

Utjecaj korištenja podatkovnih struktura na točnost ICC profila

Šestak, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:245174>

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

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



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

PETRA ŠESTAK

**UTJECAJ KORIŠTENJA PODATKOVNIH
STRUKTURA NA TOČNOST ICC PROFILA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2014.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

PETRA ŠESTAK

UTJECAJ KORIŠTENJA PODATKOVNIH STRUKTURA NA TOČNOST ICC PROFILA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Diana Milčić

Student:

Petra Šestak

Zagreb, 2014

Rješenje o odobrenju teme diplomskog rada

ZAHVALE

Od srca zahvaljujem svojim roditeljima Jasminki i Zdravku na bezuvjetnoj ljubavi, financijskoj i moralnoj podršci bez kojih sve ovo ne bih uspjela postići. Svojim sestrama Mateji i Antoniji zahvaljujem na moralnoj podršci, savjetima i pomoći. Svojim dragim prijateljicama Mariji i Božici zahvaljujem na pomoći oko studentskih obaveza, predivnim druženjima i iskrenom prijateljstvu. Također, zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Diani Milčić i asistentu dr. sc. Davoru Donevskom na pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

SAŽETAK

Kako se u današnje vrijeme, razvojem novih tehnologija, želi postići što veća kvaliteta reprodukcijskog procesa, sve se više pažnje posvećuje sustavu za upravljanje bojama koji se može opisati kao upotreba hardvera, softvera i metodologije za kontrolu i prilagodbu boje kroz različite uređaje. Kalibracija i karakterizacija uređaja nezaobilazan su dio osiguranja kvalitete u procesima grafičke reprodukcije. ICC specifikacija propisuje format zapisa, odnosno podatkovne strukture različitih vrsta profila, ali omogućuje fleksibilnost u korištenju tih struktura pri izradi profila. Time se omogućuje optimizacija i postizanje veće točnosti profila ovisno o reprodukcijским karakteristikama uređaja za koji se profil izrađuje. U okviru ovog istraživanja ispitati će se utjecaj „B“ krivulja na točnost profila jednog procesa. S obzirom da transformacijska tablica profila zbog ograničenja veličine ne može sadržavati sve permutacije ulaznih vrijednosti, za ulaze koji nisu sadržani u tablici pripadajući izlazi se određuju interpolacijom. Kako je metoda u osnovi linearna, a procesi su uglavnom nelinearni, dolazi do odstupanja predviđenih izlaznih vrijednosti od stvarnih. Te se pogreške mogu smanjiti korištenjem „A“ krivulja i „B“ krivulja profila. U ovome istraživanju ocijeniti će se i usporediti točnosti ICC profila koji koriste različite „B“ krivulje.

KLJUČNE RIJEČI: sustav za upravljanje bojama, ICC profili, gamut, kalibracija i karakterizacija uređaja, poliharmonijski splajn

ABSTRACT

How in today's world do developments of new technology, wish to achieve greater quality of reproduction processes there is more awareness on the color management systems which can be described as the use of hardware, software and methodology for the control of colours through various devices. Calibration and characterisation devices are parts that insure the quality of the graphic reproduction processes. ICC specifications prescribe the format records regarding data structure and various types of profiles, but also allows for flexibility in the use of the structures at the making profile.

This enables optimization and achieving greater accuracy profiles depending on the reproductive characteristics of the device for which the profile is being created. This research will examine the impact of the "B" curve on the accuracy of the profile of a process. Since the transformation table profiles due to size limitations may not contain all the permutations of input values for inputs that are not included in the table corresponding outputs are determined by interpolation. Since the methods are basically linear and processes are generally nonlinear, that leads to deviations predicted output values of the real. The mistakes can be reduced by using "A" curves and "B" curves of the profile.

KEYWORDS: color management systems, ICC profiles, Gamut, calibration and characteristic devices, poliharmonic spline

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. UPRAVLJANJE BOJAMA	2
2.1. Skupine CM sustava.....	4
2.1.1. Zatvoreni CM sustavi.....	4
2.1.2. Otvoreni CM sustavi	5
2.2. Dijelovi sustava upravljanja bojama	7
2.3. Proces sustava upravljanja bojama.....	11
2.4. Prostori boja	13
3. ICC PROFILI	15
3.1. Profili ulaznih uređaja, monitora i izlaznih uređaja	16
3.2. „A“ i „B“ krivulje u profilu.....	18
3.3. BtoA tip transformacije.....	19
4. GAMUT	21
4.1. Mapiranje gamuta.....	22
5. KALIBRACIJA I KARAKTERIZACIJA UREĐAJA	25
5.1. Modeli karakterizacije.....	31
5.1.1. Regresijski model karakterizacije	31
5.1.2. Neuralni model karakterizacije	32
5.1.3. Trodimenzionalni tabelarni model karakterizacije s interpolacijom	32
5.1.4. Model karakterizacije temeljen na osnovama miješanja boje	33
5.2. Kalibracija i karakterizacija ulaznih i izlaznih uređaja	34
5.3. Karakterizacija digitalnog fotoaparata	36

5.4. Kalibracija tiskarskog stroja.....	37
6. POLIHARMONIJSKI SPLAJN.....	39
7. EKSPERIMENTALNI DIO.....	41
7.1. Utjecaj odabira „B“ krivulje profila na njegovu točnost.....	41
7.2. Metodologija.....	42
8. REZULTATI I RASPRAVA.....	47
9. ZAKLJUČAK.....	50
10. LITERATURA.....	51
11. POPIS SLIKA.....	54
12. POPIS TABLICA.....	56

1. UVOD

Problem kvalitetne reprodukcije boje javlja se još u prošlosti te mu se sve veća pažnja posvećuje razvojem kolorimetrije. Pojava novih medija i sve veći razvoj digitalnih tehnologija te potreba za što točnijim prikazom boja, bez obzira na različite medije i uvjete u kojima se nalaze, dovela je do razvoja novih metoda za upravljanje bojom.

U teorijskom dijelu rada će biti objašnjen pojam sustava za upravljanje bojom, procesi sustava za upravljanje bojom, pojam gamuta i ICC profili.

Ovim radom će biti definirani pojmovi sustava za upravljanje bojom kao upotreba hardvera, softvera i metodologije za kontrolu i prilagodbu boje kroz različite uređaje. Objasnit će se sustavi kalibracije i karakterizacije kao procesi sustava za upravljanje bojom kako bi se obratila pažnja na važnost osiguravanja ponovljivog, fiksno stanja uređaja te zadržavanje tog stanja kako bi se mogla provesti karakterizacija, odnosno izrada profila uređaja. Kada se govori o uspješnoj reprodukciji boje, kalibriranje ulaznih i izlaznih uređaja je neophodno. Nadalje, u radu će biti opisan i pojam ICC profila koji je definiran kao datoteka koja predstavlja vezu između referentnog prostora boja i uređaja te je njegova svrha da sustavu za upravljanje bojama dostavi podatke koji su potrebni za pretvaranje vrijednosti boja između prostora boja uređaja i referentnog prostora boja.

Ovaj rad sadrži i eksperimentalni dio u kojem će se ispitati utjecaj „B“ krivulja na točnost profila jednog procesa te će se ocijeniti i usporediti točnost ICC profila koji koriste različite „B“ krivulje. Utvrdit će se utjecaj na točnost za jednu veličinu transformacijske tablice i jedan proces te ograničenja prilikom određivanja krivulja.

2. UPRAVLJANJE BOJAMA

Još iz davnina se proteže problem postizanja korespondentnosti u reprodukcijском procesu boje i višebojnih slika, odnosno problem prikazivanja ispravne boje na reprodukciji i usklađivanje jedne višebojne reprodukcije s drugom. Tom se problemu veća pozornost počela posvećivati krajem 19. stoljeća razvojem kolorimetrije čime je došlo i do razvoja novih medija: tiskani, fotografija, film, video, računarska grafika i internet. [1]

U današnje vrijeme se sve više razvijaju digitalne tehnologije što je uzrokovalo razvoj novih metoda za što kvalitetnije upravljanje bojom. Glavni problem u kvalitetnoj reprodukciji boje leži u tome što će slikovne informacije prije konačne faze reprodukcije proći kroz niz transformacija koje ovise o karakteristikama medija, tj. uređaja. Kako bi se taj problem riješio 1993. godine je osnovano udruženje tvrtki čiji je cilj izrada i promoviranje otvorenog sustava za upravljanje bojom koji će se moći primijeniti na različite platforme i koji će biti neovisan o proizvođaču. To je udruženje nazvano *International Color Consortium (ICC)*, a o njemu će više biti rečeno u narednom poglavlju. [1]

Kako bi boje na različitim medijima i u različitim uvjetima bile što točnije prikazane, posljednjih su godina sve više razvijeni sustavi za upravljanje bojama (Color management systems).

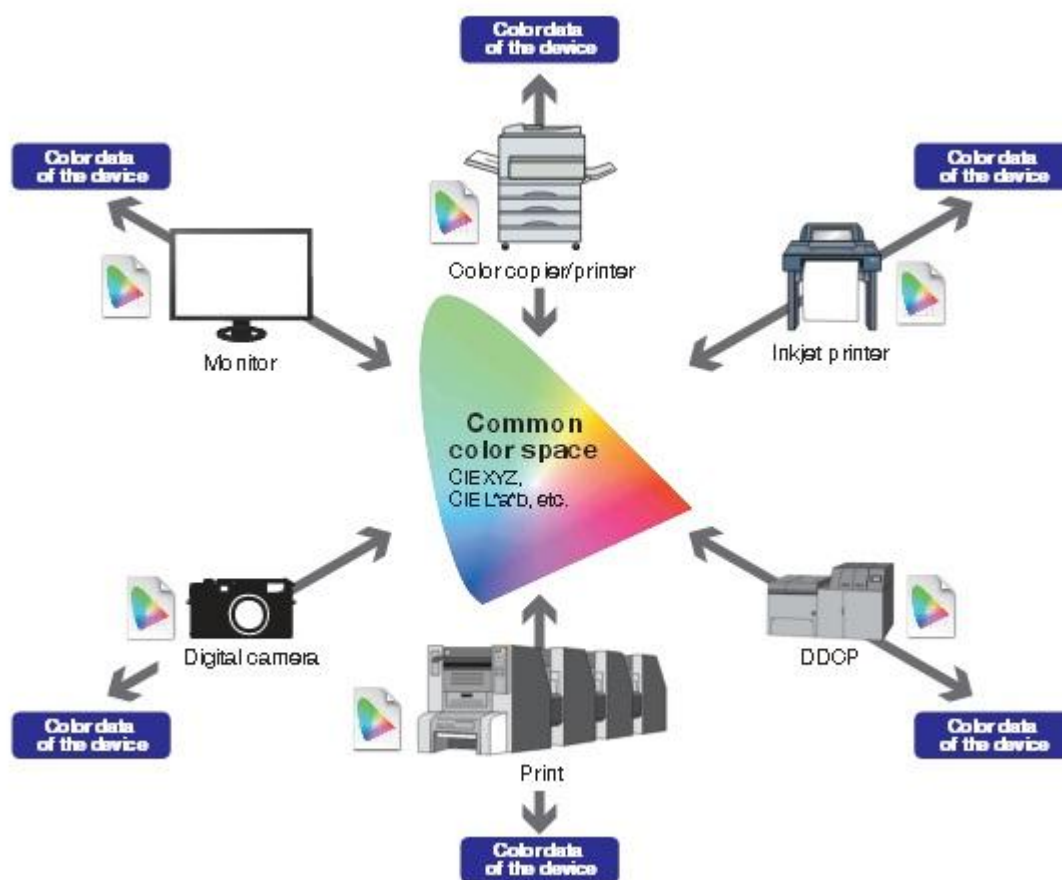
„*Color management*, tj. sustav za upravljanje bojom se može opisati kao upotreba hardvera, softvera i metodologije za kontrolu i prilagodbu boje kroz različite uređaje.“ [2]

Svi sustavi za upravljanje bojama imaju dvije osnovne zadaće: [3]

- Daju specifično značenje boja prema RGB ili CMYK brojevima čineći ih nedvosmislenima. Upravljanje bojama omogućava da uvijek znamo koju boju predstavlja dobiveni skup brojeva.

- Mijenjaju RGB ili CMYK brojeve koji se šalju na različite uređaje, na monitore, pisače, offsetne strojeve za tisak tako da svi prikazuju iste boje.

Monitori i pisači imaju svoje specifične posebnosti boja tako da je nemoguće da se ispis boje preko pisača savršeno slaže sa onom prikazanom na ekranu. Ipak, moguće je podatke o boji za svaki uređaj transformirati kroz zajednički prostor boja koji je neovisan o bilo kojem uređaju. Na taj su način razlike u boji između različitih uređaja gotovo zanemarive za boje unutar gamuta oba uređaja, a minimalne za one koje su unutar gamuta jednog uređaja, ali izvan gamuta drugog uređaja. To je osnovna svrha sustava za upravljanje bojama, a to je prikazano na slici 1. [4]



Slika 1: Osnovni način funkcioniranja sustava za upravljanje bojama [4]

2.1. Skupine CM sustava

Dvije osnovne skupine CM sustava s obzirom na način rada su: [2]

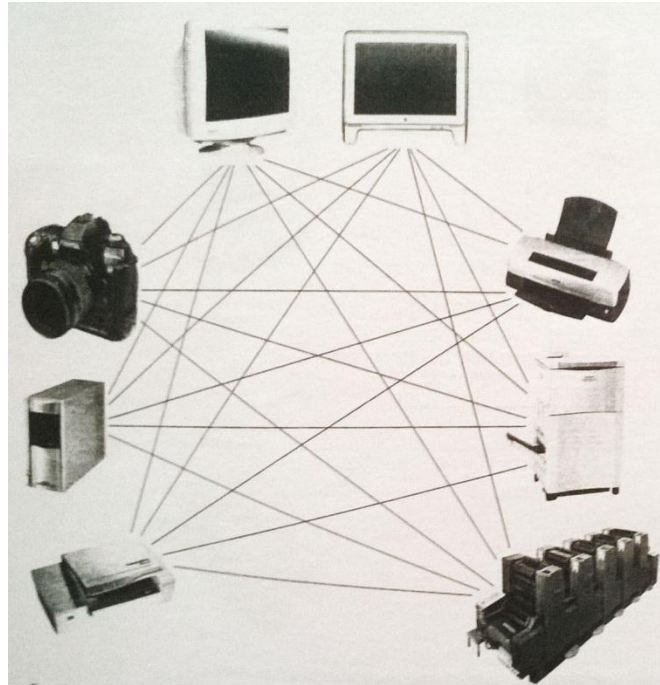
- Zatvoreni CM sustavi
- Otvoreni CM sustavi

2.1.1. Zatvoreni CM sustavi

Zatvoreni CM sustavi se koriste kod složenih reprodukcijских sustava na koje se postavljaju posebni zahtjevi, a pretpostavka korištenja tih sustava je poznavanje svih karakteristika uređaja korištenih u reprodukcijском lancu. Takav se sustav koristi za transformaciju između para uređaja, tj. u slučajevima „jedan na jedan“. To znači da se informacije o boji izmjenjuju između dva uređaja pri čemu se isključuje utjecaj svih uređaja u reprodukcijском lancu. [2]

Modeli boja koji su ovisni o uređaju su RGB i CMYK. Isti skup RGB ili CMYK brojeva će na različitim uređajima (pisačima, skenerima..) dati različitu boju što ovisi o karakteristikama samog uređaja. [3] To znači da CMYK i RGB vrijednosti ne sadrže dovoljno informacija da jednoznačno opišu boju. [2]

Prednost zatvorenih CM sustava je što daju bolje rezultate, ali nedostatak je preveliki broj transformacija. [2] Slika 2. prikazuje broj transformacija potrebnih između uređaja u reprodukcijском lancu. Iz slike možemo vidjeti da je potrebna transformacija informacija o boji između svakog para uređaja.



