

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Vilma Čondrić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smijer: Dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD

Utjecaj grafičke pripreme na reprodukciju boje

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

Student:
Vilma Čondrić

Zagreb, 2015.

Sažetak:

Reprodukcija boja ima važnu ulogu u grafičkom procesu. Korištenje sustava za upravljanje bojama (color management) ima ulogu komunikacije između različitih uređaja u procesu grafičke reprodukcije. Monitori, na kojima se obično obrađuje digitalna slika ili tekst, rade u drugačijim prostorima boja od tiskarskih strojeva na kojima se slika ispisuje. Stoga je nužna transformacija boje iz jednog prostora boja u drugi, ali pri tome postoji mogućnost loše reprodukcije, odnosno promjenjenih karakteristika boje. Drugi problem je što uređaji imaju različite opsege boja koje mogu reproducirati (gamute) pa se neke informacije o boji mogu u potpunosti izgubiti, ako izlaze iz gamuta drugog uređaja, primjerice. U toku grafičke pripreme pravilnim odabirom postavki može se predvidjeti te smanjiti ili ukloniti greške koje bi se mogle pojaviti u toku tiska. U ovom završnom radu obradile su se slike korištenjem tri različita prostora boja: RGB, CMYK i LAB. Nakon otiskivanja na ink – jet printeru napravljena su spektrofotometrijska mjerenja otisaka. Cilj je bio utvrđivanje kvalitete reprodukcije temeljene na različitoj pripremi.

Ključne riječi: boja, prostor boja, color management, kolorimetrija

Abstract

Color reproduction is one of the key elements in printing process. Color Management software is used for communication between different devices in process of color reproduction. Computers display an original or edited photograph in specific color space different from color spaces used in printers. Because of the difference, transformation of color from one color space to another is a necessity, but there is a possibility of unwanted effects such as changed characteristics of colors. Another issue is different color ranges, so called gamuts, across devices, so one color can be within gamut of one device, but out of gamut of another – which can cause lossy color information. In the process of preprinting we can control, foresee or even avoid possible errors in printing process, by using the right settings. In this study three photos were

edited using three different color spaces: RGB, CMYK and LAB. After printing on an ink – jet printer, samples were measured with spectrophotometer to conduct quality of reproduction based on different prepress.

Key words: color, color space, color management, colorimetry

Sadržaj

1. UVOD	1
2. ŠTO JE BOJA?	2
2.1. Princip aditivne sinteze	3
2.2. Princip suptraktivne sinteze	4
3. PROSTORI BOJA	5
3.1. Standardni prostor boja	5
3.2. CIE kromatični dijagram.....	6
3.3. RGB prostor boja	8
3.4. CMY(K) prostor boja.....	8
3.5. CIELab prostor boja.....	9
3.6. Problematika gamuta.....	10
4. COLOR MANAGEMENT	11
4.1. ICC color management	11
4.2. Konverzija.....	12
5. KOLORIMETRIJA	13
5.1. Spektrofotometar.....	13
6. EKSPERIMENTALNI DIO (prikaz i analiza praktičnog dijela)	14
6.1. Zapažanja na temelju mjerenja.....	24
7. ZAKLJUČAK	25
8. Literatura	26

1. UVOD

Pravilna reprodukcija boje u tisku počinje grafičkom pripremom. U toku reprodukcije mogu se dogoditi odstupanja reproducirane boje od originala, što nastaje tijekom transformacije boje između različitih uređaja. Poznavajući karakteristike uređaja i koristeći se Color Management sustavom mogu se predvidjeti i spriječiti neželjene promjene u toku tiska. U cijelom procesu, od registriranja boje ljudskim okom preko digitalizacije boje ulaznim uređajima (fotoaparatom) te naposljetku reprodukcije iste na izlaznim uređajima (printerima) događaju se odstupanja.

Digitalna boja opisana je pomoću tri koordinate unutar prostora boja nekog uređaja. Prostor boja koji koristi neki uređaj definira se prema karakteristikama tog uređaja i mogućnosti reprodukcije određenog opsega boja. Opseg boja koje neki uređaj može reproducirati naziva se gamut i jedinice koje ulaze u reprodukcijski proces imaju različite gamute, odnosno rade u različitim prostorima boja. Primjerice, uređaji koji rade u RGB prostoru boja imaju šire gamute od uređaja koji rade u CMYK prostoru boja. Zbog ovih ograničenja, mora doći do transformacije boje iz jednog prostora u drugi i pri tome često dolazi do promjene u kvaliteti reprodukcije boje. Kako bi ta promjena bila što manje izražena i konstantna između više različitih uređaja i proizvođača koristi se Color Management koji prema različitim ICC profilima radi konverziju boje prenoseći vrijednosti prvo u referentni prostor boja (PCS) i konačno u željeni prostor boja. Na nekom otisnutom materijalu mogu se mjeriti vrijednosti boja i uspoređivati ih. Kolorimetrija je znanost koja se bavi brojčanim opisom boja, a te brojčane vrijednosti mogu se mjeriti različitim mjernim instrumentima. Spektrofotometar mjeri faktor refleksije i faktor transmisije u intervalima valne duljine. U ovom radu spektrofotometrijski su se mjerila tri različita uzorka iste fotografije otisnute na ink – jet printeru koja je prethodno obrađena u tri različita prostora boja - LAB, RGB, CMYK. Cilj je bio utvrditi kvalitetu u reprodukciji boje temeljene na različitoj pripremi.

2. ŠTO JE BOJA?

Boja je psihofizički doživljaj koji nastaje kada reflektirano svjetlo pada na mrežnicu oka. 1666 godine Newton je objasnio bijelo svjetlo i njegovu disperziju na sastavne komponente – boje i tako postavio temelje istraživanja o boji. [1]

Potrebno je prvo objasniti zašto vidimo boje kao takve. Dakle, da bi vidjeli boju prvo mora postojati nekakav izvor svjetlosti. Svjetlost je elektromagnetsko zračenje vidljivo ljudskom oku i sastoji se od čestica – fotona – nosioca energije. Svako elektromagnetsko zračenje ima različitu frekvenciju. Frekvencijske razlike unutar vidljivog dijela spektra (400 – 700 nm) opisujemo kao boje i njihov zbroj predstavlja bijelu svjetlost. Kada svjetlost obasja neki predmet ona se u ovisnosti od prirode materijala reflektira i apsorbira. Ako je taj predmet, obasjan bijelom svjetlosti, primjerice vegetacija - sve valne duljine svjetlosti kao što su plava, crvena ili žuta se apsorbiraju, a zelena boja se reflektira, i predmet vidimo kao zeleni. Iste boje pod drugačijim uvjetima osvjetljenosti vidimo različito. Površinu koja u potpunosti apsorbira bijelu svjetlost doživljavamo crnom, površina koja reflektira svu bijelu svjetlost bit će bijela, a siva će dio bijelog svjetla apsorbirati, a dio reflektirati. Iz toga možemo zaključiti da boja ovisi o frekvenciji reflektiranog zračenja te viđenje boje ovisi o spektralnoj raspodjeli zračenja izvora svjetla kao i o prirodi materije.

Svjetlost koja se reflektirala od nekog predmeta putuje u ljudsko oko, lomi se u rožnici oka i pada na mrežnicu gdje fotoosjetljivi receptori primaju signale i šalju ih u mozak. Ti receptori (štapići i čunjići) odgovorni su za doživljaj oblika, boje i svjetline predmeta. Objašnjenje viđenja boja dano je „zonskom teorijom viđenja boja“ koja objedinjuje teoriju suprotnih boja i trikromatsku (tropodražajnu teoriju).

