



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Aleksandra Birta, Sandra Mustać

Oplemenjivanje Inkjet otisaka nastalih s ekstremnim
nanašanjem UV sušecjeg laka i dvokomponentne
poliuretanske smole

Zagreb, 2012.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za Tisak pod vodstvom dr. sc. Igora Majnarića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2011/2012.

Obrazloženje mentora

Problematika oplemenjivanja Inkjet otisaka vrlo je interesantna sa stanovišta grafičke struke. To je posebno izraženo na grafičkim proizvodima koji su izloženi ekstremnim mehaničkim i klimatskim uvjetima. Inkjet tehnika otiskivanja, svojom jednostavnošću i mogućnošću otiskivanja uvijek drugačijeg motiva, postala je nezamjenjiva u procesu grafičke reprodukcije. Posebice je to naglašeno za UV Inkjet tisak koji koristi takve formulacije bojila koje se trenutno suše na tiskovnoj podlozi. Samim time je omogućeno otiskivanje na svim tiskovnim podlogama bez obzira na njihovu upojnost. Kako bi se zadovoljili i ekološki aspekti poseban razvoj usmjeren je i na specijalni razvoj Inkjet bojila koja suše s LED izvorima, čime takva tehnologija postaje energetska i ekološki produktivnija (eliminiraju se štetni utjecaji živinih lampi pri čemu se one zamjenjuju sa LED izvorima).

Inkjet bojila koja se suše UV-A svjetlošću u mnogome su još nepoznanica. Posebice je to izraženo pri procesu dodatnog oplemenjivanja gdje se na postojeće otiske nanaša tekuća poliuretanska smola i UV sušeci lak. Ovaj rad sagledava samo problematiku optičkih promjena koje se mijenjaju nanašanjem transparentnih slojeva, odnosno, kakav je njihov utjecaj na prethodno formiranu reprodukciju. Pošto je za grafičku reprodukciju neophodno i nastajanje kolorno točno definiranih kolornih vrijednosti, dodatno nanašanje zaštitnih slojeva može modificirati početne kolorne vrijednosti. Ovaj rad konkretno analizira nastale kolorne promjene te daje preporuke kako ih izbjeći. Drugim riječima, rad definira korektivne faktore koje treba primijeniti u grafičkoj pripremi kako bi se negativni efekt, koji se javlja kod zaštitnog oplemenjivanja, umanjio.

dr.sc. Igor Majnarić

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

ΔE	Razlika obojenja
ΔL	Razlika u svjetlini
ΔC	Razlika u kromatičnosti
2D	Dvodimenzionalan prikaz
3D	Trodimenzionalan prikaz
CIE	fra. <i>Commission internationale de l'éclairage</i> : Međunarodna komisija za osvjetljenje
CMYK	Suptraktivni model boja u tisku : cijan (C), magenta (M), žuta(Y) i crna (K)
ICC	eng. <i>International Color Consortium</i> : Međunarodni konzorcij za boju
LED	eng. <i>Light emitting Diode</i> : svjetleća dioda, poluvodički izvor svjetla
PEUR	Poli(eter-uretani): poliuretani koji se koriste kao premazi
RGB	Aditivni model boja: crvena (R), zelena (G) i plava (B)
TPGDA	Tripropilen-glikoldiakrilat: akrilni monomer koji se nalazi u UV sušećem bojilu
UV	Ultraljubičasti dio elektromagnetskog zračenja

Sadržaj rada

1. Uvod.....	1
2. Hipoteza i opći i specifični ciljevi rada.....	2
2.1. Hipoteza	2
2.2. Ciljevi	2
3. Materijal i metode.....	3
3.1. Materijali	3
3.1.1. UV bojila	3
3.1.2. UV sušeci lak	5
3.1.3. Poliuretan	5
3.1.4. Monomerni vinil	7
3.2. Metode otiskivanja	8
3.3. Metode mjerenja	8
4. Rezultati.....	12
5. Rasprava.....	22
6. Zaključci.....	25
7. Zahvale.....	27
8. Popis literature.....	28
9. Sažetak	29
10. Summary	30
11. Životopisi.....	31

1. Uvod

U području digitalnog tiska primjenjuju se moderne tehnologije koje se gotovo svakodnevno mijenjaju. Razlog tome su mnogobrojne inovacije, ali i modifikacije već postojećih ispisnih uređaja. Zbog brzog razvoja često se javlja nedovoljno poznavanje interakcija koje se događaju između glavnih čimbenika u otiskivanju što može dovesti do neprihvatljivog proizvoda. Kako bi se osigurala viša kvaliteta reprodukcije otisaka potrebno je vršiti dodatna istraživanja. U ovom studentskom istraživačkom radu promatrana su svojstva novih, gotovo neistraženih, materijala koji su pronašli svoju primjenu u mnogim grafičkim proizvodima.

Na otiscima se, dodatnim nanašanjem transparentnih presvlaka, postižu bolja mehanička svojstva, a posebice pri ekstremnim uvjetima korištenja. U ovom istraživanju ustanoviti će se nastaju li kakve kolorne promjene pri oplemenjivanju Inkjet otisaka na monomernom vinilu nakon ekstremnog nanašanjem UV sušećeg laka ili tekućeg poliuretana. Za očekivati je da će takvo oplemenjivanje otisaka stvoriti određene kolorne promjene na vinilnim otiscima te će se zbog toga dati preporuke kako ih reducirati.

2. Hipoteza i opći i specifični ciljevi rada

2.1. Hipoteza

Zbog tekućeg agregatnog stanja, Inkjet bojila dati će vrlo nestabilne otiske limitirajućih mehaničkih svojstava. To je posebno izraženo na grafičkim proizvodima koji su izloženi ekstremnim meteorološkim uvjetima. Rješenje je dodatno oplemenjivanje nanašanjem mehanički i temperaturno stabilnijih transparentnih presvlaka. Svojim svojstvima i jednostavnošću apliciranja vrlo su pogodne dvije smole: LED UV sušeci lak na bazi akrilata i dvokomponentna poliuretanska smola.

Optički gledano, riječ je o dvije smole koje se nanose u tekućem agregatnom stanju te sušenjem postaju krutine visoke transparentnosti. Nažalost, pošto smole nisu apsolutno bezbojne njihovo apliciranje će imati upliv na prethodno formiran Inkjet otisak. Sa stanovišta kolor menadžmenta doći će do promjene u obojenju koje neće biti jednako za svako primijenjeno bojilo.

Za višebojnu sliku točnost u reprodukciji tonova je vrlo bitna. Zbog toga se obično analiziraju odstupanja karakterističnih tonova (100% nanosi primarnih i sekundarnih tonova kao i rasterska reprodukcija u području od 50%, odnosno, 66% samo u slučaju crne boje). Primjenom kolorimetrije, kao mjerne metode, može se točno utvrditi kako će nanos smola utjecati na kolorna odstupanja. Drugim riječima - na bazi brojčano izraženih kolornih razlika (ΔE_{00}), moguće je u budućoj grafičkoj pripremi izvršiti odgovarajuće korekcije, što nas vodi do ujednačenosti otisaka bez obzira na dodatno oplemenjivanje tiskovne podloge.

2.2. Ciljevi

Parcijalnim nanašanjem relativno debelih transparentnih slojeva (1.17 mm u slučaju poliuretanske smole i 0,07 mm kod UV lakiranja) moguće je na tiskovnim podlogama ostvari dodatni reljef. Takvim efektom će se korisniku prenijeti vizualna (sjaj) i taktilna informacija, što će samoljepljivim grafičkim proizvodima dati veću funkcionalnu vrijednost. Nažalost, odabirom nedovoljno transparentne smole može se utjecati i na izvornu kolornu informaciju. Ovaj rad pobliže će analizirati kolorne deformacije izazvane direktnim nanašanjem LED UV sušecog laka i dvokomponentne poliuretanske smole te kako bi se one mogle kontrolirano nanašati.

Zbog korištenja samo procesnih bojila (CMYK) važno je odrediti korektivne faktore CIE LAB ΔE_{00} za dva tonska područja (100% RTV i 50% RTV-a). Na bazi ovih rezultata grafičkim dizajnerima će se dati preporuke koje tonove trebaju izbjegavati kako u proizvodnji nebi došlo do pogrešaka u realizaciji, odnosno kakva će se korekcija treba napraviti za pojedine tonove ukoliko bi se realizirao efekat tisaka i emboriranja (UV lakiranje i Domeing).

3. Materijali i metode

3.1. Materijali

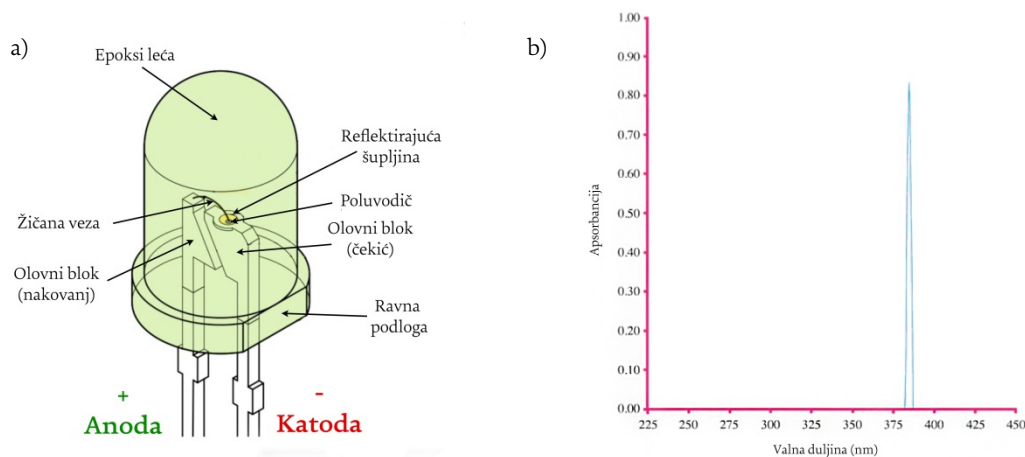
Da bi se na grafičkim proizvodima kreirala informacija, na tiskovnu podlogu treba nanijeti tiskarska bojila. Zbog velikog broja tiskarskih podloga kao i velikog broja metoda otiskivanja primjenjuju se i različite formulacije tiskarskih bojila. U posljednje vrijeme zbog jednostavnosti procesa otiskivanja i mogućnosti brzog sušenja pogodna su UV sušuća InkJet bojila.

3.1.1. UV bojila

UV bojila sastoje se od akrilatnih monomera kojima su dodani fotoinicijatori. UV bojila i UV lakovi gotovo su identičnog sastava. Jedina razlika očituje se u dodatku nositelja obojenja (pigmentima) koji su standardom propisane boje (CMYK). Za UV boje je karakterističan proces sušenja. Pritom se primjenjuje jedan polimerizacijski proces koji će započeti sušenjem filma koji je prethodno nanesen na tiskovnu podlogu u tekućem agregatnom stanju. Zbog tendencije razlijevanja bojila potrebno je bojilo što prije stabilizirati, pri čemu se primjenjuju točno određeni elektromagnetski izvori zračenja što će dovesti do aktivacije fotoinicijatora. [1]

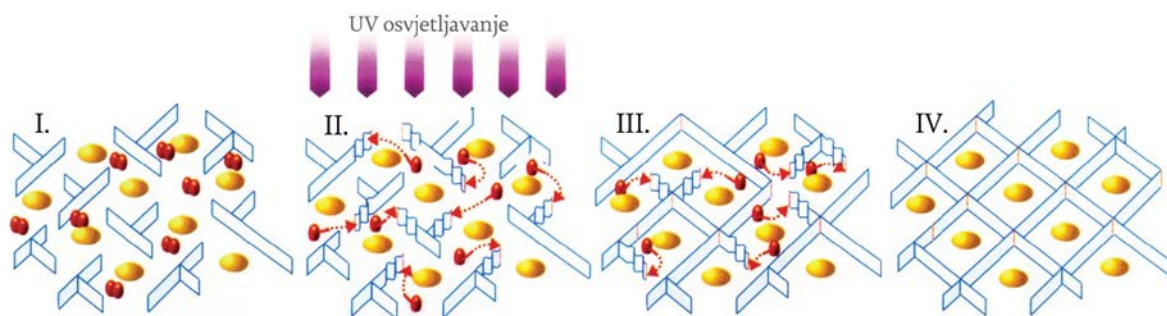
LED izvori također se mogu koristiti pri otiskivanju u tehnici Inkjet-a. Za razliku od uobičajenih živinih lampi, LED lampe (Slika 1a) imaju niži intenzitet energije zračenja (30 Kw/m^2). Takve lampe sastoje se od katode i anode, poluvodiča, leće i dr. Poluvodiči primijenjeni pri proizvodnji LED lampi mogu biti: borov nitrid, aluminijev nitrid, aluminijev galijev nitrid i aluminijev galijev iridijev nitrid. Njihovim odabirom direktno će se utjecati na spektralnu karakteristiku samog izvora.

