

Metamerija pri različitim izvorima svjetlosti

Mikuličić, Marijana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:216:674137>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-13**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Marijana Mikulić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD
METAMERIJA PRI RAZLIČITIM IZVORIMA
SVJETLOSTI

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Lidija Mandić

Student:

Marijana Mikuličić

Zagreb, 2015.

Rješenje o odobrenju završnog rada

Sadržaj

Metamerija se pojavljuje kada dvije boje ostvaruju iste stimuluse pod određenim uvjetima, a različite kod nekih drugih.

Ovaj završni rad prvenstveno se bazira na pojavi metamerije i na uzroke koji utječu na nju. Kako bismo razumjeli pojam metamerije, u teorijskom dijelu radu najprije je obrađen pojam boje. Objašnjene su teorije viđenja boje i miješanje boja.

Zatim su obrađene standardne vrste svjetlosti, odnosno CIE standardni iluminanti.

U praktičnom dijelu rada proučavale su se dvije boje različitih spektralnih krivulja pod različitim izvorima svjetlosti. Vizualnim ocjenjivanjem i mjerenjem spektralnim fotometrom zabilježena je pojava metamerije.

Ključne riječi:

boja, metamerija, CIE standardne vrste svjetlosti

Abstract

Metamerism is the phenomenon where two different color samples appear to match under one set of lighting conditions but not under different lighting.

Firstly, this final project is based on the appearance of metamerism and each causes which affect it. For a better understanding of the concept, in the theoretical part of the final project, I was mentioning the term of color, color vision and color mixing. Moreover, the next chapter is about CIE standard illuminants.

In the experimental part, two colors are being researched with different spectral curves under various light sources. Metamerism phenomenon is proven by visual color evaluation and spectral photometer measurement.

Key words:

Color, metamerism, CIE standard illuminants

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Boja.....	2
2.1.1. Opisivanje boja	3
2.1.2. Kako vidimo	5
2.1.3. Teorije viđenja boje	7
2.1.4. Miješanje boje.....	10
2.2. CIE Standardni Illuminanti (vrste svjetlosti).....	12
2.2.1. CIE Illuminant A	14
2.2.2. CIE Illuminant B i C	15
2.2.3. CIE Illuminant D.....	16
2.2.3. CIE Illuminant E	17
2.2.4. CIE Illuminant F	17
2.3. Metamerija	18
2.3.1. Oblici metamerije	20
2.3.2. Metamerija u grafičkoj tehnologiji	22
3. PRAKTIČNI DIO	23
3.1. Metode korištene za izradu završnog rada.....	23
3.1.2. Uređaji koji su korišteni pri izradi praktičnog djela	23
3.1.3. Testni uzorci	26
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	27
4.1. Rezultati vizualnog ocjenjivanja.....	28
4.2. Rezultati mjerenja spektralnim fotometrom	29
5. ZAKLJUČAK.....	33
6. LITERATURA	34

1. UVOD

U ovom radu objašnjena je metamerija i standardizirani izvori svjetlosti (iluminanti).

Metamerija je pojava koja zauzima važno mjesto u procesu grafičke reprodukcije pa su opisane različite vrste metamerije, te uzroci koji dovode do njene pojave. Metamerija se pojavljuje kad dvije boje ostvaruju iste stimuluse pod određenim uvjetima, a različite kod nekih drugih.[5] Osnovni uzrok metamerije je činjenica da je boja vizualni doživljaj, a ne svojstvo objekta.

Metamerija je istražena proučavanjem dviju boja različitih spektralnih krivulja pod različitim izvorima svjetlosti. Pretpostavka je da izgledaju jednako ako ih se promatra uz određeni izvor svjetlosti, a različito promjenom izvora svjetla. Objasnjen je i utjecaj metamerije u tisku te njezine pozitivne i negativne strane.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Boja

Osjet boje je zapravo psihofizički doživljaj koji ovisi o izvoru svjetla, ljudskom vizualnom sustavu i karakteristikama objekta koji se promatra.

Osjet boje u našem oku izaziva elektromagnetsko zračenje valnih duljina 380 - 750 nm. S psihofizičke strane bitno je naglasiti da boja koju vidimo nije fizikalno svojstvo predmeta, ona je funkcija svjetla.

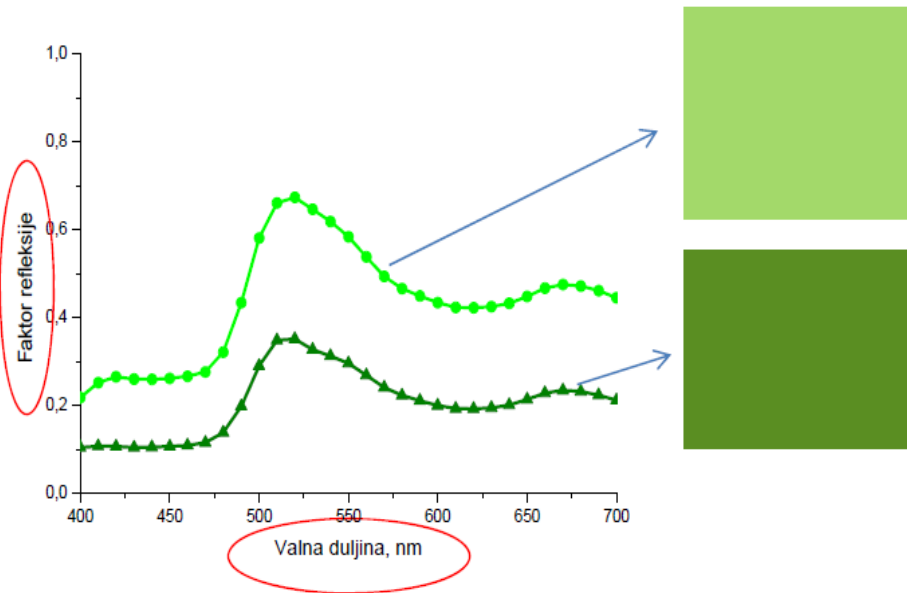
Kad boju promatramo s fizikalnog aspekta govorimo o fizičkom podražaju - stimulusu. Fizički podražaj predstavlja vidljivo zračenje (380 - 750 nm).

Izvori svjetla se dijele na primarne (izravni) i sekundarne (neizravni). Primarni izvori svjetlosti mogu biti prirodni i umjetni. Prirodni izvori svjetlosti su Sunce, mjesec i zvijezde. Umjetni izvor svjetlosti predstavljaju razna rasvjetna tijela. Sekundarni izvori su prenositelji energije zračenja, sve tvari koje nas okružuju i emitiraju boju apsorpcijom, transmisijom ili refleksijom.

Doživljaj boje ovisi o tri faktora:

1. Spektralnom sastavu svjetla koje pada na promatrani predmet
2. Molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira ili propušta
3. Čovjekovom osjetu boje putem vidnog sustava i mozga

Instrumentalnim mjerenjem se svaka boja opisuje sa svojom karakterističnom krivuljom spektralne refleksije.



Slika 1 Krivulja spektralne refleksije
(preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

2.1.1. Opisivanje boja

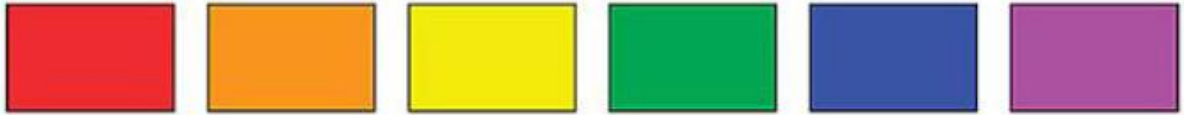
Boja je stvar percepcije i subjektivne interpretacije. Kako je boja stvar percepcije, podrazumijeva se da se njezin pojam razlikuje od osobe do osobe. Boja je funkcija svjetla. Gdje nema svjetla, neće biti ni boje.[1]

Atributi koje uže definiraju svaku boju su [2]:

1. Ton boje (eng. Hue)
2. Zasićenje (eng. Saturation)
3. Svijetlina (eng. Lightness)

Ton boje i zasićenje boje određuju kromatičnost boje koja nije ovisna o posljednjem atributu - svjetlini.

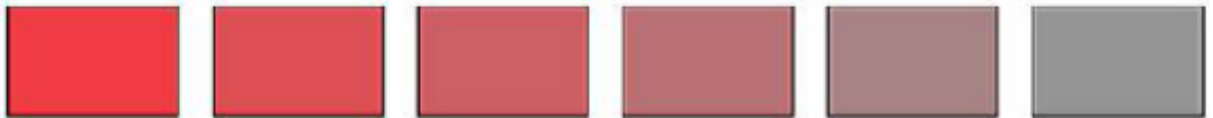
Ton boje predstavlja obilježje vizualnog doživljaja na osnovu kojega točno definiramo pojedinu boju, odnosno prema kojem boji dodjeljujemo određeno ime, primjerice, crvena, zelena, žuta, plava...