Tropodražajna teorija doživljaja boje podrazumijeva da se tri slike, formirane od tri tipa fotoosjetljivih stanica, šalju u mozak. Signali iz fotoosjetljivih stanica se uspoređuju i kao rezultat nastaje osjet boje. Istovremeno s tropodražajnom teorijom, Hering je predložio teoriju suprotnih boja koja se bazira na subjektivnom zapažanju prikazivanja boja. Ova zapažanja uključuju, između ostalog i prikazivanje tonova, kontrasta i paslika. Hering je primijetio da se određeni tonovi nikad ne opažaju zajedno, pa je te tonove proglasio jedinstvenim. Četiri jedinstvena tona obuhvaćaju dva para, crveni i zeleni te žuti i plavi. Zbog svojih opažanja predložio je da se odziv fotoosjetljivih stanica opisuju

kao svjetlo-tamno, crveno-zeleno i žuto-plavo. U formiranju prijamnog polja, individualni signali čunjića se mogu ili zbrojiti ili oduzeti.“ [2]

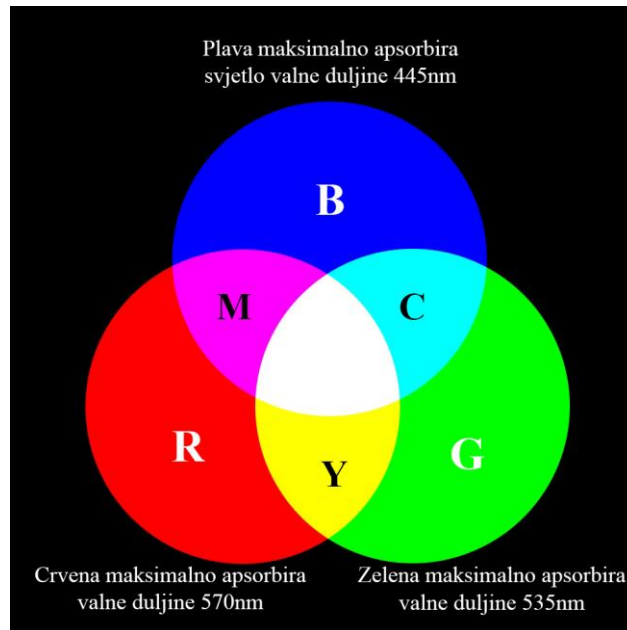
Boje opisujemo s nekoliko veličina prema kojima ih možemo uspoređivati. Nazivamo ih karakteristikama boje i one su:

- Svjetlina (luminancija)
- Ton boje – dominantna valna duljina
- Zasićenje – čistoća pobude

Ton i zasićenje zajedno predstavljaju kromatičnost boje. [4]

2.1. Princip aditivne sinteze

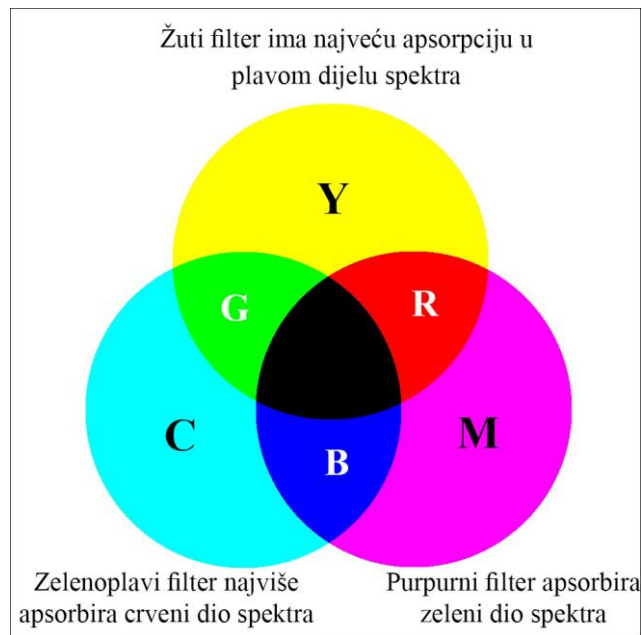
S osnovnim znanjima o principu rada ljudskog vizualnog sustava, od građe oka do percipiranja svjetlosnih informacija otvorena su vrata daljnjem istraživanju o prirodi boje. Imajući na umu tropodražajnu teoriju, Gnaz Schiffermüller i Munsch uveli su termin aditivna sinteza. Temelji se na pretpostavci da gotovo sve boje vidljive ljudskom oku nastaju mješanjem tri osnovne boje – zelene, plave i crvene (Slika 1.). Eksperiment se sastojao od diska koji sadrži filtre triju osnovnih boja, i taj disk je pričvršćen na štap. Kada se disk zavrti boje se vizualno miješaju.[2] Nizom drugih eksperimenata Maxwell (1855) je utvrdio raniju pretpostavku – aditivnom sintezom nastaju sve ostale boje, zbrajanjem odnosno dodavanjem snopova crvene, zelene i plave svjetlosti. Na principu aditivne sinteze temelji se rad televizora, monitora, fotografskih aparata. Kada snop elektrona prolazi preko fosforne ploče, proizvodi se plavo, cveno ili zeleno svjetlo, i slika koja nastaje uvećava se sustavom leća. Postoji nekoliko vrsta aditivne sinteze i njihova upotreba prilagođava se uređaju. Bilo koji princip aditivne sinteze zahtijeva upotrebu jednog od filtera, što automatski smanjuje dotok količine svjetlosti (ako uspoređujemo istu fotografiju u crno bijeloj i kolor varijanti), tako da će slika nužno biti tamnija ili manja veličinom ukoliko želimo zadržati intenzitet. Također, zbog filtera, nikad se ne može reproducirati čisto bijela boja. [10]



Slika 1. Princip aditivne sinteze – mješanjem primarnih boja nastaju CMY boje
 (http://www.media institute.edu/media-schools-blog/wp-content/uploads/2013/09/additive_primaries.jpg)

2.2. Princip suptraktivne sinteze

Ovu metodu prvi je opisao Hauron 1862. Za razliku od aditivne, suptraktivna sinteza temelji se na apsorpciji odnosno oduzimanju pojedinih valnih duljina od bijele svjetlosti. Na ovom principu rade izlazni uređaji – tiskarski strojevi – i boje koje se koriste kod suptraktivne sinteze su CMY (cyan, magenta, yellow) i njihovim mješanjem dobija se tamno smeđa boja, koja se modificira dodavanjem crnog pigmenta K (key, karbon) koja služi za kontrast (Slika 2.). Selektivno uklanjanje valnih duljina vrši se pomoću filtera. Zeleno- plavim filtrom oduzimamo crveni, purpurnim oduzimamo zeleni, a žutim plavi dio spektra. Ako koristimo filter koji apsorbira zeleni dio vidljivog spektra, od bijelog svijetla ostaje plavi i crveni dio spektra što će promatrač interpretirati kao purpurnu boju. [5]



Slika 2. Princip suptraktivne sinteze – zbrajanjem CMY filtera dobivamo primarne boje

(http://www.mediainstitute.edu/media-schools-blog/wp-content/uploads/2013/10/subtractive_primaries.jpg)

3. PROSTORI BOJA

Prostor boja je sistem koji omogućava numeričko opisivanje karakteristika boja. [6] Različiti uređaji koriste različite prostore boja bazirane na aditivnom ili suptraktivnom mješanju. Neki prostori boja su ovisni o uređaju (RGB i CMYK), dok su drugi neovisni o uređaju (CIEXYZ i CIELAB) i konstruirani tako da odgovaraju načinu na koji ljudsko oko vidi boju.

3.1. Standardni prostor boja

Aditivnim mješanjem boja svjetlost različitih valnih duljina pada na mrežnicu oka ili senzor, u istom trenutku, što rezultira preklapanjem boja u jednu. [10] CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) – internacionalna komisija za rasvjetu, znanosti o boji, razumijevanje nastanka boje i instrumentalnog mjerenja i dodjeljivanja brojčane

vrijednosti uvela je primarne monokromatske vrijednosti boja, izvore svjetla i njihove raspodijele zračenja kao i pojam „standardnog promatrača“ – 2° CIE *standard observer* (1931.), a kasnije je vidno polje od dva stupnja prošireno na 10°. Standardni promatrač predstavlja statistički podatak dobiven nizom mjerenja iz eksperimenata u kojima su sudjelovali ljudi ispravnog vida. [7]

CIE komisija odredila je tri monokromatska podražaja $\lambda_R = 700$ nm, $\lambda_G = 546.1$ nm, $\lambda_B = 435.8$ nm s ciljem da se utvrdi koliki je udio pojedinog podražaja potreban kod nekog promatrača da se dobiju sve boje. Rezultati su objavljeni u obliku funkcija izjednačenja boja $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$. Pojedinačni skup boja može imati negativne vrijednosti pa su uvedene imaginarne funkcije $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, koje nemaju negativnih vrijednosti.

