

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**ANA SLUGIĆ**

**UTJECAJ POSTAVKI VERSAWORKS  
RIP-a NA KVALitetu LED UV INKJET  
OTISAKA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2014. godina



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

**ANA SLUGIĆ**

**UTJECAJ POSTAVKI VERSAWORKS  
RIP-a NA KVALITETU LED UV INKJET  
OTISAKA**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:  
Doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:  
Ana Slugić

Zagreb, 2014

Rješenje o odobrenju teme diplomskega rada

## **ZAHVALE**

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru, docentu Igoru Majnariću, na svim znanjima koje mi je prenio tijekom studija te tako u meni probudio želju za širenjem tog znanja. Osim toga, zahvaljujem se na strpljivosti, predanosti i odvojenom vremenu. Ovaj diplomski rad i moja ljubav prema struci, bez njega ne bi bili to što jesu. Zahvaljujem se i svim ostalim profesorima i asistentima koji su sudjelovali u izgradnji. Roditeljima i sestrama, zajedno s njihovim obiteljima, zahvaljujem se na poticanju, ohrabruvanju i bezuvjetnoj podršci. I u konačnici, ogromnu zahvalu upućujem Mateji, za nebrojene sate provedene u razgovoru i timskom radu, čime je cjelokupnom studiju dala poseban ton.

## **SAŽETAK**

U tehnikama Inkjet otiskivanja ulazni podaci su u digitalnom obliku. Najčešće se kao ulazni format koristi PDF. Međutim, osim ovog standardnog formata, postoje i drugi digitalni formati koji mogu biti generirani na drugačije načine. Tako je moguće koristiti formate poput P.S.-a, EPS-a, TIFF-a, JPEG-a... Nažalost, neki od takvih oblika digitalnih zapisa mogu imati negativan utjecaj na kolornu reprodukciju, ostvarujući pritom različitu obojenost izvornih slika. U želji za postizanjem ujednačenih tonskih vrijednosti, ovisno o tiskovnoj podlozi i primjenom model printer-a (pisača), potrebno je izvršiti određene korekcije. U ovom radu se analizira kako tiskar na Inkjet digitalnom tiskarskom sustavu može utjecati na regulaciju obojenja, primjenjujući različite postavke unutar softverskog RIP-a (varirajući parametre kontrasta, snage špricanja mlaznica u polutonovima (linearizacija otiska), nanos bojila). Osim toga, definirani su svi važni parametri koji mogu utjecati na realizaciju probnog otiska u Inkjetu. Parametri se definiraju preko RIP softvera VersaWorks, koji je prilagođen Rolandovim tiskarskim strojevima. VersaWorks dolazi zajedno s printerom te omogućuje pretvaranje slike u rasterski oblik, koristeći programski jezik PostScript 3.

Najveće promjene se događaju kod crnog uzorka sa 66% RTV-a, kod kojeg  $\Delta E$  iznosi 30.75. Najmanje razlike u obojenju su se javile kod žutih uzoraka sa 75% rastertonske vrijednosti ( $\Delta E = 0.26$ ).

**Ključne riječi:** *priprema podataka, PDF/X, ciljevi reprodukcije, razlika u obojenju*

## **ABSTRACT**

Inkjet printing technologies have their input data in digital form. The most commonly used is PDF format. However, apart from this format, there are digital formats that can be generated in different ways. It is possible to use formats as P.S., EPS, TIFF, JPEG... Unfortunately, some of these forms of digital media can have a negative impact on reproduction, achieving different coloration of the original image. In order to achieve uniform tonal values, depending on the printing substrate and applying the model of printer, it is necessary to make some corrections. This paper analyzes how the Inkjet digital printing system can affect the regulation of inks, applying different settings within the software RIP (varying the parameters of contrast, power spray nozzle in halftone (linearization imprint), ink layer). In addition, basic parameters, that may affect the realization of inkjet proofing, are defined. The parameters are defined through VersaWorks RIP software, which is adjusted to Roland machines. VersaWorks comes along with a printer and allows you to convert images in raster format, using a programming language PostScript 3.

The biggest changes are happening in the black sample with 66% dot gain, where  $\Delta E$  is 30.75. The smallest differences in the colorant were visible in yellow samples with 75% dot gain ( $\Delta E = 0.26$ ).

**Key words:** *Data preparation, PDF/X, Output intents, Color differences*

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	TEORIJSKI DIO.....	3
2.1.	Stvaranje grafičkih proizvoda u digitalnom obliku .....	3
2.2.	Priprema podataka za standardno digitalno otiskivanje .....	4
2.2.1.	PDF .....	4
2.3.	Color management u digitalnom tisku.....	7
2.3.1.	Određivanje ciljeva reprodukcije.....	10
2.4.	Proces digitalnog tiska .....	11
2.4.1.	Elektrofotografija.....	12
2.4.2.	Inkjet.....	13
2.4.3.	Bojila u digitalnom tisku .....	15
2.5.	Procjena digitalnih otisaka .....	16
2.5.1.	Boja .....	17
2.5.2.	Standardni promatrač.....	18
2.5.3.	Izvor svjetlosti.....	19
2.6.	Karakterizacija izmjerениh podataka .....	24
2.6.1.	Dozvoljene razlike u obojenju za NIP tehnike digitalnog tiska .....	24
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	26
3.1.	Metodologija rada .....	26
3.1.2.	Podešavanje postavki na VersaWorks RIP-u .....	26
3.2.	Korišteni materijali, tiskarski stroj i mjerni uređaji.....	29
3.2.1.	Tiskarski stroj.....	29
3.2.2.	Korišteno UV bojilo .....	30

3.2.3.	Tiskovna podloga .....	30
3.2.4.	X-Rite DTP41 Autoscan spektrofotometar.....	31
3.2.5.	Leica DM2500 mikroskop i Dino-Eye AM423C kamera.....	31
3.2.6.	Personal IAS .....	32
4.	REZULTATI I RASPRAVA.....	34
4.1.	3D L*a*b* i CIE L*a*b* dijagrami.....	34
4.2.	Vizualna procjena otisaka .....	41
4.3.	Analiza reproduciranih rasterskih elemenata .....	42
4.4.	Histogram veličine reproduciranih rasterskih elementa.....	44
5.	ZAKLJUČAK.....	49
6.	LITERATURA .....	50
7.	PRILOZI.....	53

## 1. UVOD

Digitalni tisak baziran je na direktnoj vezi računala i tiskarskog stroja. Stranice pripremljene u programima za grafičku pripremu se najprije šalju u RIP (*Raster Image Processor*) koji pretvara višetonsku sliku u jednotonsku. Drugim riječima, on generira četiri neovisno razstrirane površine (CMYK separacije), koje sadržajem odgovaraju budućem koloru. Prednosti digitalne separacije, u odnosu na analognu, su mogućnost personaliziranog tiska te isplativost tiska malih naklada.

Zbog velikog broja različitih tiskarskih digitalnih strojeva, bojila i podloga, potrebno je uvesti dodatne standarde u digitalni tisak (*Process Standard Digital - PSD*). Oni se temelje na strogo propisanoj obradi podataka, kako bi se postigao što kvalitetniji otisak iz točno određenih grafičkih aplikacija. Kvalitetniji tisak osigurat će se strogo kontroliranim nanosom bojila, što je važno za veću primjenu ovakvog načina otiskivanja.

Jedna od značajnih tehnika digitalnog tiska je Inkjet. Velika primjena Inkjeta moguća je za tisk velikih formata (displeja). Optimalnim tiskovnim podlogama pokazale su se tekstil ili polimerni film. Odlikuju se dugotrajnošću i otpornošću na grebanje. Pritom, naneseno Inkjet bojilo treba biti otporno na stalno savijanje, zbog čega se UV tehnologija pokazala kao optimalna metoda otiskivanja.

Većina grafičkih proizvoda obično se koristi u zatvorenim prostorima. Samim time, primjenjive Inkjet digitalno otiskivane aplikacije su posteri i reklame koje su pozadinski osvijetljene. Materijali ovakvih proizvoda moraju imati dobro raspršenje svjetlosti, ali i dobru moć apsorpcije. Sve češće se koriste i fasadni *banneri*. Ovakvi grafički proizvodi moraju prvenstveno biti vodootporni te svjetlostalni. Rezolucija slike također mora biti prilagođena, budući da se oni promatraju s velikih udaljenosti, što smanjuje količinu potrebnih podataka (rasterskih elemenata).

Danas je posebno popularno Inkjet otiskivanje naljepnica za automobile. Ovakve aplikacije moraju izdržati ekstremne promjene vremenskih uvjeta, zbog čega su UV Inkjet bojila veoma pogodna. Slične zahtjeve trebaju zadovoljiti digitalno otiskivanje tapeta, suncobrana, kopije umjetničkih djela i posteri. Potrebno je spomenuti i mogućnost otiskivanja korica za knjige. Porast ovakvih proizvoda je izrazit, budući da napreduju zajedno s trendom *Book on Demand* (tisak knjiga na zahtjev).

U tehnici Inkjet tiska ulazni podaci su u digitalnom obliku. Drugim riječima, Inkjet tiskarski strojevi prepoznaju binarni zapis koji se sastoji od niza nula i jedinica. Budući da je takav zapis kompliciran za ljudsku uporabu, primjenjuju se i drugi digitalni formati koji se u fazi otiskivanja pretvaraju u binarni oblik (Bit mapu). Trenutno, najčešće primijenjen format zapisivanja je PDF, što je skraćenica od engleskih riječi *Printable Document Format*. To znači da su u njemu opisani svi parametri koji će se otisnuti na tiskarskom stroju (tekst, slika, format stranice...).

Adobe, tvorac PDF formata razvio je više verzija, međutim, u grafičkoj industriji koristi se PDF/X format. To je standard kojim se nastoje izbjegići problemi koji se mogu pojaviti prilikom razmjene dokumenata potrebnih za grafičku reprodukciju.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Stvaranje grafičkih proizvoda u digitalnom obliku

Kako se mijenja grafička industrija, tako se mijenjaju i načini rada s PDF-om. Ipak, osnovni cilj je promijeniti konvencionalne načine grafičke pripreme u nove, posebno prilagođene uvjetima digitalnog otiskivanja. Zbog toga postoje preciznije definirani koraci duž proizvodnog lanca kojeg opisuje PDF/X *workflow* (*workflow* = tijek proizvodnje). On u sebi sadržava osam koraka:

- Retuširanje slika
- Grafičko stvaranje stranica
- Stvaranje cjelokupnog izgleda dokumenta
- Izvoz podataka (export) – stvaranje PDF-a
- Izbor određene verzije PDF/X-a
- Provjera PDF dokumenata
- Optimizacija i izlazni procesi.

Prilikom pripreme dokumenata za digitalni tisk moraju se zadovoljiti određeni preduvjeti. Pritom se misli na: tonski raspon, debljinu najtanjih linija, najmanje rasterske elemente koje se mogu reproducirati. Osim toga, preporučuje se korištenje crne, samo za tekst, te izbjegavanje rastertonskih vrijednosti ispod 10% (budući da reprodukcija možda neće biti željena).

Pri dizajniranju izgleda budućeg PDF dokumenta, postoje dva različita pristupa:

1. *Specijalizirani „Process specific“* – priprema se izvodi pri točno definiranim uvjetima za tiskanje (sve slike moraju biti separirane za određen ispisni uređaj)
2. *Nespecijalizirani „Media neutral“* – priprema se izvodi za sliku koju vidimo na monitoru samu za sebe (kompozitna slika u kojoj nije izvršena separacija boja). [1]

## **2.2. Priprema podataka za standardno digitalno otiskivanje**

Da bi se pristupilo standardiziranom digitalnom otiskivanju potrebno je generirati zadovoljavajući PDF. Za provođenje postupka standardiziranog digitalnog otiskivanja potrebno je normirati cjelokupni pripremni proces. Tijekom proizvodnog procesa (*workflow*) potrebno je izvršiti niz predradnji. To je: provjera ulaznih podataka (*data preflighting*), formiranje PDF/X-a, PDF/X Output (slanje na ispisni uređaj), otiskivanje Altona Test Suite V1&V2 tiskovne forme, izrada ICC profila i provjera svjetlosti u okolnom prostoru (za vizualnu procjenu).

Nakon toga slijede dvije produkcijske faze:

1. Kontinuirano otiskivanje koje se može proizvesti na stabilnim velikoformatnim inkjet printerima te visokoproduktivnim maloformatnim elektrofotografskim printerima.
2. Kolorimetrijska kontrola vrijednosti ostvarenih otisaka.

### **2.2.1. PDF**

Skraćenica PDF nastala je od engleskih riječi *Printable Document Format*. Ovaj format je osnovala i odredila tvrtka Adobe Systems Incorporated, još 1993. godine. Velika prednost ovog formata je mogućnost čitanja dokumenata na bilo kojoj vrsti računala (operativnog sustava), uz očuvanje sadržaja. Sadržaj u PDF formatu je tako neovisan o okruženju u kojem je nastao, ali i o uvjetima u kojima će se koristiti. [2]

Sam sadržaj PDF-a je mnogo složeniji nego što se čini na prvi pogled. Svaka PDF datoteka se sastoji od niza objekata, koji opisuju izgled jedne ili više stranica. Takav dokument može sadržavati kombinaciju različitog teksta i različitih tipova slika (jednotonske, višetonske, kolorne, monokromatske...). U sistemu su podržani i interaktivni elementi. Samim time, u srži PDF-a je napredni model *PostScript* programskog jezika, koji će se bazirati na strukturi binarnih podataka uz prilagođeno interaktivno pregledanje podataka. Takav format može biti kreiran direktno kao PDF format ili konvertiran iz drugih digitalnih formata. [1]

Zajedno sa širenjem PDF-a, povećala se i njegova uporaba u grafičkoj tehnologiji. Tako da danas postoji cijeli niz Adobe PDF formata, od kojih je na zahtjev grafičke industrije razvijen PDF/X format (*PDF for eXchange*). To je zapravo jedan standardni oblik kojim se nastoje izbjegći problemi koji se mogu pojaviti prilikom razmjene dokumenata potrebnih za grafičku reprodukciju. Postoji nekoliko parametara koji moraju biti zadovoljeni prilikom izrade PDF/X formata. Sam PDF ne smije biti separiran te svi objekti (slike i fontovi) moraju biti uključeni u dokument. Osim toga, nije dozvoljena niska kompresija i PDF ne smije biti zaštićen lozinkom. [3]

Prva verzija, za grafičku industriju, razvijena je 1996. godine. Napredna korekcija uslijedila je 2001. godine kada se iz njega razvija PDF/X-1 za grafičku proizvodnju. Verzija 1.3 nastaje 1999. godine, te je definirana ISO standardima 15930/1 i 15930/3. Svaki od tih standarda je definirao i daljnje verzije PDF/X-a (PDF/X-1a i PDF/X-3). PDF/X verzija 1 tako omogućuje karakterizaciju podataka samo iz CMYK prostora, dok novije verzije (PDF/X-3) omogućavaju konverziju iz RGB-a. PDF 1.6 je posljednja verzija definirana ISO standardima 15930/7 i 15930/8, koji su u potpunosti usklađeni s verzijom PDF/X-5.

Analizirajući standard ISO 15930 za kontrolirano digitalno otiskivanje, posebno su važna dva PDF/X formata. To su:

- PDF/X-1a (koristi se za klasični workflow, primjenjuje CMYK i spotne boje u skladu s ISO 15930/4)
- PDF/x-4: za moderan proizvodni tijek koji omogućava realizaciju transparencije i primjenu *Color Managementa*.

Postoje i neki dodatni parametri koji ne mogu biti definirani standardom ISO 15930, a veoma su važni u pripremnom procesu. S tim ciljem je definiran standard PDF/X-Plus, koji precizira minimalnu rezoluciju slike, *overprinting* (*overprinting* = nanašanje boje na boju), veći broj spotnih boja... Ovaj standard je zapravo samo određena vrsta dopune za posebne zahtjeve, dok PDF/X predstavlja standard za općenite zahtjeve u grafičkoj industriji.[1]

Sam proces eksportiranja PDF-a teče u nekoliko koraka. Prvi korak je *downsampling*. Ovaj termin odnosi se na promjenu rezolucije označenih objekata. Takva rezolucija se naziva i efektivnom rezolucijom te se odnosi na sliku nastalu nakon određene intervencija (definiranim omjerom uz poznatu unutarnju rezoluciju objekta). Nakon toga slijedi metoda rekalkulacije te u konačnici sama kompresija.

Budući da boje definirane u PDF-u neće jednako izgledati u stvarnim uvjetima, veoma je važno izvršiti konverziju boja. Nadalje, veoma je važno modificirati pokrivenost bojila (*overprinting*). Smanjenjem overprintinga postići ćemo veću stabilnost tiskanja, a osim toga i sušenje je dosta brže. To u konačnici rezultira uštedom bojila te smanjenjem troškova pri tisku velikih naklada. Također, važno je definirati postavke boje. Kada je odabran izlazni profil za CMYK uređaj, prilikom exporta svi RGB elementi moraju biti konvertirani u CMYK.

Daljnja manipulacija takvih PDF-ova moguća je pomoću dva različita workflowa: PDF *workflow* verzije 1.3 i PDF *workflow* verzije. Prvi je baziran na klasičnom PDF/x-1 protokolu, dok je V2 baziran na PDF/X-4. *Workflow* verzije 1.3 sadrži informacije o CMYK rasteru, tekstu i CMYK vektorskoj grafici, iz kojeg se formira konačan PostScript zapis za RIP. PDF *workflow* verzije 2 je napredniji i radi s CMYK definiranim elementima i RGB slikama, pri čemu se isti PDF šalje u RIP. Smatra se da će u skoroj budućnosti postojati samo RGB zapisi elemenata unutar PDF-a, koji će se potom renderirati u RIP-u.

Da bi se ovakvi PDF-ovi uspješno otisnuli, tiskarski sustav također mora biti podešen. Za njegovo besprijeckorno stanje zaduženi su hardver i softver koji se podešavaju u devet koraka, a to su:

1. Podešavanje Ink limita (stvaranje optimalnog nanosa CMYK bojila na tiskovnoj podlozi)
2. Tiskanje standardne test forme (prilagođene za mjerjenje točno određenim uređajima)
3. Otiskivanje se vrši minimalno u pet primjeraka (svaki od uzoraka mjeri se minimalno dva puta)

4. Analiza mjerena
5. Generiranje ICC profila
6. Generiranje ASCII fajla (dobivanje tekstualnih fajlova s brojčanim vrijednostima mjerena)
7. Probno otiskivanje željenog motiva
8. Vizualna procjena probnog otiska
9. Provjera (mjeri se mala testna forma izrađena samo za provjeru osnovnih tonova).