Slika 2 Ton boje
(preuzeto sa:

http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%201.dio.pdf)

Zasićenje je udio čiste boje sadržane u ukupnom vizualnom doživljaju boje, udio pojedinih valnih duljina u nekom tonu boje (stupanj odstupanja boje od akromatske boje iste svjetline).



Slika 3 Zasićenje boje
(preuzeto sa:

http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%201.dio.pdf)

Svjetlina je obilježje vizualnog osjeta koje opisuje sličnost boje s nizom akromatskih boja od crne preko sive do bijele, tj. udio crne u nekom tonu boje.



Slika 4 Svjetlina boje
(preuzeto sa:

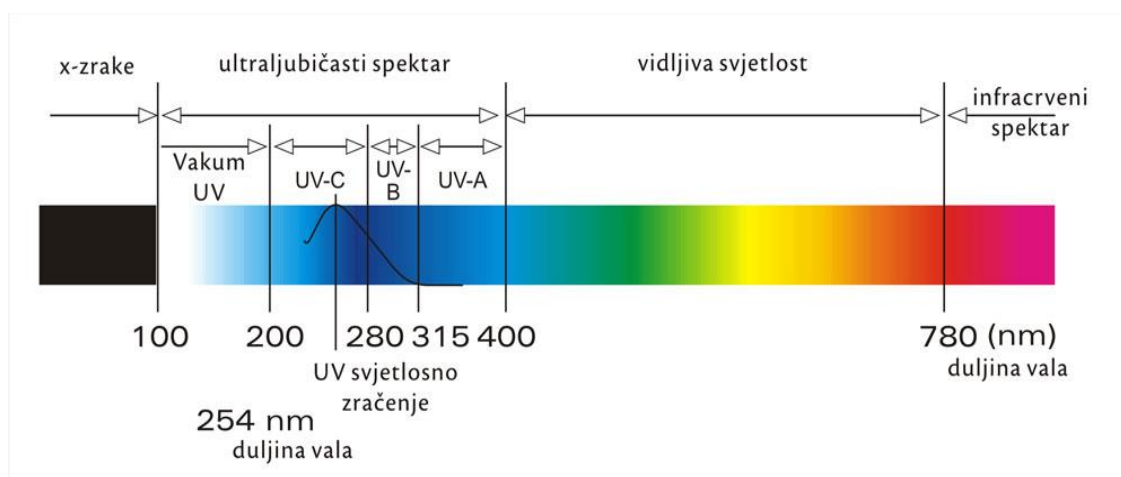
http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20%20BOJI%201.dio.pdf)

PSIHOFIZIČKE KARAKTERISTIKE		FIZIKALNE KARAKTERISTIKE
Ton	←	Dominantna valna duljina
Zasićenje	←	Čistoća pobude
Svjelina	←	Luminacija

Psihofizičke karakteristike prikazuju boju sa stajališta promatrača (subjektivne), a fizikalne karakteristike se mjere uređajima koji su neovisni o promatraču (objektivne). Psihološke karakteristike se bave onime što promatrač gleda (osjeća) dok fizikalne karakteristike interpretiraju ono što uređaj izmjeri.

2.1.2. Kako vidimo

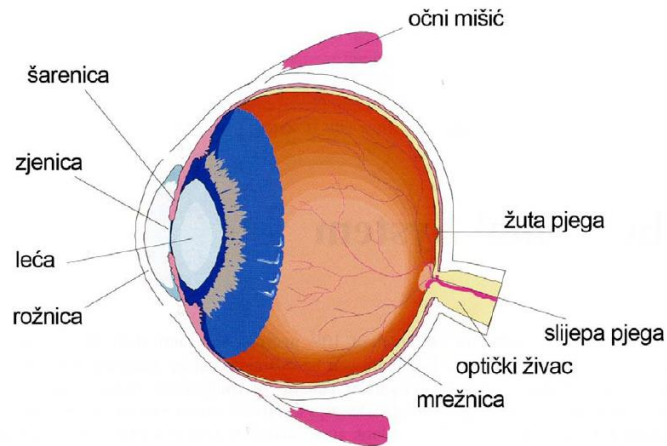
Osjet boje u našem oku izaziva elektromagnetsko zračenje vidljivog spektra svjetlosti (380 - 750 nm). Boje koje nas okružuju možemo vidjeti zahvaljujući građi našeg oka.



Slika 5 Prikaz spektra svjetlosti
(preuzeto sa: <http://www.hoya.hr/zanimljivost/sunce-i-uv-zracenje/73/>)

Zrake svjetla se reflektiraju od objekta ili prolaze kroz njega (proziran objekt) te padaju na rožnicu koja predstavlja prozirnu opnu na prednjem dijelu oka. Zbog svoje

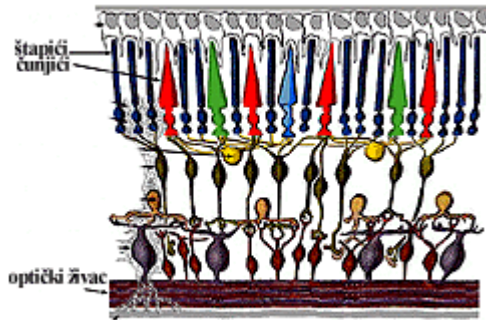
zaobljenosti ponaša se se kao konveksna (ispupčena) leća. Leća lomi zrake svjetlosti tako da one moraju pasti na mrežnicu pritom dajući oštru, umanjenu i obrnutu sliku u središtu vidnog polja.



Slika 6 Presjek grade ljudskog oka
(preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

Upadno svjetlo uzrokuje fotokemijsku reakciju u mrežnici (svojstva fotografskog filma). Mrežnica je prozirna opna debljine 0.3 mm i pokriva dvije trećine očne jabučice. Sačinjavaju je osjetne stanice - fotoreceptori - koje svjetlost transformiraju u živčane impulse.

Svjetlost koja prođe kroz mrežnicu dolazi do fotoosjetljivog neuroepitelnog sloja. On je svojom ulogom veoma sličan fotografskom sloju sa zrnima srebrnih halogenida i sadrži dvije vrste fotoreceptorskih stanica - čunjiće i štapiće. U oku postoji oko 75 - 150 milijuna štapića i oko 5 - 8 milijuna čunjića.[7]



Slika 7 Prikaz štapića i čunjića
 (preuzeto sa: http://physics.mef.hr/Predavanja/seminar_optika/main1e.html)

Štapići se aktiviraju uglavnom kod malih intenziteta svjetla (sumrak, noć) te osiguravaju prepoznavanje objekta, dok su čunjići aktivni pri većem intenzitetu svjetla i omogućavaju opažanje boja. U mrežnici se nalaze 3 vrste čunjića koji zbog tri vrste pigmenata imaju maksimalnu osjetljivost u različitim dijelovima spektra.

U centralnom području mrežnice nalazi se žuta pjega koja sadrži gusto koncentrirane čunjiće. Pri najjačem svjetlu to mjesto se definira kao mjesto najoštrijeg vida. Ljudsko oko može vidjeti objekt pri jako velikim i jako malim intenzitetima ($100\,000\text{ lx} - 0,0003\text{ lx}$).

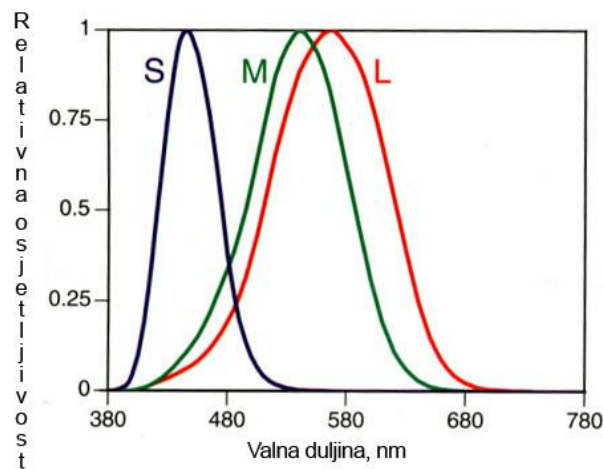
Adaptacija na veliki raspon intenziteta je moguća zbog zjenice jer ona promjenom svog radijusa podržava količinu svjetla koje dolazi do mrežnice. Primjerice, pri izrazitom velikom intenzitetu svjetlosti zjenica se automatski sužava. Dakle, zjenica se širi u mraku, ali se na svjetlu sužava. Kad je sužena promjer joj je 3 - 4 mm. [7]

2.1.3. Teorije viđenja boje

Trikromatska teorija

Prema trikromatskoj teoriji viđenje boja je omogućeno s tri tipa čunjića koji su osjetljivi na svjetlo različitih valnih duljina. Oni, čija glavna apsorpcija leži u području kratkih valnih dužina vidljivog spektra, osjetljivi su za plave boje, u području srednjih valnih dužina vidljivog spektra za žuto - zelene boje i u području dugačkih valnih dužina vidljivog spektra za žuto - crvene boje.

