

# Primjena modela za prikaz boja kod tableta

---

**Mrkoci, Ines**

**Master's thesis / Diplomski 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:216:538724>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**INES MRKOCI**

**PRIMJENA MODELA ZA PRIKAZ BOJA  
KOD TABLETA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2015.



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

**INES MRKOCI**

# **PRIMJENA MODELA ZA PRIKAZ BOJA KOD TABLETA**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:  
izv. prof. dr. sc., Lidija Mandić

Student:  
Ines Mrkoci

Zagreb, 2015.

## **SAŽETAK**

Boja je psihofizički doživljaj za koji su potrebne tri komponente, svjetlost, obojeni objekt i vizualni sustav. Boju vidimo kada vidljiva svjetlost određene valne duljine padne na obojeni objekt prilikom čega dolazi do transmisije, apsorpcije ili refleksije. Vizualni sustav ima ulogu da svjetlost koja upada u oko preko optičkog živca bude prenesena u mozak.

Prilikom definiranja boje, za što jednostavnije razumjevanje, koriste se atributi boje kao što su ton, svjetlina i zasićenje. Kod modela za prikaz boja važno je razlikovati šest atributa boje, a to su svjetlina, relativna svjetlina, zasićenje, relativno zasićenje, apsolutno zasićenje i ton boje.

Doživljaj boje mijenja se ovisno o uvjetima promatranja. Iz tog razloga koriste se modeli za prikaz boje koji imaju sposobnost predviđanja promjene u boji koja je nastala zbog promjene u uvjetima promatranja, razini osvjetljenosti ili spoznaji.

Svaki od modela za prikaz boja ima određene prednosti i mane, te ne postoji jedinstveni model primjenjiv na sve sustave.

Ti modeli su CIELAB, CIELUV, Huntov model, Nayatani model, RLAB, ZLAB, LLAB, ATD model, CIECAM97s, CIECAM02.

U eksperimentalnom dijelu rada, pomoću kolorimetra mjerene su boje na četiri tableta sa ciljem pronalaska modela (RLAB, ZLAB, CIECAM97s, CIECAM02) koji bi se mogao primjenjivati na tabletima.

## **KLJUČNE RIJEČI**

Boja

Modeli za prikaz boje

Kromatska adaptacija

## **SUMMARY**

Color is a psychophysical experience that requires three components, light, colored object and the visual system. We see color when visible light of a specific wavelength falls on a colored object, then we have transmission, absorption or reflection. The visual system has a function to light that falls in to the eye, through the optic nerve transmit to the brain.

When we define colors, for simpler understanding, we use attributes such as hue, brightness and colorfulness. For color appearance models is important to distinguish between the six dimensions of color- brightness, lightness, saturation, colorfulness, chroma and hue.

Color experience changes depending on the viewing conditions. For this reason, models are used to display colors that have the ability to predict changes in color, which is caused by changes in the conditions of observation, the level of brightness or knowledge.

Each of color appearance models has some advantages and disadvantages, and there is no single model applicable to all systems. These models are CIELAB, CIELUV, Hunt model, Nayatani model, RLAB, ZLAB, LLAB, ATD model, CIECAM97s, CIECAM02.

In the experimental part, using the colorimeter measured the color on the four tablets with the aim of finding models (RLAB, ZLAB, CIECAM97s, CIECAM02) that could be applied to the tablets.

## **KEY WORDS**

Color

Color appearance model

chromatic adaptation

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. BOJA.....	2
2.1. Svjetlost.....	2
2.2. Objekt.....	3
2.3. Vizualni sustav.....	4
2.3.1. Štapići i čunjići.....	5
2.4. Karakteristike boje.....	7
2.4.1. ton boje.....	7
2.4.2. svjetlina boje.....	8
2.4.3. zasićenje boje.....	8
3. POJAVE BOJE.....	10
3.1. Vidno polje.....	12
3.2. Kromatska adaptacija.....	13
3.2.1. Modeli kromatske adaptacije.....	15
4. MODELI ZA PRIKAZ BOJA.....	17
4.1. RLAB.....	17
4.2. ZLAB.....	21
4.3. CIECAM97s.....	23
4.4. CIECAM02.....	28
4.5. Ostali modeli.....	33
4.5.1. Nayatani model.....	33
4.5.2. CIELAB.....	34
4.5.3. CIELUV.....	34
4.5.4. Huntov model.....	34
4.5.5. LLAB.....	35
4.5.6. ATD MODEL.....	36
5. EKSPERIMENTALNI DIO RADA.....	37
6. REZULTATI I RASPRAVA.....	41
6.1. ZLAB.....	41
6.2. CIECAM97s.....	44
6.3. CIECAM02.....	50
6.4. RLAB.....	54
7. ZAKLJUČAK.....	55
8. LITERATURA.....	56

## 1. UVOD

U današnje vrijeme slike se sve više gledaju na pametnim telefonima i tabletima, te je iz tog razloga veoma bitno upravljati reprodukcijom boja u digitalnom okruženju. Sustavi za upravljanje bojama koriste se za kontrolu i upravljanje bojama između različitih uređaja, no trenutno se ne koriste sustavi za upravljanje bojama koji bi osigurali kvalitetnu reprodukciju boja na tabletima. Modeli za prikaz boja opisuju boju unutar okruženja te tako imaju sposobnost predviđanja promjene u boji.

Svaki model za prikaz boja mora sadržavati neki oblik transformacije kromatske adaptacije. Najpoznatiji je Von Kriesov model kromatske adaptacije, te se većina modela za prikaz boja bazira na njemu.

Prvim modelima za prikaz boja mogu se smatrati CIELAB i CIELUV prostori boja. Oni su uključivali jednostavnu transformaciju kromatske adaptacije, te varijable kao što su ton, svjetlina i zasićenje. Nakon njih razvijeni su novi modeli sa svrhom predviđanja raznih pojava boje te ne postoji idealan model, već svaki ima neke mane, ali i prednosti pred ostalima. Posljednji razvijeni model za prikaz boja je CIECAM02 koji je zapravo prilagođeni CIECAM97s model. U radu su objašnjeni svi modeli za prikaz boja te njihove osnovne značajke.

## 2. BOJA

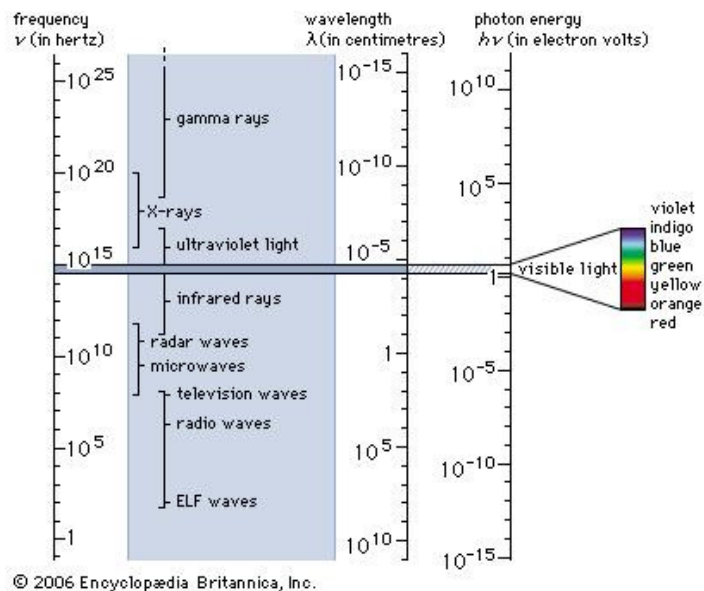
Za doživljaj boje moramo imati 3 osnovne komponente, izvor svjetlosti, vizualni sustav i obojeni objekt. Kada imamo te tri komponente boju možemo definirati kao psihofizički doživljaj uvjetovan izvorom svijetla, reflektiran s objekta i interpretiran u mozgu.

### 2.1.Svjetlost

Osnovna komponenta za doživljaj boje je svjetlost. Kada nema svjetlosti nema ni doživljaja boje.

„Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje se može detektirati u ljudskom oku. Elektromagnetsko zračenje ima iznimno širok raspon valnih duljina, od gama zraka, s valnim duljinama manjima od oko  $1 \times 10^{-11}$  metara, do radio valova mjenjenih u metrima. [1]

Kao što je prikazano na slici 1, spektar elektromagnetskog zračenja koji je vidljiv ljudskom oku vrlo je uzak, odnosno čini samo mali dio ukupnog spektra zračenja i to od oko 380 nm (ljubičasti dio spektra) do 780 nm (crveni dio spektra). Ljudsko oko zračenje koje se sastoji od svih valnih duljina percipira kao bijelu svjetlost.



© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

Slika 1: spektar elektromagnetskog zračenja

[<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/340440/light>]



Kada govorimo o svjetlosti moramo razlikovati izvore svjetla i iluminante. Pod pojmom „izvor svjetlosti“ opisujemo bilo koji objekt koji emitira „svjetlost“ (relativna distribucija energije u vidljivom spektru oko 380 – 750 nm). Kvaliteta i energija tom svjetlu nije opisana i može varirati: sunčeva svjetlost, na primjer varira tijekom dana i doba godine, te ovisno o vremenskim uvjetima. [2]

Izvori svjetlosti nisu standardizirani, odnosno zbog različite raspodjele spektralnog zračenja i temperature boje utječu na doživljaj boje. Iz tog razloga je CIE (*The international Commission of Illumination*) standardizirala izvore svjetlosti, te ih je nazvala iluminati (*engl. iluminante*). Iluminati su definirani preko matematičkih tablica vrijednosti, te su samim time i ponovljivi. CIE je izvore svjetla definirao kao izvor A, izvor B, izvor C, izvor D, izvor E, izvor F.

Izvor A predstavlja svjetlost dobivenu žaruljom sa volframovom žarnom niti. Temperatura boje iznosi 2856 K. Izvori B i C predstavljaju izravnu i prosječnu dnevnu svjetlost. Mogu se dobiti iz izvora A korištenjem filtera visoke apsorpcije u crvenom dijelu spektra.[3]

Temperatura boje izvora B iznosi 4874 K, dok temperatura boje izvora C iznosi 6774 K. Izvori D su definirani 1964. godine nakon više mjerenja stvarne dnevne svjetlosti. Od izvora D najčešće se koriste D50 (temperature boje od 5003 K), D55 (temperature boje od 5003 K) i D65 (temperature boje od 6504 K), dok postoji još i D75 (temperature boje od 7504 K).

Izvor E definirani su jednakom spektralnom raspodjelom snage na svim valnim duljinama. Izvori F predstavljaju tipičnu spektralnu raspodjelu snage za različite fluorescentne izvore (njih 12).

## 2.2. Objekt

Obojani objekt je druga stavka potrebna za doživljaj boje. Kada svjetlost obasja objekt može doći do apsorpcije, refleksije ili transmisije, a pritom mora biti ispunjen zakon očuvanja energije. Kao što je prikazano u jednadžbi, upadni tok zračenja ( $\Phi(\lambda)$ ) mora biti jednak zbroju apsorbiranog ( $A(\lambda)$ ), transmitiranog ( $T(\lambda)$ ) i reflektiranog ( $R(\lambda)$ ) toka zračenja.

$$\Phi(\lambda) = A(\lambda) + R(\lambda) + T(\lambda) \quad (1)$$

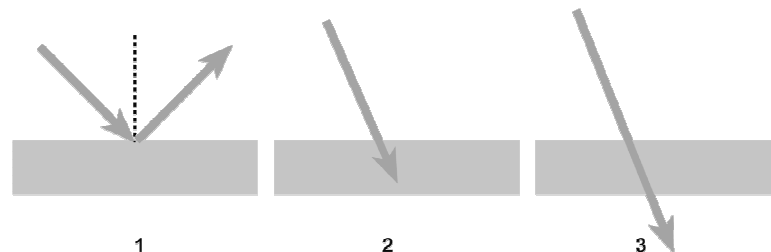
Pojam refleksija se odnosi na sve interakcije svjetlosti i materije kada su fotoni poslani natrag u hemisferu upadne svjetlosti. [4]

Razlikujemo dvije vrste refleksije, zrcalnu refleksiju i difuznu refleksiju. Kada svjetlost upada na ravnu, glatku plohu kut upadne zrake i kut reflektirane zrake je jednak i tada govorimo o zrcalnoj refleksiji. Kada svjetlost upada na hrapavu plohu dolazi do difuzne refleksije, odnosno svjetlost se reflektira u različitim smjerovima. Koeficijent refleksije definiramo kao omjer reflektiranog zračenja s neke površine i upadnog toka zračenja na tu površinu.

Apsorpcija svjetlosti je pojam koji se odnosi na sve procese koji smanjuju intenzitet zraka svjetlosti pri interakciji s materijom. [4]

Mehanizmi apsorpcije se razlikuje ovisno o vrsti tvari (kruto, tekuće, plinovito). Koeficijent apsorpcije je omjer apsorbiranog zračenja i upadnog toka zračenja.

Transmisiju svjetlosti možemo definirati kao prolaz zrake svjetlosti kroz neki materijal. Koeficijent transmisije je omjer transmitiranog zračenja i upadnog toka zračenja na neku podlogu. Slika 2 prikazuje zrcalnu refleksiju, apsorpciju i transmisiju.