Slika 2: Broj transformacija u zatvorenom CM sustavu [2]

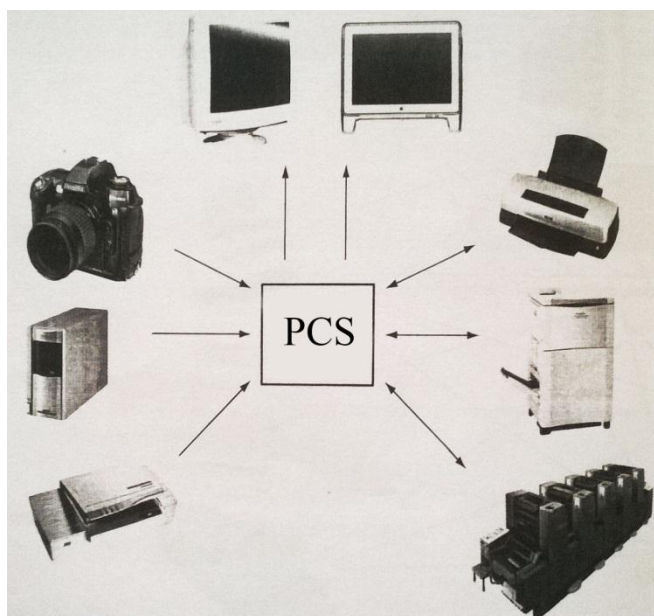
2.1.2. Otvoreni CM sustavi

Za otvorene CM sustave karakteristična je jedna povratna veza za svaki uređaj. Ta veza predstavlja transformaciju informacije o boji između modela boja uređaja i standardnog prostora boja za povezivanje. Jedna od prednosti otvorenih CM sustava jest da se upotrebom referentnog prostora boja smanjuje broj potrebnih veza između različitih uređaja u reprodukcijском lancu. Druga prednost otvorenih CM sustava jest to što je dodavanje novog uređaja u reprodukcijски lanac vrlo jednostavno.[2]

Kod otvorenih CM sustava karakteristično je da svaki uređaj ima profil, tj. ako se u reprodukcijском lancu koristi skener podrazumijeva se da postoji profil skenera, ako se koristi monitor, podrazumijeva se da postoji profil monitora, odnosno ako se koristi pisač, podrazumijeva se da postoji profil pisača. Može se reći da sustavi za upravljanje bojama moraju znati koji je izvor i destinacija slike, odnosno sa kojeg uređaja slika dolazi i na koji uređaj se sliku prosljeđuje. [2]

Otvoreni CM sustavi se baziraju na CIE sustavu (*Commission internationale de l'éclairage*) koji je međunarodno normizacijsko tijelo za sve aspekte svjetla, uključujući boju. [3] CIE modeli precizno opisuju boju i njezin položaj u trodimenzionalnom prostoru, ali nam ne daju upute što treba zadati raznim uređajima da proizvedu tu boju. [5]

Prilikom mjerenja obojanih uzoraka mjerni uređaji daju numeričke vrijednosti u CIE sustavima boja. Prilikom mjerenja obojenih polja, mjerni uređaj daje rezultat numerički izražen u nekom od CIE prostora boja. Ako je razlika između dva uzorka boje mala, mjerenja izražena u CIE sustavu će dati malu numeričku razliku između ta dva uzorka. Ako je razlika u boji između dva uzorka velika, mjerenja izražena u CIE sustavu će dati veliku numeričku razliku između ta dva uzorka. Dva poznata CIE sustava su LAB i Yxy sustavi, ali o njima će biti riječi kasnije. [2] Slika 3. prikazuje otvoreni CM sustav.



Slika 3: Otvoreni CM sustavi [2]

U praksi je za uspješno upravljanje bojom potrebno koristiti i zatvorene i otvorene CM sustave. [3]

2.2. Dijelovi sustava upravljanja bojama

Svi sustavi upravljanja bojama koji se baziraju na ICC profilima imaju 4 osnovne komponente: [3]

- PCS ili referentni prostor boja služi za mjerenje i definiranje boja koristeći CIE XYZ ili CIE LAB ICC sustave. Referentni prostor boja omogućava prikaz boje kakvu je oko i vidi bez obzira na različite karakteristike različitih izlaznih uređaja.
- Profili povezuju kontrolne RGB ili CMYK signale izlaznih uređaja i stvarnu boju koju ti uređaji reproduciraju. Tj., profili služe da dobiveni skup RGB ili CMYK brojeva transformiraju u CIE XYZ ili CIE LAB vrijednosti koje omogućavaju prikaz boje koju vidi ljudsko oko. [3]
- CMM ili moduli s rutinama za usklađivanje boja su moduli koji se u sustavu aktiviraju prema potrebi, a koje CM sustavi koriste za pretvaranje RGB ili CMYK vrijednosti iz izvornih sustava boja u PCS (povezni prostor boja) i iz poveznog prostora boja u izlazne prostore boja, tj. numeričke vrijednosti iz izvornog prostora boja preračunava u vrijednosti referentnog prostora boja, a otuda u vrijednosti boja bilo kojeg izlaznog prostora. Oni dakle služe za postizanje što sličnije reprodukcije između različitih uređaja. [1]
- Namjera (intencija) reproduciranja boje – kod reprodukcijuskog procesa u grafičkoj tehnologiji, ulazne jedinice koriste RGB prostor boja te imaju veći opseg boja, tj. gamut od izlaznih jedinica koje koriste CMYK prostor boja. Zbog toga se javlja razlika u reprodukciji boja na različitim medijima. S obzirom na to i ovisno o željenom rezultatu, moguće je dobiti reprodukcija s različitim karakteristikama u odnosu na original upotrebljavajući različite smjerove, dimenzije te tehnike prevođenja i mapiranja gamuta. Obično se reprodukcija uspoređuje sa originalnom slikom na temelju definiranih karakteristika. Mapiranje gamuta se može opisati kao smještanje i usklađivanje boja koje se prilikom konverzije nađu izvan gamuta izlaznog uređaja, a parametri profila koji određuju način na koji će sustav za upravljanje bojama te boje smjestiti i uskladiti zovu se *Rendering Intents*. [1]

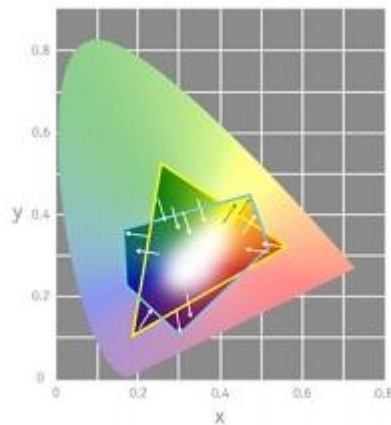
Postoji 6 kategorija odnosa između originala i reprodukcije prema knjizi „The reproduction of Colour in Photography. Printing & Television“ R.W.G. Hunta: [6]

- Spektralna reprodukcija – postignuta je kada spektrofotometrijske krivulje reprodukcije odgovaraju spektrofotometrijskim krivuljama originala i reprodukcija izgleda isto kao i original pod bilo kojim uvjetima osvjetljenosti i pod bilo kojim izvorom svjetlosti.
- Kolorimetrijska – ostvarena je kada su kolorimetrijske vrijednosti tona, kromatičnosti i svjetline u uniformnom prostoru boja jednake na originalu i reprodukciji. Tada se postiže usklađenost za pojedini izvor svjetla bez obzira na uvjete promatranja.
- Egzaktna – ostvarena je kada su prilikom uspoređivanja originala i reprodukcije vrijednosti kromatičnosti te relativne i apsolutne svjetline jednake. Pri tome su original i reprodukcija jednaki ukoliko su istovjetni uvjeti gledanja (rasvjeta).
- Ekvivalentna – ostvaruje se ukoliko su prilikom uspoređivanja originala i reprodukcije jednake vrijednosti kromatičnosti, relativne i apsolutne svjetline te ukoliko su jednaki utjecaji okruženja.
- Podudarna (korespondirajuća) – namjerno se mijenjaju kolorimetrijske veličine originala u svrhu najtočnijeg prikaza u različitim uvjetima promatranja, a usklađenost originala i reprodukcije se postiže prvo u uvjetima reproduciranja bez obaziranja na daljnje uvjete promatranja.
- Željena (preferirana) – kolorimetrijske veličine se mijenjaju prema željama korisnika u svrhu očuvanja odnosa među bojama koji postoje u ljudskom vizualnom sustavu. Najviše se teži uskladiti stalne boje reprodukcije u odnosu na original.

Specifikacija ICC profila uključuje 4 metode renderiranja: [3][7]

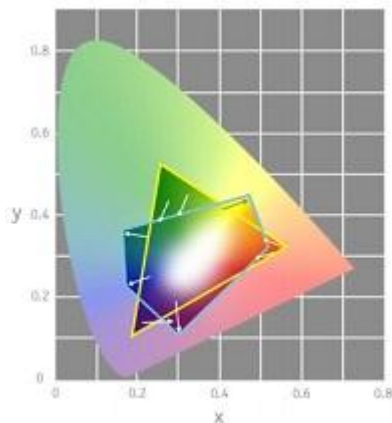
- Perceptualno – dobro za slike koje sadrže mnogo boja izvan gamuta jer je više fokusirano na odnose među bojama, nego na apsolutne vrijednosti boja. Nastoji se

prevesti sve boje gamuta originala u gamut reprodukcije. Takvim se prevođenjem mijenjaju sve boje originala pa čak i one koje bi se mogle prevesti u izlazni gamut bez promjena. Kako bi cjelokupni perceptualni doživljaj, temeljen na zadržavanju relativnog odnosa među bojama, bio što bolji, izmijenjena je točnost kolorimetrijskih karakteristika boje. Ta se metoda koristi kod prilagodbe i ispisa skeniranih ili digitalno snimljenih fotografija (RGB).



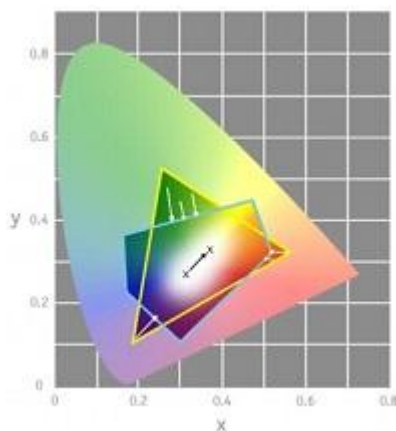
Slika 4: Perceptualno usklađivanje boja [7]

- Saturacijsko – sve boje koje gamut reprodukcije ne uključuje se pokušavaju prevesti u najbliže odgovarajuće istog zasićenja, a svjetlina i ton se mogu mijenjati. Kako bi se dodatno povećalo zasićenje, boje unutar granica gamuta izlaznog uređaja se pomiču prema granicama gamuta. Kod saturacijskog usklađivanja se rijetko postiže kolorimetrijska točnost između originala i reprodukcije. Koristi se za grafikone i općenito prikaze u poslovnim izvještajima te za reljefne zemljovide gdje različita zasićenja u zelenoj, smeđoj ili plavoj boji služe za prikaz različitih dubina ili visina. Međutim, manje se koristi kada je cilj reproducirati boju što točnije.



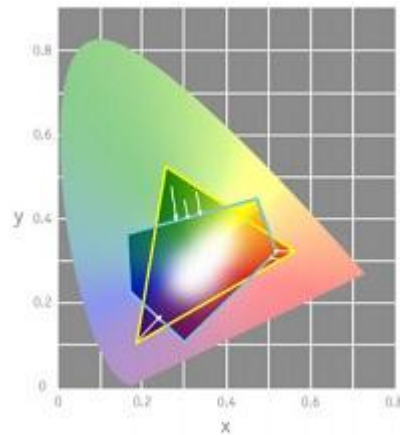
Slika 5: Saturacijsko usklađivanje boja [7]

- Relativno kolorimetrijsko – boje gamuta originala i reprodukcije ostaju iste, dok se boje koje nisu dio gamuta reprodukcije mapiraju u boje koje su im najbliže po svjetlini, ali nemaju istu zasićenost. Bijela točka izvornog profila se mijenja u bijelu točku odredišnog pa se relativno usklađivanje temelji na prilagodbi ljudskog vida bijeloj boji promatranog medija. Sukladno tome, bijeloj se boji papira prilagođavaju i boje. Zbog gubitka tonova i svjetline u području izvan gamuta, takve reprodukcije mogu izgledati tamnije. Ta se metoda najčešće koristi za skenirane fotografije i konverzije boja između prostora boja podjednake veličine (npr. CMYK u CMYK). Relativno kolorimetrijsko usklađivanje je prikazano na slici 6.



Slika 6: Relativno kolorimetrijsko usklađivanje [7]

- Apsolutno kolorimetrijsko – sve boje koje pripadaju gamutima originala i reprodukcije ostaju iste, dok se boje koje nisu dio gamuta reprodukcije mapiraju u najbliže boje sa različitom zasićenošću. Na taj se način želi prikazati što više izvornih boja. Razlikuje se od relativnog jer ne mapira vrijednost bijele točke originala u vrijednost bijele točke reprodukcije. Apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje boja prikazano je na slici 7.



Slika 7: Apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje [7]

2.3. Proces sustava upravljanja bojama

Cijeli proces sustava upravljanja bojama se može opisati kroz 3 procesa, a to su konverzija, karakterizacija i kalibracija. Kalibracija se može opisati kao postavljanje fiksnih ponovljivih uvjeta uređaja. [2]

Osnovu karakterizacije čini transformacija boja iz prostora boja ovisnog o uređaju u neovisni o uređaju prostor i obratno. [1]

Konverzija je proces prevođenja slika iz jednog prostora boja u drugi. [2]

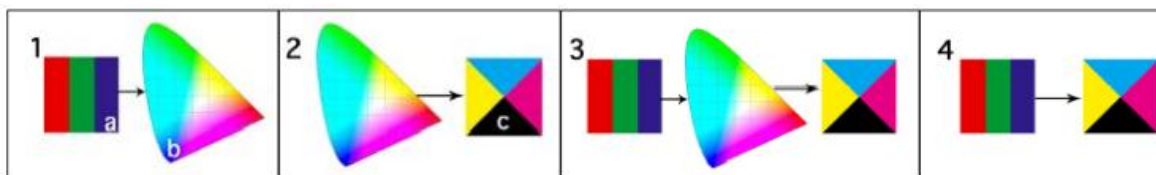
Svi procesi će detaljnije biti opisani u kasnijim poglavljima. Slika 8. prikazuje procese sustava upravljanja bojama.



Slika 8: Proces upravljanja bojama [2]

Konverzija vrijednosti boja se odvija u četiri koraka, a prikazana je na slici 9: [1][3]

- 1) Sustav za upravljanje bojama očitava podatke u ulaznom profilu i izrađuje tablicu koja povezuje originalne RGB vrijednosti sa odgovarajućim CIELAB vrijednostima boja iz referentnog prostora boja uz relativno kolorimetrijsko usklađivanje. Na taj način RGB vrijednosti ulazne jedinice postaju neovisne o uređaju.
- 2) Sustav za upravljanje bojama očitava podatke u izlaznom profilu i izrađuje tablicu koja povezuje određene CMYK (ili RGB) vrijednosti s odgovarajućim CIELAB vrijednostima iz referentnog prostora boja pri čemu se koristi neki od načina usklađivanja boja.
- 3) Sustav za upravljanje bojama spaja te dvije tablice u jednu koja direktno povezuje ulaznu i izlaznu jedinicu preko zajedničkih PCS vrijednosti koristeći interpolacijski algoritam.
- 4) Sustav za upravljanje bojama provjerava svaki piksel iz ulazne slike preko tablice prebacujući vrijednosti boja iz ulaznog u izlazni profil.