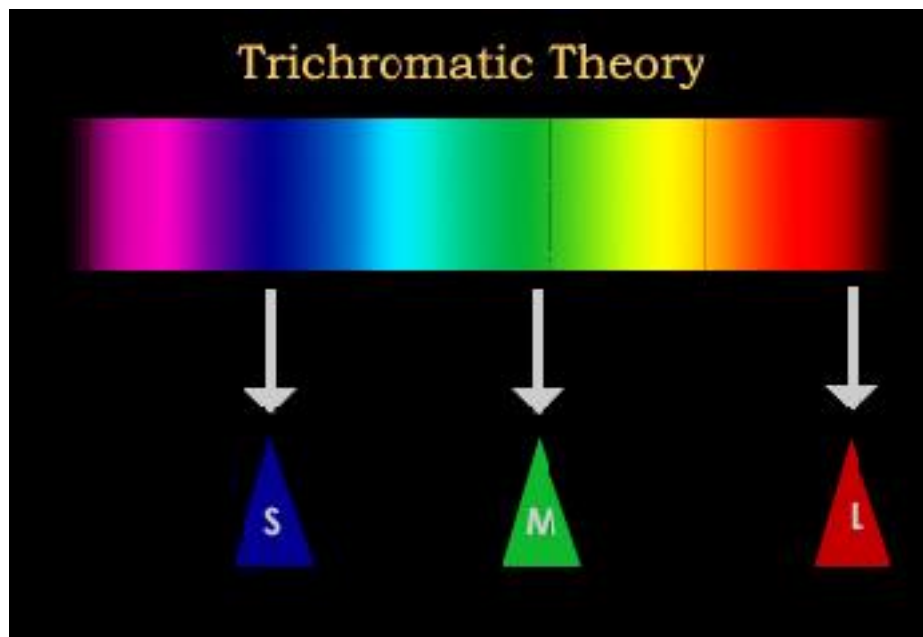
Za svaki tip moguće je konstruirati odgovarajuće krivulje spektralne osjetljivosti.



Slika 8 Relativna spektralna osjetljivost dugovalnih, srednjevalnih i kratkovalnih čunjića (preuzeto sa: http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

Pretpostavili su da tijekom promatranja nekog objekta dolazi do stvaranja tri slike toga objekta u fotoreceptorima (S, M i L). Navedene slike odgovaraju kromatskim primarnim područjima valnih dužina, te se u mozgu kombiniraju (zbrajaju) u obojeni doživljaj promatranoga objekta.

Nedostatak teorije je nedovoljno objašnjenje defektnog viđenja boje i nedozvoljavajuće objašnjenje doživljaja nekih jedinstvenih boja.[7]



Slika 9 Trikromatska teorija (preuzeto sa: <http://psych.ucalgary.ca/PACE/VA-Lab/colourperceptionweb/theories.htm>)

Heringova teorija (Teorija suprotnih procesa)

„Teorija suprotnih boja“ je nova teorija viđenja boja postavljena od strane E. Heringa. Teorija je pretpostavljala da u mrežnici postoje 3 vrste receptora osjetljivih na svjetlo od kojih je svaki u mogućnosti proizvesti par suprotnih osjeta boje plavo - žuto, crveno - zeleno, crno - bijelo.

Teorija je nazvana suprotna jer je postojanje plavo - žute i crveno - zelene boje teoretski i u stvarnosti – neizvedivo. Ustanovljeno je da se određeni tonovi nikada ne mogu percipirati zajedno. Najveći razlog tome je upravo sljepilo na pojedine boje te se naravno podrazumjeva i sljepost na suprotne parove boja.

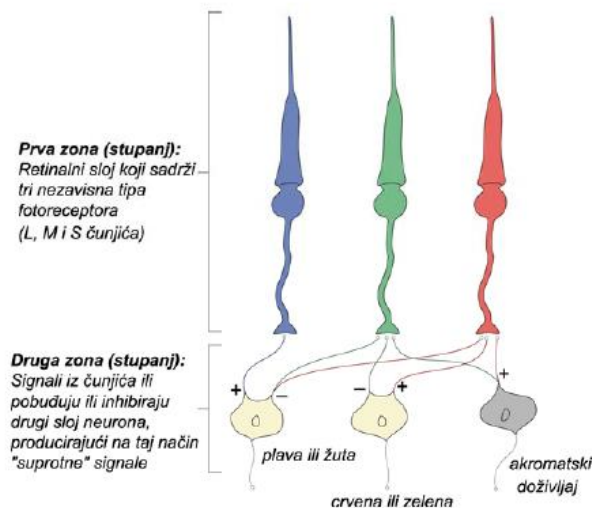
Primjerice, osoba koja ne vidi zelenu boju sigurno neće vidjeti njoj suprotnu crvenu boju.

Zonska teorija

Zonska teorija viđenja boja ujedinjuje elemente trikromatske teorije i teorije suprotnih procesa. Prema teoriji u mrežnici oka se iza sloja skupina čunjića nalazi još jedan sloj receptora – bipolarni osjetilni receptori (prema teoriji suprotnih procesa - suprotno osjetljivi receptori). Oni su uvijek u pobuđenom stanju, a stimulacijom ili inhibicijom signala s čunjića (+/-) mijenja se pobuđenost.

Svaka živčana stanica je povezana sa tri vrste čunjića. Suprotne informacije, ovisno o jačini signala (plavo - žuto, crveno - zeleno), šalju bipolarne stanice istim živcem.

Zonska teorija objašnjava defektno viđenje boja.



Slika 10 Zonska teorija viđenja boja

2.1.4. Miješanje boje

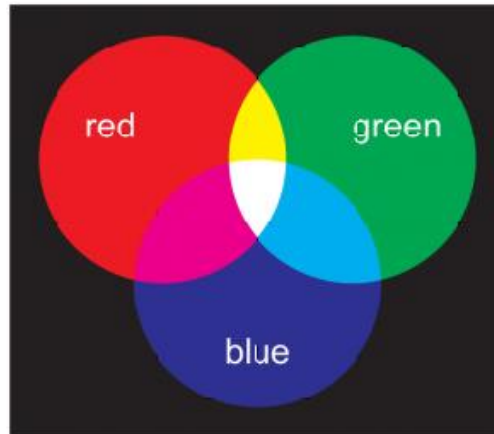
Postupci miješanja boja u sustavima grafičke reprodukcije mogu se općenito podijeliti na aditivne i suptraktivne. I jedan i drugi postupak se temelje na trikromatskom principu reprodukcije boja, a razlika je samo u tome na koji se način taj postupak vrši.

Aditivna sinteza

Temelji se na zbrajanju, odnosno na dodavanju pojedinih valnih duljina. Najlakše ju je opisati na primjeru zbrajanja tri snopa svjetlosti - crvenog, plavog i zelenog. Različitom omjerima inteziteta svjetlosti moguće je ostvariti veoma širok raspon različitih boja. To je moguće jer se maksimalne osjetljivosti pojedinih čunjića na mrežnici ljudskog oka djelomično poklapaju sa crvenim, zelenim i plavim dijelom vidljivog spektra pa će ovisno o stupnju pobuđenosti promatrač doživjeti neku boju.

Miješanjem crvenog (eng.red - R), plavog (eng.blue - B) i zelenog (eng.green - G) snopa svjetlosti nastaju sljedeće boje:

- $R + G = Y$ (žuta)
- $B + R = M$ (magenta, tj. purpurna)
- $B + G = C$ (cijan, tj. zelenoplava)



Slika 11 Prikaz aditivne sinteze

(preuzeto sa: http://www.supertisak.hr/boje/cmyk-rgb-spot-boje-o-cemu-se-tu-radi?doing_wp_cron=1441320227.6366710662841796875000)

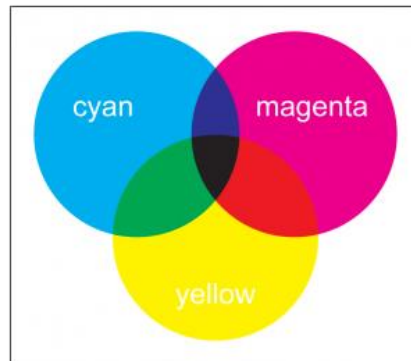
Svaka od triju boja u RGB sustavu se definira vrijednostima od 0 do 255 gdje brojka 255 predstavlja najveći intenzitet. Kada su vrijednosti za RGB 0/0/0, dobiva se crno, a vrijednosti 255/255/255 predstavljaju bijelo (totalna aditivna sinteza).