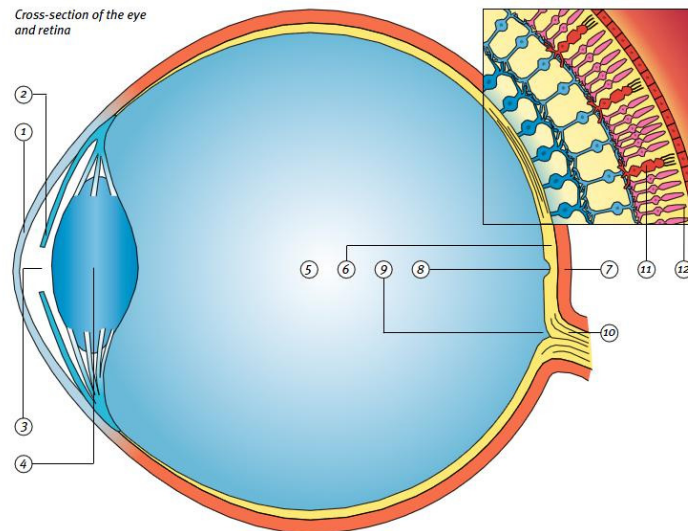


Slika 2: refleksija (1), apsorpcija (2), transmisija (3)

### 2.3. Vizualni sustav

Posljednje što nam je potrebno za uspješan doživljaj boje je zdrav vizualni sustav.

Ljudsko oko se ponaša kao kamera. Rožnica i leća djeluju zajedno kao objektiv fotoaparata koji fokusira sliku na mrežnici u pozadini oka koja djeluje kao film ili senzor. [5]



*Slika 3: građa ljudskog oka*

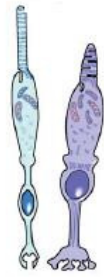
1- rožnica, 2- šarenica, 3- zjenica, 4- leća, 5- staklasto tijelo, 6- mrežnica, 7- bjeloočnica,  
8- fovea, 9- slijepa pjega, 10- vidni živac, 11- čunjići, 12- štapići

[Hofmann, J. P. (2007). *Digital Color Management-Principles and Strategies for the Standardized Print Production*, Springer, Berlin Heidelberg]

Dakle, oko stvara sliku na način da svjetlost ulazi kroz rožnicu te prolazi do zjenice. Zjenica je osjetljiva na svjetlo te se smanjuje i širi ovisno o jačini svjetla. Zjenica na taj način regulira količinu svjetla koje ulazi u oko. Pri slabom svjetlu zjenica se širi da bi propustila više svjetla u oko dok se pri jakom svjetlu sužava da propusti manje svjetla. Kroz zjenicu svjetlost prolazi do leće. U unutrašnjosti oka nalazi se staklasto tijelo, a iza njega, u pozadini oka nalazi se mrežnica. Na mrežnici se isto tako nalaze i fovea, koja je najosjetljivija na svjetlost i najzaslužnija za oštrinu vida, i slijepa pjega, koja je neosjetljiva na svjetlo, te u njoj počinje vidni živac. Foveu od zračenja kratkih valnih duljina štiti žuti filter, macula. Sliku do mozga prenosi optički živac koji tvore ganglijske stanice u koji se preko mreže živaca prenose električni signali iz fotoosjetljivih stanica.

### 2.3.1. Štapići i čunjići

Mrežnica se sastoji od oko 120 milijuna fotoosjetljivih receptora. Ti receptori su poznati kao štapići i čunjići. Postoji samo oko 7 milijuna čunjića i oni se nalaze uglavnom u fovei. Prema rubu mrežnice pojavljuju se štapići. [5]



Slika 4: štapići (lijevo) i čunjići (desno)

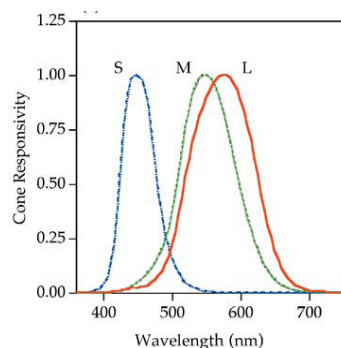
[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Osim što se razlikuju prema obliku (slika 4) , štapići i čunjići imaju različitu ulogu. Pri niskim razinama osvjetljenosti manjima od  $1 \text{ cd/m}^2$  aktivni su samo štapići, pri osvjetljenosti od  $1\text{-}100 \text{ cd/m}^2$  aktivni su i štapići i čunjići, dok pri razinama osvjetljenosti većima od  $100 \text{ cd/m}^2$  dolazi do zasićenje štapića te funkcioniraju samo čunjići. [5]

Dakle, štapići služe za gledanje uz vrlo malu rasvjetu ili u tamnijim uvjetima, dok čunjići služe za gledanje uz normalnu ili jaku rasvjetu. Vid kada su aktivni samo štapići nazivamo skotopički, a vid kada su aktivni samo čunjići nazivamo fotopički vid.

Razlika između štapića i čunjića je u tome što su štapići slijepi za boje, te su samo čunjići odgovorni za percepciju boje. Postoje tri različite vrste čunjića, a svaka je posebno osjetljiva na određeni dio spektra. [6]

Razlikujemo samo jedan tip štapića, maksimalne spektralne osjetljivosti od oko  $510\text{nm}$  i tri tipa čunjića, L, M, i S. L čunjići su osjetljivi na duge valne duljine, M čunjići su osjetljivi na srednje valne duljine, dok S čunjići imaju osjetljivost na kratke valne duljine, kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5: spektralna osjetljivost L, M, S čunjića

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Broj L, M, i S čunjića u mrežnici nije jednak, najviše ima L čunjića dok najmanje ima S čunjića. Relativna raspodjela L:M:S čunjića je odprilike 12:6:1 (s procjenama čak 40:20:1). [5]

## 2.4. Karakteristike boje

Boju je teško opisati, svi znamo što je boja no imamo poteškoća sa opisivanjem izgleda boje. Ne pomislim svi na istu boju kada nam netko kaže na primjer, svijetlo plava, svaki čovjek ima svoju percepciju te boje. Zato je bilo potrebno uvesti pojmove pomoću kojih se lakše opisivalo, odnosno definiralo boje.

Prilikom definiranja boje koristimo pojmove ton, zasićenje i svjetlina. Pomoću ta tri atributa možemo opisati svaku boju, te na taj način postizemo veće sporazumjevanje što se tiče boja.

Boje opažamo na dva načina- kada pripadaju nekom obojenom objektu te ih promatramo izolirano od drugih obojenih podražaja (*engl. unrelated colors*) i kada boje promatramo u odnosu na druge obojane podražaje (*engl. related colors*). [5]

Kada boje promatramo izolirano od drugih podražaja boju definiramo preko tona, svjetline i zasićenja. Međutim kada boje promatramo u odnosu na druge podražaje razlikujemo ton, svjetlinu, relativnu svjetlinu, relativno zasićenje, apsolutno zasićenje i zasićenje.

### 2.4.1. ton boje

Ton boje (*engl. hue*) je atribut koji ovisno o dominantnoj valnoj duljini definira pojedinu boju. Na primjer crvena, plava, žuta, zelena.

Prema tonu razlikujemo kromatske i akromatske boje. Kromatske boje su one koje imaju ton, odnosno dominantnu valnu duljinu, dok akromatske boje nemaju dominantnu valnu duljinu.

Boje nazivamo po imenu najočitijeg ili dominantnog tona. Svaki naziv boje predstavlja naziv skupine srodnih tonova. Gotovo svi uzorci boja uključuju više od jednog tona, no jedan ton je očitiji, te su drugi prisutni u manjem omjeru.

Uzorak se može činiti čisto žut sve dok se ne stavi do drugačijeg žutog uzorka. Odjednom, vidi se da jedan žuti sadrži malo zelene, a drugi malo narančaste. Oba se nazivaju žutima jer žuta prevladava u oba. [7]

Primjer tona boje prikazan je na slici 6 a.

#### 2.4.2. svjetlina boje

Prilikom definiranja svjetline razlikujemo svjetlinu (*engl. brightness*) i relativnu svjetlinu (*engl. lightness*).

Svjetlina je karakteristika boje koja ovisi o intenzitetu zračenja.

Relativna svjetlina je karakteristika boje površine procjenjena u odnosu na svjetlinu slično osvjetljene površine (koja izgleda bijelo).

Osnovna razlika je u tome što se svjetlina odnosi na apsolutnu razinu percepcije, dok se relativna svjetlina smatra relativnom - normaliziranom za promjene u osvjetljenju i uvjetima promatranja. [5]

Primjer svjetline boje prikazan je na slici 6 b.

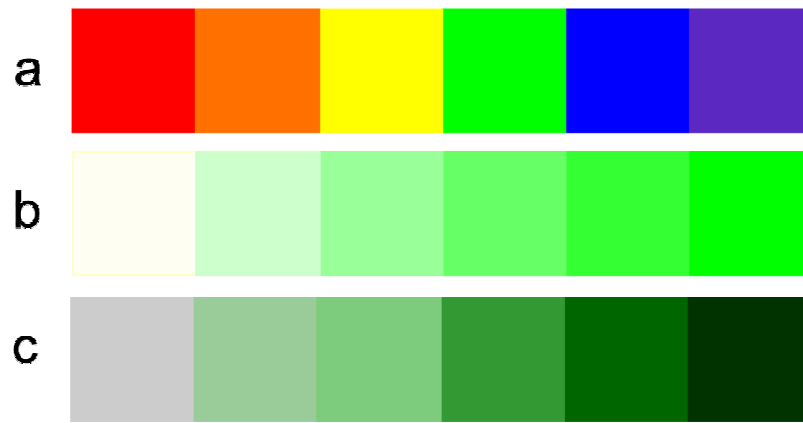
#### 2.4.3. zasićenje boje

Prilikom definiranja zasićenja boje razlikujemo zasićenje (*engl. colorfulness*), relativno zasićenje (*engl. chroma*) i apsolutno zasićenje (*engl. saturation*).

Zasićenje je karakteristika boje prema kojem je opažena boja više ili manje kromatska. Povećanjem nivoa luminancije zasićenje raste.

Relativno zasićenje je karakteristika boje koja se procjenjuje kao zasićenje površine, procjenjeno u odnosu na zasićenje slično osvjetljene površine (koja izgleda bijelo), dok se apsolutno zasićenje procjenjuje u odnosu na svjetlinu samog uzorka. [5]

Primjer zasićenja prikazan je na slici 6 c.



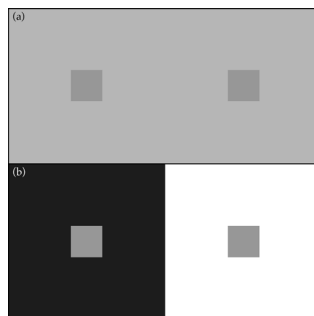
*Slika 6: ton boje (a), svjetlina (b), zasićenje (c)*

### 3. POJAVE BOJE

Dva podražaja jednakih tristimulusnih vrijednosti neće nam uvijek i u svim uvjetima izgledati jednako. Razlike u podražajima uočavamo zbog razlike u uvjetima gledanja, osvjetljenosti, okruženju, veličini i obliku podražaja, pozadini...

Istodobni kontrast, zapažanje kolorimetrijske razlike (*engl. crispening*) i prekrivanje (*engl. spreading*) su pojave koje su vezane uz prostornu strukturu podražaja. Huntov efekt, Stevencov efekt i Helmholtz-Kohlrauschov efekt su vezani uz promjene u osvjetljenosti, dok su Bezold-Brückova promjena tona i Abneyev efekt vezani uz promjenu tona. Istodobni kontrast je pojava vezana uz utjecaj pozadine na prikaz boje. [5]

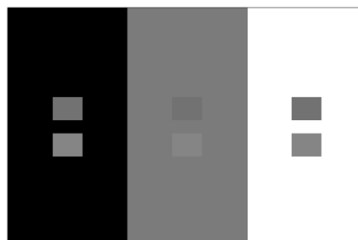
Kao što je vidljivo na slici 7, dva siva uzorka jednakih tropsdražajnih vrijednosti smještena na crnu i bijelu pozadinu ne izgledaju jednako. Sivi uzorak smješten na bijelu pozadinu djeluje tamnije, dok uzorak smješten na crnoj pozadini djeluje svjetlije.



Slika 7: istodobni kontrast

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Zapažanje kolorimetrijske razlike, prikazano na slici 8, pojava je koja pokazuje da se razlika između dva uzorka povećava ako se ti uzorci nalaze na pozadini sličnoj njihovoj boji.



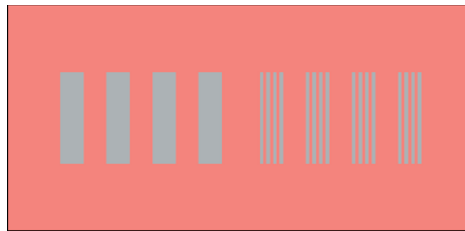
Slika 8: zapažanje kolorimetrijske razlike

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]



Prekrivanje je pojava vezana uz istodobni kontrast, odnosno povećanjem ili smanjenjem prostorne frekvencije pojava istodobnog kontrasta nestaje i dolazi do prekrivanja. Prekrivanje se odnosi na prividno mješanje boje podražaja s njegovom okolinom. Ovaj efekt završava u trenutku kada dolazi do prostornog spajanja kada se podražaj više ne može vidjeti kao diskretan, već kao da se spojio u jedan podražaj (kao kada se rasterska slika gleda sa dovoljne udaljenosti da se pojedini rasterski element ne može uočiti). [5]

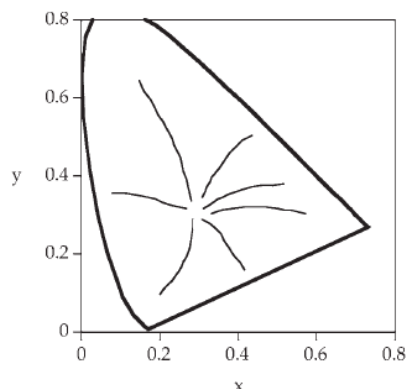
Slika 9 prikazuje istodobni kontrasti i prekrivanje.



