

Utjecaj parametara rezolucije na kvalitetu visokoproduktivnih fotografskih strojeva

Marić, Daniela

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:331749>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

DANIELA MARIĆ

**UTJECAJ PARAMETARA REZOLUCIJE
NA KVALITETU
VISOKOPRODUKTIVNIH
FOTOGRAFSKIH STROJEVA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

DANIELA MARIĆ

**UTJECAJ PARAMETARA REZOLUCIJE
NA KVALITETU
VISOKOPRODUKTIVNIH
FOTOGRAFSKIH STROJEVA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Daniela Marić

Zagreb, 2021.

Rješenje o odobrenju teme diplomskog rada

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Igoru Majnariću na velikoj pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada te na tome što me je konstantno poticao nabolje.

Želim zahvaliti svojoj obitelji na neizmjernom strpljenju, podršci i vjeri u mene. Posebno hvala upućujem Mariji koja mi je pružila drugi dom i Sari K. koja je kolegica za poželjet. Također, zahvaljujem se i Martini, Eleni, Andrei i Sari J. koje su me neumorno slušale i nudile pomoć.

Naposljetku, želim se zahvaliti svojoj teti Jenny te bakama i djedovima koji me čuvaju u svojim molitvama i svakoj drugoj osobi koja je na bilo koji način pozitivno doprinijela mom obrazovanju i razvoju. ♥

SAŽETAK

U posljednje vrijeme na tržištu tiskarskih strojeva povećao se broj visokoproduktivnih elektrofotografskih strojeva. Samim time brzina otiskivanja postaje veća od 120 str/min A4 formata. Ova karakteristika omogućena je povećanjem dimenzija osnovnih komponenata u elektrofotografskoj tiskarskoj jedinici (fotoreceptori, razvijački valjci, kućište tonera). Promjena je nastala i u praškastom toneru koji u sebi sadržava nove čestice razvijača.

Cilj ovoga rada je ispitati kvalitetu visokoproduktivnog elektrofotografskog stroja Konica Minolta AccurioPress C12000 čija je brzina otiskivanja 120 A4 kolornih stranica u minuti, te utvrditi kako promjena linijature od 100, 190, 270 lpi utječe na realizaciju CMYK kolornog otiska. To je omogućeno korištenjem RIP-a Fiery IC-318. Korištena tiskovna podloga u eksperimentu bila je ofsetni papir Fedrigoni Splendorgel Extra White gramature 160 g/m². Veličina otisnute naklade bila je 60 primjeraka od kojih je 12 nasumično izabrano. Kao ciljane referenca uzeta je Fogra 52 (Ugra/Fogra Media Wedge klin od 74 polja). Dobiveni CMYK otisci su analizirani kolorimetrijskom metodom (X-Rite eXact Advanced) uz određivanje kolornih promjena CIELAB, ΔE , ΔL , ΔC nastalih međusobnom komparacijom. Dodatno je ispitana i ujednačenost otisnute naklade pri čemu se je detaljno praćen testni interval unutar 60 sekundi (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 i 60 otisak). Za grafički prikaz rezultata korišten je program Origin Pro 8.5.

Rezultati prikazuju da su kolorne oscilacije manje pri tisku s FM rasterom te linijaturi od 190 lpi AM rastera. Linijatura od 100 lpi-a se pokazala kao najlošiji izbor. Oscilacije kroz vremenski period od 60 sekundi su znatno veće u drugom testnom intervalu odnosno od 35. do 60. sekunde.

KLJUČNE RIJEČI:

- visokoproduktivna elektrofotografija, kvaliteta otiska, CIELAB, ΔE_{2000} , Fogra 52, ujednačenost naklade

ABSTRACT

Recently, the number of high-performance electrophotographic machines with a speed of more than 120 ppm A4 format has increased on the market of printing machines. This is made possible by improving the basic components in the electrophotographic printing unit (photoreceptors, developer rollers and toner cartridges for the machines. There has also been a change in the type of toner powder, which uses less energy and has new developer particles.

The aim of this paper is to examine the quality of a high-performance Konica Minolta Accuriopress C12000 electrophotographic machine with a print speed of 120 ppm A4 color pages and to determine how a change in screening at 100, 190, 270 lpi affects the realization of CMYK color prints. This was made possible using RIP Fiery IC-318. The printing substrate used in the experiment was standard Splendorgel offset paper with a grammage of 160 g / m², and therefore the Fogra 52 (Ugra/Fogra Media Wedge of 74 fields) was taken as a reference. The obtained CMYK prints was analyzed using the colorimetric method (X-Rite eXact Advanced) with the determination of color changes of CIELAB, ΔE , ΔL , ΔC caused by mutual comparison. The uniformity of the printed edition will be additionally examined, and the test interval of 60 seconds will be monitored in detail (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 prints). Origin Pro 8.5 was used to graphically display the results

The results show that the color oscillations are lowest when printed with an FM raster and with 190 lpi AM raster screening. The most inferior results are visible with a 100 lpi raster screening. Oscillations over a period of 60 seconds are significantly higher in the second test interval ie., I from 35 to 60 seconds in the primary run.

KEY WORDS:

- high-productivity electrophotography, print quality, CIELAB, ΔE_{2000} , Fogra 52, uniformity of volume

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Povijesni razvoj elektrofotografije	2
2.2. Uvod u elektrofotografiju.....	3
2.3. Osnovni princip rada elektrofotografije	4
2.4. Faza nabijanja	6
2.4.1. Pozitivno nabijanje fotoreceptora	6
2.4.2. Negativno nabijanje fotoreceptora	8
2.4.3. Kombinirano nabijanje fotoreceptora	10
2.5. Osvjetljavanje fotoreceptora	11
2.5.1. Princip pozitivskog osvjetljavanja.....	11
2.5.2. Princip negativskog osvjetljavanja	13
2.5.3. Jedinice za osvjetljavanje.....	14
2.6. Razvijanje fotoreceptora praškastim tonerom	15
2.6.1. Jednokomponentni sistem razvijanja	15
2.6.2. Dvokomponentni sistem razvijanja.....	17
2.6.3. Razvijanje EA tonerom	18
2.7. Prijenos tonera	19
2.8. Fuziranje (rastaljivanje tonera)	20
2.8.1. Fuziranje vrućim valjcima.....	21
2.8.2. Fuziranje formiranom NIP zonom	22
2.8.3. Fuziranje tvrdim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom	23
2.8.4. Fuziranje mekim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom.....	24
2.8.5. Fuziranje bazirano na elektromagnetskom induciranom zagrijavanju ...	25
2.8.6. Fuziranje zračenjem.....	26
2.9. Čišćenje fotoreceptora (praškasti toner).....	27

2.10.	Visokoproduktivni EP strojevi nove generacije.....	28
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	35
3.1.	Metodologija rada	35
3.2.	Korišteni uređaji.....	39
3.2.1.	Konica Minolta AccurioPress C12000.....	39
3.2.2.	X-Rite eXact Advanced.....	43
3.2.3.	Color iQC softver	44
3.3.	Korišteni materijali	47
3.3.1.	Toner Simitri V generacije.....	47
3.3.2.	Papir Splendorgel Extra White	48
4.	REZULTATI I DISKUSIJA	49
4.1.	Kolorne razlike procesnih boja.....	49
4.2.	Kolorna razlika spotnih boja	60
4.3.	Kolorimetrijska postojanost procesnih boja u periodu od 60 sekundi	71
4.4.	Kolorimetrijska postojanost spotnih boja u periodu od 60 sekundi	79
5.	ZAKLJUČAK	86
6.	LITERATURA.....	87
7.	POPIS SLIKA I TABLICA	90
7.1.	Popis slika	90
7.2.	Popis tablica	94
8.	PRILOZI	95

1. UVOD

Digitalni tisak već godinama bilježi svoj konstantni razvoj. On je ostvaren s primjenom novih tehnologija koje podrazumijevaju personalizaciju tiskanih proizvoda i integraciju s ostalim proizvodnim procesima. Među velikim brojem tehnika digitalnog tiska, posebno se ističe princip elektrofotografije (*EP=engl. Electrophotography*). U ovom radu su detaljno opisana temeljna načela elektrofotografije s naglaskom na suvremenu verziju strojeva koji koriste novu vrstu tonera. Na temelju dobivenih rezultata ustvrdili smo smjer u kojem bi s tehnika otiskivanja trebala kretati kako bi se povećala efikasnost otiskivanja odnosno koji su rasteri i linijature povoljne za ostvarivanje optimalnog otiska.

Najmoderniji elektrofotografski strojevi ostvarili su mogućnost otiskivanja brzinama većim od 120 str/min. Uslijed povećanja brzine i primjenom složenog načina otiskivanja strojeva očekuje se veća oscilacija tonske vrijednosti proizvedenih otisaka (osobito pri završetku otisnute naklade). Budući da novi suvremeni EP strojevi koriste i nove EA (*EA=engl. Emulsion Aggregation*) tonere omogućeno je lakše postizanje kolornih reprodukcija koje su u skladu s tiskanim standardom. Analogno opciji promjene izlazne rezolucije ostvarit će se bolji i kvalitetniji rezultati te će rasponi tonova biti ujednačeniji.

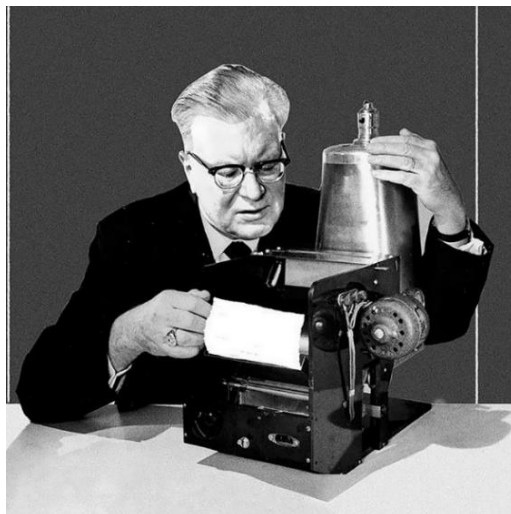
Cilj ovog diplomskog rada je napraviti detaljnu analizu trenutno najproduktivnijeg elektrofotografskog stroja Konica Minolta AccurioPress C12000 i utvrditi njegova odstupanja od tiskanog standarda. Pri tome će se varirati stohastički (frekventno modulirani) i konvencionalni amplitudni rasteri različitih linijatura. Dodatan cilj nam je ispitati postojanost i kvalitetu otisaka ostvarenih s EA tonerima nove generacije.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijesni razvoj elektrofotografije

Kao rezultat višegodišnjeg istraživanja, Chester Carlson je uspješno dobio otisak s praškastim bojilom. Ovaj povijesni otisak ostvaren je 1938. godine u hotelu Astoria u Queensu (USA). Navedeni eksperiment je patentiran te je pritom korištena mikroskopska staklena pločica na kojoj je uspješno tonerom ispisan "10.-22.- 38 ASTORIA", odnosno datum kada se eksperiment izveo. Carlson je pri izradi jednostavnog uređaja za fotokopiranje koristio selektivno neutralizirane površine poluvodiča koje su prethodno bile nabijene. Nakon toga je slijedilo razvijanje pomoću elektrostatički nabijenog praškastog pudera. Za formiranje takve tiskovne forme korištena je cinkova ploča koja je prethodno bila premazana sumporom. Nakon toga je uz pomoć trljanja pamučnom maramicom elektrostatički nabijena u zamračenoj prostoriji. [1]

Proces osvjetljavanja bio je kratkotrajan te se odvijao kroz originalno mikroskopsko staklo. Likopodijski prašak se nanio i apsorbirao na sumpornoj površini te je naknadno otpuhnut s osvjetljenih površina. Prijenosom likopodijskog praška na voštani papir dobiven je vidljivi otisak na kojem se morao provesti proces taljenja (kako bih se vosak skrutio i ostvario suh i trajan otisak).



Slika 1. Chester Carlson i eksperiment izvođenja EP procesa
[Izvor: Official blog of Terry Tietzen; Chester Carlson – Ahead Of His Time,
<https://www.teetee.us/chester-carlson-ahead-of-his-time/>]

Godine 1944. njegov rad prepoznaje Institut Battelle i tvrtka Harold (današnji Xerox) te Carlson uz njihovu pomoć nastavlja svoje istraživanje. Godine 1959. predstavljen je i prvi komercijalni kserografski stroj koji je rezultat toga istraživanja. Samim time on postaje temeljem svih budućih fotokopirnih strojeva. Fotokopirni proces se naknadno automatizirao. Međutim, masovna primjena digitalnog elektrofotografskog tiska u grafičkoj industriji započela je u 90-im godinama prošloga stoljeća.