Ovaj princip miješanja boja se koristi kod televizora, monitora, fotoaparata, skenera, itd.

Supraktivna sinteza

Supraktivno miješanje boja, odnosno suptraktivna sinteza nastaje tako da se bijelom svjetlu pomoću filtera oduzimaju pojedini dijelovi spektra. Zelenoplavim filterom oduzimamo crveni, purpurnim oduzimamo zeleni, a žutim oduzimamo plavi dio spektra. Različitim stupnjem apsorpcije pojedinih valnih duljina moguće je ostvariti širok raspon različitih boja. Boja koju promatrač osjeća ovisi o onome što je došlo do njegova oka. Ako se koristi filter koji apsorbira zeleni dio vidljivog, znači da će u oku promatrača biti

pobuđeni čunjići osjetljivi na plavi i čunjići osjetljivi na crveni dio spektra te će mozak to interpretirati kao purpurnu boju (magenta).



Slika 12 Prikaz supraktivne sinteze
(preuzeto sa: <http://www.supertisak.hr/boje/cmyk-rgb-spot-boje-o-cemu-se-tu-radi>)

Totalnom supraktivnom sintezom nastaje crna boja. Supraktivna sinteza odnosno CMY model boja koristi se za modeliranje boje na izlaznim uređajima, odnosno tiskarskim strojevima (grafički otisci) koji se služe primarnim bojama supraktivne sinteze.

2.2. CIE Standardni Illuminanti (vrste svjetlosti)

Zbog različitih neslaganja u mjerenjima i ispitivanjima bilo je potrebno standardizirati neke vrste svjetlosti. Internacionalna komisija za rasvjetu CIE (*Commission International de l'Eclairage*) je 1931. godine definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih izvora svjetla i nazvala ih „Illuminants“ (vrsta svjetlosti). CIE je tako napravila razliku između dva važna pojma - izvor svjetlosti (eng. light source) i standardizirani izvor svjetlosti (eng. illuminants). Izvor svjetlosti predstavlja fizičko spektralno zračenje na nekome objektu gledano od strane promatrača. CIE standardni iluminant i izvor svjetla mogu se identificirati preko temperature boje zračenja - CCT (eng. correlated colour temperature).

Različiti izvori svjetla imaju i različitu raspodjelu relativne energije zračenja.

Izvori svjetla su standardizirani, prvenstveno zbog primjene u industriji, kako bi određeni proizvod mogli uvijek mjeriti pod istim izvorom svjetla. Podaci o CIE Iluminatima dani su u tablici.

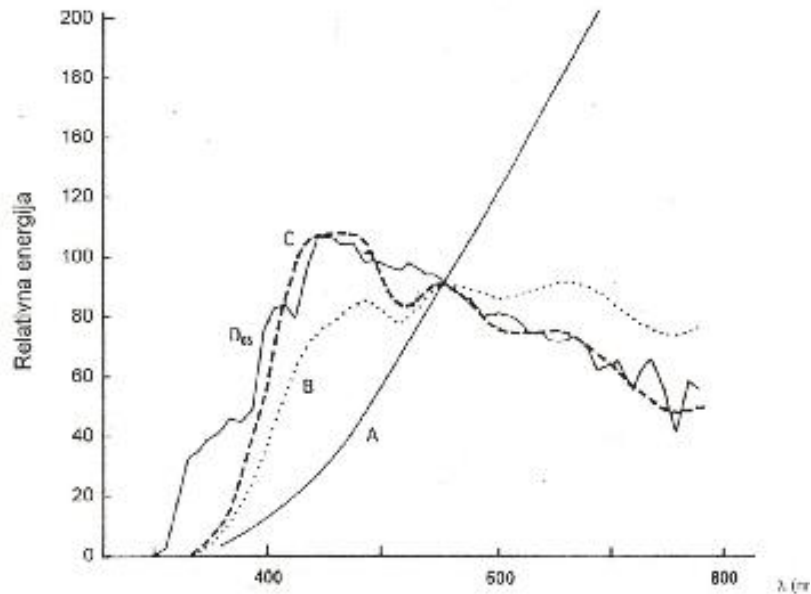
Tablica 1 Vrijednosti CIE iluminanata pri određenim valnim duljinama (preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

Wave-length nm	A	B	C	D ₅₀	D ₅₅	D ₆₅	D ₇₅
425	22.79	68.37	105.80	58.93	69.75	90.06	107.94
430	24.67	73.10	112.40	57.82	67.91	86.68	103.09
435	26.64	77.31	117.75	66.32	76.76	95.77	112.14
440	28.70	80.80	121.50	74.82	85.61	104.86	121.20
445	30.85	83.44	123.45	81.04	91.80	110.94	127.10
450	33.09	85.40	124.00	87.25	97.99	117.01	133.01
455	35.41	86.88	123.60	88.93	99.23	117.41	132.68
460	37.81	88.30	123.10	90.61	100.46	117.81	132.36
465	40.30	90.08	123.30	90.99	100.19	116.34	129.84
470	42.87	92.00	123.80	91.37	99.91	114.86	127.32
475	45.52	93.75	124.09	93.24	101.33	115.39	127.06
480	48.24	95.20	123.90	95.11	102.74	115.92	126.80
485	51.04	96.23	122.92	93.54	100.41	112.37	122.29
490	53.91	96.50	120.70	91.96	98.08	108.81	117.78
495	56.85	95.71	116.90	93.84	99.38	109.08	117.19
500	59.86	94.20	112.10	95.72	100.68	109.35	116.59
505	62.93	92.37	106.98	96.17	100.69	108.58	115.15
510	66.06	90.70	102.30	96.61	100.70	107.80	113.70
515	69.25	89.65	98.81	96.87	100.34	106.30	111.18
520	72.50	89.50	96.90	97.13	99.99	104.79	108.66
525	75.79	90.43	96.78	99.61	102.10	106.24	109.55
530	79.13	92.20	98.00	102.10	104.21	107.69	110.44
535	82.52	94.46	99.94	101.43	103.16	106.05	108.37
540	85.95	96.90	102.10	100.75	102.10	104.41	106.29
545	89.41	99.16	103.95	101.54	102.53	104.23	105.60

Spektrar raspodjele energije nekih iluminanata

- A - Umjetno svjetlo (Volframova žarulja)
- B - Sunčevo svjetlo (podnevna)
- C - Prosječno dnevno svjetlo
- D65 - Prosječna dnevna rasvjeta

prikazan je na slici 19.



Slika 13 Spektralna raspodjela energije iluminanata
 (preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

2.2.1. CIE Illuminant A

Standardni iluminant A predstavlja klasičnu umjetnu svjetlost. Sastoji se od Volframove žarulje sa žarnom niti. Njegovo spektralno radijalno zračenje emitira svjetlost temperature od 2700 K što je prikazano na slici 20. Svjetlost nastaje zagrijavanjem žarne niti pri niskom tlaku. Dobivena svjetlost je žuto - crvene boje. Većina potrošene energije pretvara se u toplinsku energiju (oko 90%), dok se manji dio pretvara u svjetlosnu.



Slika 14 CIE Iluminant A
(preuzeto sa : <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/light-measurement/light/light-sources-and-illuminants.html>)

2.2.2. CIE Iluminant B i C

Iluminanti B i C simuliraju dnevno svjetlo. Izvedeni su od iluminanta A uz pomoć filtera. Iluminant B je predstavnik Sunčeve svjetlosti u podne s temperaturom zračenja od 4874 K dok C predstavlja prosječnu dnevnu svjetlost s temperaturom zračenja od 6774. Danas se više skoro pa i ne upotrebljavaju, zamjenjeni su s Iluminantom D.



Slika 15 CIE Iluminant C
(preuzeto sa : <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/light-measurement/light/light-sources-and-illuminants.html>)

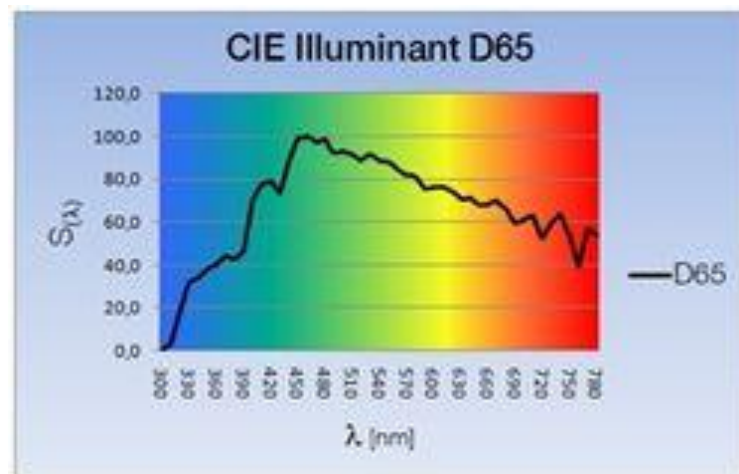
2.2.3 CIE Iluminant D

Standarni iluminant D predstavlja prirodno dnevno svjetlo. Teško ga je proizvesti tvornički, ali se matematički lako vrednuje.