Za LED lampe karakterističan je spektar samo s jednom dominantnom valnom duljinom (pikom) koja se nalazi u UV-A području (320 -395 nm) (Slika 1b). Samim time, takvo zračenje je ekološki prihvatljivije od tradicionalnih živinih lampi pri čemu se ne formira opasan ozon.[2]



Slika 1 LED izvor elektromagnetskog zračenja koji se koristi pri sušenju u Inkjet-u:
a) Konstrukcija LED izvora b) spektralna karakteristika LED izvora

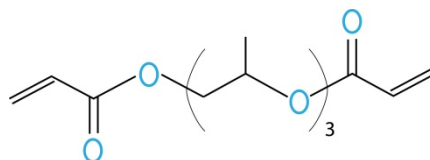
Svjetlost iz LED lampe tako osvjetljava likvidni sloj nanesenog Inkjet bojila. Fotoinicijatori iz bojila će se pritom aktivirati i formirati dva tipa slobodnih radikala: radikale koji će pronaći partnere i radikale koji neće pronaći partnere. Slobodni radikali fotoinicijatora koji su pronašli makromolekulu amin-akrilata započeti će s polimerizacijom, odnosno, međusobnim umrežavanjem. Pritom čestice pigmentata bivaju zatvorene u toj strukturi, a time i fiksirane za tiskovnu podlogu. Sve veze su sada učvršćene te je sa time proces akrilizacije i sušenja završen (Slika 2).



Slika 2 Faze polimerizacijskog procesa tijekom sušenja UV bojila

U UV sušecim bojilima najčešće je korišten akrilni monomer tipa TPGDA (tripropilen-glikoldiakrilat). Radi poboljšanja svojstava akrilatni monomer TPGDA (Slika 3) može se koristiti zasebno ili u kombinaciji sa nekim drugim akrilatnim monomerima. Njegova molekularna težina je 300 te ima dvije akrilne grupe i dvije eterske veze. Ovom tipu monomerima se u proizvodnji dodaju aditivi koji bi trebali produljiti vijek trajanja. Na tržištu postoji oko 800 različitih vrsta akrilata. Unutar skupine monomera postoji rang od monoakrilata do heksaakrilata, prema kojem se i mijenja viskoznost bojila od 5 cps - 150 cps. Za LED sušeca bojila, koja se apliciraju u tehnici InkJeta, primjenjuju se uglavnom monoakrilati čiji je viskozitet oko 5 cps.

UV bojila sadržavaju i fotoinicijatori. Fotoinicijatora ima u više vrsta i nije neobično da se dodaje više njih radi efikasnosti sušenja. Fotoinicijatori imaju važnu zadaću da apsorbiraju UV svjetlost koja dolazi do njih. Osim absorpcije svjetlosti, oni indirektno utječu na formiranje ravnoteže između površinskog osušenog sloja boje i optimalne brzine rada stroja. Također, moraju biti rezistentni prema pigmentima i eventualnim oksidacijskim reakcijama. Trenutno se na tržištu koriste sljedeći fotoinicijatori: benzildimetilketal, 2-hidroksi-metil-1 fenil propan, hidroksicikloheksafenilketon. [3]



Slika 3 Kemijska struktura TPGDA spojeva

3.1.2. UV sušeci lak

Da bi se postigao visoki sjaj i glatkoća otisaka često se primjenjuje UV lakiranje. Kao glavna prednost UV lakiranja odlikuje se otpornost na grebanje i otiranje, odnosno, mogućnost brzog i efikasnog sušenja laka čime se u tisku izbjegava dodatan proces pudranja (metoda sprječavanja sljepljivanja otisaka). UV lak suši samo pod utjecajem UV zraka svjetlosti. Ovakvo lakiranje ima i svojih negativnih strana. Nedostatak se može pronaći u dodatnoj potrošnji energije prilikom sušenja i intenzivnom mirisu konačnih otisaka. Međutim, sa razvojem ostalih tehnologija LED UV tehnologije lakiranja, proces postaje pristupačniji i znatno jeftiniji.

UV lakovi sastoje se od tekućih smola ili veziva (oligomeri i monomeri), aditiva i fotoinicijatora. Pri tome je mehanizam sušenja isti kao i kod UV sušeci bojila. Jedina razlika očituje se u nedostatku nositelja obojenja koji je nadomješten sa većim udjelom veziva.

UV lakovi koriste se pri izradi grafičkih proizvoda kod kojih je potrebna visoka mehanička zaštita čime se sprječava otiranje otisaka, odnosno, uništavanje same tiskovne podloge. Zbog izraženog sjaja ovaj efekt ima i dekorativnu funkciju te se koristi za ukrašavanje raznih ambalažnih proizvoda.

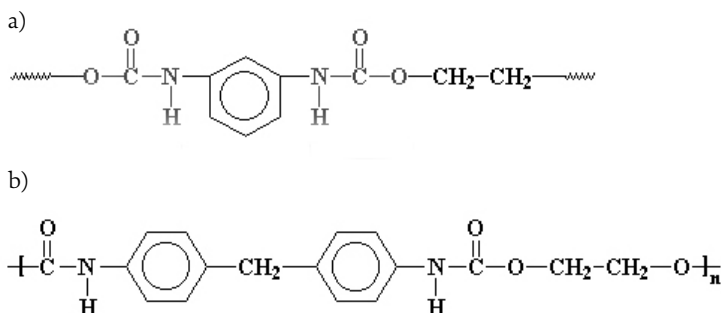
Daljnji razvoj tehnologije UV lakiranja omogućio je još veću dekorativnu primjenu, pri čemu se može simulirati određeni miris (parfemi), ali i postizanje površinskog reljefa na otisku (efekt kože i sl.). Kod UV lakiranja važno je primijeniti adekvatno bojilo kako bi se izbjegle neželjene optičke promjene. Trenutno se pri UV lakiranju mogu koristiti različite vrste bojila, međutim, promjene na otisku su moguće i nastaju uglavnom prilikom sušenja. [4]

3.1.3. Poliuretan

Polimeri su makromolekularni spojevi izgrađeni iz velikog broja osnovnih jedinica, tzv. mera. Meri su međusobno povezani u lance i tako tvore makromolekule pri čemu su međusobno povezani kovalentnim vezama. Polazne jedinice za sintezu makromolekula nazivaju se monomeri. Brojem monomera u lancu određuje se stupanj polimerizacije. Analizom možemo ustanoviti da su polimeri kondenzirani sustavi makromolekula, što znači da imaju veću postojanost u čvrstom i tekućem agregatnom stanju nego u plinovitom agregatnom stanju. [5]

Poliuretan je vrlo moderan materijal, te se sve češće koristi i u grafičkoj industriji. U usporedbi sa sličnim materijalima poliuretan se pokazao dobar zbog svoje izdržljivosti. Njegova elastičnost (slična gumi), a opet i čvrstoća (slična metalu) daje mu prednost u odnosu na plastiku i staklo. Često se dodaje i drugim materijalima kako bi se poboljšala određena svojstva, ali i mogućnost njihove lakše prerade. U grafičkoj struci poliuretan se koristi prvenstveno kao ljepilo, površinski premaz i kao materijal za izradu valjaka.[6]

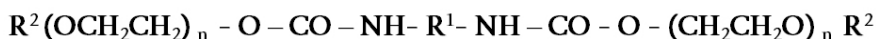
Poliuretani po svom kemijskom sastavu i strukturi spada u skupinu polimernih materijala građenih od dugačkih polimernih lanaca. Struktura im može varirati i razlikovati se po svojoj složenosti. Dvije najčešće strukture prikazane su na Slici 4.



Slika 4 Strukturni prikaz poliuretana a) jednostavnije i b) složenije građe

Poliuretani koji su se počeli koristiti kao premazi u grafičkoj industriji pripadaju tzv. skupini PEUR konzistenata – poli(eter-uretani).[7] Poliuretanske smole direktno se nanose na otisak, čime se namjerno mijenjaju mehanička i optička svojstva. Nanošenje samog poliuretanskog materijala obavlja se različitim postupcima, međutim najčešće se primjenjuje: nanašanje valjcima, špricanjem pomoću mlaznicama i nanašanje četkama. Njihova aplikacija na određeni otisak uglavnom se izvodi procesom lakiranja. Razlog tome je nastajanje boljih svojstava koja će direktno utjecati na proces sušenja. Poliuretanski lak doprinijet će izraženijem sjaju podloge i premaza, omogućit će izdržljivost i dugotrajnost otiska, odličnu otpornost na mehaničko otiranje te otpornost prema vodi, toplini i hladnoći. Povoljna kemijska struktura neionskih polimera, omogućava im pH neutralnost. [8]

U strukturi PEUR konzistenata mogu se pronaći dva dijela: hidrofilni i hidrofobni (Slika 5). Hidrofilnost je fizikalna pojava gdje se molekule krutih tvari povezuju sa molekulama vode pomoću vodikovih veza, dok je hidrofobnost dijametralno suprotna. Hidrofilni lanac čine alifatski ugljikovodici čiji su atomi poredani u jednom ravnom i razgranatom lancu. Na taj lanac vežu se hidrofobni radikali. Njihov broj može varirati, odnosno, s većim brojem radikalnih skupina formirat će se konačan spoj koji će biti otporniji na vlagu. PEUR kompoziti su neionski polimeri. Dužine lanaca mogu biti od C₁₀ do C₂₀. Takvi radikali najčešće sadrže amino skupine te će na krajevima lanca dati hidrofilna svojstva. [8]



R¹- Hidrofilni alifatski radikal

R²- Hidrofobni radikal

Slika 5 Kemijska struktura PEUR kompozita

Poslije izvršenog nanašanja, PEUR spojevi zahtijevaju dodatnu obradu kako bi im se povećao sjaj i stabilnost. Pritom nanos ima posebnu ulogu, odnosno, njime se značajno povećava sjaj i optička svojstva. Upravo ta optička svojstva rezultiraju i odgovarajućim promjenama u obojenju izvornih otisaka, što je i cilj ispitivanja ovog rada.

3.1.4. Monomerni vinil

Za eksperimentalno InkJet otiskivanje korištena je kalandrirana bijela vinilna folija proizvođača Avery. Riječ je o samoljepljivom materijalu koji se primjenjuje za tisak na velikom broju Inkjet pisara koji koriste solventna i UV sušuća bojila. Specifične fizičke karakteristike samoljepljivog monomernog vinila Avery Multi Purpose InkJet vinil 3500 prikazane su u Tablici 1.

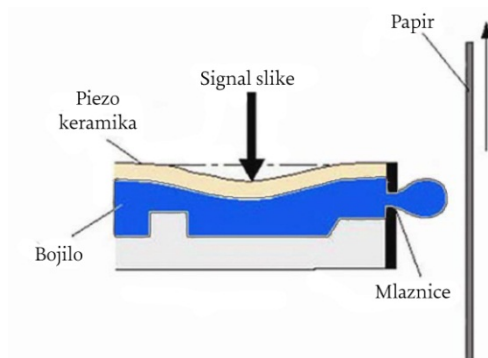
Tablica 1 *Specifične karakteristike tiskovne podloge Avery Multi Purpose InkJet vinil 3500*

Debljina	80 mikrona
Dimenzijska stabilnost	0,4 mm (max.)
Početna snaga lijepljenja	550 N/m
Završna snaga lijepljenja	800 N/m
Zapaljivost	Sama se gasi
Životni vijek na polici	2 godine
Trajnost (neotisnuto)	2 godine
Minimalna temperatura postavljanja	$\geq 0^{\circ} \text{C}$
Raspon temperature	Od 40 do $+ 100^{\circ} \text{C}$

3.2. Metode otiskivanja

Piezo tehnika Inkjet otiskivanja jedna je od najfleksibilnijih tehnika otiskivanja. Razlog tome je u mogućnosti primjene različitih vrsta bojila, ali i jeftina strojna konstrukcija koja bojilo direktno nanosi na tiskovnu podlogu. Ova digitalna tehnologija otiskivanja zasniva se na formiranju sitnih kapljica bojila pri čemu one nastaju mehaničkom deformacijom unutar minorne mlazne komore.[9]

Ova metoda otiskivanja mora koristiti bojila niske dinamičke viskoznosti (između 1 - 10 mPa·s) kako bi se mogle formirati kapljice malog volumena. Materijal koji omogućuje deformaciju mlazne komore je piezo kristal (po čemu je i ova tehnika tiska Inkjet dobila ime). Piezo kristal je polarizirani materijal koji unutar električnog polja mijenja volumen i oblik. Dolaskom električnog signala piezo kristal promijeniti će oblik, a samim time i volumen unutar mlazne komore (Slika 6). Rezultat toga je formiran kapljasti meniskus na otvoru mlaznice. Prestankom djelovanja električnog polja piezo kristal se vraća u prvobitan oblik pri čemu dolazi i do formiranja kapljice. Volumen kapljice je pritom jednak deformaciji volumena mlazne komore.[10]



Slika 6 Princip piezo Inkjet tiska

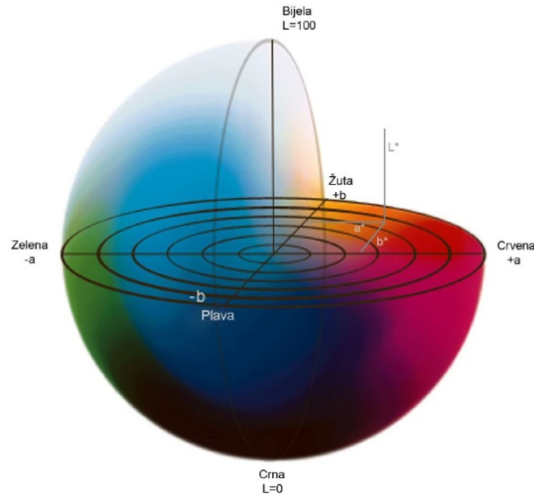
3.3. Metode mjerenja

Za potrebe analiziranja otiska u ovom radu koristio se spektrofotometar i kolorimetar X-rite DTP20 Pulse. X-rite je kolorimetrijski uređaj koji mjeri obojenja s otisnutih podloga pri čemu kao rezultat daje LAB vrijednosti. Osim toga, s njime se može odrediti dominantna valna duljina, zasićenje i svjetlina obojenja. Specifične karakteristike uređaja X-rite DTP20 Pulse prikazane su u Tablici 2.