2.2. Uvod u elektrofotografiju

Kroz duži vremenski period digitalne tehnologije otiskivanja nisu dosegle svoj maksimum po pitanju kvalitete, brzine proizvodnje i troškova. Međutim, u posljednjih nekoliko godina, elektrofotografski tisak je primjetno unaprijeđen te je postao istinska alternativa u nekim sektorima tržišta tiskanih medija.

NIP tehnologije (*NIP=engl. Non Impact Printing*) su karakteristične po tome što ne koriste standardnu tiskovnu formu već sadrže varijabilnu formu koja se stvara iznova pri svakom otiskivanju. Varijabilna tiskovna forma pri tome omogućuje personalizirane i dizajnom različite otiske što se uglavnom negativno odražava na kvalitetu otiska, odnosno dolazi do kolornog odstupanja tijekom procesa tiska. Iako je sam fotokopirni proces složeniji od karakterističnog konvencionalnog, razvoj elektrofotografije je uvelike utjecao na današnje tržište često ponavljanih malih naklada.

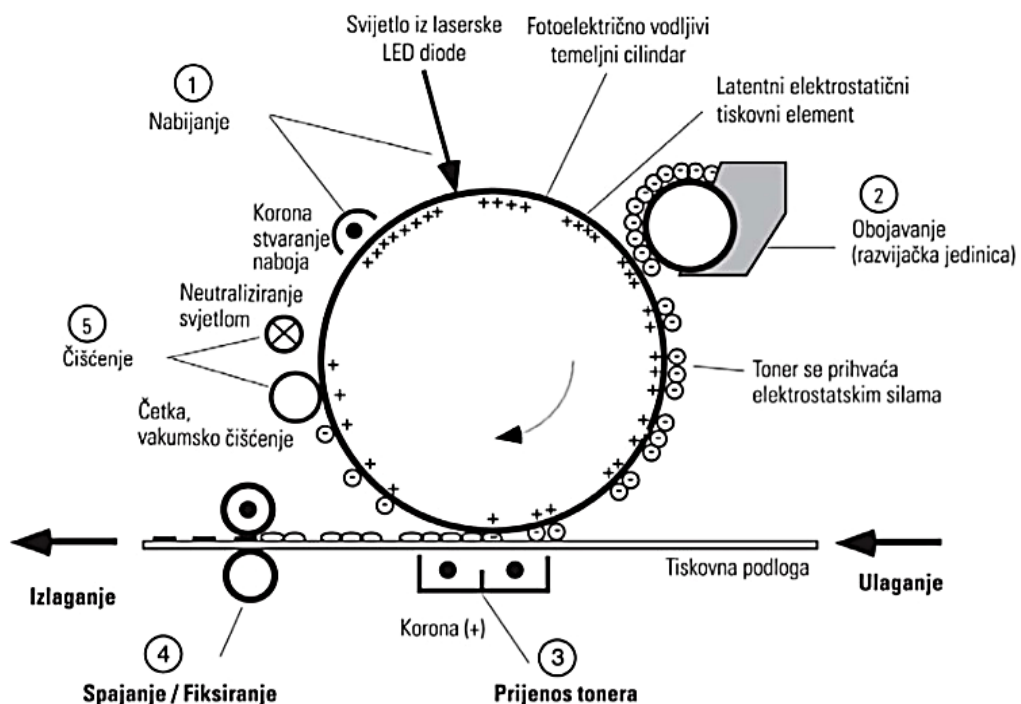
Elektrofotografija je svoj naziv dobila po svom načinu ispisa odnosno po fotoelektričnom efektu po kojem je specifična. Fotokopirni proces je povoljniji za tisak malih naklada i poslove koji uključuju varijabilne informacije u usporedbi s klasičnim tehnikama tiska. Razlog tome je to što se slika može lako potpuno promijeniti za svaki otisnuti primjerak. U digitalnom tisku, osim elektrofotografije, popularne su još i Inkjet tehnologija, termografija, ionografija, magnetografija, itd.

[2]

2.3. Osnovni princip rada elektrofotografije

Osnovna komponenta svakog elektrofotografskog stroja je fotokonduktor. Elektrofotografija je okarakterizirana fizikalnom pojavom fotoelektričnog efekta koji je specifičan za električki nevodljive ili slabo vodljive kristalne strukture. Kako bi se povećala električna provodljivost pojedinih kristala potrebno je na njih djelovati svjetlošću jačeg intenziteta pri čemu se mijenja sama struktura kristala.

Tiskovni elementi i slobodne površine na virtualnoj tiskovnoj formi se razlikuju u energetske potencijalu. Kako bi tiskovna forma postala vidljiva i spremna za otiskivanje potrebno je nanijeti toner suprotnog elektronskog potencijala na tiskovne elemente. Formiranje otiska se obvezno provodi u šest osnovnih faza, to su: nabijanje fotokonduktorskog bubnja, osvjetljivanje fotokonduktorskog bubnja, razvijanje fotokonduktorskog bubnja, prenošenje tonera s fotokonduktora na tiskovnu podlogu, fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi i čišćenje fotokonduktora od ostatka tonera. Na slici 2 prikazan je shematski prikaz osnovnih karakteristika i princip nastajanja jednog otiska. [5]



Slika 2. Osnovni princip rada elektrofotografije
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

Kada je riječ o indirektnoj elektrofotografiji, u tom slučaju elektrofotografski proces se odvija u sedam faza. Dodatna faza predstavlja prijenos tonera s fotokonduktora na prijenosni medij preko kojega toner putuje prema tiskovnoj podlozi. Indirektni princip se primjenjuje da bi se povećala kvaliteta reprodukcije na otisku.

Kako bi se izveo elektrostatski proces, potrebno je kontrolirati elektrostatski naboj fotoreceptora i čestice tonera koje će se nanijeti u prethodno narednim fazama. Fotoreceptor predstavlja osnovu cijelog procesa te mu je funkcija da od digitalne odnosno analogne slike stvori latentnu sliku. Potom se latentna slika u fazi razvijanja pretvara u vidljivu tonersku sliku.

Fotoreceptor je tijekom procesa nabijanja sposoban primiti i zadržati određeni naboj, odnosno u mraku se ponaša kao izolator. Prilikom izlaganja svjetlosti, isti fotoreceptor gubi naboj te se počinje ponašati kao vodič. Svaki fotoreceptor mora sadržavati najmanje dva sloja (podložni i fotovodljivi) kako bi se moglo odvijati kontrolirano elektronsko kretanje. Kao vodljivi sloj uglavnom se primjenjuju anorganski i organski poluvodiči koji predstavljaju dobre vodiče uz nisku nabavnu cijenu i jednostavno održavanje. Podložni sloj se sastoji od aluminijskog koji ima ulogu zadržavanja ujednačenog naboja po cijeloj površini fotoreceptora te kontrolu snage elektrostatskog polja. Također, podložni sloj omogućava elektroničko uzemljenje fotoreceptora. [2]

Fotovodljivi sloj omogućava prijenos naboja nastalih djelovanjem svjetlosti. Najčešći materijali koji se primjenjuju u izradi fotovodljivog sloja su: selenske legure, kadmijev sulfid, arsen triselenid, amorfni silikon i organski spojevi. Organski receptori se uglavnom sastoje od dva fotovodljiva sloja odnosno sloja u kojem se naboj stvara i sloja u kojem se transportira naboj. Osim već navedenih slojeva, organski slojevi još sadrže i barijerni sloj koji se primjenjuje prilikom pozitivskog osvjetljavanja čija je uloga sprječavanje laganog protoka elektrona između nosećeg i gornjeg sloja. Budući da selen nema dovoljno dobra svojstva za dugotrajno kvalitetno otiskivanje, potrebno je selen kombinirati s nekim drugim materijalima poput arsena, anitmona ili telura. Selenski fotokonduktor sadrži oksidni sloj koji se nalazi između fotovodljivog i nosećeg sloja.

Uloga navedenog sloja je da služi kao vodič fotovodljivog sloja te da sprečava kretanje elektrona u smjeru podloge koja je uzemljena. Suvremeni organski fotoreceptori sadrže zaštitne slojeve s ftalocijanidnim pigmentom kako bi im se povećala svjetlosna postojanost. Iako se ftalocijanidi mogu pronaći u dvije boje (zelenoj i plavoj) suvremeni receptori su karakteristični po svojoj plavoj boji. Razlog tome je što čestice plavog ftalocijanidnog pigmenta uspješno reflektiraju UV-C područje spektra te onemogućuju prolazak te svjetlosti u strukturu fotoreceptora. Fotoreceptori nove generacije tako su zadovoljili mnoge uvjete te se primjenom novih materijala trajanje fotoreceptora produžilo čak tri puta više u odnosu na prethodne verzije.

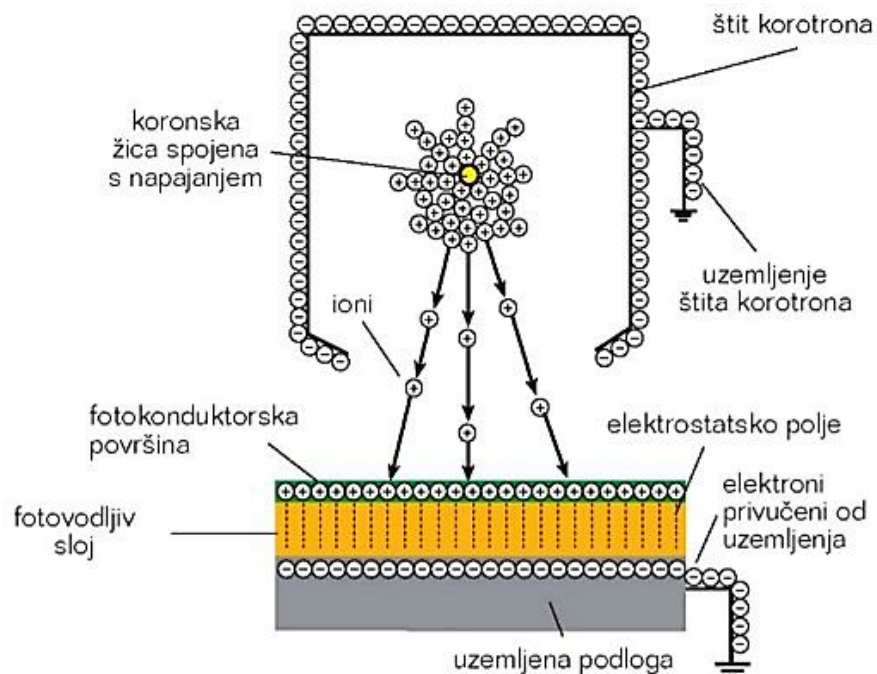
2.4. Faza nabijanja

Prva faza pri otiskivanju elektrofotografskim procesom podrazumijeva nabijanje fotoreceptora. Budući da fotoreceptor ima svojstva poluvodiča, on se na početku procesa ponaša kao izolator te se pritom ne izlaže svjetlosti. Za ostvarenje kontroliranog procesa nabijanja potrebno je na površini fotoreceptora stvoriti nabijene molekule zraka. Za to se primjenjuje jedinica za nabijanje fotoreceptora koja sadrži specijalni izvor napajanja. Odabir jedinice za nabijanje definira primjenu korotrona ili skorotrona, odnosno korotron se primjenjuje pri pozitivnom dok se skorotron primjenjuje pri negativnom ionskom nabijanju. [28]

2.4.1. Pozitivno nabijanje fotoreceptora

Pozitivno nabijanje se odvija korotonom koji uz pomoć fotoreceptora formira pozitivnije ione. Iz molekula zraka uklanja suvišni elektron s površine kako bi se na fotoreceptoru stvorio pozitivni naboj. Unutar kućišta koje je zatvoreno s tri strane nalazi se koronska tanka žica (korona) koja je građena od plemenitog materijala spojenog na izvor napajanja. Cijeli sustav koji se sastoji od izvora napajanja, korotronske kućišta i fotoreceptorske podloge je povezan s uzemljenjem. Izvor za napajanje tijekom nabijanja stvara istosmjerni napon koji se dovodi do koronske žice. Pri tome dolazi do oslobađanja elektrona koji se sudaraju s okolnim molekulama zraka.