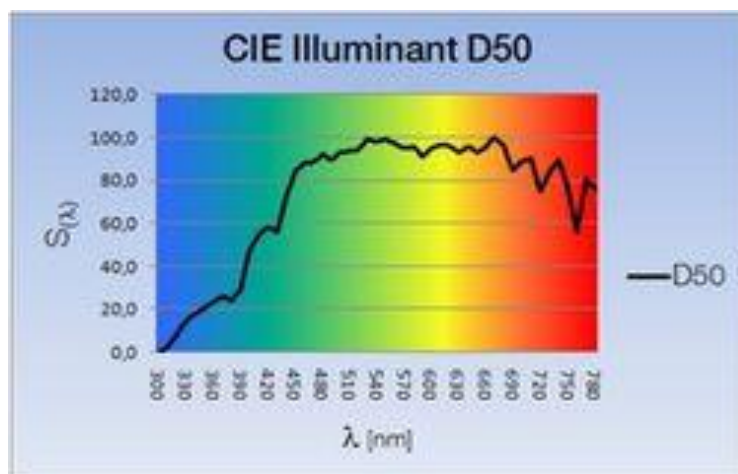
CIE D65 je vrsta osvjetljenja koje imitira vanjsko dnevno svjetlo, a temperatura boje mu je oko 6500 K. Upotrebljava se u kolorimetrijskim istraživanjima kada je potrebno simulirati Sunčevu svjetlost. Osim vidljivog dijela spektra, sadrži i nevidljivi UV dio spektra do 300 nm.

D50 ima temperaturu boje od 5003 K. D55 je žućkasta dnevna svjetlost temperature boje od 5503 K, dok je D75 plava dnevna svjetlost temperature boje od 7504 K.

D55 i D65 se upotrebljavaju kao iluminanti u tisku, fotografiji i u industriji boja. [6]



Slika 16 CIE Iluminant D65
(preuzeto sa: <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/light-measurement/light/light-sources-and-illuminants.html>)



Slika 17 CIE Iluminant D50
 (preuzeto sa: <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/light-measurement/light/light-sources-and-illuminants.html>)

2.2.3. CIE Iluminant E

Iluminant E je imaginarni iluminant. Ima jednaku spektralnu energiju unutar cijelog vidljivog dijela spektra. Koristan je kao teorijska referenca, iluminant koji pridaje jednaku važnost svim valnim duljinama predstavljajući ravnomjernu boju.

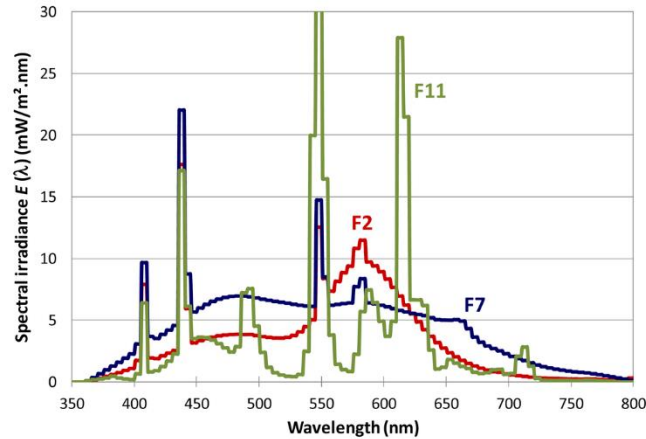
Iluminant E nije crno tijelo, pa nema temperaturu zračenja boje, ali može biti aproksimirano s D iluminantom temperaturom zračenja boje od 5455 K.

2.2.4. CIE Iluminant F

Standardni iluminant F predstavlja različite tipove fluorescentne rasvjete. Fluorescentne žarulje svjetlost generiraju izbojem u živinim parama te tako nastaje UV zračenje koje se uz djelovanje fosfornog zračenja pretvara u vidljivi spektar. Fluorescentna rasvjeta se obično upotrebljavala zbog visoke električne učinkovitosti (većina energije se troši na stvaranje svjetlosne energije) i slična je prirodnoj svjetlosti. CIE je definirala 12 tipova fluorescentnih iluminanata od F1 do F12. F- serije iluminanata su podjeljene u 3 grupe s obzirom na emisiju spektra izvora svjetlosti koju predstavljaju:

- F1 - F6 – standardne fluorescentne žarulje;
- F7 - F9 – širokopojasne fluorescentne žarulje;
- F10 - F12 – tri usko pojasne fluorescentne žarulje. [6]

F2 iluminant (hladno bijela) je najbliži tipičnim fluorescentnim svjetlima u domovima, uredima, dućanima i tvornicama.



Slika 18 Tipovi fluorescentnih iluminanata
(preuzeto sa: <http://www.mdpi.com/1996-1073/7/3/1500/htm>)

2.3. Metamerija

Lako se uoči, ali se teško razumije.

Metamerija se pojavljuje kad dvije boje ostvaruju iste stimuluse pod određenim uvjetima, a različite kod nekih drugih.[5]

Prema I.Zjakiću[3], metamerija, odnosno metamerne boje, su boje različitih spektralnih zračenja koje se podudaraju kod promatrača.

Osnovni uzrok metamerije je činjenica da je boja vizualni doživljaj, a ne svojstvo objekta. Ljudski vidni sustav može doživjeti isti osjet boje od mnogo kombinacija različitih valnih duljina.

Boje koje doživljavamo kao iste boje nazivamo metameri. Naš mozak ne razlikuje boje po valnim duljinama koje vidimo, samo njihov kombinirani učinak. Na primjer, objekt

koji emitira žuto svjetlo će izgledati iste boje kao objekt koji emitira samo zeleno i crveno svjetlo (kombiniramo zelene i crvene da se pojavi žuta).

Primjer metamerije iz svakodnevnog života

Većina ljudi je doživjela metameriju npr., kod oblačenja čarapa. U sobama gdje oblačimo čarape imamo svjetlo koje proizvode žarulje sa žarnom niti i obje čarape nam izgledaju crno. Dok u kuhinji koja obično ima fluorescentna svjetla jedna čarapa nam izgleda crno, a druga tamnoplavo.

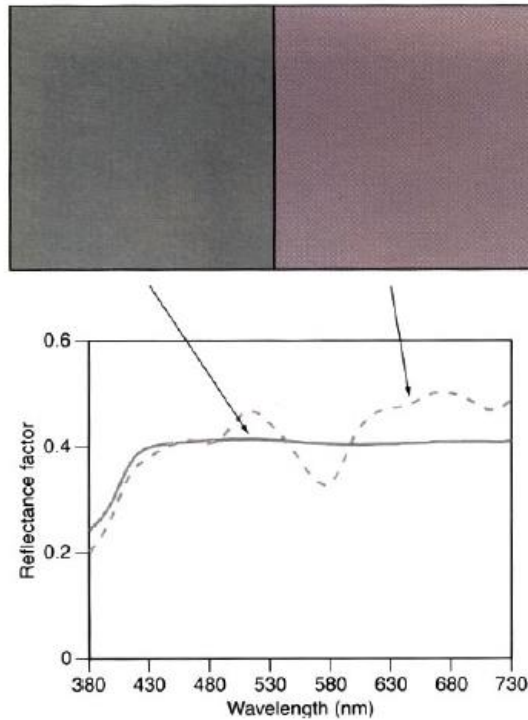
Razlika je u distribuciji valnih duljina obične žarulje sa žarnom niti i fluorescentne žarulje. Promjenom izvora svjetlosti došlo je do metamerije.

Metamerija uvijek uključuje dva objekta ili para.

Metamerni parovi pokazuju sljedeće:

- a) imaju različite spektralne krivulje
- b) podudaraju se u barem jednoj kombinaciji iluminanta i promatrača
- c) ne podudaraju se u barem jednoj kombinaciji iluminanta i promatrača

Krivulja spektralne refleksije dvaju metamarijskih parova koji stvaraju metamerne stimuluse boja mora imati iste vrijednosti kod najmanje tri različite valne duljine vidljivog dijela spektra.