*Slika 9: razlika između istodobnog kontrasta i prekrivanja*  
[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Promjena tona s luminancijom naziva se i Bezold-Brückova promjena tona. Kod ove pojave do promjene dolazi kod promatranja tona monokromatskog podražaja pri promjeni luminancije.

Promjena tona s kolorimetrijskom čistoćom naziva se još i Abneyev efekt. Ova pojava govori da mješanjem monokromatske svjetlosti bijelom ne održava konstantnost tona. Za održavanje konstantnosti tona linije od izvora svjetla do monokromatskog svjetla ne smiju bit ravne, već zakrivljene, kao što je prikazano na slici 10.



*Slika 10: promjena tona s kolorimetrijskom čistoćom*  
[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Huntov efekt govori da se zasićenje podražaja mijenja ovisno o nivou luminancije, dake boje gledane na podnevnom svjetlu nama izgledaju zasićenije nego kada te iste boje gledamo u sumrak ili zoru. [5]

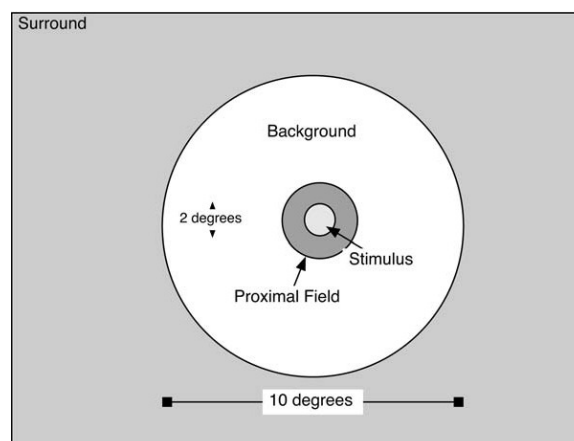
Stevensov efekt govori da se svjetlina (kontrast) povećava kako se povećava nivo luminancije. Prema Stevensovom efektu povećanjem nivoa luminancije svjetle boje će nam izgledati svjetlije. Smanjenjem luminancije doći će do suprotnog učinka kod svjetlijih boja, odnosno svjetlije boje će izgledati tamnijima, dok će tamne boje i dalje djelovati tamno.

Helmholtz-Kohlrauschov efekt pokazuje da pri konstantnoj luminanciji s povećanjem zasićenja raste i opažena svjetlina, te je ovisna o tonu boje.

Bartleson i Breneman istraživali su utjecaj osvjetljenosti i okoline na kompleksni podražaj, te su došli do zaključka da se kontrast slike povećava s povećanjem osvjetljenosti okoline. Zanemarivanje izvora svjetlosti je kognitivna sposobnost promatrača da neovisno o promjeni izvora svjetla opaža boju objekta. [5]

### 3.1. Vidno polje

Vidno polje ili područje promatranja podjeljeno je na četiri dijela koja zajedno čine polje u kojem promatramo podražaj. Ta četiri dijela su- podražaj (*engl. stimulus*), približno polje (*engl. proximal field*), pozadina (*engl. background*) i okolina (*engl. surround*) (slika 11).



Slika 11: prikaz vidnog polja  
[Sharma G. (2003). *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press]

Podražaj je uniformni uzorak sa vidnim poljem od oko  $2^\circ$  za koje se pretpostavlja da odgovara vidnom polju CIE 1931 standardnog promatrača. Približno polje predstavlja polje neposredno oko podražaja, a koje je prošireno za  $2^\circ$  od ruba podražaja. Približno polje se koristi za mjerenje pojava kao što su prekrivanje i zapažanje kolorimetrijske razlike. Pozadina je područje oko podražaja prošireno za  $10^\circ$  od ruba podražaja. [5]

Obično se pretpostavlja da je pozadina konstantna i da ima neke srednje vrijednosti kromatičnosti i faktora luminancije (na primjer neutralna siva sa 20% faktora luminancije). Alternativno, pozadinom se može smatrati prostor neposredno uz sliku. [5]

Okolina je područje oko pozadine.

Modeli za prikaz boja nastoje pojednostaviti okolinu sa nekoliko različitih kategorija: tamna, prigušena i prosječna. Na primjer, kino se smatra tamnom okolinom, dok se televizor gleda u prigušenoj okolini. [4]

### **3.2. Kromatska adaptacija**

Ljudski vizualni sustav je, uz relativno stabilnu percepciju, u stanju funkcionirati kroz velike promjene u uvjetima promatranja. Mehanizam koji to omogućuje je poznat kao adaptacija. Adaptacija omogućuje da se opća osjetljivost svakog podražaja mijenja ovisno o uvjetima podražaja. Tri vrste adaptacije su važne za modeliranje vida i slika u boji: adaptacija na svjetlo, tamu i kromatska adaptacija. [4]

Adaptacija na tamu i svjetlo opisuje sposobnost prilagodbe vizualnog sustava na promjene u osvjetljenosti, dok kromatska adaptacija predstavlja sposobnost prilagodbe vizualnog sustava prilikom promjene boje svjetla.

Adaptacija na svjetlo i na tamu traje različito dugo, adaptacija na svjetlo traje nekoliko trenutaka, dok potpuna adaptacija na tamu može potrajati i nekoliko minuta.

Kromatska adaptacija odnosi se na sposobnost ljudskog vizualnog sustava da se prilagodi cjelokupnoj boji osvjetljenja umjesto apsolutnoj razini osvjetljenja. To se najbolje može objasniti na primjeru. Zamislimo bijeli objekt kao što je list papira. Taj papir možemo promatrati pod različitim izvorima svjetla, kao što je

dnevna svjetlost, svjetlost žarulja, fluorescentna svjetlost. Unatoč velikim razlikama u boji tih izvora (od plave do narančaste), papir će uvijek zadržati približno bijeli izgled. [4]

Slika 12 prikazuje kako bi ista slika izgledala prilikom promatranja pod različitim izvorima svjetla. Na slici pod (a) je prikazano kako bi slika izgledala promatrana na dnevnoj svjetlosti. Na slici (b) je prikazano kako bi ta ista slika izgledala promatrana pod žaruljom sa žarnom niti, no za sustav bez kromatske adaptacije, dok slika (c) prikazuje istu sliku promatranu pod žaruljom sa žarnom niti pomoću sustava adaptacije slične ljudskom vizualnom susutavu.



*Slika 12: prikaz izgleda iste slike, pod dnevnim svjetlom (a), te pod izvorom sa žarnom niti- sa (c) i bez (b) sustava kromatske adaptacije*

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

Mehanizmi kromatske adaptacije se mogu podijeliti u dvije skupine, pa tako imamo senzorne i kognitivne mehanizme. Senzorni mehanizmi su oni koji automatski reagiraju na energiju podražaja, dok s druge strane kognitivni mehanizmi su oni mehanizmi koji se zasnivaju na poznavanju scene.

Najrazrađeniji podaci o kromatskoj adaptaciji su odgovarajuće boje.

Odgovarajuće boje su definirane kao dva podražaja promatrana pod različitim uvjetima gledanja, a koji se poklapaju u izgledu. [5]

Razlikujemo nekoliko tehnika kao što su asimetrično uspoređivanje, haploskopsko uspoređivanje, memorijsko uspoređivanje i uspoređivanje boja procjenom veličine.

Asimetrično uspoređivanje se koristi kod uspoređivanja boja u različitim uvjetima promatranja. Kod haploskopskog uspoređivanja svako oko prilagodimo drugim uvjetima gledanja, nakon toga podražaj jednog oka (prilagođen jednim uvjetima) uspoređujemo s podražajem drugog oka. Kod memorijskog uspoređivanja, promatrač izjednačava boje u jednim uvjetima promatranja sa zapamćenim bojama u drugim uvjetima promatranja. Prilikom uspoređivanja boje procjenom veličine promatrač dodjeljuje vrijednosti atributima boje (tonu, zasićenju, svjetlini). [5]

### 3.2.1. Modeli kromatske adaptacije

Modeli kromatske adaptacije omogućuju predviđanje odgovarajućih boja.

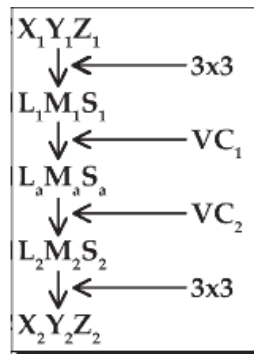
Model kromatske adaptacije je dizajniran za predviđanje tri signala čunjića,  $L_a$ ,  $M_a$ ,  $S_a$ , nakon što su svi utjecaji adaptacije uključeni nakon početnog signala čunjića,  $L$ ,  $M$ ,  $S$ . Takav model kao minimum zahtjeva pobudu čunjića za prilagodbu podražaja,  $L_{white}$ ,  $M_{white}$ ,  $S_{white}$ . Model kromatske adaptacije može se pretvoriti u transformaciju kromatske adaptacije kombinacijom početnih uvjeta za jedan set uvjeta promatranja i inverznog modela za druge uvjete. [5]

Na slici 13 je prikazan dijagram toka primjene kromatske adaptacije modela za izračun odgovarajućih boja.

Kao što je vidljivo na slici 13, kromatska adaptacija počinje sa  $X_1Y_1Z_1$  vrijednostima za prve uvjete promatranja koje se potom transformiraju u pobudu čunjića  $L_1M_1S_1$ . Nakon toga se uvode podaci za prve uvjete gledanja ( $VC_1$ )

korištenjem modela kromatske adaptacije za predviđanje prilagođenog signala čunjića ( $L_aM_aS_a$ ). Nakon toga provodi se suprotni postupak za drugi set uvjeta gledanja ( $VC_2$ ) te se određuju odgovarajuće boje kao pobuda čunjića  $L_2M_2S_2$ , te se preko toga dolazi do konačnih vrijednosti  $X_2Y_2Z_2$ .

Postoji nekoliko modela kromatske adaptacije, no najpoznatiji je Von Kriesov model, te je većina modela za prikaz boja bazirana na njemu.



Slika 13: dijagram toka kromatske adaptacije

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

## 4. MODELI ZA PRIKAZ BOJA

Da bi se neki model mogao nazvati modelom za prikaz boje, on mora sadržavati barem neke oblike transformacije vezane uz kromatsku adaptaciju, te mora uključiti varijable relativnih percepcijskih karakteristika boja, a to su ton, zasićenje i svjetlina.

Postoje različiti modeli za prikaz boja koji pokušavaju predvidjeti prikaz boja u različitim uvjetima promatranja. Svaki model ima svoje prednosti i nedostatke tako da ne postoji jedinstveni model primjenjiv na sve sustave. Modeli za prikaz boje su CIELAB, CIELUV, Huntov model, Nayatani model, RLAB, ZLAB, LLAB, ATD model, CIECAM97s, CIECAM02, te su pojašnjeni u nastavku.

### 4.1 RLAB

RLAB model je jednostavan model za prikaz boja namjenjen praktičnoj primjeni. RLAB model je posebno baziran na cross-media reprodukciju slike, kao što je CRT i sustav ispisa, a izrađen je da bi proširio CIE kolorimetriju. Zbog njegovog jednostavnog dizajna, nema sposobnost predviđanja prikaza u korelaciji s svjetlinom i relativnom svjetlinom. Isto tako nije namjenjen za uporabu širokih razina osvjetljenosti i ne predviđa efekte vezane uz osvjetljenost kao što su Huntov i Steversonov efekt. [4]

RLAB uključuje prediktore relativne svjetline  $L^R$ , crveno-zelenu  $a^R$ , žuto-plavo  $b^R$ , ton  $C^R$  te kut tona  $h^R$ . Ovi prediktori prikaza su izračunati pomoću jednadžbe gotovo identične CIELAB jednadžbi nakon podražaja tropodražajnih vrijednosti pretvorenih u odgovarajuće tropodražajne vrijednosti za referentne uvjete promatranja (D65, 318 cd/m<sup>2</sup>). [8]

Ulazni podaci za RLAB model za prikaz boja su relativne tristimulusne vrijednosti podražaja (XYZ), tristimulusne vrijednosti bijele točke ( $X_n Y_n Z_n$ ), apsolutno osvjetljenje bijelog objekta u sceni (izraženo u cd/m<sup>2</sup>) te relativno osvjetljenje okoline (prosječno, tamno, prigušeno).

Kromatska adaptacija RLAB modela se temelji na Fairchildovoj nepotpunoj kromatskoj adaptaciji, a prikazana je u jednadžbama 2 i 3.