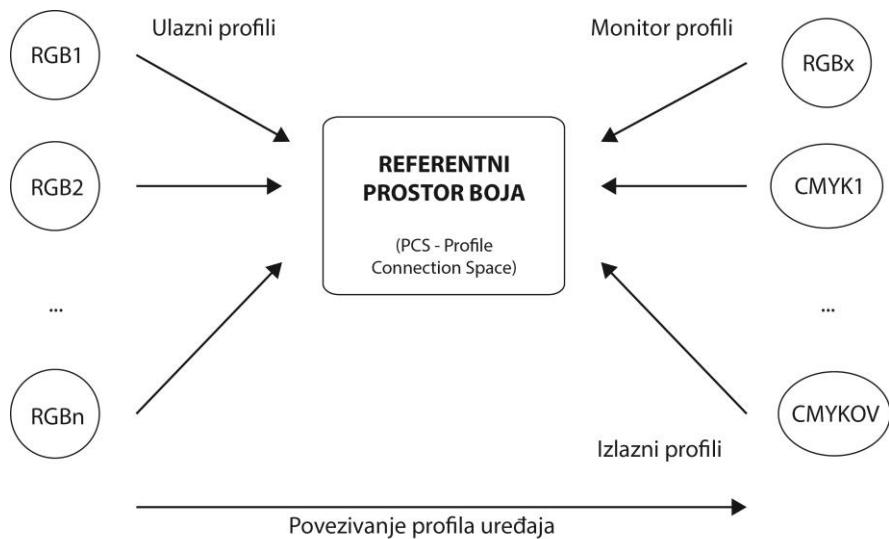
### **2.3. Color management u digitalnom tisku**

Oduvijek postoji potreba da se boja što točnije prenese kroz čitav reproduksijski proces. Cilj takvog nastojanja je konačna, što vjernija reprodukcija, bez obzira na različitosti sustava koji se koriste (različite ulazne ili izlazne uređaje). Prije konačnog otiskivanja, informacije o bojama (tonovima) prolaze niz transformacija. Zbog svih tih promjena, konačan proizvod se uvelike razlikuje od početno definiranog. Ovakve situacije zahtijevaju primjenu određenog standarda. Godine 1993., osam vodećih svjetskih firmi u području reprodukcije (*Adobe Systems Incorporated, Agfa-Gevaert N.V., Apple Computer, Eastman Kodak, Microsoft, Silicon Graphics, Sun Microsystems i Taligent*), osnovali su ICC konzorcij (*ICC - International Color Consortium*). Danas ovu grupu čini oko 70 članica, a njihov je glavni zadatak definiranje i primjena standarda koji opisuje kolorna svojstva uređaja u grafičkoj industriji. [4]

*Color Management* podrazumijeva korištenje određenog hardvera, softvera i propisane metodologije za kontroliranje boja u reproduksijskom sustavu.

Osnovu njegovog rada čine:

- 1) Referentni prostor boja (*PCS – Profile Connection Space*)
- 2) Modul za upravljanje bojama (*CMM – Color Management Module*)
- 3) ICC profili. [5]



*Slika 1. Shema referentnog prostora boja*

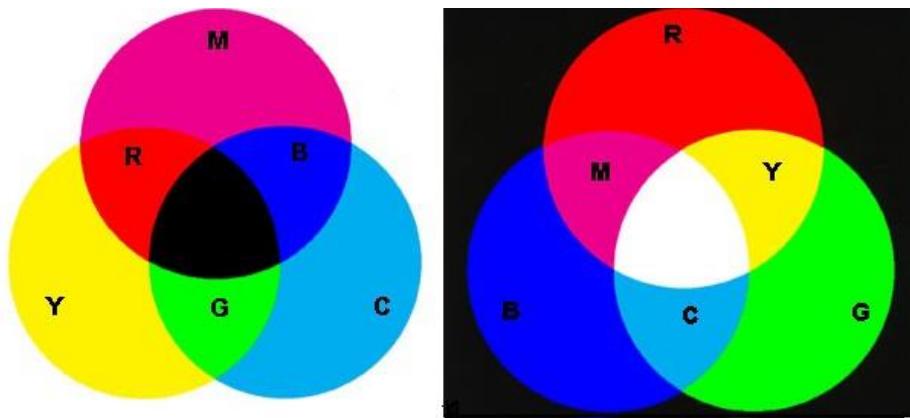
(Izvor: Fogra (2012). *ProcessStandard Digital Handbook 2012.*, Fogra Graphic Technology Research Association, München, str.43)

### **Referentni prostor boja**

Prikaz točnog obojenja je vrlo kompleksan jer se temelji na ljudskoj percepciji. Zbog toga postoji nekoliko vrsta prostora boja. Međutim, u grafičkoj industriji primjenjuju se dvije skupine prostora boja: oni koju su ovisni o uređaju (temeljeni na suptraktivnom (CMYK) ili aditivnom miješanju boja (RGB)) i oni koji su neovisni o uređaju (CIE XYZ, CIE L\*a\*b\*). Danas se većinom koriste sustavi koji nisu ovisni o uređaju.

Prostori boja koji su ovisni o uređaju, orijentirani su na fizičke komponente i karakteristike samog uređaja, dok modeli za prikaz boja, neovisni o uređaju, opisuju apsolutnu boju pomoću matematičkih modela.

Modeli neovisni o uređaju bazirani su na ljudskoj percepciji boje, budući da oni točnije opisuju izgled boje. Definirani su na bazi percepcije standardnog promatrača.



*Slika 2. Osnovni postulati aditivnog i suptraktivnog miješanja boja  
(Izvor: [http://fot-o-grafiti.hr/slike/nauchi/upravljanje\\_bojom/\\_sinteza\\_boja/CMY.jpg](http://fot-o-grafiti.hr/slike/nauchi/upravljanje_bojom/_sinteza_boja/CMY.jpg))*

Većina *Color management* sustava bazirana je na referentom prostoru boja, koji je neovisan o uređaju. CIE L\*a\*b\* sustav je prihvaćen kao standard za opis i uspoređivanje boja u grafičkoj industriji. Osnovni zadatak referentnog prostora boja je da vizualno predoči transformaciju boja iz kolorimetrijskih uređaja.

### ***Modul za upravljanje bojama (CMM)***

CMM je zapravo softver koji obavlja sve kalkulacije potrebne za pretvorbu RGB u CMYK vrijednosti boja. Ovaj modul jest algoritam koji koristi podatke iz PCS-a, kako bi ih transformirao u podatke prikladne za ispisne uređaje. Radi na principu interpolacije, koja je neizbjegna, budući da je nemoguće obuhvatiti cijelokupan spektar boja koje ispisni uređaji mogu proizvesti. Naime, interpolacijom se proračunavaju nepoznate vrijednosti između dvije poznate. [5] [1]

### ***ICC profili***

ICC profili su preduvjet za kontrolirano otiskivanje. Jednostavnim rječnikom, profil je direktna veza između uređaja i referentnog prostora boja. Profil može biti:

1. Generički (nabavljen zajedno sa sustavnom, kreiran od strane proizvođača)
2. Korisnički (kreiran za individualnu potrebu pomoću odgovarajućih softvera u kojemu se izvode spektrofotometrijska mjerena).

CMM koristi ove profile za transformiranje boje jednog uređaja u referentni prostor boja, a potom u model nekog drugog uređaja. Prvi korišteni uređaj naziva se ulazni, a drugi korišteni, izlazni. ICC profili su zapravo veza između strojnog i ljudskog doživljaja boje. Ovisno o primjeni, ICC profile možemo podijeliti u četiri osnovne skupine, a to su:

- 1) Ulazni profili (skeneri u grafičkoj pripremi i digitalne kamere)
- 2) Izlazni profili (Inkjet i elektrofotografski printeri)
- 3) Profili monitora (displeja)
- 4) Profili poveznice (direktna transformacija iz RGB sustava u CMYK). [1]

Kada se generira korisnički ICC profil koristi se forma ECI 2000 (sadržava 1485 polja) ili IT.8/7-4 (sadržava 1617 polja). Ukoliko se koriste generički profili, preporučuje se korištenje: ISO Coated v2 300%, PSO Uncoated ISO12647 (ECI), PSO LWC Improved (ECI) i ISO Newspaper 26v4.

Transformacija digitalnih fajlova u RIP-ane kanale ovisna je o tipu digitalnog stroja (tj. tiska li samo CMYK bojama ili CMYK+cm). Konkretan izbor propisan je ISO standardom 15311, kako bi strojevi sa svjetlijim bojilima ostvarili još bolju reprodukciju. Drugim riječima, propisana je posebna konekcija između CMYK i RGB prostora. Zbog razlike u rezolucijama i bojama, za probno otiskivanje preporučuje se uzeti Fogrinu normu 39.

Suvremeni ICC profili formiraju se pomoću ulaznih profila. Pritom se koriste različite RGB vrijednosti, ovisne o uređajima (RGB1, RGB2, ..., RGBn). Nakon toga, stvara se PCD (*Profile Connection Space*), iz kojeg se izvode podaci na izlazne profile (ovisno o ispisnim uređajima i monitorima na kojima ih želimo prikazati). Ukoliko se radi o monitorima, profil će biti u RGBx obliku ili ako su to pisači, onda govorimo o CMYK profilima.

### 2.3.1. Određivanje ciljeva reprodukcije

Za ponovljeno otiskivanje veoma je važno definirati ciljeve reprodukcije (*Output-Intent*). PDF/X dokumenti daju točno definirane uvjete tiskanja. Cilj reprodukcije određen je karakteristikama izlaznih uređaja koji se koriste za reprodukciju boja.

PDF/X-1 verzija opisuje CMYK prostor boja, dok se u PDF/X-3 verziji već pojavljuju ugrađeni ICC profili. Ciljevi reprodukcije moraju biti određeni prilikom kreiranja PDF-a, budući da se već tada mora znati kojim će uvjetima biti izloženi objekti iz dokumenta.

Postoje dvije vrste ciljeva reprodukcije:

1. Oni koje sadrže ugrađen profil uređaja koji određuje prostor boja ciljanog ispisnog uređaja.
2. Oni koji sadrže naziv koji određuje željeni prostor boja (odnose se na uobičajene uvjete reprodukcije).

#### **2.4. Proces digitalnog tiska**

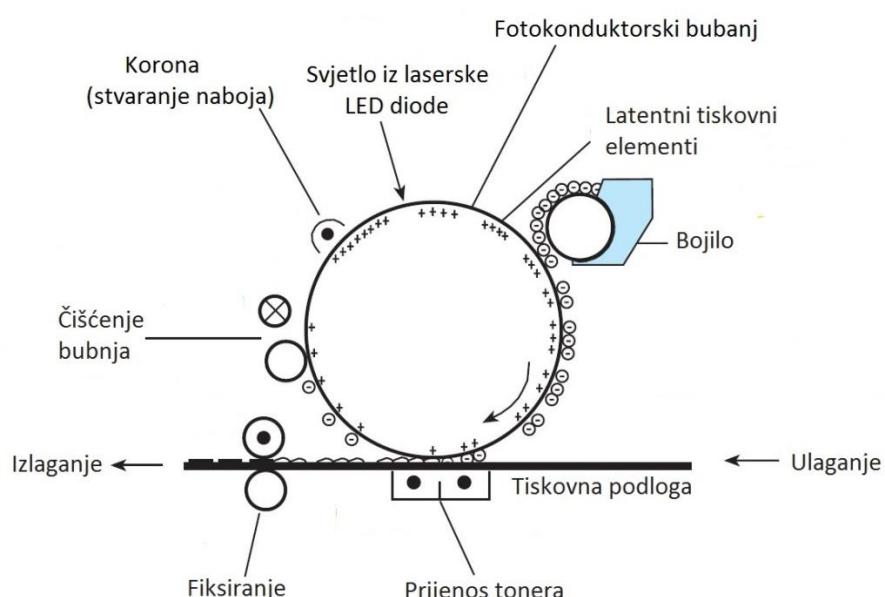
Digitalni tisk baziran je na direktnoj vezi računala i tiskarskog stroja. Stranice pripremljene u određenim formatima pogodnim za grafičku reprodukciju najprije se šalju u RIP uređaj. RIP (Raster Image Processor) pretvara višetonsku sliku u jednotonsku, odnosno, generira rastriranu površinu izdvojenu u četiri izvjetačne boje. [6] Proces kontrole otiskivanja u digitalnom se tisku može pratiti kroz nekoliko koraka:

1. Održavanje sistema prema postavkama proizvođača
2. Identificiranje/provjera kombinacije materijala (tiskovnih podloga i bojila)
3. Odabir točno definiranih kolornih referenci
4. Analizom uvjeta tiskanja
5. Kalibracijom tiskarskog stroja
6. Karakterizacijom ICC profila
7. Potvrđivanjem otiskivanja
8. Osiguranje kvalitete reprodukcije.

Standardizirano digitalno otiskivanje se može primijeniti na velikoformatnim printerima (Inkjet) i maloformatnim visokoproduktivnim printerima (elektrofotografija). Velikoformatni printeri najčešće rade principom dvije Inkjet tehnologije (piezo i termalni Inkjet).

#### 2.4.1. Elektrofotografija

Danas su najvažniji proizvođači elektrofotografskih strojeva Indigo, Nexpress, Xerox i Xeikon. Svi njihovi modeli primjenjuju isti princip otiskivanja koji se temelji na pojavi unutarnjeg fotoelektričnog efekta. Samim time, formiranje otiska u elektrofotografiji vrši se u šest osnovnih faza, a to su: nabijanje fotokonduktorskog bubenja, osvjetljavanje tiskovne forme, obojavavanje tiskovne forme tonerom, prenošenje tonera na tiskovnu podlogu, fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi i čišćenje tiskovne forme od ostatka tonera.



Slika 3. Osnovni princip elektrofotografije

(Izvor: Kipphan H. (2001)., *Handbook of Print Media*, Berlin, Springer Berlin Heidelberg, str.689)

Temelj elektrofotografskog procesa je stvaranje naboja na površini fotokonduktorskog bubenja. Bubanj je presvučen materijalom koji je poluvodič. Električni naboј se na nanosi korotronom (uređajem koji pozitivno nabija bubanj) ili skorotronom (uređajem koji negativno nabija bubanj) na površinu bubenja.

Nakon toga slijedi proces osvjetljavanja kod kojeg se podaci iz računala projiciraju na fotokonduktor. Slanjem signala iz računala, dolazi do izbijanja naboja na površini bubenja. Razlikujemo pozitivsko i negativsko osvjetljavanje.

Kod pozitivskog osvjetljavanja, fotokonduktorska površina je negativno nabijena, za razliku od negativskog, za koji je potrebna pozitivno nabijena površina bubnja.

Latentnu tiskovnu formu potrebno je učiniti vidljivom, što je osnovna zadaća procesa razvijanja. Pritom se primjenjuju specijalna bojila za elektrostatski tisak, koja se nazivaju toneri. Većina tonera su praškasti (80%), dok ostatak otpada na tekuće tonere. Praškasti toneri su zrnate strukture. Jednokomponentni toneri sastoje se od poliesterske stiren-akrilne smole (50%) i magnetizirajućeg željeznog pigmenta (50%). Između fotokonduktora i tonerskih čestica djeluju elektrostatska polja. Na taj način se osigurava točna pozicija tonerske slike.

Tonersku sliku je potrebno nakon razvijanja prenijeti na tiskovnu podlogu. To je moguće učiniti direktnim ili indirektnim postupkom. Pri direktnom postupku se tiskovna podloga dovodi u izravan kontakt s fotoinduktorom, dok se kod indirektnog postupka kontakt izvodi posredstvom prijenosnog medija.

Nakon odvajanja od fotoinduktorskog bubnja, tiskovna podloga dolazi na uređaj za fiksiranje tonera. To se izvršava uređajima koji se nazivaju fuzeri. Najčešće su to fuzeri koji fiksiraju toner zračenjem ili uprešavanjem. Prilikom fiksiranja zračenjem čestice se fiksiraju beskontaktno posredstvom infracrvenog zračenja. Nakon završetka fiksiranja potrebno je pripremiti površinu fotokonduktorskog bubnja za novi ciklus oslikavanja. Proces čišćenja se izvodi brisanjem napona virtualne tiskovne forme, te skidanjem ostataka tonera s fotokonduktora. [7]

#### 2.4.2. *Inkjet*

Za razliku od kontinuiranog Inkjeta, u grafičkoj industriji se mnogo češće koristi diskontinuirani, odnosno *Drop on Demand Inkjet*. Kod ovakvog otiskivanja bojilo dolazi u mikrokomoru polako. To je omogućeno jer je komora na jednom kraju povezana s dovodom bojila s nepovratnim ventilom, dok se na drugom kraju nalaze mlaznice. Postoji nekoliko vrsta DOD Inkjet tehnologije, od kojih su najpoznatiji piezo i termalni Inkjet.

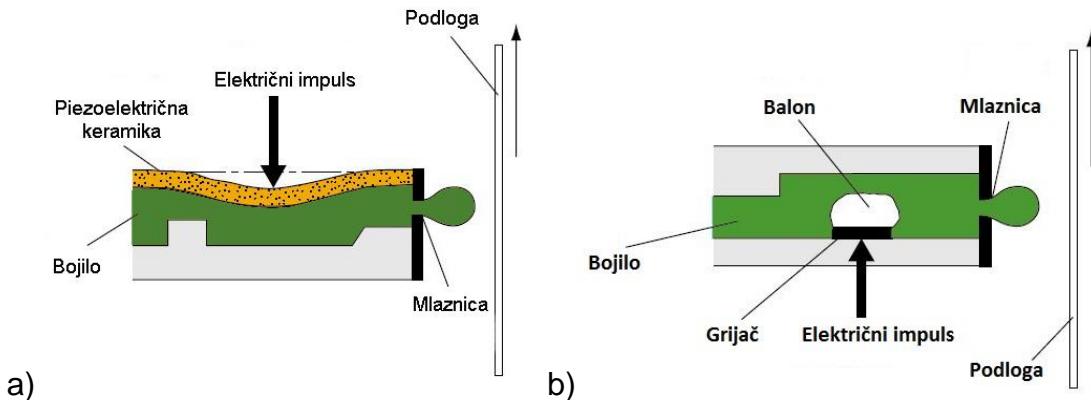
Kod piezo Inkjet pisača mikrokomora je napravljena od poroznih slojeva unutar kojih se ugrađuje piezo keramika. Komora je statična sve do trenutka slanja signala od strane računala. Dolaskom signala dolazi do deformiranja piezo kristala komore, što rezultira smanjenjem volumena u te istiskivanjem kapljica izvan komore. [8]

Da bi se kapljica u potpunosti odvojila (zbog velike površinske napetosti bojila), piezo keramika će se vratiti u početni položaj. Tek tada odvojena kapljica ima dovoljno energije za put do tiskovne podloge. Dobivena kapljica proporcionalna je deformiranim volumenom, odnosno komornom tlaku. U odnosu na kontinuirani Inkjet, ovi uređaji su nešto sporiji. Frekvencija titranja piezoelektričnog signala iznosi 8 kHz. Ipak, značajna prednost je utrošak bojila točno onoliko koliko je potrebno. [9]

Druga, često korištena tehnika je termalni Inkjet. Ova vrsta Inkjeta se često naziva i *Bubble* Inkjet. Funkcionira na principu stvaranja mjehurića plina, zbog čega je i dobio takav naziv. Formirane kapljice su nešto veće, što ga čini nepogodnim za kvalitetnije ispise. Brzina je slična brzini piezo Inkjeta.

Mlaznice su jednakih dimenzija kao i kod piezo Inkjet sustava. Međutim, unutar mikrokomore nalazi se mikrogrijač. Pod utjecajem električne energije, mikrogrijač se brzo grijе i hlađi. Budući da bojilo u svom sastavu sadržava vodu, ona će brzo isparavati, pod utjecajem visoke temperature (300°C).