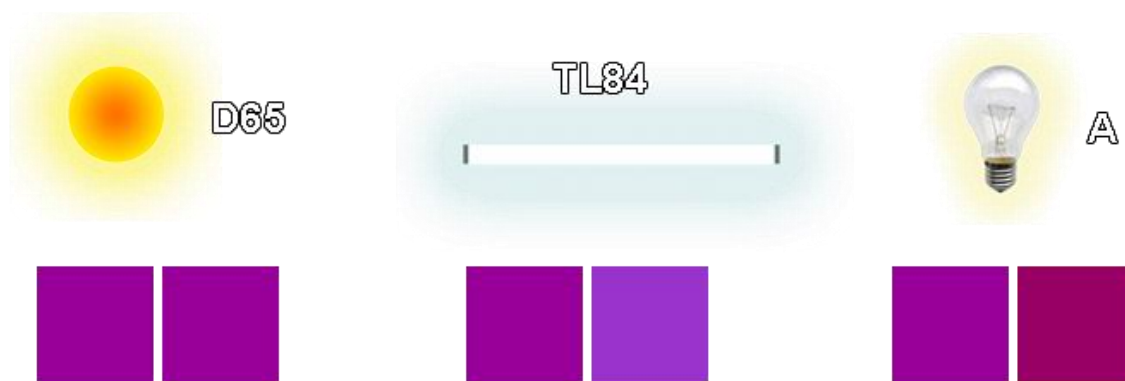
Slika 19 Primjer metamernog para
 (preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

2.3.1. Oblici metamerije

Metamerizam izazvan vrstom svjetlosti

Metamerizam izazvan vrstom svjetlosti jest situacija kada dva objekta koja izgledaju identično pod jednim uvjetima, ali ne izgledaju identično kad se izvor promijeni. Primjerice, kad bi dnevnu vrstu svjetla zamjenili sa Volframovim izvorom ili sa nekom drugim izvorom kao npr., UV izvor (fluorescent).

Metamerizam izazvan vrstom svjetlosti jest pojava da dvije spektralne krivulje boja izgledaju jednako promatrajući ih pod jednim izvorom svjetla i različito promatrajući ih pod drugim izvorom svjetla.

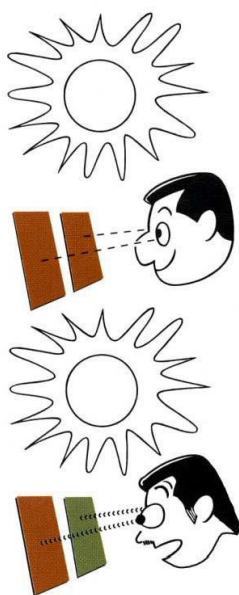


Slika 20 Metamerizam izazvan vrstom svjetlosti

(preuzeto sa: <http://saleecolour.com/index.php/en/technical/color-science-en.html>)

Metamerizam izazvan promatračem

Kada se dva objekta gledana pod istim izvorom svjetlosti jednom promatraču izgledaju isto, a drugom različito. Spektralna osjetljivost oka varira od promatrača do promatrača te se osjetljivost oka mijenja s godinama.



Slika 21 Metamerizam izazvan promatračem

(preuzeto sa: http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf)

Metamerizam izazvan veličinom polja

To se događa jer relativna proporcija triju vrsta membrana u mrežnici oka osjetljivih na svjetlo varira od središta vidnog polja do periferije. Rezultat toga je da boje koje vidimo kada ih promatramo kao vrlo male možemo vidjeti drugačije kada se predstave kao veliko područje boja. To je razlog zašto boja oslikana na zidu može izgledati drugačije nego boja na čipu koji se koristi za odabir boje, iako si boje odgovaraju kada čip prislonimo na zid. U tisku metamerija uvjetovana veličinom polja promatrača se obično događa kada se mali Pantone uzorak (eng.swatch) koristi za određivanje tiskarske boje koja će zauzeti veliko područje na arku.[8]

Metamerizam koji se pojavljuje promjenom geometrije promatranja uzorka

To je metamerizam koji rezultira situacijom u kojoj su dva objekta identična pod određenim uvjetima, ali kada se promijeni geometrija promatranja uzorka više nisu jednaki.

To može argumentirati jedan od razloga zašto muškarci i žene često doživljavaju boje različito. Uzrok tome je da je udaljenost između očiju žena, u prosjeku, nešto manja od udaljenosti očiju muškaraca.

2.3.2. Metamerija u grafičkoj tehnologiji

U grafičkoj tehnologiji pojava metamerizma se koristi kod reprodukcije višebojnih originala gdje na otisku optičkim miješanjem različitih rasterskih točkica nastaje otisak određene boje originala. Metamerija se pojavljuje i u fotografiji, gdje je balans bijele boje (eng. white balance) upravo primjer metamerije. Ako je bijeli papir izložen svjetlosti obične žarulje, papir će nam se činiti žutim. Međutim, upotrebom opcije balansa bijele boje (eng. white balance) papir ćemo na fotografiji zabilježiti bijelom bojom.

Metameriju u grafičkoj industriji može se koristiti i u svrhu „zaštite“. Primjerice, pri zaštiti od krivotvorenja ulaznica/novčanica određena reprodukcija na ulaznici se otisne s metamernom bojom koja je ista kao i ostatak boje na ulaznici pri dnevnom svjetlu. Ali pri drugom izvoru svjetla (npr. fluorescentni izvor) doživljavamo tu reprodukciju kao drugu boju.

Metamerija stvara veliki problem u industriji gdje je boja važna. Dvije boje će se podudarati unutar određenih uvjeta, dok se drugdje promjenom promatrača ili promjenom drugog izvora svjetla ili geometrije gledanja neće podudarati. To obično stvara neslaganje između proizvođača i naručitelja i izaziva kašnjenje u proizvodnji i gubitak.

Metameriju možemo ublažiti ili ukloniti korištenjem standardnih boja, odabirom boja koje ublažavaju metameriju te izbjegavanjem miješanja boja različitih proizvođača.

3. PRAKTIČNI DIO

3.1. Metode korištene za izradu završnog rada

Prilikom izrade završnog rada korištene su metode vizualnog ocjenjivanja boje te mjerenje boje spektralnim fotometrom.

3.1.2. Uređaji koji su korišteni pri izradi praktičnog djela

Uređaj za vizualno ocjenjivanje - Gretag Macbeth The Judge II

Vizualna ispitivanja su rađena korištenjem uređaja za vizualnu ocjenu boja sa različitim izvorima svjetla (eng. Color Match Box). U njima se uzorci uspoređuju pod različitim izvorima svjetlosti.

Specifikacije uređaja za vizualno ocjenjivanje:

Gretag Macbeth The Judge II

Emitira određene izvore svjetla:

DAY- dnevno svjetlo (D65)

TL84/U30 – fluorescentni izvor svjetla (koristi se u trgovačkim centrima)

A - Volframova žarulja sa žarnom niti (klasična umjetna svjetlost)

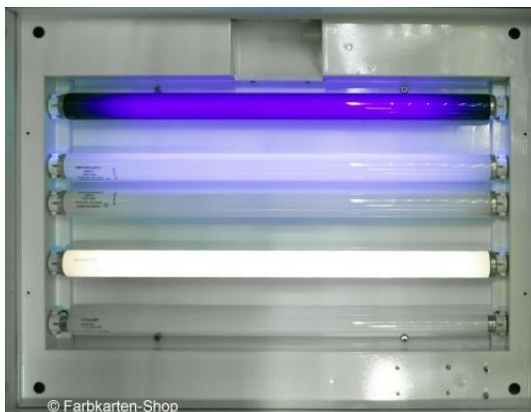
CWF - hladni bijeli florescentni izvor svjetla

UV - ultra ljubičasti spektar emitira



Slika 22 Macbeth Judge II

(preuzeto sa: <http://www.unitycolor.com/Testing-Technology/Standard-Light/Standard-Light-D65/Gretag-Macbeth-The-Judge-II-S::295.html>)



Slika 23 Prikaz izvora svjetlosti

(preuzeto sa: <http://www.unitycolor.com/Testing-Technology/Standard-Light/Standard-Light-D65/Gretag-Macbeth-The-Judge-II-S::295.html>)



Slika 24 Macbeth Judge II – prikaz izvora svjetla
(preuzeto sa: <http://www.hi1718.com/company/250668/products/20131030154240167.html>)

1) Spektralni fotometar - GretagMacbeth Eye-One XT

Spektrofotometar je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnih područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. U grafičkoj industriji najčešće se koriste spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 400 nm do 700 nm.

Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačni skup valnih dužina (ili intervale valnih duljina) pomoću monokromatora (prizma ili optička rešetka). Pojedinačnim valnim dužinama izdvojenim monokromatorom osvjetljava se ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij - oksid, MgO). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima u intervalima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali može očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spomenuta, spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroročunalo za izračunavanje CIE tristimultanih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se predvidjeti koji će izvori svjetla dovesti do pojave metamerije.[4]

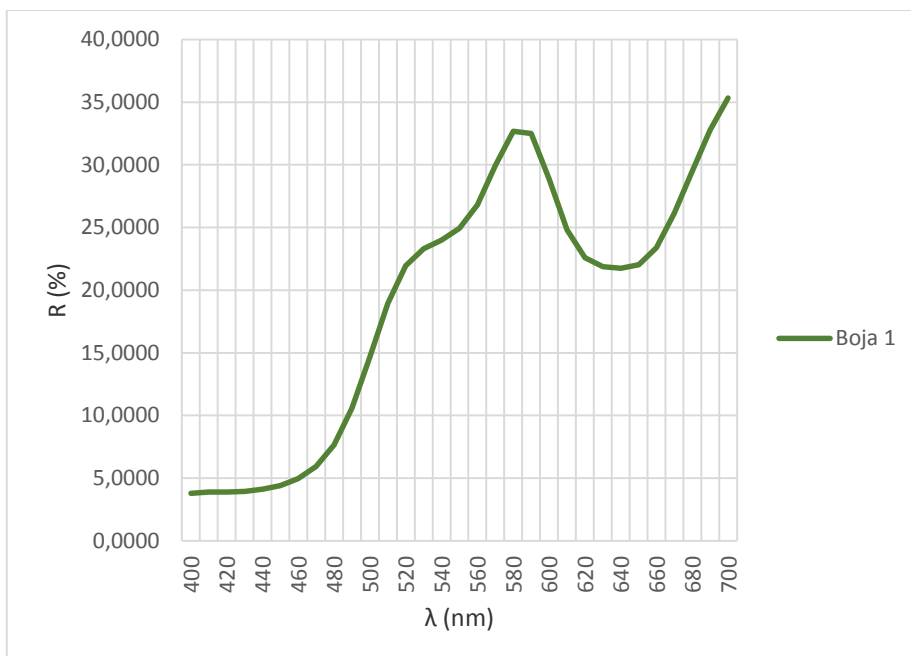


Slika 25 Spektrofotometar
(preuzeto sa: http://shops.mercatos.net/kupit/GretagMacbeth-Eye-One-XT-UV_365020.html)

3.1.3. Testni uzorci

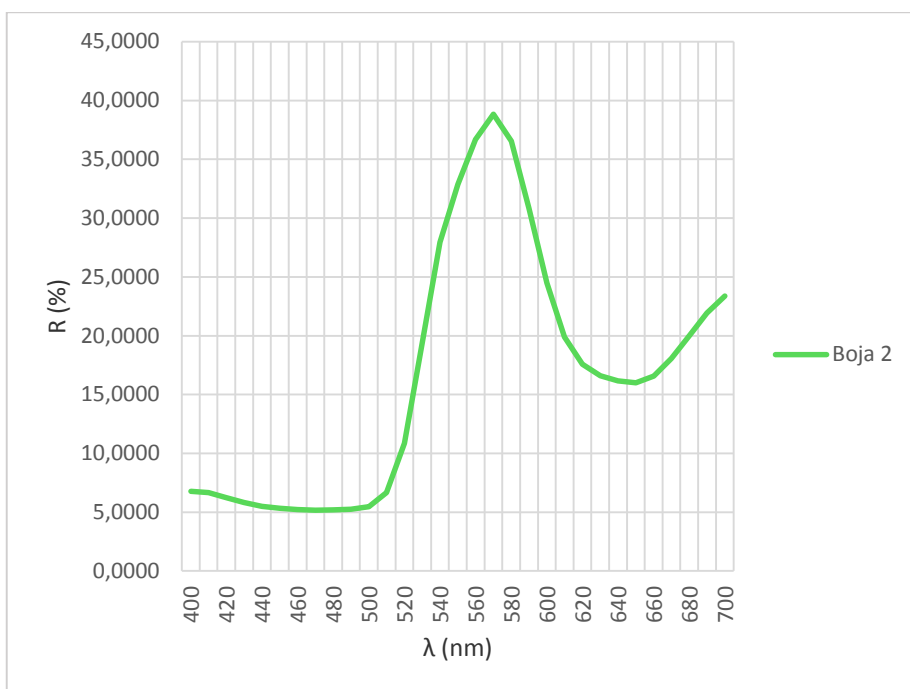
Pri izradi praktičnog dijela rada korištena su dva uzorka (uzorak 1 i uzorak 2). Oba uzorka su zelene boje, ali različitih spektralnih krivulja.

Uzorak 1:



Slika 26 Uzorak 1

Uzorak 2:



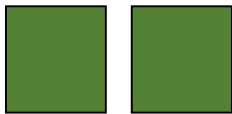
Slika 27 Uzorak 2

4. REZULTATI I RASPRAVA

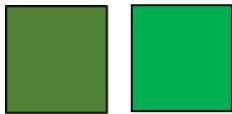
4.1. Rezultati vizualnog ocjenjivanja

Rezultati vizualnog ocjenjivanja uzoraka u Gretag Macbeth The Judge II uređaju su sljedeći:

- a) DAY- Pri dnevnom svjetlu uzorak 1 i uzorak 2 izgledaju identično, nema nikakve vizualne razlike



- b) U 30, TL 84 - Pri fluorescentnom izvoru svjetla uzorak 1 ostao je isti dok je uzorak 2 promijenio boju



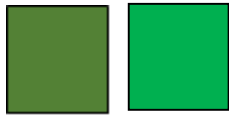
- c) A - Pri izvoru svjetlosti s Volframovom žaruljom razlika u boji između dvaju uzorka je primjetna, uzorak 1 nije promijenio boju za razliku od uzorka 2



- d) UV - Kod ultraljubičastog izvora svjetlosti je zastupljena najznačajnija promjena, uzorak 1 i uzorak 2 su postali potpuno crne boje



- e) CWF - Kod hladnog bijelog fluorescentnog uzorka, uzorak 1 je ostao iste boje dok je uzorak 2 promijenio boju



4.2. Rezultati mjerenja spektralnim fotometrom (GretagMacbeth Eye-One XT)

Rezultate mjerenja spektralnim fotometrom prikazani su u programu Colorshop X.