Tablica 2 Specifične karakteristike kolorimetrijskog uređaja X-rite DTP20 Pulse

Spektralni senzor	LIST tehnologija
Spektralni opseg mjerenja	400-700 nm
Ponovljivost	0,2 ΔE max \pm 0,01 D max
Brzina mjerenja	< od 2 sec. za 30 polja
Interno instrumentsko slaganje	<0.3 ΔE_{94} prosjek (<0.6 ΔE_{94} max)
Mjerna geometrija	0° / 45 ° ANSI / ISO 5.4.
Dimenzija / masa	6,1 x 6,1 x 13,2 cm / 258 g
Mjerni zaslon	3,2 mm promjer

Obojenje je moguće prikazati u raznim prostorima boja kao što su CIE XYZ, CIE Yxy, CIE Luv, CIE LCH, CIE Lab, CIE L_{Cu}, HVC, HSB, HLS itd. [11] U ovom radu rezultati su prikazani u LAB prostoru boja. Dobivene LAB vrijednosti prevode se kao koordinate i služe za pozicioniranje unutar trodimenzionalnog prostora (Slika 7). CIE Lab prostor boja najčešće se koristi u grafičkoj industriji što je u propisano standardom ISO 12647.

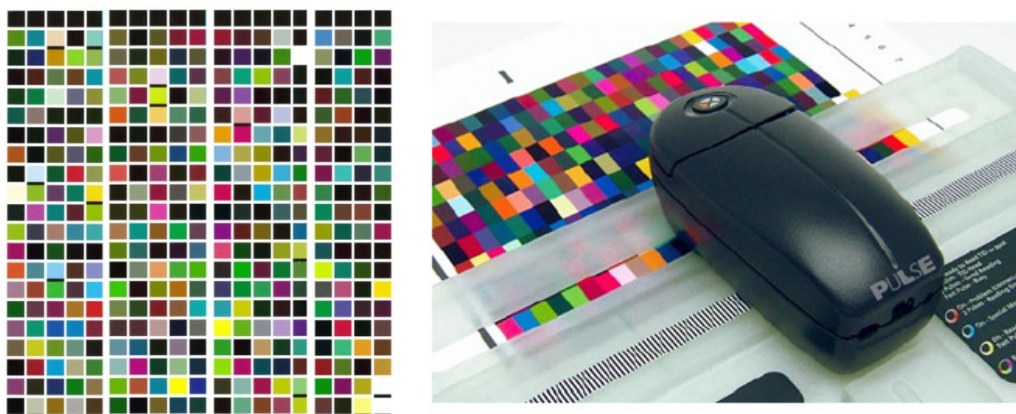


Slika 7 CIE Lab prostor boja

CIE LAB je prostor boja koji je određen sa tri osi, odnosno, koordinatama a^* , b^* , i L^* . Koordinata a^* predstavlja zeleni ($-a^*$) i crveni ($+a^*$) ton dok b^* koordinata predstavlja plavi ($-b^*$) i žuti ($+b^*$) ton. Koordinata L^* predstavlja svjetlinu boje i ona je okomita na sjecište a^* i b^* koordinate. Njezin raspon izražava se u vrijednosti od 0 (crni ton) do 100 (bijeli ton).[12]

Prije svakog mjerenje potrebno je izvršiti kalibraciju uređaja na standardnom bijelom uzorku. Polaganjem otiska ispod kolorimetra izvest će se mjerenje. Pritom se uzorak osvjetljava sa točno definiranom svjetlošću i geometrijskim kutom od 90° . Reflektirana svjetlost dolazi u senzor (kut od 45°) koji ju pretvara u digitalni zapis. Matematičkim preračunom tih vrijednosti dobiju se Lab kolorimetrijske vrijednosti. Svakim mjerenjem uređaj daje nove Lab vrijednosti na temelju kojih se može analizirati kolorna promjena. Kolorimetrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* predstavljaju tri koordinate pomoću kojih je moguće odrediti i razliku dviju boja $-\Delta E$. [13]

Za potrebu ovog rada izradila se specijalna tiskovna forma. Ona sadržava standardni klin od 378 polja koja će se mjeriti kolorimetrom (Slika 8). Izmjerene vrijednosti obradit će se u aplikaciji *Monaco profiler platinum* pomoću koje će se izraditi ICC profil, odnosno, 3D gamut.



Slika 8 Prikaz specijalne tiskovne forme i korištenog spektrofotometra

Za eksperimentalno otiskivanje bijele PVA folije korišten je UV Inkjet pisač Roland LEC 300. Da bi se dobili ujednačeni otisci specijalna tiskovna forma obrađena je u RIP-u Wersa Work pri čemu je definirana rezolucija ispisa od 720 x720 dpi.

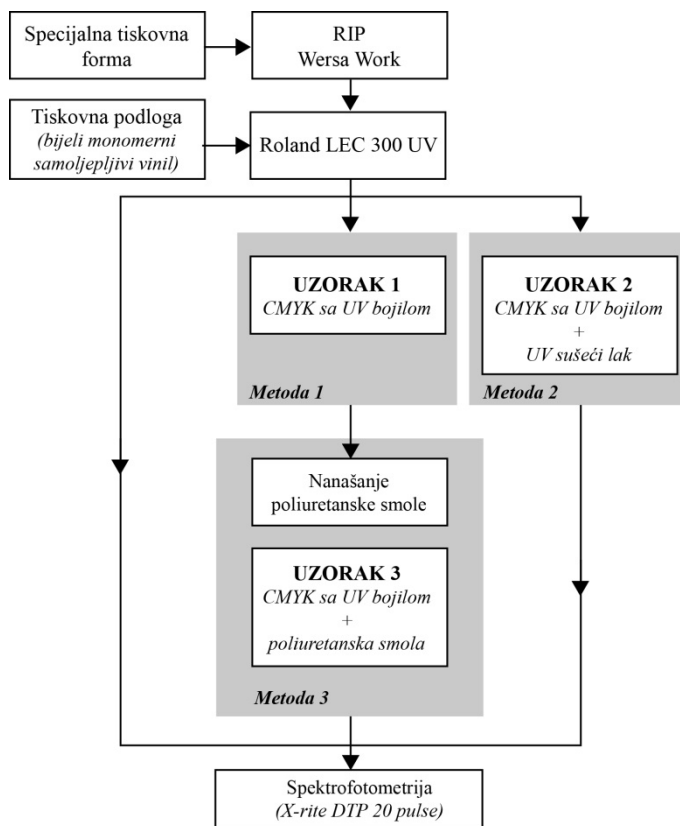
Dodatna obrada površine UV Inkjet otisaka napravljena je na dva načina:

- a) dodatnim nanašanjem gloss UV sušećeg laka u 4 nanosa sa UV Inkjet pisačem Roland LEC 300 (nanos laka 0,07 mm)
- b) špricanjem tekuće dvokomponentne poliuretanske smole u omjeru 1:1 i sušene 24 sata (jedan nanos poliuretana debljine 1,17 mm)

Pritom su dobiveni 3 tipa uzoraka:

- Uzorak 1= otisci koji sadržavaju samo CMYK otisnuta UV sušeća bojila
- Uzorak 2= otisci koji sadržavaju CMYK otisnuta UV sušeća bojila + 4 sloja UV sušećeg laka
- Uzorak 3= otisci koji sadržavaju CMYK otisnuta UV sušeća bojila + 1 sloj tekućeg poliuretana

Rezultati kolorimetrijskih mjerenja biti će prikazani u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom obliku CIE LAB kolornog prostora. Detaljnija analiza utjecaja oslojavanja na obojenost napraviti će se na karakterističnim tonovima. Pritom će se analizirati boje suptraktivne i aditivne sinteze u dva tonska područja (100%RTV-a i 50 % RTV-a odnosno 66% RTV-a u slučaju crne). Za precizno prikazivanje nastalih razlika u CIE LAB kolornom prostoru primjeniti će se, dodatni software-a OriginPro v8.6. Sam proces eksperimenta je prikazan shematski na Slici 9.



Slika 9 Shematski prikaz eksperimenta

Usporedbu dva različita obojenja moguće je napraviti matematičkim izračunom razlike obojenja. Pritom se koriste izvorne vrijednosti Lab koordinata. L^* , a^* i b^* vrijednosti se mogu izraziti slijedećim formulama:

$$L = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

gdje se X_n , Y_n i Z_n odnose na stimulus bijelog objekta koji je određen energijom zračenja standardne rasvjete npr. D_{65} ili A reflektirane s bijele površine. X_n , Y_n i Z_n su tristimulusne vrijednosti sa $Y_n = 100$.

Samim time moguće je odrediti i razliku u obojenju dvaju otisnutih tonova (ΔE) koja je definirana formulom:

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

Gdje je:

$$\Delta L = L_{mjereno} - L_{stand.}$$

$$\Delta a = a_{mjereno} - a_{stand.}$$

$$\Delta L = b_{mjereno} - b_{stand.}$$

[14]

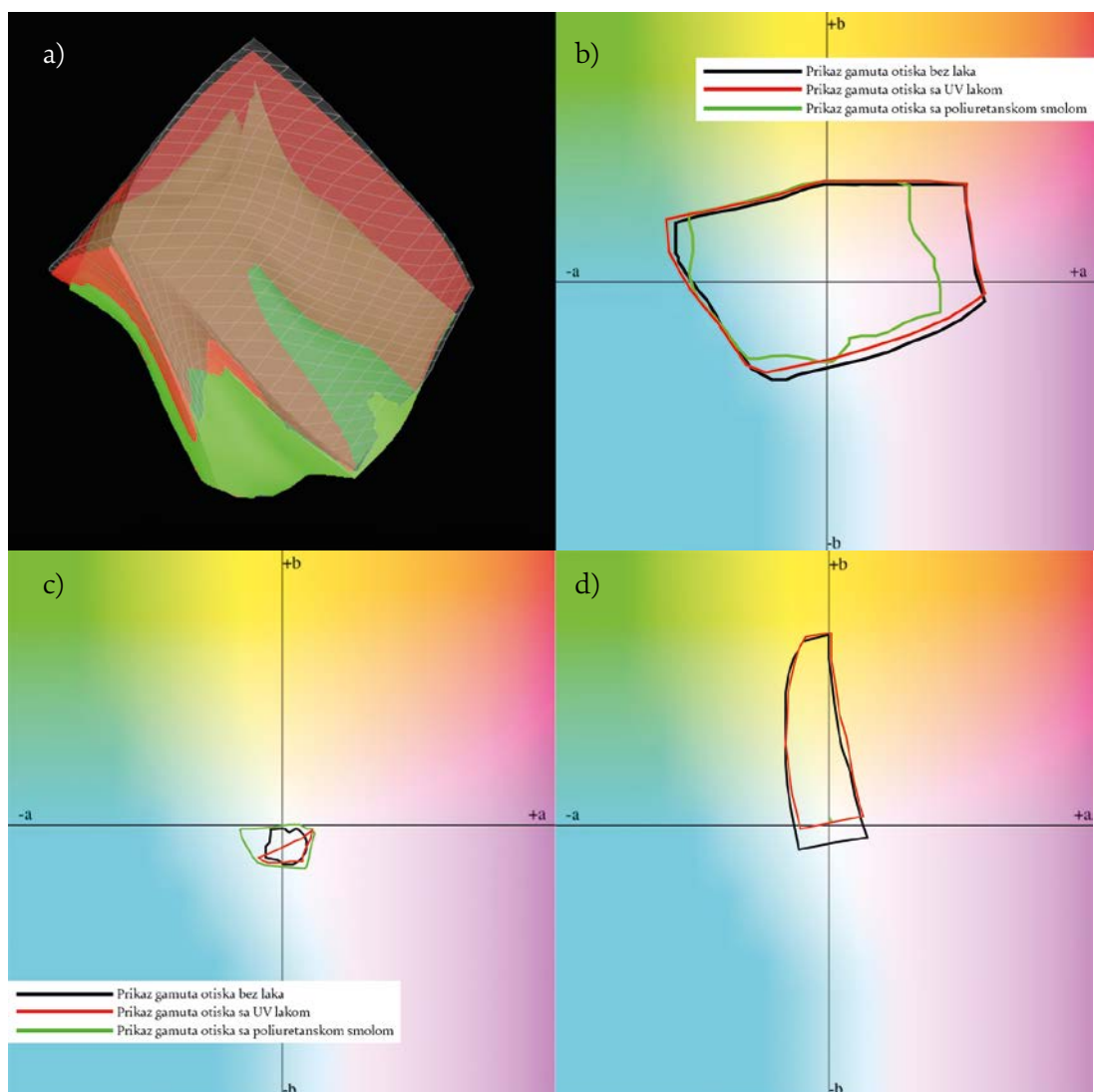
Ovakva izvorna CIE ΔE formula ne pokazuje ujednačene pogreške za sva tonska područja. Zbog toga i više puta modificirana. Posljednja promjena od strane CIE komisije izvršena je 2001 godine. Osnova za novu jednadžbu dobivena je nakon analize 3600 uzoraka svakog tona te se sad izražava formulom:

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

[15]

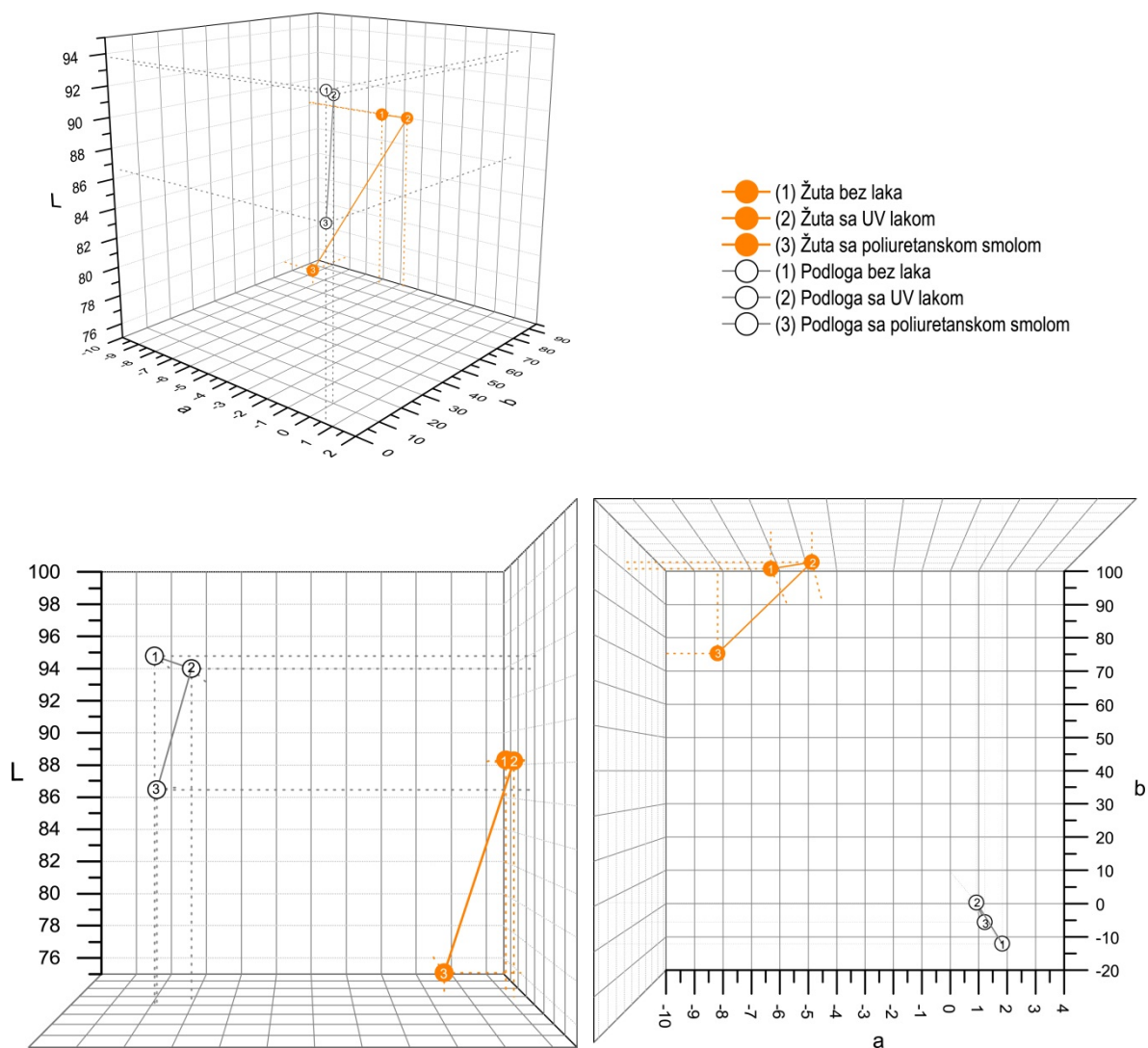
4. Rezultati

Na temelju izmjerenih 378 polja dobiveni su LAB vrijednosti koje su obrađene u aplikaciji *Monaco Profiler Platinum*. Pritom su konstruirani ICC profili koje je moguće grafički prikazati pomoću aplikacije *Gamut Viewer*. To je polučilo slijedeće volumene: InkJet otisci s UV bojilom ($V= 864,086$ gamutskih jedinica), InkJet otisci s UV bojilom uz dodatak UV sušećeg laka ($V=860,592$ gamutskih jedinica) i InkJet otisci s UV bojilom uz dodatak poliuretanske smole ($V=575,250$ gamutskih jedinica). Slika 10 prikazuje 3D prikaz gamuta za sva tri uzorka te njihove karakteristične presjeke po osi L ($L=15$, $L=50$ i $L=85$).



Slika 10 Prikaz a) 3 D gamuta te prikazi 2D gamuta pri svjetloći b) $L=50$, c) $L= 15$ i d) $L=85$

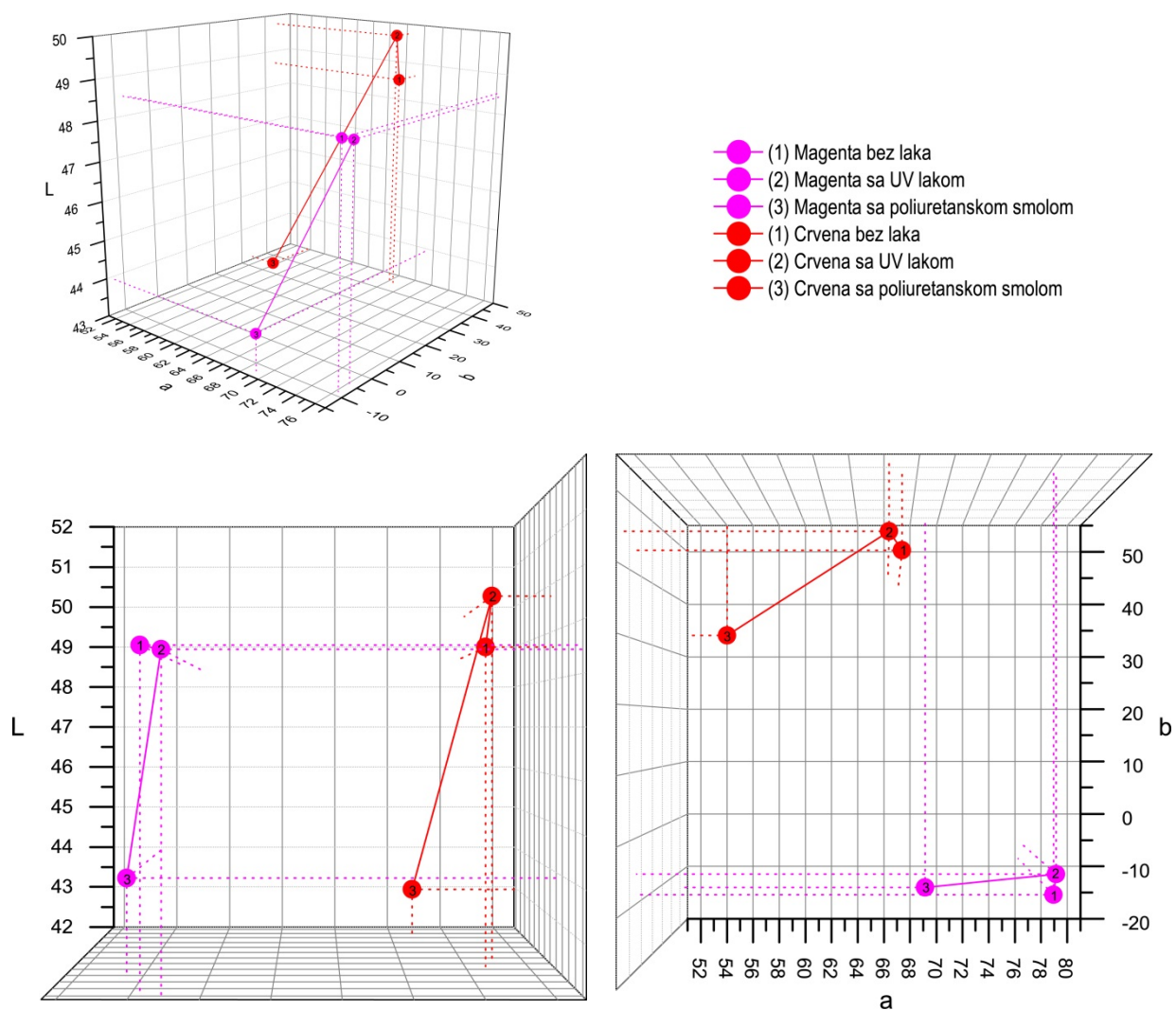
Na slikama 11,12, 13 i 14 prikazana su kolorna odstupanja punih tonova prije i nakon izvršenog nanašanja dodatnih transparentnih slojeva. Pritom su analizirani osnovni tonovi suptraktivne (CMYK) i aditivne sinteze (RGB). Radi preglednosti prikaza u istom grafikonu nalaze se kromatski bliski tonovi (žuta - podloga, magenta - crvena, cijan - zelena te crna i ljubičastoplava boja). Matematičkom obradom LAB vrijednosti (CIE ΔE_{2000}) dobivene su razlike ΔE , ΔL , ΔC i ΔH koje su prikazane u Tablicama 3, 4, 5 i 6.