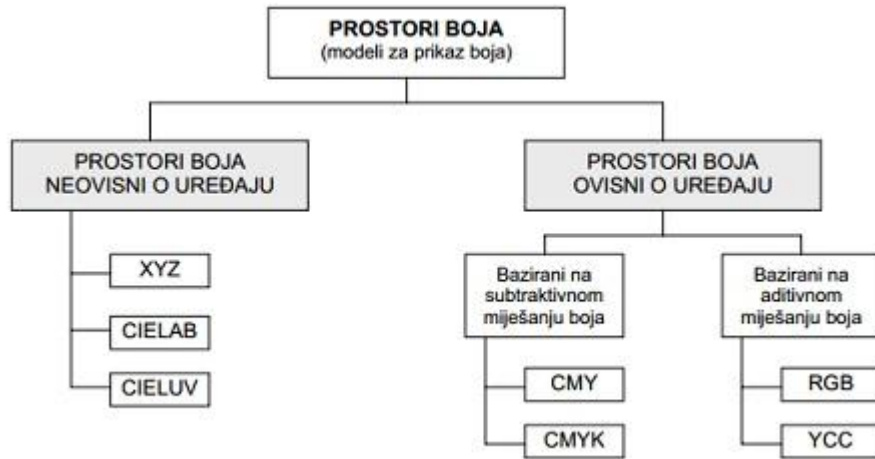


Slika 9: Prikaz konverzije boja pri čemu *a* predstavlja RGB ulazne vrijednosti, *b* predstavlja PCS, *c* predstavlja CMYK izlazne vrijednosti. [1]

2.4. Prostori boja

Prostori boja se prema klasifikaciji IFRA, Special Report 2.18 iz 1996. dijele na dvije osnovne skupine: [1]

- Prostori boja ovisni o uređaju. Prostori boja koji su ovisni o uređaju ovise o komponentama i karakteristikama uređaja na kojem se primijenjuju, a to znači da će isti skup RGB ili CMYK vrijednosti na različitim uređajima dati različite boje. Npr., u tisku se koriste procesne boje koje se nazivaju CMYK. Jedna od CMYK boja je i *magenta* koja otisnuta na jednom uređaju može izgledati više žućkasto, a na drugom više plavkasto. Kod uređaja koji koriste primarne boje aditivne sinteze, boja ovisi o korištenim RGB primarima (kod monitora) ili RGB filterima (kod senzora skenera i digitalnih fotoaparata).
- Prostori boja neovisni o uređaju. Prostori boja neovisni o uređaju definiraju boju na temelju zapažanja standardnog promatrača, a ne na mogućnostima uređaja. CIE komisija je 1976. godine definirala CIELAB i CIELUV prostore boja. Za te prostore boja je karakteristično da udaljenost između bilo koje dvije boje u prostoru odgovara osjetilnoj razlici između te dvije boje.



Slika 10: Podjela prostora boja [1]

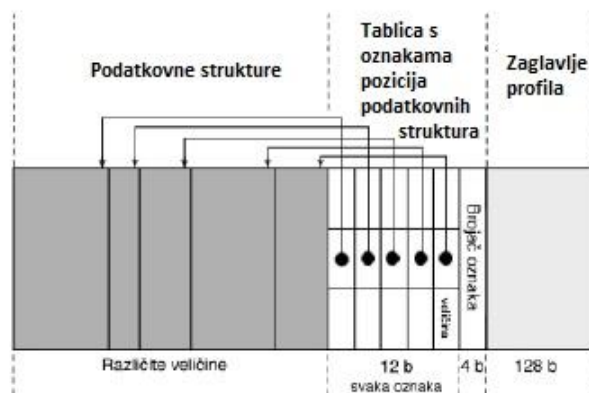
3. ICC PROFILI

ICC profil se može definirati kao datoteka koja povezuje vrijednosti boja ovisnih o uređaju (RGB ili CMYK vrijednosti) sa vrijednostima boja koje su neovisne o uređaju (CIELAB ili CIEXYZ vrijednosti), tj. vezu između uređaja i referentnog prostora boja. On dostavlja CM sustavu podatke potrebne za pretvaranje vrijednosti boja između prostora boja uređaja i referentnog prostora boja. [1]

Profil uređaja sadrži podatke o 3 varijable koje opisuju ponašanje uređaja: [3]

- Gamut – boja i svjetlina koloranta
- Dinamički raspon – boja i svjetlina bijele i crne točke
- Krivulja reprodukcijских tonova

ICC profili kao datoteka imaju 3 dijela, a to su zaglavlje profila, tablice podatkovnih struktura i podatkovne strukture. U zaglavlju su opće informacije o profilu poput verzije uređaja za koji je izrađen, tip (ulazni, izlazni), medij (refleksijski, transmisijski) i sl. Podatkovne strukture sadrže 3 vrste podataka: neophodne, izborne i privatne podatke. Tablica podatkovnih struktura sadrži potpis (označava tip podatkovne strukture i govori softveru što treba učiniti i čemu služe učitani podaci), adresu (informacija o tome gdje se nalazi početak tražene podatkovne strukture) i veličinu podataka za svaku podatkovnu strukturu. Slika 11. pokazuje strukturu ICC profila. [8]



Slika 11: Struktura ICC profila [1]

3.1. Profili ulaznih uređaja, monitora i izlaznih uređaja

Postoje 3 vrste profila: profili ulaznih uređaja, profili monitora i profili izlaznih uređaja. U profile ulaznih uređaja se ubrajaju profili skenera i digitalnih kamera, u profile monitora monitori, a u profile izlaznih uređaja profili pisača i tiskarskih strojeva.

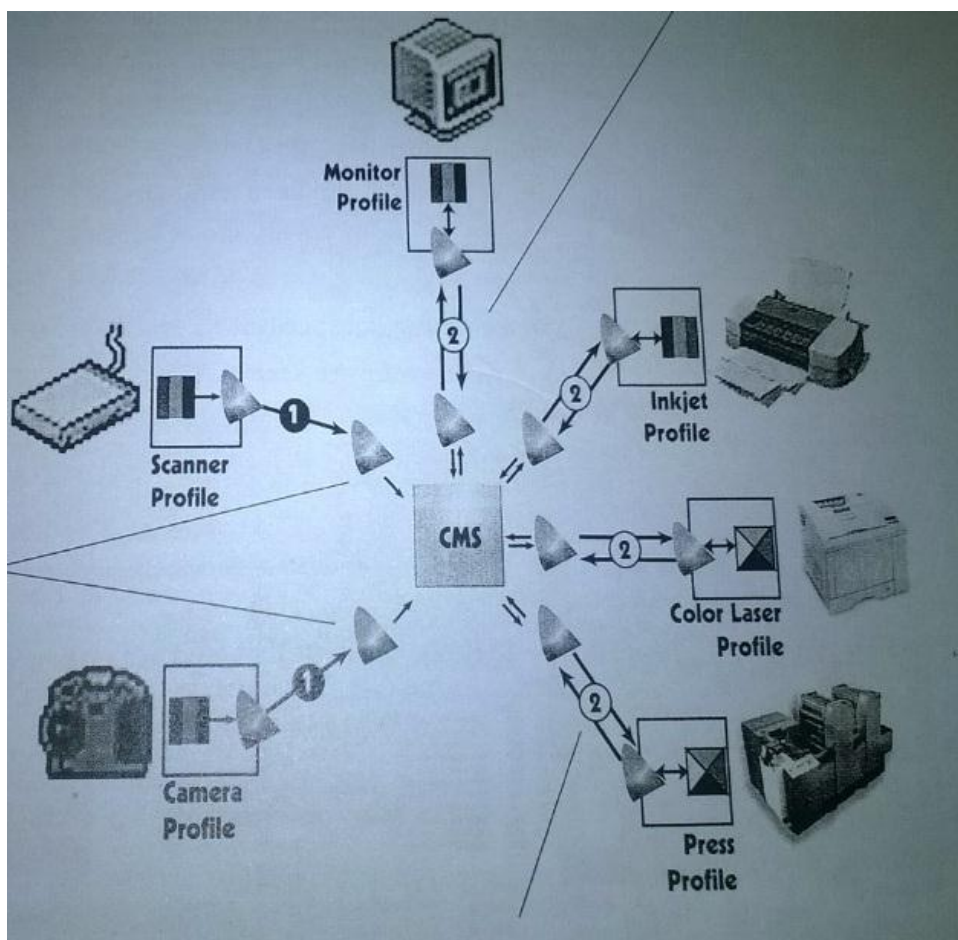
Profili ulaznih uređaja govore CMS-u o kojoj se boji radi. Zadaća dobrog ulaznog profila jest da vjerno prikaže tamne boje na premalo osvijetljenoj slici ili presvijetle boje na preosvijetljenoj slici. [3] Profili ulaznih uređaja daju informaciju o količini obojenja RGB ulaznih jedinica te sadrže podatke koji su potrebni za pretvaranje tih RGB vrijednosti koje prikazuje uređaj u vrijednosti boja referentnog prostora (PCS-a). [1]

Profili monitora služe za uspoređivanje poznatih vrijednosti sa izmjerenim vrijednostima. Oni simuliraju vrijednosti boja objekta na ekranu u RGB vrijednostima. [1]

Profili izlaznih uređaja služe da sustavu upravljanja bojama pomognu da proizvede određeni skup vrijednosti kako bi se mogla proizvesti tražena boja na izlaznom uređaju, ali i da se ta boja prije otiskivanja prikaže na uređaju za prikaz (zaslon, monitor) tako da je moguće vidjeti kako će boja izgledati prilikom ispisa. Prednost profila izlaznih uređaja jest upravo ta što omogućuju da se rezultat (boja koja se želi dobiti) može vidjeti na monitoru ili običnom pisaču prije samog ispisa na nekom skupljem uređaju (tiskarski strojevi ili digitalni snimači filma). [3]

Jedan čimbenik po kojem se te tri vrste profila razlikuju jest da li oni spadaju u jednosmjerne ili dvosmjerene profile. Komunikacija između CM sustava i ulaznih uređaja je jednosmjerna, tj. ulazni profili moraju prevoditi boju jedino iz prostora boje ulaznog uređaja u referentni prostor boja. To znači da CMS jedino mora znati koju boju predstavljaju ulazne RGB vrijednosti. Komunikacija između CMS-a i uređaja za prikaz je dvosmjerna. CMS mora poslati točne RGB vrijednosti monitoru kako bi on prikazao traženu boju i on mora interpretirati RGB vrijednosti monitora da bi ih prikazao na izlaznom uređaju. Npr., kada želimo prikazati neku sliku na zaslonu tada monitor ima ulogu izlaznog uređaja. Tada CMS gleda profile ugrađene u sliku kako bi otkrio koju boju

predstavljaju vrijednosti u datoteci ugrađenih profila, a nakon toga procjenjuje koje su RGB vrijednosti monitora potrebne da se zaista prikažu tražene boje. Komunikacija između CMS-a i izlaznih uređaja je dvosmjerna. CM sustavi moraju prevesti izlazne CMYK ili RGB vrijednosti u RGB vrijednosti monitora i moraju prevesti RGB i CMYK vrijednosti između različitih izlaznih uređaja, npr. ispisati CMYK tisak na RGB *inkjet-u*. Jednosmjerna i dvosmjerna komunikacija između CM sustava i profila je prikazana na slici 12. [3]



Slika 12: Jednosmjerna i dvosmjerna komunikacija između CM sustava i profila ulaznih uređaja, uređaja za prikaz i izlaznih uređaja [3]

3.2. „A“ i „B“ krivulje u profilu

Kao što je rečeno i ranije u radu, ICC profili se koriste da povežu referentni prostor boja sa vrijednostima boja uređaja.

ICC profili služe da opišu način na koji uređaj reproducira boju, tj. oni povezuju reprodukciju boje na ulaznim i izlaznim uređajima. ICC profili definiraju proces transformacije boje između boja ovisnih o uređaju i boja neovisnih o uređaju za što koriste različite podatkovne strukture koje se mogu iskoristiti na različite načine. [9]

A i B krivulje su dio strukture koja se koristi za transformaciju boje. U praktičnom dijelu rada će biti korišten BtoA tip transformacije koji će biti pojašnjen u sljedećem potpoglavlju. Kako će se opisivati BtoA tip transformacije, pojasnit će se „A“ i „B“ krivulje i CLUT.

„A“ krivulje služe za linearizaciju i C’M’Y’K’ vrijednostima pripisuju nove (konačne) CMYK vrijednosti. „B“ krivulje služe za manipulaciju gamutom, to jest njegovo pozicioniranje unutar CLUT-a.

U BtoA procesu transformacije boje broj „B“ krivulja boje jednak je broju ulaznih kanala. Svaka „B“ krivulja može biti ugrađena ili parametarska. Duljina „B“ krivulje je uvjetovana tipom krivulje. Svaka krivulja se sastoji od tipa *taga* uključujući potpis tipa *taga* i rezervirane bitove. U procesu transformacije boje ima isti broj „A“ krivulja koliki je i broj izlaznih kanala. „A“ krivulje se mogu koristiti samo u slučaju kada se koristi i CLUT. „A“ krivulje se pohranjuju kao ugrađeni tip krivulje ili parametarski tip krivulje. Duljina „A“ krivulje je uvjetovana tipom krivulje. Za svaku krivulju je uključen cijeli *tag* tip, uključujući potpis tipa *taga* i rezervirane bitove. [10]

CLUT se može opisati kao n-dimenzionalno polje pri čemu broj ulaza svake dimenzije odgovara broju mrežnih točaka. Vrijednosti CLUT-a su 8 ili 16 bitni nizovi normalizirani u rasponu od 0-255 ili 65535. Može se još reći da je CLUT tablica dimenzionalnih nizova sa varijabilnim brojem mrežnih točaka u svakoj dimenziji pri čemu i predstavlja broj ulaza u

transformaciji. Najsporije se mijenja dimenzija koja odgovara prvom ulazu, a najbrže dimenzija koja odgovara posljednjem ulazu. Svaka točka mreže ima niz o-cjelobrojnih vrijednosti pri čemu o predstavlja broj izlaza. Prva cjelobrojna vrijednost ulaza sadrži prvu izlaznu funkciju, druga drugu izlaznu funkciju i tako sve dok nisu podržane sve izlazne funkcije. [10]

3.3. BtoA tip transformacije

BtoA tip transformacije boje može sadržavati do 5 elemenata koji se onda koriste u sljedećem redoslijedu: set jednodimenzionalnih krivulja, 3x3 matrica, set jednodimenzionalnih krivulja, višedimenzionalna transformacijska tablica te skup jednodimenzionalnih izlaznih krivulja. Podaci se obrađuju kroz te elemente u sljedećem redoslijedu: [10]

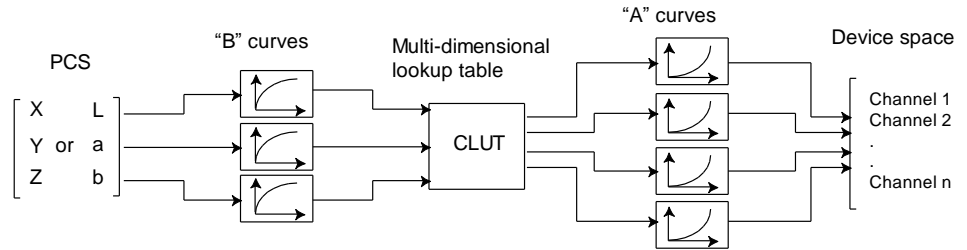
(„B“ krivulje) -> (matrica) -> („M“ krivulje) -> (višedimenzionalna pregledna tablica – CLUT) -> („A“ krivulje).