Princip rada je slijedeći. Električni signal dolazi iz računala na mikrogrijač. Pod utjecajem tog impulsa dolazi do ubrzanog zagrijavanja grijača, koji je potpuno upisan u bojilo. Povećanjem temperature dolazi do isparavanja tekuće komponente bojila. U tom trenutku, isparavanjem bojila dolazi do stvaranja mjehura. Isparen plin širi se koronom. Ovisno o trajanju impulsa te uslijed nedostatka prostora bojilo iz mikrokomore odlazi u smjeru mlaznica. Zbog površinske napetosti kapljica se od površine ne odvaja odmah. Tek s hlađenjem mikrogrijača započinje novo punjenje u mikrokomori te dolazi do odvajanja kapljice od prethodno formiranog meniskusa. Ovakva kapljica sada odlazi u smjeru tiskovne podloge. [6]



*Slika 4. Dva najčešća principa formiranja kapljica:*

a) *Princip piezo Inkjeta, b) Princip termalnog Inkjeta*

(Izvor: Kipphan H. (2001)., *Handbook of Print Media, Berlin, Springer Berlin Heidelberg*, str.712)

Osim piezo i termalnog Inkjeta, danas se radi i na drugim principima formiranja kapljica. Prvenstveno je to elektrostatski i ultrazvučni Inkjet. Njihovo vrijeme tek dolazi zbog manjih kapljica i veće preciznosti distribucije. To je moguće zbog primijenjenih vanjskih sila koje će precizno voditi tekućine u smjeru tiskovne podloge.

#### 2.4.3. Bojila u digitalnom tisku

Grafička bojila su obojene tvari koje će nanašanjem na tiskovnu podlogu izazivati osjet obojenja u ljudskom oku. Postoje različiti tipovi bojila u digitalnom tisku. Samim time možemo ih podijeliti prema: tonu (kromatske, akromatske, metalik), mehanizmu sušenja (penetracija, oksipolimerizacija, polimerizacija, sublimacija), principu rada printera (bojila za Inkjet koji kapa na zahtjev, bojila za kontinuirani Inkjet printer, tekuća elektrofotografska bojila, praškasta elektrofotografska bojila)...

Bojila za digitalni tisk su viskozne tekućine ili praškasti toneri. Nositelji obojenja u takvim bojilima najčešće su pigmenti, ali mogu biti i obojene tekućine. Pigmenti su sitne čestice netopive u vezivima. Njihova veličina se kreće od 0.1-6.0 µm. Molekule pigmenata moraju se povezati u kristalne strukture te će na taj način bojilu dati jednoličnost i homogenost.

Na površinskom sloju otisnute boje nalazi se oko 10% sveukupnih pigmenata. Bojila na bazi pigmenata obavezno sadrže veziva, čime se omogućuje prenošenje i vezanje za tiskovnu podlogu. Tekući nositelji obojenja ne zahtijevaju takve karakteristike, budući da se mogu samostalno vezivati za tiskovne podloge. Inkjet uređaji koriste bojila dinamičke viskoznosti između 1 i 10 mPa·s. U svom sastavu sadrže nositelje obojenja i organsko otapalo. Naneseno tekuće bojilo na podlozi formira sloj, čija debljina iznosi oko 0.5 µm. Ova bojila suše hlapljenjem i penetracijom u tiskovnu podlogu.

Različite tiskovne podloge zahtijevat će i različita Inkjet bojila. To su: bojila na bazi vode, bojila na bazi lakohlapivih otapala, bojila na bazi ekoloških otapala, UV bojila, lateks bojila, bojila na dye bazi.

Za postizanje veće kvalitete u Inkjetu, koriste se posebne papirne tiskovne podloge. Ovakve podloge omogućavaju bolju reprodukciju. Njihova karakteristika je veća površinska kapilarna upojnost. To svojstvo podloge omogućava izbjegavanje efekta površinskog mrljanja, odnosno negativnog horizontalnog širenja bojila na površini papira. [1] [10]

## 2.5. Procjena digitalnih otiska

Ovisno o tipu grafičkog proizvoda izvodi se različita kvalitativna kontrola. Metoda njezinog izvršavanja može biti temeljena na: ovjeravanju (vizualnom), *softproof-u* (procjena pomoću monitora), *hardproof-u* (mjerna kontrola otiska). Pri kontroli procesa važni su razni parametri koji imaju direktni utjecaj na vizualni doživljaj slike. Pritom najčešće mislimo na redoslijed tiska, primjenjenu tehniku tiska, korišteno bojilo, upotrijebljenu tiskovnu podlogu. Svi ovi parametri definirani su standardom ISO 12647/1. Međutim, kako je teško uskladiti sve parametre odjednom. Određene promjene i razlike u obojenju su očekivane, tj. uvjetovane varijacijama u tisku, sastavu bojila i tipu tiskovne podloge. Ipak, kao najvažniji parametri kontrole ističu se: obojenje, standardni promatrač i rasvjeta.

### 2.5.1. Boja

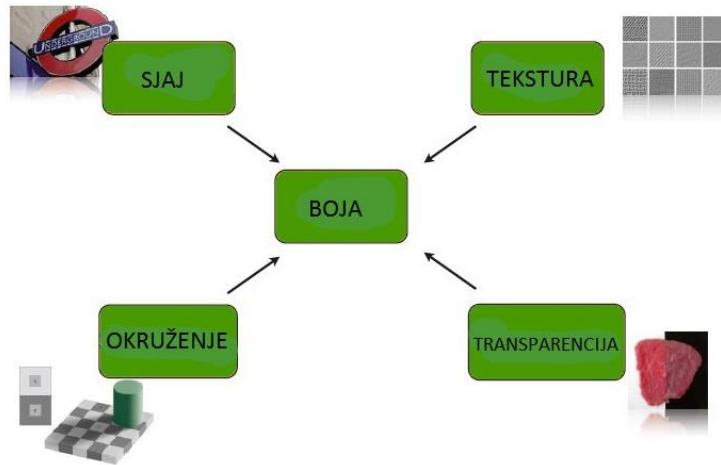
Termin „boja“ danas ima raznoliku uporabu. Često se poistovjećuju kolorant i vizualna percepcija. U našem jeziku, kolorant nazivamo bojilom, dok naziv *boja*, zadržava doživljaj određenog predmeta, odnosno njegovu vizualnu percepciju. Engleski jezik također ima dva naziva, a to su *paint* ili *colorant* za bojilo te *color* za obojenje. U njemačkom jeziku su oba termina nazvana *die Farbe*. Osim toga, danas se često boja tumači kao svojstvo predmeta (npr. zelena trava), što u konačnici još više otežava komunikaciju.

Znanstveno govoreći postoje četiri pristupa analize obojenja. To su:

1. Studij anatomije, fiziologije i bolesti očiju (temelji se na istraživanju psihofiziološkog doživljaja boje)
2. Fizičko miješanje komponenti za dobivanje određenog tona
3. Istraživanje postizanja harmonije u međusobnoj interakciji
4. Percepcija boje (reakcija ljudskog vizualnog sustava na fizičke podražaje). [1]

Kada kažemo „boja“, u grafičkoj industriji se to najčešće odnosi na posljednji pristup, odnosno percepciju boje. Osim toga, boja se ne smije miješati s fizičkim podražajima koji uzrokuju osjet.

Postoje četiri čimbenika koji utječu na konačan izgled boje određenog predmeta, a to su: okruženje (prostorno i vremensko), tekstura površine, površinske karakteristike (sjaj) i prozirnost (translucencija).



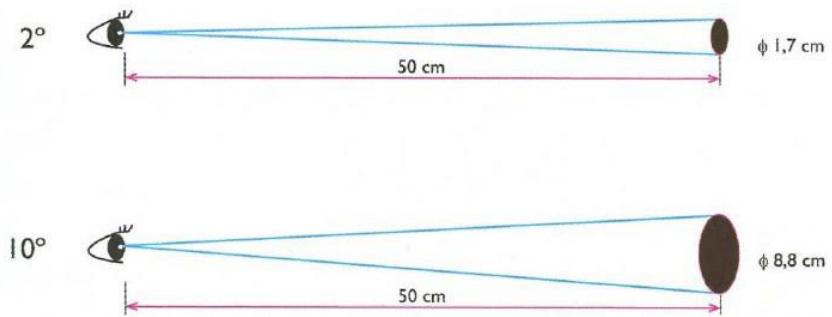
*Slika 5. Parametri koji utječu na percepciju boje*

(Izvor: Fogra (2012). *ProcessStandard Digital Handbook 2012.*, Fogra Graphic Technology Research Association, München, str.24)

Pri opisu obojenja najčešće koristimo 3D kolorni prostor koji je definiran s tri varijable (CIE  $L^*a^*b^*$ ). Ipak, on se primjenjuje pri aparurnom mjerenu, uz strogo definirane uvjete promatranja te predmete koji moraju biti neprozirni i nefloorescentni. Najveći utjecaj na doživljaj boje mogu imati izvor svjetlosti i promatrač. [11] Zbog toga su u grafičkoj proizvodnji propisani: standardni promatrač (CIE 1931,  $2^\circ$ , CIE 1964,  $10^\circ$ ) i izvor svjetla (CIE D50, CIE D65). [12]

### 2.5.2. Standardni promatrač

Standardni promatrač predstavlja statistički podatak dobiven nizom mjerena u kojima su sudjelovali ljudi dobrog vida (bez deformacija viđenja boja). Mjerena su obavljena pri pokusu kod kojeg je promatrač gledao testno polje, s udaljenosti od 50 cm. Pritom se kao ciljani uzorak koristi kružno obojena površina promjera 1.7 cm (odnosno 8.8 cm). Samim time ostvaren je i drugačiji kut percepcije oka, koji iznosi  $2^\circ$  ili  $10^\circ$ . Donji dio polja osvijetljen je točno definiranom rasvjetom (ispitivanim svjetлом), dok se gornji dio osvjetljava pomoću tri snopa svjetla čiji se svjetlosni tokovi mogu mijenjati. Pritom se relativna vrijednost svjetlosnog toka može mjeriti. [13]



*Slika 6. Geometrija promatranja koja je definirana kod standardnog promatrača*

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja_2014.pdf))

### 2.5.3. Izvor svjetlosti

Izvor svjetlosti igra veliku ulogu pri uspoređivanju boje originala i boje reprodukcije. Na konačne rezultate utječe spektralna gustoća zračenja izvora svjetlosti, ali i stanje vizualne prilagodbe (odnosi se na okolinu u kojoj se nalazi promatrani objekt).

Uvjeti promatranja različiti su za transparentne i refleksne objekte. Transparentni mediji su najčešće fotografске prozirne folije (dijapositivi), te se kao takvi danas jako rijetko koriste. Prilikom analiziranja, transparentni objekti se najčešće izlažu volframovim žaruljama. Toplina boje (*CCT – Correlated Color temperature*) ove žarulje iznosi od 2800 do 4000K.

Osim definiranog izvora svjetlosti, vizualna procjena ne zahtjeva nikakve posebne uvjete. Za razliku od volfram rasvjete, dnevno svjetlo omogućava neutralnu usporedbu objekata. Međutim, promatrati objekte pod dnevnom rasvjetom nije preporučljivo, budući da je ona podložna većim promjenama i varijacijama. Zbog toga je bilo važno definirati točnu toplinu svjetlosnog izvora, što je učinila CIE komisija (*CIE - Commission Internationale de l'Eclairage*). Promatrajući različite topline izvora svjetlosti došlo se do spoznaje da će se umjetno svjetlo od 3000K koristiti za ispitivanje transparentnih materijama, a umjetno svjetlo od 6500K za analizu refleksivnih materijala.

Postoji i prosječno svjetlo (5000K). U grafičkoj industriji, danas se koriste dva standarda: D50 i D65. Međutim, za procjene u tisku mnogo češće se koristi standard D50. Kako se u grafičkoj industriji sve manje koriste transparentni mediji (film), za očekivati je da se standardom propiše korištenje izvora D65. Međutim, to još nije moguće jer bi takve investicije zahtijevale ogromna ulaganja, revizije ISO standarda, modifikacije postojećih baza što si grafička industrija ne može priuštiti. Zbog toga se koriste oba standarda. [14]

### ***Vrste svjetlosti i metamerija***

Doživljaj boje ovisi i o površini promatranog predmeta. Rezultat vidljivog obojenja nastaje interakcijom spektralne raspodjele upadnih zraka i faktora refleksije promatranog uzorka. Zbog toga je bitno definirati standarde, kako bi bilo moguće komunicirati o doživljaju boje na globalnoj razini.

Optička svojstva podloge su veoma važni parametri pri definiranju vizualnih doživljaja proizvoda. Najbolji uvjeti za vizualnu procjenu su isti oni pod kojima će se uzorci u konačnici promatrati. Ipak, veći problemi nastaju ukoliko postoji veći broj različitih uzoraka.

Sami uzorci u svojem sastavu mogu sadržavati različite količine optičkih bjelila (OCA – *Optical Brightener Agents*), zbog kojih će se podlozi mijenjati vizualni izgled, budući da se povećava njihova bjelina. Ukoliko promatramo takve podloge pod jednakim uvjetima, one mogu izgledati različito (ovisno o tome sadrže li optička bjelila ili ne). [15]

Ovaj problem je povezan s procesom očne adaptacije. Očna adaptacija opisuje proces prilagodbe ljudskog vizualnog sustava na različite uvjete promatranja. Drugim riječima, promatranjem najsjetljive točke na uzorku, nakon nekog vremena doživljavat ćemo je kao bijelu. Posebno je to izraženo u slučajevima u kojima imamo različitu zastupljenost optičkih bjelila u uzorcima. Tako će tiskovne podloge koje su obogaćene ovim agentima, adaptacijom vizualnog sustava izgledati više bijele, dok uzorke bez optičkih bjelila (najčešće probni otisci) doživljavamo kao žućkastije.

Samim time će podešavanje tiskarskih parametara po referentnom žućkastom probnom otisku (zbog nedostatka optičkih bjelila) automatski povećavati postotak žute na otiscima. Zbog toga je nužno standardizirati uvjete digitalnog probnog otiskivanja.

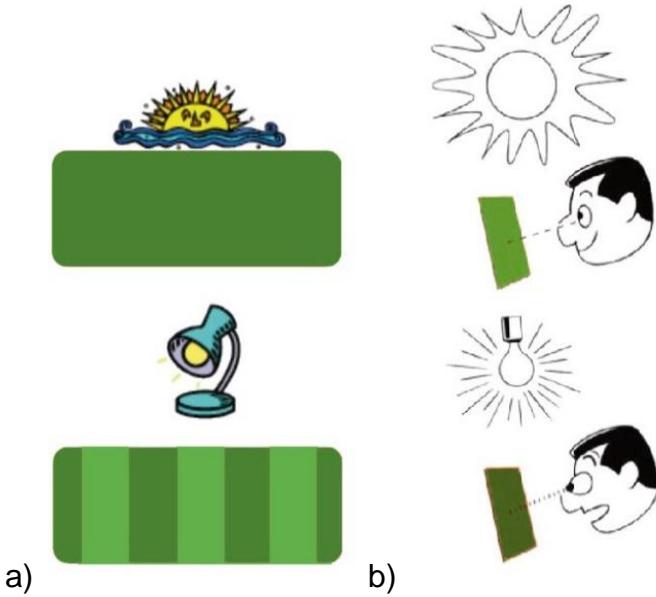
Problem u digitalnom probnom otiskivanju može izazvati i metamerija. Pojam *metamerija* dolazi iz grčkog jezika i odnosi se na jednakost pod različitim uvjetima djelovanja. Ukoliko žuti i bijeli papir promatramo pod žutim svjetлом, oba će izgledati žuto. Međutim, promjenom vrste osvjetljenja u „normalno“ stanje, bijeli papir izgleda bjelkasto, a žuti žućkasto. Znači, metamerija može biti izazvana promjenom vrste osvjetljenja ili promjenom samog promatrača.



Slika 7. Metamerija izazvana promjenom vrste osvjetljenja

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja_2014.pdf))

Uz metameriju, često se veže i pojam postojanosti boje. On se odnosi na svojstvo predmeta da zadržava jednako obojenje pri utjecaju različitih vrsta svjetlosti. Pri definiranju metamerije se tako uspoređuju dva uzorka koji pod različitim uvjetima rasvjete izgledaju drugačije, dok se postojanost boje odnosi samo na jedan uzorak. [16]



*Slika 8. Osnovna razlika između fizikalnih pojava:*

*a) Metamerija, b) Postojanost boje*

*(Izvor: Fogra (2012). ProcessStandard Digital Handbook 2012., Fogra Graphic Technology Research Association, München, str.34)*

### ***Analiza obojenja***

Analiziranje obojenja je veoma važno zbog više razloga. Jedan od njih je potreba za objektivnim uspoređivanjem boja. Osim toga, bitno je mjeriti obojenje prilikom njihove kontrole na reprodukciji te prilikom određivanja tolerancija za reprodukciju pojedinih boja u tisku. Analiziranjem obojenja možemo kontrolirati pojedine faze u reproduksijskom procesu, a važno je i za kalibraciju ulaznih i izlaznih uređaja.

Osnovni zadatak pri analiziranju obojenja je oponašanje doživljaja tona u datim uvjetima. Postoje razni parametri koji su važni za analizu obojenja. To su: vrsta okolne svjetlosti, geometrija standardnog promatrača, optička bjelila u podlozi, polarizacija i transparencija.

Razlika u obojenju uvijek se izražava kao udaljenost između dvije boje u određenom prostoru boja. CIE L\*a\*b\* je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji standardnog promatrača. Numeričke vrijednosti dobivene u ovom

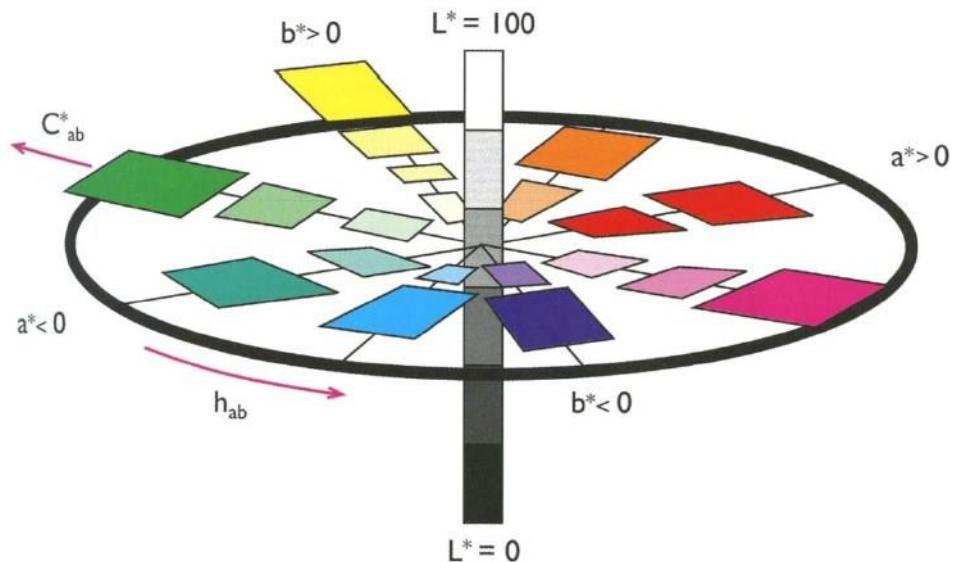
prostoru opisuju sve boje koje može razlikovati ljudsko oko. Boje su predstavljene pomoću dvije kromatske i jedne akromatske osi.