Zbog korištenja niskog napona oslobođeni elektroni nastavljaju svoje usmjereno kretanje prema uzemljenom kućištu korotrona. Rezultat toga je nastanak jakog elektrostatskog polja između kućišta i koronske žice. Elektron koji pogodi molekulu zraka učiniće je negativnom što za posljedicu ima akumulaciju toga naboja oko kućišta. Gubitkom elektrona molekule zraka samim time postaju pozitivni ioni i okupljaju se oko koronske žice. Pozitivno nabijeni ioni se kreću u jedino mogućem smjeru što je otvor na korotronu. Proces ionizacije traje sve do trenutka zasićenja koronske žice pri čemu se stvara korona-efekt. U tom trenutku započinje stvaranje novog elektrostatskog polja između koronske žice i uzemljenog fotoreceptora. Pozitivniji ioni se kreću u smjeru fotoreceptora te se na njemu formira i pozitivno nabijena površina. Podloga fotoreceptora mora biti povezana s uzemljenjem kako bi se ostvarilo zadržavanje ujednačenog naboja na fotoreceptoru i nakon prestanka djelovanja. Uzemljena podloga mora reagirati na stvaranje prejakog pozitivnog naboja na površini fotoreceptora te iz tog razloga mora biti dobar vodič. Tako dolazi do formiranja negativno nabijenog sloja podloge te se uz pomoć uzemljenja osigurava izvlačenje dodatnih elektrona a samim time i ravnoteža ostvarenog naboja. [2]



Slika 3. Princip pozitivskog nabijanja
 [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

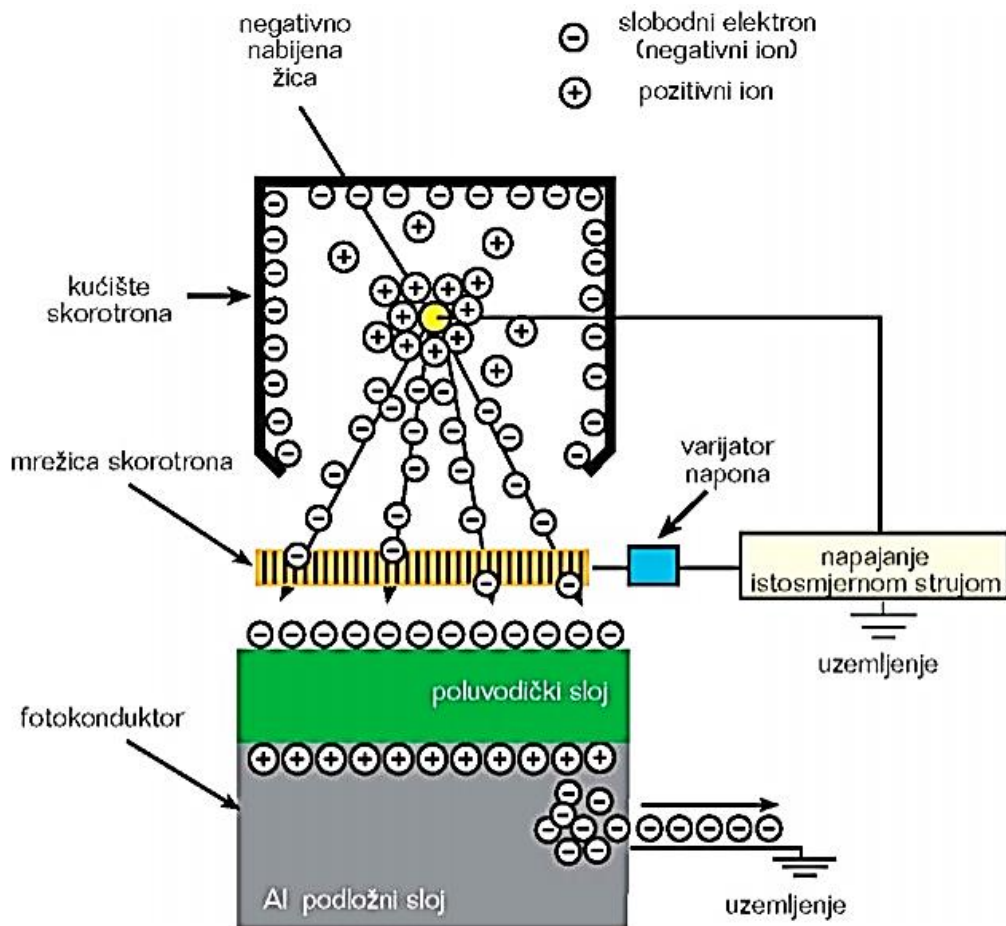
2.4.2. Negativno nabijanje fotoreceptora

Negativno nabijanje fotoreceptora izvodi se skorotromom koji za razliku od korotrona ostvaruje nabijanje s negativno nabijenim molekulama zraka. To se odvija kada određena površina odnosno molekula sadrži veći broj elektrona. Značajna razlika između pozitivskog nabijanja i nabijanja skorotromom je u dodatnoj žičanoj mrežici koja je smještena na otvorenoj strani kućišta. Skorotronska kućište, za razliku od korotronske, pri nabijanju nije uzemljeno što omogućava emisiju negativno nabijenih iona u smjeru fotoreceptora. Pri radu skorotrona, jedinica za napajanje stvara velik istosmjerni napon koji šalje prema skorotronske žice te je tako čini snažnim izvorom emitiranja elektrona. Pri navedenom emitiranju dolazi do formiranja tri elektrostatska polja: polje između nabijene skorotronske žice i kućišta skorotrona, nabijene žice i mrežice skorotrona te nabijene mrežice i uzemljenog fotoreceptora.

U prostoru između skorotronske žice i skorotronske kućišta dolazi do intenzivnog sudaranja elektrona s molekulama zraka što rezultira procesom ionizacije. Do prestanka procesa ionizacije dolazi prilikom zasićenja zraka negativnim ionima oko skorotronske žice. Da se to ne desi potrebno je konstantno osigurati dotok svježeg zraka pri čemu je gornja površina skorotrona šupljikava.

Naknadno započinje kretanje slobodnih elektrona (iona) u smjeru skorotronske mrežice te se formira drugo elektrostatsko polje između korone i skorotronske žice. Pritom uz negativno oklopljena kućišta dolazi do odbijanja negativnih iona te samim time ostvaruje se preduvjet za stvaranje elektrostatskog polja između skorotronske žice i uzemljenog fotoreceptora. Rezultat toga je formiranje negativnog naboja na površini fotoreceptora.

Skorotronska mrežica ovdje ima ulogu kontrole prolaska elektrona (iona) odnosno regulacije jačine nabijanja kako bi se ostvario ujednačeni naboj na fotoreceptoru. Bez prisustva skorotronske mrežice došlo bi do nekontroliranog zasićenja fotoreceptora negativnim nabojem te bi on kao takav postao beskoristan. [2]



Slika 4. Princip negativskog nabijanja

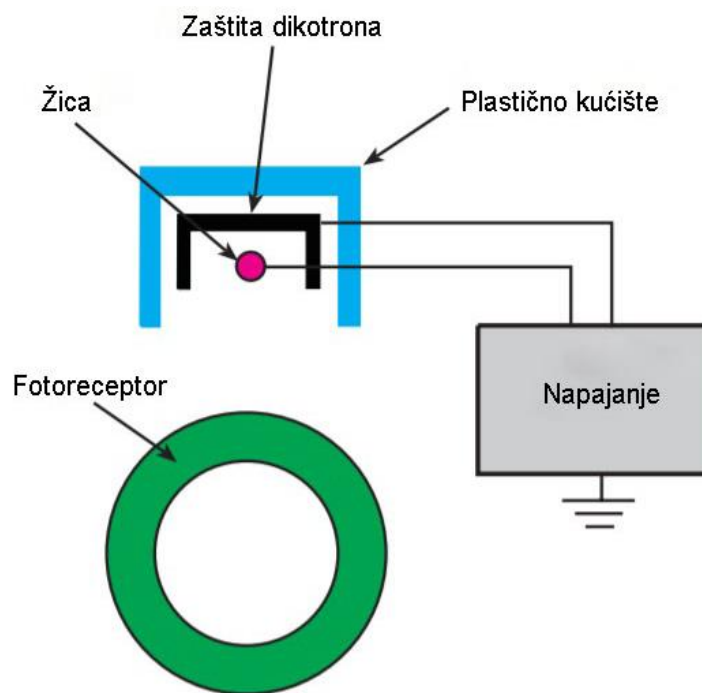
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

Putem dodatnog uređaja za varijaciju napona, skorotronska žica je spojena indirektno s uređajem za napajanje kako bi se snaga elektrostatskog polja između skorotronske žice i fotoreceptorske površine mogla dodatno modificirati. Prilikom stvaranja željenog napona, skorotronska žica započinje s selektivnim propuštanjem negativnih iona koji nastavljaju gibanje u smjeru fotoreceptora. Prilikom zasićenja mrežice dolazi do prestanka nabijanja fotoreceptora te površinski sloj na fotoreceptoru postaje ujednačeno negativno nabijen. [23]

2.4.3. Kombinirano nabijanje fotoreceptora

Uređaj za kombinirano nabijanje naziva se dikotron. Osnovu dikotrona čini centralno pozicionirana dikotronska žica koja je po sastavu slična koroni. Za razliku od korotrona, dikotronska žica je omeđena plastičnim kućištem s tri strane. Odnosno, dikotron koristi izmjeničnu struju prilikom čega se dikotronska žica napaja izmjeničnom strujom. Prednost napajanja izmjeničnom strujom je u tome što se mogu istovremeno stvarati pozitivni i negativni naboji, a samim time i tiskovni elementi s pozitivnim i negativnim predznakom.

Budući da se prilikom napajanja napaja i zaštitni oklop (ovisno naponu izmjenične struje) dikotron formira višak pozitivnog ili negativnog naboja. Vrijednost napona je lako promjenjiva te se dikotron koristi kod samoregulirajućih elektrofotografskih sustava. [2]



Slika 5. Shematski prikaz dikotronske konstrukcije
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

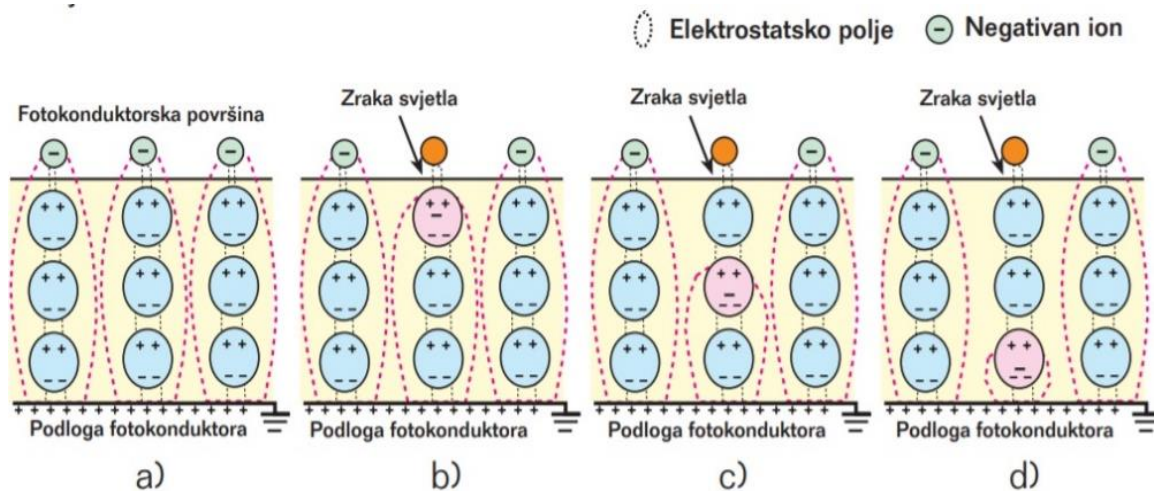
2.5. Osvjetljavanje fotoreceptora

Faza osvjetljavanja predstavlja drugi korak u elektrofotografskom procesu pritom se izvode promjene napona na fotokonduktoru odnosno projekcija željenih informacija slike. Promjenom naboja, odnosno neutralizacijom fotoreceptora, definiramo negativsko CAD (*CAD=engl. Charged Area Development*) ili pozitivsko DAD (*DAD=engl. Discharged Area Development*) osvjetljavanje. Vrsta osvjetljavanja oslikavanja uvjetuje hoće li buduća virtualna slika biti formirana kao pozitivska ili negativska slika. Kako bi se ostvarilo negativsko osvjetljavanje, površinu fotokonduktora je potrebno prethodno pozitivno nabiti dok se kod pozitivskog osvjetljavanja koristi prethodno negativno nabijena fotokonduktorska površina. Kod elektrofotografskog otiskivanja s negativskim osvjetljavanjem, izložena je poprilično velika fotokonduktorska površina. Negativski princip osvjetljavanja koristi se kod jednostavnijih CB produkcija zato što se neosvijetljeni elementi ne mogu nijansirati. Pozitivsko osvjetljavanje direktno se primjenjuje na buduće tiskovne koje zahtijevaju modulaciju intenziteta laserskog zračenja. Osvijetljeni tiskovni elementi impliciraju različit elektrostatski potencijal koji će u narednoj fazi razvijanja postati različitih gustoća obojenja. Dobra rasterska reprodukcija omogućena je tako malom veličinom tiskovnih elemenata formiranih na fotokonduktoru.