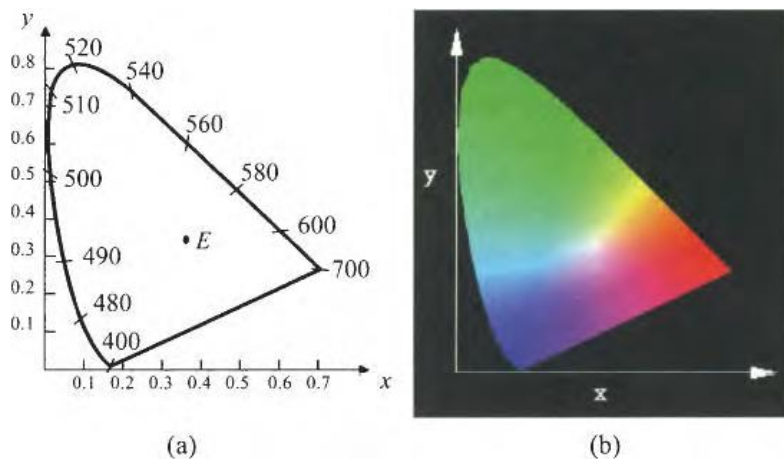
CIE prostori boja uključuju norme i postupke mjerenja boja i zasnivaju se na izjednačavanju boje. Množenjem tri spektralne krivulje koje predstavljaju izvor svjetla S_λ , objekt R_λ i promatrača $x_\lambda, y_\lambda, z_\lambda$ dobivaju se tropodražajne vrijednosti X, Y, Z. Te vrijednosti su početna točka za specifikaciju boja u svim prostorima boja i određuju položaj unutar trodimenzionalnog prostora. Kako tropodražajne vrijednosti ne nose informaciju o karakteristikama boje (tonu, zasićenosti i svjetlini) podaci se transformiraju u drugi prostor boja.

3.2. CIE kromatični dijagram

Zbog spomenutih ograničenja CIE komisija je prema podacima o viđenju boje ustanovljenih prema standardnom promatraču uvela dijagram kromatičnosti. Boja je predstavljena x i y koordinatama i prikazuje se u dijagramu koji je oblika potkove (Slika 3.). Kromatske koordinate (x, y) izračunavaju se iz tropodražajnih vrijednosti (X, Y, Z) prema formulama:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} ; y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (I)$$

- x, y su kromatske koordinate i predstavljaju relativni iznos tristimulusnih vrijednosti. [4]



Slika 3. CIE dijagram kromatičnosti u odnosu na 2° CIE standardnog promatrača (a); prikaz dijagrama kromatičnosti u boji (b)

(Koschan, Andreas i Abidi, Mongi. *Digital Color Image Processing* - Wiley - Interscience. 2008. str. 42)

Eksperimentalno je utvrđeno da je ljudsko oko puno osjetljivije na promjenu u intenzitetu nego u tonu. Zbog toga CIE dijagram kromatičnosti ima i svoje nedostatke:

- 1) Konstruiran je za mjerenje boje izvora svjetla, više nego za boju objekta
- 2) Jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama
- 3) Položaj boje izražen kromatičnim koordinatama ovisi o izvoru rasvjete
- 4) Sustav ignorira okolne boje i boju pozadine
- 5) Ne uzima u obzir fluorescenciju objekta [4]

CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i nazvala ih *illuminants* (vrsta svjetlosti ili rasvjete). *Illuminant* su izvori svjetlosti za koje se zna temperatura boje svjetla te spektralna raspodijela zračenja i nalaze se u bazi podataka za spektrofotometar. Neki od standardiziranih izvora su:

- 1) A – volframova žarulja
 - 2) B – sunčeva rasvjeta (podnevna)
 - 3) C – prosječna dnevna rasvjeta
 - 4) D65 – prosječna dnevna rasvjeta u ultra – ljubičastom i vidljivom dijelu spektra.
- [4]

3.3. RGB prostor boja

Baziran je na aditivnom mješanju i najčešće upotrebljavan u računalnoj industriji kod monitora te fotografskih aparata. R, G, B vrijednosti prikazane su pomoću vektora koji tvore trodimenzionalni ortogonalni prostor (kocku). [11] Svaki od kanala odnosno vektora ima vrijednosti od 0 – 1 (odnosno 0 – 255 ako uzmemo u obzir standardnih 8 bita po kanalu kod 24 – bitne slike) gdje crna ima koordinate (0,0,0) što znači odsustvo sve tri primarne boje; a bijela koordinate (1,1,1) – sadrži maksimalne vrijednosti primarnih boja. [11] Kolor fotografija se dakle opisuje kao vektor sa tri komponente mjerene intenzitetom svjetla. Naprimjer, ako imamo fotografiju C koju možemo razdvojiti na 3 kanala RGB – crveni, zeleni i plavi (prikazane vektorima), svaki kanal se može opisati pikselima koji imaju koordinate x, y.

$$C(x,y) = (R(x,y), G(x,y), B(x,y))^T = (R, G, B)^T \quad (\text{II})$$

Ove vrijednosti nazivamo tristimulusnim vrijednostima. Sve vrijednosti opisane RGB vektorima odgovaraju jednoj boji unutar RGB prostora boje i svaki od tih vektora je zavisao o uređaju i stoga imamo različite RGB prostore boja kao što su: sRGB, AdobeRGB, ProPhotoRGB... neki od njih imaju šire, a neke uže gamute. [10] Ako smo sliku definirali u AdobeRGB koji je šireg gamuta, prebacivanjem u sRGB prostor boja koji ima užu gamut može doći do gubitka informacije ili promjene karakteristika boje. U takvim slučajevima – konverzije boje kod prostora boje koji su ovisni o uređaju – treba se koristiti color management.

RGB prostor boja nije intuitivan ljudskom oku. Primjerice, ako krenemo od bijele boje i dodajemo joj plavu komponentu koordinate sljedeće boje odgovarat će žutoj. Zato se češće koriste takozvani perceptualni prostori boja koji imaju drugačiji oblik (stožasti) gdje su prijelazi iz jedne boje u drugu intuitivno jasniji ljudskoj percepciji boja. [11]

3.4. CMY(K) prostor boja

Bazira se na suptraktivnoj metodi mješanja boja komplementarnih crvenoj, zelenoj i plavoj, a to su zelenoplava (cyan), purpurna (magenta) i žuta (yellow). Koristi se

prvenstveno u tiskarskoj industriji. K (Karbon) dodaje se između ostalog radi pojačavanja kontrasta, ali i puno bitnije, zbog vremenski kraćeg perioda sušenja boje. Naime, u grafičkoj industriji, da bi dobili višebojnu reprodukciju (npr. fotografiju) potrebno je rastrirati fotografiju i razdvojiti je na kanale C, M, Y, K. Svaki od tih kanala nalazi se na jednoj tiskovnoj formi, i svaka tiskovna forma u jednom tiskovnom agregatu. Kada papir prolazi kroz tiskarski stroj, u svakom pojedinom agregatu tiska se jedna boja, što će naposljetku rezultirati fotografijom u boji onakvom kakva je prethodno, primjerice, bila na monitoru. Kada bi se koristile samo CMY boje, bez Key boje, debljina nanosa bi trebala biti puno veća, te tako i sušenje vremenski duže.

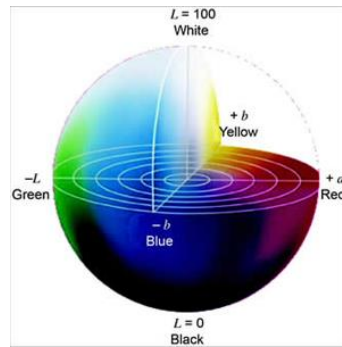
Postoje formule kojima možemo pretvarati RGB u CMYK i obratno.

Jedan od nedostataka kod suptraktivne sinteze je taj što cijan, magenta i žuta znatno apsorbiraju svjetlo na onim mjestima na kojima bi trebale imati sto postotno propuštanje. To rezultira tako da su boje tamnije i zbog toga su potrebne korekcije. [1]

3.5. CIELab prostor boja

CIELab prostor boja nastao je po uzoru na Munsellov sustav. [1] A. Munsell razvio je trodimenzionalni sustav boja baziran na principima doživljaja boje standardnog promatrača. Boje su razvrstane na osnovu tona boje (*Munsell hue – H*), svjetline (*Munsell value – v*), zasićenja (*Munsell chroma – c*). [4]

CIELab je prostor boja neovisan o uređaju, baziran na percepciji standardnog promatrača. Budući da je to prostor boja koji ne ovisi o uređaju koristi se u sustavu za upravljanje bojama. To je trodimenzionalni prostor koji je opisan sa tri karakteristike – L (*lightness*) predstavlja crnu ako je $L=1$, ili bijelu ako je $L=100$. Komponente a i b predstavljaju komplementarne boje na suprotnim krajevima osi; pa je na osi a* zelena boja obilježena sa $-a$, a na suprotnoj strani crvena boja obilježena sa $+a$. Na osi b*, nalaze se komplementi plavo – žuto. [10] (Slika 4.)