Slika 11 3D i 2D prikaz 100% RTV otisaka žute boje i podloge prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušjećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 3 Prikaz kolornih promjena podloge i žutih tonova (100% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

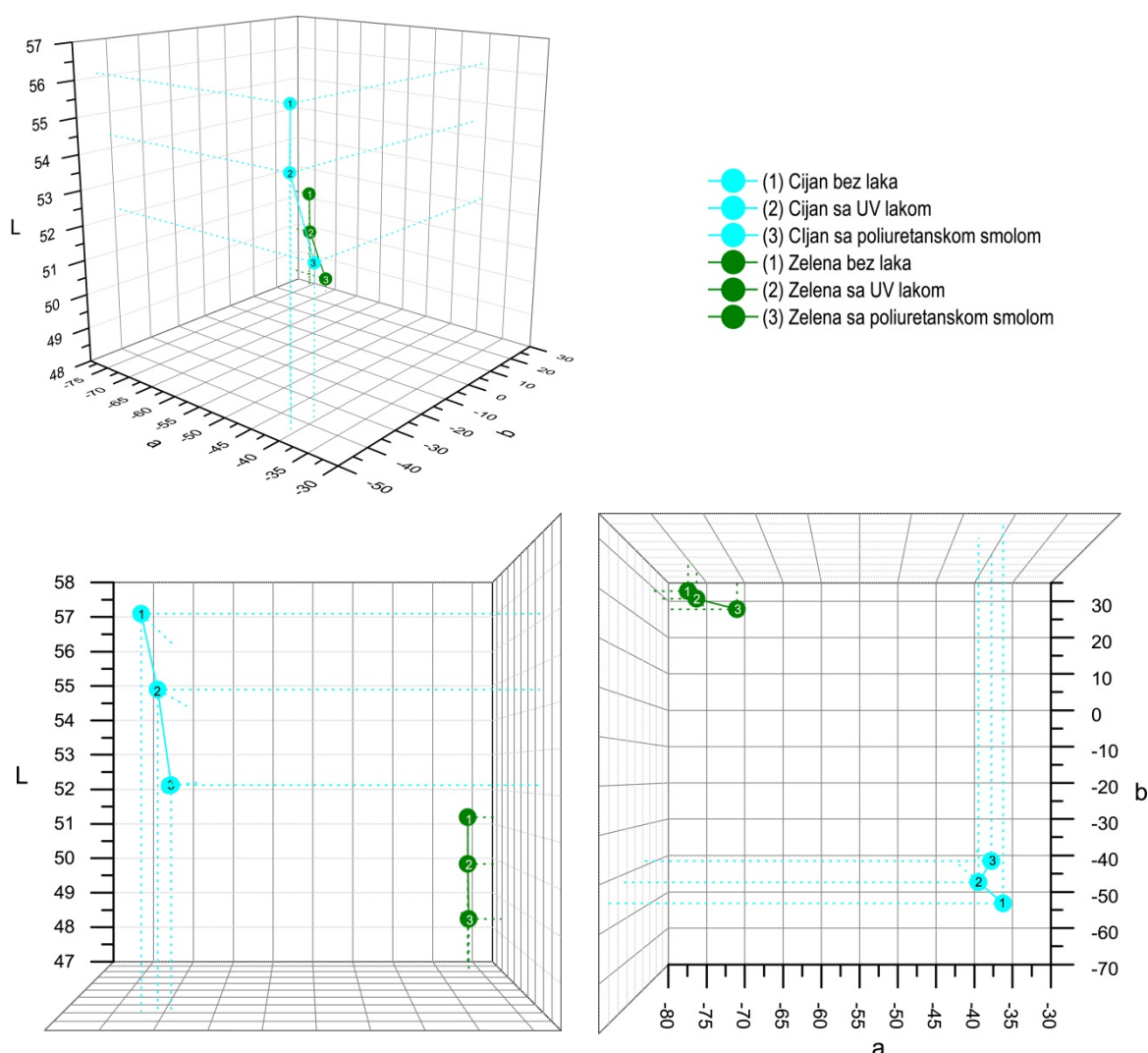
Otisak (100% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Žuta_U1 - Žuta_U2	0,76	0,04	-0,32	0,68
Žuta_U1 - Žuta_U3	9,05	8,24	3,16	-2,02
Žuta_U2 - Žuta_U3	9,30	8,20	3,48	-2,68
Podloga_U1 - Podloga_U2	7,35	0,38	-6,86	-2,61
Podloga_U1 - Podloga_U3	4,51	4,48	-0,34	-0,37
Podloga_U2 - Podloga_U3	7,97	4,10	6,53	2,01



Slika 12 3D i 2D prikaz 100% RTV otisaka magente i crvene boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 4 Prikaz kolornih promjena magenta i crvenih tonova (100% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

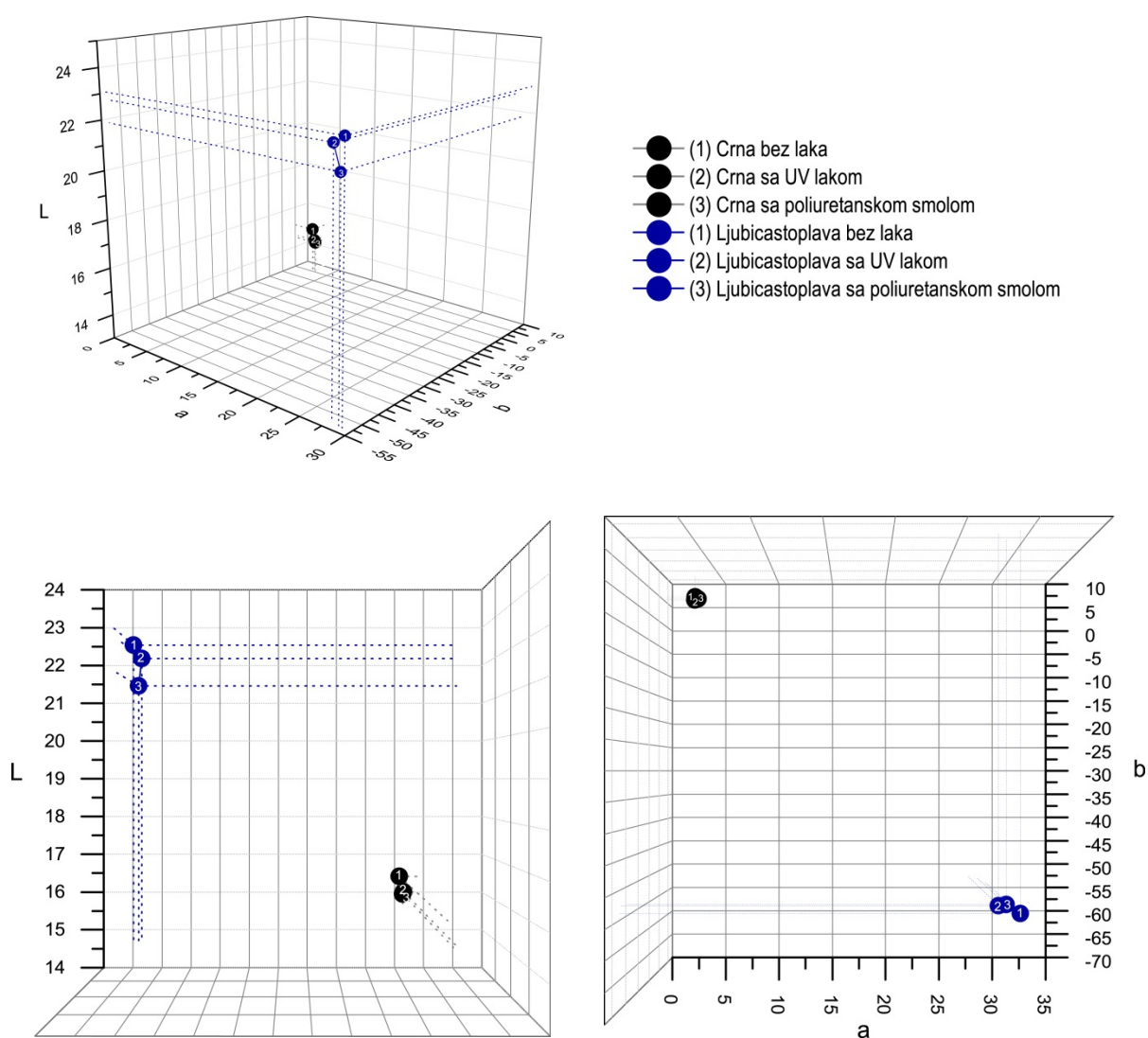
Otisak (100% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Magenta_U1 - Magenta_U2	1,16	0,08	0,02	-1,16
Magenta_U1 - Magenta_U3	5,15	4,44	1,50	2,13
Magenta_U2 - Magenta_U3	5,64	4,36	1,48	3,27
Crvena_U1 - Crvena_U2	1,35	-1,09	-0,01	-0,80
Crvena_U1 - Crvena_U3	6,57	5,37	3,76	0,40
Crvena_U2 - Crvena_U3	7,58	6,47	3,78	1,15



Slika 13 3D i 2D prikaz 100% RTV otisaka cijan i zelene boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 5 Prikaz kolornih promjena cijan i zelenih tonova (100% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

Otisak (100% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Cijan_U1 - Cijan_U2	2,13	1,62	0,27	1,35
Cijan_U1 - Cijan_U3	4,30	3,78	1,40	1,50
Cijan_U2 - Cijan_U3	2,44	2,16	1,13	0,18
Zelena_U1 - Zelena_U2	1,32	1,32	0,04	0,03
Zelena_U1 - Zelena_U3	2,97	2,78	0,99	0,34
Zelena_U2 - Zelena_U3	1,77	1,46	0,95	0,31

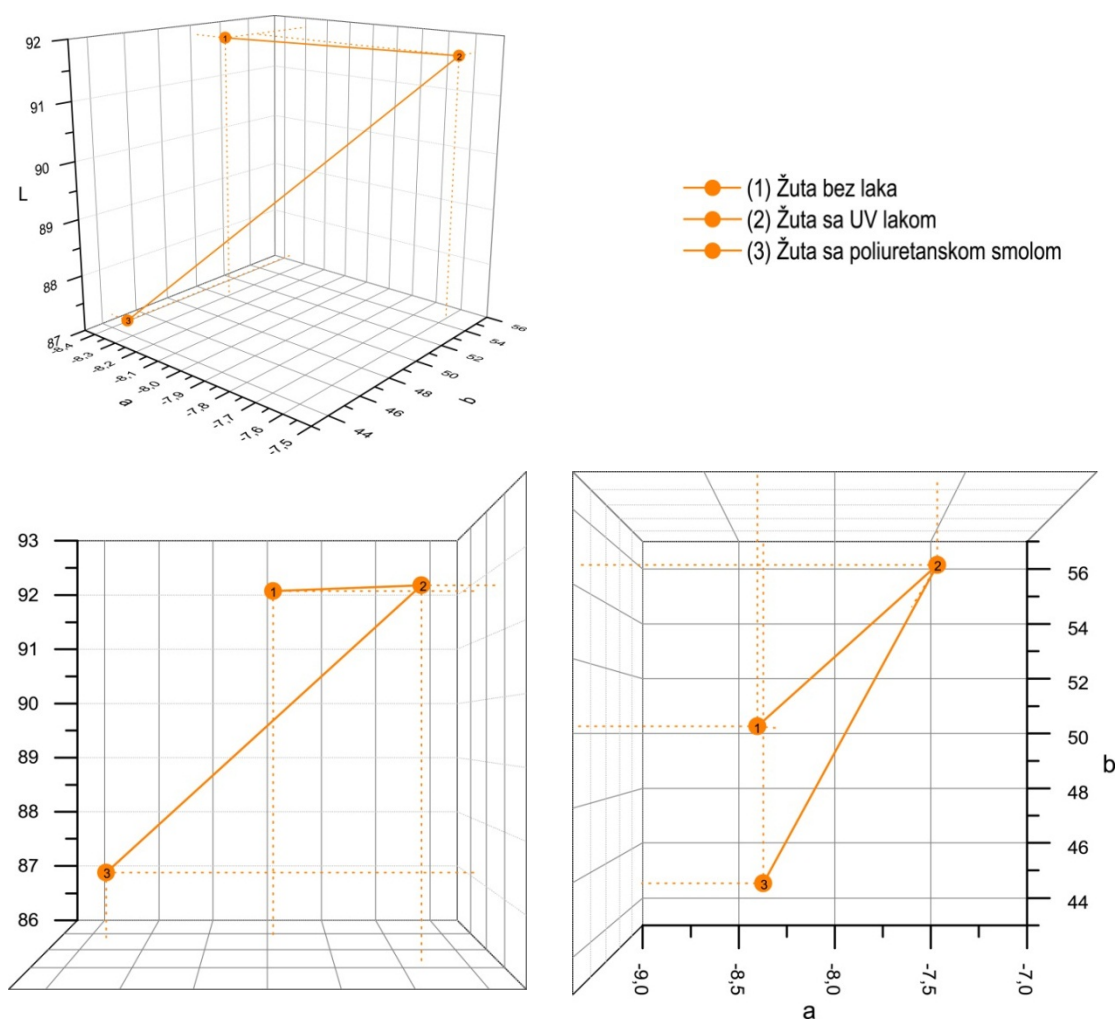


Slika 14 3D i 2D prikaz 100% RTV otisaka crne i ljubičastoplave boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 6 Prikaz kolornih promjena crnih i ljubičastoplavih tonova (100% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

Otisak (100% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Crna _U1 - Crna _U2	1,17	0,41	-0,63	-0,89
Crna _U1 - Crna _U3	0,83	0,46	-0,56	-0,41
Crna _U2 - Crna _U3	0,52	0,05	0,07	0,51
Ljubičastoplava _U1 - Ljubičastoplava _U2	0,63	0,24	0,43	0,39
Ljubičastoplava _U1 - Ljubičastoplava _U3	0,90	0,87	0,24	0,04
Ljubičastoplava _U2 - Ljubičastoplava _U3	0,74	0,62	-0,18	-0,35