Mogu se koristiti svi navedeni elementi, a u proces mora biti svakako uključen najmanje jedan dok su moguće sljedeće kombinacije: [10]

- B
- B-matrica-M
- B-CLUT-A
- B-matrica-M-CLUT-A

Domena i raspon vrijednosti A i B krivulja i CLUT-a sadrži realne numeričke vrijednosti između 0 i 1, uključujući i te vrijednosti. Prvi ulaz se nalazi na vrijednosti 0, posljedni na vrijednosti 1, a svi srednji ulazi se određuju pomoću prirasta od $1,0/(M-1)$, gdje je M za A i B krivulje broj ulaza u tablicu, a za CLUT broj točaka za svaku dimenziju mreže. Budući da je raspon između 0 i 1 sve vrijednosti uređaja i $L*a*b*$ vrijednosti se moraju transformirati u te vrijednosti. [10]

Slika 13. prikazuje proces transformacije u koji su uključeni sljedeći elementi: referentni prostor boja, „B“ krivulje, CLUT (multidimenzionalna pregledna tablica), „A“ krivulje i uređaj.



Slika 13: Transformacijski model po ICC specifikaciji [9]

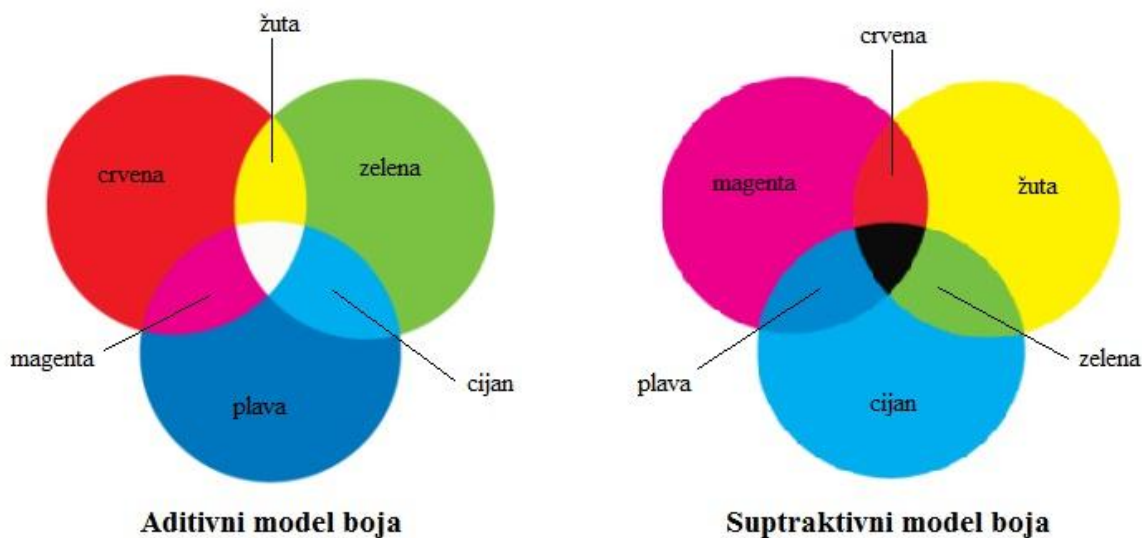
U referentnom prostoru boja se nalaze 16-bitne vrijednosti boja koje prvo prolaze transformaciju kroz jednodimenzionalne „B“ krivulje. Na taj se način L^* , a^* , b^* koordinate ili vrijednosti transformiraju u druge L , a , b koordinate, a svrha toga je bolja upotreba CLUT-a. CLUT je tablica u kojoj se događa transformacija boje iz jednog prostora boje u drugi, tj. tablica Lab permutacija kao ulaznih vrijednosti i odgovarajućih izlaznih vrijednosti uređaja. Kako je raspon L $[0, 100]$, a , b $[-128, 127]$ vrijednosti velik, broj permutacija u CLUT-u bi bio prevelik pa je prostor CLUT-a podijeljen na manji broj točaka, obično na 33 mrežne točke po osi. Također, broj permutacija bi bio prevelik i u odnosu na sposobnost uređaja. Lab vrijednosti koje prođu kroz CLUT poprimaju C' , M' , Y' , K' vrijednosti koje onda još prolaze kroz „A“ krivulje i tu poprimaju konačne CMYK vrijednosti. Svrha „A“ krivulja je linearizacija CMYK- Lab veze. [9]

4. GAMUT

Sustav za upravljanje bojama se koristi kako bi se postigla što vjernija reprodukcija boje iz ulaznog uređaja na određenom izlaznom uređaju. Međutim, kako različiti uređaji imaju različite fizikalne i tehnološke karakteristike, u multimediji, tj. grafičkoj tehnologiji se javlja problem da različiti mediji u reprodukcijском procesu posjeduju različite gamute odnosno raspone boja koje mogu reproducirati. To dovodi do toga da se sve boje originala ne mogu reproducirati na svim uređajima s jednakom točnošću. [3]

Gamut uređaja se može definirati kao raspon boja koje uređaj može reproducirati.[2]

Za prikaz boja na slikama se najčešće koriste dva seta boja, RGB i CMYK kao što se može vidjeti na slici 14.



Slika 14: Aditivna i suptraktivna sinteza [2]

RGB (crvena, zelena i plava boja) je aditivni ili primarni prostor boja, a CMYK (cyan, magenta, žuta i crna) je sekundarni ili suptraktivni prostor boja. RGB prostor boja koriste monitori, skeneri, video projektori. CMYK prostor boja koriste izlazni uređaji kao što su pisači, tiskarski i fotokopirni strojevi. Kako različiti uređaji koriste različite prostore boja (RGB, CMYK) oni ne mogu reproducirati identični raspon boja. Općenito, uređaji koji rade

na aditivnom principu (RGB) imaju veće gamute od uređaja koji se služe suptraktivnim principom (CMYK). To u praksi znači da ponekad na monitoru može biti prikazana boja koja ne može biti reproducirana, tj. otisnuta ili ispisana na pisaču. [2]

4.1. Mapiranje gamuta

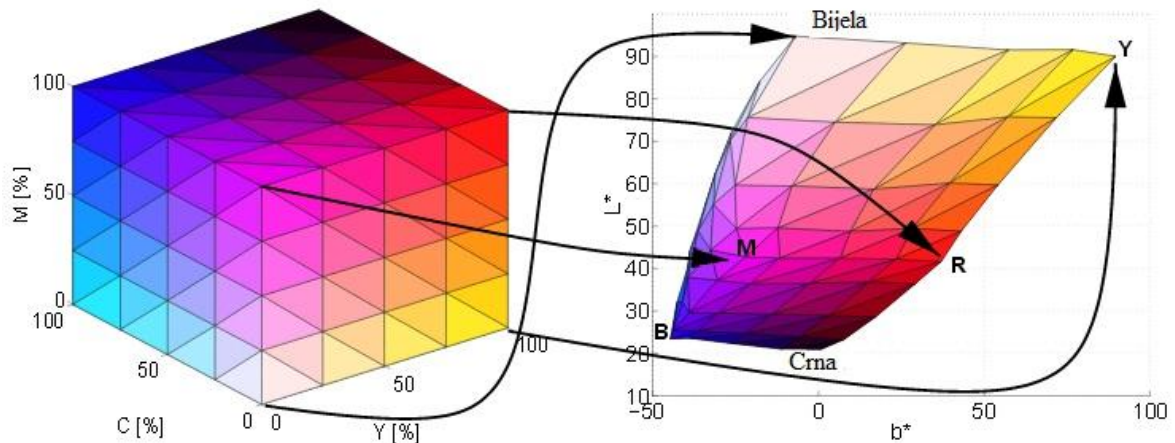
Gamut boja se odnosi na raspon boja koji može reproducirati određeni uređaj. Veličina i oblik gamuta ovise o primarima, tehnologijama ispisa i medijima. Zbog toga različiti uređaji imaju različite veličine gamuta. Kako bi se te razlike smanjile, potrebno je paziti na odnos originala i reprodukcije jer je gamut originala različit, najčešće veći, od gamuta reprodukcije. Originalna slika je ona koja se uspoređuje s reprodukcijom na osnovi određenih karakteristika. Optimalni odnos između originala i reprodukcije je kompromis, a on ovisi o preferencijama korisnika s obzirom na boje u originalu i one koje mogu biti reproducirane. [11]

Osim veličine gamuta javlja se i problem neusklađenosti između različitih uređaja. To se može objasniti na primjeru monitora i CMYK pisača. Monitor ima veći gamut (raspon boja) nego CMYK pisač, ali monitor svejedno ne sadrži sve gamute CMYK pisača. [3]

Mapiranje gamuta se može definirati kao način na koji se pojedine informacije o boji transformiraju iz jednog gamuta u drugi. [12]

Kako original i reprodukcija sadrže informacije iz kojih se može definirati gamut, temelj svake reprodukcije je ujednačavanje doživljaja između gamuta originala i reprodukcije. Istraživanja su pokazala da zbog određenih karakteristika ljudskog vizualnog sustava i relacija povezanih sa modeliranjem boja, prilikom promatranja reprodukcije veću važnost ima međusobni odnos boja prisutnih na slici, nego njihove precizne vrijednosti. Svaki medij u reproduksijskom procesu ima vlastiti način prikazivanja i obrađivanja boje, a prostor boja koji je vezan uz takve uređaje naziva se prostor boja ovisan o uređaju. Posljedica „ovisnosti“ prilikom prelaska informacije o boji s jednog uređaja na drugi je neispravan prikaz informacije o boji. Kako bi se informacija o boji mogla točno prenijeti iz jednog o uređaju ovisnog prostora boja u drugi, informaciju o boji je potrebno prvo prevesti

u prostor boja neovisan o uređaju kao što je CIE model. Nakon te transformacije moguće je dobivenu informaciju ponovno prenijeti u „o uređaju ovisan“ prostor boja, a taj se proces naziva transformacija. Na slici 15. je prikazana transformacija boja iz o uređaju ovisnog CMY prostora boja u CIE $L^*a^*b^*$ nezavisni prostor boja. [2][12]



Slika 15: Transformacija boja iz o uređaju ovisnog CMY modela boja u CIE $L^*a^*b^*$ nezavisni prostor boja [13]

Morović i Luo u svom radu „The Fundamentals of Gamut Mapping“ navode da je cilj mapiranja gamuta osigurati dobru usklađenost u boji cjelokupnog izgleda između originala i reprodukcije kompenzacijom neusklađenosti u veličini, obliku i lokaciji unutar CIE prostora boja između originala i reprodukcije. MacDonald je 1993. godine naveo što je cilj većine studija o mapiranju gamuta: [14]

- očuvati sivu os slike i postići maksimalni kontrast u osvjetljenju, očuvati crne i bijele točke reprodukcije u odnosu na crne i bijele točke originala
- smanjiti broj boja izvan gamuta reprodukcije (idealni slučaj podrazumijeva da će se sve boje originala pojaviti na reprodukciji, iako to nije uvijek moguće)
- minimaliziranje pomaka tona – ton boje predstavlja najvažniju informaciju o boji te je prilikom reprodukcije potrebno očuvati ton boje na račun svjetline i zasićenja
- povećanje zasićenosti boja s ciljem povećanja kromatičnosti.

Tehnike prevođenja i mapiranja gamuta su: [12]

- odrezivanje gamuta – služi za promjenu boja koje se nalaze u originalu, ali ih nema u opsegu reprodukcijskog gamuta tako da se te boje ipak reproduciraju, ali izmijenjene putem veličina koje se nalaze na granicama reprodukcijskog gamuta. Točnost tehnike je varijabilna, a veća je ako su razlike između gamuta originala i reprodukcije manje.
- komprimiranje gamuta – tehnika koja se primjenjuje na gamut originala raspoređujući razlike nastale nepodudaranjem veličine gamuta originala i reprodukcije u cijelom području. Sve boje koje postoje u gamutu originala se pokušavaju reproducirati i u gamutu reprodukcije. Ta se tehnika primjenjuje kada su te razlike veće.
- ekspaniranje gamuta – linearna eksterpolacijska tehnika za povećanje gamuta originala u svrhu što boljeg iskorištenja područja većeg gamuta reprodukcije. Ona se primjenjuje kada je gamut originala manji od gamuta reprodukcije u svim područjima CIE prostora boja što je rijetko.

5. KALIBRACIJA I KARAKTERIZACIJA UREĐAJA

Poznato je da svaki uređaj ima određene reprodukcijske karakteristike koje su svojstvene samo njemu. Reprodukcijske karakteristike uređaja ovise o podešenosti uređaja i specifičnostima samog uređaja. Uređaj daje najbolje (optimalne) rezultate pod određenim uvjetima rada. Postizanje maksimalnog gamuta uz zadržavanje kontinuiranih gradacija tonova, bez vidljivih prijelaza, smatra se najboljim rezultatom. [15]

Kako bi se provelo točno transferiranje informacija o boji iz jednog uređaja u drugi i da su karakteristike tog uređaja kod tog postupka stabilne provode se dva postupka standardizacije. Radi se o postupcima kalibracije i karakterizacije koje je 1996. Johnson definirao kao: [16]

- Kalibracija je podešavanje procesa ili uređaja tako da on daje ponovljive vrijednosti. Osiguravanje uvjeta u kojima uređaj može konzistentno proizvoditi istovjetne boje iz istovjetnih ulaznih informacija o boji je prvi korak u ostvarivanju visoke vjernosti u procesu reprodukcije boja.
- Karakterizacija je postupak kojim se definiraju odnosi između prostora uređaja, medija ili procesa i uniformiranih prostora boja na kojima se temelji kolorimetrija CIE sustava.

Kalibracija se može definirati i kao postupak promjene ponašanja uređaja kako bismo postigli željeno stanje uređaja. Razlog provođenja kalibracije je višestruk, no glavni razlog s gledišta sustava upravljanja bojama je postizanje dosljednog ponašanja uređaja kako bi profil koji ga opisuje ostao točan. Karakterizacija ili profiliranje je postupak kojim se u profil bilježi ponašanje uređaja. Karakterizacijom se ne mijenja ponašanje uređaja, već se samo bilježi način na koji uređaj reproducira boju i što ta boja može ili ne može prikazati. [3] To je postupak kojim se opisuju karakteristike uređaja. Kalibracija i karakterizacija se najčešće provode jedna za drugom. Nakon dovođenja uređaja u optimalno stanje opisuju se njegove karakteristike. Profil koji sadrži opis uređaja izrađen je na temelju vrijednosti izmjerenih na karakterizacijskim kartama koje se koriste za karakterizaciju uređaja. [15] U

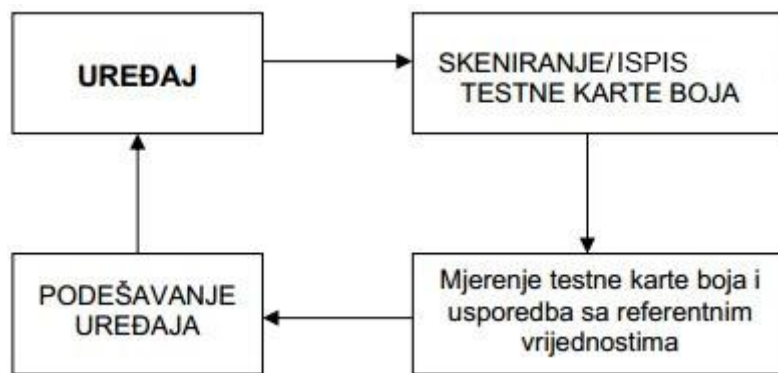
idealnoj situaciji upravljanje procesima može biti postignuto i samo kalibracijom. Nestabilni uređaj je lakše kalibrirati samo kako bi se osiguralo da je njegovo ponašanje onakvo kakvo je opisano u profilu. U nekim slučajevima mora se prihvatiti određena količina nestabilnosti te će kod takvih slučajeva upravljanje procesima tražiti češću karakterizaciju ili temeljenje profila na prosječnom ponašanju uređaja.