Kromatske osi su:  $a^*$  (crvena i zelena boja) i  $b^*$  (plava i žuta), dok je  $L^*$  akromatska os (određuje svjetlinu). Dobivena razlika između dvije boje predstavljena je razlikom u obojenju ( $\Delta E$ ). Pri tom je ona dobivena izrazom:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2}, \quad (1)$$

pri čemu je  $\Delta L = L_{mjereno} - L_{stand.}$ ,  $\Delta a = a_{mjereno} - a_{stand.}$ , te  $\Delta b = b_{mjereno} - b_{stand.}$  [17]

U nekim industrijama, poput automobilske ili tekstilne, koriste se i referentni uzorci boje (etaloni). U tom slučaju, novonastali uzorak direktno se uspoređuje s etalonom, uz točno definirano odstupanje. Ovakvo uspoređivanje, može se koristiti i u grafičkoj industriji. Pritom, kao etalon služi Pantone katalog (digitalni ili fizički oblik u listićima), koji ujedno služi kao referentni uzorak. Za vizualizaciju također koristimo CIE  $L^*a^*b^*$  kolorni prostor kao i prethodno spomenute razlike u obojenju ( $\Delta E$ ).



Slika 9. CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja

(Izvor: [http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja\\_2014.pdf](http://fotoprocesi.grf.unizg.hr/media/Predavanja - Kvalitivne metode ispitivanja reprodukcije boja_2014.pdf))

## 2.6. Karakterizacija izmjerениh podataka

Za potpunu karakterizaciju uvjeta otiskivanja potrebno je izmjeriti i usporediti točno definirana polja. Takvi podaci se dobivaju iz jednog ili više otiska, nastalih pod točno definiranim i kontroliranim uvjetima. Fogra takvu karakterizaciju propisuje normom FOGRA 39. Pritom se obavezno primjenjuju ICC profili.

Za probno otiskivanje, digitalni podaci za tisak moraju biti pripremljeni po propisanim pravilima. Kada se jednom postigne točna reprodukcija osnovnih tonova, svi naredni otisci će biti ujednačeni. Na primjer, crveni klin bit će jednak klinu nastalom primjenom žute i magente, ako koristimo slične papire, bojila ili tiskarske strojeve. To podrazumijeva i određene RIP korekcije za četiri jednodimenzionalne krivulje. Pri tome su sve transformacije definirane standardom ISO 15311, koji specificira dozvoljene promjene u vrijednostima boja za svaki separacijski kanal.

Separacijski kanali boja ne moraju uvijek odgovarati primijenjenim bojilima. Drugim riječima, određen printer može imati cijan, magenta, žuto, crno, svjetlo cijan i svjetlo magenta bojilo (CMYKcm). Takav printer ima tri (RGB) ili 4 (CMYK) kanala, samim time jedan kanal može biti mapiran i za više od jednog bojila (cijan).

Najbolja procjena probnih uzoraka vrši se pod dnevnim svjetлом. Međutim, da bi se osigurali jednaki uvjeti promatranja, potrebno je imati komoru za promatranje (*viewing booth*). Svrha ovih komora jest osigurati jednakе uvjete za promatranje boje prilikom procjene otisnutih uzoraka, na različitim lokacijama ili u različitom vremenu (dan, noć).

### 2.6.1. Dozvoljene razlike u obojenju za NIP tehnike digitalnog tiska

Kada se govori o procjeni, veoma je važno utvrditi ostvarenu razliku u obojenju. Teoretski gledano, postoje dvije vrste procjene: uzorak uz uzorak (*side-by-side*) i procjena u neutralnom okruženju (*media neutral*). *Side-by-side* procjena odnosi se na procjenu koja podrazumijeva komparaciju između tzv. originala i

otisnute reprodukcije. *Media neutral* procjena se odnosi na aplikacije kod kojih je konačan produkt samostalno promatran, odnosno kompariran samo sa željenim broćanim vrijednostima. Za ovakav postupak karakteristično je da se više primjenjuje kod denzitometrijskog mjerjenja, a manje kolorimetrijskog mjerjenja otiska. Analizirajući ih možemo uočiti tri kategorije tolerancija za razlike u obojenju (A, B i C).

Kada se govori o propisanim tiskovnim podlogama tada njihove CIE L\*a\*b\* vrijednosti moraju biti koordinate 100,0,0. [1] U tablicama 1. i 2. dana su moguća odstupanja u obojenju uz određene kategorije tolerancije razlika. [1]

*Tablica 1. Specificirane tolerancije razlika u obojenju digitalnih otiska principom uzorak uz uzorak*

	<b>Kvaliteta A</b>	<b>Kvaliteta B</b>	<b>Kvaliteta C</b>
<b>Podloga</b>	$\Delta E_{00} < 4.5$	$\Delta E_{00} < 3.5$	$\Delta E_{00} < 2.5$
<b>Polja</b>	Max $\Delta E_{00} < 8.5$ Prosječan $\Delta E_{00} < 4.5$	Max $\Delta E_{00} < 7.5$ Prosječan $\Delta E_{00} < 3.5$	Max $\Delta E_{00} < 6.5$ Prosječan $\Delta E_{00} < 2.5$

*Tablica 2. Specificirane tolerancije razlika u obojenju za tiskovnu podlogu korištenu u digitalnom tisku*

	<b>Kvaliteta A</b>	<b>Kvaliteta B</b>	<b>Kvaliteta C</b>
<b>Polja</b>	$\Delta E_{00} < 4.5$	$\Delta E_{00} < 2.5$	$\Delta E_{00} < 1.5$

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Cilj ovog rada je utvrđivanje optimalnih postavki otiskivanja pisačem UV LED Inkjet Roland LEC 300 te uspostavljanje optimalnih nanosa UV LED sušeće boje u svrhu postizanja maksimalnog kolornog gamuta (tonske reprodukcije). Da bi se to postiglo modificirani su softverski parametri: kontrast, maksimalan i minimalan nanos bojila te je izvršena linearizacija. Utjecaj ovih korekcija praćen je pri realizaciji punih (100% CMYK i RGB) i rasterskih tonova (25%, 50%, 75% i 100% RTV), bez kojih je nemoguće ostvariti kvalitetnu višebojnu sliku. Osim toga, utvrđena je stvarna razlika u obojenju različito generiranih UV Inkjet otiska (otiska korigiranih od strane operatera) te komparacija s ostvarenim rezultatima s tvorničkim postavkama pisača.

#### 3.1. Metodologija rada

##### 3.1.2. Podešavanje postavki na VersaWorks RIP-u

Da bi se uspješno izvršilo planirano otiskivanje, potrebno je izraditi posebnu PDF/X tiskovnu formu koja je sadržavala: mikrotekst, QR polja, standardne klinove, ilustraciju za vizualnu procjenu, mikrolinije, ECI formu (sadržava 378 polja). Prvotno su određeni tvornički uvjeti otiskivanja te promjenjivi i fiksni parametri pri otiskivanju. Otiskivanje se vršilo *Roland VersaUV LEC-300* Inkjet strojem, pri čemu se kao tiskovna podloga koristio papir *EMBLEM Solvent Perfect Poster 150*, specijaliziran posebno za ovu vrstu Inkjet otiskivanja.



Slika 10. Digitalna tiskovna forma primijenjena za eksperimentalno otiskivanje

U VersaWorks softveru mijenjani su pojedini parametri. Definirano je pet različitih postavki RIP-a:

- 1) Otiskivanje po tvorničkim postavkama – Uzorak 1
- 2) Otiskivanje s definiranim linearnim postavkama – Uzorak 2
- 3) Otiskivanje s korigiranom LUT krivuljom – Uzorak 3
- 4) Otiskivanje s povećanim softverskim nanosom (+5) – Uzorak 4
- 5) Otiskivanje sa smanjenim softverskim nanosom (-5) – Uzorak 5

Prva tri uzorka predstavljaju spektrofotometrijsku LUT korekciju koja direktno utječe na snagu mlaza, dok posljednja dva uzorka predstavljaju softversku korekciju u RIP-u VersaWorks.

Za kolorimetrijsku analizu cijana, magente i žute, analizirana su polja rastertonske vrijednosti od 25%, 50%, 75% i 100% RTV-a, dok su za crnu boju analizirani 33%, 66% i 100%-tne rasteri. Također je korištena rastertonska vrijednost od 5% koja je optimalna za slikovnu analizu primarnih bojila.

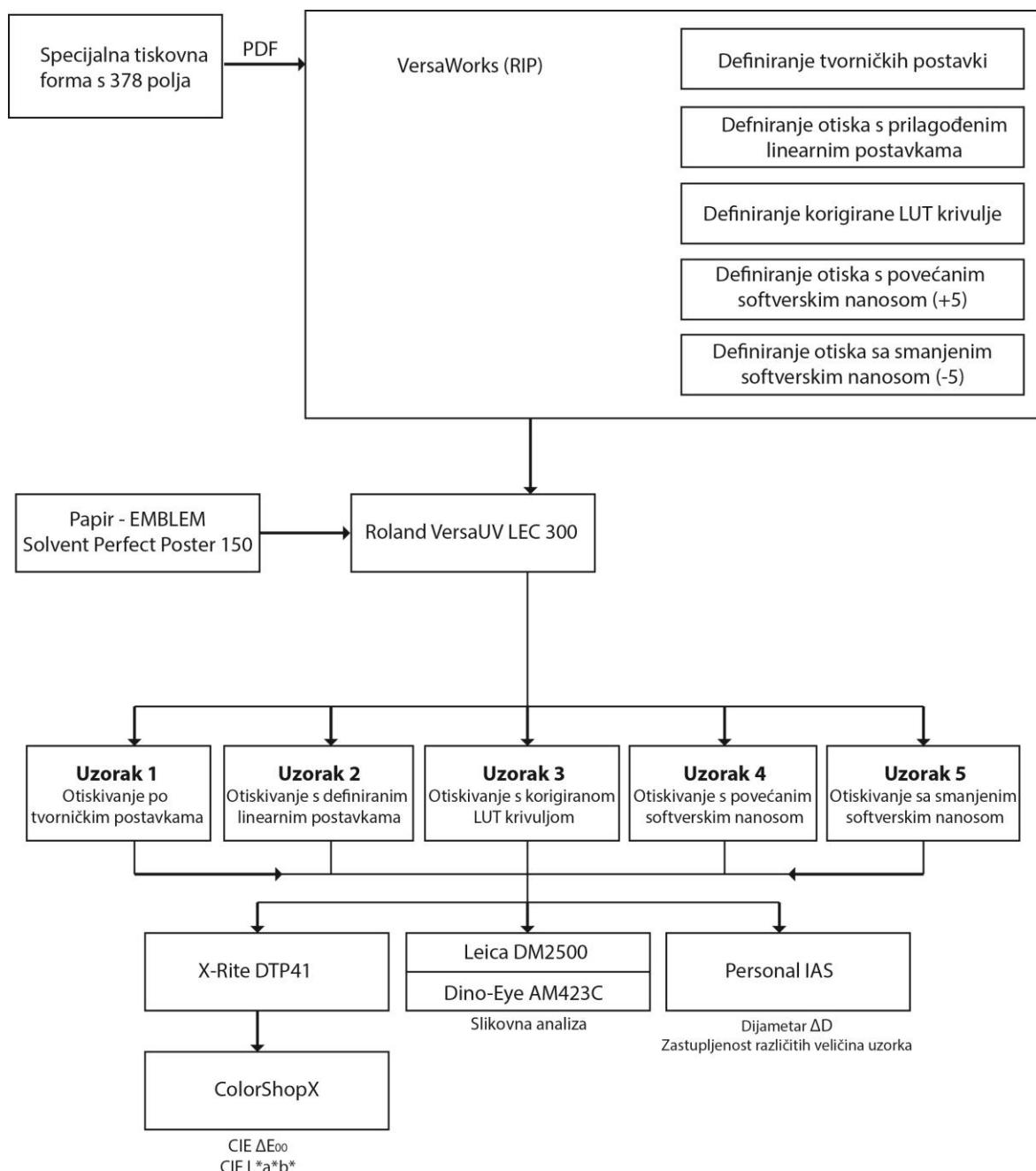
Definirana polja mjerena su i uređajima *Personal IAS*, te spektrofotometrom *X-Rite DTP41 Autoscan*. Personal IAS-om su dobiveni podaci o veličini dijametra rasterskih elemenata, zajedno s podacima o zastupljenosti pojedinih elemenata. Spektrofotometrom su dobiveni CIE L\*a\*b\* podaci, koji su korišteni za izračune razlika u obojenju ( $\Delta E$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta L$ ).

Pritom je korištena matematička formula  $\Delta E_{00}$  koja je definirana izrazom:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)} \quad (2)$$

pri čemu je  $\Delta E_{00}$  razlika u obojenju,  $\Delta L'$  razlika u svjetlini,  $\Delta C'_{ab}$  razlika u kromatičnosti,  $\Delta H'_{ab}$  razlika u tonu,  $S_H$ ,  $S_L$  i  $S_C$  korekcijske funkcije tona, svjetline i kromatičnosti,  $k_H$ ,  $k_L$  i  $k_C$  parametarski faktori tona, svjetline i kromatičnosti i  $R_T$  funkcija koja korigira kromatske razlike u plavom području.

Dobiveni rezultati potom su grafički prikazani u dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim grafovima, koji su generirani pomoću softvera Origin Pro 9.0. Detaljnija analiza rasterskih elemenata vršena je fotografiranjem uzorka pomoću kamere *Dino-Eye AM423C* konektiranom na *Leica DM2500 mikroskopu*. [18]



Slika 11. Shema izvršenog eksperimenta

### **3.2. Korišteni materijali, tiskarski stroj i mjerni uređaji**

#### *3.2.1. Tiskarski stroj*

Svi otisci su rađeni na Inkjet tiskarskom stroju Roland VersaUV LEC-300. To je stroj koji radi na principu piezo Inkjeta. Može se koristiti za izrezivanje, perforiranje i žljebljenje te podržava tisak iz arka i role. Stroj koristi bojilo Roland ECO-UV 220 ml. Za sušenje se koriste dvije UV LED lampe. One suše momentalno UV LED zračenjem, čija dominantna valna duljina iznosi  $\lambda=378$  nm. [19]

*Tablica 3. Specifikacije Roland VersaUV LEC-300 stroja*

Roland VersaUV LEC-300	
Tehnika otiskivanja	Piezo Inkjet
Širina tiskovne podloge	182-762 mm
Debljina tiskovne podloge	1 mm
Bojilo	Roland ECO-UV 220 ml
Broj boja	6 (CMYK + bijela boja + lak)
Sušenje	Dvije UV LED lampe
Rezolucija	360 x 720 dpi – 720 x 1440 dpi
Brzina izrezivanja	10 – 600 mm/s

Inkjet tiskarski stroj spojen je sa softverskim VersaWorks RIP-om. Softver dolazi zajedno sa strojem te koristeći PostScript 3 omogućuje pretvaranje slike u rasterski oblik. Tako pretvoreni podaci se šalju direktno u Inkjet stroj. [20]



*Slika 12. Roland VersaUV LEC-300*

(Izvor: <http://www.rolanddg.co.uk/products/software/versaworks?tab=overview>,  
datum pristupa)

### 3.2.2. Korišteno UV bojilo

Roland VersaUV LEC-300 koristi posebno prilagođeno bojilo, naziva Roland ECO-UV. Bojilo se sastoji od slijedećih komponenata: akrilni esteri (30-45%), heksametilen diakrilat (10-20%), tripropilen glikol diakrilat (10-20%), derivati fosfin oksida (5-15%), pigment (1-5%), ostali fotoosjetljivi monomeri (0-5%) i sintetičke smole (0,5-5%). Ova bojila izrazito su otporna na grebanje i alkohol. Izvorno bojilo je u tekućem agregatnom stanju, čija viskoznost iznosi 6-8 mPa·s, specifičnog je mirisa i hlapi na temperaturi od 66°C. Ipak, bojilo je nestabilno pod utjecajem topline i svjetla. [21]

### 3.2.3. Tiskovna podloga

U radu je korištena sjajno premazana papirna tiskovna podloga posebno prilagođena digitalnom Inkjet tisku. Može se pronaći pod tvorničkim nazivom EMBLEM Solvent Perfect Poster 150 (Dataplot). Papir je gramature 150 g/m<sup>2</sup>, prvenstveno namijenjen za izradu posterskih aplikacija. Za razliku od drugih vrsta, oni su vodootporni i ne boraju se u kontaktu s vodom ili ljepilom. [22] Ovi papiri se mogu primijeniti i za indoor aplikacije, kao što su: fotografije, umjetničke reprodukcije, izložbe, uređivanja interijera i probnih otiskivanja. [23]

Tablica 4. Specifikacije EMBLEM Solvent Perfect Poster 150 papira

EMBLEM Solvent Perfect Poster 150	
Šifra	SOPEP150
Materijal	premazani papir
Obrada	polumat
Boja	bijela
Težina	150 g/m <sup>2</sup> , bezdrvni
Opacitet	99,5% (ISO 2471)
Širina role	42" (114.3 cm)/ 54"( 137.16 cm)/ 60" (152.4 cm) / 63" (160.02 cm)
Duljina role	50 m
Kompatibilna bojila	
Eco solventna bojila	DA
UV bojila	DA
Solventna bojila	DA
Latex bojila	DA

### 3.2.4. X-Rite DTP41 Autoscan spektrofotometar

DTP41 služi za mjerjenje faktora refleksije (odnosno transmisije), u ovisnosti o valnoj duljini. Raspon mjerena valnih duljina se nalazi u području vidljivog spektra, od 400 do 700 nm. Raspon mjerena moguć je od 0 do 160% reflektancije te gustoće zacrnjenja od 0 do 2.5. Geometrija mjerena uređaja se odvija pod kutovima  $45^\circ/0^\circ$ , dok je standardni promatrač na  $2^\circ$  ili  $10^\circ$ . Uz pripadajući softver daje CIE  $L^*a^*b^*$  podatke koji su korišteni za kreiranje dijagrama. [24]

Tablica 5. Specifikacije X-Rite DTP41 Autoscan spektrofotometra

X-Rite DTP41 Autoscan	
Raspon valnih duljina	400-700 nm
Raspon mjerena (reflektancija)	0 – 160%
Raspon mjerena (gustoća zacrnjenja)	0D – 2.5D
Geometrija mjerena	$45^\circ / 0^\circ$
Standardni promatrač	$2^\circ / 10^\circ$
Standardni izvori svjetla	A, C, D50, D65, D75, F2, F7, F11, F12

### 3.2.5. Leica DM2500 mikroskop i Dino-Eye AM423C kamera

Primijenjeni mikroskop pripada skupini metalurških mikroskopa te se koristi za mjerjenje otisaka, papira ili tiskovnih formi. Osim toga, postoji mogućnost montiranja kamere na međuoptiku, što nam omogućava vizualizaciju uzorka na računalu. Drugim riječima, mikroskop je opremljen DinoLite kamerom korištenom za vizualnu kontrolu otisaka. To je CMOS kamera s 3.0 megapiksela. Kontrast na slici se stvara upadnim ili transmitiranim zrakama. Uzorak se stavlja na pomični stol, te se može promatrati pod različitim objektivima (2.5, 10, 20 i 40x). Osvjetljavanje se vrši halogenom lampom (12V 100W). Mikroskop ostavlja mogućnost korištenja polarizacijskog filtera, kako bi se uklonila neželjena refleksija. [25]

Tablica 6. Specifikacije Leica DM2500 mikroskopa i Dino-Eye AM423C kamere

Leica DM2500 mikroskop i Dino-Eye AM423C kamera	
Objektivi mikroskopa	2.5, 10, 20, 40x
Napon osvjetljenja mikroskopa	12V, halogen
Snaga osvjetljenja mikroskopa	100W
Detektor kamere	Color CMOS, 1.3 megapiksela

### 3.2.6. Personal IAS

Personal IAS je prijenosni digitalni uređaj namijenjen za slikovnu analizu. Primjenjuje se za analizu otiska i refleksivnih tiskovnih formi. Ovim uređajem je moguće mjeriti različita svojstva rasterskih elemenata, linijaturu ili gustoću obojenja.