2.5.1. Princip pozitivskog osvjetljavanja

Negativno nabijena površina je osnovni preduvjet za ostvarivanje pozitivskog nabijanja odnosno potrebno je izvesti elektrostatsku pripremu fotokonduktora za sam proces osvjetljavanja. Kako bi se dobila negativno nabijena površina potrebno je ionizirati vanjski sloj fotokonduktora prilikom skorotronske nabijanja kako bi se formirao negativni naboj na površini fotokonduktora.

Na slici 6 prikazan je proces migracije naboja tijekom pozitivskog osvjetljavanja: a) Neosvijetljeni fotoreceptor, b) Početak osvjetljavanja fotoreceptora, c) Trajanje osvjetljavanja fotoreceptora, d) Prestanak osvjetljavanja fotoreceptora.



Slika 6. Princip pozitivnog osvjetljavanja

[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.]

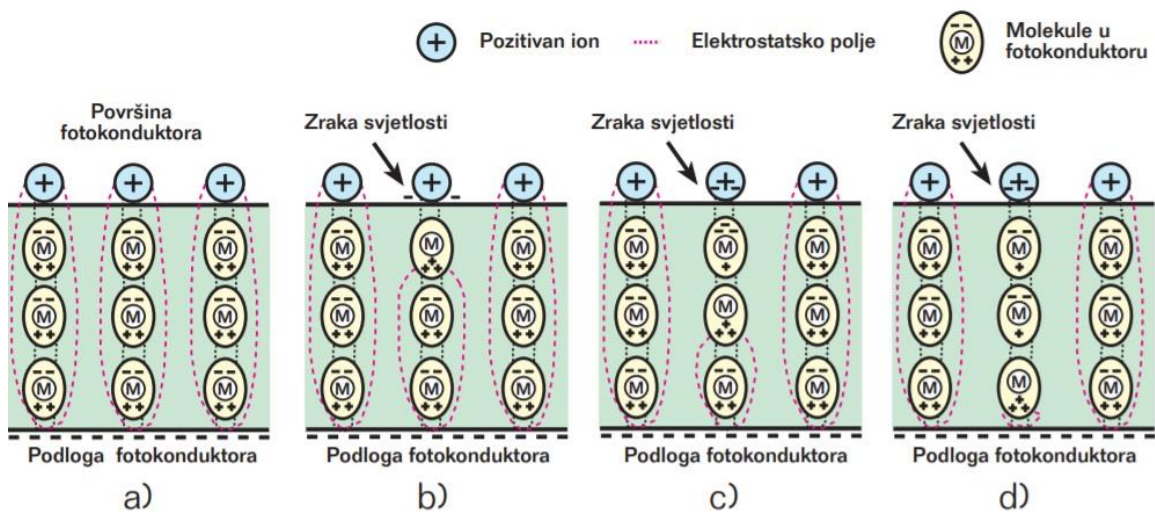
Da bi se ostvarila promjena naboja površine fotoreceptora potrebno je izvršiti osvjetljavanje laserom. Unutar fotokonduktora, odnosno u njegovom centralnom sloju za vrijeme djelovanja lasera smanjuje se snaga formiranog elektrostatskog polja. Slobodno kretanje elektrona unutar molekula odvija se sve do neutralizacije tiskovnih površina. Prilikom osvjetljavanja dolazi do kretanja elektrona u smjeru uzemljenja odnosno započinje procesom redukcije negativnog površinskog naboja. [2]

Navedena pojava rezultira pomakom elektrostatskog polja koje se spušta naniže te se smješta između pozitivno nabijene podloge i negativno nabijene molekule transportnog sloja. Daljnju migraciju elektrona u smjeru niže smještenih molekula u poluvodiču izazivaju elektroni u molekuli. Postupno dolazi do neutralizacije površinskog negativnog naboja. Uslijed posljednje migracije dolazi do potpune neutralizacije površinskog fotoreceptora i stvaranja pozitivne slike.

2.5.2. Princip negativskog osvjetljavanja

Analogno pozitivskom načinu osvjetljavanja, kod negativskog osvjetljavanja je potrebno prethodno pozitivno nabiti fotokonduktor. Pozitivni naboj koji je formiran na površini fotokonduktora treba biti konstantan te se jednoliko distribuirati po čitavoj površini. Prilikom procesa osvjetljavanja smanjuje se elektrostatsko polje između površine i podloge fotokonduktora uslijed izvođenja fotokemijskih reakcija. Proces započinje na molekulama poluvodiča koje se nalaze najbliže vanjskoj nabijenoj površini fotokonduktora. Molekule uslijed djelovanja svjetlosti postaju negativnije te se šupljine gibaju u smjeru uzemljenja. Snažno elektrostatsko polje se postupno smanjuje pri čemu dolazi do pomaka na niže razine. Postupak se ponavlja do trenutka potpune neutralizacije površine fotokonduktora. [23]

Na slici 7 prikazan je proces migracije naboja tijekom pozitivskog osvjetljavanja: a) Neosvijetljeni fotoreceptor, b) Početak osvjetljavanja fotoreceptora, c) Trajanje osvjetljavanja fotoreceptora, d) Prestanak osvjetljavanja fotoreceptora.



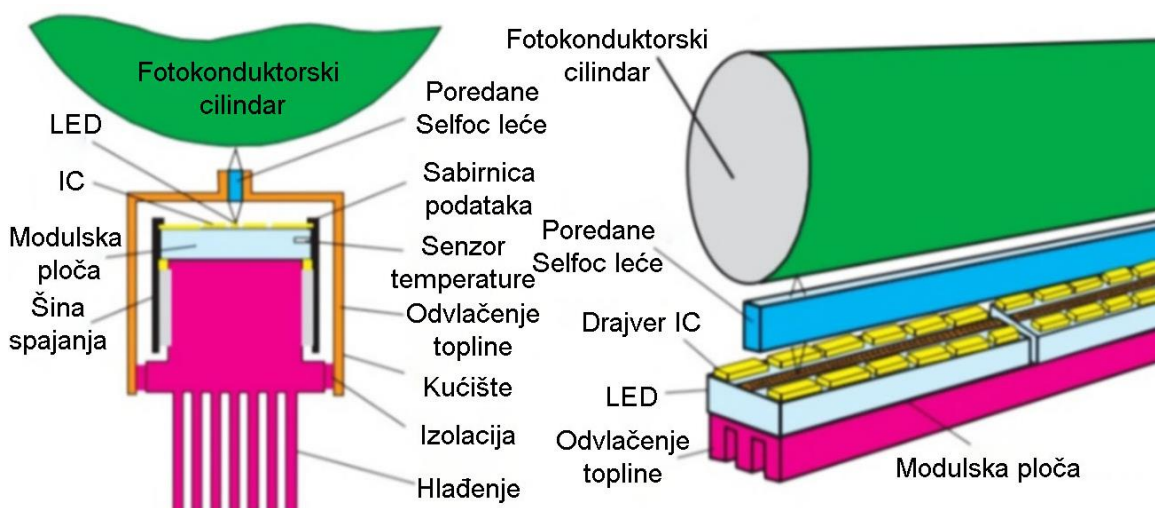
Slika 7. Princip negativskog osvjetljavanja

[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

2.5.3. Jedinice za osvjetljavanje

Sukladno tehnologijama koje se upotrebljavaju u fazi neutralizacije, postoje dva tipa elektrofotografskih uređaja za osvjetljavanje. To su: ROS (ROS=*engl. Raster Optical Scanners*)–tehnologija na bazi „rasterskih optičkih skenera“ i LED (LED=*engl. Led Emitting Diodes*)– tehnologija na bazi svjetlo emitirajućih dioda . Primjena ROS tehnologije je karakteristična pri uporabi manje kvalitetnih stolnih laserskih printera. U početku se koristio plinski laserski izvor spojen na akustičko optički modulator. Danas se uglavnom koriste laserske diode. Budući da je laserske diode moguće direktno modulirati, one su danas u potpunosti zamijenile dotadašnje komplicirane laserske izvore. Ovisno o konstrukciji ROS ispisnih glava, razlikujemo: laserske glave s jednom ispisnom zrakom, laserske glave s korekcijskom optikom, laserske glave s dvije ispisne zrake i laserske glave s različitom rezolucijom ispisivanja.

LED tehnologija se sve više koristi u suvremenim tipovima EP jedinica za osvjetljavanje. Ovisno o načinu spajanja u linijske blokove razlikujemo LED laserske glave prve i druge generacije. LED laseri sadržavaju veći broj svjetlosnih izvora koji točno odgovaraju poziciji formiranog tiskovnog elementa. Na taj način je ostvarena mogućnost ispisa velikim brzinama budući da broj blokova može multipliciran. Na slici 8 prikazano je primjer osvjetljavanja na tiskarskom stroju Xeikon 8000. [2]



Slika 8. Prikaz LED ispisne šipke I. generacije
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

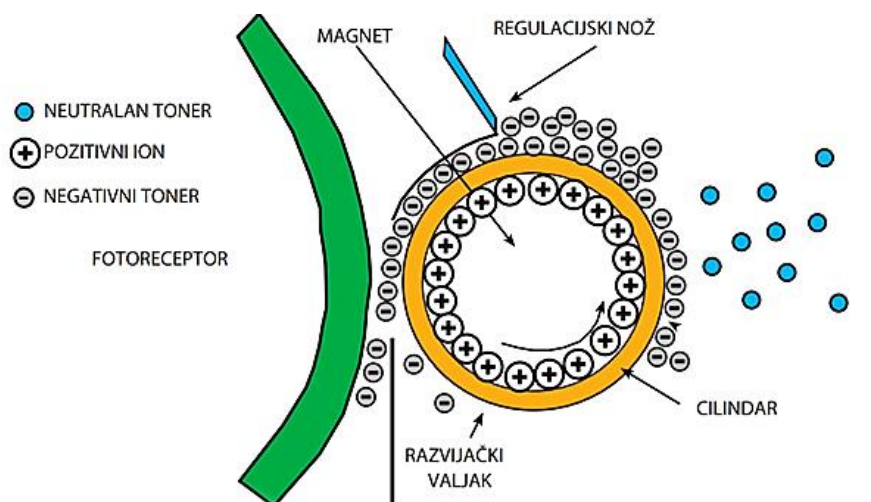
2.6. Razvijanje fotoreceptora praškastim tonerom

Svrha razvijanja u elektrofotografiji je u tome da se latentna slika nakon nanošenja tonera postane vidljiva. Kako bi se toner selektivno kretao u smjeru latentne tiskovne forme, potrebno je čestice tonera nabiti odgovarajućim nabojem. Odnosno, nakon izvršenog nabijanja slijedi distribucija tonera iz spremnika prema prethodno osvjetljenom fotoreceptoru.

Budući da sastav tonera utječe na konstrukciju uređaja za razvijanje, u primjeni su najčešća dva sistema razvijanja. To su jednokomponentni sistem razvijanja i dvokomponentni sistem razvijanja. [2]

2.6.1. Jednokomponentni sistem razvijanja

Jednokomponentno razvijanje se primjenjuje kod sistema s negativno nabijenom fotoreceptorskom površinom. Naziv je dobilo po toneru kojeg čini samo jedna komponenta, tj. kolorno obojeni toner. Sastav jednokomponentnih tonera je poprilično jednostavan te mu se osnova sastoji od magnetskog materijala (željeza) namijenjenog za nabijanje. Tijekom procesa njegove proizvodnje magnetski materijal se uranja u crnu plastičnu smolu čija je uloga da se nakon taljenja prihvati za papir. Prethodno je potrebno izvršiti nabijanje tonera kako bi se omogućilo njegovo kretanje u smjeru fotoreceptora. Na slici 9 prikazan je pojednostavljeni prikaz nanašanja jednokomponentnog tonera.