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Transformacija u odziv čunjića vrši se na način da je matrica  $M$  normalizirana tako da su vrijednosti tristimulusnih vrijednosti jednake energije osvjetljenja ( $X=Y=Z=100$ ) i daju jednake odzive čunjića ( $L=M=S=100$ ). U jednadžbi 4 je prikazana matrica  $A$  koja se koristi za izračun modela prilagodbe kromatske adaptacije. Ta matrica predstavlja Von Kriesovu prilagodbu koeficijenata (koeficijenti se izračunavaju pomoću jednadžbi 5-10 primjenjivih na odziv čunjića podražaja ( $LMS$ )). U jednadžbama 5-10,  $p$  označava dio kompletne Von Kriesove adaptacije, a izračunavaju se pomoću jednadžba 8-10.  $Y_n$  u jednadžbama označava apsolutnu prilagodbu svjetline (u  $\text{cd/m}^2$ ) dok  $L_n, M_n, S_n$  označavaju vrijednosti prilagodbe stimulusa dobivene iz relativnih tristimulusnih vrijednosti. [5]

U jednadžbama varijabla  $D$  može poprimiti vrijednosti između 0.0 i 1.0, odnosno 1.0 je za otiske, vrijednost 0.0 uzima za prikaz na zaslonu, dok se vrijednosti između uzimaju u situacijama kada se projiciraju folije u potpuno zamračenoj sobi. [5]

$$A = \begin{bmatrix} a_L & 0 & 0 \\ 0 & a_M & 0 \\ 0 & 0 & a_S \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$a_L = \frac{p_L + D(1.0 - p_L)}{L_n} \quad (5)$$

$$a_M = \frac{p_M + D(1.0 - p_M)}{M_n} \quad (6)$$



$$a_s = \frac{p_s + D(1.0 - p_s)}{S_n} \quad (7)$$

$$p_L = \frac{(1.0 + Y_n^{1/3} + l_E)}{(1.0 + Y_n^{1/3} + 1.0/l_E)} \quad \text{gdje je } l_e = \frac{3.0L_n}{L_n + M_n + S_n} \quad (8)$$

$$p_M = \frac{(1.0 + Y_n^{1/3} + m_E)}{(1.0 + Y_n^{1/3} + 1.0/m_E)} \quad \text{gdje je } m_e = \frac{3.0M_n}{L_n + M_n + S_n} \quad (9)$$

$$p_S = \frac{(1.0 + Y_n^{1/3} + s_E)}{(1.0 + Y_n^{1/3} + 1.0/s_E)} \quad \text{gdje je } s_e = \frac{3.0S_n}{L_n + M_n + S_n} \quad (10)$$

Nakon izračunavanja matrice  $A$  tristimulusne vrijednosti za boju podražaja se konvertiraju u odgovarajuće tristimulusne vrijednosti definiranih uvjeta promatranja. Ta konverzija je prikazana u jednadžbama 11 i 12, gdje matrica  $R$  predstavlja inverz matrica  $A$  i  $M$  za referentne uvjete promatranja ( $M^T A^{-1}$ ) s normalizacijom koja je uvijek konstantna. [5]

$$\begin{bmatrix} X_{ref} \\ Y_{ref} \\ Z_{ref} \end{bmatrix} = \text{RAM} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1.9569 & -1.1882 & 0.2313 \\ 0.3612 & 0.6388 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Time završava kromatska adaptacija te se u idućem koraku koriste te referentne tristimulusne vrijednosti za izračunavanje modifikacije prikaza CIELAB vrijednosti.

Suprotni odzivi u RLAB modelu izračunavaju se prema jednadžbama 13-15, u kojima  $L_R$  predstavlja akromatski odziv analogan  $L^*$  u CIELAB-u dok  $a_R$  i  $b_R$  predstavljaju crveno-zeleni ( $a^*$  u CIELAB-u), odnosno žuto-plavi odziv ( $b^*$  u CIELAB-u), dok  $X_{ref}$ ,  $Y_{ref}$ ,  $Z_{ref}$  predstavljaju  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  referentne vrijednosti.

$$L^R = 100(Y_{ref})^\sigma \quad (13)$$

$$a^R = 430[(X_{ref})^\sigma - (Y_{ref})^\sigma] \quad (14)$$

$$b^R = 170[(Y_{ref})^\sigma - (Z_{ref})^\sigma] \quad (15)$$

$$C^R = \sqrt{(a^R)^2 + (b^R)^2} \quad (16)$$

$$h^R = \tan^{-1}(b^R/a^R) \quad (17)$$

$$s^R = C^R/L^R \quad (18)$$

Za prosječno okruženje  $\sigma=1/2.3$ , za prigušeno okruženje  $\sigma=1/2.9$ , a za tamno okruženje  $\sigma=1/3.5$ . Prema definiciji, tamnim okruženjem smatra se kada je svjetlina nula, prigušeno osvjetljenje se smatra kada je relativna svjetlina manja od 20 posto bijele u slici, a prosječnim okruženjem se smatra kada je svjetlina jednaka ili veća od 20 posto bijele u slici. [8]

Preko jednadžbe 16 izračunava se ton ( $C^R$ ), a preko jednadžbe 17 kut tona ( $h^R$ ), koji je kao i kod CIELAB-a izražen u stupnjevima od 0 do 360. U jednadžbama 16 i 17  $b^R$  i  $a^R$  predstavljaju crveno-zeleni ( $a^*$  u CIELAB-u), odnosno žuto-plavi odziv ( $b^*$  u CIELAB-u), a izračunavaju se preko jednadžbi 14 i 15.

Apsolutno zasićenje ( $s^R$ ) računa se pomoću jednadžbe 18, preko prethodno izračunatog kuta tona ( $h^R$ ) i tona ( $C^R$ ).

Inverzni model RLAB modela je jednostavan za primjenu, te se sastoji od sljedećih 7 koraka.

1. korak: prikupljanje kolorimetrijskih podataka za ispitivanje i prilagodba podražaja i apsolutne svjetline prilagođavajućih podražaja. Odlučite se za zanemarivanje faktora izvora svjetla i eksponent (na temelju relativnog osvjetljenja okruženja).
2. korak: Izračunavanje matrice  $A$  kromatske adaptacije
3. korak: izračunavanje referentnih tristimulusnih vrijednosti
4. korak: izračunavanje parametara RLAB  $L^R$ ,  $a^R$  i  $b^R$
5. korak: koristeći  $a^R$  i  $b^R$  izračuna se  $C^R$  i  $h^R$
6. korak: preko  $h^R$  izračunava se  $H^R$
7. korak: koristeći  $L^R$  i  $C^R$  izračunava se  $s^R$  [5]

## 4.2. ZLAB

ZLAB model je konstruiran od strane Hunta i Loua, a radi slično kao CIECAM97s, odnosno ZLAB model pojednostavnjuje CIECAM97s.

Pojednostavljenje je postignuto uklanjanjem ovisnosti osvjetljenja, a time se dobio znatno jednostavniji model koji ima sposobnost predviđanja relativne svjetline, relativnog zasićenja i tona, no ovim pojednostavljenjem se izgubila mogućnost predviđanja svjetline i zasićenja.

ZLAB predstavlja pojednostavljenje CIECAM97s u četiri značajna područja: (1) koristi tlačnu nelinearnost, (2) ograničen je samo na srednje sivu pozadinu, (3) upotrebljava modificirani CIELAB prostor boja, i (4) uklanja apsolutni prikaz svjetline i zasićenja. [9]

Ulazni podaci za ZLAB model su osvjetljenje adaptivnog polja- $L_a$  (za tu vrijednost se uzima 0.2 puta osvjetljenje referentnog bijelog), tristimulusne vrijednosti uzorka-  $XYZ$ , te tristimulusne vrijednosti bijelog-  $X_wY_wZ_w$ .

Prvi korak je kromatska adaptacija- kod ZLAB-a koristi se Bradfordova kromatska adaptacija za transformaciju iz uvjeta promatranja u referentne uvjete promatranja. Bradfordova transformacija prikazana je u jednadžbama 19 i 20.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X/Y \\ Y/Y \\ Z/Y \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \quad (20)$$

U jednadžbama 21 do 23 varijabla  $D$  koristi se za definiranje stupnja prilagodbe, a može imati vrijednosti između 1 do 0 za različite slučajeve nepotpune adaptacije, odnosno varijabla  $D$  jednaka je 1 kada dolazi do potpune prilagodbe, dok je jednaka 0 kada nema prilagodbe. [5]

$R_c$ ,  $G_c$  i  $B_c$  predstavljaju odgovarajuće boje testiranog uzorka u definiranim uvjetima, varijable  $R$ ,  $G$  i  $B$  u jednadžbama 21-23 predstavljaju  $R$ ,  $G$ ,  $B$  vrijednosti, dok varijable  $X_w$ ,  $Y_w$ ,  $Z_w$  predstavljaju tristimulusne vrijednosti bijelog.

$$R_c = [D(1.0/R_w) + 1 - D]R \quad (21)$$

$$G_c = [D(1.0/G_w) + 1 - D]G \quad (22)$$

$$B_c = [D(1.0/B_w^p) + 1 - D]|B|^p \quad p = (B_w/1.0)^{0.0834} \quad (23)$$

Posljednji korak transformacije predstavlja vraćanje iz područja odziva čunjića u XYZ tristimulusne vrijednosti, prema jednadžbi 24.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{bmatrix} \quad (24)$$

Suprotni odzivi se izračunavaju pomoću jednadžba 25 i 26, dok jednadžba 27 prikazuje način izračunavanja kuta tona pomoću u prethodnim jednadžbama izračunatih suprotnih odziva. U jednadžbama 25 i 26  $R_c$ ,  $G_c$  i  $B_c$  predstavljaju odgovarajuće boje testiranog uzorka u definiranim uvjetima, a koeficijent  $\sigma$  poprima vrijednosti ovisno o okruženju. Za tamno okruženje  $1/\sigma$  iznosi 0.525, a  $1/2\sigma$  iznosi 0.2625, za prosječno okruženje  $1/\sigma$  iznosi 0.69, a  $1/2\sigma$  iznosi 0.345 te za prigušeno okruženje  $1/\sigma$  iznosi 0.59, a  $1/2\sigma$  iznosi 0.295.

$$A = 500 [ (X_c/100)^{1/2\sigma} - (Y_c/100)^{1/2\sigma} ] \quad (25)$$

$$B = 200 [ (Y_c/100)^{1/2\sigma} - (Z_c/100)^{1/2\sigma} ] \quad (26)$$

$$h^z = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) \quad (27)$$

S obzirom da je ZLAB definiran samo za pozadine srednjeg (20%) faktora osvjetljenosti,  $z$  parametar iz CIECAM97s modela poprima konstantnu vrijednost 1.45, pa je relativna svjetlina  $L^z$  definirana prema jednadžbi 28. [5]

$$L^z = 100 (Y_c/100)^{1.45/2\sigma} \quad (28)$$

Jednadžba 29 se primjenjuje za izračunavanje relativnog zasićenja, dok se prema tome apsolutno zasićenje, kao što je prikazano u jednadžbi 30, računa kao omjer relativnog zasićenja i relativne svjetline.

$$C^z = 25 \log_e [1 + 0.05 (A^2 + B^2)^{1/2}] \quad (29)$$

$$s^z = C^z / L^z \quad (30)$$

ZLAB model ima vrlo jednostavnu primjenu u obrnutom smjeru. Počevši od relativne svjetline, relativnog zasićenja i kuta tona koraci su sljedeći.

1. korak: izračunavanje  $(A^2 + B^2)^{1/2}$  iz  $C^z$
2. korak: izračunavanje  $A$  i  $B$  iz  $(A^2 + B^2)^{1/2}$  i  $h^z$
3. korak: izračunavanje  $X_c, Y_c$  i  $Z_c$  iz  $L^z, A$  i  $B$
4. korak: izračunavanje  $R_c, G_c$  i  $B_c$  iz  $X_c, Y_c$  i  $Z_c$
5. korak: izračunavanje  $R, G$  i  $B$  iz  $R_c, G_c$  i  $B_c$
6. korak: izračunavanje  $X, Y$  i  $Z$  iz  $R, G$  i  $B$  [5]

### 3.4. CIECAM97s

CIECAM97s je model za prikaz boja razvijen od strane CIE, sa ciljem stvaranja jedinstvenog modela za prikaz boja. [5]

Ulazni podaci za CIECAM97s uključuju osvjetljenje adaptivnog polja  $L_a$  (najčešće se uzima 20% bijeloga na polju prilagodbe, izraženo u  $\text{cd}/\text{m}^2$ ), tristimulusne vrijednosti uzorka  $XYZ$ , tristimulusne vrijednosti bijelog  $X_w Y_w Z_w$ , relativnu osvjetljenost pozadine  $Y_b$ , te konstante  $c, N_c, F_{LL}, F$ , ovisno o osvjetljenosti okoline. Za tamno okruženje uzima se da je  $c=0.525, N_c=0.8, F_{LL}=1.0, F=0.9$ , za prigušeno okruženje uzima se  $c=0.59, N_c=1.1, F_{LL}=1.0, F=0.9$ , za normalno okruženje  $c=0.69, N_c=1.0, F_{LL}=1.0, F=1.0$ .

Prvi korak je, prema jednadžbama 31 i 32, transformacija iz uvjeta promatranja izvora, u referentne uvjete promatranja jednake energije osvjetljenja.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_B \begin{bmatrix} X/Y \\ Y/Y \\ Z/Y \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$M_B = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Transformacija kromatske adaptacije je modificirana Von Kriesova transformacija s nelinearnom funkcijom snage za kratke valne duljine. Stupanj prilagodbe se određuje primjenom varijable  $D$ . Stupanj prilagodbe je 1.0 za potpunu prilagodbu ili potpuno zanemarivanje izvora svjetla, što je slučaj za reflektirajuće materijale.  $D$  iznosi 0.0 kada nema adaptacije i može poprimiti srednje vrijednosti za razne druge stupnjeve adaptacije. Te se vrijednosti mogu odrediti prema postojećim podacima ili se mogu izračunati korištenjem jednadžbe 37. [4]

$$R_c = [D(1.0/R_w) + 1 - D]R \quad (33)$$

$$G_c = [D(1.0/G_w) + 1 - D]G \quad (34)$$

$$B_c = [D(1.0/B_w^p) + 1 - D] | B |^p \quad (35)$$

$$p = (B_w/1.0)^{0.0834} \quad (36)$$

$$D = F - F / [1 + 2(L_A^{1/4}) + (L_A^2/300)] \quad (37)$$

Potom se redom prema jednadžbama 38-42 izračunavaju faktor indukcije pozadine  $n$ , faktor indukcije svjetline  $N_{bb}$  i kormatičnosti  $N_{cb}$ , te  $z$  što predstavlja bazu eksponencionalne linearnosti.