Slika 13. Personal IAS

(Izvor: [http://www.qea.com/products-image\\_quality\\_analysis.htm](http://www.qea.com/products-image_quality_analysis.htm))

U radu je korišten za mjerjenje dijametra rasterskih elemenata cijana, magente, žute i crne boje. Osim toga, na 5% rastertonskoj vrijednosti mjerena je zastupljenost veličine rasterskih elemenata spomenutih uzoraka, uz povećanje od 10x. [26]

*Tablica 7. Specifikacije Personal IAS mjernog uređaja*

Personal IAS	
<b>Razlučivost</b>	5 $\mu\text{m}$ /pikselu
<b>Detektor</b>	Color CCD
<b>Raspon mjerena</b>	0-2.5D (Denzitometrija)
<b>Geometrija</b>	45°/0°
<b>Mjerna površina</b>	2.4 mm x 2.4 mm
<b>Raspon linijatura</b>	
<b>AM</b>	18 – 236 lin/cm
<b>FM</b>	Min 10 $\mu\text{m}$

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

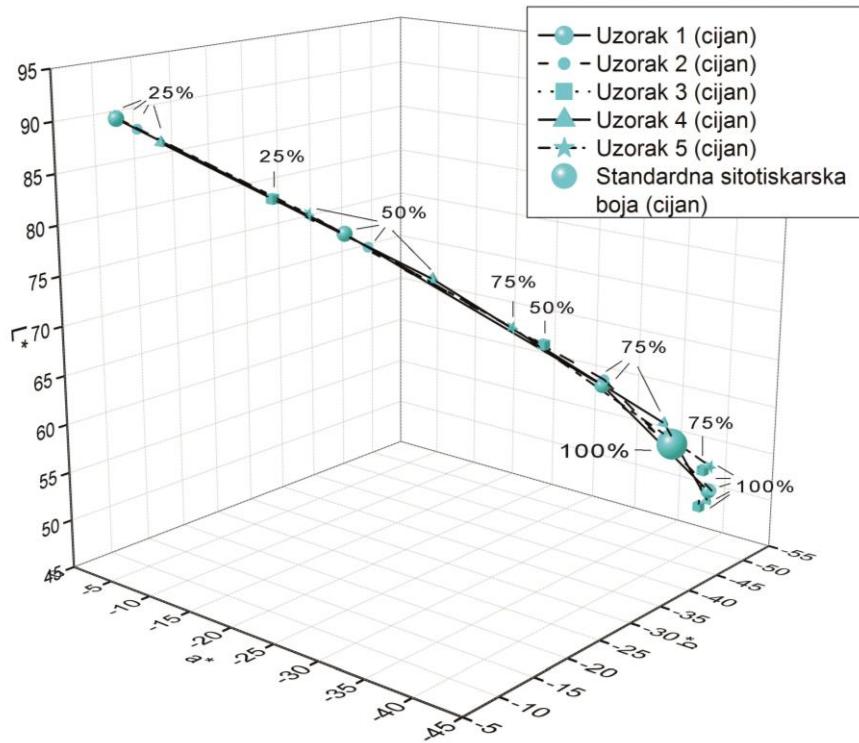
Veličina kapljica formiranih u piezo Inkjetu direktno je ovisna o kretanju piezoelektrične keramike. Pritom će djelovanje većeg naboja ostvariti veću deformaciju mlazne komore, a samim time i veću kapljicu. Utjecaj formirane kapljice indirektno je moguće pratiti kolorimetrijskim metodama, pri čemu će veća kapljica formirati veći nanos, odnosno tamniji ton.

### 4.1. 3D L\*a\*b\* i CIE L\*a\*b\* dijagrami

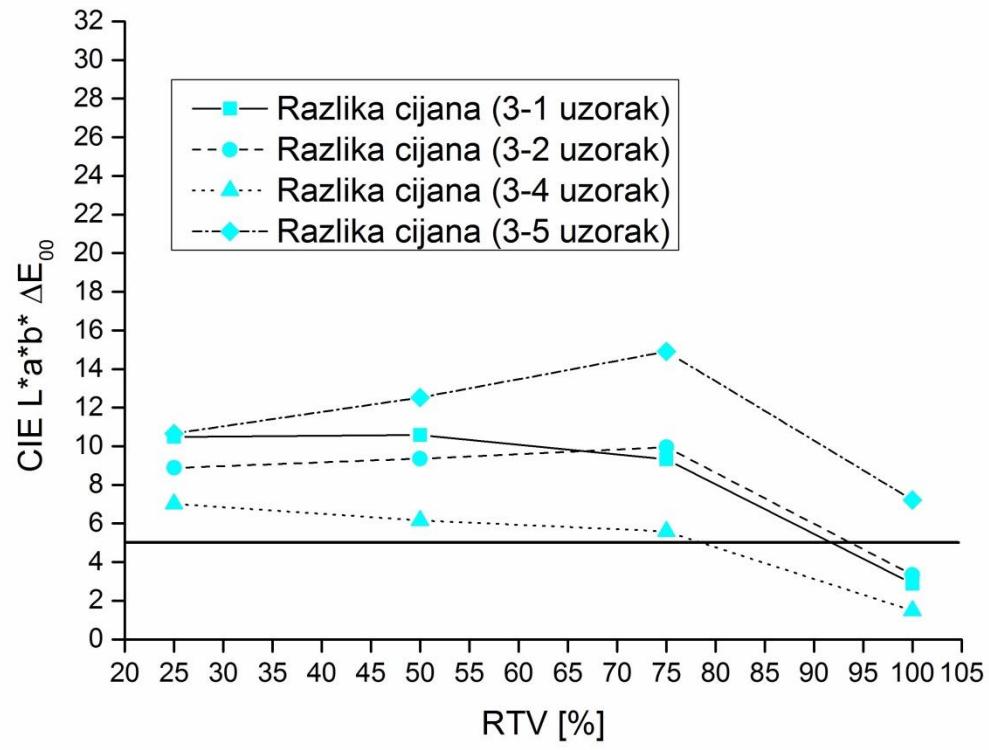
U Origin Pro 9.0 unesene su CIE L\*a\*b\* vrijednosti, dobivene kolorimetrijskim mjerjenjem, iz kojih su kreirani trodimenzionalni dijagrami. Za boje cijan, magenta i žuta promatrani su karakteristični rasteri 25%, 50%, 75% i 100%, a za crnu rastertonska područja od 33%, 66% i 100%. Na slikama 14.a, 15.a, 16.a i 17.a prikazane su CIE L\*a\*b\* vrijednosti otiska i njihovih kolornih razlika ostvarenih sa softverskim korekcijama unutar RIP-a.

Dodatna kolorna analiza izvršena je izračunom razlike u obojenju. Budući da je vidljivo da je optimalni uzorak s korigiranom LUT krivuljom i 100%-tom RTV vrijednošću najbliži sitotiskarskom standardu, detaljnija kolorna odstupanja mjerena su komparacijom ovog uzorka s ostalim. Na slikama 14.b, 15.b, 16.b i 17.b prikazane su korekcije  $\Delta E$  za CMYK eksperimentalne otiske. Prema ISO standardu 2846-4:2000(E) definirane su standardne vrijednosti sitotiskarskih boja s maksimalnom devijacijom od:  $\Delta E_C = 5$ ,  $\Delta E_M = 7$ ,  $\Delta E_Y = 6$ ,  $\Delta E_K = 5$ .

Za sve uzorke karakteristično je da se povećanjem RTV-a smanjuju vrijednosti po L\* osi (svjetlina). Karakteristične su vrijednosti od 50% RTV-a, budući da grafovi u ovim točkama mijenjaju kromatski smjer. Iz dobivenih rezultata kolornih korekcija CMYK bojila, vidljivo je da puni ton najmanje odstupa te je on u granicama dopuštenih vrijednosti. Ove promjene nisu vizualno uočljive i mogu se detektirati samo mjernim uređajima. Kod rasterskih tonova vidljiva je nepravilnost koja ovisi o bojilu. Kod crnog uzorka sa 66% RTV-a događaju se najveće promjene ( $\Delta E_{k,66\%} = 30.75$ ). Kod žutih uzoraka sa 75% rastertonske vrijednosti javljaju se najmanje kolorne promjene ( $\Delta E_{y,75\%} = 0.26$ ).



a)



b)

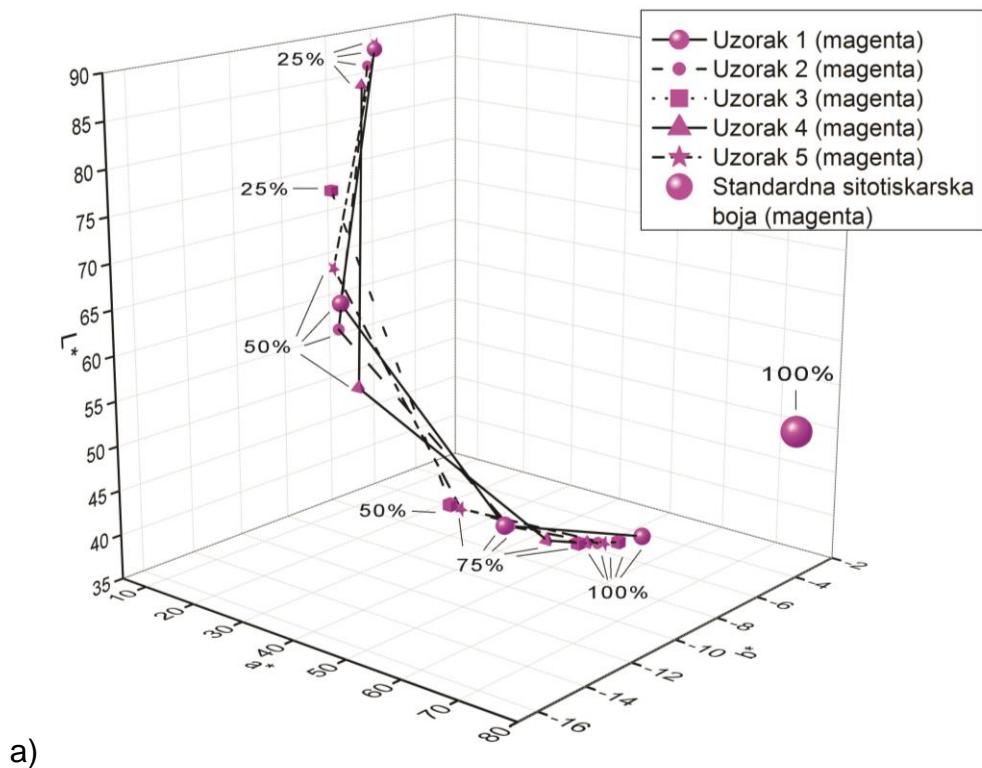
*Slika 14. a) CIE  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za cijan uzorke od 25%, 50%, 75% i 100%*

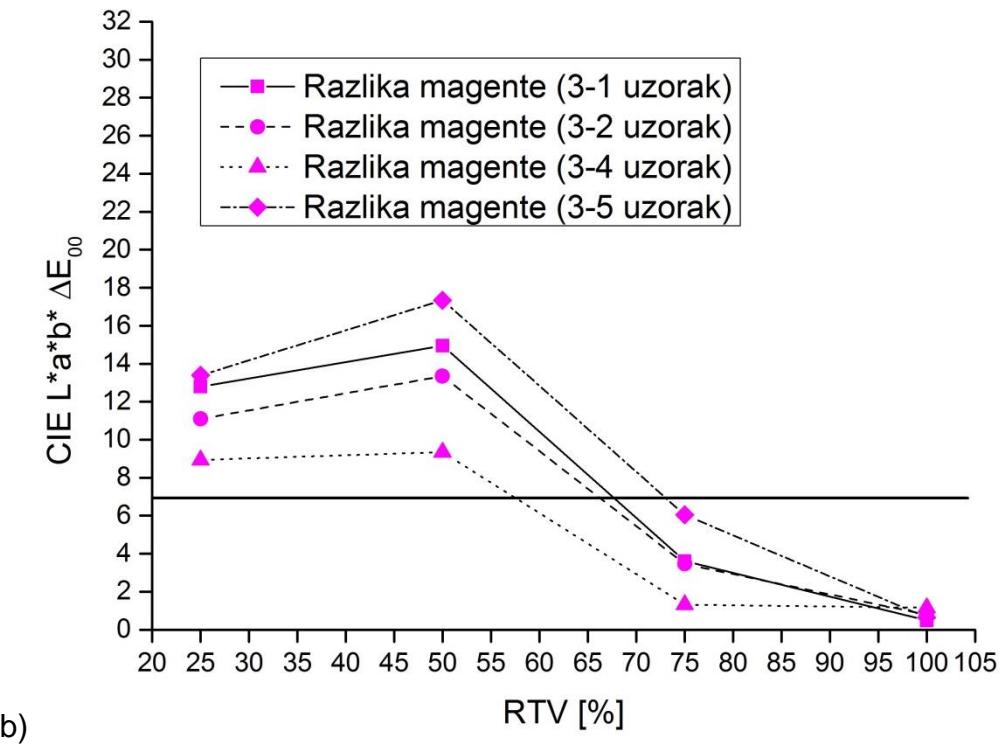
*RTV-a,*

*b) CIE  $L^*a^*b^*$   $\Delta E_{00}$  kolorne korekcije cijan uzorka*

Porastom RTV-a cijan bojila smanjuju se vrijednosti po  $L^*$  osi te se krivulja zakreće po osi  $b^*$  (kreće u plavkastom smjeru). Od svih procesnih boja, otiskivanje cijana dalo je najmanja odstupanja u odnosu na standardom propisan sitotiskarski otisak (100% RTV). Najbliža dobivena vrijednost je kod uzorka kod kojeg je korigirana LUT krivulja ( $L^*_{c}= 47.82$ ,  $a^*_{c}= -38.02$ ,  $b^*_{c}=-53.58$ ), što je dosta velika razlika od sitotiskarskog standarda ( $L^*_{c}= 57$ ,  $a^*_{c}= -39.2$ ,  $b^*_{c}= -46.0$ ). Kolorna promjena iznosi  $\Delta E_{c,100\%}= 9.38$ .

Na slici 14.b vidljivo je da će se kod cijan uzorka postići najveća korekcija u području od 75% RTV-a. Ona nastaje između uzoraka  $\Delta E_{(3-5)}$  i  $\Delta E_{(3-4)}$ , te iznosi  $\Delta E_{75\%,c}= 9.33$ . Samim time ostvarena je i najveća kolorna regulacija.

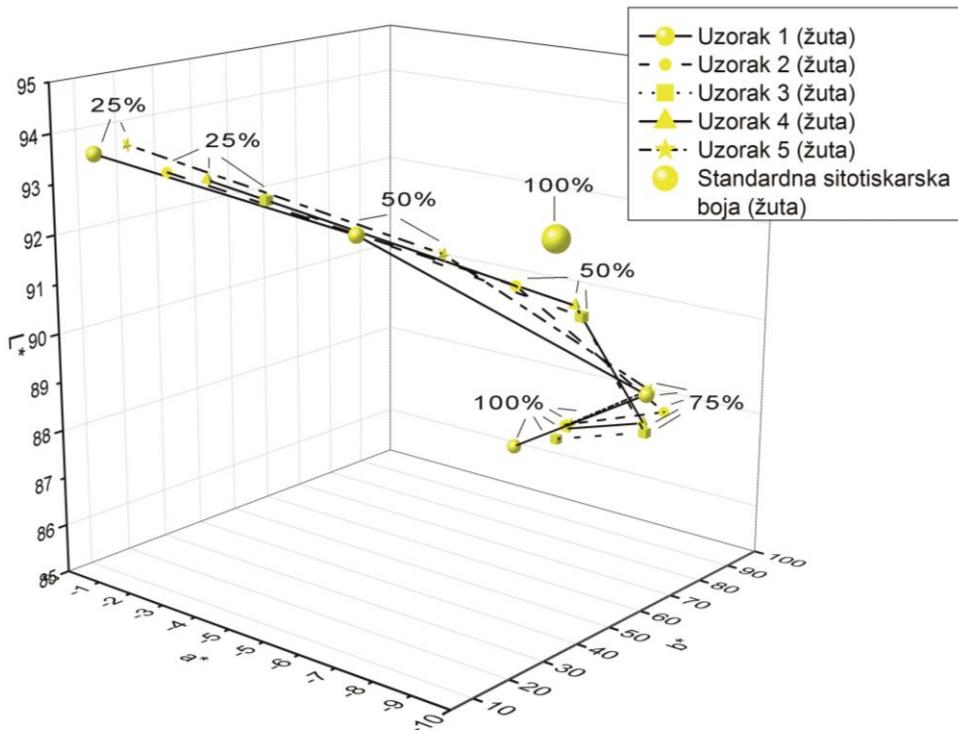




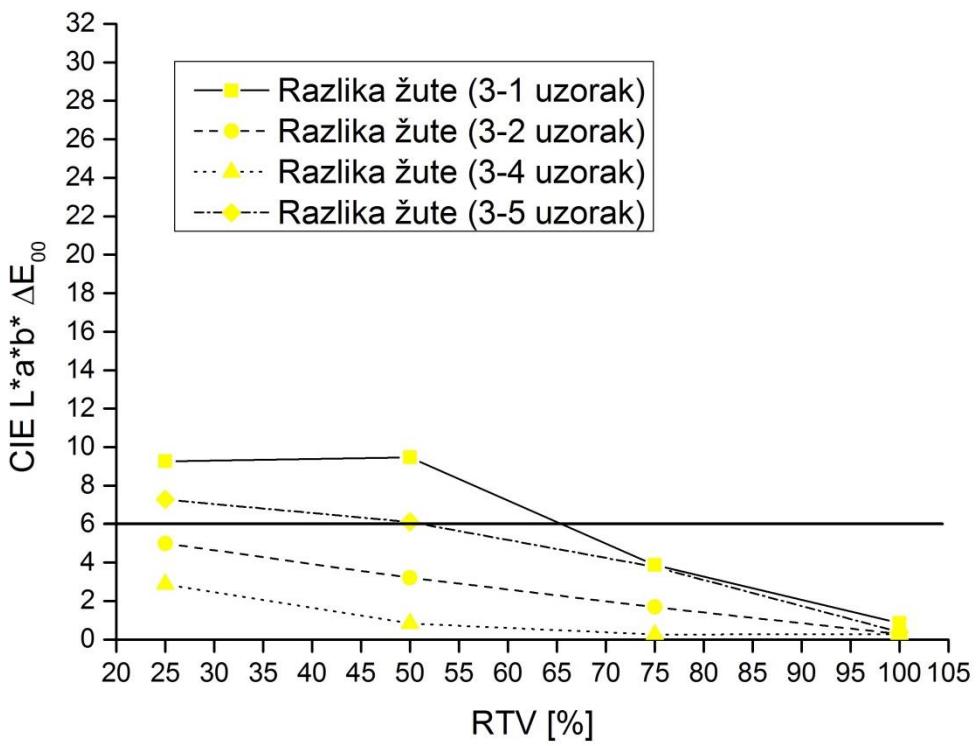
Slika 15. a)  $CIE L^*a^*b^*$  vrijednosti za magenta uzorke od 25%, 50%, 75% i 100% RTV-a,  
b)  $CIE L^*a^*b^* \Delta E_{00}$  kolorne korekcije magenta uzorka

Eksperimentalno dobiveni magenta uzorci pokazuju posebno odstupanje kod RTV područja od 50%. Niže rastertonske vrijednosti, kao i puni ton, su stabilnije. S povećanjem rastertonske pokrivenosti vrijednosti se po  $L^*$  osi smanjuju (otisci postaju tamniji), te se kreću u crvenkasto-žućkastom smjeru. Kao i kod cijan uzorka, sitotiskarsko obojenje nije postignuto, te razlika u obojenju iznosi  $\Delta E_{m,100\%} = 4.38$ .  $CIE L^*a^*b^*$  vrijednosti standardne sitotiskarske boje su:  $L_m = 50$ ,  $a_m = 76$ ,  $b_m = -3$ , dok su vrijednosti kod uzorka s korigiranom LUT krivuljom:  $L_m = 47.24$ ,  $a_m = 77.37$ ,  $b_m = -11.99$ .