Slika 9. Shematski prikaz sistema s jednim razvijačkim valjkom
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

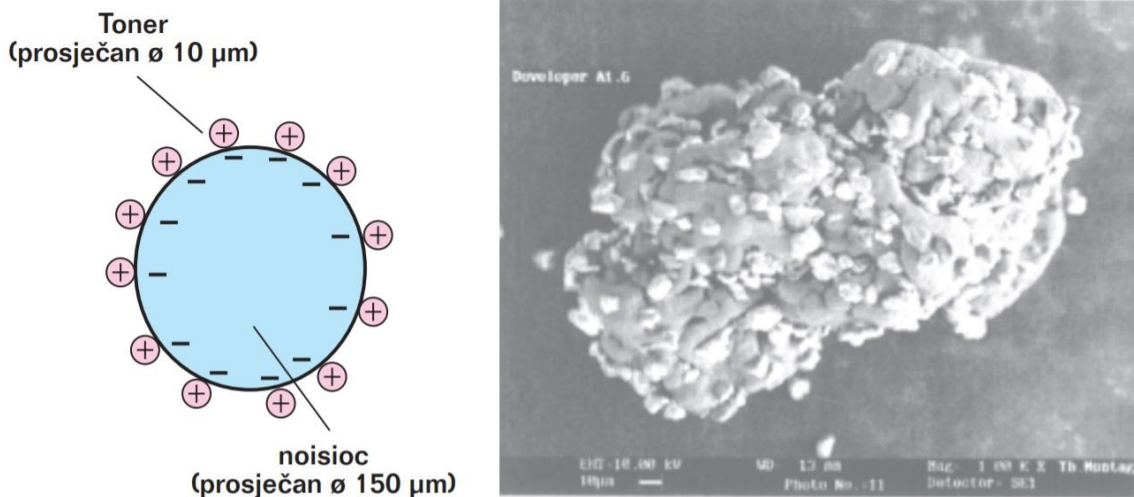
Nakon procesa nabijanja slijedi proces razvijanja. On se provodi u razvijačkoj jedinici koja se sastoji od tonera, razvijačkog valjka i regulacijskog noža. Osnovu nanašanja čini permanentni magnet koji se nalazi unutar razvijačkog valjka gdje se rotacijom valjka stvara trenje između čestica tonera. Navedenom rotacijom dolazi do magnetiziranja odnosno do stvaranja negativno nabijenog tonera odnosno formiranja magnetskog polja između magneta i nositelja tonera. Regulacijski nož koji se nalazi u neposrednoj blizini rotirajućeg valjka kontrolira predviđeni nanos tonera te se neiskorišteni toner vraća natrag u kućište.

Osim principa s jednim razvijačkim valjkom, postoji mogućnost korištenja dodatnog valjka za miješanje tonera. Pri tome se na površini razvijačkog valjka stvara naboj izazvan dodatnim trenjem uzrokovanim međusobnim kontaktom. Pozitivniji naboj formiran na razvijačkom valjku osigurava bolje i brže prihvaćanje čestica tonera za magnetski valjak.

Faza nastajanja tonerske slike izvodi se u nekoliko koraka. Proces započinje pomicanjem tonera s razvijačkog valjka na tiskovne elemente fotoreceptora. Tijekom formiranja tonerskog sloja pozitivan naboj izaziva kretanje negativnog tonera. Čestice negativnog tonera se usmjeravaju k pozitivnim dijelovima fotoreceptora (tiskovni elementi) koji se zadržavaju uslijed ostvarenog elektrostatskog polja toner-podložni sloj. Kako bi se ostvarilo kontinuirano prihvaćanje tonera potrebno je da razvijački valjak bude spojen s uređajem za napajanje koji distribuira istosmjernu struju. Dodatno kontrolirano elektrostatsko polje (između razvijačkog valjka i tonera) djeluje tako da različito odbija toner i da se lakše odvoji s površine razvijačkog valjka. Pritom se nanos tonera dodatno regulira razmakom regulacijskog noža u odnosu na razvijački valjak. Da bi došlo do dobrog prihvaćanja, u zonama između slobodnih površina i razvijačkog valjka morat će se formirati puno snažnije elektrostatsko odbijanje. Posljedica toga polja je izdašni prijenos tonera samo na tiskovne elemente. Primjenom slabijeg izvora istosmjerne struje dolazi do formiranja jačeg elektrostatskog polja što uzrokuje bolje nanošenje nabijenog tonera. Dobiveni otisci su slabijeg kontrasta i manjeg nanosa. Zbog toga ovakvi razvijački sistemi sadrže kontrolu otisaka mjerenjem baziranu na mjerenju optičke gustoće obojenja. Tako se denzitometrijskim mjerenjem otisaka utječe na realizaciju tiskovnih elemenata. [2]

2.6.2. Dvokomponentni sistem razvijanja

Primjena dvokomponentnog razvijanja je specifična za visokoproduktivne kolorne elektrofotografske strojeve. Da bi se ostvarilo prenašanje čestica tonera potrebno je prethodno formirati tzv. razvijač. Razvijač se sastoji od nositelja tonera i čestica obojenog tonera. Na slici 10 prikazan je izgled dvokomponentnog tonera koji je koristi pri elektrofotografskom otiskivanju.

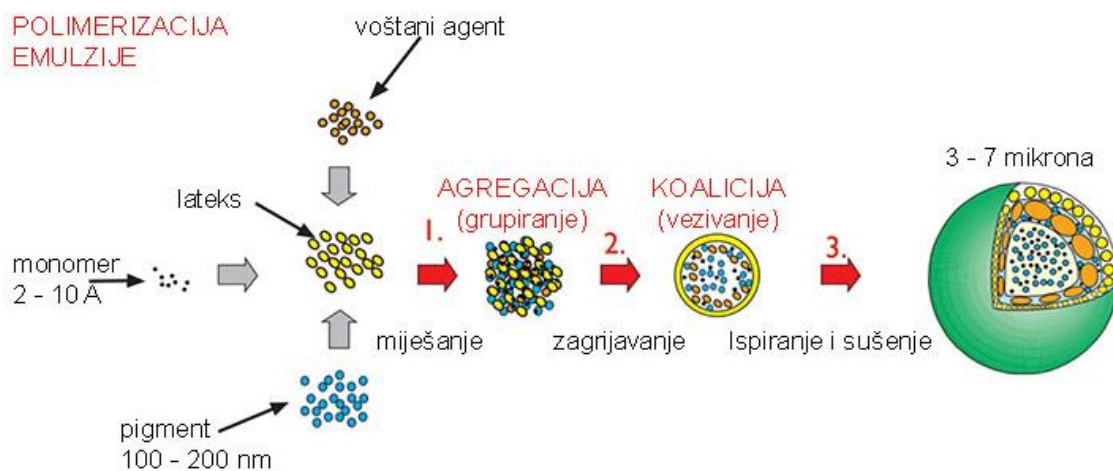


*Slika 10 Prikaz dvokomponentnog tonera za elektrofotografski tisak
[I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]*

U procesu dvokomponentnog razvijanja obvezno se koriste triboelektrični materijali koji se dovode u izravni kontakt. Tako se pri njihovom miješaju ostvaruje da je toner negativno nabijen, a nositelj tonera pozitivno nabijen. Prilikom dovođenja u kontakt pozitivno i negativno nabijenih čestica dolazi do njihovog prihvaćanja tj. do formiranja neutralne mješavine poznate kao razvijač. Dovođenjem u kontakt razvijača i fotoreceptora pozitivnije nabijena površina (tiskovni elementi) privlači samo negativnije čestice tonera. Preostala dvokomponentna mješavina se eliminira uz pomoć magnetnog valjka te se vraća nazad u razvijačko kućište. Kako bi se izbjegla neujednačena koncentracija čestica tonera u razvijačkoj jedinici, potrebno je izvršavati i bočno razribavanje. Takvo razribavanje se provodi spiralnim valjkom koji svojim aksijalnim gibanjem jednolično distribuira nove čestice kolornog tonera. [2]

2.6.3. Razvijanje EA tonerom

EA toneri se proizvode metodom emulzijske agregacije koja podrazumijeva grupiranje čestica smole, pigmenta i voska u veće i pravilnije tonerske nakupine. Proces EA razvijanja odvija se kontroliranim kemijskim procesom te su čestice nastale tom metodom značajno složenije strukture od klasičnih konvencionalnih čestica tonera. Postoje četiri vrste čestica koje se koriste pri proizvodnji EA tonera. To su: *emulzijsko-agregacijske smole (veličina čestica 1 nm)*, *pigmentne čestice (veličina čestica 100–200 μm)*, čestice voska i lateks. Na slici 11 prikazan je proces stvaranja emulzijsko agregacijskog tonera prve generacije.



Slika 11. Princip tvorničkog nastajanja EA tonera

[Izvor: I. Majnarić, *Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.*]

Čestice lateksa i monomera su vrlo sitne i kreću se u rasponu od 0,1 nm do 1 nm. U kontaktu s voskom i pigmentima (miješanjem i zagrijavanjem) ostvaruje se kemijska reakcija čiji je rezultat grupacija čestica. Sljedeća faza je separacija dobivenih nakupina po njihovoj veličini kako bi se ostvario toner točnih dimenzija. Završna faza pri izradi EA tonera je zagrijavanje koje dovodi do selektivnog vezanja osnovnih čestica pri čemu se formira konačna slojevita struktura.

EA toner ima pravilniji geometrijski oblik i manje dimenzije od konvencionalnog zbog čega manje oštećuje fotoreceptor te stvara manju potrošnju i veću kvalitetu otiska. Postoje različite varijante EA tonera. To su: EA ekotoner, EA-HG toner i ECO LGK toner. EA ekotoner zahtijeva temperaturu taljenja 20°C-50°C, nižu od konvencionalnog EA tonera, a razvijen je u svrhu uštede energije te povećanja energetske učinkovitosti. [2]

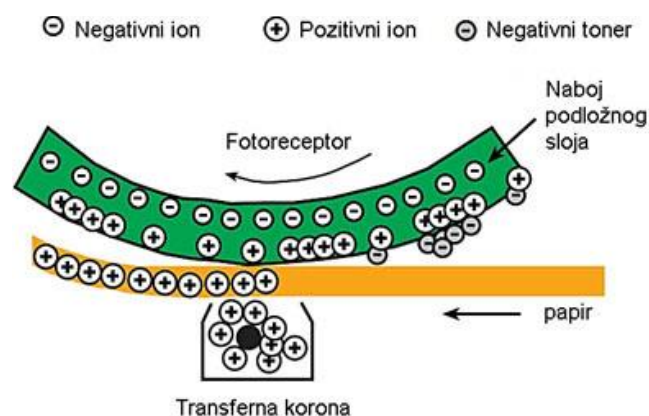
Za razliku od elektrostatskog tonera, EA-HG toner (*EA-HG=engl. Emulsion Aggregation-High Gloss*) ima modificiran sastav magente što omogućava bolju reprodukciju crvenih tonova. S takvim tonerima moguće je proizvesti tonove većeg sjaja i veće debljine nanosa.

Da bi se ostvarili otisci koji su slični litografskom ofsetu u elektrofotografiji se koriste ECO LGK toneri. ECO LGK toner (*ECO LGK=engl. Eko Less-Gloss Key*), namijenjen je za crno-bijele elektrofotografske strojeve koje se koriste pri niskim temperaturama tijekom fuziranja pa samim time i za visokoproduktivno otiskivanje.

2.7. Prijenos tonera

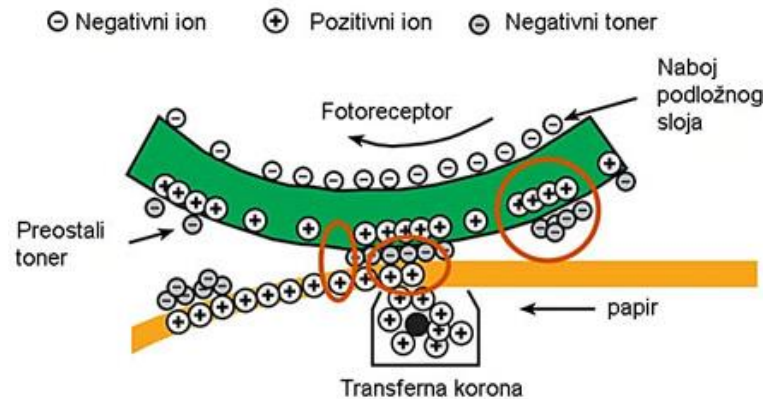
Proces prijenosa generiranih tonerskih slika na papir naziva se elektrofotografski transfer. Tijekom procesa prijenosa papir se dovodi u izravni kontakt s razvijenom slikom fotoreceptora, pri čemu se ostvaruje precizan registar. Za postizanje točnog registra potrebno je osigurati točan trenutak kretanja papira i brzine rotiranja fotoreceptora. Da bi postupak transfera bio uspješan na kraju procesa tiska papir se odvajava od fotoreceptora i napušta tiskarsku jedinicu

Radi kvalitetnijeg i uspješnijeg prenošenja tonera na papir, početna faza procesa prijenosa tonera na papir izvodi se pomoću transferne korone. U ovoj fazi prvo dolazi do formiranja pozitivnog naboja na papiru a zatim do generiranja elektrostatskih polja u zoni transfera. Moguć je tisak i indirektnim principom pri čemu se koristi prijenosni medij odnosno cilindar ili remen.