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (38)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (39)$$

Faktor indukcije pozadine ( $n$ ) izračunava se kao omjer relativne osvijetljenosti pozadine ( $Y_b$ ) i referentne vrijednosti bijelog ( $Y_w$ ), kao što je prikazano u jednadžbi 40, te se preko dobivenih vrijednosti i preko jednadžbe 41 izračunavaju faktori indukcije svjetline i kromatičnosti. Pomoću jednadžbe 42, korištenjem konstante  $F_{LL}$  i faktora indukcije pozadine ( $n$ ), izračunava se baza eksponencionalne linearnosti ( $z$ ).

$$n = Y_b/Y_w \quad (40)$$

$$N_{bb} = N_{cb} = 0.725(1/n)^{0.2} \quad (41)$$

$$z = 1 + F_{LL}n^{1/2} \quad (42)$$

Jednadžbe 43-47 prikazuju izračunavanje post adaptacijskih signala, gdje  $R'$ ,  $G'$ ,  $B'$  predstavljaju odgovarajuće tristimulusne vrijednosti testnog uzorka, dok  $R_a'$ ,  $G_a'$ ,  $B_a'$  predstavljaju odzive čunjića nakon adaptacije.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_H M_B^{-1} \begin{bmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{bmatrix} \quad (43)$$

$$M_H = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (44)$$

$$R_a' = \frac{40(F_L R'/100)^{0.73}}{[(F_L R'/100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (45)$$

$$G_a' = \frac{40(F_L G'/100)^{0.73}}{[(F_L G'/100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (46)$$

$$B_a' = \frac{40(F_L B'/100)^{0.73}}{[(F_L B'/100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (47)$$

Prema jednadžbama 48 i 49 izračunavaju se crveno-zelene (jednadžba 48) i žuto-plave (jednadžba 49) dimenzije, dok se kut tona izračunava preko jednadžbe 50.

$$G_c = [D(1.0/G_w) + 1 - D] G \quad (48)$$

$$B_c = [D(1.0/B_w^p) + 1 - D] |B|^p \quad (49)$$

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad (50)$$

Često je poželjno da suprotni tonovi za četiri jedinstvene boje (crvena, zelena, plava, žuta) leže jedan nasuprot drugomu u prostoru boja. To se naziva i kvadrat tona. Svaki od tonova ima različitu težinu u odnosu na perceptualnu kromatičnost neutralnih boja, i to je poznato kao faktor ekscentriciteta tona. Kvadrat tona,  $H$ , i faktori ekscentriciteta,  $e$ , se izračunavaju iz sljedećih jedinstvenih podataka tona, putem linearne interpolacije iz sljedećih podataka za jedinstvene tonove:

- Crvena-  $h=20.14$ ;  $e=0.8$ ;  $H=0$  ili  $400$
- Žuta-  $h=90.00$ ;  $e=0.7$ ;  $H=100$
- Zelena-  $h=164.25$ ;  $e=1.0$ ,  $H=200$
- Plava-  $h=237.53$ ;  $e=1.2$ ;  $H=300$  [4]

U jednadžbama 51 i 52 su prikazani primjeri izračuna  $e$  i  $h$  za proizvoljne kutove tona, gdje se 1 i 2 odnose na jedinstvene tonove sa kutevima tona odmah iznad i odmah ispod odabranog kuta tona. [5]

$$e = e_1 + (e_2 - e_1)(h - h_1)/(h_2 - h_1) \quad (51)$$

$$H = H_1 + \frac{100(h - h_1)/e_1}{(h - h_1)/e_1 + (h_2 - h)/e_2} \quad (52)$$

U jednadžbama 53-55 redom izračunava se akromatski odziv ( $A$ ), relativna svjetlina ( $J$ ) i svjetlina ( $Q$ ), dok se apsolutno zasićenje ( $s$ ), relativno zasićenje ( $C$ ) i zasićenje ( $M$ ) izračunava prema jednadžbama 56 do 58. U jednadžbama 53-55 varijabla  $A_w$  predstavlja akromatski odziv referentnog bijelog.



$$A = [2R'_a + G'_a + (1/20)B'_a - 2.05]N_{bb} \quad (53)$$

$$J=100(A/A_w)^{CZ} \quad (54)$$

$$Q = (1.24/c)(J/100)^{0.67}(A_w + 3)^{0.9} \quad (55)$$

$$s = \frac{50(a^2 + b^2)^{1/2} 100e(10/13)N_c N_{cb}}{R'_a + G'_a + (21/20)B'_a} \quad (56)$$

$$C = 2.44s^{0.69}(J/100)^{0.67n}(1.64 - 0.29^n) \quad (57)$$

$$M = CF_L^{0.15} \quad (58)$$

CIECAM97s model gotovo može biti analitički izokrenut, no zahtjeva jednu aproksimaciju jer vrijednost  $Y$  nije lako izračunati (korak 8). Počevši od relativne svjetline  $J$ , relativnog zasićenja  $C$  i kuta tona  $h$ , postupak je sljedeći:

1. korak: dobivanje  $A$  iz  $J$
2. korak: dobivanje  $e$  iz  $h$
3. korak: izračunavanje  $s$  preko  $C$  i  $J$
4. korak: izračunavanje  $a$  i  $b$  preko  $s, h, e$
5. korak: izračunavanje  $R'_a, G'_a$  i  $B'_a$  preko  $A, a$  i  $b$
6. korak: izračunavanje  $R', G'$  i  $B'$  preko  $R'_a, G'_a$  i  $B'_a$
7. korak: izračunavanje  $R_c Y, G_c Y$  i  $B_c Y$  preko  $R', G'$  i  $B'$
8. korak: izračunavanje  $Y$  preko  $R_c Y, G_c Y$  i  $B_c Y$  pomoću  $M_B^{-1}$  (aproksimacija)
9. korak: izračunavanje  $R_c, G_c$  i  $B_c$  preko  $R_c Y, G_c Y$  i  $B_c Y$
10. korak: izračunavanje  $R, G$  i  $B$  preko  $R_c, G_c$  i  $B_c$
11. korak: izračunavanje  $X, Y, Z$  preko  $R, G, B$  i  $Y$  [5]

#### 4.4. CIECAM02

CIECAM02 predstavlja prilagođeni CIECAM97s model. CIECAM02 je u odnosu na CIECAM97s jednostavniji u formulaciji i prilikom inverzije, te CIECAM02 može predvidjeti sve pojave kao i CIECAM97s.

CIECAM02 na zadovoljavajući način obavlja sva tri glavna kolorimetrijska zadatka: specificira boju, procjenjuje razliku u boji te predviđa prikaz boje. CIECAM02 se može smatrati univerzalnim modelom za prikaz boja. [10]

Ulazni podaci u CIECAM02 uključuju relativne tristimulusne vrijednosti podražaja ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) i bijele točke ( $X_w$ ,  $Y_w$ ,  $Z_w$ ), adaptivne luminancije  $L_A$ , relativne luminancije okoline (tamno, prigušeno, prosječno), te odluku o zanemarivanju izvora svjetla. Još su nam potrebne vrijednosti  $c$  (eksponencijalna nelinearnost),  $N_c$  (faktor indukcije kromatičnosti) i  $F$  (maksimalni stupanj adaptacije). Za tamno okruženje uzima se da je  $c=0.525$ ,  $N_c=0.8$ ,  $F=0.8$ , za prigušeno okruženje uzima se  $c=0.59$ ,  $N_c=0.9$ ,  $F=0.9$ , te za prosječno okruženje  $c=0.69$ ,  $N_c=1.0$ ,  $F=1.0$ .

U CIECAM02 je korištena linearna, Von Kriesova transformacija kromatske adaptacije.

Jednadžbama 59 i 60 prikazana je transformacija tristimulusnih vrijednosti u RGB odzive.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_{\text{CAT02}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$M_{\text{CAT02}} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix} \quad (60)$$

Faktor  $D$ , za stupanj prilagodbe, računa se kao funkcija adaptivne luminancije  $L_A$  i okoline  $F$ , korištenjem jednadžbe 61. U slučaju potpunog zanemarivanja izvora svjetla,  $D$  je 1.0. Teoretski,  $D$  se kreće u rasponu od 1.0 za potpunu prilagodbu i 0.0 kada nema prilagodbe. [5]

Kada imamo postavljen  $D$ , preko jednadžbi 62 do 64 računamo adaptivne tristimulusne odzive  $R_C$ ,  $G_C$  i  $B_C$  ( $R_W$ ,  $G_W$  i  $B_W$  predstavljaju tristimulusne vrijednosti za adaptivno bijelo).

$$D = F \left[ 1 - \left( \frac{1}{3.6} \right) e^{\left( \frac{-(L_A + 42)}{92} \right)} \right] \quad (61)$$

$$R_C = [(100D/R_W) + (1 - D)]R \quad (62)$$

$$G_C = [(100D/G_W) + (1 - D)]G \quad (63)$$

$$B_C = [(100D/B_W) + (1 - D)]B \quad (64)$$

Potom se prema jednadžbama 65 - 69 izračunavaju faktor adaptacije luminancije  $F_L$ , faktori indukcije  $N_{bb}$  i  $N_{cb}$  i baza eksponencijalne nelinearnosti  $z$ . Svi ovi parametri ovise o relativnoj luminanciji pozadine  $Y_b$ .

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (65)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (66)$$

$$n = Y_b/Y_w \quad (67)$$

$$N_{bb} = N_{cb} = 0.725(1/n)^{0.2} \quad (68)$$

$$z = 1.48 + \sqrt{n} \quad (69)$$

Kako bi se primjenila postadaptivna nelinearne kompresija, prilagođeni RGB odzivi moraju prvo biti konvertirani iz MCAT02 specifikacije u Hunt-Pointer-Estevez osnove koje u većoj mjeri predstavljaju odziv čunjića. Transformacija je prikazana u jednadžbama 70-72, i može biti smatrana kao konverzija iz CAT02 RGB sustava u CIE tristimulusne vrijednosti a potom u odzive čunjića. [5]

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_{HPEM^{-1}CAT02} \begin{bmatrix} R_C \\ G_C \\ B_C \end{bmatrix} \quad (70)$$

$$M_{HPE} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (71)$$

$$M^{-1}_{CAT02} = \begin{bmatrix} 1.096124 & -0.278869 & 0.182745 \\ 0.454369 & 0.473533 & 0.072098 \\ -0.009628 & -0.005698 & 1.015326 \end{bmatrix} \quad (72)$$

Jednadžbama 73-75 izračunavaju se vrijednosti koje se kasnije koriste za stvaranje suprotnog odziva boje i formuliranje korelacije prikaza boje. Pomoću jednadžbi 76 i 77 izračunavaju se  $a$  i  $b$  koji predstavljaju suprotne odzive boja.

$$R'_a = \frac{400(F_L R' / 100)^{0.42}}{27.13 + (F_L R' / 100)^{0.42}} + 0.1 \quad (73)$$

$$G'_a = \frac{400(F_L G' / 100)^{0.42}}{27.13 + (F_L G' / 100)^{0.42}} + 0.1 \quad (74)$$

$$B'_a = \frac{400(F_L B' / 100)^{0.42}}{27.13 + (F_L B' / 100)^{0.42}} + 0.1 \quad (75)$$

$$a = R'_a - 12G'_a / 11 + B'_a / 11 \quad (76)$$

$$b = (1/9)(R'_a + G'_a - 2B'_a) \quad (77)$$

Kut tona,  $h$ , izračunava se prema jednadžbi 78, dok se faktor ekscentričnosti,  $e_t$ , računa prema jednadžbi 79.

Kvadrat tona i kompozicija tona mogu se izračunati preko linearne interpolacije podacima iz tablice 1 korištenjem jednadžbe 80.