Kod magenta uzorka (slika 15.b) najveća korekcija ostvarena je u području od 50% RTV-a, te nastaje između uzorka  $\Delta E_{(3-5)}$  i  $\Delta E_{(3-4)}$ . Iznos za magentu je  $\Delta E_{50\%,M} = 7.99$ .



a)



b)

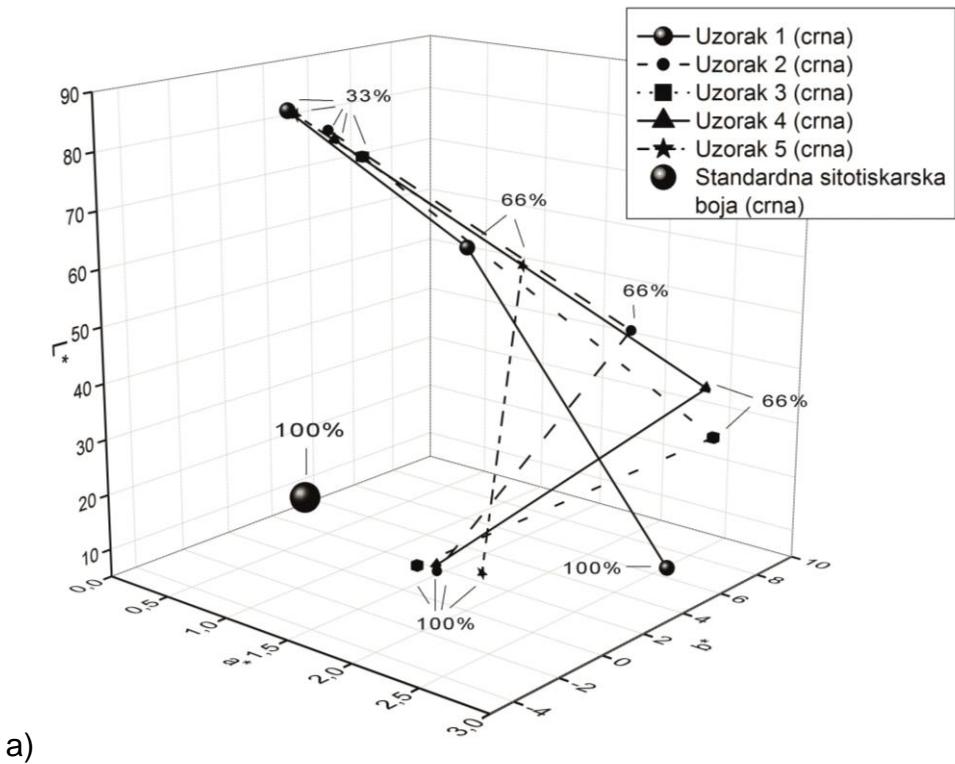
Slika 16. a) CIE  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za žute uzorke od 25%, 50%, 75% i 100%

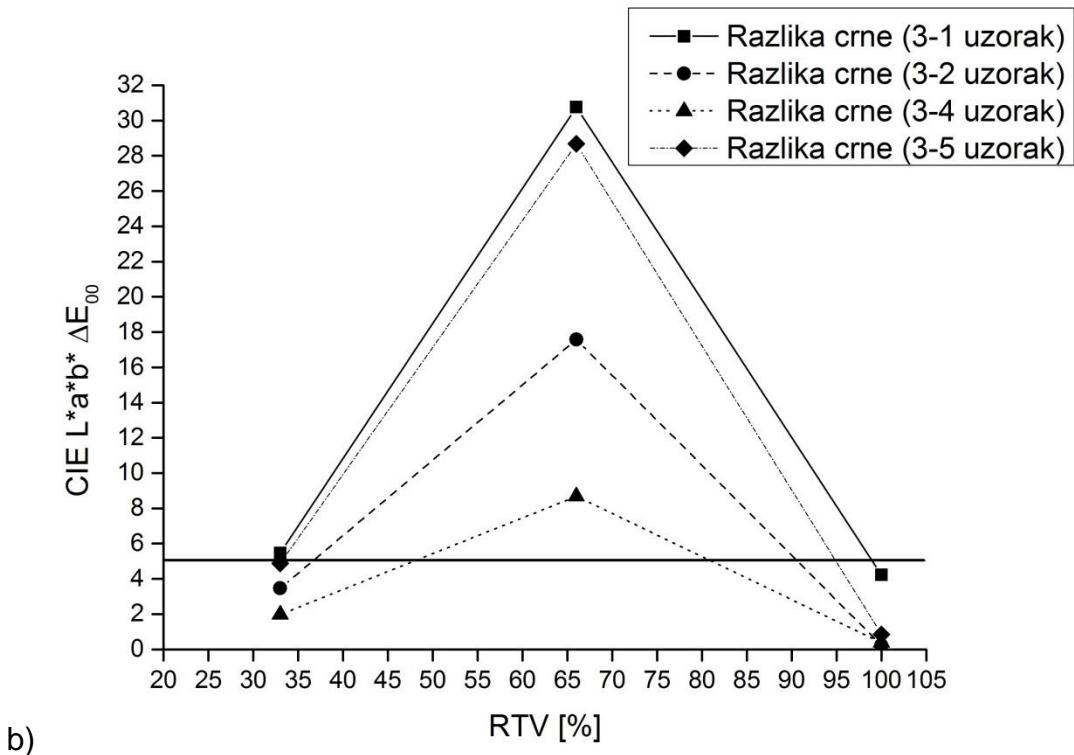
RTV-a,

b) CIE  $L^*a^*b^*$   $\Delta E_{00}$  kolorne korekcije žutih uzoraka

Žuti uzorci osim promjene po L\* osi (promjene u svjetlini), pokazuju i promjenu po osi a\*. Veća odstupanja nastaju kod rastertonskih vrijednosti od 75%, pri čemu vrijednosti skreću u crvenkastom smjeru. Vrijednost standardne sitotiskarske boje punog tona žute iznosi:  $L_y = 91$ ,  $a_y = -5.1$ ,  $b_y = 95$ , a vrijednosti optimalnog uzorka (uzorka 3):  $L_y = 86.69$ ,  $a_y = -5.46$ ,  $b_y = 91.67$ , što daje malu kolornu promjenu ( $\Delta E_{y,100\%} = 2.82$ ).

Uzorak žute najveću korekciju ostvaruje u rastertonskom području od 50%, što je vidljivo na slici 16.b. Nastala razlika je između uzorka  $\Delta E_{(3-1)}$  i  $\Delta E_{(3-4)}$ , te iznosi  $\Delta E_{50\%,Y} = 8.63$ . Na žutim uzorcima to je ujedno i najveća regulacija u obojenju.





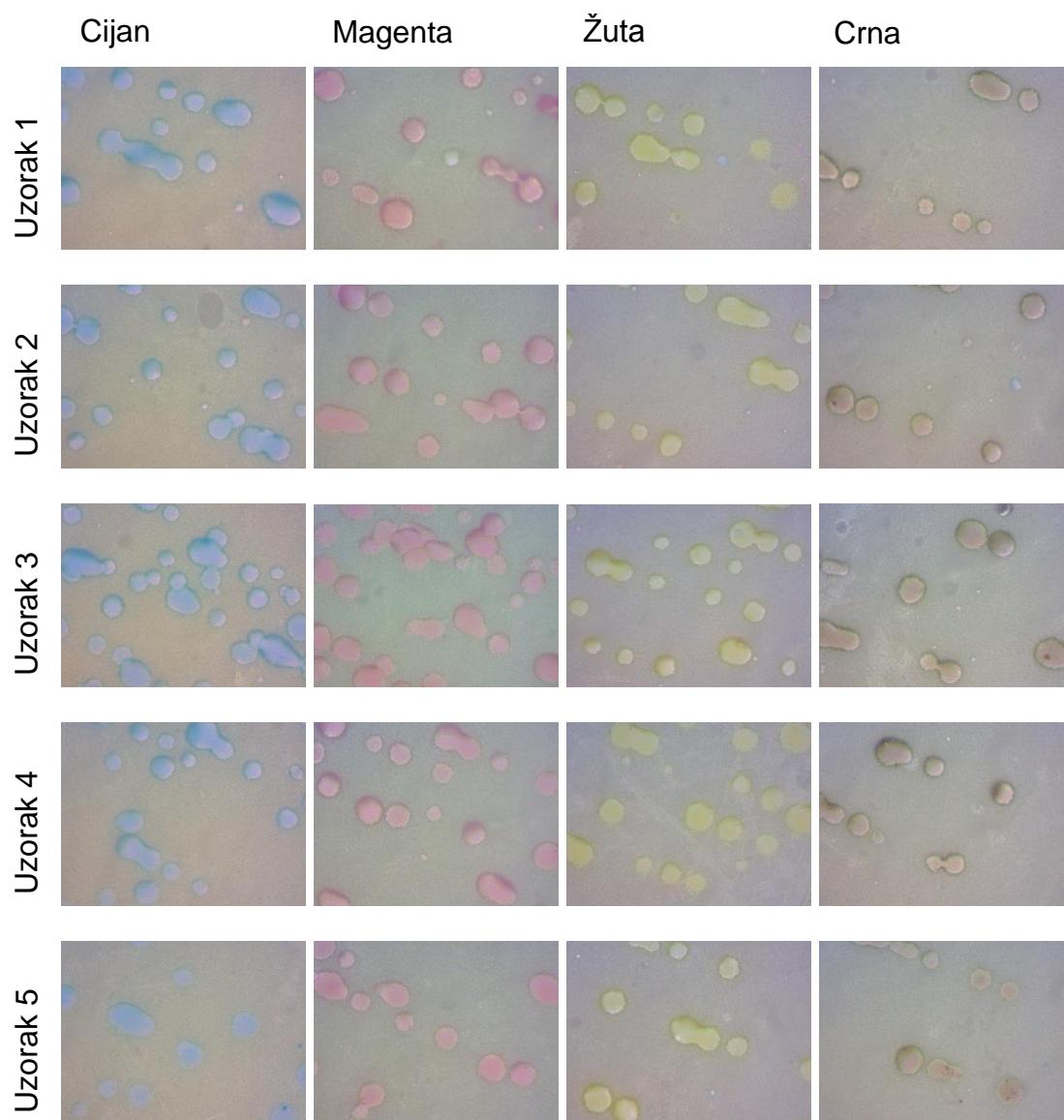
Slika 17. a)  $CIE L^*a^*b^*$  vrijednosti za crne uzorke od 33%, 66% i 100% RTV-a,  
 b)  $CIE L^*a^*b^* \Delta E_{00}$  kolorne korekcije crnih uzoraka

Povećanjem RTV-a pokrivenosti crnih uzoraka, dolazi do oscilacija po  $a^*$  osi (kreću se u crvenkastom smjeru). Velike devijacije doživljavaju uzorci od 66% RTV-a. Puni ton crne kod standardne sitotiskarske boje iznosi  $L^*_k = 18$ ,  $a^*_k = 0.8$ ,  $b^*_k = -0.56$ , dok su to vrijednosti za uzorak 3:  $L^*_k = 6.42$ ,  $a^*_k = 1.39$ ,  $b^*_k = 1.3$ . Razlika u obojenju za puni ton žute iznosi  $\Delta E_{k,100\%} = 7.66$ .

Najznačajnije korekcije crnih uzoraka ostvarene su kod RTV područja od 66%. Softverskim korekcijama nastala je najveća razlika između  $\Delta E_{(3-1)}$  i  $\Delta E_{(3-4)}$  uzorka. Za crnu boju ona iznosi  $\Delta E_{66\%,k} = 22.07$ . Iz navedenog podatka, vidljiva je najveća kolorna regulacija.

#### 4.2. Vizualna procjena otisaka

Da bi se provela detaljna vizualna procjena eksperimentalno otisnutih uzoraka, potrebno je povećati otiske na mikroskopu. Slika 17. prikazuje razlike između cijan, magenta, žutog i crnog uzorka. Uzorci su promatrani kroz mikroskop *Leica DM2500* mikroskop, koji daje povećanje od 50x. Za fotografiranje uzorka na mikroskop je konektirana kamera *Dino-Eye AM423C* koja prebacuje sliku na računalo.



Slika 18. Mikroskopske slike CMYK uzoraka na površini od 10% RTV-a  
uvećane 50x

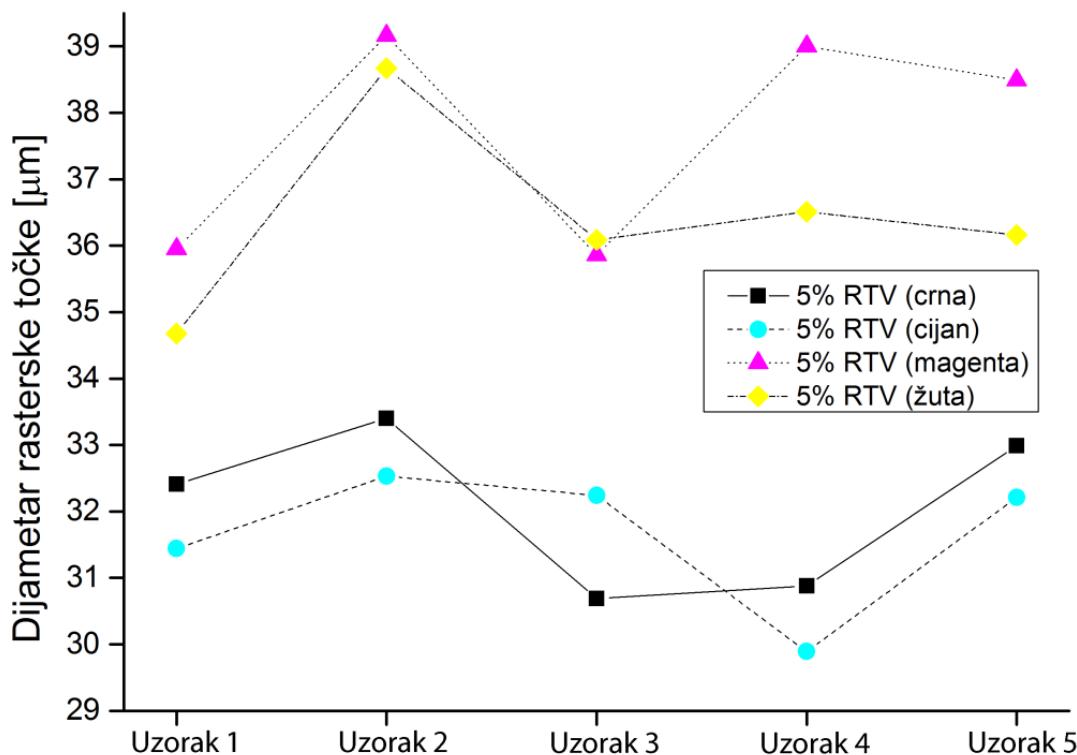
Zbog FM rastriranja vidljiva je različita distribucija kapljica. Kod Inkjeta uočava se još jedna anomalija, a to je da se unutar točno definirane površine (jedan procesni ton) nalaze i druga procesna bojila. To kontaminacija tona neminovno je nastala zbog primjene ICC profila tijekom izvršenog otiskivanja. Također su vidljive i devijacije u veličini i broju otisnutih elemenata. Zbog toga je izvršena slikovna analiza, odnosno analiza reproduciranih rasterskih elemenata i konstruiranje histograma veličina rasterskih elemenata. Da bi se riješili satelitskih tiskovnih elemenata, primjenjeni su određeni filteri te je podešen je prag visokih 60% (*threshold*).

#### **4.3. Analiza reproduciranih rasterskih elemenata**

Pomoću uređaja za slikovnu analizu Personal IAS-a izmjerene su veličine rasterskih elemenata. Njihova veličina predstavljena je u mikrometrima ( $\mu\text{m}$ ). Mjerena su polja male rastertonske pokrivenosti (RTV 5%), zbog boljeg detektiranja pojedinačnih elemenata. Svi elementi su pravilni i odvojeni. Na svakom pojedinom uzorku uzet je veći broj rasterskih elemenata, kako bi se dobio statistički relevantan podatak o dijametru točaka. U tablici 4. prikazan je analizirani broj rasterskih elemenata po pojedinom uzorku za svaku određenu boju (CMYK). Ovisno o površini selekcije prosječan broj analiziranih točaka uvijek je različit. Kod cijana iznosi 262 tiskovna elementa, kod magente 313, kod žute 235, te kod crne 145 tiskovnih elemenata. Vrijednosti su unesene u program Origin Pro 9.0, iz kojeg je dobiven dijagram (slika 19).