Slika 4. CIELab prostor boja

(<http://www.house-design-coffee.com/images/cie-lab.jpeg>)

3.6. Problematika gamuta

Opseg boja koji neki uređaj može reproducirati nazivamo gamut. On je određen karakteristikama uređaja i njegovom načinu rada. Naprimjer, monitori koriste RGB prostor boja i imaju šire gamute od printera koji koriste CMYK prostore boja. U reprodukcijском procesu, formirana slika prvo se prikazuje na monitoru i zatim se šalje na printer i pri tome je nužna transformacija boje iz jednog prostora boja u drugi. Do problema može doći ako neka boja izlazi iz gamuta drugog uređaja. U tom slučaju dolazi do promjene karakteristika boje, ili do „odrezivanja“, odnosno ne prikazivanja neke boje. Kako bi konverzija bila što efektivnija koristi se color management. Pri transformaciji, osim opsega gamuta, problem mogu stvarati i granice gamuta unutar uniformnog prostora boja. Parametri profila koji određuju na koji će način CMM smjestiti boje unutar granica (mapiranje gamuta) zove se renderiranje. Može biti:

- 1) Perceptualno
- 2) Relativno kolorimetrijsko
- 3) Apsolutno kolorimetrijsko
- 4) Saturacijsko [9]

Relativno kolorimetrijsko renderiranje uzrokuje zamjenu one boje koja izlazi iz gamuta uređaja (printera) –najsličnijom bojom koja se nalazi unutar gamuta. To rezultira nepromjenjenim bojama unutar gamuta, ali one izvan mogu biti „odrezane“ – mogu se izgubiti detalji.

Perceptualno renderiranje će bojama koje izlaze izvan gamuta dodjeliti druge vrijednosti – one koje mogu biti reproducirane. To uzrokuje promjenu u karakteristikama boje pa su te boje najčešće manje zasićene od originala. [12]

4. COLOR MANAGEMENT

4.1. ICC color management

Svi uređaji uključeni u reproduksijski proces imaju određene karakteristike, prema tome i različite gamute i radne prostore boja. Monitori koriste aditivnu sintezu i RGB prostore boja, u procesu tiska koristi se suptraktivna metoda mješanja i CMYK prostor boja – i ovi prostori su *device dependent* odnosno ovisni o uređaju. Već su spomenuti problemi u konverziji boje s jednog uređaja na drugi, ali problemi se javljaju i kod uređaja iste vrste ukoliko imaju različite karakteristike. Primjerice, dva različita monitora mogu karakterizirati istu boju na različit način, i stvara se problem uniformnosti, odnosno dolazi do većih odstupanja od originala čak i kod uređaja čiji se princip rada bazira na radu u istom prostoru boja. Kako bi se osigurali uvjeti kontinuiranog prijenosa informacije između uređaja, sa što manjim odstupanjima od originala, koristi se color management sustav.

Slikovne informacije u toku reprodukcije prolaze kroz niz transformacija, jer prelaze s jednog uređaja na drugi (kažemo da je sustav otvoren jer uključuje više jedinica). Transformirane informacije mogu se bitno razlikovati od originala i zbog kontrole promjena osnovan je ICC (*International Color Consortium*) – 1939. kada su sustavi postali otvoreni. [9]

ICC color management osnovan je s ciljem neutralnog sustava (neovisnog o proizvođaču), i sadrži različite specifikacije različitih profila koji su osnova za upravljanje bojom. Color management podrazumijeva korištenje hardvera, softvera i metodologije za podešavanje i kontrolu boja u reproduksijskom sustavu. To je programska podrška za kalibraciju i karakterizaciju ulazno – izlaznih uređaja i automatizaciju svih konverzija boja među uređajima. Komponente color managementa su:

- 1) Referentni prostor boja PCS – *Profile Connection Space*
- 2) Modul s algoritmima za usklađivanje boja – CMM
- 3) ICC profili [9]

Referentni prostor boja je veza između svih uređaja koji ostvaruju konverziju. On može biti ovisan ili neovisan o uređaju. Najčešće se kao referentni prostor koristi CIELab prostor boja jer je neovisan o uređaju. Do konverzije dolazi kada se vrijednosti originala na ulaznoj jedinici, prebacuju u najbliže izračunate vrijednosti prostora boja izlazne jedinice preko referentnog prostora boja.

ICC profil je datoteka koja opisuje ponašanje uređaja na način da povezuje vrijednosti boja koje daje uređaj (RGB, CMYK) u vrijednosti boja neovisnim o uređaju (CIELab). Profil je veza između uređaja i referentnog prostora boja. [9]

Tri su osnovna tipa profila:

- 1) *Input profiles*
- 2) *Display profiles*
- 3) *Output profiles*

Profili uvijek dolaze u parovima: *source profile* → *destination profile*. [9]

4.2. Konverzija

Princip konverzije prije svega uključuje transformaciju u referentni prostor boja – CIELab ili CIExyz. CMM obavlja izračun međuvrijednosti boja principom interpolacije. Utjecaj interpolacije neznatno utječe na dobivenu boju, najveći utjecaj imaju profili.

Konverzija vrijednosti boja odvija se u četiri koraka:

- 1) Color Management sustav očitava podatke u ulaznom profilu te izrađuje tablicu koje naprimjer RGB vrijednosti povezuje s odgovarajućim CIELab vrijednostima boja iz PCS-a. Takve RGB vrijednosti sada postaju neovisne o uređaju

- 2) Color management povezuje i izlazne podatke (CMYK ili RGB, ovisno o željenoj konverziji) sa vrijednostima boja iz PCS-a, i pri tom se koristi neki od načina usklađivanja (*rendering intent*)
- 3) CMM sadrži definirani interpolacijski algoritam i Color Management koristi te podatke kako bi obje tablice spojio u jednu i tako nastaje direktna poveznica između ulazne i izlazne jedinice.
- 4) Color Management provjerava sve piksele iz ulazne jedinice i preko tablice te vrijednosti pridružuje izlaznom profilu. [9]

Kalibracija i karakterizacija uređaja su isto jako bitne stavke.

5. KOLORIMETRIJA

Da bi se vidjela razlika između neka dva uzorka boje, mora ih se izmjeriti i usporediti. Mjerenjem i usporedbom boja te brojčanim izražavanjem njihovih karakteristika bavi se kolorimetrija. Bitna je za kalibraciju, karakterizaciju i kontrolu kvalitete boja. Mjerenja se mogu vršiti denzitometrom, kolorimetrom ili spektrofotometrom. Spektrofotometar daje podatke za izračunavanje kolorimetrijske razlike.

5.1. Spektrofotometar

Spektrofotometar je mjerni instrument koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora transmisije ili refleksije može se konstruirati spektrofotometarska krivulja. [4] Uređaj radi na principu razdvajanja bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine pomoću mono – kromatora (prizma ili optička rešetka). Uređaj se najprije kalibrira na bijeli uzorak - bijeli standard (najčešće magnezijev oksid). Reflektirano svjetlo dolazi u fotoćeliju koja ih pretvara u električne impulse. Suvremeni spektrofotometri najčešće sadrže sve podatke za CIE standarde, od standardnog izvora svjetla, promatrača, do izračunavanja CIE tristimulusnih vrijednosti. [9]

6. EKSPERIMENTALNI DIO (prikaz i analiza praktičnog dijela)

Sustav za reprodukciju boje obuhvaća kalibriran printer te određenu podlogu na kojoj se otiskuje. Podloga, odnosno papir, ima znatan utjecaj na reprodukciju boje – boje će biti intenzivnije na manje upojnim, premazanim papirima iz razloga što premazani papiri imaju veći gamut odnosno mogućnost reprodukcije većeg opsega boja. Papir se bira prema željama klijenta ili mogućnostima printera. Specifikacije papira korištenog u ovom završnom radu dobivene su od strane tiskare i navedene su u tablici 1.

1. Standard papira korištenog u pripremi

Parameter	Value	Unit	Standard
<i>Basic weight</i>	200 ± 10	g/m^2	ISO 536
<i>Paper thickness</i>	207 ± 12	Mikron	ISO 534
<i>Opacity</i>	94 ± 3	%	ISO 2471
<i>Stiffness md</i>	30 ± 5	mN	ISO 2493
<i>Stiffness cd</i>	20 ± 5	mN	ISO 2493
<i>Gloss value 60° (fs)</i>	17 ± 4	%	
<i>Smoothness</i>	>1000	sec	ISO 5627
<i>CIE whiteness (fs)</i>	99 ± 4		ISO 11475
<i>Shade D50/2° (fs)</i> <i>L*</i>	96.5 ± 1.5		ISO 5631 – 2
<i>a*</i>	0.0 ± 0.8		ISO 5631 – 2
<i>b*</i>	-1.5 ± 0.8		ISO 5631 – 2

**Description: SM 2076 P is Fogra certified resin coated media with semi matte finish.*

Korištena fotografija obrađena je u tri prostora boje u programu *Adobe Photoshop* (korekcija originala bila je minimalna).

Podušena je kontrast (*brightness/ contrast*) te tonski raspon slike (*levels/ curves*).