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad (78)$$

$$e_t = 1/4 \left[ \cos \left( h \frac{\pi}{180} + 2 \right) + 3.8 \right] \quad (79)$$

Tablica 1: podaci za pretvorbu iz kuta tona u kvadrat tona

	crvena	žuta	zelena	plava	crvena
<b>i</b>	1	2	3	4	5
<b>h<sub>i</sub></b>	20.14	90.00	164.25	237.53	380.14
<b>e<sub>i</sub></b>	0.8	0.7	1.0	1.2	0.8
<b>H<sub>i</sub></b>	0	100	200	300	400

[Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons]

$$H = H_i + \frac{100(h - h_i) / e_i}{(h - h_i) / e_i + (h_{i+1} - h) / e_{i+1}} \quad (80)$$

Akromatski odziv,  $A$ , izračunava se preko jednadžbe 81, a kada imamo izračunati akromatski odziv jednostavno se preko jednadžbe 82 izračunava relativna svjetlina  $J$ . U jednadžbi 82, varijabla  $A_w$  predstavlja akromatski odziv referentnog bijelog.

$$A = [2R'_a + G'_a + (1/20)B'_a - 0.305]N_{bb} \quad (81)$$

$$J = 100(A/A_w)^{0.2} \quad (82)$$

Kada imamo izračunatu relativnu svjetlinu  $J$ , tada se svjetlina ( $Q$ ) računa pomoću jednadžbe 83.

$$Q = (4/c)\sqrt{J/100}(A_w + 4)F_L^{0.25} \quad (83)$$

Privremena količina  $t$ , povezana s apsolutnim zasićenjem, uključuje faktore kromatske indukcije pozadine i okoline ( $N_c$  i  $N_{cb}$ ), kao i podešenja ekscentriciteta  $e_t$ , te se izračunava kao osnova za korelate zasićenja, relativnog zasićenja i apsolutnog zasićenja. Formula za izračunavanje je prikazana u jednadžbi 84. [5]

Kada se izračuna parametar  $t$ , preko jednadžbe 85 izračunava se relativno zasićenje,  $C$ . Potom se preko jednadžbe 86 i prethodno izračunatog relativnog zasićenja, računa zasićenje ( $M$ ), a potom se preko jednadžbe 87 i zasićenja računa apsolutno zasićenje ( $s$ ).

$$t = \frac{(50000 / 13) N_c N_{cb} e_t \sqrt{a^2 + b^2}}{R'_a + G'_a + (21 / 20) B'_a} \quad (84)$$

$$C = t^{0.9} \sqrt{J / 100} (1.64 - 0.29^n)^{0.73} \quad (85)$$

$$M = C F_L^{0.25} \quad (86)$$

$$s = 100 \sqrt{M / Q} \quad (87)$$

Prostori boja koji se odnose na modele za prikaz boja obično su navedeni kao cilindrične koordinate relativne svjetline, relativnog zasićenja i tona (*JCh*) ili svjetline, zasićenja i tona (*QMH*). No, u nekim aplikacijama korisno je imati kartezijeve koordinate. Iako je izračun jednostavna transformacija koordinata, u CIECAM97s to nikada nije eksplicitno definirano. U jednadžbama 88-93 prikazane su kartezijeve koordinate zasićenja ( $a_c$  i  $b_c$ ), relativnog zasićenja ( $a_M$  i  $b_M$ ) i apsolutnog zasićenja ( $a_s$  i  $b_s$ ). [5]

$$a_c = C \cos(h) \quad (88)$$

$$b_c = C \sin(h) \quad (89)$$

$$a_M = M \cos(h) \quad (90)$$

$$b_M = M \sin(h) \quad (91)$$

$$a_s = s \cos(h) \quad (92)$$

$$b_s = s \sin(h) \quad (93)$$

Kao što je na početku navedeno, inverzni model CIECAM02 nešto je jednostavniji od inverza CIECAM97s, te se sastoji od 8 koraka navedenih u nastavku.

1. korak: izračunavanje  $t$  preko  $C$  i  $J$
2. korak: izračunavanje  $e_t$  iz  $h$
3. korak: izračunavanje  $A$  iz  $A_w$  i  $J$

4. korak: izračunavanje  $a i b$  preko  $t, e_t, h i A$
5. korak: izračunavanje  $R_a', G_a' i B_a'$  iz  $A, a i b$
6. korak: korištenje inverzne nelinearnosti za izračun  $R', G' i B'$
7. korak: pretvorba u  $R_c, G_c i B_c$  preko linearne transformacije
8. korak: inverzija adaptacije kromatske transformacije za izračun  $R, G, B i X, Y, Z$ . [5]

## 4.5. Ostali modeli

### 4.5.1. Nayatani model

Model je razvio Nayatani sa suradnicima, a model pokušava predvidjeti razne pojave kao što su Huntov efekt, Stevencov efekt i Helson-Juddov efekt. Model se može koristiti za razne faktore osvjtljenosti pozadine, no ne može se koristiti za predviđanje pojava kao što su simultani kontrast i Bartleson-Brenemanova jednadžba. Isto tako, model ne uključuje mehanizme za predviđanje nepotpune kromatske adaptacije ili kognitivno zanemarivanje izvora svjetla, no model sadrži izlazne informacije za usporedbu sa atributima kao što su svjetlina, relativna svjetlina, ton, zasićenje, relativno zasićenje.

Ulazni podaci za ovaj model uključuju:

- faktor svjetline akromatske pozadine izražene kao postotak  $Y_0$ , ograničen na vrijednosti jednake ili veće od 18 %.
- boju osvjtljenja  $x_0, y_0$ , izraženu preko kromatskih koordinata CIE 1931 standardnog kolorimetriskog promatrača.
- ispitivanje podražaja izraženo preko kromatskih koordinata  $x, y$  i njihovog faktora luminacije  $Y$ .
- apsolutna svjetlina podražaja i područje prilagodbe definirano osvjtljenošću polja gledanja  $E_0$  izraženog u lux-ima. [5]

Uz ove podatke potrebni su još podaci o normalizaciji rasvjete  $E_{or}$  (uglavnom u rasponu od 1000 do 3000 luxa), te podatak o šumu  $n$  (u glavnom se uzima vrijednost 1).

#### 4.5.2. CIELAB

CIELAB je zamišljen kao prostor boja koji će prikazivati razlike u boji, no s obzirom da prema definiciji modela za prikaz boja, uključuje varijable kao što su ton, svjetlina i zasićenje, možemo ga smatrati i jednostavnijim modelom za prikaz boja. Za izračun CIELAB kordinata počinjemo od CIE XYZ tristimulusnih vrijednosti podražaja i referentne vrijednosti bijele točke ( $X_n, Y_n, Z_n$ ).

Iako je CIELAB prostor boja dugi niz godina korišten diljem svijeta, ipak ima neke nedostatke kao model za prikaz boja. Jedno od ograničenja CIELAB-a je to što koristi modificiranu Von Kriesovu transformaciju koja je manje točna od nekih drugih transformacija koje pobliže prate psihologiju vida. Još jedno od ograničenja je i to što CIELAB ima ograničenje u predviđanju tona koji je potreban za daljnji rad sa modelom.

Unatoč jednostavnosti koja je prednost, CIELAB ima i neke mane. Neke od mana su te što je nesposoban predvidjeti Stevnssov i Huntov efekt, istodobni kontrast, te CIELAB ne daje korelate za apsolutne atribute prikaza kao što su zasićenje i svjetlina. [5]

#### 4.5.3. CIELUV

CIELUV je model veoma sličan CIELAB modelu, no razlikuju se po transformaciji kromatske adaptacije, pa tako CIELUV koristi subtraktivan pomak u kromatskim koordinatama ( $u'-u'_n, v'-v'_n$ , umjesto  $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n$ ).

Transformacija koja se koristi kod CIELUV modela je poprilično loša tako da će vjerojatno doći do pomaka predviđenih boja van gamuta uređaja, što je razlog da se CIELUV ne koristi kao ozbiljan model za prikaz boja.

#### 4.5.4. Huntov model

Huntov model predstavlja najkompleksniji model za prikaz boja, te je samim time i kompliciraniji za primjenu. Isto tako mana ovog modela za prikaz boja je nemogućnost jednostavnog primjenjivanja inverznog modela.



Značajke modela su:

- dizajniran je za predviđanje prikaza podražaja na različitim pozadinama i okruženjima za razine osvjetljenosti od praga ljudskog vida do zasljepljenja čunjića
- može biti korišten za povezane i nepovezane podražaje
- predviđa širok raspon pojava prikaza boja, uključujući Bezold-Brücke pomak tona, Abneyev efekt, Helmholtz-Kohlrauschov efekt, Huntov efekt, simultani kontrast, Helson-Juddov efekt te Bartleson-Brenemanovo opažanje
- predviđa promjene u prikazu boja usljed svjetla i kromatske adaptacije i kognitivnog zanemarivanja izvora svjetla
- jedinstven je u tome što uključuje doprinose crvenih fotoreceptora. [5]

Huntov model zahtjeva mnogo ulaznih podataka, kao što su kromatske koordinate, faktor luminancije (pozadine, referentnog bijelog, polja i ispitnog uzorka), apsolutni nivo luminancije (za bijeli standard i adaptirajuće polje), podaci o skotopičkoj luminanciji, kromatski faktor indukcije, faktor indukcije svjetline okruženja, kromatski i svjetlosni faktori indukcije pozadine.

#### 4.5.5. LLAB

LLAB model je razvijen s ciljem da bude univerzalni model za usklađivanje boja, specifikaciju pojavnosti boja te mjerenje razlika u boji, da bude jednostavan i da ne uključuje sve vizualne pojave.

Kao ulazni podaci u LLAB model potrebne su relativne tristimulusne vrijednosti podražaja  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ , tristimulusne vrijednosti referentnog bijelog  $X_0$ ,  $Y_0$  i  $Z_0$ , osvjetljenost pozadine referentnog bijelog  $L$ , faktor luminancije pozadine  $Y_b$ , faktor zanemarivanja izvora svjetla  $D$ , faktor indukcije okoline  $F_s$ , faktor indukcije svjetline  $F_L$ , te faktor indukcije relativnog zasićenja  $F_c$ .

Revidirani LLAB model uključuje kromatsku adaptaciju, indukciju svjetline, relativnu osvjetljenost okoline, zanemarivanje izvora svjetla te Huntov efekt. On ne može predvidjeti Stevensov efekt, nepotpunu kromatsku adaptaciju ili Helmholtz-Kohlrauschove efekt. Isto tako model ne može predvidjeti Helson-Juddov efekt. [5]

#### 4.5.6. ATD MODEL

ATD model razvijen od strane Gutha opisan je kao model vida boja. Iz tog razloga se ATD model ne može smatrati modelom za prikaz boja. [5]

ATD model uključuje kromatsku adaptaciju, Helmholtz-Kohlrauschov efekt, Bezold-Brücke pomak tona, Abneyev efekt te razne eksperimente diskriminacije boja, te uključuje korelaciju svjetline i apsolutnog zasićenja.

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

U eksperimentalnom dijelu rada izvršena su mjerenja u svrhu pronalaženja modela za prikaz boja koji bi bio primjenjiv na tabletima.

Istraživanje se provodilo u zamračenim uvjetima, na uzorcima boja intenziteta 180, 200, 225, 250 i 255. Uzorci boja su izrađeni za crvenu, zelenu, plavu, cijan, magentu, žutu, crnu i bijelu boju.

Tablica 2: RGB, XYZ i  $L^*a^*b^*$  vrijednosti uzoraka intenziteta 180

	R	G	B	$L^*$	$a^*$	$b^*$	X	Y	Z
<b>R (Crvena)</b>	180	0	0	38	62	54	18,8224	9,7033	0,8809
<b>G (Zelena)</b>	0	180	0	64	-61	62	16,3212	32,6425	5,4402
<b>B (Plava)</b>	0	0	180	19	53	-86	8,2382	3,2953	43,3819
<b>C (Cijan)</b>	0	180	180	66	-39	-12	24,5595	35,9378	48,8223
<b>M (magenta)</b>	180	0	180	43	72	-47	27,0606	12,9986	44,2627
<b>Y (žuta)</b>	180	180	0	71	-12	72	35,1436	42,3458	6,3213
<b>K (crna)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>W (bijela)</b>	180	180	180	73	0	0	43,3819	45,6411	49,7032

Tablica 3: RGB, XYZ i  $L^*a^*b^*$  vrijednosti uzoraka intenziteta 200

	R	G	B	$L^*$	$a^*$	$b^*$	X	Y	Z
<b>R (Crvena)</b>	200	0	0	43	67	58	23,8194	12,2794	1,1147
<b>G (Zelena)</b>	0	200	0	70	-66	67	20,6543	41,3085	6,8847
<b>B (Plava)</b>	0	0	200	22	57	-93	10,4253	4,1701	54,8990
<b>C (Cijan)</b>	0	200	200	73	-42	-12	31,0796	45,4786	61,7838
<b>M (magenta)</b>	200	0	200	47	78	-50	34,2447	16,4495	56,0137
<b>Y (žuta)</b>	200	200	0	79	-13	78	44,4737	53,5879	7,9995
<b>K (crna)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>W (bijela)</b>	200	200	200	81	0	0	54,8990	57,7580	62,8985

Tablica 4: RGB, XYZ i L\*a\*b\* vrijednosti uzoraka intenziteta 225

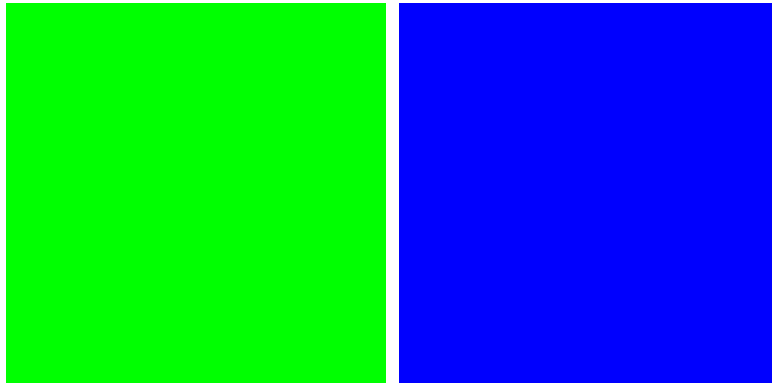
	R	G	B	L*	a*	b*	X	Y	Z
<b>R (Crvena)</b>	225	0	0	48	74	64	31,0513	16,0075	1,4531
<b>G (Zelena)</b>	0	225	0	78	-72	74	26,9252	53,8504	8,9750
<b>B (Plava)</b>	0	0	225	25	62	-102	13,5906	5,4362	71,5671
<b>C (Cijan)</b>	0	225	225	81	-46	-14	40,5158	59,2867	80,5422
<b>M (magenta)</b>	225	0	225	53	85	-55	44,6419	21,4438	73,0203
<b>Y (žuta)</b>	225	225	0	87	-14	85	57,9765	69,8579	10,4282
<b>K (crna)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>W (bijela)</b>	225	225	225	90	0	0	71,5671	75,2942	81,9954