*Tablica 8. Broj detektiranih rasterskih elemenata na površini od  $2.5 \text{ mm}^2$*

	Cijan	Magenta	Žuta	Crna
<b>Uzorak 1</b>	184	230	176	92
<b>Uzorak 2</b>	226	252	204	132
<b>Uzorak 3</b>	471	572	353	225
<b>Uzorak 4</b>	273	313	274	179
<b>Uzorak 5</b>	159	201	172	100



*Slika 19. Dijametri reproduciranih rasterskih elemenata u ovisnosti o eksperimentalnoj korekciji*

Iz dijagrama koji prikazuje odnos dijametra rasterskih elemenata i otisnutih uzoraka, vidljivo je da najveća odstupanja imaju rasterski elementi magenta boje. Maksimalna vrijednost rasterskih elemenata iznosi  $D_{M\max} = 39.16 \mu\text{m}$ , a ona je dosegnuta na uzorku s definiranim linearnim postavkama. Dijametar rasterskih elemenata je najmanji kod cijan uzorka, te on minimalnu vrijednost ( $D_{C\min} = 29.89 \mu\text{m}$ ) doseže na uzorku s povećanim nanosom bojila.

Najveće rasterske elemente uočavamo kod magenta uzorka, te njihova prosječna vrijednost iznosi  $37.69 \mu\text{m}$ . Nasuprot tome, najmanji rasterski elementi ostvareni su kod cijan bojila ( $31.66 \mu\text{m}$ ). Vidljiva je prosječna razlika u veličini rasterskih elemenata magente i cijana, koja iznosi  $6.03 \mu\text{m}$ .

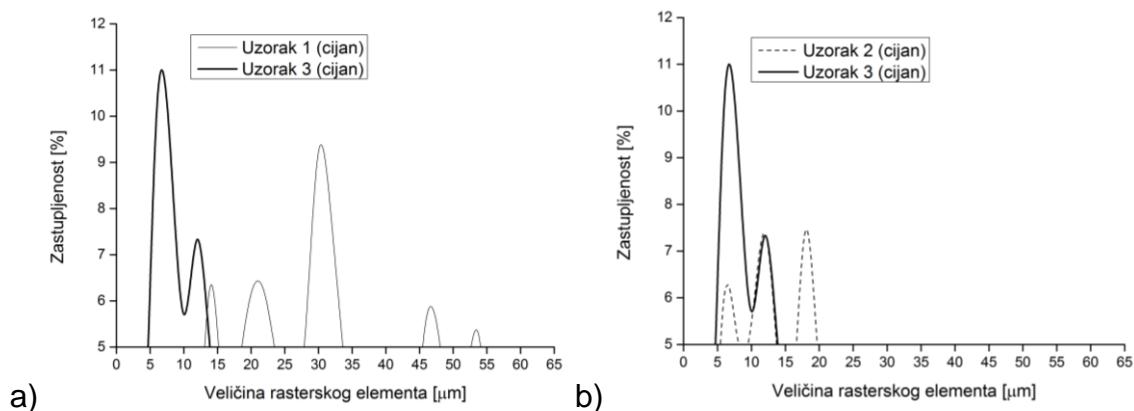
Uzorak s definiranim linearnim postavkama (uzorak 2) daje maksimalne vrijednosti dijametra za sve boje ( $D_{C\max} = 32.53 \mu\text{m}$ ,  $D_{M\max} = 39.16 \mu\text{m}$ ,  $D_{Y\max} = 38.67 \mu\text{m}$ ,  $D_{K\max} = 33.40 \mu\text{m}$ ). Razlika između minimalnih i maksimalnih

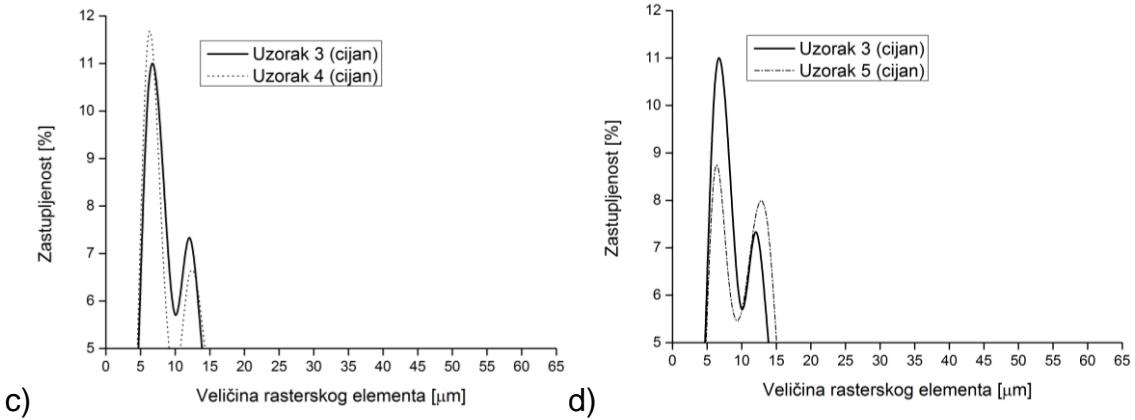
vrijednosti postignuta na određenim uzorcima je prilično stabilna, pa tako za cijan ona iznosi  $D_{C(2-4)} = 2.64 \mu\text{m}$ , za magentu  $D_{M(2-3)} = 3.3 \mu\text{m}$ , za žutu  $D_{Y(2-1)} = 3.99 \mu\text{m}$  i za crnu  $D_{K(2-3)} = 2.71 \mu\text{m}$ .

Softverskim korekcijama pojedinih boja moguće je utjecati na veličinu dijametra točke rasterskog elementa. Povećanim nanosom boje (uzorak 4) kod magenta uzorka će se povećati dijametar, dok se kod cijan uzorka dolazi do smanjenja. Pri smanjenom nanosu (uzorak 5), veće promjene se događaju kod cijan i crnog uzorka, gdje dolazi do povećanja vrijednosti dijametra rasterske točke, dok kod magenta i žutog uzorka, vrijednosti ostaju stabilne.

#### 4.4. Histogram veličine reproduciranih rasterskih elemenata

Pri nastajanju Inkjet otiska primjenjuje se FM rastriranje. To znači da će se unutar iste površinske pokrivenosti pronaći različite veličine rasterskih elemenata. Mjeranjem određene površine na uređaju za slikovnu analizu dolazimo do podataka o zastupljenosti različitih veličina rasterskih elemenata. Svaki eksperimentalno nastao uzorak komparira se u odnosu na uzorak 3 koji predstavlja optimalni otisak (korigiranu LUT krivulju). Kako je razlika u distribuciji elemenata jako velika, zbog neravne podloge i sitnih čestica prašine, u obzir su uzeti samo oni elementi čiji udio je veći od 5%, a veličina veća od  $65 \mu\text{m}$ . Na slikama su prikazani dijagrami zastupljenosti određenih veličina rasterskih elemenata za CMYK uzorke.



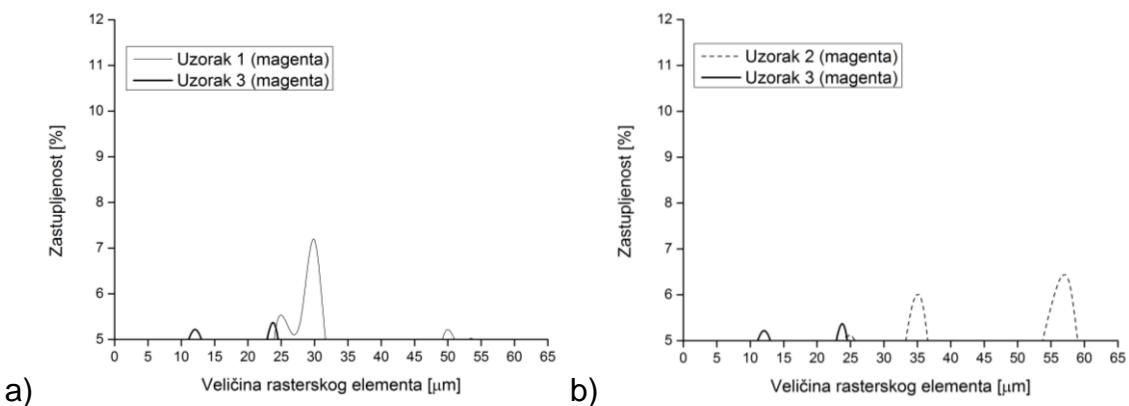


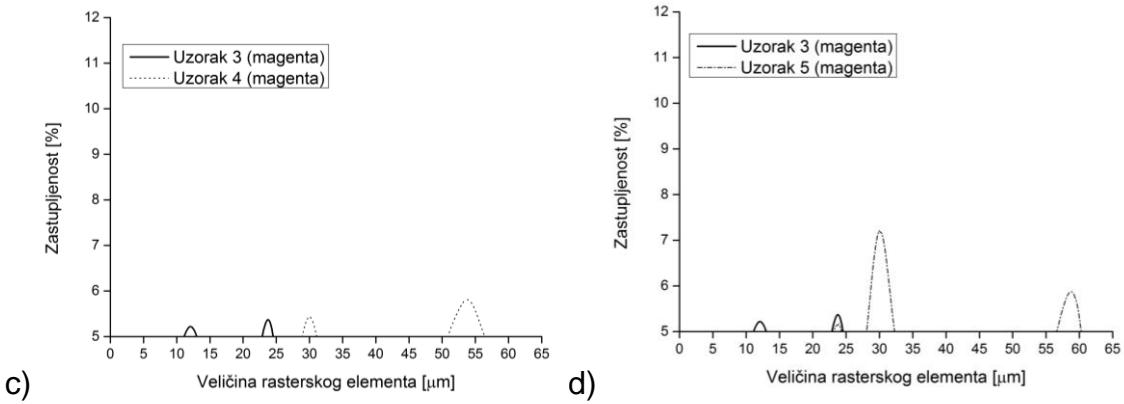
Slika 20. Komparacijski dijagrami reproduciranih cijan tiskovnih elemenata:

a) Uzorak 1-3, b) Uzorak 2-3, c) Uzorak 3-4 i d) Uzorak 3-5

Optimalni cijan otisak karakterizira krivulja s dva vrha koja se nalazi kod veličina 8  $\mu\text{m}$  i 12  $\mu\text{m}$ , koje su najzastupljenije u tako otisnutoj površini. Eksperimentalni otisci na kojima su podešene samo tvorničke postavke imat će više karakterističnih veličina (14  $\mu\text{m}$ , 21  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 41  $\mu\text{m}$  i 54  $\mu\text{m}$ ) što ujedno znači i više vrsta reproduciranih rasterskih elemenata (slika 18a). Otisak s podešenim linearnom mlaznom krivuljom približit će se referentnoj cijan krivulji, te će se na otisku uočiti dominacija rasterskih elemenata veličina 6  $\mu\text{m}$  i 18  $\mu\text{m}$ .

Cijan uzorci korigirani softverskim klizačima, zadržat će karakterističan oblik krivulje sa dva vrha. Međutim, varirat će njihova zastupljenost. S povećanjem nanosa doći će do povećanja zastupljenosti od 0.8%, dok će se smanjenjem nanosa smanjiti zastupljenost za 0.5%.

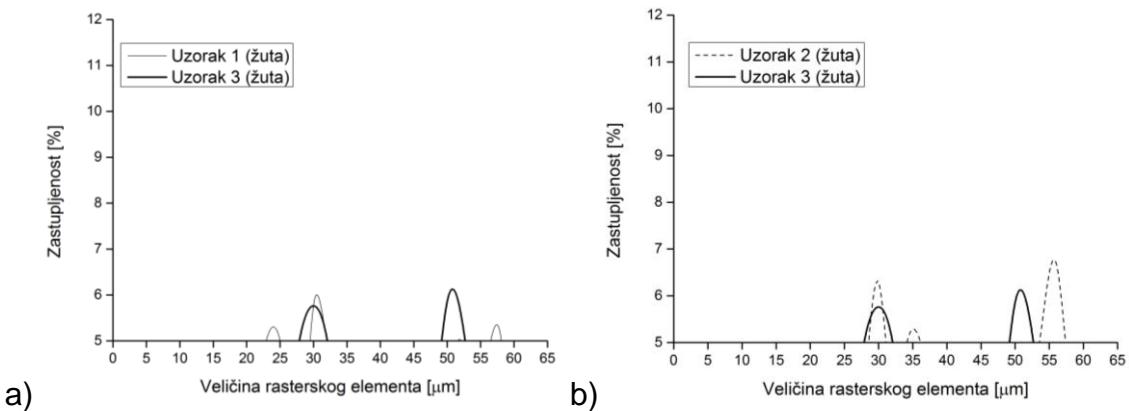


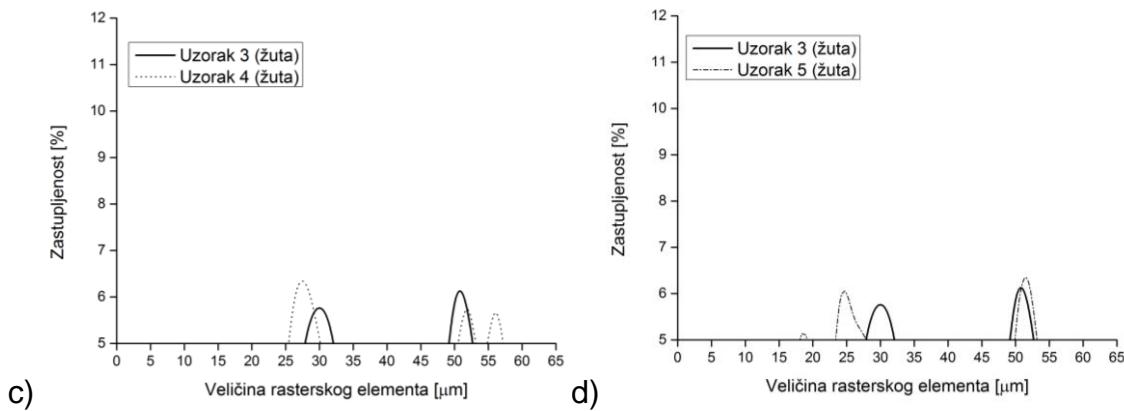


*Slika 21. Komparacijski dijagrami reproduciranih magenta tiskovnih elemenata:*

a) Uzorak 1-3, b) Uzorak 2-3, c) Uzorak 3-4 i d) Uzorak 3-5

Otisak s korigiranim LUT krivuljom magenta uzorka određen je s dva vrha. To znači da otiskom dominiraju rasterski elementi veličine 12 μm i 24 μm. Softverski generiran uzorak po tvorničkim postavkama daje elemente sa zastupljenošću od 7% (veličina elemenata 30 μm). Otisak s podešenom linearnom krivuljom, dat će dominantne elemente s veličinama 35 μm i 57 μm. Uzorci nastali korekcijom sa softverskim klizačima također daju dvije karakteristične veličine elemenata. Povećanjem nanosa postiže se najveća zastupljenost elemenata s dijametrima od 30 μm i 54 μm. Smanjenim nanosom povećava se zastupljenost elemenata od 30 μm (8%). Još jedna dominantna veličina elemenata je 57 μm.

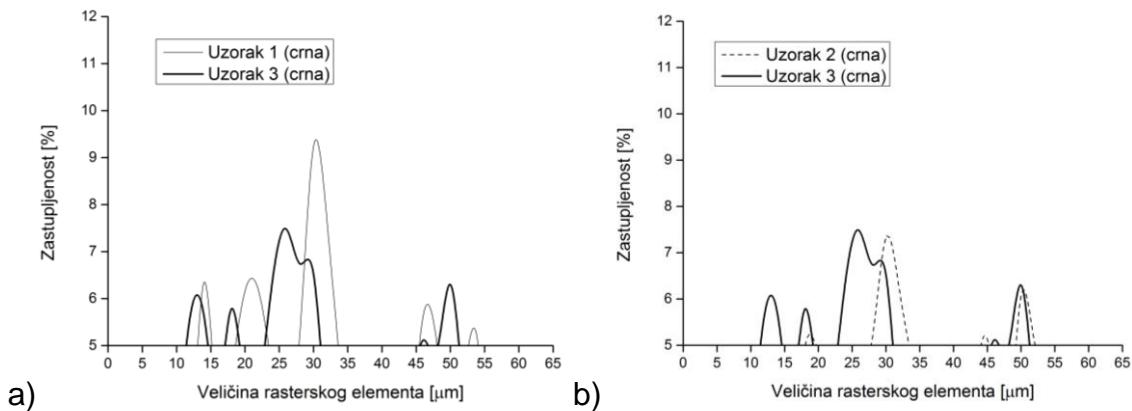


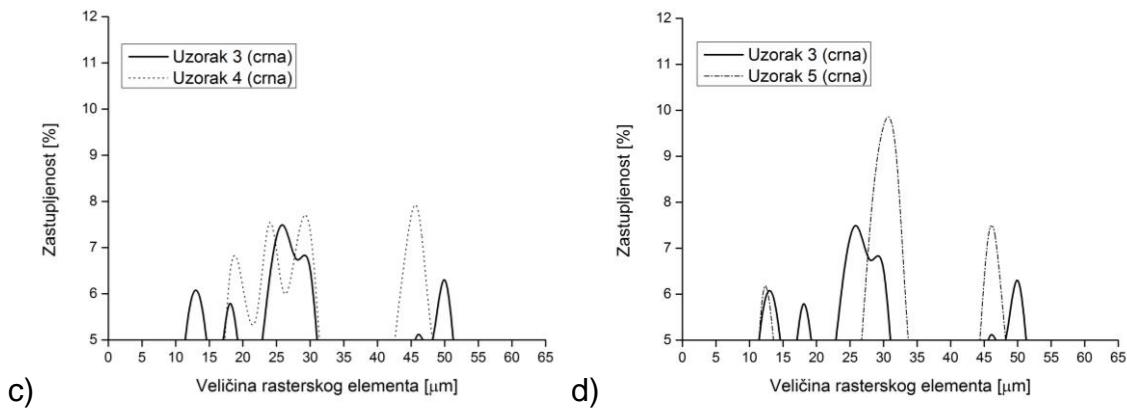


Slika 22. Komparacijski dijagrami reproduciranih žutih tiskovnih elemenata:  
a) Uzorak 1-3, b) Uzorak 2-3, c) Uzorak 3-4 i d) Uzorak 3-5

Karakteristične veličine elemenata pojavljuju se i na optimalnom žutom uzorku, te njihove vrijednosti iznose  $30 \mu\text{m}$  i  $50 \mu\text{m}$ . Uzorak 1, podešen po tvorničkim postavkama približava se optimalnoj krivulji kod rasterskih elemenata veličine  $30 \mu\text{m}$ . Međutim, značajna je zastupljenosti i rasterskih elemenata s veličinom od  $24 \mu\text{m}$  i  $57 \mu\text{m}$ .

Otisak žute s definiranim linearnim postavkama dat će najveću zastupljenost elemenata  $30 \mu\text{m}$ ,  $35 \mu\text{m}$  i  $55 \mu\text{m}$ . Uzorci podešeni softverskim klizačima približavaju se krivuljama optimalnog uzorka.





Slika 23. Komparacijski dijagrami reproduciranih crnih tiskovnih elemenata:

a) Uzorak 1-3, b) Uzorak 2-3, c) Uzorak 3-4 i d) Uzorak 3-5

Korigirana LUT krivulja optimalnog crnog uzorka poprima specifičan izgled. Najzastupljeniji su elementi od 25 μm i 28 μm, te njihova zastupljenost iznosi 8%. Pojavljuju se još tri karakteristične veličine rasterskih elemenata od 12 μm, 18 μm i 50 μm.