Odabir *rendering intent*: **relativno kolorimetrijsko** renderiranje – sve boje koje printer nije u mogućnosti reproducirati bit će zamjenjene prvom bojom na granici gamuta koja predstavlja zasićenu boju koja se može reproducirati – s ciljem da se uvide eventualna ograničenja printera u procesu reprodukcije.

Odabran je **AdobeRGB** profil jer je najadekvatniji za prebacivanje u CMYK prostor boja (ispis na kvalitetnim pisačima, tisak...). Pri tiskanju se koristio profil za INKJET – Fogra F39 EPSON STYLUS PRO 4880.

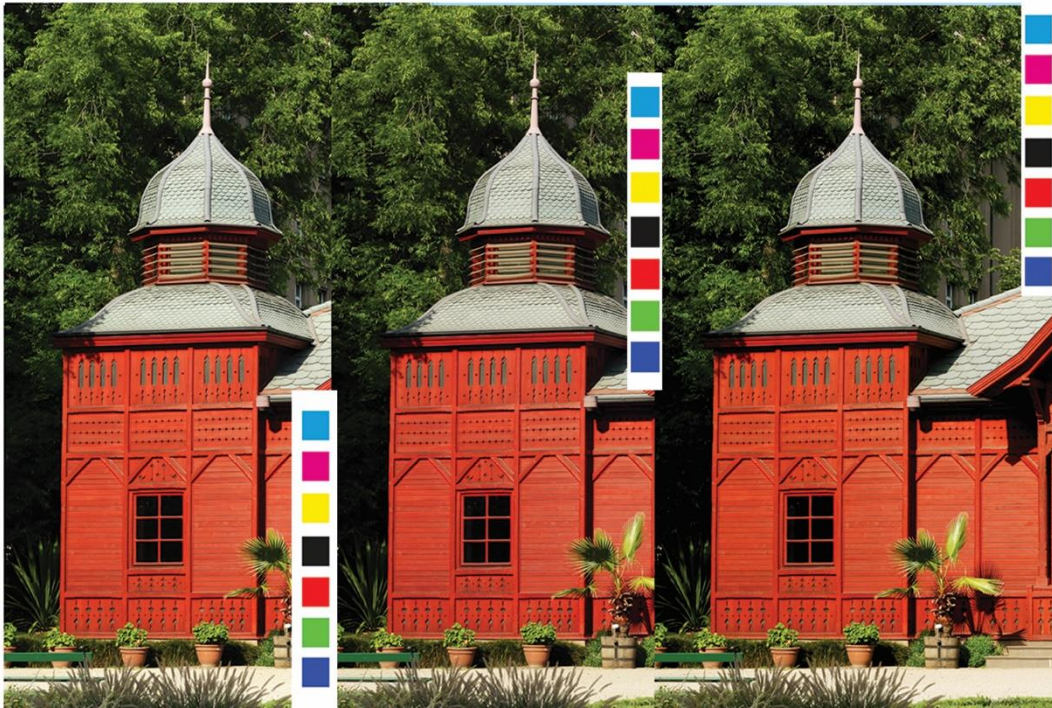
ICC profili mogu se odrediti ručno pri spremanju fotografije, mogu se uskladiti prema profilima koje koristi tiskara – kako bi boje bile što vjernije ispisane. Za sve slike korišten je isti izlazni ICC profil.

Spektrofotometrom su se nakon kalibracije izmjerile vrijednosti boja na mjernim klinovima te posebno na trima točkama na slici. Iz dobivenih podataka ekstrapolirane su krivulje refleksije prikazane na slikama 5 i 6 te grafikonima 1 – 9.

1.

2.

3.



Slika 5. Fotografija obrađena u tri prostora boje:

1. CMYK; 2. LAB; 3. AdobeRGB

i pripadajući mjerni klinovi na kojima su se spektrofotometrom mjerile vrijednosti boje

Primjer izmjerenih spektrofotometrijskih vrijednosti mjenjenih na slici pripremljenoj u CMYK prostoru boje u rasponu od 400 do 700nm prikazane su u tablici 2 – 4.

2. Izmjereni faktori refleksije u području od 400 – 500 nm

400nm	410nm	420nm	430nm	440nm	450nm	460nm	470nm	480nm	490nm	500nm
33,4753	42,1411	52,1262	59,5299	63,1824	63,899	62,9362	61,275	58,7511	56,5605	54,1062
19,3588	22,3416	25,7088	26,1567	23,4386	19,4459	15,505	11,4874	7,4548	5,0736	3,714
3,6962	3,628	3,8178	3,9114	3,9848	4,0387	4,1397	4,5838	6,7489	16,4373	37,5383
1,6889	1,7958	1,9005	1,9817	2,0386	2,1075	2,1491	2,188	2,4318	2,918	3,3397
4,4234	4,2336	4,2204	4,018	3,6429	3,2825	2,8628	2,5097	2,3028	2,5161	2,6094
4,048	4,0064	4,0987	4,1636	4,2923	4,5445	4,8226	5,5201	8,5242	18,3704	34,3421
17,3657	21,765	26,0372	28,7411	29,6639	29,0312	27,303	24,8569	21,6137	19,2866	17,2251

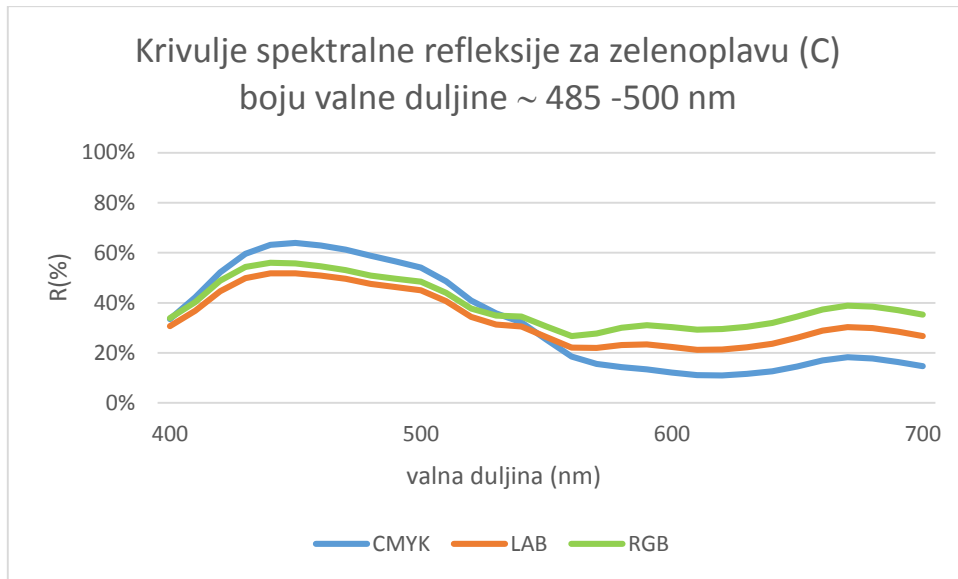
3. Izmjereni faktori refleksije u području od 500 – 600 nm

500										600
54,1062	48,5319	40,8969	35,8172	32,1608	25,2382	18,563	15,5901	14,3446	13,3743	12,0883
3,714	2,164	1,2179	1,0758	1,186	1,0861	1,1446	2,7896	11,3193	28,6434	44,4126
37,5383	58,3805	69,6532	73,983	75,913	75,9447	75,5629	77,1605	79,1275	80,6964	81,4742
3,3397	3,1628	2,6676	2,4584	2,4838	2,1588	1,8697	2,0401	2,3741	2,5504	2,5033
2,6094	1,8577	1,1767	1,0319	1,1067	1,0228	1,0512	2,5177	10,5277	27,5436	43,7966
34,3421	45,2425	47,452	45,9252	43,0901	37,5441	31,1135	26,774	24,0857	22,4017	20,7177
17,2251	13,0666	8,6756	6,9332	6,4665	4,6646	3,2416	3,5405	4,6848	5,4482	5,357