Tablica 5: RGB, XYZ i L\*a\*b\* vrijednosti uzoraka intenziteta 250

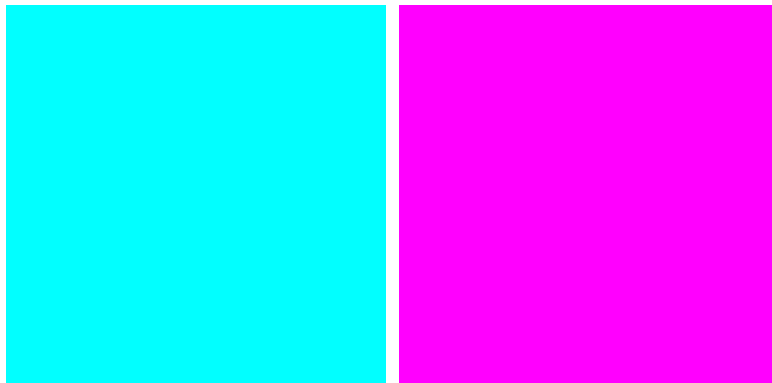
	R	G	B	L*	a*	b*	X	Y	Z
<b>R (Crvena)</b>	250	0	0	53	80	69	39,4243	20,3240	1,8450
<b>G (Zelena)</b>	0	250	0	86	-78	80	34,1856	68,3712	11,3952
<b>B (Plava)</b>	0	0	250	29	67	-110	17,2553	6,9021	90,8652
<b>C (Cijan)</b>	0	250	250	89	-50	-15	51,4409	75,2733	102,260
<b>M (magenta)</b>	250	0	250	59	92	-60	56,6796	27,2261	92,7103
<b>Y (žuta)</b>	250	250	0	96	-16	92	73,6099	88,6952	13,2402
<b>K (crna)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>W (bijela)</b>	250	250	250	98	0	0	90,8653	95,5973	104,1055

Tablica 6: RGB, XYZ i L\*a\*b\* vrijednosti uzoraka intenziteta 255

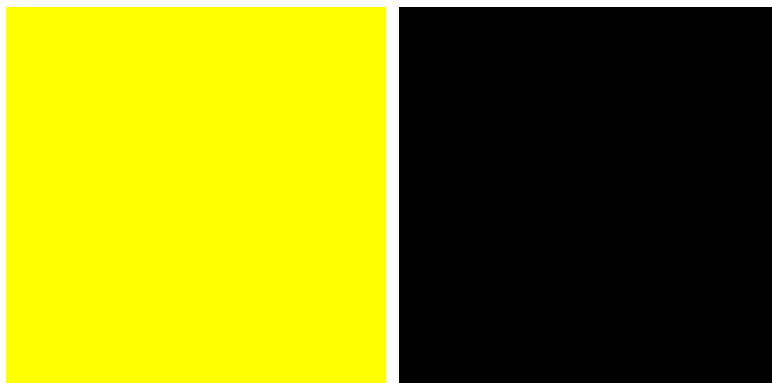
	R	G	B	L*	a*	b*	X	Y	Z
<b>R (Crvena)</b>	255	0	0	54	81	70	41,24	21,26	1,93
<b>G (Zelena)</b>	0	255	0	88	-79	81	35,76	71,52	11,92
<b>B (Plava)</b>	0	0	255	30	68	-112	18,07	7,22	95,05
<b>C (Cijan)</b>	0	255	255	91	-51	-15	53,81	78,74	106,97
<b>M (magenta)</b>	255	0	255	60	94	-60	59,29	28,48	96,98
<b>Y (žuta)</b>	255	255	0	98	-16	93	77	92,78	13,85
<b>K (crna)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>W (bijela)</b>	255	255	255	100	0	0	95,05	100	108,9



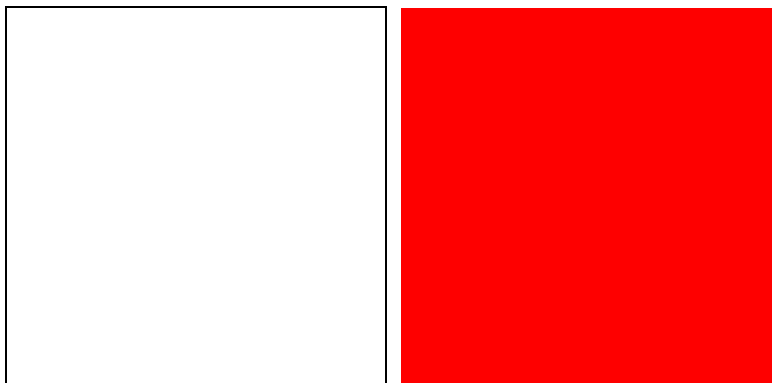
*Slika 14: zeleni i plavi uzorci intenziteta 255*



*Slika 15: cijan i magenta uzorci intenziteta 255*



*Slika 16: žuti i crni uzorci intenziteta 255*



*Slika 17: bijeli i crveni uzorci intenziteta 255*

Mjerenja su izrađena pomoću kolorimetra, na četiri različita tablet uređaja, redom- *Huawei Media Ped 7 Lite, iPad, Samsung Galaxy Note, Nexus 7.*

Vrijednosti definiranih boja unosile su se u četiri odabrana modela, RLAB, ZLAB, CIECAM02, CIECAM97s. Izračunavanjem kolorimetrijske razlike rezultata dobivenih mjerenjem i rezultata dobivenih iz modela vršila se usporedba.

## 6. REZULTATI I RASPRAVA

### 6.1. ZLAB

Tablica 7 prikazuje rezultate u Lab i XYZ prostoru boja, dok tablica 8 prikazuje rezultate kvadrata tona za sva četiri tableta i sve intenzitete.

Tablice 9-13 prikazuju kolorimetrijsku razliku rezultata dobivenih mjerenjima i rezultata iz modela.

Tablica 7: rezultati ZLAB modela za prvi tablet, za intenzitet 180

	Xizmj	Yizmj	Zizmj	Xc	Yc	Zc	Lizmj	Aizmj	Bizmj	Lc	Ac	Bc
<b>crvena</b>	12,8	7,31	0,59	16	8,7	2,9	32,502	47,358	47,6	35,4	56,8	28,89
<b>zelena</b>	11	20	6,02	14	34	13,3	51,78	-48,42	40,67	64,8	-85,49	40,08
<b>plava</b>	5,99	5,18	30	15	5,5	86,4	29,21	18,9	-52,23	28,14	81,24	-109,1
<b>cijan</b>	16,7	25	34,4	32	40	117	57,05	-34,8	-10,2	71,21	-15,21	-44,62
<b>magenta</b>	18,5	12,3	30,1	33	15	99,1	41,61	41,44	-30,9	45,22	88,24	-88,26
<b>žuta</b>	24,1	27,5	6,55	30	43	16,2	59,43	-8,72	51,69	71,28	-35,03	44,5
<b>crna</b>	0,08	0,07	0,12				0,63	0,55	-0,62			
<b>bijela</b>	30,1	32,8	36,4	48	49	121	63,97	-3,98	-0,92	74,51	-1,37	-39,25

Tablica 8: rezultati kvadrata tona ZLAB modela za sve intenzitete za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	HC green	HC blue
<b>crvena</b>	93	7	0	0
<b>zelena</b>	0	-119	90	FALSE
<b>plava</b>	40	0	0	60
<b>cijan</b>	0	0	10	90
<b>magenta</b>	45	0	0	55
<b>žuta</b>	0	-86	57	FALSE
<b>bijela</b>	11	0	0	89

## Intenzitet 180

Tablica 9: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 180 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	12,21	13,59	8,10	18,36
<b>zelena</b>	15,57	13,65	19,98	38,00
<b>plava</b>	16,58	2,73	19,59	21,86
<b>cijan</b>	23,27	20,92	25,64	44,25
<b>magenta</b>	16,12	11,24	16,62	28,81
<b>žuta</b>	17,96	19,01	21,74	39,74
<b>bijela</b>	22,08	20,39	27,12	43,62

Prikazani rezultati u tablici 9 za sva četiri tableta pri intenzitetu 180 za ZLAB model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da ZLAB model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 200

Tablica 10: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 200 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	13,15	14,81	8,72	17,88
<b>zelena</b>	14,19	14,03	23,15	33,34
<b>plava</b>	19,96	1,52	19,56	19,54
<b>cijan</b>	17,66	15,82	20,77	33,98
<b>magenta</b>	13,6	11,95	14,47	23,29
<b>žuta</b>	18,2	19,11	21,68	39,87
<b>bijela</b>	18,41	19,16	23,93	42,17

Prikazani rezultati u tablici 10 za sva četiri tableta pri intenzitetu 200 za ZLAB model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da ZLAB model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.



## Intenzitet 225

Tablica 11: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 225 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	14,81	16,82	10,40	20,98
<b>zelena</b>	15,92	14,35	20,97	33,63
<b>plava</b>	20,55	1,28	20,03	17,67
<b>cijan</b>	11,86	8,39	16,16	32,46
<b>magenta</b>	11,50	10,22	12,43	24,33
<b>žuta</b>	19,03	18,14	22,85	33,10
<b>bijela</b>	17,21	19,64	18,42	35,75

Prikazani rezultati u tablici 11 za sva četiri tableta pri intenzitetu 225 za ZLAB model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da ZLAB model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 250

Tablica 12: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 250 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	15,27	17,26	11,58	23,84
<b>zelena</b>	17,2	11,28	21,66	34,86
<b>plava</b>	21,01	1,55	20,47	15,95
<b>cijan</b>	10,92	0	14,18	32,76
<b>magenta</b>	10,23	6,10	11,09	25,40
<b>žuta</b>	24,16	17,03	22,72	34,43
<b>bijela</b>	15,45	19,89	18,54	37,74

Prikazani rezultati u tablici 12 za sva četiri tableta pri intenzitetu 250 za ZLAB model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi i cijan uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do

zaključka da ZLAB model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 255

*Tablica 13: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 255 za sva četiri tableta*

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	15,52	9,96	11,87	16,72
<b>zelena</b>	18,11	11,3	22,14	35,45
<b>plava</b>	21,04	1,57	20,43	15,67
<b>cijan</b>	10,92	0	13,35	32,32
<b>magenta</b>	10,25	5,2	10,99	25,79
<b>žuta</b>	18,25	16,48	20,95	32,53
<b>bijela</b>	15,02	19,28	17,01	37,07

Prikazani rezultati u tablici 13 za sva četiri tableta pri intenzitetu 255 za ZLAB model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi, cijan i magenta uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da ZLAB model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## 6.2. CIECAM97s

Tablica 14 prikazuje rezultate u Lab i XYZ prostoru boja, dok tablice 15-24 prikazuju rezultate kvadrata tona i kolorimetrijsku razliku rezultata dobivenih mjerenjima i rezultata iz modela.

Tablica 14: rezultati CIECAM97s modela za prvi tablet, za intenzitet 180

	Xizmj	Yizmj	Zizmj	Xc	Yc	Zc	Lizmj	Aizmj	Bizmj	Lc	Ac	Bc
<b>crvena</b>	12,82	7,31	0,59	16,6	8,8	2,7	32,502	47,36	47,6	35,59	57,08	30,63
<b>zelena</b>	11,01	19,95	6,02	14,1	33,7	12,6	51,78	-48,42	40,67	64,72	-83,26	41,71
<b>plava</b>	5,99	5,18	29,97	14,3	5,2	81,2	29,21	18,9	-52,23	29,85	75,18	-102,4
<b>cijan</b>	16,72	24,98	34,36	31	39,7	109,6	57,05	-34,8	-10,2	71,04	-14,88	-44,9
<b>magenta</b>	18,5	12,25	30,06	32,5	14,5	93,2	41,61	41,44	-30,9	44,942	86,96	-84,82
<b>žuta</b>	24,09	27,5	6,55	30,7	42,5	15,3	59,43	-8,72	51,69	71,21	-32,84	46,39
<b>crna</b>	0,08	0,07	0,12				0,63	0,55	-0,62			
<b>bijela</b>	30,08	32,77	36,4	47,9	48,6	113,8	63,97	-3,98	-0,92	74,61	0,71	-39,08

### Intenzitet 180

Tablica 15: rezultati kvadrata tona CIECAM97s modela za intenzitet 180 za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
<b>crvena</b>	99	0	0	1
<b>zelena</b>	0	7	93	0
<b>plava</b>	15	0	0	85
<b>cijan</b>	0	0	9	91
<b>magenta</b>	35	0	0	65
<b>žuta</b>	0	32	68	0
<b>bijela</b>	6	0	0	94

Tablica 16: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 180 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	11,51	12,88	7,58	18,53
<b>zelena</b>	15,05	13,09	19,39	37,66
<b>plava</b>	15,59	2,10	18,84	22,02
<b>cijan</b>	23,34	21,22	25,69	44,18
<b>magenta</b>	15,47	10,81	15,97	28,24
<b>žuta</b>	16,85	17,89	20,77	39,34
<b>bijela</b>	22,22	20,10	27,20	43,61

Prikazani rezultati u tablici 16 sva četiri tableta pri intenzitetu 180 za CIECAM97s model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM97s model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 200

Tablica 17: rezultati kvadrata tona CIECAM97s modela za intenzitet 200 za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
crvena	99	0	0	1
zelena	0	7	93	0
plava	14	0	0	86
cijan	0	0	10	90
magenta	36	0	0	64
žuta	0	32	68	0
bijela	5	0	0	95

Tablica 18: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 200 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
crvena	12,39	14,02	8,24	17,97
zelena	13,74	13,48	22,55	33,05
plava	20,61	2,39	20,23	19,53
cijan	17,73	16,04	20,97	33,75
magenta	13,54	11,57	14,48	28,50
žuta	17,63	18,40	21,16	39,69
bijela	18,37	18,54	23,83	41,91