Proces karakterizacije može se opisati kroz nekoliko točaka: prvo se na uređaj za koji se izrađuje profil šalju poznate RGB ili CMYK vrijednosti boje te se one na uređaju generiraju i mjere pomoću kolorimetra ili spektrofotometra. Zatim aplikacija za karakterizaciju izrađuje profil čija je zadaća povezivanje RGB ili CMYK vrijednosti boja sa njihovim ekvivalentima u referentnom prostoru boja (CIEXYZ ili CIELAB). Na temelju CIELAB vrijednosti, profil govori CMM-u koji su udjeli RGB ili CMYK vrijednosti boja potrebni za prikaz određene boje dok sustavu za upravljanje bojama govori koja će boja nastati iz dobivenog skupa RGB ili CMYK vrijednosti. [1]

Sam postupak kalibracije veoma je sličan postupku karakterizacije, a sastoji se od sljedećih procesa: [1]

- Snimanje, skeniranje ili ispis odgovarajuće testne karte boja
- Procjena rezultata mjerenjem boja dobivenih snimanjem, skeniranjem ili ispisom
- Podešavanje uređaja prema dobivenim rezultatima.

Rezultati dobiveni uređajem koji se kalibrira procjenjuju se mjerenjem kolorimetrom ili spektrofotometrom. Pri tome se mjere testne karte boja za procjenu sposobnosti izlazne jedinice da ispravno prikaže vrijednosti boja koje zadaje softver za kalibraciju. Dobiveni rezultati se šalju natrag u softver gdje se prilagođavaju naredbe za kontrolu vrijednosti boja koje se šalju na izlaznu jedinicu. Na slici 16. su prikazani procesi kalibracije uređaja. [1]



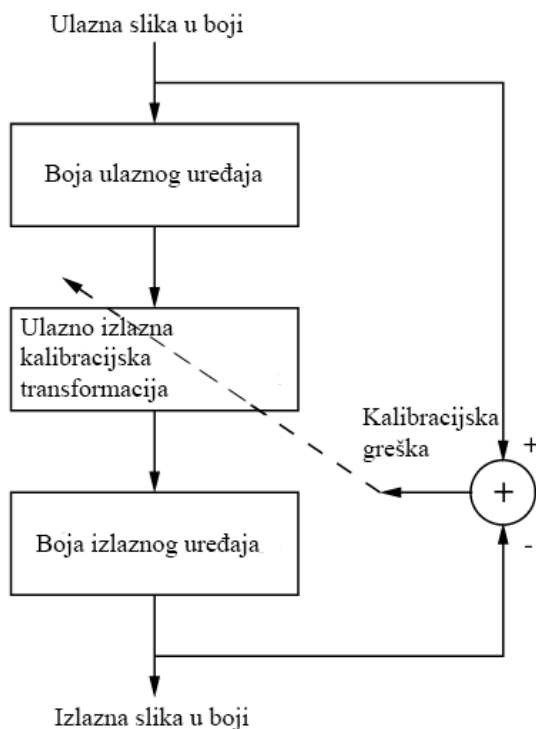
Slika 16: Kalibracija uređaja [1]

Praktična primjena sustava upravljanja bojama može biti opisana korištenjem tri pojma: kalibracija, karakterizacija i pretvaranje. Kad govorimo o kalibraciji mislimo na uspostavljanje ponovljivog, fiksnog stanja uređaja. Kod svakog uređaja kalibracija predstavlja različite postupke, pa tako kod monitora to može predstavljati podešavanje kontrasta i svjetline, kod pisača to može uključivati softver za ograničavanje nanosa boje (UCR ili GCR) i linearizaciju te usklađivanje kombinacije papira i boje, a kod skenera može predstavljati skeniranje bijele ploče. Sve što mijenja odaziv boja sustava mora biti utvrđeno. Kod takvih slučajeva kalibracijom se uspostavljaju poznati polazni uvjeti uređaja ili vraćanje uređaja u početno stanje. Za sljedeće procese je važno da uređaj zadrži fiksni odaziv boje. Kad u sustavu upravljanja bojama spominjemo pojam karakterizacije, to se odnosi na izradu profila. Kod izrade profila promatra se ponašanje uređaja na način da mu se šalje određeni broj permutacija ulaznih vrijednosti te se snima njegov odaziv. Gamut uređaja je za vrijeme karakterizacije prešutno kvantificiran. Zadnji spomenuti pojam je pretvaranje i njega možemo definirati kao postupak kod kojeg neku fotografiju uz pomoć CMM pretvaramo iz jednog prostora boja u drugi. [17]

Za uspješnu reprodukciju boje, uključeni ulazni i izlazni uređaji moraju biti kalibrirani. Sustavi koji su nekad bili korišteni za reprodukciju boje bili su kalibrirani u konfiguraciji zatvorenog tipa. Primjer kalibracije u konfiguraciji zatvorenog tipa prikazan je na slici broj 17. U konfiguraciji zatvorenog tipa cijeli sustav od ulaza pa do izlaza bio je kalibriran. To

znači da su kod izrade fotografije u boji svi parametri kao što su apsorpcija boje i osjetljivost filma pomno birani kako bi se kao rezultat dobila prihvatljiva reprodukcija. Skener se nekada u offsetnom tisku koristio za razdvajanje CMYK kanala (*separacije*) koje je bilo pogodno za nijansne ispise. Ovakav način kalibracije se pokazao ograničenim sve većom upotrebom računala. Konkretno, povećanjem broja različitih uređaja bilo je sve teže izgraditi i održavati kalibraciju ulazno-izlaznog para uređaja. Također, podaci kod ovakve kalibracije nisu bili prikladni za arhiviranje i razmjenu s uređajima izvan sustava. Za pravilno upravljanje bojama važno je zadovoljiti nekoliko komponenti: [18]

- Instrumenti za mjerenje boja su potrebni kako bi se ulazni i izlazni sustavi kalibrirali.
- Standardni formati za spremanje i komunikaciju kalibracije uređaja su važni kako bi od te kalibracije imale koristi i druge različite aplikacije.
- Sustavi i algoritmi koji učinkovito koriste kalibraciju kako bi postigli željene rezultate su neophodni.



Slika 17: Kalibracija zatvorenog tipa [18]

Kako informacija o boji u procesu reprodukcije prolazi kroz različite uređaje, procese i medije koji prikazuju slikovne informacije sintezom boja (aditivnom ili suptraktivnom), tako su te informacije o boji ovisne o pojedinom mediju. Svaki taj medij ima svoj način reprodukcije boja. Postoje prostori boja koje nazivamo „*device-dependent*“ (ovisan o uređaju) prostor boja. To su prostori boja koji su vezani uz uređaj i njihov specifičan način prikaza informacije o boji. Ako se koristi informacija o boji nekog „ovisnog o uređaju“ prostora boja kao ulazna vrijednost za reprodukciju kod nekog drugog prostora boja, kao rezultat se dobiju informacije o boji koje su neispravne i netočne. Možemo zaključiti kako korištenje informacije o boji s jednog „ovisnog o uređaju“ prostora boja u drugom „ovisnom o uređaju“ prostoru boja nije moguće. Zavisne prostore boja i njihove zavisne o uređaju informacije o boji potrebno je prvo transformirati u „nezavisan o uređaju“ CIE prostor boja, kako bi se između dva medija ostvarila točna reprodukcija boja. Tek nakon tog postupka iz nezavisnog prostora boja moguća je ponovna konverzija u „ovisan o uređaju“ prostor boja. Osnovu karakterizacije nekog uređaja, medija ili procesa čine takvi

postupci transformacije nezavisnih prostora boje u zavisne prostore boja i obrnuto. [1][2][3]

Procesi kalibracije i karakterizacije su slični pa ih se često zna zamijeniti. Kod karakterizacije uređaju šalje se skup CMYK ili RGB vrijednosti (ne pretpostavljajući kakav će dati odaziv) i utvrđujemo odaziv uređaja na te vrijednosti. Kod kalibracije šalje se neke CMYK ili RGB vrijednosti za koje očekujemo određeni odaziv (neku određenu vrijednost npr. svjetline L^*) pa ovisno o iznosu odstupanja dobivenog od očekivane vrijednosti prilagođavamo vrijednosti RGB ili CMYK ulaza kako bismo postigli ciljanu vrijednost. Karakterizacija i kalibracija su potpuno odvojeni procesi sa različitim ciljevima. Dakle, kao što je već i ranije u tekstu spomenuto, karakterizacija bilježi odgovor (vrijednost boje koja se pojavljuje kao rezultat) i bilježi ga u profil dok kalibracija koristi stimulus (poznate vrijednosti boja) i odgovor u svrhu promjene ponašanja uređaja. [3]

Također, potrebno je kontrolirati sve varijable koje mogu utjecati na to da uređaj proizvede drugačiji odgovor na stimulus u odnosu na onaj koji zahtijeva profil. Varijable koje je potrebno kontrolirati su postavke softvera, mediji i potrošni materijal te postavke hardvera. Ponašanje ulaznih uređaja, monitora i izlaznih uređaja kontrolira softver (npr., neki pisači imaju karakteristiku automatskog ispravljanja boje što može dovesti do različitog mijenjanja boje ovisno o sadržaju slike). Zbog toga je narušen rad sustava upravljanja bojama jer odgovor uređaja nije konzistentan. Također, različita rezolucija različitih uređaja utječe na promjenu boje tako da bi i rezolucija uređaja morala biti konzistentna. Dakle, dolazi se do zaključka da bi postavke softvera koji upravlja ulaznim uređajima, monitorom i izlaznim uređajima morale biti konzistentne kako bi dobiveni odgovor odgovarao zahtjevu profila. Kod izlaznih uređaja na promjenu boje najveći utjecaj imaju tinte, toneri, boje ili voskovi, papir ili druge podloge. Iste tinte mogu proizvesti radikalno različite boje na različitom tipu papira. To dovodi do toga da ukoliko se promijeni neki medij ili potrošni materijal, potrebno je ponovno izvršiti karakterizaciju i kalibraciju uređaja. [3]

Postoje 3 cilja kalibracije: [3]

- Stabilnost – postupak kalibracije je uspješniji ukoliko je uređaj stabilniji što znači da će za isti stimulus odgovor biti uvijek isti, tj. za određeni skup istih RGB ili CMYK vrijednosti će uređaj uvijek proizvesti istu boju.
- Optimizacija, tj. linearizacija – nakon što se postigne stabilnost uređaja, potrebno je postići optimalne performanse uređaja tako da se može iskoristiti maksimalni dinamički raspon i gamut uređaja, a da se dobiju glatke gradacije tonova.
- Simulacija

5.1. Modeli karakterizacije

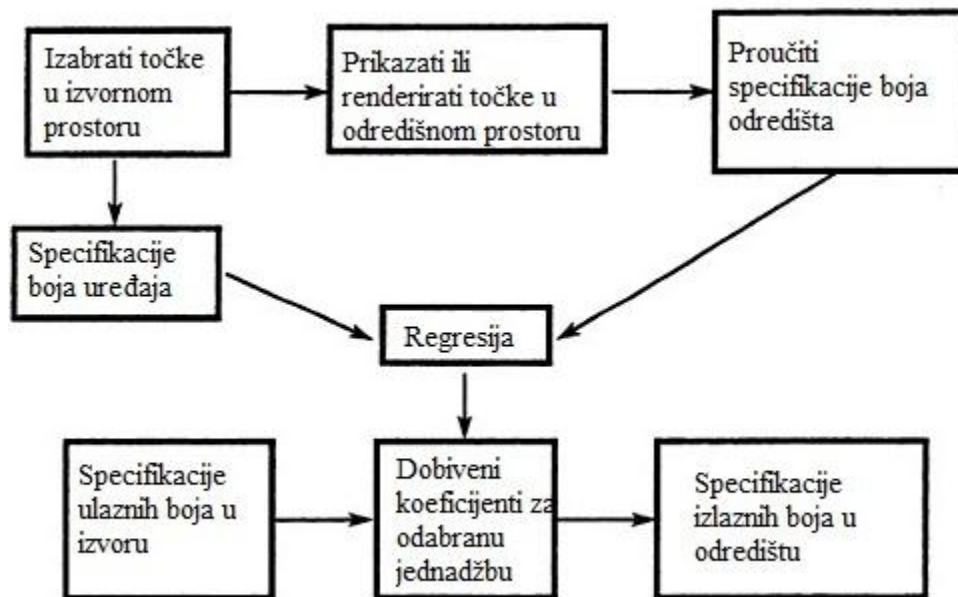
Prema Kang-u iz 1997. godine, karakterizacija se dijeli na četiri osnovna generička modela:[19]

- regresijski model karakterizacije
- neuralni model karakterizacije
- trodimenzionalni tabelarni model karakterizacije s interpolacijom
- model karakterizacije temeljen na osnovama miješanja boja

5.1.1. Regresijski model karakterizacije

Kod ovog modela karakterizacije nije uzeta u obzir nijedna od teorija miješanja boja. Ovim modelom se utvrđuje veza između zavisnih i nezavisnih prostora boja upotrebom tzv. „geometrijskih“ tehnika koje produciraju niz koeficijenata. Regresijski model karakterizacije temelji se na pretpostavci o odnosu između zavisnih i nezavisnih prostora boja koja kaže da se odnosi između tih prostora boja mogu aproksimirati putem sustava jednadžbi kojima se određuje niz linearnih koeficijenata za pojedine nizove vrijednosti boja. Kod regresijskog modela se biraju točke uzorkovanja iz ulaznog prostora boja te se mjere njihove specifikacije u izlaznom prostoru boja. Na temelju toga se određuje jednadžba koja povezuje specifikacije boja iz izvora (ulazni prostor boja) i destinacije

(izlazni prostor boja). Ovaj model ima najširu primjenu kod karakterizacije skenera i digitalnih kamera, a prikazan je na slici 18. [19]



Slika 18: Prikaz regresijske metode karakterizacije [19]

5.1.2. Neuralni model karakterizacije

Radi se o novijem modelu karakterizacije koji se počeo razvijati primjenom ekspertnih sustava u informacijskoj tehnologiji koji su temeljeni na neuralnim mrežama i umjetnoj inteligenciji. On se temelji na simuliranju ljudskog procesa donošenja odluka o ljudskom doživljaju boja. Ovaj model omogućava određivanje relacije između bilo koja dva skupa nelinearnih ili linearnih podataka dobivenih iz dvaju prostora boja.[19]

5.1.3. Trodimenzionalni tabelarni model karakterizacije s interpolacijom

Naziva se još i LUT model s interpolacijom čiji se princip rada može podijeliti u tri glavne cjeline: [19]

- Partitioniranje ili pakiranje gdje je glavni interes na ulaznom prostoru boja koji se mapira dominantnim točkama uzoraka.
- Ekstrahiranje ili traženje sastoji se od izdvajanja i određivanja tzv. izabranih točaka uzoraka iz ulaznog prostora boja kako bi se približno odredile njima odgovarajuće točke u izlaznom prostoru boja. Kako bi se povećala točnost karakterizacije, prednost se daje nelinearnom postupku ekstrahiranja.
- Interpoliranje u kojem se upotrebom izdvojene ulazne točke određuje interpolirana procjena prema izlaznoj točki u izlaznom modelu boja. U LUT modelu tehnike interpolacije podijeljene su na četiri vrste, što ovisi o tome koliki se broj ulaznih točaka uzima u obzir prilikom interpolacije:
 - 1) Kubična – koristi se osam točaka
 - 2) Prizmična – koristi se šest točaka
 - 3) Piramidalna – koristi se pet točaka
 - 4) Tetraedalna – koriste se četiri točke

Dolazi se do zaključka da ni jedan model karakterizacije koji se temelji na zakonima miješanja boja ne može dati točnu procjenu boje. Kod 3D LUT modela s interpolacijom povećanjem broja točaka povećava se i točnost transformacije boja kod prelaska iz jednog prostora boja u drugi. Regresijska metoda je točnija od interpolacijske (za isti broj točaka) jer je nelinearna pa će bolje opisati nelinearne uređaje.