Slika 12. Transfer tonera - djelovanje transferne korone
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

Pritom slijedi proces skidanja papira s površine fotoreceptora. Nakon izvršenog transfera tonera dolazi do mehaničkog ili elektrostatskog odvajanja papira. Najčešći uređaj za odvajanje papira mehanički je češalj koji je smješten uz fotoreceptor ili magnetska četka za skidanje papira. Elektrostatsko odvajanje papira se pritom provodi korotronom za odvajanje.



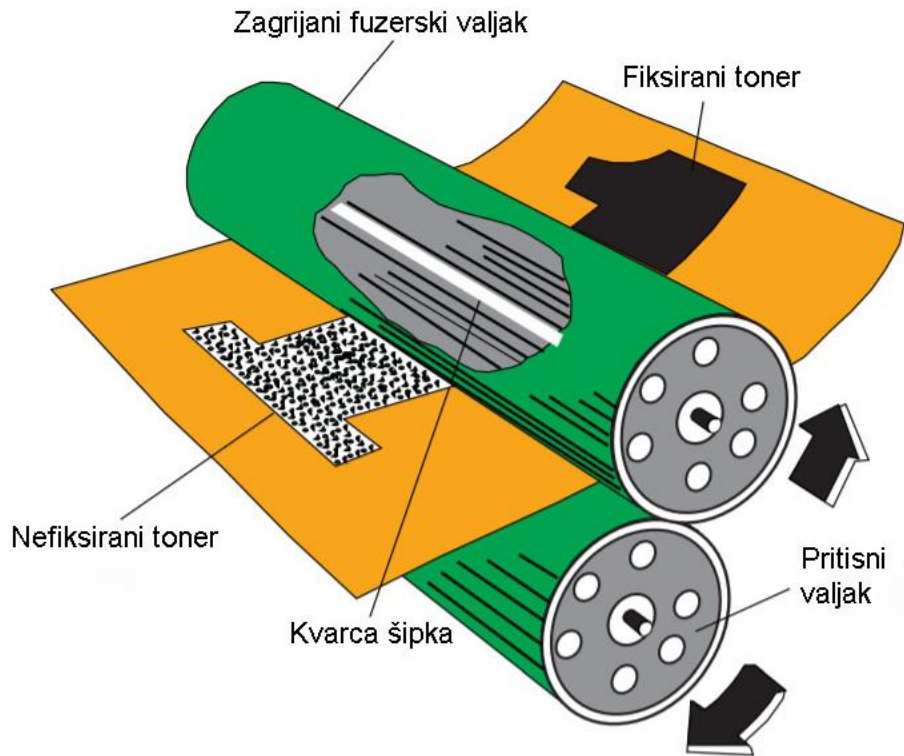
Slika 13. Transfer tonera - Prihvatanje tonera nakon napuštanja zone transfera [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

2.8. Fuziranje (rastaljivanje tonera)

Fuziranje tonera se provodi taljenjem praškastog tonera. Tijekom procesa fuziranja toner se pretvara u tekuće agregatno stanje kako bi došlo do penetracije u tiskovnu podlogu (papir) i dolazi do formiranja površinskog krutog sloja. Pri promijeni agregatnog stanja tonera primjenjuju se različiti fuzerski procesi. Najčešći su fuziranje vrućim valjcima, fuziranje zračenjem i fuziranje otapalima. Princip primjene procesa ovisi o tipu primijenjenog tonera, ali i o brzini rada elektrofotografskih strojeva.

2.8.1. Fuziranje vrućim valjcima

Fuziranje vrućim valjcima je jedna od najčešćih metoda fuziranja u primjeni koja je bazirana na tehnici vrućeg uprešavanja.



*Slika 14. Osnovni princip fiksiranja tonera pomoću fuzerske jedinice s dva valjka
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]*

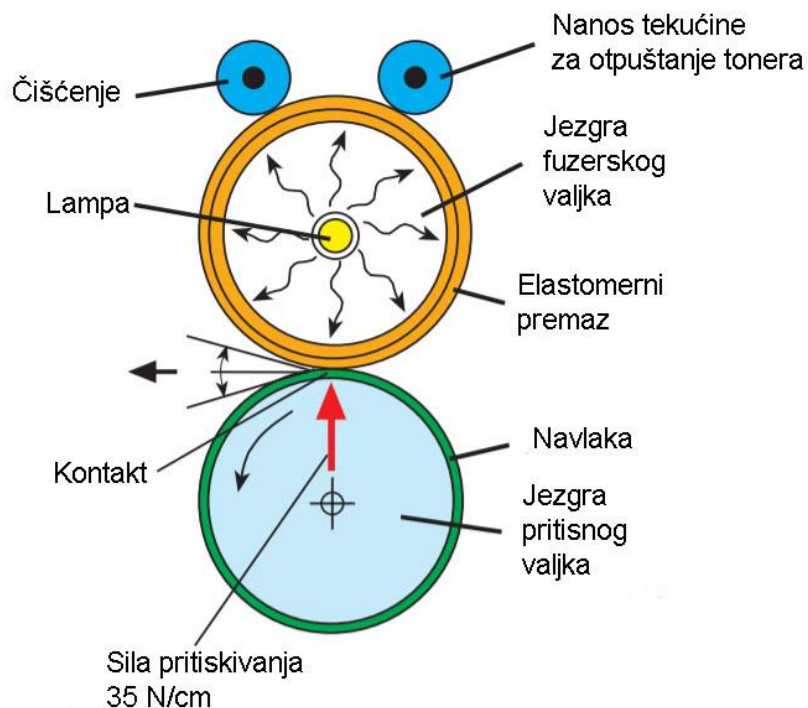
Papir zajedno s tonerom putuje između dva valjka; gornjeg zagrijanog i donjeg pritisknog valjka. Gornji valjak se zagrijava na temperaturu raspona 150°C do 220°C, dok je donji valjak hladan i ostvaruje silu pritiska u rasponu od 5 do 20 bara. Kombinacijom povišene temperature i pritiska tako dolazi do taljenja čestica tonera koje se priljepljuju i infiltriraju do celuloznih vlaknaca tiskovne podloge.

Kako bi se proces nesmetano mogao ponavljati potrebno je kontinuirano kontrolirati temperaturu i pritisak te vršiti čišćenje valjka s fuzerskim uljem. Postoje tri verzije fuziranja valjcima. To su: fuziranje s formiranom NIP zonom, fuziranje tvrdim fuzerskim i mekim pritisknim valjkom te fuziranje mekim fuzerskim i mekim pritisknim valjkom. [2]

2.8.2. Fuziranje formiranom NIP zonom

Temelj ovakve jedinice je fuzerski valjak presvučen tankom elastičnom navlakom koja se deformira pod djelovanjem pritisknog valjka. Dodirna zona je mala te se podloga dobro prilagođava neravninama tonerskih čestica. Pritisni valjci omogućavaju ujednačenost otiskivanja, no zbog temperaturnih oscilacija brzina otiskivanja je limitirana na 0,25 m/s.

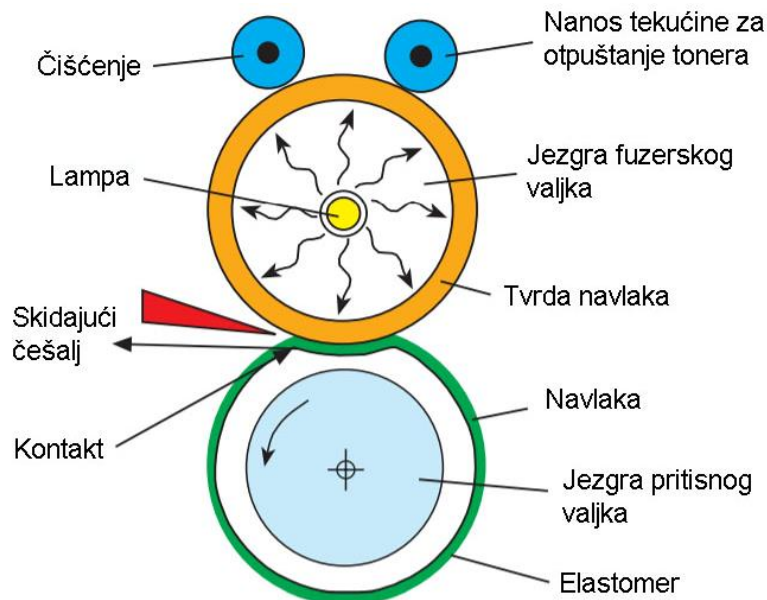
Kako bi se spriječilo prihvaćanje tonera na površinu valjka potrebno je toneru dodavati od 1% do 5% parafina ili polefinskih polimera. Podmazivanjem se izbjegava lijepljenje tonera za površinu fuzerskog valjka. Kao dodatnu opciju moguće je ugraditi fuzerski jastučić koji se natapa silikonskim uljem kako bi se konstantno izvodilo uljenje fuzerskog valjka. Na slici 15 je prikazan shematski prikaz fuziranja ostvarenog formiranjem NIP tone. [23]



Slika 15. Shematski prikaz fuziranja s formiranom NIP zonom
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.]

2.8.3. Fuziranje tvrdim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom

U ovakvom sistemu fuziranja dodirna zona se formira deformacijom elastičnog sloja pritisnog valjka dok je fuzerski valjak prikriven navlakom koja ne prihvaća toner i ne može se deformirati. Fuzerski valjak u svojoj unutrašnjosti sadrži toplinski izvor (kvarcnu šipku) koja prenosi toplinu ostvarenu strujnim napajanjem. Zagrijavanjem dolazi do taljenja čestica tonera koje se naknadno uprešavaju u tiskovnu podlogu. Kako bi se spriječilo lijepljenje tonera za fuzerski valjak, on na sebi ima tvrdi premaz od PTFE-a i derivata FEP i PFA, kojem je potrebno dodavati reaktivno dimetilpolisilikonsko ulje. Debljina sloja ulja iznosi 0,5 μm do 2 μm te pritom povećava ukupnu masu otiska za 5 mg do 10 mg. U navedeni sustav je potrebno dodatno ugraditi skidajući češalj za odvajanje papira zbog otežanog odvajanja papira od fuzerske jedinice. Kako bi se ostvario lagani kontakt, pritisni valjci moraju biti mekani. Iz tog razloga su građeni od silikonskog elastomera tvrdoće 25°Sh do 60°Sh sa završnim florosilikonskim slojem (FEP PFA) debljine 250 μm do 500 μm . Rubovi valjka se zatvaraju silikonskim agensima kako bi se povećala trajnost i spriječila bočna penetracija dimetilpolisilikonskog ulja. Prikaz fuziranja principom tvrdo-mekim fuzerskim valjkom prikazan je na slici 16. [2]



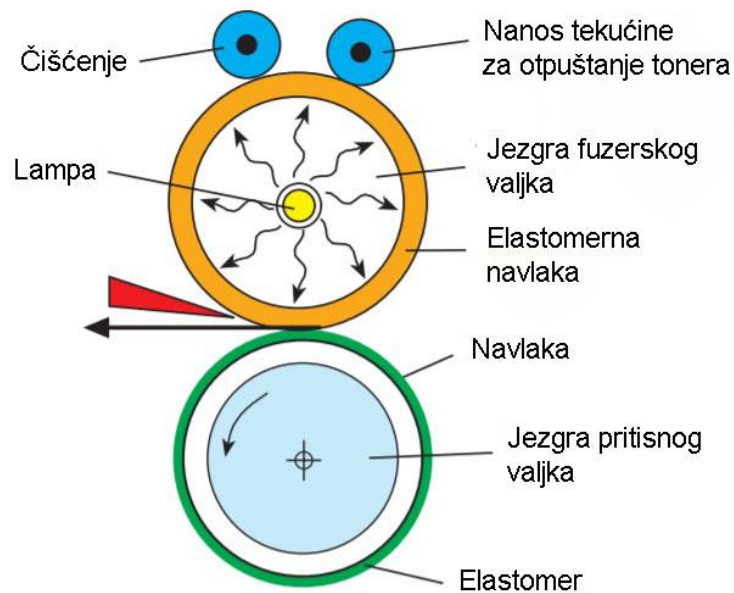
Slika 16. Shematski prikaz fuziranja s tvrdim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

2.8.4. Fuziranje mekim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom

Pritisni valjak formira deformaciju u zoni dodira na navlaci koja ne dopušta deformaciju u cijelosti. Navlaka je meke konzistencije te se lako prilagođava tonerskoj i papirnoj neravnini. Gubitak topline je minimalan što omogućuje veliku brzinu otiskivanja.

