	-38,45	4,25	5,22	2,00	0,00
15	purple	30,50	21,07	-20,02	30,50	21,07	-20,42	0,24	13,47	30,50	21,07	-25,15	3,09	2,32	30,50	21,07	-27,84	4,68	3,59	1,00	0,00
16	purplish blue	40,24	9,74	-44,35	40,24	9,74	-43,85	0,23	11,90	40,24	9,74	-48,67	1,94	2,04	40,24	9,74	-51,70	3,23	3,39	1,00	0,00
17	moderate red	51,60	47,80	16,90	51,60	47,80	18,00	0,61	12,42	51,60	47,80	11,53	2,95	2,85	51,60	47,80	8,85	4,41	4,27	1,00	0,00
18	yellow	82,27	4,02	79,99	82,27	4,02	87,24	1,53	10,11	82,27	4,02	75,79	0,94	2,13	82,27	4,02	71,71	1,89	4,08	3,00	0,00
19	blue	28,87	14,81	-50,15	28,87	14,81	-51,90	0,82	13,13	28,87	14,81	-54,58	2,03	2,37	28,87	14,81	-56,68	2,95	3,50	3,00	0,00
20	white 9.5 (05 D)	96,53	-0,47	2,42	96,53	-0,47	8,92	5,19	7,99	96,53	-0,47	-3,18	5,37	2,66	96,53	-0,47	-8,08	9,42	5,25	1,00	0,00
21	red	42,28	54,12	28,67	42,28	54,12	30,82	1,10	11,39	42,28	54,12	23,54	2,67	2,62	42,28	54,12	20,15	4,44	4,17	2,00	0,00
22	blue flower	55,31	8,82	-24,60	55,31	8,82	-23,95	0,42	14,55	55,31	8,82	-25,30	0,45	0,41	55,31	8,82	-29,50	3,06	2,60	3,00	0,00
23	orange yellow	71,95	19,46	68,12	71,95	19,46	69,07	0,27	17,59	71,95	19,46	63,45	1,37	2,46	71,95	19,46	58,67	2,87	4,88	2,00	0,00
24	neutral 6.5 (44 D)	66,48	-0,53	0,00	66,48	-0,53	-0,25	0,25	12,50	66,48	-0,53	-2,45	2,32	1,32	66,48	-0,53	-4,78	4,32	2,56	3,00	0,00

## 8. ŽIVOTOPIS

Zoran Gazibarić rođen je 11. svibnja 1978. u Novoj Gradišci. Oženjen, otac dvoje djece. Stanuje u Gradišci u Bosni i Hercegovini. Osnovnu školu završio je u Zemunu, a srednju Mašinsku tehničku školu u Staroj Pazovi. Godine 2001. završio je Višu grafičku školu u Beogradu, gdje je stekao stručni naziv inženjer grafičke tehnologije. Diplomski master studije završio je 2008. godine na Odsjeku za Grafičko inženjerstvo i dizajn na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, gdje je stekao akademski naziv diplomirani inženjer grafičkog inženjerstva i dizajna-master. Doktorski studij Grafičko inženjerstvo i oblikovanje grafičkih proizvoda upisao je 2009. godine na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Prvo radno iskustvo stječe u tiskari Grafomark-Laktaši u razdoblju od 2001. do 2010. radeći kao tehnolog i voditelj proizvodnje. Od 2007. do 2010. angažiran je kao predstavnik upravljanja kvalitetom (ISO 9001:2000) u tiskari Grafomark-Laktaši. Od 2008. do 2011. radi na Grafičkom fakultetu u Kiseljaku s izborom u zvanje viši asistent za uže znanstveno područje Grafičko inženjerstvo i dizajn na predmetima: Grafički alati, Računarska grafika, Organizacija grafičke proizvodnje, Grafički materijali i tehnologija. Od 2011. do 2016. predaje stručno-teorijske predmete za zanimanja fotograf i grafički tehničar u srednjoj Tehnološkoj školi u Banjoj Luci, gdje polaže i državni stručni ispit za profesora grafičke skupine predmeta. Od 2010. do danas radi na mjestu predavača na visokoj školi BLC Banja Luka. Ima izbor u zvanje za uže znanstveno područje Grafička tehnologija i predmete Grafičko inženjerstvo i dizajn, Računarska grafika, Dizajn i Grafički dizajn. Od 2016. do 2017. radi kao direktor društva u tiskari Print GS Travnik, zatim od 2017. do 2019. na mjestu tehničkog direktora u tiskari Grafomark-Laktaši. Od 2019. do danas radi na mjestu direktora tvrtke Trgo Fortuna Plus d.o.o u Gradišci koja se bavi veleprodajom grafičkih materijala za tiskarsku industriju.