5.1.4. Model karakterizacije temeljen na osnovama miješanja boje

Ovaj model je karakterističan po tome što na temelju pojedinih teorija o miješanju boja formulira odnose između nezavisnih i zavisnih prostora boja. Za karakterizaciju emisijskih uređaja (npr. zaslona računala) koristi se tzv. „tehnike korekcije game“ zaslona i u obzir se uzima aditivni model miješanja boja, dok se za karakterizacije u industriji nosioca obojenja koriste Lambert-Beerov zakon i Munk-Kublenka teorija miješanja boja. Neugabauerove jednadžbe rasterskog miješanja boja, Yule-Nielesenov model i Murray-Daviesove jednadžbe koriste se za karakterizacije za potrebe tiska u grafičkoj tehnologiji. [19]

5.2. Kalibracija i karakterizacija ulaznih i izlaznih uređaja

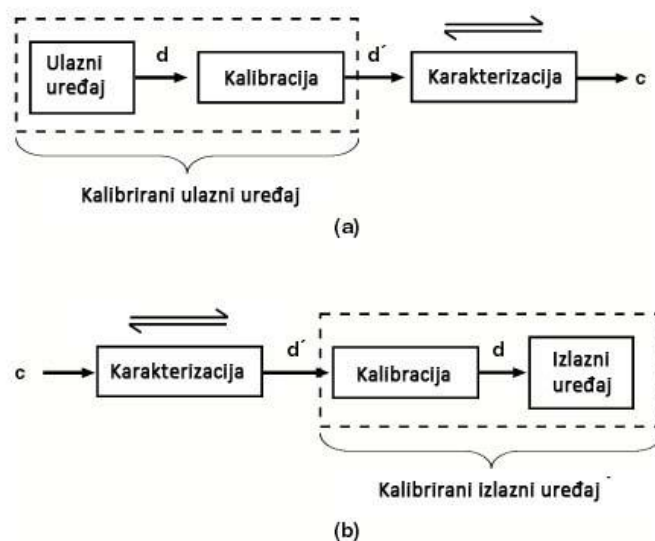
ICC profil predstavlja samo opis karakteristika reprodukcije boja pojedinog uređaja. To profil postiže opisivanjem prostora boje uređaja sustavom upravljanja bojama. Postoje različiti uređaji i kod svakog uređaja je proces kalibracije i karakterizacije različit. Ako uzmemo primjer kalibracije zaslona mi želimo podesiti neke parametre koji se mogu kontrolirati, poput: kontrasta, svjetline, TRC game, bijele točke zaslona. Kod kalibracije ovakvog uređaja stvaraju se uvjeti koji su ponovljivi i mogu se standardizirati. Na ovaj način se omogućava sličnim uređajima koji se nalaze na različitim lokacijama da se ponašaju na isti način. Kalibracija zaslona je nužna jer se takvi uređaji mijenjaju kroz vrijeme te se kalibracijom vraćaju u točku svoje originalne namjene. Kod takvih uređaja koji se znatno mijenjaju kroz vrijeme, kalibracija je postupak koji se mora izvršavati redovito. [20]

Moramo biti svjesni činjenice da ukoliko uređaj promijeni svoje ponašanje, profil koji ga opisuje više nije valjan. Kalibracijom se uređaj vraća u prvotno stanje i zadržava se integritet profila. Ukoliko se više ne može postići originalna točka namjene, mora biti kreirana nova točka namjene u skladu s mogućnostima uređaja. Nakon toga je važno kreirati novi profil koji će biti refleksija tih novih uvjeta. Postoji razlika između kalibracije i karakterizacije. Profil je koristan toliko dugo koliko je uređaj konzistentan. Za razliku od zaslona, postoje uređaji poput skenera koji su konzistentniji od drugih uređaja. Kod nekih uređaja kalibracija je nužna samo ako se desi neka veća promjena u ponašanju. Skeneri se navode kao vrlo stabilni uređaji. Neki pisači variraju u svojoj konzistenciji te postoji potreba za kalibracijom. Kalibracija nije moguća ni potrebna kod svih uređaja. Ako je uređaj iz dana u dan veoma konzistentan u svojem ponašanju tada je za korištenje u sustavu upravljanja bojama potreban samo profil. Kod nekih uređaja ne postoji potreba za kalibracijom od strane korisnika jer se ona izvršava automatski. U ovu kategoriju spadaju mnogi vrhunski *ink-jet* pisači, koji sa dobrim izlaznim profilom rade veoma učinkovito. Kada se nešto promijeni unutar procesa ispisivanja (nova tinta, papir, itd.) potreban je i

novi profil. Fuji Pictography pisač je primjer uređaja koji se mijenja zbog upotrebe novog medija te je kod njega ugrađen hardverski kalibrator. [20]

Kalibracija i karakterizacija izvode se zajedno. Loši kandidati za bilo kakav oblik sustava upravljanja bojama su uređaji kod kojih kalibracija nije moguća i ponašanje im je nedosljedno. Uvjeti okoline također mogu loše utjecati na dosljednost uređaja, iznimka su mediji koji se mogu mijenjati iz serije u seriju. Ovisno o uređaju, na njegovo ponašanje može također značajno utjecati temperatura prostora u kojem se nalazi i vlažnost. [20]

Za kalibrirane uređaje proces karakterizacije stvara vezu između nezavisnog i zavisnog prostora boja. Na slici 19 prikazani su procesi kalibracije i karakterizacije za ulazne i izlazne uređaje.



Slika 19: Kalibracija i karakterizacija za ulazne i izlazne uređaje [18]

Važno je znati da kalibracija i karakterizacija ovise jedna o drugoj, tako da se karakterizacija mora ponoviti ukoliko nova kalibracija mijenja karakteristični odaziv boje uređaja. Definirana su dva smjera funkcije karakterizacije:

- Karakterizacijsko transformiranje unaprijed – transformira boju iz prostora uređaja (CMYK ili RGB) u prostor neovisan o uređaju (CIE XYZ ili L*a*b*)
- Karakterizacijsko transformiranje unatrag – transformira boju iz prostora neovisnog o uređaju (CIE XYZ ili L*a*b*) u prostor ovisan o uređaju [18]

Važno je znati da većina uređaja već ima ugrađene algoritme za korekciju boje koji se temelje na kalibraciji i karakterizaciji od strane proizvođača uređaja (manja cijena uređaja). Zbog toga je kalibraciju i karakterizaciju od strane korisnika najbolje izvršiti ako se ti ugrađeni algoritmi mogu deaktivirati ili je poznato u kojoj su mjeri invertibilni. Mnogi već ugrađeni algoritmi osiguravaju poželjnu kvalitetu i ne zahtijevaju dodatnu korekciju, iz tog razloga kalibracija i karakterizacija se preporučaju samo kad je moguća i potrebna potpuna kontrola karakteristika boja uređaja. [18]

U nastavku će biti opisana karakterizacija digitalnog fotoaparata kao ulaznog uređaja i kalibracija stroja za tisak kao izlaznog uređaja.

5.3. Karakterizacija digitalnog fotoaparata

Karakterizacija digitalnog fotoaparata je proces koji služi za transformaciju RGB signala dobivenih digitalnim fotoaparatom prilikom fotografiranja (vrijednosti ovisne o uređaju) u prostor boja neovisan o uređaju (CIE XYZ, CIE LAB). Karakterizacija digitalnog fotoaparata obuhvaća 3 procesa:[7] [21]

- Snimanje originala i testnih karti – digitalni fotoaparat koji se koristi pri različitim uvjetima osvjetljenja nije moguće kvalitetno karakterizirati tako da karakterizacija digitalnog fotoaparata podrazumijeva fotografiranje u kontroliranim studijskim uvjetima.
- Izrada profila – za izradu profila su potrebne dvije datoteke, a to su opis testne karte i snimka testne karte u TIFF formatu. Opis testne karte sadrži spektrofotometrijske vrijednosti izmjerene sa originalne testne karte i spremljene kao CIELAB vrijednosti u aplikaciju. Snimka testne karte u TIFF formatu je slikovna datoteka na kojoj nisu rađene nikakve obrade boja. Te dvije datoteke služe za usporedbu

vrijednosti obojenih polja testne karte sa vrijednostima dobivenim prilikom fotografiranja te se na osnovi tih podataka gradi profil uređaja za dati izvor svjetla.

- Korištenje profila - profil sadrži podatke o bojama koje uređaj može proizvesti, tj. gamutu koji je moguće dobiti digitalnim fotoaparatom s pridruženim kolorimetrijskim vrijednostima boja.

5.4. Kalibracija tiskarskog stroja

Kalibracija tiskarskog stroja ovisi o sljedećim uvjetima: bojila koja moraju biti u skladu sa standardom ISO 2846-1, vrsti tiskovne podloge te uvjetima tiska. Kalibraciju tiskarskog stroja se može opisati u 5 faza: [22]

- Izrada lineariziranih tiskovnih formi – proces počinje pripremom testne forme koja sadrži kontrolne stripove u svrhu kontrole parametara boje. Za izradu tiskovnih formi je potrebno kalibrirati proces mjerenjem tiskovnih formi i definiranjem prijenosnih krivulja.
- Tisak testne forme – potrebno je otisnuti raspon od malih do prekomjerenih nanosa bojila CMYK boja, odabrati nekoliko najboljih otisaka i provjeriti što se događa s prijenosom rastertonskih vrijednosti na podlogu.
- Mjerenje otisnutog arka papira – provjerava se gustoća obojenja na cijeloj širini arka pri čemu razlika između najmanje i najveće vrijednosti gustoće obojenja ne smije biti veća od 10%. Gustoća obojenja na nekim arcima se vrednuje najranije nakon 20 sati zbog toga što se standardne CIELAB vrijednosti odnose na osušeni arak. Gleda se povećanje rastertonskih vrijednosti na otisku i postavlja se kao temelj za bilo kakva podešenja LUT krivulja na RIP-u za CMYK boje.
- Izrada korigiranih tiskovnih formi i ponovni tisak – nakon korekcije krivulja u RIP-u, tiskovne forme se ponovno osvjetljavaju te se tada radi novi tisak sa utvrđenim ciljanim gustoćama obojenja punog polja.
- Verifikacija – provjerava se da li su podešavanja ili promjene RIP LUT krivulja dale rezultat na otisku.

Na proces karakterizacije reprodukcijuskog procesa utječe niz varijabli koje se moraju kontrolirati, a konačni rezultat karakterizacije tiskarskog stroja jest izlazni ICC profil. Jedan od podataka koji ICC profil sadržava jest raspon boja ili gamut koji tiskarski stroj može proizvesti. [22]

6. POLIHARMONIJSKI SPLAJN

Poliharmonijske splajn funkcije su podvrsta radijalnih osnovnih funkcija. Oblik radijalne osnovne funkcije je: $\Phi = f(\|\mathbf{x} - \mathbf{t}_i\|_2)$, $i = 1, \dots, O$. (I) Iz oblika osnovne radijalne funkcije se vidi da ona ovisi o euklidskoj udaljenosti između ulaznog skupa točaka \mathbf{x} i točaka razvoja \mathbf{t}_i čiji je broj jednak O , te se oko njih razvija funkcijski opis. Kod interpolacije su točke \mathbf{x} i \mathbf{t}_i jednake pa je izraz: $\Phi = f(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|_2)$, $i = 1, \dots, N$. (II) Za takav oblik funkcije nije potrebna nikakva organizacija podataka u njihovom korištenju u proračunu. [23]

Poliharmonijske splajn funkcije se koriste za interpolaciju ili aproksimaciju empirijskih podataka. Splajn funkcija prolazi pored centra, tj. kroz svaku određenu točku ili pored njih, a te točke predstavljaju podatke kojima se funkcija prilagođava. Kako radijalne osnovne funkcije omogućavaju korištenje sume više polinoma nižeg reda umjesto korištenja jednog polinoma visokog reda, funkcija se izražava na sljedeći način:

$$f(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^n \omega_i \phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|) \quad (\text{III})$$

pri čemu $p(\mathbf{x})$ predstavlja polinom određenog reda, $\phi(r)$ predstavlja radijalnu osnovnu funkciju, ω_i je težinski koeficijent, $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\| = r$ je euklidska razlika između lokacije za koju se procjenjuje vrijednost \mathbf{x}_i i lokacije izmjerenih podataka \mathbf{x} . Utjecaj radijalnih osnovnih funkcija se ravnomjerno smanjuje ili povećava s obzirom na udaljenost od točke za koju se procjenjuje vrijednost. Kada se radi o poliharmonijskom splajnu, radijalna osnovna funkcija se može definirati na sljedeći način:

$$\phi(r) = r^k, \quad k = 1, 3, 5, \dots \quad (\text{IV})$$

$$\phi(r) = r^k \ln(r), \quad k = 2, 4, 6, \dots \quad (\text{V})$$

Za $\phi(r) = r^k \ln(r)$, $k = 2, 4, 6, \dots$, (VI) kako bi se izbjegao problem kada je $r=0$, u praksi se koristi $\phi(r) = r^{k-1} \ln(r^1)$. (VII)

U slučaju tankoslojnih splajnova, radijalna osnovna funkcija ima sljedeći oblik:

$$\phi(r) = r^k \log r. [24] \text{ (VIII)}$$

7. EKSPERIMENTALNI DIO

7.1. Utjecaj odabira „B“ krivulje profila na njegovu točnost

Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj odabira „B“ krivulja profila na njegovu točnost, tj. na interpolacijsku grešku koja nastaje prilikom predviđanja izlazne vrijednosti čiji pripadajući ulaz nije sadržan u transformacijskoj tablici profila.

Hipoteza je da korištenje većeg udjela transformacijske tablice za točke unutar ili na oplošju gamuta uređaja te korištenje linearizacijskih krivulja smanjuje interpolacijsku grešku.