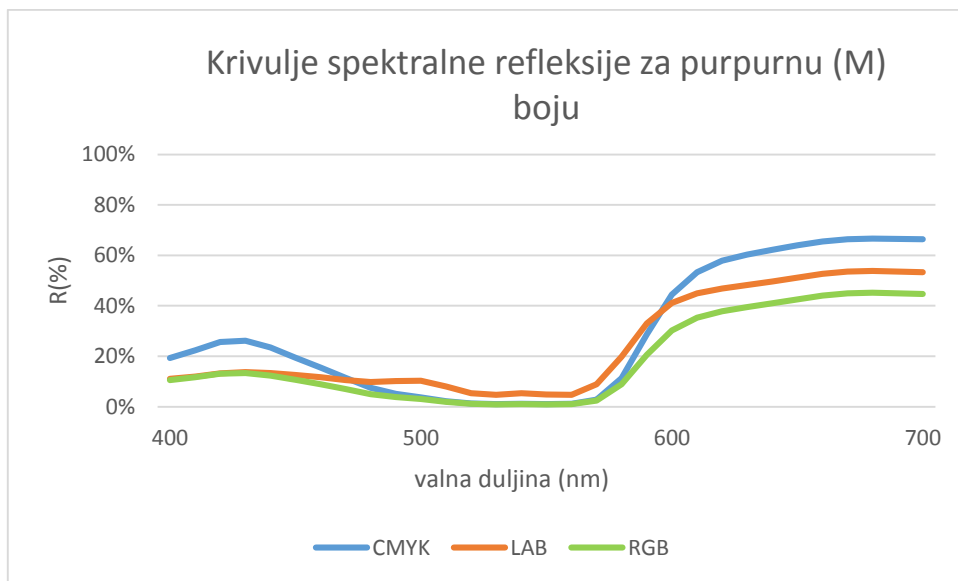
4. Izmjereni faktori refleksije u području od 600 – 700 nm

600										700
12,0883	11,0408	10,9848	11,5635	12,6551	14,6073	16,9494	18,2251	17,7437	16,3933	14,6902
44,4126	53,336	57,831	60,3492	62,2287	63,9231	65,4648	66,3585	66,5975	66,4907	66,3536
81,4742	81,8562	82,1623	82,526	83,1563	83,8254	84,4641	84,7501	84,8478	84,8696	85,0567
2,5033	2,3928	2,4191	2,5697	2,8046	3,1862	3,608	3,8455	3,7808	3,5549	3,3314
43,7966	53,4994	58,4362	61,0695	62,7778	64,1192	65,2592	65,9626	66,2909	66,3846	66,5218
20,7177	19,4639	19,4363	20,1763	21,4823	23,6907	26,2109	27,5201	27,0567	25,6837	23,9328
5,357	5,029	5,0853	5,4438	6,0649	7,1494	8,4913	9,2438	8,9472	8,1388	7,2068

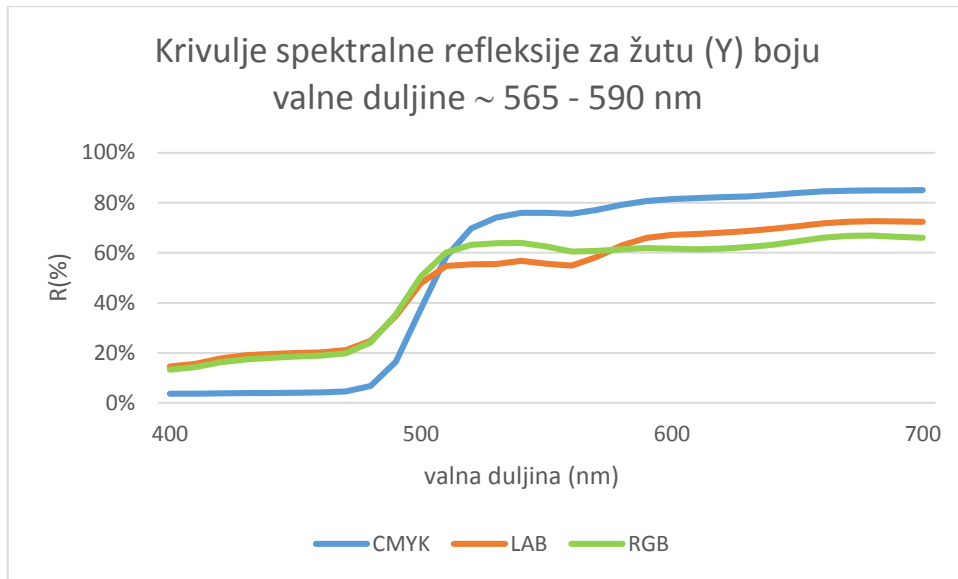
Iz ovih brojčanih vrijednosti ekstrapolirane su spektrofotometarske krivulje refleksije za sva tri mjerena prostora boje. Pojedinačne boje prikazane su na grafikonima 1 – 6.



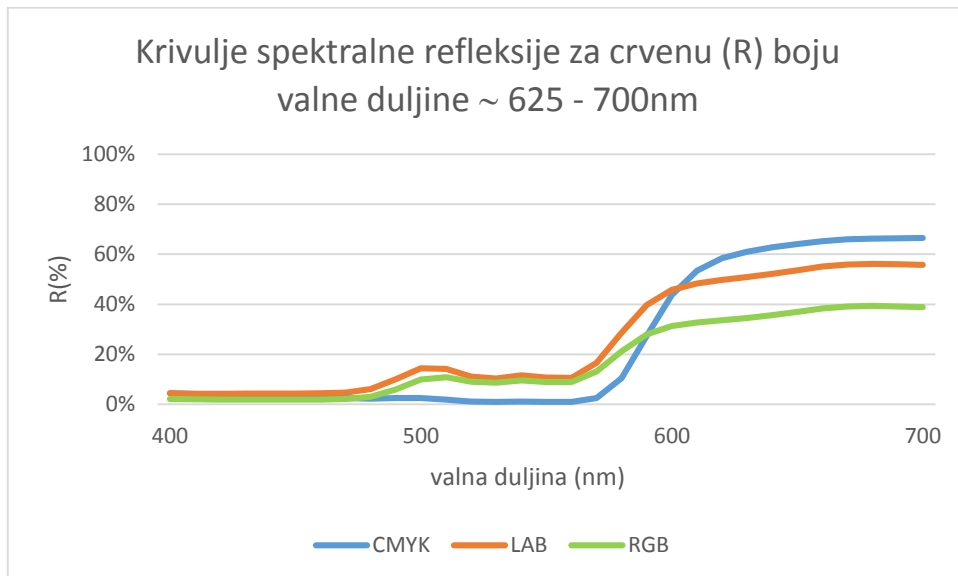
1. Spektrofotometrijske krivulje za zelenoplavu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja



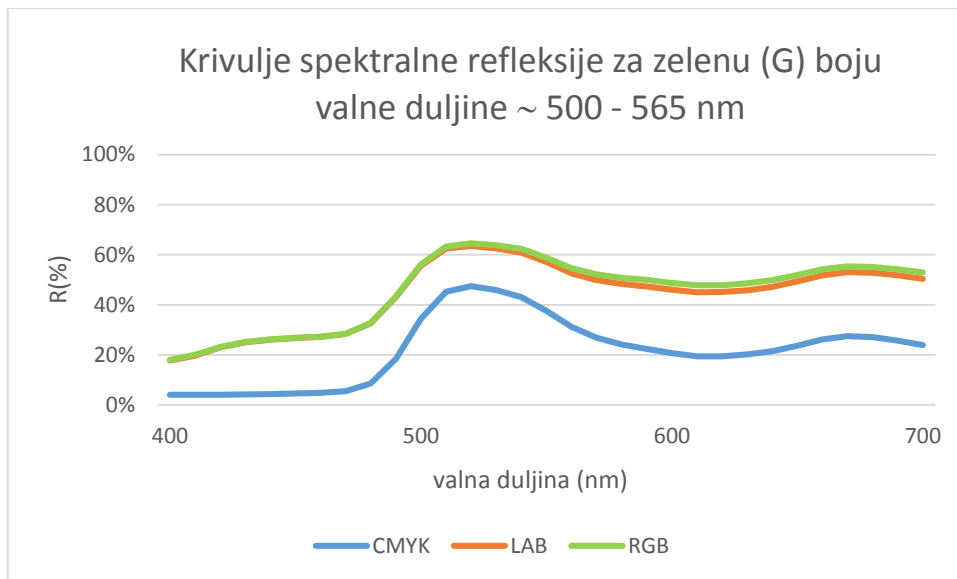
- *Purpurna (magenta) boja nije prisutna u vidljivom spektru. Ona nastaje kada ljudsko oko percipira plavu i crvenu boju istovremeno, u odsutnosti zelene. Zbog toga nije navedena njena valna duljina.*
2. Spektrofotometrijske krivulje za purpurnu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja