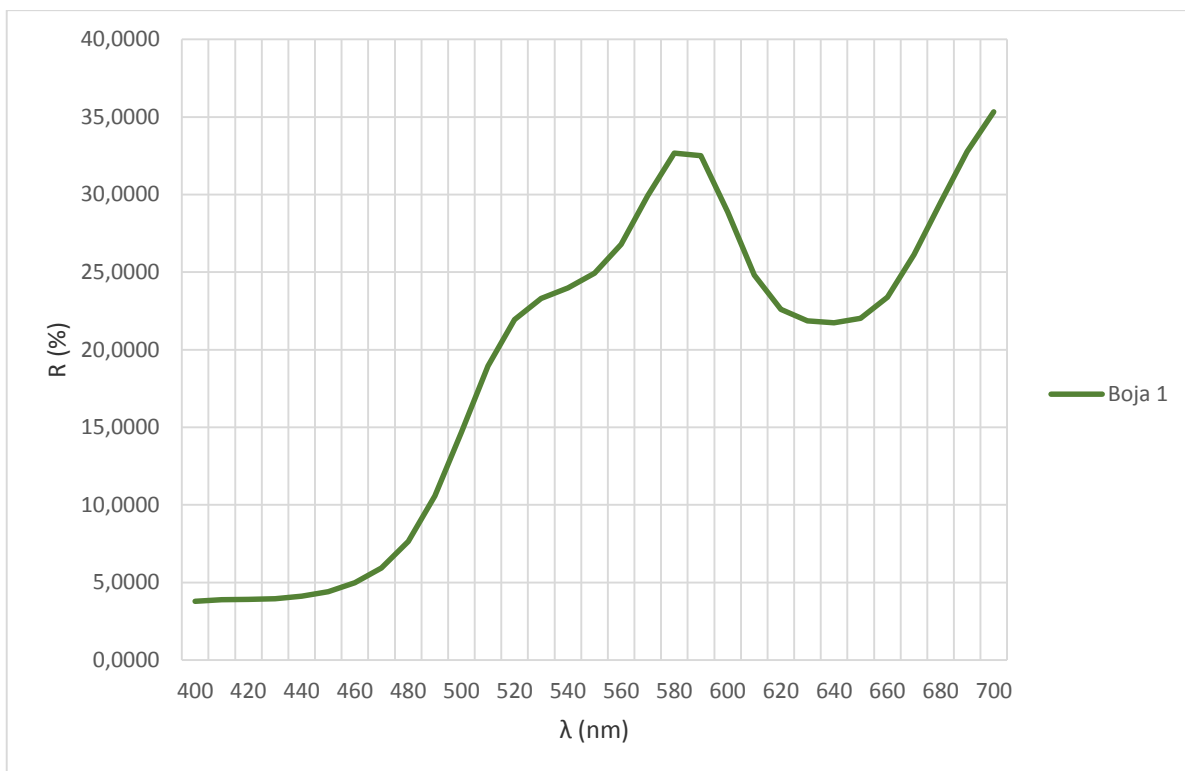
Tablica 1: Lab vrijednosti uzoraka

	Uzorak 1		Uzorak 2	
L	a	b	a	b
56.93	-4.43	47.03	-6.76	48.91

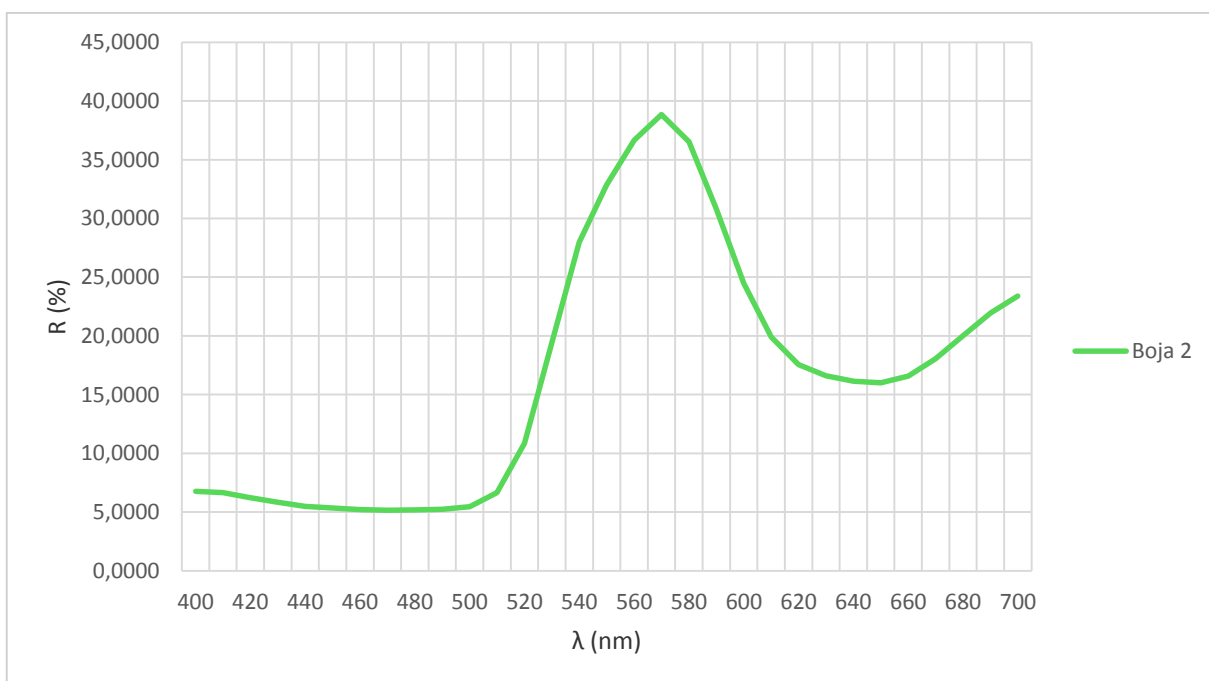
Tablica 2: Faktori refleksije pri određenoj valnoj dužini (duž spektra od 400 do 700nm):

	Uzorak 1	Uzorak 2
λ (nm)	R (%)	R (%)
400	3,7890	6,7736
410	3,8794	6,6526
420	3,8988	6,2261
430	3,9533	5,8235
440	4,1151	5,4909
450	4,4083	5,3323
460	4,9726	5,2192

470	5,9278	5,1677
480	7,6515	5,1949
490	10,5787	5,2369
500	14,6840	5,4647
510	18,9485	6,6587
520	21,9434	10,8566
530	23,3036	19,4568
540	23,9947	27,9599
550	24,9422	32,8743
560	26,7980	36,6761
570	29,9354	38,8432
580	32,6794	36,5376
590	32,5150	30,8339
600	28,8838	24,4831
610	24,8121	19,8914
620	22,5968	17,5681
630	21,8648	16,6008
640	21,7413	16,1511
650	22,0220	15,9980
660	23,3835	16,5669
670	26,1413	18,0543
680	29,4918	20,0001
690	32,7780	21,9404
700	35,3264	23,3823

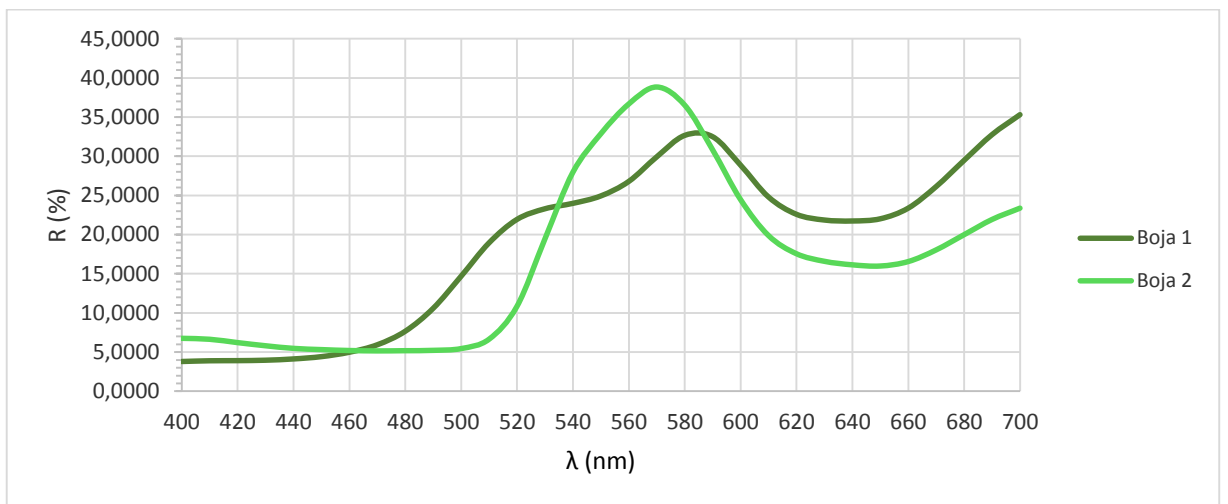


Slika 28 Spektrofotometrijska krivulja uzorka 1



Slika 29 Spektrofotometrijska krivulja uzorka 2

Ako grafički prikažemo spektrofotografske krivulje uzorka 1 i uzorka 2 dobijemo njihovo sjecište u 3 točke što nam je dokaz da su uzorak 1 i uzorak 2 metamerni par. Jer krivulje spektralne refleksije dvaju objekata koji stvaraju metamerni par moraju imati iste vrijednosti kod najmanje tri različite valne duljine vidljivog dijela spektra



Slika 30 Usporedba dva uzorka

5. ZAKLJUČAK

Cilj završnog rada bio je dokazati metameriju tako da su izabrani odgovarajući uzorci. Vizualna procjena provedena je opažanjem dviju boja različitih spektralnih krivulja pod različitim izvorima svjetlosti. Iz dobivenih rezultata potvrđena je pojava metamerije. Prilikom vizualnog ocjenjivanja primijetila se promjena boje pod određenim izvorima svjetlosti. Pod dnevnim svjetlom su uzorci izgledali identično dok se kod izvora svjetlosti s Volframovom niti primijetila razlika u boji između 2 uzorka.

Metamerija je dokzana i mjerenjem sa spektralnim fotometrom. Rezultat mjerenja su spektrofotometrijske krivulje, koje se sijeku (imaju iste vrijednosti kod tri različite valne duljine vidljivog dijela spektra) što također dokazuje postojanje metamerije.

6. LITERATURA

- [1] Linda Holtzschue (2011.), *Understanding color*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [2] Strgar Kurečić M. (2015)., *Osnove o boji*, 1. dio, dostupno na: http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%201.dio.pdf, 01.09.2015
- [3] Zjakić I. (2002)., *Utjecaj metamerije u tisku*, Magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [4] Sever R., Bobić I. (2010), *Kontrola kvalitete reprodukcije boja (mjerni uređaji za kontrolu kvalitete reprodukcije; denzitometar, kolorimetar i spektrofotometar)*, Seminarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [5] Strgar Kurečić M. (2015)., *Osnove o boji*, 2. dio, dostupno na: http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Osnove%20o%20boji%20-%20drugi%20dio.pdf, 01.09.2015.
- [6] ***https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_illuminant, preuzeto 27.08.2015
- [7] Knešaurek N. (2014)., *Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja*, dostupno na: http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitativne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf, 01.09.2015.
- [8] *** <http://www.stillcreekpress.com/metamerism>, preuzeto 03.09.2015.