Angažman na drugim poslovima:

Stručni konzultant na području kalkulacije grafičkih proizvoda i organizacije grafičke proizvodnje u tiskari Print GS, od siječnja do lipnja 2013. godine. Aktivni član redakcije Akademije nauka i umjetnosti za tehničko uređenje „Enciklopedije Republike Srpske”. 2005., 2006 i 2013. član komisije za dodjelu Gutenbergove nagrade za najkvalitetnije otisnutu knjigu na sajmovima knjiga u Banjaluci. Godine 2005. član tehničke komisije za ocjenu sposobnosti tiskare „Glas” za izradu skratch vaučera za potrebe Mobisa RS.

## **8.1. POPIS OBJAVLJENIH RADOVI**

### **Radovi prihvaćeni za objavljivanje u časopisu A kategorije**

1. Zoran GAZIBARIĆ, Vladimir CVILJUŠAC, Predrag ŽIVKOVIĆ, Nikola MRVAC  
A Method for Evaluating Human Observer's Perception of Color Differences// Tehnički vjesnik – Technical Gazette: znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku, 28 (2021), 6; doi: 10.17559/TV-20201027193639

### **Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom**

1. Gazibarić, Zoran; Živković, Predrag  
Ispitivanje uticaja rezolucije bit mape i linijature rastera na izgled odštampane bit mape. // Zbornik radova Trećeg međunarodnog naučno-stručnog simpozija grafičke tehnologije i dizajna GeDIT 2013 12. – 13. septembra 2013., / Babić, Darko (ur.). Travnik: Fakultet za tehničke studije Univerziteta u Travniku, Travnik, Bosna i Hercegovina, 2013. str. 56–65. (<https://www.bib.irb.hr/1064028>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
2. Gazibarić, Zoran; Živković, Predrag; Živojinović, Dragana  
Determining the correlation between total hardness of water and spectro-densitometric characteristic of printing quality. // Zbornik radova '12 = Proceedings '12 / 6. međunarodni naučno-stručni simpozijum GRID 2012, Novi Sad 15 – 16. XI 2012 / Novaković, Dragoljub (ur.). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Novi sad, 2012. str. 157–163. (<https://www.bib.irb.hr/1063981>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
3. Gazibarić, Zoran; Živković, Predrag  
Mogućnosti automatizacije postojećeg radnog toka u štampariji ofset štampe. // Zbornik radova Drugoga međunarodnog naučno-stručnog simpozija grafičke tehnologije i dizajna GeTID 2011. 9. – 11. juna 2011. Kiseljak, Bosna i Hercegovina / Babić, Darko (ur.). Kiseljak: Univerzitet u Travniku Fakultet za tehničke studije u Kiseljaku (BiH), 2011. str. 35–45. (<https://www.bib.irb.hr/1064022>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

### **Stručni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom**

1. Gazibarić, Zoran  
On-line i off-line izdavaštvo. // ZBORNİK RADOVA Digitalizacija medija i ekonomija postindustrijskog doba / Svetlana Dušanić Gačić (ur.). Banja Luka: Besjeda Banjaluka,

Banjaluka College, 2018. str. 144–147. doi:10.7251/BLCMES1801144G (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)

2. Gazibarić, Zoran; Tuzović, Amra; Garić, Marija

Stanje grafičke industrije i preporuke za optimizaciju organizacije proizvodnje u Bosni i Hercegovini, Zbornik radova. Šesti međunarodni naučno-stručni simpozij grafičke tehnologije i dizajna, multimedije i informacionih tehnologija GeTID&teh 2017. 20 - 22. listopada 2017., Fakultet za tehničke studije Travnik, Bosna i Hercegovina. ISSN 2232-8831 (međunarodna recenzija, objavljeni rad, stručni)

3. Gazibarić, Zoran

Pravilno korištenje monitora u svakodnevnom radu i komunikaciji. // Zbornik radova Četvrtog međunarodnog naučno-stručnog simpozija grafičke tehnologije i dizajna, arhitekture, građevine, sigurnosti, informacionih i tekstilnih tehnologija GeTID&teh 2015 23. – 25. oktobra 2015., Fakultet za tehničke studije Travnik, Bosna i Hercegovina / Babić, Darko (ur.). Travnik: Fakultet za tehničke studije Univerziteta u Travniku, Travnik, Bosna i Hercegovina, 2015. str. 55–66. (<https://www.bib.irb.hr/1064034>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)

4. Gazibarić, Zoran; Živković, Predrag

Parameters of reproduction and their influence to appearance of moiré pattern in lithographic offset printing, Zbornik radova '14 = Proceedings '14 / 7. međunarodni naučno – stručni simpozijum GRID 2014, Novi Sad 13 – 14. XI 2014; Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, 2014. ISBN 978- 86-7892-647-1 (međunarodna recenzija, objavljeni rad, stručni)

5. Gazibarić, Zoran

Unapređenje procesa kalkulacije grafičkih proizvoda. // Zbornik radova '08 = Proceedings '08 / 4. međunarodni naučno-stručni simpozijum GRID 2008, Novi Sad 13 – 14., XI 2008 / Novaković, Dragoljub (ur.). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Novi sad, 2008. str. 235–242. (<https://www.bib.irb.hr/1063984>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)