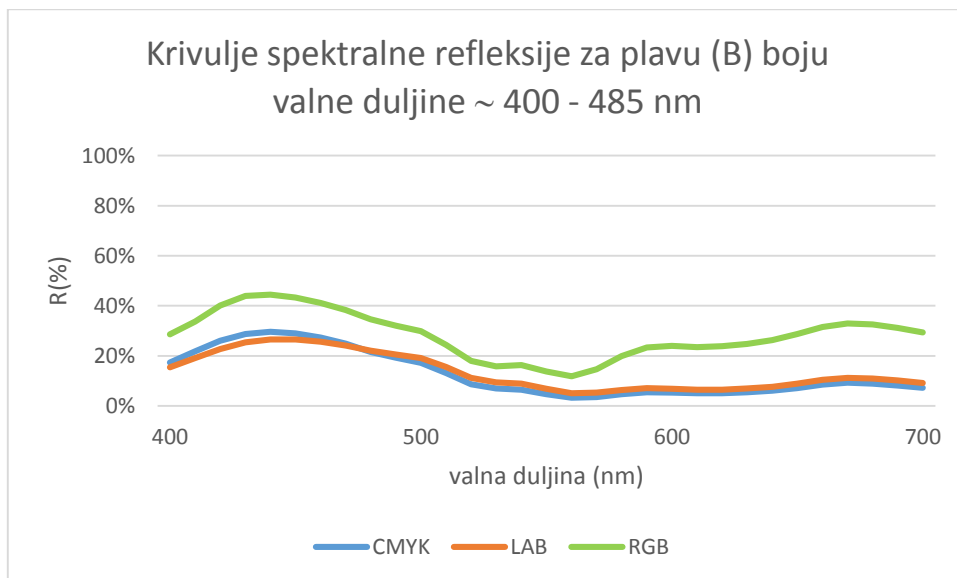
3. Spektrofotometrijske krivulje za žutu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja



4. Spektrofotometrijske krivulje za crvenu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja

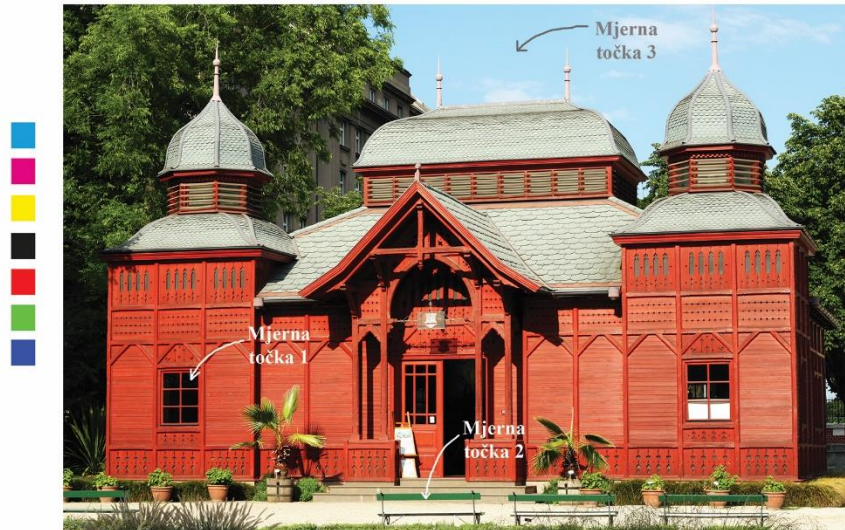


5. Spektrofotometrijske krivulje za zelenu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja

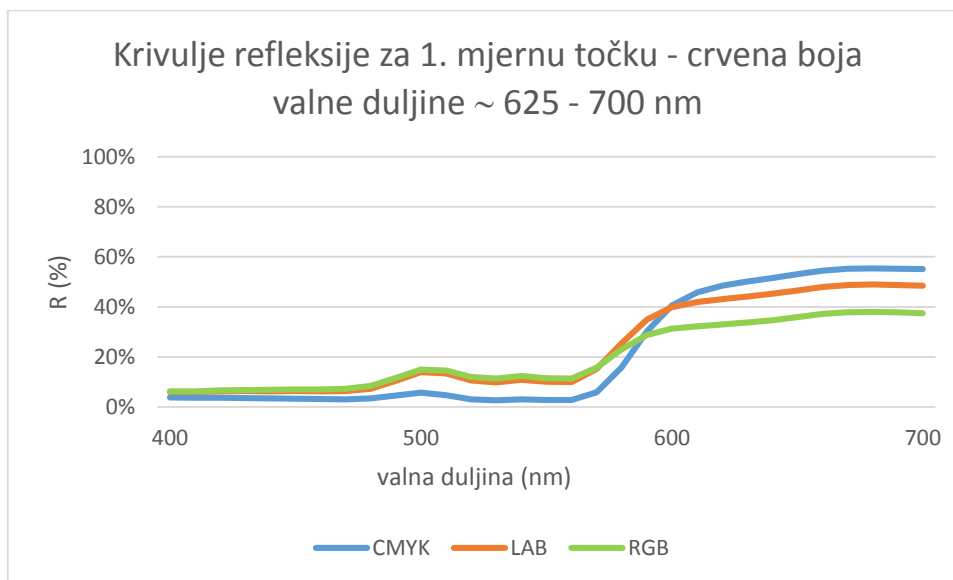


6. Spektrofotometrijske krivulje za plavu boju – mjerenu na testnim kartama pripremljenim u CMYK, RGB i LAB prostoru boja

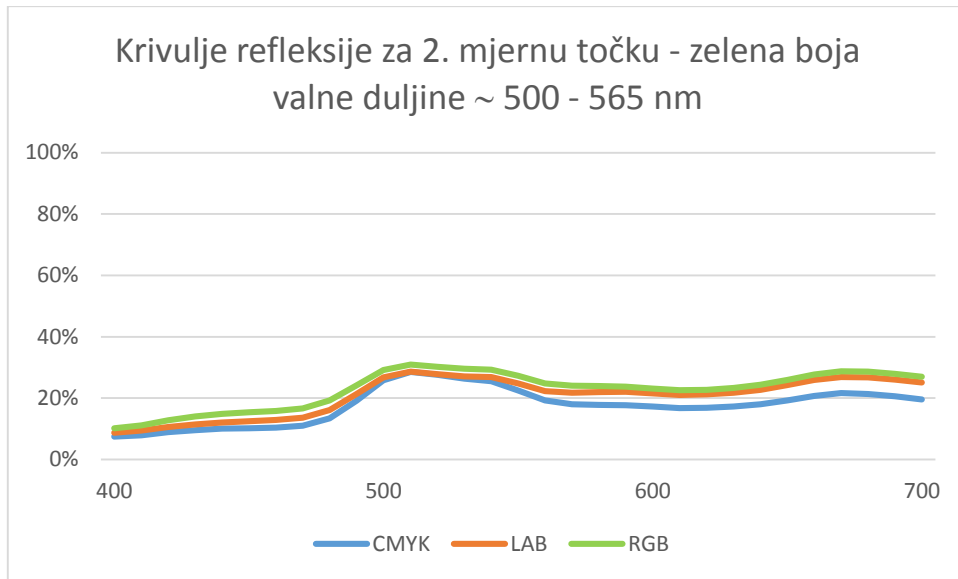
Izmjerene su i vrijednosti na trima točkama na fotografiji kako bi se utvrdila odstupanja. Pozicije mjerenih točaka prikazane su na slici 6. i pripadajuće krivulje refleksije na grafikonima 7 – 9.



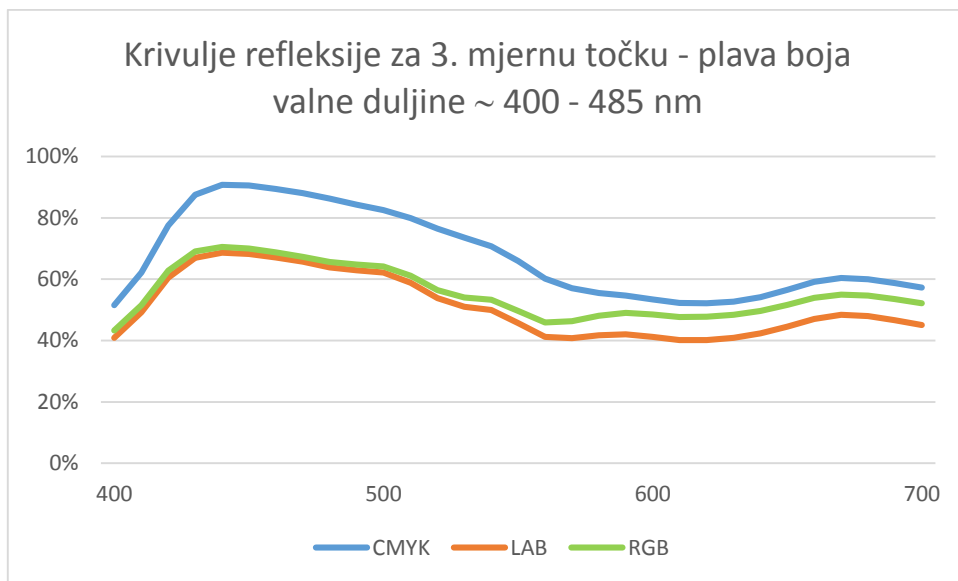
Slika 6. Mjerne točke; primjer slike u CMYKu