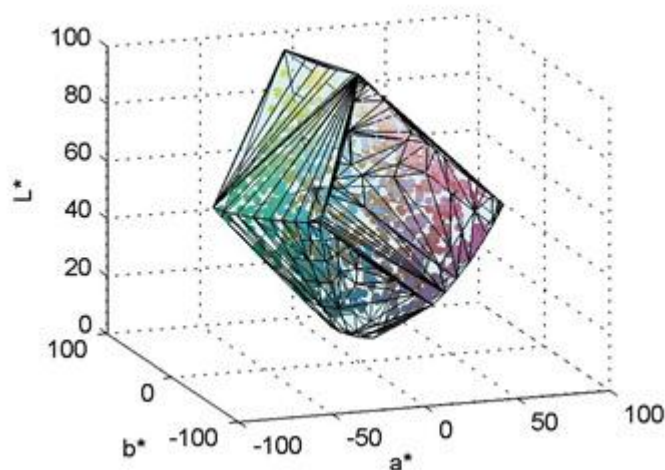
U radu su se koristili standardni „FOGRA39L“ karakterizacijski podaci. Koristeći te podatke izrađen je poliharmonijski splajn model i na temelju njega su izračunate vrijednosti u podatkovnim strukturama ICC profila.

Točnost reprodukcije boje ovisi o točnosti ICC profila koji se koristi. Za potrebe ovog rada promatrala se i uspoređivala točnost standardnog ISO Coated V2 ECI profila koji koristi opću „B“ krivulju sa profilom koji koristi izmijenjenu „B“ krivulju. U radu je korištena multifunkcionalna tablica „B“ krivulje. Generičke „B“ krivulje standardnog ISO Coated V2 ECI profila su bile izmijenjene kako bi se povećala iskorištenost CLUT-a. Na taj način se željela smanjiti interpolacijska greška za vrijednosti boja koje nisu sadržane unutar CLUT-a.

ICC specifikacijom je definirano nekoliko modela transformacije dok je u radu korišten BtoA model transformacije, konkretno B2A1 model opisan ranije u radu. U BtoA modelu transformacije se ulazne vrijednosti boja iz referentnog prostora boja transformiraju kroz jednodimenzionalne „B“ krivulje. Na taj se način L^* , a^* , b^* koordinate ili vrijednosti transformiraju u druge L , a , b koordinate, a svrha toga je bolja upotreba CLUT-a. Lab vrijednosti koje prođu kroz CLUT poprimaju C' , M' , Y' , K' vrijednosti koje onda još prolaze kroz „A“ krivulje i tu poprimaju konačne CMYK vrijednosti.

7.2. Metodologija

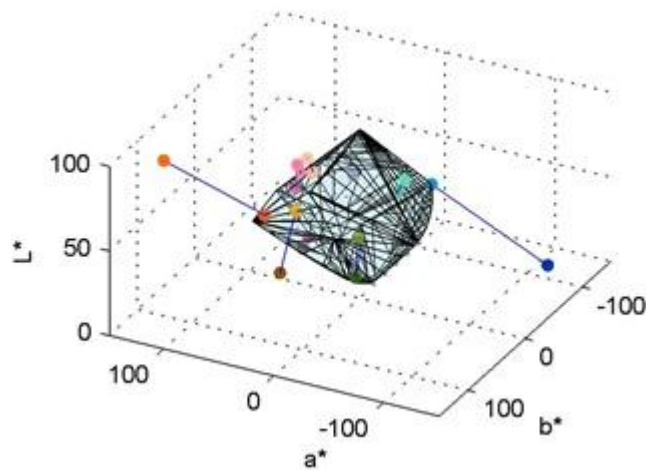
Kao što je već ranije rečeno, u radu se uspoređivala točnost ISO V2 ECI profila koji koristi opću (generičku) „B“ krivulju sa profilom sa prilagođenom, tj. izmijenjenom „B“ krivuljom. Kako bi se utvrdila točnost profila u radu se skup od 918 CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti transformirao u CMYK vrijednosti kroz B2A1 tag i onda opet u CIE Lab koristeći poliharmonijski splajn trećeg reda. Taj model se koristi za pružanje najboljih performansi u karakterizaciji boja uređaja. Nakon toga su početne CIE LAB vrijednosti uspoređivane sa vrijednostima predviđenima poliharmonijskim splajnom s obzirom na CIE ΔE kolorimetrijske razlike. Korišten je neovisni skup podataka za procjenu, odnosno vrijednosti različite od onih koje se koriste za izračunavanje profila. Vodila se briga i o tome da je taj skup vrijednosti konveksan, to jest sadrži vrijednosti unutar ili na granici gamuta uređaja kao što se vidi na slici 20.



Slika 20: Konveksni nezavisni skup podataka

Kao što je već rečeno, za transformaciju standardnog profila koji koristi generičku „B“ krivulju u profil koji koristi izmijenjenu, tj. prilagođenu „B“ krivulju korišten je FOGRA 39L karakterizacijski skup podataka. Prilikom izračuna profila vrijednosti izvan gamuta

referentnog prostora boja su mapirane u najbliže točke na granici gamuta u CIE LAB prostoru kao što se može vidjeti na slici 21.



Slika 21: Mapiranje gamuta

Za izradu praktičnog dijela rada se koristio program MatLab. MatLab se koristio za izradu vlastitih „B“ krivulja u modificiranom profilu, izračun modificiranog profila, evaluaciju originalnog i modificiranog profila te obradu i prikaz rezultata.

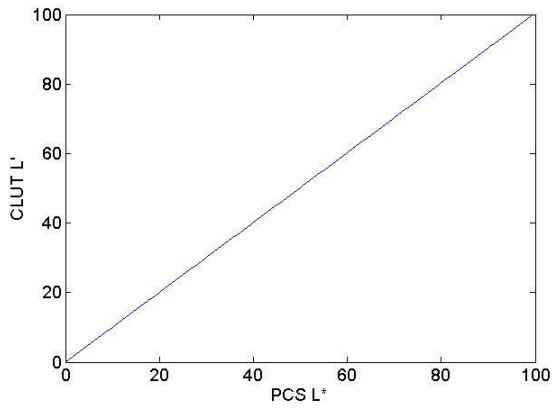
Na slikama 22, 24 i 26 su prikazane generičke „B“ krivulje ISO profila za L^* , a^* i b^* vrijednosti. Slika 28 prikazuje iskorištenost CLUT-a bojama iz gamuta uređaja kao rezultat korištenja generičke „B“ krivulje. Pod korištenjem CLUT-a se misli na mapiranje gamuta uređaja, tj. poziciju gamuta i udio volumena CLUT-a koji su bili korišteni za stvarne vrijednosti uređaja.

Slike 23, 25, 27 prikazuju modificirani profil s ugrađenim modificiranim (vlastitim) „B“ krivuljama, dok slika 29 prikazuje korištenje CLUT-a kao rezultat korištenja vlastitih krivulja. Na temelju slika 22-29 može se vidjeti da modificirani profil omogućuje korištenje znatno većeg volumena CLUT-a.

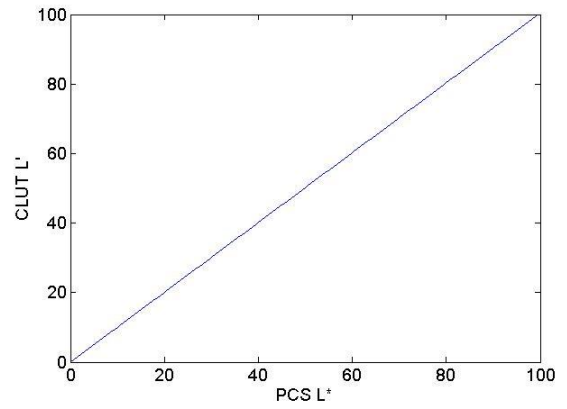
Kako bi se što lakše prikazao CLUT ISO profila i modificiranog profila korištene su $3 \times 3 \times 3$ kočke mreže (tj. 4 točke po osi). Osi CLUT-a su podijeljene na po 33 točke, što znači da

CLUT kao transformacijska tablica ima veličinu $33^3=35937$ unosa. Vrhovi kocci pritom predstavljaju ulaze u CLUT. Sve vrijednosti koje nisu ulazi u CLUT, tj. nalaze se u međuprostoru moraju biti interpolirane između najbližih vrijednosti vrhova kocaka koji predstavljaju ulaze. Svrha korištenja modificiranog profila sa vlastitom „B“ krivuljom je bila povećati korištenje CLUT-a i smanjiti interpolacijske pogreške.

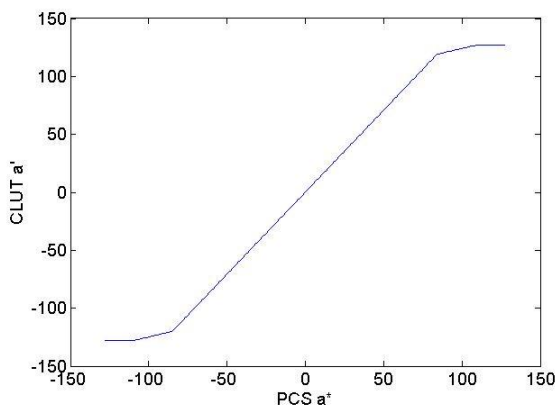
Volumen procesa iznosi 493 510 prostornih (kubičnih) jedinica $L^*a^*b^*$ prostora, volumen originalnog gamuta iznosi 974 740 prostornih (kubičnih) jedinica $L^*a^*b^*$ prostora dok volumen modificiranog gamuta iznosi 1 526 600 prostornih (kubičnih) jedinica $L^*a^*b^*$ prostora. Volumen CLUT-a iznosi 6 502 500 prostornih (kubičnih) jedinica $L^*a^*b^*$ prostora. Na temelju tih vrijednosti izračunata je iskorištenost CLUT-a procesa, originalnog i modificiranog gamuta. Iskorištenost CLUT-a procesa je 7,59%, originalnog gamuta 14,99%, a modificiranog gamuta 23,47%. Iz toga je vidljivo da je najveća iskorištenost CLUT-a modificiranog gamuta i da je veća za 8,48% od iskorištenosti CLUT-a originalnog gamuta.



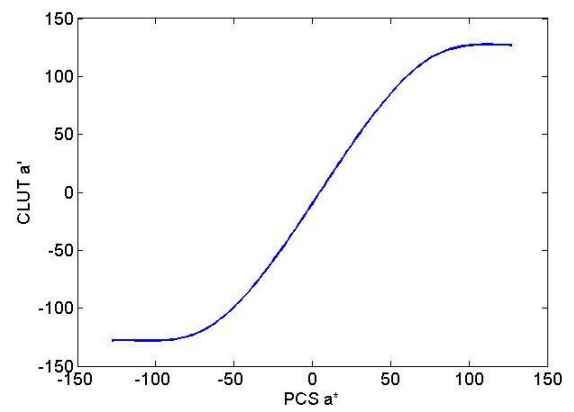
Slika 22: L vrijednost generičke „B“ krivulje



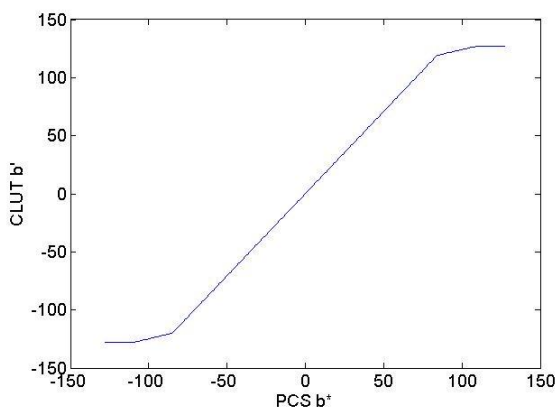
Slika 23: L vrijednost modificirane „B“ krivulje



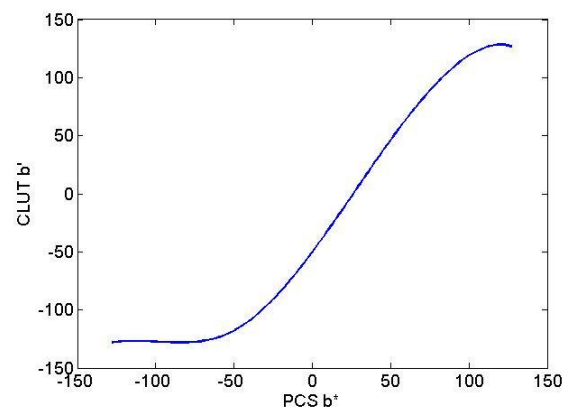
Slika 24: a vrijednost generičke „B“ krivulje



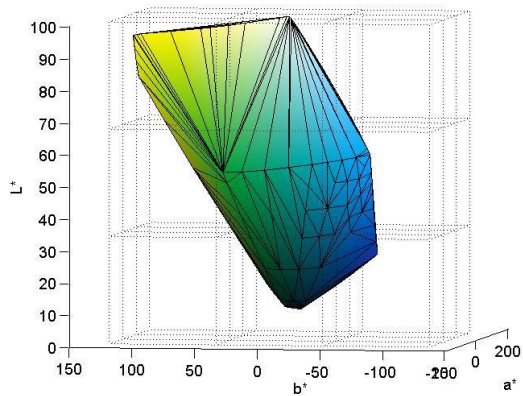
Slika 25: a vrijednosti modificirane „B“ krivulje



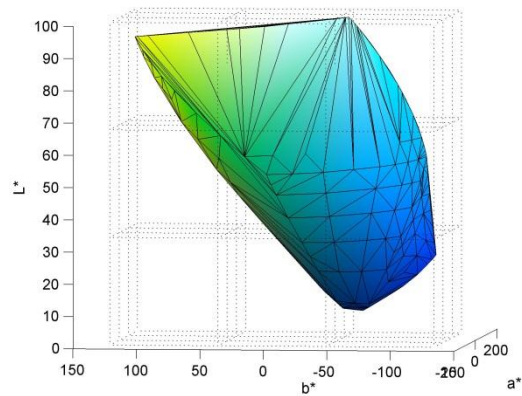
Slika 26: b vrijednost generičke „B“ krivulje



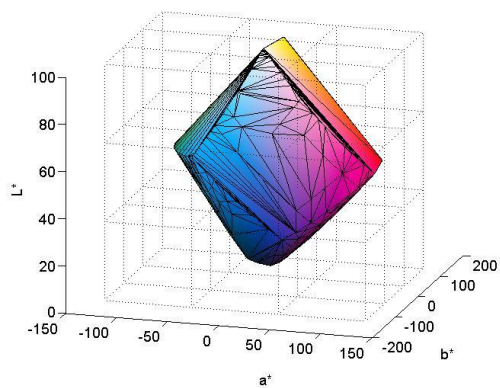
Slika 27: b vrijednosti modificirane „B“ krivulje



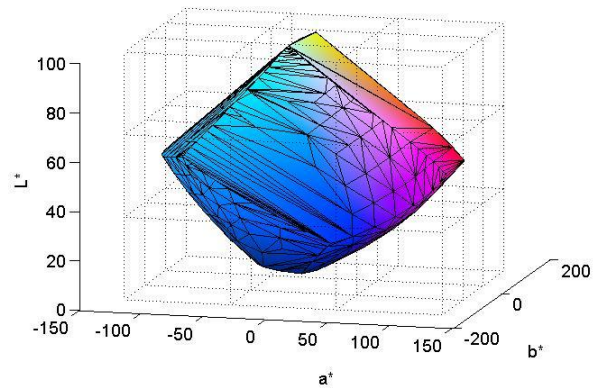
Slika 28: Korištenje CLUT-a ISO profila



Slika 29: Korištenje CLUT-a modificiranog profila



Slika 30: Drugi pogled korištenja CLUT-a ISO profila



Slika 31: Drugi pogled korištenja CLUT-a modificiranog profila

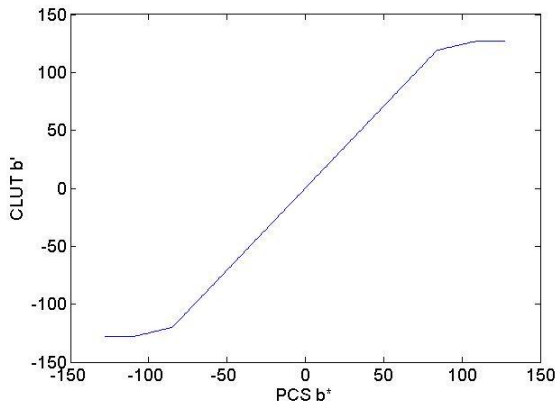
8. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 1. su prikazani rezultati numeričke evaluacije točnosti profila dobiveni korištenjem generičke „B“ krivulje za ISO Coated V2 profil i vlastite „B“ krivulje za modificirani profil izraženi kao CIE ΔE kolorimetrijske razlike na skupu od 918 testnih točaka.