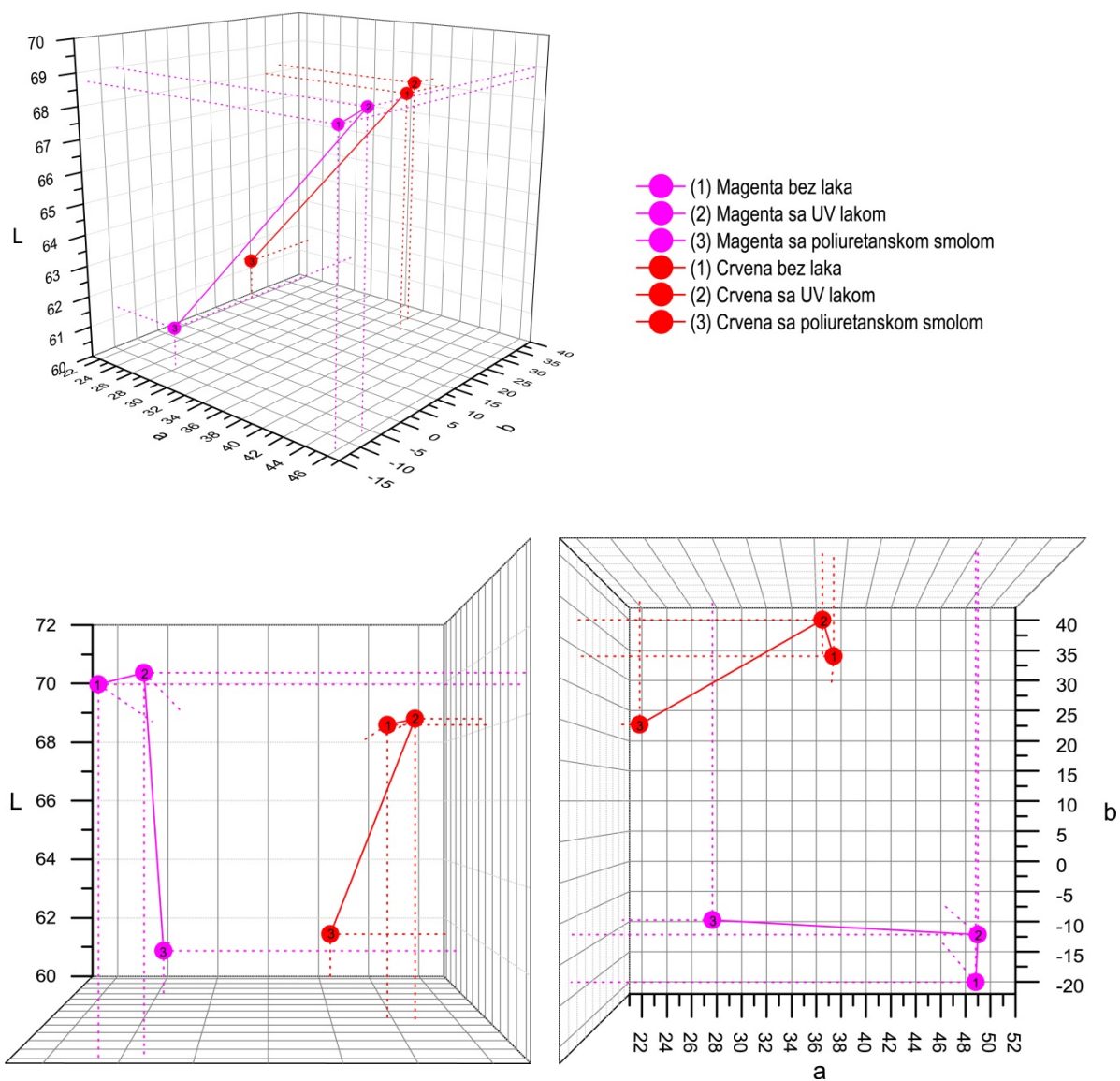
Na slikama 15, 16, 17 i 18 prikazana su kolorna odstupanja karakterističnih rasterskih tonova prije i nakon izvršenog nanašanja dodatnih transparentnih slojeva. Pritom su analizirane slijedeće rasterske površine: 50% RTV CMY i RGB te 66% RTV crne. Njihove razlike u obojenju (ΔE), svjetloći (ΔL), kromatičnosti (ΔC) kao i pogreške tonova (ΔH) prikazane su Tablicama 7, 8, 9 i 10.



Slika 15 3D i 2D prikaz 50% RTV otiska žute boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 7 Prikaz kolornih promjena žutih tonova (50% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

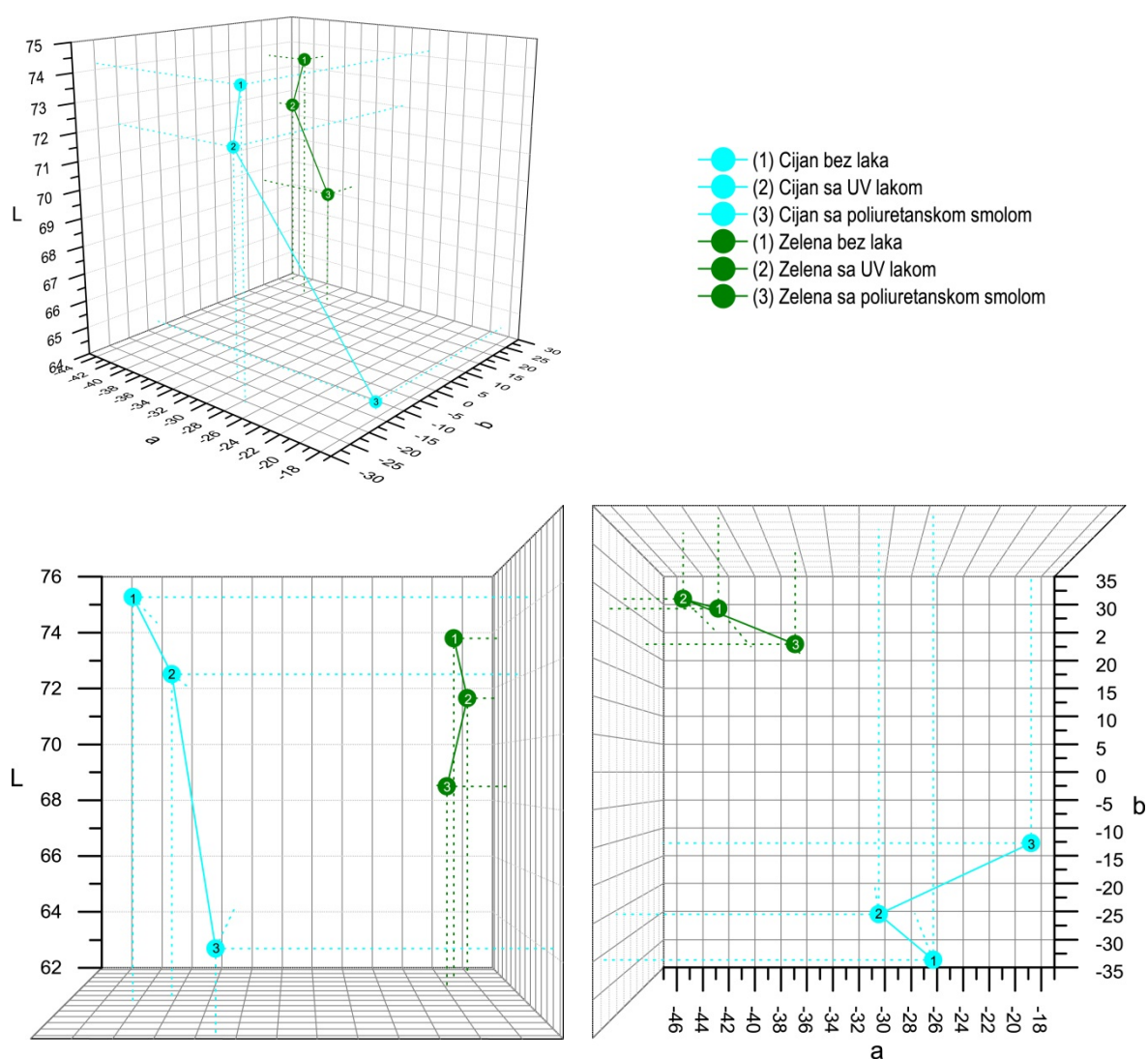
Otisak (50% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Žuta_U1 - Žuta_U2	1,53	0,09	-1,26	0,87
Žuta_U1 - Žuta_U3	3,52	2,98	1,75	-0,69
Žuta_U2 - Žuta_U3	4,45	2,89	3,01	-1,55



Slika 16 3D i 2D prikaz 50% RTV otisaka magenta i crvene boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 8 Prikaz kolornih promjena magenta i crvenih tonova (50% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

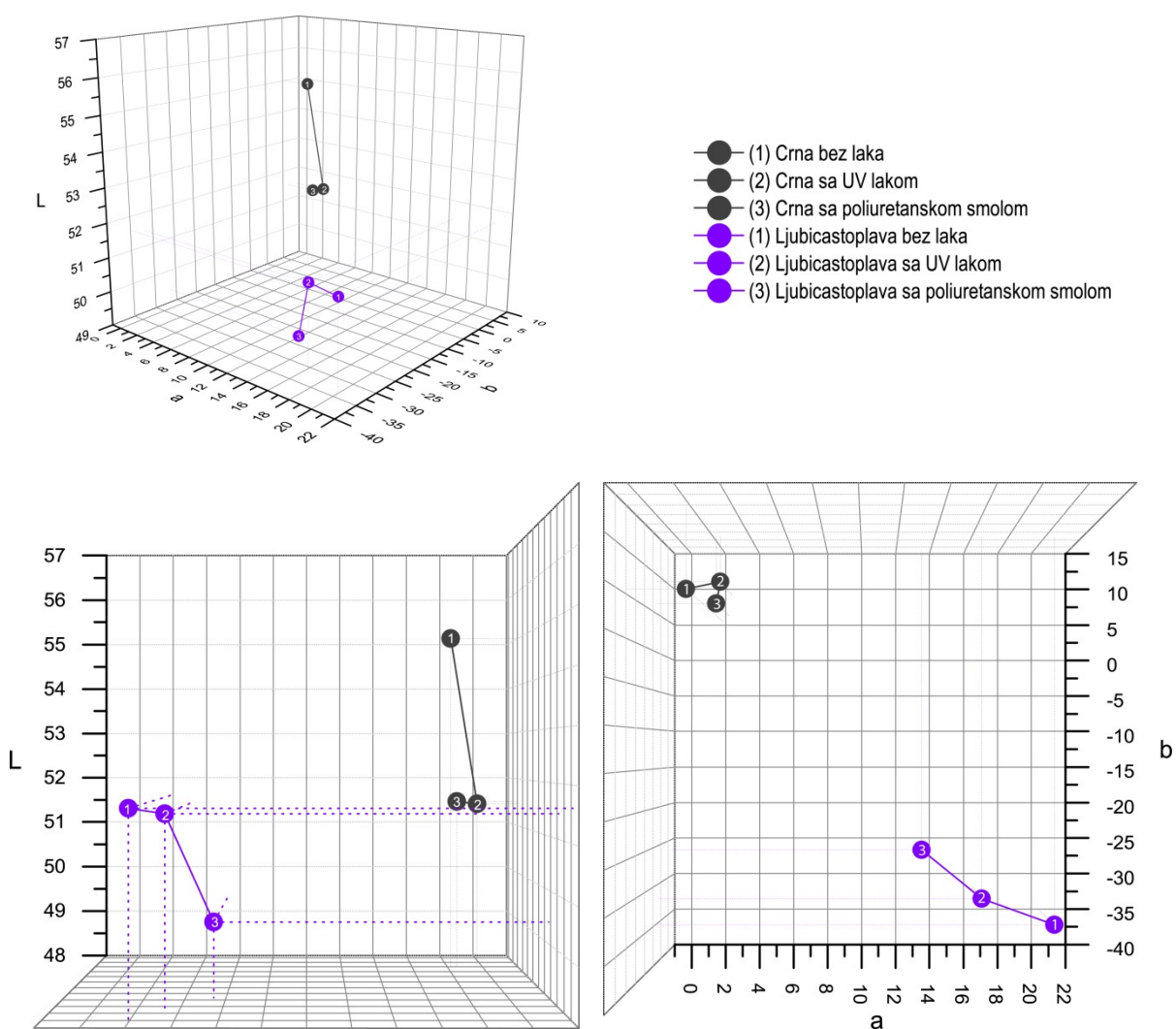
Otisak (50 % RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Magenta_U1 - Magenta_U2	3,04	-0,21	0,40	-3,01
Magenta_U1 - Magenta_U3	9,10	6,07	6,74	0,71
Magenta_U2 - Magenta_U3	9,53	6,28	6,36	3,31
Crvena_U1 - Crvena_U2	2,73	-0,16	-0,75	-2,62
Crvena_U1 - Crvena_U3	8,47	5,39	5,66	-3,28
Crvena_U2 - Crvena_U3	8,52	5,54	6,38	-1,06