Prikazani rezultati u tablici 18 za sva četiri tableta pri intenzitetu 200 za CIECAM97s model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM97s model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 225

Tablica 19: rezultati kvadrata tona CIECAM97s modela za intenzitet 225 za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
<b>crvena</b>	99	0	0	1
<b>zelena</b>	0	8	92	0
<b>plava</b>	13	0	0	87
<b>cijan</b>	0	0	12	88
<b>magenta</b>	36	0	0	64
<b>žuta</b>	0	33	67	0
<b>bijela</b>	5	0	0	95

Tablica 20: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 225 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	13,43	15,82	9,43	20,70
<b>zelena</b>	14,03	10,60	18,75	32,71
<b>plava</b>	22,55	1,28	20,03	17,67
<b>cijan</b>	11,86	8,69	16,14	32,34
<b>magenta</b>	11,41	9,72	12,46	24,68
<b>žuta</b>	17,99	16,90	21,63	32,66
<b>bijela</b>	14,94	18,64	20,26	35,57

Prikazani rezultati u tablici 20 za sva četiri tableta pri intenzitetu 225 za CIECAM97s model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM97s model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 250

Tablica 21: rezultati kvadrata tona CIECAM97s modela za intenzitet 250 za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
<b>crvena</b>	100	0	0	0
<b>zelena</b>	0	8	92	0
<b>plava</b>	13	0	0	87
<b>cijan</b>	0	0	13	87
<b>magenta</b>	36	0	0	64
<b>žuta</b>	0	33	67	0
<b>bijela</b>	4	0	0	96

Tablica 22: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 250 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	14,86	16,64	11,48	23,97
<b>zelena</b>	16,67	10,42	21,08	34,50
<b>plava</b>	21,01	1,55	20,47	15,95
<b>cijan</b>	10,92	0	14,18	32,83
<b>magenta</b>	10,20	5,55	11,18	25,87
<b>žuta</b>	21,71	15,24	20,34	32,57
<b>bijela</b>	14,58	18,77	17,78	37,00

Prikazani rezultati u tablici 22 za sva četiri tableta pri intenzitetu 250 za CIECAM97s model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi, cijan i magenta uzorci na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM97s model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 255

Tablica 23: rezultati kvadrata tona CIECAM97s modela za intenzitet 255 za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
<b>crvena</b>	100	0	0	0
<b>zelena</b>	0	8	92	0
<b>plava</b>	12	0	0	88
<b>cijan</b>	0	0	13	87
<b>magenta</b>	36	0	0	64
<b>žuta</b>	0	33	67	0
<b>bijela</b>	4	0	0	96

Tablica 24: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 255 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	15,80	9,69	12,32	17,00
<b>zelena</b>	17,65	10,44	21,60	35,14
<b>plava</b>	21,04	1,60	20,43	15,67
<b>cijan</b>	10,92	0	13,35	32,32
<b>magenta</b>	10,27	4,66	11,10	26,27
<b>žuta</b>	19,53	15,53	22,23	34,63
<b>bijela</b>	14,05	18,56	16,13	36,27

Prikazani rezultati u tablici 24 za sva četiri tableta pri intenzitetu 255 za CIECAM97s model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi, cijan i magenta uzorci na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM97s model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

### 6.3. CIECAM02

Tablica 25 prikazuje rezultate u Lab i XYZ prostoru boja, tablica 26 prikazuju rezultate kvadrata tona, dok tablice 27-31 prikazuju kolorimetrijsku razliku rezultata dobivenih mjerenjima i rezultata iz modela.

Tablica 25: rezultati CIECAM02 modela za prvi tablet, za intenzitet 180

	Xizmj	Yizmj	Zizmj	Xc	Yc	Zc	Lizmj	Aizmj	Bizmj	Lc	Ac	Bc
<b>crvena</b>	12,82	7,31	0,59	17	9	2,2	32,502	47,36	47,6	35,98	57,64	35,15
<b>zelena</b>	11,01	19,95	6,02	14	33,1	12,6	51,78	-48,42	40,67	64,16	-81,46	40,74
<b>plava</b>	5,99	5,18	29,97	17,7	7	95,8	29,21	18,9	-52,23	31,8	79,46	-109,2
<b>cijan</b>	16,72	24,98	34,36	31,7	40,1	108,5	57,05	-34,8	-10,2	69,54	-21,96	-52,28
<b>magenta</b>	18,5	12,25	30,06	34,6	16	98	41,61	41,44	-30,9	46,97	85,57	-84,52
<b>žuta</b>	24,09	27,5	6,55	31	42,1	14,8	59,43	-8,72	51,69	70,94	-30,56	47,06
<b>crna</b>	0,08	0,07	0,12				0,63	0,55	-0,62			
<b>bijela</b>	30,08	32,77	36,4	48,6	49,1	110,7	63,97	-3,98	-0,92	75,07	2,39	-38,33

Tablica 26: rezultati kvadrata tona CIECAM02 modela za sve intenzitete i za sva četiri tableta

	HC red	HC yellow	Hc green	HC blue
<b>crvena</b>	94	6	0	0
<b>zelena</b>	0	9	91	0
<b>plava</b>	9	0	0	91
<b>cijan</b>	0	0	11	89
<b>magenta</b>	36	0	0	64
<b>žuta</b>	0	36	64	0
<b>crna</b>	0	0	75	25
<b>bijela</b>	6	0	0	94



## Intenzitet 180

Tablica 27: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 180 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	9,74	11,24	6,42	19,01
<b>zelena</b>	14,53	13,47	18,92	36,92
<b>plava</b>	16,19	3,80	18,18	29,92
<b>cijan</b>	22,93	31,11	25,40	43,65
<b>magenta</b>	17,08	9,81	16,52	29,71
<b>žuta</b>	14,83	17,27	19,84	38,84
<b>bijela</b>	22,34	19,62	27,29	43,75

Prikazani rezultati u tablici 27 za sva četiri tableta pri intenzitetu 180 za CIECAM02 model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM02 model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 200

Tablica 28: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 200 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	10,75	12,52	7,35	18,08
<b>zelena</b>	13,79	13,77	21,78	32,52
<b>plava</b>	18,73	1,00	18,38	19,56
<b>cijan</b>	17,73	16,04	20,79	33,75
<b>magenta</b>	13,30	10,21	14,52	29,42
<b>žuta</b>	15,70	20,26	19,47	38,82
<b>bijela</b>	18,36	17,64	23,77	41,85

Prikazani rezultati u tablici 28 za sva četiri tableta pri intenzitetu 200 za CIECAM02 model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi

se do zaključka da CIECAM02 model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

### Intenzitet 225

Tablica 29: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 225 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	10,74	14,02	7,96	20,45
<b>zelena</b>	10,26	17,10	15,80	28,24
<b>plava</b>	20,38	1,06	19,87	17,76
<b>cijan</b>	11,87	8,61	16,15	32,38
<b>magenta</b>	11,02	8,23	12,47	25,91
<b>žuta</b>	16,83	15,94	20,59	32,02
<b>bijela</b>	14,12	17,22	24,20	34,77

Prikazani rezultati u tablici 29 za sva četiri tableta pri intenzitetu 225 za CIECAM02 model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalazi plavi uzorak na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM02 model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

### Intenzitet 250

Tablica 30: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 250 za sva četiri tableta

	deltaE2000			
	tablet 1	tablet 2	tablet 3	tablet 4
<b>crvena</b>	13,12	14,86	10,86	24,05
<b>zelena</b>	16,12	10,34	20,58	33,98
<b>plava</b>	20,79	1,29	20,26	16,05
<b>cijan</b>	10,92	0	14,80	32,76
<b>magenta</b>	9,86	3,84	11,23	24,64
<b>žuta</b>	21,77	14,36	20,53	33,26
<b>bijela</b>	13,32	17,05	16,67	35,98

Prikazani rezultati u tablici 30 za sva četiri tableta pri intenzitetu 250 za CIECAM02 model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar

dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi, cijan i magenta uzorci na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM02 model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## Intenzitet 255

Tablica 31: rezultati kolorimetrijske razlike pri intenzitetu 255 za sva četiri tableta

	<b>deltaE2000</b>			
	<b>tablet 1</b>	<b>tablet 2</b>	<b>tablet 3</b>	<b>tablet 4</b>
<b>crvena</b>	13,53	6,84	11,25	15,93
<b>zelena</b>	17,09	10,35	21,10	34,60
<b>plava</b>	21,04	1,58	20,43	15,67
<b>cijan</b>	10,92	0	13,35	32,32
<b>magenta</b>	10,12	2,99	11,24	28,06
<b>žuta</b>	18,42	14,31	21,14	33,99
<b>bijela</b>	12,76	16,29	15,00	35,26

Prikazani rezultati u tablici 31 za sva četiri tableta pri intenzitetu 255 za CIECAM02 model pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, unutar dozvoljenog odstupanja jedino se nalaze plavi, cijan i magenta uzorci na drugom tabletu. Dolazi se do zaključka da CIECAM02 model ne daje zadovoljavajuće rezultate na nijednom tabletu.

## 6.4. RLAB

U tablici 32 prikazani su rezultati za kvadrat tona za sva četiri modela, za uzorke svih intenziteta.

Tablica 32: rezultati kvadrata tona za sva četiri modela

	RLAB				CIECAM97s				CIECAM02				ZLAB			
	HC R	HC Y	HC G	HC B	HC R	HC Y	HC G	HC B	HC R	HC Y	HC G	HC B	HC R	HC Y	HC G	HC B
<b>crvena</b>	87	13	0	false	99	0	0	1	94	6	0	0	93	7	0	false
<b>zelena</b>	0	0	87	2	0	8	92	0	0	9	91	0	0	-119	90	false
<b>plava</b>	50	0	0	50	13	0	0	87	9	0	0	91	40	0	0	60
<b>cijan</b>	19	0	0	81	0	0	12	88	0	0	11	89	0	0	10	90
<b>magenta</b>	51	0	0	49	36	0	0	64	96	0	0	64	45	0	0	55
<b>žuta</b>	0	-101	76	false	0	33	67	0	0	36	64	0	0	-86	57	false
<b>crna</b>									0	0	75	25				
<b>bijela</b>	29	0	0	71	5	0	0	95	6	0	0	94	11	0	0	89

Usporedbom rezultata kvadrata tona dobivenih iz RLAB modela i rezultata kvadrata tona iz ostala tri modela ne uočavaju se bitnije razlike.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja bio je istražiti da li bi neki od modela za prikaz boja bio primjenjiv na tabletima.

Hipoteza na početku istraživanja bila je da se usporedbom mjerenih boja i primjenom nekih od modela za prikaz boja može pronaći model koji bi se mogao primjeniti na tablete.

Rezultati istraživanja doveli su do zaključka da niti jedan od korištenih modela (RLAB, ZLAB, CIECAM97s, CIECAM02) nije primjenjiv na tabletima korištenima za istraživanje.

Rezultati kolorimetrijske razlike za tablete *Huawei Media Ped 7 Lite*, *Samsung Galaxy Note*, *Nexus 7* pokazuju veliko odstupanje od dozvoljenog ( $\Delta E \leq 6$ ) za sve intenzitete i sve izmjerene boje kod svih korištenih modela.

Kod *iPad* tableta rezultati istraživanja također pokazuju velika odstupanja kolorimetrijske razlike, no plava boja je u granicama dozvoljenog odstupanja za sve intenzitete i sve korištene modele.

Ukupno gledano, najmanja odstupanja kolorimetrijske razlike pojavljuju se kod plave boje, dok su najveća odstupanja kolorimetrijske razlike kod bijele.

Povećanjem intenziteta smanjuje se kolorimetrijska razlika, odnosno kolorimetrijska razlika je najveća pri intenzitetu od 180, dok je najmanja pri intenzitetu od 255, što je vidljivo kod svih modela.

Od svih korištenih modela, ukupno gledano najmanja odstupanja kolorimetrijske razlike se uočavaju kod CIECAM02 modela, dok se najveća odstupanja uočavaju kod ZLAB modela.

## 8. LITERATURA

- [1] \*\*\*<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/340440/light>-  
*Encyclopedia Britannica, Light*, 18.05.2015.
- [2] \*\*\*<http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/light-measurement/light/light-sources-and-illuminants.html> -*Konica Minolta, Light sources and illuminants*, 01.06.2015.
- [3] \*\*\*<http://www.image-engineering.de/library/technotes/753-cie-standard-illuminants> – *Image Engineering, CIE standard illuminants*, 01.06.2015.
- [4] Sharma G. (2003). *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press, Boca Raton
- [5] Fairchild M.D. (2005). *Color Appearance Models*, 2nd Ed., John Wiley & Sons
- [6] Hofmann, J. P.(2007). *Digital Color Management-Principles and Strategies for the Standardized Print Production*, Springer, Berlin Heidelberg
- [7] Holtzschue L. (2011). *Understanding color:an introduction for designers*, 4th Ed., John Wiley & Sons, New Jersey
- [8] Fairchild M. (1996). *Refinement of the RLAB color space*, dostupno na: [www.rit-mcsl.org/fairchild/PDFs/PAP03.pdf](http://www.rit-mcsl.org/fairchild/PDFs/PAP03.pdf), 10.06.2015.
- [9] Fairchild M. (1999). *The ZLAB color appearance model for practical image reproduction applications*, dostupno na: <http://scholarworks.rit.edu/other/121>, 08.06.2015
- [10] Schanda J. (2007). *Colorimetry: Understanding the CIE system*, John Wiley & Sons, New Jersey