7. Spektrofotometrijske krivulje za 1. mjernu točku – crvena boja – mjerene na otiscima pripremljenim u sva tri prostora boje



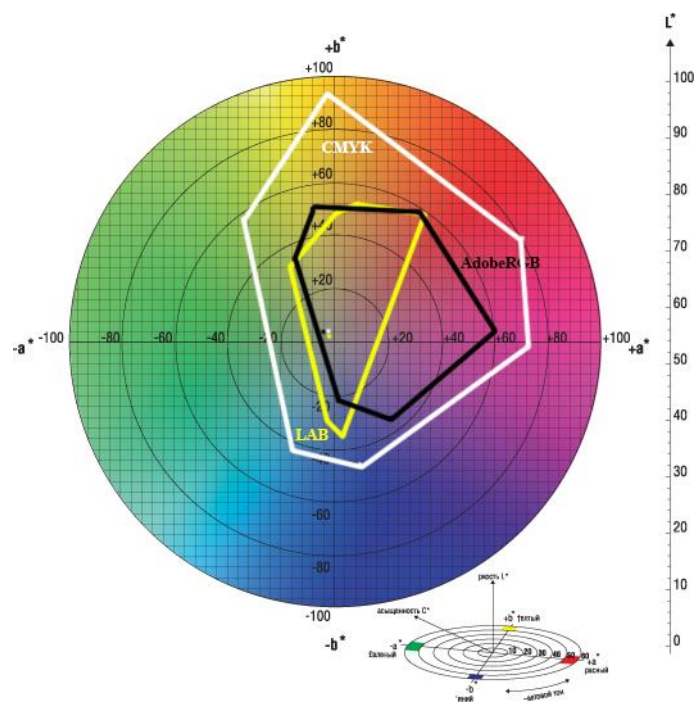
8. Spektrofotometrijske krivulje za 2. mjernu točku – zelena boja – mjerene na otiscima pripremljenim u sva tri prostora boje



9. Spektrofotometrijske krivulje za 3. mjernu točku – plava boja – mjerene na otiscima pripremljenim u sva tri prostora boje

Očitavanjem krivulja spektralne refleksije, može se zaključiti kako boje koje su obrađene u CMYK – prostoru boje imaju najveću refleksiju u zelenoplavom, purpurnom, žutom te crvenom dijelu spektra, ali manju u plavom i zelenom dijelu spektra. Općenito, sve boje mjerene na uzorcima pripremljenim u CMYK prostoru boja su zasićenije. Krivulje refleksije kod slika koje su obrađene u LAB i AdobeRGB prostoru boja se uglavnom podudaraju.

Na slici 7 prikazani su opsezi AdobeRGB i LAB prostora boja ucrtani u koordinatni sustav CIELab. Ucrtane vrijednosti dobivene su mjerenjem na testnim kartama, odnosno otiscima, koji su – da bi se mogli otisnuti – prošli kroz RIP (*raster image processor*). To znači da su vrijednosti boja na fotografiji, prije ispisa, konvertirane u CMYK prostor boja. Zbog toga su prikazani prostori užeg gamuta.



Slika 7. Opseg CMYK, AdobeRGB i LAB prostora boja s vrijednostima dobivenim mjerenjem na testnim kartama

(http://www.colorlab.ru/wp-content/gallery/kachestvo-i-cvet/pict_06.jpg)

Ovi podaci ukazuju na to da se konverzijom znatno sužava opseg moguće reprodukcije boja. Primjerice, AdobeRGB reprodukcija ne obuhvaća veliki dio plavog dijela spektra. Odabirom relativnog kolorimetrijskog renderiranja plava boja koja nije mogla biti

reproducirana zamjenjena je prvom bojom na granici gamuta koju je printer mogao reproducirati. U ovom slučaju plava boja neba promjenjena je u ljubičastu.

6.1. Zapažanja na temelju mjerenja

Usporedbom fotografija u pripremi (na monitoru) i reprodukcija vide se velike razlike u boji. To je očekivano jer ulazno – izlazni uređaji rade na principu aditivne, odnosno suptraktivne sinteze. Slika obrađena u CMYK prostoru boja dala je u konačnici reprodukciju s mnogo zasićenijim bojama no što su bile u pripremi. To se povezuje s karakteristikama papira, jer se koristio premazani papir. Ukoliko se znaju točne karakteristike papira priprema može biti kontrolirana pa konačna reprodukcija neće biti ispod očekivanog.

Na slici 7 prikazane su granice opsega pojedinih prostora boje gdje se može očitati kako CMYK prostor obuhvaća veći opseg boja od LAB i AdobeRGB – i to poglavito u crvenom i zelenom dijelu spektra. Inače, to ne bi bio slučaj – u teoriji su i AdobeRGB i LAB šireg opsega, međutim slike obrađene u ova dva prostora boje nužno su prošle kroz proces konverzije. Izmjerene vrijednosti su, dakle, već promjenjene i njihovim ucrtavanjem dobivaju se granice koje su znatno uže nego je uobičajeno s ovim prostorima boje. Neke boje tako ostaju izvan gamuta pa su zamjenjene s najbližijom bojom na granici gamuta. To obajšnjava činjenicu da neke boje izgledaju znatno drugačije nego su bile u pripremi. Najveća odstupanja vide se u području zelenog dijela spektra jer je većina ovih tonova izvan gamuta. Odabir relativnog kolorimetrijskog renderiranja rezultirao je da one boje koje su izvan opsega budu odrezane, pa se vidi gubitak na detaljima na dijelovima slike koji sadrže zelenu boju. One boje koje su na granici gamuta zamijenjene su najbližijom bojom koja se nalazi unutar gamuta što je rezultiralo promjenom tona kod nekih boja.

7. ZAKLJUČAK

Mnogo je stavki koje se trebaju uzeti u obzir prije same obrade fotografija kako bi se dobili zadovoljavajući rezultati. Na reprodukciju prvenstveno znatno utječe odabir papira. U ovom završnom radu koristio se određeni standard premazanog papira što je dalo rezultate zasićenije reprodukcije boja. Kada bi se, primjerice, koristio novinski papir koji je tanji i upojniji i ima uži gamut, reprodukcija boja ne bi bila toliko intenzivna i zasićena. Trebaju se također uzeti u obzir karakteristike izlaznog uređaja, u smislu softvera, te ICC profili koje najčešće određuje tiskara. Kada su ti parametri usklađeni, mnogo su manje mogućnosti grešaka. Prostor boja u kojemu se obrađuje neka slika najbolje je uskladiti s profilom izlaznog uređaja, tako da ne dolazi do previše transformacija što vodi do loše reprodukcije. Ukoliko se slika obrađuje u drugom prostoru boja, bolje je da to bude prostor koji je neovisan o uređaju a to je LAB, ali pri tom se treba obratiti pozornost na renderiranje te odabir profila koji će se koristiti pri konverziji. Rezultati mjerenja prikazani u ovom završnom radu ukazuju na to da je reprodukcija najvjernije prikazana kod pripreme u LAB prostoru boja.

8. Literatura

1. Hunt, R. W. G. (2004) *The reproduction of colour - 6th Edition*, The Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology, Chichester UK
2. *** rsta.royalsocietypublishing.org. [Online] [Cited: 08 10, 2015.]
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/366/1871/1685#sec-4>.
3. ***repro.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 18, 2015.] 2.
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:37mDJmov_q0J:repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/KOLORIMETRIJSKA%2520RAZLIKA.ppt+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ba.
4. ***fotoprocesi.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 10, 2015.] 10.
http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20-%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf.
5. ***repro.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 02, 2105.]
http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Vjezba1.pdf.
6. ***pcmag.com. [Online] [Cited: 08 11, 2015.]
<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/40002/color-space>.
7. ***repro.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 11, 2015.]
http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf.
8. ***wikipedia.org. [Online] [Cited: 08 13, 2015.]
https://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space.
9. ***repro.grf.unizg.hr. [Online] [Cited: 08 11, 2015.]
http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf.
10. Koschan, A., Abidi, M. (2008) *Digital Color Image Processing*, Wiley - Interscience, New York NY
11. Solomon, C., Breckon, T. (2011) *Fundamentals Of Digital Image Processing*, Wiley - Blackwell, Chinchester UK
12. ***www.color-management-guide.com. [Online] 2015. [Cited: 08 22, 2015.]
<http://www.color-management-guide.com/conversion-mode-perceptual-relative-colorimetric-rendering-intent.html>.