Otisak nastao podešavanjem po tvorničkim postavkama, daje veliku zastupljenost (9.5%) elemenata od 30 μm. Softverskom korekcijom s podešenim linearnim mlazom nastaju krivulje koje zadržavaju karakteristične oblike optimalnog uzorka.

Povećanim nanosom bojila, kod crnih uzoraka također ne dolazi do velikih promjena. Značajno je spomenuti korekciju sa smanjenim nanosom koja će dati najveću zastupljenost (10%), elemenata veličine 30 μm.

## 5. ZAKLJUČAK

Različite promjene u postavkama VersaWorks softvera imaju različit utjecaj na formiranje CMYK tonova. Osim toga, formiraju se i različiti tiskovni elementi ovisno o pojedinim promjenama. Najveće razlike u obojenju moguće je postići u srednjim tonovima crnog bojila, gdje je  $\Delta E_{k,\max} = 30.75$ . Govoreći o punom tonu, od sitotiskarskog standarda najviše odstupa crna boja. Razlika u obojenju između punog tona crne standardne sitotiskarske i uzorka s korigiranom LUT krivuljom iznosi  $\Delta E_{k,100\%} = 7.66$ .

Kod najsvjetlijе procesne boje, žute, dogodile su se u srednjim tonovima najmanje promjene u obojenju. Ova promjena nije vidljiva golim okom, te iznosi  $\Delta E_{y,\min} = 0.26$ . Najmanja odstupanja punog tona između standardne sitotiskarske boje i optimalnog uzorka također se javila kod žute, gdje ta razlika iznosi  $\Delta E_{y,100\%} = 2.82$ .

Kod punih tonova ostvarene su neznatne promjene u obojenju, te one ne prelaze vrijednost  $\Delta E_{\max} = 4$ . U višim rastertonskim vrijednostima (75% RTV), izvršena je najveća korekcija magenta i crnog uzorka, dok se kod žutog i cijan uzorka te korekcije trebaju vršiti u srednjim rastertonskim vrijednostima (50% RTV). Ipak, modifikacija postavki RIP-a nedovoljna je za postizanje sitotiskarskih standarda u rasterskim poljima. Korekciju ovakvih tonova moguće je izvršiti ulaskom u određene profile i mijenjanjem podataka unutar pojedinih fajlova.

Povećanjem nanosa neće se dogoditi veće promjene u obojenju, za razliku od smanjenja nanosa (-5) koje kod cijana i magente daje značajnije promjene ( $\Delta E_{75\%,C} = 14.91$ ,  $\Delta E_{50\%,M} = 17.34$ ).

Najveće rasterski elementi javljaju se kod magenta bojila (37.69  $\mu\text{m}$ ), a najmanji kod cijan bojila (31.66  $\mu\text{m}$ ). Najveća promjena u veličini rasterskih elemenata postignuta je kod uzorka s podešenim linearnim mlazom i to kod žute boje (veličina dijametra povećana je za 3.99  $\mu\text{m}$ ). Zastupljenost rasterskih elemenata je promjenjiva (stohastička) za svaku boju.

## 6. LITERATURA

1. Fogra (2012). *ProcessStandard Digital Handbook 2012.*, Fogra Graphic Technology Research Association, München
2. \*\*\*[http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-10-315\\_1.pdf](http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-10-315_1.pdf), datum pristupa: 28.5.2014.
3. \*\*\*[http://www.adobe.com/enterprise/pdfs/acr6\\_pdfs\\_faq.pdf](http://www.adobe.com/enterprise/pdfs/acr6_pdfs_faq.pdf), datum pristupa: 27.5.2014.
4. Revie W. C. (2002). *ICC color management for print production*, dostupno na: <http://www.color.org/craigrevie.pdf>, datum pristupa: 27.5.2014.
5. Kurečić-Strgar M. (2007). *Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava*, doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
6. Majnarić I. (2004). *Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*, magisterski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
7. Majnarić I. (2007). *Studija indirektnе elektrofotografije*, doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
8. Wijshoff H. (2010). *The dynamics of the piezo inkjet printhead operation*, dostupno na:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0370157310000827>, datum pristupa: 28.5.2014.
9. Kipphan H. (2001)., *Handbook of Print Media*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin
10. Magdassi S. (2010.) *The Chemistry of Inkjet Inks*, World Scientific Publishing Co, Singapore

11. Hunter Lab (2008). *CIE Standard Observers*, dostupno na:  
<http://www.hunterlab.se/wp-content/uploads/2012/11/CIE-Standard-Observers.pdf>, datum pristupa: 4.6.2014.
12. Innventia (2011). *Optical Calibration Laboratory Illuminant and observer conditions*, dostupno na: <http://www.hunterlab.se/wp-content/uploads/2012/11/CIE-Standard-Observers.pdf>, datum pristupa: 4.6.2014.
13. Wyman C., Sloan P.P., Shirley P. (2013). *Simple Analytic Approximations to the CIE XYZ Color Matching Functions*, dostupno na:  
<http://www.ppsloan.org/publications/XYZJCGT.pdf>, datum pristupa: 5.6.2014.
14. GTI, *Explanation of Various Light Sources and Their Use in Visual Color Matching Applications Definitions*, dostupno na: <http://www.gtilite.com/gti-pdf/Various-Light-Sources.PDF>, datum pristupa: 5.6.2014.
15. She H., Liu H., Ni Y., Yuan Z., Zou X., Zhou Y. (2012). *Review: Use of optical Brightening agents (OBAs) in the production of paper containing high-yield pulps*, dostupno na:  
[http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_07/BioRes\\_07\\_2\\_2582\\_Liu\\_SNYYZZ\\_Review\\_of\\_OBA\\_Prodn\\_HYP\\_Paper\\_2618.pdf](http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_07/BioRes_07_2_2582_Liu_SNYYZZ_Review_of_OBA_Prodn_HYP_Paper_2618.pdf), datum pristupa: 28.5.2014.
16. Kang H. R. (2008). *Metamerism*, dostupno na:  
<http://industrial.datacolor.com/support/wp-content/uploads/2013/01/Metamerism.pdf>, datum pristupa: 5.6.2014.
17. Ford A. (1998). *Colour Space Conversions*, dostupno na:  
<http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>, datum pristupa: 5.6.2014.
18. Luo M. R., Cui G. (2001). *The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000*, CIE Publication 142-2001

19. \*\*\*<http://www.rolanddga.com/products/printcut/lec300/specifications.asp>, datum pristupa: 29.5.2014.
20. \*\*\*<http://www.rolanddg.co.uk/products/software/versaworks?tab=overview>, datum pristupa: 29.5.2014.
21. \*\*\*[http://rolanddgcare.com.au/\\_literature\\_62776/ECO-SOL\\_MAX%E2%84%A2](http://rolanddgcare.com.au/_literature_62776/ECO-SOL_MAX%E2%84%A2), datum pristupa: 29.5.2014.
22. Khan A. (2014). *What is poster paper?*, dostupno na: [http://www.ehow.com/about\\_6756950\\_poster-paper\\_.html](http://www.ehow.com/about_6756950_poster-paper_.html), datum pristupa: 29.5.2014.
23. \*\*\*[http://www.dataplot.de/out/media/338f52b404d91b54cf01eddf03c4022b\\_Datasheet\\_SOPEP150.pdf](http://www.dataplot.de/out/media/338f52b404d91b54cf01eddf03c4022b_Datasheet_SOPEP150.pdf), datum pristupa: 29.5.2014.
24. \*\*\*[http://www.xrite.com/documents/manuals/en/DTP41-500\\_AutoScan\\_Spectrophotometer\\_Manual\\_en.pdf](http://www.xrite.com/documents/manuals/en/DTP41-500_AutoScan_Spectrophotometer_Manual_en.pdf), datum pristupa: 29.5.2014.
25. \*\*\*[http://www.leica-microsystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20DM2500%20M/Brochures/Leica\\_DM2500\\_M-Brochure\\_EN.pdf](http://www.leica-microsystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20DM2500%20M/Brochures/Leica_DM2500_M-Brochure_EN.pdf), datum pristupa: 30.5.2014.
26. \*\*\*[http://www.qea.com/upload/files/products/datasheet\\_personalias-newaddr.pdf](http://www.qea.com/upload/files/products/datasheet_personalias-newaddr.pdf), datum pristupa: 30.5.2014.

## 7. PRILOZI

*Prilog 1. Izračunate  $\Delta E$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta H$  vrijednosti cijan otiska*

	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
Uzorak cijan 25% RTV (3-1)	10,48241	-4,94564	8,837914	-2,70424
Uzorak cijan 25% RTV (3-2)	8,877161	-4,31313	7,446238	-2,18046
Uzorak cijan 25% RTV (3-4)	7,012173	-3,50884	5,925467	-1,3219
Uzorak cijan 25% RTV (3-5)	10,65844	-5,0888	9,003058	-2,57904
Uzorak cijan 50% RTV (3-1)	10,58207	-8,17534	6,600024	-1,25845
Uzorak cijan 50% RTV (3-2)	9,358088	-7,32235	5,77061	-0,81057
Uzorak cijan 50% RTV (3-4)	6,159898	-5,04978	3,504866	-0,39997
Uzorak cijan 50% RTV (3-5)	12,52194	-9,53507	8,008423	-1,32163
Uzorak cijan 75% RTV (3-1)	9,318935	-8,829	2,92633	0,572693
Uzorak cijan 75% RTV (3-2)	9,946095	-9,4641	2,934831	0,861612
Uzorak cijan 75% RTV (3-4)	5,587456	-5,38848	1,249272	0,789475
Uzorak cijan 75% RTV (3-5)	14,91334	-13,7957	5,619982	0,708425
Uzorak cijan 100% RTV (3-1)	2,876024	-2,70393	0,097257	0,9751
Uzorak cijan 100% RTV (3-2)	3,343343	-3,07582	0,111011	1,305745
Uzorak cijan 100% RTV (3-4)	1,49364	-1,32037	0,010007	0,698195
Uzorak cijan 100% RTV (3-5)	7,208253	-6,78679	0,490312	2,37864

*Prilog 2. Izračunate  $\Delta E$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta H$  vrijednosti magenta otiska*

	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
Uzorak magenta 25% RTV (3-1)	12,78051	-7,12961	10,38149	2,175946
Uzorak magenta 25% RTV (3-2)	11,0864	-6,25589	8,953493	1,899273
Uzorak magenta 25% RTV (3-4)	8,938508	-5,22643	7,111108	1,418975
Uzorak magenta 25% RTV (3-5)	13,3881	-7,39505	10,90834	2,35847
Uzorak magenta 50% RTV (3-1)	14,95254	-13,1207	6,695025	2,569235
Uzorak magenta 50% RTV (3-2)	13,34585	-11,7631	5,808077	2,451045
Uzorak magenta 50% RTV (3-4)	9,349683	-8,42878	3,649379	1,74764
Uzorak magenta 50% RTV (3-5)	17,34351	-14,9995	8,170906	3,008004
Uzorak magenta 75% RTV (3-1)	3,612861	-3,36979	0,757584	1,059868
Uzorak magenta 75% RTV (3-2)	3,466472	-3,24994	0,686225	0,991675
Uzorak magenta 75% RTV (3-4)	1,321239	-1,22648	0,184779	0,455276
Uzorak magenta 75% RTV (3-5)	6,046119	-5,63998	1,360508	1,701533
Uzorak magenta 100% RTV (3-1)	0,48818	0,312516	-0,06812	-0,3688
Uzorak magenta 100% RTV (3-2)	0,789596	-0,71783	0,052094	0,324769
Uzorak magenta 100% RTV (3-4)	1,162786	-1,05433	0,094916	0,481101
Uzorak magenta 100% RTV (3-5)	0,644337	-0,59938	-0,02656	0,234967

*Prilog 3. Izračunate  $\Delta E$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta H$  vrijednosti žutih otisaka*

	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
Uzorak žuta 25% RTV (3-1)	9,258998	-0,40048	9,244668	-0,32369
Uzorak žuta 25% RTV (3-2)	4,995529	-0,24907	4,982865	-0,25364
Uzorak žuta 25% RTV (3-4)	2,870382	-0,18841	2,858377	-0,18242
Uzorak žuta 25% RTV (3-5)	7,279038	-0,53947	7,250972	-0,34173
Uzorak žuta 50% RTV (3-1)	9,464314	-0,94284	9,32792	-1,29391
Uzorak žuta 50% RTV (3-2)	3,212157	-0,40836	3,11076	-0,68874
Uzorak žuta 50% RTV (3-4)	0,830149	-0,16736	0,748074	-0,31862
Uzorak žuta 50% RTV (3-5)	6,105738	-0,76516	5,965084	-1,05468
Uzorak žuta 75% RTV (3-1)	3,870453	-0,88343	3,389217	-1,64717
Uzorak žuta 75% RTV (3-2)	1,681377	-0,49719	1,340604	-0,88465
Uzorak žuta 75% RTV (3-4)	0,263306	-0,0959	-0,2148	0,118294
Uzorak žuta 75% RTV (3-5)	3,776153	-0,94022	3,274953	-1,62788
Uzorak žuta 100% RTV (3-1)	0,864104	0,324143	-0,33855	0,725942
Uzorak žuta 100% RTV (3-2)	0,287288	-0,24529	0,059466	-0,13722
Uzorak žuta 100% RTV (3-4)	0,276534	-0,20017	0,072261	-0,17658
Uzorak žuta 100% RTV (3-5)	0,387207	-0,29038	0,102248	-0,23485

*Prilog 4. Izračunate  $\Delta E$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta H$  vrijednosti crnih otisaka*

	$\Delta E$	$\Delta C$	$\Delta C$	$\Delta H$
Uzorak crna 33% RTV (3-1)	5,471883	-5,2281	-0,65916	1,47446
Uzorak crna 33% RTV (3-2)	3,468176	-3,32083	-0,42356	0,906056
Uzorak crna 33% RTV (3-4)	1,979639	-1,89918	-0,10226	0,549206
Uzorak crna 33% RTV (3-5)	4,870772	-4,67979	-0,45741	1,270717
Uzorak crna 66% RTV (3-1)	30,74982	-30,5625	3,328743	0,633841
Uzorak crna 66% RTV (3-2)	17,58032	-17,5053	1,450635	0,725903
Uzorak crna 66% RTV (3-4)	8,678255	-8,64522	0,508582	0,559996
Uzorak crna 66% RTV (3-5)	28,67375	-28,5197	2,8112	0,952948
Uzorak crna 100% RTV (3-1)	4,227776	-2,65783	-3,13207	-1,00007
Uzorak crna 100% RTV (3-2)	0,235704	-0,08489	-0,18532	0,118349
Uzorak crna 100% RTV (3-4)	0,380825	-0,15166	-0,28718	-0,19889
Uzorak crna 100% RTV (3-5)	0,851373	-0,30367	-0,7728	-0,18814

*Prilog 5. Veličina CMYK dijometara u mikrometrima po uzorcima*

	Cyan	Magenta	Yellow	Black
<b>Uzorak 1</b>	31.44	35.95	34.68	32.41
<b>Uzorak 2</b>	32.53	39.16	38.67	33.40
<b>Uzorak 3</b>	32.24	35.86	36.09	30.69
<b>Uzorak 4</b>	29.89	39.00	36.51	30.88
<b>Uzorak 5</b>	32.21	38.49	36.16	32.99

*Prilog 6. CIE L\*a\*b\* vrijednosti Uzorka 1*

	L*	a*	b*
25% M	88,54	10,91	-7,09
50% M	69,7	43,29	-15,43
75% M	51,82	72,37	-15,53
100% M	46,92	77,82	-11,06
25% C	90,41	-4,45	-8,49
50% C	79,29	-18,8	-22,59
75% C	63,9	-35,47	-39,51
100% C	50,53	-39,91	-51,93
25% Y	93,76	-1,18	4,2
50% Y	92,52	-5,87	25,25
75% Y	89,18	-9,58	65,72
100% Y	86,19	-4,18	93,49
33% K	88,44	1,06	-2,37
66% K	62,81	1,55	2,68
100% K	10,72	2,8	4,56

*Prilog 7. CIE L\*a\*b\* vrijednosti Uzorka 2*

	L*	a*	b*
25% M	87,17	12,82	-7,82
50% M	67,95	46,06	-16,09
75% M	51,7	72,71	-15,42
100% M	47,97	77	-12,81
25% C	89,4	-5,73	-9,8
50% C	78,07	-20,55	-23,76
75% C	64,67	-35,91	-39,1
100% C	50,9	-40,57	-51,41
25% Y	93,51	-2,57	9,65
50% Y	91,65	-8,34	41,02
75% Y	88,57	-9,4	74,41
100% Y	87,07	-5,7	91,35
33% K	85,48	1,26	-1,77
66% K	51,09	2,51	4,45
100% K	6,56	1,55	1,3

*Prilog 8. CIE L\*a\*b\* vrijednosti Uzorka 3*

	L*	a*	b*
25% M	77,89	29,18	-12,82
50% M	54,36	68,12	-16,67
75% M	48,45	76,18	-13,43
100% M	47,24	77,37	-11,99
25% C	82,77	-14,39	-17,89
50% C	68,25	-31,87	-35,16
75% C	54,01	-41,07	-48,64
100% C	47,82	-38,02	-53,58
25% Y	93,1	-4,35	17,47
50% Y	90,99	-9,13	50,69
75% Y	87,79	-8,52	80,6
100% Y	86,69	-5,46	91,67
33% K	80,53	1,33	-0,72
66% K	31,56	2,85	6,43
100% K	6,42	1,39	1,3

*Prilog 9. CIE L\*a\*b\* vrijednosti Uzorka 4*

	L*	a*	b*
25% M	85,58	15,57	-8,66
50% M	63,82	53,51	-16,91
75% M	49,68	75,15	-14,47
100% M	48,31	76,74	-13,19
25% C	88,13	-7,44	-11,04
50% C	74,9	-24,75	-27,84
75% C	59,87	-39,6	-43,78
100% C	49,15	-39,51	-52,61
25% Y	93,41	-3,32	12,76
50% Y	91,26	-9,17	48,2
75% Y	87,94	-8,41	81,62
100% Y	87	-5,77	91,28
33% K	83,33	1,22	-1,28
66% K	41,84	2,91	5,53
100% K	6,67	1,49	1,65

*Prilog 10. CIE L\*a\*b\* vrijednosti Uzorka 5*

	L*	a*	b*
25% M	88,96	10,21	-6,89
50% M	72,19	38,75	-14,74
75% M	54,12	69,49	-16,58
100% M	47,85	77,39	-12,63
25% C	90,64	-4,4	-8,25
50% C	81,27	-16,72	-20,11
75% C	70,15	-30,12	-32,66
100% C	54,64	-41,86	-48,58
25% Y	93,99	-1,83	6,62
50% Y	92,23	-7,27	33,27
75% Y	89,27	-9,61	66,18
100% Y	87,14	-5,87	91,12
33% K	87,58	1,07	-2,08
66% K	61,08	1,92	3
100% K	6,92	1,8	1,95