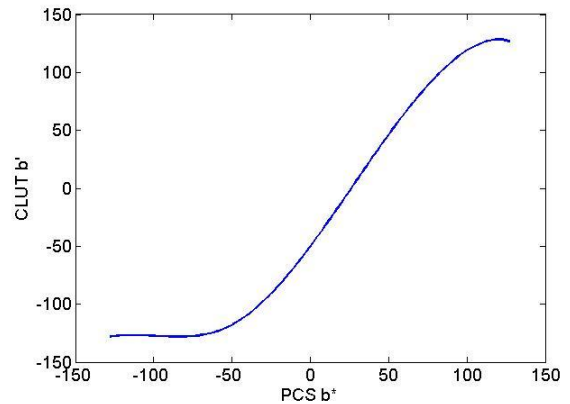
Tabela 1: Rezultati numeričke evaluacije točnosti profila

N = 918	Min ΔE	Sred. ΔE	Medijan ΔE	Maks. ΔE
Originalni	0,01	0,45	0,39	1,66
Modificirani	0,02	0,39	0,32	1,75

Na slici 1 su uspoređene generička „B“ krivulja i modificirana „B“ krivulja. Može se vidjeti da su za vrijednost b^* generičke „B“ krivulje sve vrijednosti unutar raspona $[-128, -110]$ preslikane u vrijednost b' CLUT-a koja iznosi -128 . To znači da su na osi apscisa, tj. PCS osi sve vrijednosti iz raspona $[-128, -110]$ preslikane u vrijednost -110 te je mapiranje gamuta izvršeno kao da su sve vrijednosti $[-128, -110]$ jednake -110 . Za b^* vrijednost vlastite „B“ krivulje modificiranog profila raspon je proširen na $[-128, -89]$ kako bi se veći udio CLUT-a iskoristio za boje unutar gamuta. Dakle, „B“ krivulja modificiranog profila je takva da se sve ulazne b^* vrijednosti iz intervala $[-128, -89]$ tretiraju jednako, to jest pripisuje im se ista vrijednost $b' = -128$. Korištenjem većeg udjela transformacijske tablice za točke unutar ili na oplošju gamuta uređaja te korištenjem linearizacijskih krivulja smanjuje se interpolacijska greška.



Slika 32: b vrijednost generičke „B“ krivulje



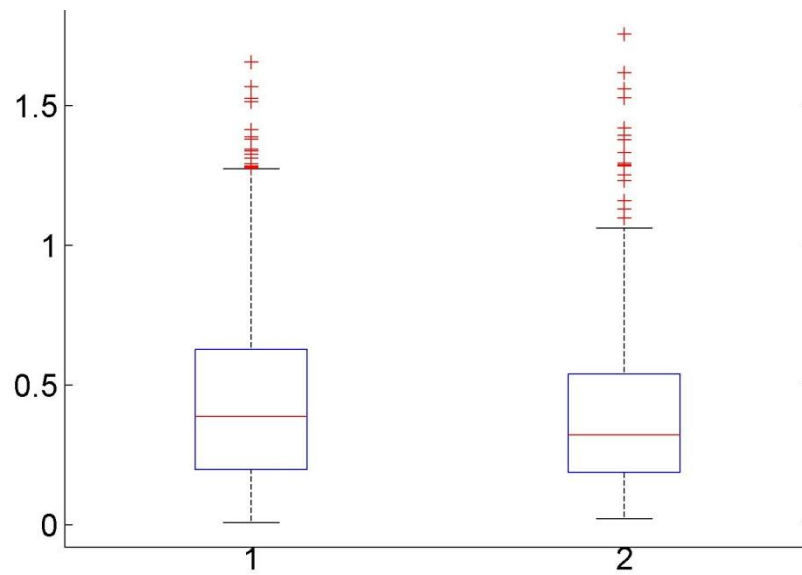
Slika 33: Slika 8: b vrijednosti modificirane „B“ krivulje

Vrijednosti iz tablice 1 dobivene za standardni ISO Coated V2 profil i modificirani profil su uspoređivane kutijastim dijagramom. Iz tablice 1 je vidljivo da su za skup podataka od 918 vrijednosti minimalna i maksimalna kolorimetrijska razlika veće kod modificiranog profila za koji je korištena vlastita „B“ krivulja, nego kod standardnog ISO Coated V2 profila dok su srednja kolorimetrijska razlika i medijan manji za modificirani nego standardni profil.

Odnos minimuma, donjeg kvartila, medijana, gornjeg kvartila i maksimuma izmjerenih vrijednosti prikazan je kutijastim dijagramom (Box plot).

Minimalna kolorimetrijska razlika za originalni profil iznosi 0,01, a za modificirani 0,02. Srednja kolorimetrijska razlika za originalni profil iznosi 0,45, a za modificirani 0,39. Medijan za kolorimetrijsku razliku originalnog profila iznosi 0,39, a modificiranog 0,32. Maksimalna kolorimetrijska razlika originalnog profila iznosi 1,66, a modificiranog 1,75.

Kutijasti dijagram (slika 14) nije pokazao statistički značajnu razliku za dva promatrana profila koji su koristili različite „B“ krivulje.



Slika 34: Kutijasti dijagrami za originalni (1) i modificirani (2) profil

9. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja je bio utvrditi utjecaj odabira „B“ krivulja profila na njegovu točnost, tj. na interpolacijsku grešku koja nastaje prilikom predviđanja izlazne vrijednosti čiji pripadajući ulaz nije sadržan u transformacijskoj tablici profila.

Postavljena hipoteza na početku istraživanja: korištenje većeg udjela transformacijske tablice za točke unutar ili na oplošju gamuta uređaja te korištenje linearizacijskih krivulja smanjuje interpolacijsku grešku.

U radu su se koristili standardni „FOGRA39L“ karakterizacijski podaci. Koristeći te podatke izrađen je poliharmonijski splajn model i na temelju njega su izračunate vrijednosti u podatkovnim strukturama ICC profila.

Rezultati istraživanja doveli su do zaključka da povećanje iskorištenosti CULT-a modifikacijom „B“ krivulja profila nije značajno poboljšalo točnost profila uz veličinu CULT-a 33 točke po osi. Korištenjem većeg udjela transformacijske tablice za točke unutar ili na oplošju gamuta uređaja te korištenjem linearizacijskih krivulja smanjuje se interpolacijska greška, ali se istovremeno povećava za boje izvan gamuta.

10. LITERATURA

1. Strgar Kurečić M. (2007.) *Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava*, doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
2. Pharma A., (2003) *Understanding Color Management*, Delmar Cengage Learning
3. Bunting F., Fraser B., Murphy C., (2005). *Real World Color Management*, Peachpit Press, Berkeley
4. EIZO Corporation (2012) *Color Management Handbook – Strategies to master color management in the digital workflow*, Vol.2, dostupno na: http://www.eizo.com/global/support/db/files/catalogs/ce/Color_Management_Handbook_Vol2.pdf , datum pristupa: 27.07.2014.
5. Parac-Osterman Đ. (2007) *Osnove o boji i sustavi vrednovanja*, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
6. Hunt R. W. G. (2004), *The reproduction of colour*, dostupno na: http://books.google.hr/books?id=Cd_FVeuO10gC&printsec=frontcover&dq=The+Reproduction+of+Colour+in+Photography,+Printing+%26+Television&hl=hr&sa=X&ei=_ZEMVOjOD4a6ygPHsIGQAg&ved=0CCEQ6AEwAQ#v=onepage&q=The%20Reproduction%20of%20Colour%20in%20Photography%2C%20Printing%20%26%20Television&f=false, učitano: 10.08.2014.
7. International Color Consortium (2001) *Specification ICC.1:2001-04*, File Format for Color Profiles, dostupno na: <http://www.color.org/newiccspec.pdf> , datum pristupa: 5.08.2014.
8. Banić D., Donevski D., Milčić D., *Influence of 1D curves on ICC profile accuracy*, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb
9. International Color Consortium (2004) *Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0)*, Image technology colour management – Architecture, profile format, and data structure, dostupno na: <http://www.color.org/icc1v42.pdf>, datum pristupa: 15.08.2014.

10. R. Kang H. (2006), *Computational Color Technology*, SPIE Press, Washington, USA
11. Dugay F. (2006-2007), *Perceptual evaluation of colour gamut mapping algorithms*, INP Grenoble EFGP, dostupno na , datum pristupa: 20.08.2014.
12. Donevski D. (2010). *Optimizacija modela izlaznih uređaja u grafičkoj reprodukciji*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet
13. Hardeberg J.Y. (2004), *Acquisition and reproduction of colour images: colorimetric and multispectral approaches*, dostupno na: <http://tel.archives-o.uvertes.fr/docs/00/04/66/02/PDF/tel-00005657.pdf>, učitano: 16.08.2014.
14. Ivančić S., Valdec D., Vusić D. (2009). *Tehnički glasnik*, Vol.3, No1-2, (prosinac, 2009), (20-24)
15. Lukac R., Plataniotis N. K., (2006). *Color Image Processing: Methods and Applications*, CRC Press, New York
16. Bala R., Sharma G., (2002). *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press, New York
17. Rodney A., (2005). *Color Management for Photographers: Hands on Techniques for Photoshop Users*, Taylor & Francis, Burlington
18. Strgar Kurečić M. (2012), *Osnove color managementa*, dostupno na: http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20COLOR%20MANAGEMENTA.pdf, datum pristupa: 29.08.2014.
19. Strugar Kurečić M. i suradnici (2008), Digitalni fotografski sustav za vjernu reprodukciju boja različitih materijala, izvorni znanstveni rad, UDK 778.18, dostupno na: http://zjff.net:81/files/20131022/1382410000171_4.pdf, datum pristupa: 29.08.2014.
20. Valdec D., Ivančić S., Vusić D. (2009), Kalibracija i karakterizacija reprodukcijuskog procesa tiska na temelju ISO specifikacija, ISSN 1864-6168, dostupno na: file:///C:/Users/%C5%A0estak/Downloads/TG_1_2_2009_Valdec_Ivancic_Vusic_Kalibracija_i_karakterizacija_reprodukcijuskog_procesa_tiska_na_temelju_ISO_specifikacija.pdf, učitano 30.08.2014.

21. Zjakić I. (2002), Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
22. Kang R. H., Color Technology for Electronic Imaging Devices, dostupno na: http://books.google.hr/books?id=vzQH3qA_RKkC&pg=PA102&hl=hr&source=gb_s_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false, datum pristupa: 05.09.2014.
23. Ban D. (2012), *Analitičko opisivanje brodske geometrije globalnom interpolacijom radijalnim osnovnim funkcijama*, doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, učitano sa: http://www.riteh.uniri.hr/znanost/disertacije/Dario_Ban_Analiticko_opisivanje_brodske_geometrije_globalnom_interpolacijom_radijalnim_osnovnim_funkcijama.pdf, datum pristupa: 17.08.2014.
24. Dolić J. (2014), *Model grafičkoga znakovnoga sustava za osobe sa složenim komunikacijskim potrebama*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, dostupno na: <http://eprints.grf.unizg.hr/2053/1/Doktorski%20rad%20Dolic%20Jurica.pdf>, datum pristupa: 17.08.2014.

11. POPIS SLIKA

<i>Slika 1: Osnovni način funkcioniranja sustava za upravljanje bojama [4]</i>	3
<i>Slika 2: Broj transformacija u zatvorenom CM sustavu [2]</i>	5
<i>Slika 3: Otvoreni CM sustavi [2]</i>	6
<i>Slika 4: Perceptualno usklađivanje boja [7]</i>	9
<i>Slika 5: Saturacijsko usklađivanje boja [7]</i>	10
<i>Slika 6: Relativno kolorimetrijsko usklađivanje [7]</i>	10
<i>Slika 7: Apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje [7]</i>	11
<i>Slika 8: Procesi upravljanja bojama [2]</i>	12
<i>Slika 9: Prikaz konverzije boja pri čemu a predstavlja RGB ulazne vrijednosti, b predstavlja PCS, c predstavlja CMYK izlazne vrijednosti. [1]</i>	13
<i>Slika 10: Podjela prostora boja [1]</i>	14
<i>Slika 11: Struktura ICC profila [1]</i>	15
<i>Slika 12: Jednosmjerna i dvosmjerna komunikacija između CM sustava i profila ulaznih uređaja, uređaja za prikaz i izlaznih uređaja [3]</i>	17
<i>Slika 13: Transformacijski model po ICC specifikaciji [9]</i>	20
<i>Slika 14: Aditivna i suptraktivna sinteza [2]</i>	21
<i>Slika 15: Transformacija boja iz o uređaju ovisnog CMY modela boja u CIE L*a*b* nezavisni prostor boja [13]</i>	23
<i>Slika 16: Kalibracija uređaja [1]</i>	27
<i>Slika 17: Kalibracija zatvorenog tipa [18]</i>	29
<i>Slika 18: Prikaz regresijske metode karakterizacije [19]</i>	32
<i>Slika 19: Kalibracija i karakterizacija za ulazne i izlazne uređaje [18]</i>	35
<i>Slika 20: Konveksni nezavisni skup podataka</i>	42
<i>Slika 21: Mapiranje gamuta</i>	43
<i>Slika 22: L vrijednost generičke „B“ krivulje</i>	45
<i>Slika 23: L vrijednost modificirane „B“ krivulje</i>	45
<i>Slika 24: a vrijednost generičke „B“ krivulje</i>	45
<i>Slika 25: a vrijednosti modificirane „B“ krivulje</i>	45

<i>Slika 26: b vrijednost generičke „B“ krivulje</i>	<i>45</i>
<i>Slika 27: b vrijednosti modificirane „B“ krivulje</i>	<i>45</i>
<i>Slika 28: Korištenje CLUT-a ISO profila</i>	<i>46</i>
<i>Slika 29: Korištenje CLUT-a modificiranog profila.....</i>	<i>46</i>
<i>Slika 30: Drugi pogled korištenja CLUT-a ISO profila</i>	<i>46</i>
<i>Slika 31: Drugi pogled korištenja CLUT-a modificiranog profila.....</i>	<i>46</i>
<i>Slika 32: b vrijednost generičke „B“ krivulje</i>	<i>48</i>
<i>Slika 33: Slika 8: b vrijednosti modificirane „B“ krivulje</i>	<i>48</i>
<i>Slika 34: Kutijasti dijagrami za originalni (1) i modificirani (2) profil</i>	<i>49</i>

12. POPIS TABLICA

Tabela 1: Rezultati numeričke evaluacije točnosti profila.....	47
--	----