Slika 17 3D i 2D prikaz 50% RTV otisaka cijan i zelene boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 9 Prikaz kolornih promjena cijan i zelenih tonova (50% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka i poliuretanske smole

Otisak (50% RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Cijan_U1 - Cijan_U2	3,62	1,64	0,19	3,22
Cijan_U1 - Cijan_U3	10,35	7,79	6,29	2,65
Cijan_U2 - Cijan_U3	8,73	6,15	6,19	-0,11
Zelena_U1 - Zelena_U2	1,99	1,49	-1,19	0,56
Zelena_U1 - Zelena_U3	4,14	3,87	1,49	0,05
Zelena_U2 - Zelena_U3	3,62	2,37	2,68	-0,50



Slika 18 3D i 2D prikaz 66% RTV otiska crne i 50% RTV ljubičastoplave boje prije i poslije eksperimentalnog nanašanja UV sušećeg laka (U2) i poliuretanske smole (U3)

Tablica 10 *Prikaz kolornih promjena crnih (66% RTV) i zelenih tonova (50% RTV) prije i nakon eksperimentalnog nanašanja UV sušćeg laka i poliuretanske smole*

Otisak (66 i 50 % RTV)	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Crna _U1 - Crna _U2	4,41	3,43	-2,70	-0,61
Crna _U1 - Crna _U3	3,46	3,38	-0,73	0,15
Crna _U2 - Crna _U3	2,14	-0,05	1,97	0,83
Ljubičastoplava _U1 - Ljubičastoplava _U2	1,80	0,15	1,67	0,65
Ljubičastoplava _U1 - Ljubičastoplava _U3	4,48	2,20	3,88	-0,39
Ljubičastoplava _U2 - Ljubičastoplava _U3	3,16	2,05	2,18	-1,02

5. Diskusija

Kolorimetrijskom metodom moguće je točno odrediti obojenje otisnutih uzoraka. Mjerenjem karakterističnih 378 polja moguće je konstruirati kolorni gamut koji predstavlja maksimalni tonski opseg date reprodukcije.

Najveći gamut reprodukcije ima Uzorak 1 koji je nastao samo nanosom UV sušećih boja ($V_{U1}=864,086$ gamutnih jedinica). Nešto manji gamut ($V_{U2}= 864.592$ gamutnih jedinica) nastat će nanašanjem UV sušećeg laka u četiri sloja. Takva promjena jedino je vidljiva u najsvjetlijim tonskim područjima čija je vrijednost svjetline viša od $L>85$. Najveća kolorna promjena ostvarit će se nanašanjem tekuće transparentne poliuretanske smole pri čemu dolazi do rapidnog pada reprodukcije ($\Delta V=288,836$ gamutnih jedinica). To znači da će veća debljina nanošenog poliuretana značajno smanjiti tonske vrijednosti, odnosno, dolazi do potpunog gubitka tonova u najsvjetlijim područjima ($L>85$). Međutim, dolazi i do bolje reprodukcije u tamnijim akromatskim područjima ($L<15$). Također je karakteristično da će poliuretanska smola značajno reducirati sva tonska područja čija je izvorna koordinata a^* visoka, što će se manifestirati gubitkom izvorne magente i crvene.

Za detaljnije određivanje utjecaja dodatnog oplemenjivanja UV Inkjet otisaka potrebno je analizirati karakteristične tonove. Na slikama od 11 do 14 prikazana su kolorna obojenja punih tonova (CMYK i RGB).

Izvorni žuti otisak na monomernom vinilu će UV lakiranjem doživjeti neznatnu promjenu koja se vizualno ne percipira te ju je moguće uočiti samo kolorimetrijskim mjerenjem. Nanašanjem poliuretanske smole nastati će ogromna tonska promjena ($\Delta E_{U1-U3} =9,05$) koja je uglavnom nastala po svjetlini L^* . Promjena nastaje i u kromatičnosti pri čemu dolazi do gubitka žute, ali i do povećanja udjela zelene.

Ove metode oplemenjivanja utjecati će i na optička svojstva tiskovne podloge. Pritom će se UV lakiranjem tiskovna podloga više mijenjati od nanijete poliuretanske smole. UV lakiranjem monomernog vinila ostvarit će se velika kromatska promjena ($\Delta E_{U1-U2} =7,35$) što znači da ton postaje mnogo žući ($\Delta C_{U1-U2}=-6,86$). Aplikiranjem poliuretanske smole doći će također do vidljive promjene ($\Delta E_{U1-U3} =4,51$), međutim, podloga se tonski ne mijena već samo svjetlina L^* (dolazi do pada svjetline).

U slučaju 100% kolornog obojenja magente UV lakiranjem dolazi do neznatne promjene ($\Delta E_{U1-U2}=1,16$), dok se crvena boja dati nešto veću vrijednost ($\Delta E_{U1-U2} =1,35$). Nanosom poliuretanske smole doći će do značajnije razlike u tonskoj vrijednosti koja za date tonove iznosi: magenta $\Delta E_{U1-U3}=5,15$; crvena $\Delta E_{U1-U3}=6,57$. Samim time, rezultati se kreću u smjeru zelenog tonskog područja. Karakteristično je da nanosom poliuretanske smole vrijednosti svjetline padaju dok kod UV lakiranja crvene dolazi do neznatnog povećanja iste.

Procesno cijan bojilo generirat će otiske čija je kolorna promjena vidljiva i ljudskim okom. To znači da će se cijan i zeleni otisci UV lakiranjem ipak mijenjati (cijan $\Delta E_{U1-U2} =2,13$; odnosno, zelena $\Delta E_{U1-U2} =1,32$). Nanosom poliuretanske smole tonske promjene su gotovo 100%-tno veće

te iznose: $\Delta E_{U1-U3} = 2,97$ (zelena) i $\Delta E_{U1-U3} = 4,30$ (cijan). Ta promjena nastaje samo po svjetlini (L^*) pri čemu je taj pad linearan.

Po vrijednosti svjetline najtamnije boje su ljubičastoplava i crna. Dodatnim nanašanjem transparentnih slojeva neće se značajno utjecati na kolorne promjene. Takvi otisci su najstabilniji i preporučuju se za korištenje grafičkim dizajnerima. To je kolorimetrijski vidljivo u vrlo niskim kolornim razlikama u obojenju crne boje. UV lakiranjem ona iznosi $\Delta E_{U1-U2} = 1,17$ dok nakon nanašanja poliuretanske smole iznosi $\Delta E_{U1-U3} = 0,83$.

Eksperimentalnim obradama tiskovne podloge utjecati će se i na optička svojstva same tiskovne podloge. Bijeli vinil, kao neupojna tiskovna podloga, će na svojoj površini formirati veoma debele nanose koji će biti vidljivi golim okom. Nanosom UV laka kolorna promjena će iznositi $\Delta E_{U1-U2} = 7,35$ dok će nanos poliuretanske smole dati manju kolornu promjenu $\Delta E_{U1-U3} = 4,51$. Razlog toj UV kolornoj oscilaciji možemo pronaći u velikoj kromatskoj promjeni $\Delta C_{U1-U2} = -6,86$. To znači da će se kromatske promjene povećati po koordinati $+b^*$, tj. površina monomernog vinila postaje žuća.

Na višebojnim otiscima vrlo je bitna i reprodukcija polutonova. Oni nastaju procesom rastriranja pri čemu se formiraju svjetla, srednja i tamna tonska područja. Najintenzivnije kolorne promjene uočljive su u području 50% RTV-a gdje je odnos tiskovnih površina i slobodnih elemenata 50%-50%. Na slikama 15 - 18 prikazana su kolorna obojenja 50% otisnutih CMY i RBG tonova te 66% crne boje.

Kod rastriranih žutih tonova dodatno nanašanje transparentnih slojeva dati će različite kolorne promjene. U odnosu na pune tonove one će UV lakiranjem rasti, a nanosom poliuretanske smole padati. U konkretnom slučaju, kolorne promjene rastriranih žutih uzoraka iznose $\Delta E_{U1-U2} = 1,53$ i $\Delta E_{U1-U3} = 3,52$.

Rastrirani tonovi magente i crvene imaju najizraženije kolorne promjene. One su mnogo uočljivije na otiscima s poliuretanskom smolom (magenta $\Delta E_{U1-U3} = 9,10$; crvena $\Delta E_{U1-U3} = 8,47$). Tako velika promjena nastala je u svim smjerovima, tj. i po kromatičnosti i po svjetlini. UV lakiranje istih tonova također su okom vidljiva, ali razlike u obojenju su mnogo niže (magenta $\Delta E_{U1-U2} = 3,04$; crvena $\Delta E_{U1-U2} = 2,73$). Pritom su promjene izraženije po kromatičnosti.

Nanašanjem izvornog cijan bojila moguće je realizirati dva karakteristična rastrirana tona – 50% zelena i 50 % cijan. Pritom će se površinskom obradom 50% cijan značajno više promijeniti (poliuretanska smola $\Delta E_{U1-U3} = 10,35$; UV lakiranje $\Delta E_{U1-U2} = 3,62$). Ako se istoj površini doda 50% žute (kako bi se stvorila zelena) kolorne promjene će se značajno smanjiti (poliuretanska smola $\Delta E_{U1-U3} = 4,14$; UV lakiranje $\Delta E_{U1-U2} = 1,99$).

Relativno jednaka tendencija kolornih promjena u području od 50% RTV-a uočava se i kod ljubičastoplave boje. Pritom će se UV lakiranjem ostvariti kolorna promjena od $\Delta E_{U1-U2} = 1,80$; dok će se nanašanjem poliuretanske smole ostvariti veća promjena ($\Delta E_{U1-U3} = 4,48$). Samim time može se zaključiti da će se nakon oplemenjivanja površine spotne boje puno bolje ponašati u odnosu na procesne boje.

U odnosu na puni ton, rastrirana crna područja doživjet će četiri puta veće kolorne promjene. One se očituju u padu svjetline. Samim time one postaju i vizualno uočljivije. Time će se nanosom UV sušćeg laka ostvariti veća kolorna promjena ($\Delta E_{U1-U2}=4,41$) u odnosu na poliuretansku smolu ($\Delta E_{U1-U3}=3,46$).

6. Zaključci

Iz provedenog eksperimenta i dobivenih rezultata može se konstatirati da oplemenjivanjem InkJet otisaka s ekstremnim nanašanjem UV sušećeg laka i poliuretana dolazi do promjene na kvalitetu reprodukcije.

Dobiveni rezultati potenciraju slijedeće zaključke:

- Nanosom dodatnih transparentnih slojeva smanjit će se kvaliteta kolorne reprodukcije. Drugim riječima, nanosom poliuretanske smole na otisak sa UV bojom dolazi do velike promjene volumena gamuta ($\Delta V_{U1-U3} = 288,836$ gamutnih jedinica) – dok će se UV lakiranjem gamut neznano smanjiti ($\Delta V_{U1-U2} = 3,494$ gamutnih jedinica). Tamni tonovi ($L < 15$) će se bolje reproducirati ako se obrade sa poliuretanskom smolom, dok će se svijetli tonovi ($L > 85$) izgubiti.
- UV lakiranjem tiskovne podloge ostvarena je najveća kolorna promjena ($\Delta E > 7$) te se odlikuje sa stvaranjem vidljivog žućkastog tona. Samim time će 100% žuta imati najmanju kolornu promjenu ($\Delta E = 0,76$) dok će najveća biti 100% cijan ($\Delta E = 2,13$). Tako ponašanje žute još će više utjecati na realizaciji spotnih boja (crvene $\Delta E = 1,35$ i zelene $\Delta E = 1,32$).
- Utjecaj UV lakirane tiskovne podloge još će se više manifestirati na rastriranim površinama pritom će tonovi sa manje izraženijom svjetlinom L imati veće kolorne promjene. Ekstremi su: crna $\Delta E = 4,41$ i žuta $\Delta E = 1,53$.
- Obrada tiskovne podloge sa poliuretanskom smolom dati će mnogo veće kolorne promjene. Razlog tomu očituje se u mnogo debljem nanosu poliuretanske smole u odnosu na UV sušeći lak. Pritom se tiskovna podloga mnogo manje mijenja $\Delta E = 4,51$.
- Nanosom poliuretanske smole svim punim tonovima će se rapidno smanjiti svjetlina pri čemu su ekstremi žuta $\Delta E = 9,05$ i crna $\Delta E = 0,83$.
- Na rastriranim površinama s dodatnim poliuretanskim lakom nastaju mnogo veće razlike u obojenju koje su nastale većim oscilacijama kromatičnosti (cijan $\Delta E = 10,35$ i magenta $\Delta E = 9,10$) dok su najmanje promjene nastale u bojama koje izvorno imaju nisku vrijednost svjetline (ljubičastoplava $\Delta E = 3,16$ i crna $\Delta E = 3,46$).
- Kao i kod UV lakom oplemenjenih otisaka rastrirano žuto polje imati će najmanje kolorne oscilacije. Međutim, nanos poliuretanske smole napraviti će različite velike oscilacije u punom tonu i u području sa 50% RTV-a. Drugim riječima, 50% rastersko polje žute ($\Delta E = 3,52$) imat će mnogo manje oscilacije u odnosu na puni ton ($\Delta E = 9,05$).