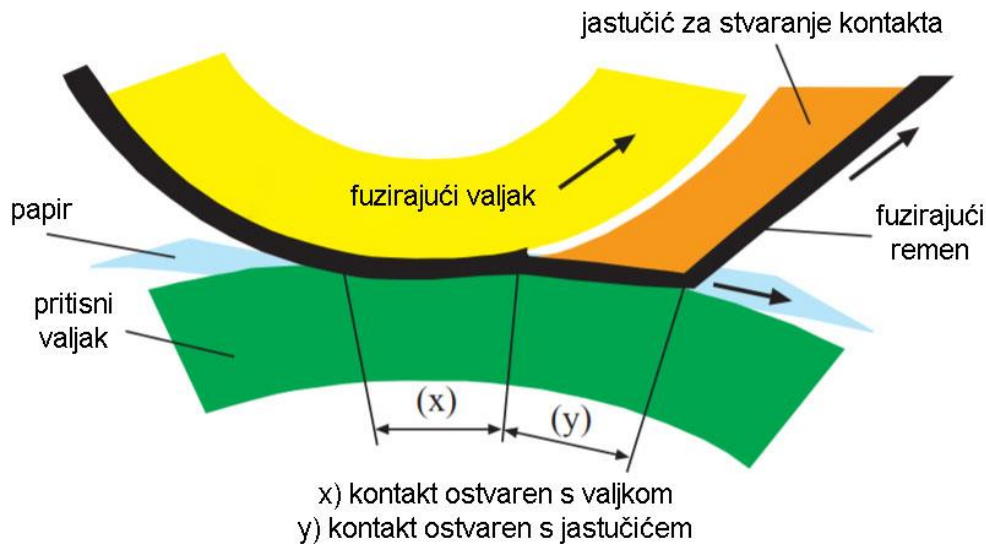
Navedena konstrukcija je karakteristična svojom dobrom kvalitetom fuziranja, dobrim odvajanjem gotovih otisaka te niskom proizvodnom cijenom.

Kako bi se spriječilo neželjeno prihvaćanje tonera, pritisni valjak je premazan fluornom smolom (teflonom) debljine 25 μm ili 50 μm . Navedena konstrukcija je karakteristična i po različitim mekanim premazima. To mogu biti silikonski elastomerni premaz, fluoroelastomerni premaz i višeslojni elastomerni premaz. Prikaz fuziranja principom mekom-meko prikazan je na slici 17.



Slika 17. Shematski prikaz fuziranja mekim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]

Da bi se ovakvim sustavima poboljšala učinkovitost potrebno je izvršiti povećanje zone kontakta. Tako su ugradnjom dodatnih fuzerskih jastučića ostvaruje bolja distribucija topline. Na slici 18. prikazan je Xerox sistem s dodatnom fuzerskom zonom. [2]



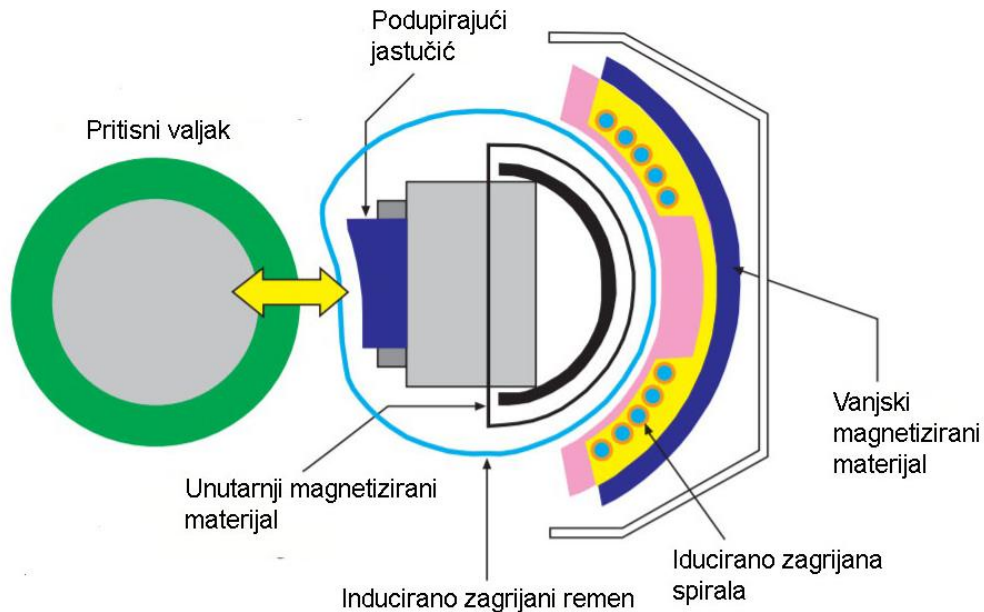
Slika 18. Povećanje zone dodira dodatkom jastučića
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, 2007.]

2.8.5. Fuziranje bazirano na elektromagnetskom induciranom zagrijavanju

Početno zagrijavanje fuzera najkritičniji je trenutak pri radu EP stroja. Razlog tome je što je pritom potrebno uložiti gotovo 70% ukupne energije. S ciljem smanjenja navedenog utroška energije, konstruirani su IH (*IH=engl. Induction Heating*) fuzerske jedinice. Njihova konstrukcija temelji se na induciranom zagrijavanom remenu i induciranom zagrijavanoj spirali koja se nalazi između unutarnjeg i vanjskog permanentnog magneta.

Tako se pojačava snaga magnetnih silnica i formira magnetski tok koji povećava učinkovitost grijanja. Pri induciranom zagrijavanju jako je bitan izbor materijala. Za izradu fuzerske jedinice iz tog razloga su željezni fuzerski valjci zamijenjeni aluminijskim. Pri tome se toplinski kapacitet smanjuje s 1/4 na 1/6 vrijednosti. Uveden je i uključno–isključni mehanizam koji sprječava pregrijavanje. Debljina remena je povećana što uvjetuje i veću mehaničku izdržljivost. [2]

Proces zagrijavanja iznosi tri sekunde čime je izbjegnuto pregrijavanje i neproduktivno stajanje mašina. Budući da su sredstva za podmazivanje dodana u bojilo njih nije potrebno dodatno nanašati. Kako bi se spriječilo prihvaćanje papira za fuzer, ugrađuje se nekoliko sistema za sprečavanje omotavanja papira na fotoreceptoru. Uređaji za skidanje (skidajući noževi i skidajuća četka) iste su konstrukcije kao i oni koji se koriste u sistemu za transfer papira. Na slici 19 prikazana je suvremena konstrukcija inducirano zagrijavanog fuzerskog grijača.



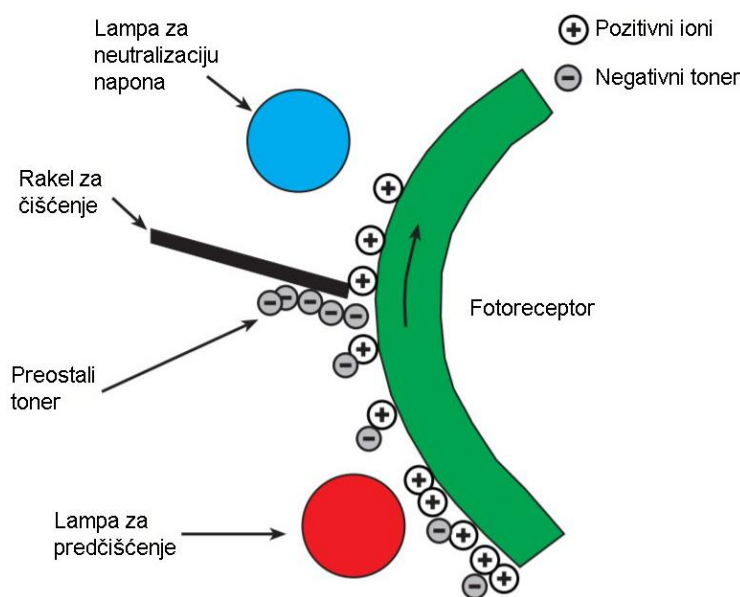
*Slika 19. Suvremena konstrukcija inducirano zagrijavanog fuzerskog grijača
[Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]*

2.8.6. Fuziranje zračenjem

Prilikom fuziranja zračenjem tonerske čestice se beskontaktno zagrijavaju posredstvom toplinskih izvora. Dinamički koeficijent viskoznosti tonera se pri tome smanjuje što omogućava beskontaktnu penetraciju i vezivanje uz papirnu površinu. Prije su se kao izvori zračenja upotrebljavale isključivo kvarcne žarulje. Međutim, danas se upotrebljavaju fleš–grijači i IC (infracrveni) grijači. Kako bi se osigurala uspješnost procesa potrebno je kontrolirati spektralnu osjetljivost grijača, apsorpcijsko ponašanje tiskovne podloge, apsorpcijsko ponašanje tonera i apsorpcijsko ponašanje prethodno otisnutog papira.

2.9. Čišćenje fotoreceptora (praškasti toner)

Čišćenje fotoreceptora podrazumijeva fazu pripreme za sljedeće otiskivanje. U elektrofotografiji se proces čišćenja odvija u dva koraka: a) brisanjem ostataka prethodno generirane slike odnosno otklanjanjem čestica tonera zaostalog na fotoreceptoru), b) eliminiranjem naboja na fotoreceptoru kako bi fotoreceptor prije sljedećeg otiskivanja postao potpuno neutralan. Na slici 20 prikazan je princip čišćenja fotoreceptora.



Slika 20. Shematski prikaz čišćenja fotoreceptora (praškasti toner)
[Izvor: I. Majnarić, *Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.*]

Da bi se eliminirao suvišni toner prvo tako djelujemo s lampom za predčišćenje kojom se toneru eliminira snažni negativni naboj. Samim time je lakše odvojiti pri čemu se mogu koristiti dvije opcije: mekana četka s vakuumom ili magnetska četka s vakuumom. Nakon toga slijedi potpuna neutralizacija fotoreceptora. Pritom su najčešće u upotrebi su: volframove lampe, fluorescentne lampe, neonske lampe, LED lampe i elektroluminiscentne (EL) trake. [2]

2.10. Visokoproduktivni EP strojevi nove generacije

Na tržištu visokoproduktivnih EP strojeva mogu se pronaći razni proizvođači. Obično su to globalne svjetske tvrtke kao što su: HP, Xerox, Kodak, Canon, Ricoh, Konica Minolta i Kyocera. Osim strojne konstrukcije značajna razlika vidljiva je i u samom smjeru otiskivanja. Tako je za sve japanske i europske proizvođače EP strojeva karakteristična je konfiguracija tiska s desna na lijevo, dok američke konstrukcije rade principom s lijeva na desno.

Ladice

Tisak kod na visokoproduktivnim elektrofotografskim strojevima započinje s ladicama za papir koje su smještene na desnoj strani. Posebno značajna je ladica broj tri. Ona ima pravilno definiranu putanju papira (ravni put) te može biti korištena za ulaganje svih tiskanih materijala. Pod tim podrazumijevamo to da ova ladica može sadržavati papir do 450 g/m², dok druge ladice mogu ulagati maksimalnu gramaturu od 350 g/m². Iz ove ladice se također mogu ulagati reljefni ili strukturirani papiri čija je debljina uvijek nešto veća.

Ovakvi strojevi imaju mogućnost ugradnje nekoliko ladica za papir (ukupno je moguće imati do tri ladice) što daje kapacitet ulaganja papira s maksimumom od 14 150 araka gramature 80 g/m². Minimalna veličina papira za ulaganje je format 100x140 mm dok je maksimalna veličina format 330x487 mm. Sve ovakve ladice sadrže metalne nosače (iznimno su robusne) što je značajno za pouzdano ulaganje papira. Ladice omogućuju mnoštvo opcija i podešavanja jer su dodatno opremljene sa sistemom za raspuhavanje araka s prednje strane te odvajanje araka prije ulaganja s bočne strane. To ujedno čini ulaganje papira brzim i pouzdanim. Sve ladice za papir opremljene su tehnologijom vakuumske ulaganja koji je identičan onom iz klasičnog ofsetnog tiska, tako da je to već poznata i pouzdana tehnologija. Međutim, kako papir ne bi mijenjao svoja svojstva u ladice se može ugraditi jedinica za grijanje (kondicioniranje papira). [7]

Ofsetni papiri obično sadrže puno više vlage, dok EP stroj radi fuzerima s velikom toplinom i tlakom. Zbog toga je potrebno izvršiti kondicioniranje papira prije procesa tiska odnosno papir se može posušiti u ladicama prije ulaganja kako bi se izbjeglo valovljenje papira i stvaranje statičkog elektriciteta tijekom tiska. Preporuke vezane za papir su da se prije tiska papir ostavi u prostoru za tisak barem jedan dan prije samog tiska. Papir je hidroskopska tvorevina koja se prilagođava temperaturi i vlažnosti prostorije, što proces ulaganja čini jednostavnijim.