Da bi se izvršile korekcije upliva dodatno formiranih transparentnih slojeva u grafičkoj pripremi preporučuju se slijedeće kolorne korekcije (Tablica 11 i 12).

Tablica 11 *Korektivne vrijednosti CMYK boja za otiskivanje otisaka s dodatnim UV sušećim lakom u nanosu od četiri sloja (h= 0,07 mm)*

BOJA	Promjena po L osi	Promjena po a osi	Promjena po b osi	Korekcije za tiskarski stroj
100% Cijan	1,72	1,67	-2,89	Povećanje nanosa cijan
100% Magenta	0,08	-0,19	-3,01	Povećanje nanosa magente
100% Žuta	0,06	-1,19	-1,7	Povećanje nanosa žute
100% Crna	0,62	0,18	-1,23	Povećanje nanosa crne
50% Cijan	2,2	3,07	-4,82	Povećanje nanosa cijan
50% Magenta	-0,27	-0,05	-6,21	Povećanje nanosa cijan
50% Žuta	0,15	-0,7	-4,42	Povećanje nanosa cijan
66% Crna	3,53	-0,58	-3,62	Povećanje nanosa crne

Tablica 12 *Korektivne vrijednosti CMYK boja za otiskivanje otisaka s dodatnom poliuretanskom smolom u nanosu od h=1,17 mm*

BOJA	Promjena po L osi	Promjena po a osi	Promjena po b osi	Korekcije za tiskarski stroj
100% Cijan	3,94	-0,89	-6,07	Povećanje nanosa cijana
100% Magenta	4,6	7,18	4,47	Povećanje nanosa magente
100% Žuta	12,17	2,39	15,19	Povećanje nanosa žute
100% Crna	0,7	-0,08	-0,84	Smanjenje nanosa crne
50% Cijan	9,98	-8,85	-12,63	Povećanje nanosa cijana
50% Magenta	7,38	17,97	-4,04	Povećanje nanosa magente
50% Žuta	4,73	0,07	5,64	Povećanje nanosa žute
66% Crna	3,48	-0,38	-0,77	Smanjenje nanosa crne

Ovaj rad analizira samo jedan aspekt problema nastajanja točne kolorne reprodukcije (točnost reprodukcije boja). Međutim, kvaliteta grafičkih proizvoda definirana je i sa mogućnošću otiskivanja i mikroelemenata. Zbog toga se kao daljnje istraživanje nameće analiza prirasta koji nastaju debljim nanošenjem UV sušećih lakova i poliuretanskih smola. Time će se dati korektivni faktori i preporuke onim grafičkim dizajnerima koji osim obojenja planiraju i izvođenje procesa embosiranja.

7. Zahvale

Zahvaljujemo se našem mentoru dr. sc. Igoru Majnariću na trudu i vremenu koje je uložio u ovaj rad. Također mu se zahvaljujemo na svakom upućenom savjetu i danoj pomoći. Veliko nam je zadovoljstvo što smo dobile podršku u zajedničkom nastavku istraživanja.

Aleksandra Birta i Sandra Mustać

8. Popis literature

- [1] Eldred, N. & Scarlett, T., (1994), *What the Printer Should Know about Ink*, Pittsburgh: GATF
- [2] Edison, S., (2006), *UV curable InkJet inks revolutionize industrial printing*, Radtech Report, November/December, 28-33.
- [3] Magdassi, S., (2009), *The Chemistry of Inkjet Inks*, Israel: The Hebrew University of Jerusalem
- [4] Zjakić, I., (2007), *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*, Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada
- [5] Kovačević, T., (2010), *Struktura i svojstva polimera*, Split: CIP
- [6] Thompson, B., (2004), *Printing materials: Science and Technology*, Surrey : Pira International
- [7] (2006), *Kratica i imena sastojaka polimera*, Polimeri: časopis za plastiku i gumu, Vol.26 No.4
- [8] Tracton, A. A., (2007), *Coatings Materials and Surface Coatings*, New York: CRC Press
- [9] Kiphan, H., (2001), *Hand Book of Print Media*, Berlin: Springer
- [10] Hue, P. L., (1998), *Progress and Trends in Ink Jet Printing Technology*, IS&T Journal of ImageScience and Technology, 42 – 1, 49 – 62
- [11] Milković & Mrvac, N. & Vusić, D., (2009), *Vizualna psihofizika i dizajn*, Varaždin: Veleučilište u Varaždinu
- [12] Zjakić, I. & Milković, M., (2010), *Psihologija boja*, Varaždin: Veleučilište u Varaždinu
- [13] N. Knešaurek, N. & Tkalčević Smetko, Z. & Turkalj, D., (1996) *Modifikacija izraza ukupne razlike kromatskih vrijednosti ΔE^*_{ab} reproducirane boje*, Zbornik radova Intergrafika '96, Zagreb
- [14] Field, G. S., (1990), *Color Scanning and Imaging Systems*, Pittsburgh: GATF
- [15] M. R. Luo, G. & Cui, B. Rigg (2001) *Color Research & Application Special Issue: Special Issue on Color Difference*, Volume 26, Issue 5, 340–350

9. Sažetak

Oplemenjivanje Inkjet otisaka nastalih s ekstremnim nanašanjem UV sušećeg laka i poliuretanske smole

Autori: Aleksandra Birta, Sandra Mustač

Grafička industrija i materijali korišteni u njoj, zadnjih nekoliko godina doživljavaju velike promjene. Može se reći da je velika tranzicija, koja se događa između starih i novih tehnologija u grafičkoj industriji, u punom zamahu. Na grafičkom tržištu su prisutne svakodnevne promjene. Ono redovito lansira inovacije bilo iz područja materijala, strojeva ili metode tiskanja na grafičke proizvode. Prilikom odabira proizvoda za kupca je danas jednako važna i kvaliteta i estetika – bilo da je riječ o složenom produktu poput knjige ili jednostavnom poput naljepnice.

U ovom studentskom istraživačkom radu promatrana su svojstva novih, gotovo neistraženih, materijala koji su pronašli svoju primjenu u mnogim grafičkim proizvodima. Kod digitalnih tehnika otiskivanja novi materijali nalaze sve veću primjenu i prisutna je tendencija ubranog razvoja tehnologije. Tehnologija otiskivanja Piezo InkJet sa UV LED sušećim lampama prisutna je posljednjih nekoliko godina, a primjena poliuretana kao dodatnog materijala za postizanje estetskih efekata gotovo neistražena.

Iz prethodno navedenih razloga, radi povećanja estetske vrijednosti grafičkih proizvoda često se na otiske nanose dodatni slojevi. Debljim nanosom LED UV sušećeg laka na bazi akrilata i dvokomponentnog poliuretana moguće je formirati dodatni reljef, a da se pritom ne izgubi izvorna obojenost otiska. Nažalost, dobivanjem veće reljefnosti ima za posljedicu promjene izvornih tonalnih vrijednosti. U ovom radu, analizirani su samo karakteristični tonovi (CMYK i RGB u području do 100% RTV-a i 50% RTV-a). Kolorimetrijskim metodama moguće je točno utvrditi nastale razlike u obojenju. Njihovom analizom moguće je kreirati točne korekcijske faktore koji će u daljnjoj grafičkoj pripremi ujednačiti grafičke reprodukcije. U odnosu na izvornih Inkjet otisak, poliuretanske smole dati će mnogo veće kolorne promjene od UV sušećeg laka. Pritom su najveće kolorne promjene nastale u svjetlijim tonalnim područjima i zasićenim bojama čija je izvorna svjetlina L izrazito visoka (žuta). Pomoću dobivenih rezultata dani su savjeti koji bi se tonovi trebali izbjegavati u dizajnu ili, ukoliko to nije moguće, na kojim tonovima se treba raditi i na koji način korekcija u fazi pripreme ili tiska kako bi se dobila zadana boja otiska sa efektom UV lakiranja ili Domeing.

Ključne riječi: piezo InkJet , sušenje LED lampama, UV lak, poliuretan, kvaliteta reprodukcije tonova

10. Summary

Refined Inkjet prints produced with extreme application of UV curing varnish and polyurethane resin

The authors: Aleksandra Birta, Sandra Mustač

Graphic industry and materials used in it, are experiencing major changes in last few years. It can be said that the great transition, which occurs between old and new technologies, in the printing industry, is in a full swing. Daily changes are present on the graphics market, which is regularly launching new innovations - whether in the field of materials, machinery or printing methods. Today when customer is in process of choosing a product, quality and aesthetics are equally important, whether it is a complex product like a book or as simple one as label.

In this paper, researches was made in, almost unexplored, field of properties of materials that have had experienced use in many segments of graphic media industry. There is increased usage of new materials in digital printing techniques. Piezo Inkjet by UV LED lamps is a printing technology that is present last few years and the use of polyurethane as filler material to achieve the esthetic effect isn't currently research.

For the foregoing reasons, in order to increase the aesthetic value of graphics products the second coat or layer is applied to printed material. With thicker layer of LED UV light-based varnish and two-component polyurethane resin it is possible to create additional relief, but without losing the original color prints. Unfortunately, gaining greater relief has resulted in changes in original tonal values. In this paper we have analyzed only the characteristic tones (CMYK and RGB in the field of broadcasting up to 100% and 50% RTV). Colorimetric methods can accurately determine the differences in staining, coloring. Because of this analysis it is possible to create an accurate correction factors that will further unify the prepress graphic reproduction. In comparison with the original inkjet print, on polyurethane resins there may be much larger changes in color vision of LED UV light-based varnish. The biggest changes were in color vision of lighter tonal areas and saturated colors with the original brightness L that is extremely high (yellow). Using these results we can give suggestion for getting correct tones by avoiding unwanted colors in design or, if that is not possible, suggestions for correcting the tones in the preparation phase or in the press for required color reproduction with the effect of UV varnishing or Domeing.

Key words: piezo InkJet, drying by LED lamps , UV varnish, polyurethane, quality of color reproduction

11. Životopisi

Aleksandra Birta je rođena 31. kolovoza 1989. godine u Virovitici. Završila je Osnovnu školu Grgura Karlovića u Đurđevcu poslije koje upisuje Opću gimnaziju dr. Ivana Krajinčeva u Đurđevcu. 2008. godine, nakon izvrsno položene mature, upisuje preddiplomski studij (tehničko-tehnološki smjer) na Grafičkom fakultetu u Zagrebu. 2011. godine upisuje diplomski studij - modul: Grafička tehnologija na Grafičkom fakultetu. Za vrijeme studiranja preddiplomskog studija sudjeluje kao koautor na tri studentska rada. U travnju 2012. godine sudjeluje kao organizator međunarodnog Inženjerskog natjecanja grafičara na kojemu organizira radionicu. Trenutno s kolegama pokreće studentski časopis Grafičkog fakulteta – GRAM. Od 2011. godine pa nadalje pomaže klubu *Booksi* u izgradnji vizualnog identiteta. U slobodno vrijeme fotografira i svira tubu.

Sandra Mustač je rođena 14. ožujka.1988. godine u Zagrebu. Završila je Osnovnu školu Dugave u Zagrebu nakon koje je upisala Školu za medicinske sestre Mlinarska u Zagrebu. Nakon srednje škole odlučila je upisati Grafički fakultet gdje završava preddiplomski studij tehničko-tehnološkog smjera i nastavlja sa diplomskim studijem Grafičkog fakulteta, modul Grafička tehnologija. Za vrijeme 3. godine preddiplomskog studija sudjelovala je u programu Erasmus, u sklopu kojega je 6 mjeseci živjela u Ljubljani i studirala na Naravoslovnotehničkom fakultetu v Ljubljani, Odelek za grafiko in tekstilstvo. Kao autor ili koautor sudjelovala je na tri rada. Tokom studija aktivno se bavi studentskom problematikom i aktivnostima. Tri godine preddiplomskog studija obnaša dužnost predstavnika godine, a zadnje dvije godine studija izabrana je za Predsjednika Studentskog zbora Grafičkog fakulteta. Na natjecanju ING2012 sudjeluje kao koorganizator natjecanja koje ugošćuje studente grafičkih fakulteta iz regije. Trenutno s kolegama pokreće studentski časopis Grafičkog fakulteta - GRAM. U slobodno vrijeme bavi se treniranjem softball-a i ručnom izradom nakita.