Kuverte dodatna mogućnost otiskivanja

Svi visokoproduktivni strojevi mogu otiskivati kuverte uz pomoć vakuumske ladice. Ispis kuverata je standardan te pritom nije potrebno mijenjati fuzersku jedinicu. U slučaju da se želi ulagati format većih dimenzija, visokoproduktivni uređaj podržava i ispis transparenata (banera) ili nekih drugih nestandardnih grafičkih proizvoda. Najduži format je 1300 mm, a EP stroj može napraviti i obostrano otiskivanje na podlozi dužine do 900 mm. U tom slučaju koristi se specijalna ladica za premošćivanje, koja se može koristiti kao ručni ulagač za male količine papira velikih dimenzija. Obostrano otiskivanje pritom se izvodi automatski.

Toner na visokoproduktivnim strojevima

Boce sa tonerom se mogu izmjenjivati i tijekom ispisa, odnosno "u hodu". Puna boca Simitri V tonera može otisnuti i do 200 000 otisaka. Nova generacija Simitri tonera ima četiri velike prednosti pri čemu je najveća to što daje matiranu površinu otiska. Na taj način otisci su sličniji ofsetnom tisku i osigurano je bolje otiskivanje na nepremazanom i recikliranom papiru.

Temperatura taljenja ovog tonera je smanjena što znači da nije potrebno velika količina topline da bi se toner prihvatio za papir. Također, ostvarena je i promjena u elektrostatičkom ponašanju tonera koji se sada lakše transportira na papir. Prilikom tiska na strukturiranim ili reljefnim papirima. Toner Simitri V bolje ispunjava šupljine tih materijala što daje i bolji kontrast na otiscima. Posljednje, ali ne najmanje važno je veličina čestica.

Ona je smanjena u odnosu na prethodnu generaciju Simitri tonera. Navedeni toner podržava visoku rezoluciju stroja koja sada iznosi maksimalnih 2400x3600 dpi. [6]

Transport papira i otisaka na visokoproduktivnim strojevima

Put je potpuno pravilan i točan. Na samom početku ulaganja papira imamo novu jedinicu koja je zapravo senzor tiskovne podloge čija je uloga da detektira karakteristike tiskovne podloge. U ladicu se može staviti bilo koja vrsta papira te prilikom aktivacije senzora ostvariti će se mjerenje debljine, težine i dimenzija papira. Uređaj će takvo mjerenje ubaciti u bazu podataka papirnih profila odnosno dati prijedlog operateru da se primjeni odgovarajući profil kako bi se postigla najbolja kvaliteta. Stroj tako može sam pronaći ispravan profil papira što osigurava dobru kvalitetu ispisa. Navedeni senzor tako može samostalno prepoznati i definirati papir.

Karakteristike visokoproduktivnih strojeva

Produktivnost elektrofotografskih strojevima na bazi praškastih tonera neprestano raste pritom su od povijesne brzine od 12 str/min ubrzane na produktivnost veću od 120 str/min. Konica Minolta stroj AccurioPress C14000 tako može otiskivati brzinom od 80 str/min u A3 formata, dok slabiji model C12.000 ostvaruje produktivnost od 69 str/min. Samim time, ako su montirane dvije stranice na jednom formatu, brzina iznosi 60 araka A4 formata u minuti. Ujedno to znači da je ispis na A3 formatu brži od ispisa na A4 formatu.

Visokoproduktivni EP strojevi sadrže i tzv. aktivnu registraciju. To znači da se prilikom ulaganja svaki pojedinačni list dodiruje. Ako arak papira dođe ukošen, stroj će se kratko zaustaviti (stvoriti će se neka vrsta petlje), doći će do njegovog oslobađanja i nakon toga ga poravnava.

U strojevima tako postoje i valjci koji se okreću u suprotnim smjerovima kako bi se osiguralo da arak papira bude savršeno poravnan. Pritom se svaki arak papira podiže kako bi bio pomaknut u točan položaj što pomaže da se ostvari obična i obostrana registracija. [7]

Jedinica za fuziranje na visokoproduktivnim strojevima

Nova jedinica za fuziranje je poprilično teška jer teži 43 kilograma. Zbog toga se koriste specijalna transportna kolica za fuzersku jedinicu prilikom njene izmjene. Promjena fuzera je nužna pri ispisu kuverata s velikom nakladom jer se u protivnom se mogu stvoriti tragovi na fuzerskom remenu. Ovdje se također nalazi jedinica za čišćenje fuzerskih valjka koja vrši čišćenje fuzerskog remena tijekom dužeg procesa tiska. Tako se osigurava održavanje optimalne kvalitete otisaka. Jedinica za fuziranje ima opciju koja se naziva "mehanizam ujednačavanja poslova". To je jedno bočno pomicanje kako bi se osiguralo da rubovi papira ne udaraju uvijek isto mjesto remena za fuziranje. Time se smanjio učinak pruga pri tisku manjih dimenzija papira.

Rezolucija visokoproduktivnih strojeva

Visokoproduktivnu EP jedinicu za osvjetljavanje obično čini 16 laserskih izvora kombiniranih u SEAD X tehnologiji (*SEAD=engl. Screen-Enhancing Active Digital Process*). SEAD tehnologija predstavlja novu aktivnu digitalnu obradu rastrirane slike što je osnova EP visokoproduktivnog tiskarskog stroja. Tijekom razvoja takvih strojeva sva snaga se uložila u ovu tehnologiju kako bi se osiguralo da ulazni podatci budu uvijek stabilni i kvalitetni. Sistem sadrži kontrolu pozicioniranja rasterski točkica odnosno poboljšanje njihovih rubova čime se direktno osigurava da fontovi, rasteri i slike imaju izvrsnu kvalitetu.

Ovlaživanje papira i otiska

Uz osnovnu tiskovnu jedinicu, postoji nekoliko mogućih dodataka od kojih je jedan Konica Minolta RU-518 odnosno transportna jedinica koja ima standardno mehaničko pokretanje araka papira. Papiri male gramature se obično malo savijaju zbog topline oslobođene u postupku fuziranja. Samim time se ovim dodatkom papir zaglađuje. Pritom postoji i opcija hlađenja papira budući da se teško vrši dorada na zagrijanome papiru. Papir se fuziranjem može zagrijati ili osušiti pa je potrebno vodu vratiti natrag na papir, što ima prednost pri uklanjanju neravnina te kako bi papir izašao gladak iz tiska. Pritom se papir dodatno hladi i taj postupak pomaže pri eliminiranju elektrostatike. [7]

Ovakvi strojevi također sadrže izlaznu ladicu koja se može koristiti za veće formate papira. U slučaju zaglavlivanja papira nakon ove jedinice, svi arci prije tog zastoja biti će preusmjereni u ovu izlaznu ladicu te se ne mora čistiti tijekom transporta papira.

In-line skener i spektrofotometar u visokoproduktivnim strojevima

Konica Minolta IQ-501 je dodatna jedinica osnovnoj tiskarskoj jedinici koja je gotovo neophodna u današnjoj primjeni. Ona sadrži dva skenera i spektrofotometar. Riječ je o sustavu namijenjenom za praćenje kvalitete tiska otisnutog sadržaja gdje je brzina skenera se usklađena sa spektralnom preciznosti spektrofotometra. Uz pomoć ove tehnologije moguća je potpuna automatizacija mnogih operacija koje se inače izvode ručno. Tako na primjer, obostrana registracija se izvodi tako da se stavi papir u ladicu za papir i aktivacijom programa vrši se tisak posebnog testnog okvira koji se mjeri s dva skenera. Rezultat mjerenja je automatska prilagodba obostrane registracije. Za podešavanje registracije potreban jer samo jedan arak papira. Takva kalibracija se može učiniti prije posla ili tijekom tiska. U upravljačkom programu stroja također se može uključiti automatska obostrana registracija. U tom slučaju stroj otiskuje i oznake izvan područja otiskivanje dokumenta, koje kontroliraju dva skenera. Pritom se mjeri svaki pojedinačni arak i čim dođe do odstupanja ili pomaka, stroj ga ispravlja. Ako odstupanje postane preveliko, sistem će zaustaviti tisak te sprječavati nastanak otpada (škarta).

Osim toga, moguće je izvoditi i upravljanje obojenjem. Upravljanje obojenjem sadrži linearizaciju, kalibraciju i profiliranje otisaka. Linearizacija se vrši potpuno automatski s IQ-501 jedinicom. Sustav pritom izvodi automatsku prilagodbu za koju je potrebno oko 12 minuta i otiskuje oko 13 araka. Nakon izvršene linearizacije stroj postiže istu razinu kvalitete kao i prije nekoliko mjeseci. Ako je linearizacija stabilna, operater više ne mora vršiti kalibraciju te ponovno kreirati nove profile. Stroj je zbog toga toliko stabilan da nije potrebno vršiti nikakve korekcije tijekom rada. Sve ove korekcije mogu se učiniti prije i tijekom posla. [7]

U poslove koji otiskuju se mogu dodati i kontrolni stripovi čija se polja ponovno mjere putem skenera. Tako će se uslijed odstupanja u obojenju stroj automatski korigirati.

Treća značajka je osiguranje kvalitete gdje se aktivacijom ispisuje posebna testna forma na kojoj se traže pruge ili točkice nastale zbog lošeg tonera, papirne prašine itd. Skener prepoznaje greške te će stroj samostalno pokušati ispraviti greške. Dodatno se izvode procesi prilagodbe poput osvježavanja tonera i čišćenja fuzera. U slučaju da se greške isprave, posao se može nastaviti.

Međutim, ako to nije moguće, sustav daje vrlo dobar izvještaj za servisere. Uz opciju pod nazivom AIT tehnologija (*AIT=engl. Auto Inspection Technology*) automatska inspekcija koja se može učiniti i tijekom tiska. IQ-501 sustav se čitavo vrijeme unapređuje zato što mu dodajemo nove opcije.

Jedna od novosti je inspekcija promjenjivih podataka. Pomoću skenera također se mogu otkriti područja na arku koja sadrže brojeve, barkodove ili QR kodove. Sustav ih sve detektira i stavlja u CSV datoteku. Na taj način se ostvaruje potpuna kontrola nad čitanjem barkodova i QR kodova te se generira specijalan izvještaj za kupce. Navedeni stroj sadrži sučelje na kojem se mogu označiti područja na kojima bi trebalo tražiti QR kodove, barkodove i brojeve što ubrzava proces detektiranja.

Jedinica za rezanje na visokoproduktivnim strojevima

Nova jedinica za rezanje tvrtke Konica Minolta ima oznaku TU-510. Unutra se nalazi mnoštvo noževa za rezanje papira na manje komade. Ulazni arak uvijek je SRA3 format papira iz kojeg je moguće izrezati jedan SRA3 format ili dva A4 formata. Samim time, pomoću ove jedinice mogu se izvesti aplikacije s punim napustom. Također je moguće da od jednog SRA3 arka nastanu četiri razglednice. Listovi A4 i A3 formata također mogu ići na daljnje uvezivanje i jedinice za doradu. Međutim, manji formati idu isključivo u dodatnu pomoćnu ladicu. Konačan otisak se može smanjiti i na veličinu posjetnice ako postoji ugrađen rezač posjetnica.

Producerska brzina tiska stroja se pritom ne smanjuje. U slučaju rezanja posjetnica (do 17 araka u minuti) pri čemu se na jedan arak može smjestiti 21 posjetnica, što predstavlja produkciju od 500 posjetnica za manje od tri minute. Jedinica za rezanje može izvoditi i kombinirano izrezivanje. Tako se iz jednog SRA3 formata mogu izrezati posjetnice na prvoj polovici arka i razglednice na drugoj polovici arka.

Sabiranje araka na visokoproduktivnim strojevima

Ovom jedinicom podržani su veliki formati odnosno arak veličine 1300 mm koji se također može rezati na puni napust. Novitet je također jedinica za sabiranje LS-507 koja dolazi s vrstom rotacijskog sabiranja. Prilikom tiska veće količine araka, kup papira pomiče se prema dolje. Kada je izlagači kup pun, prvi izlagači stol pomiče se naprijed dok se na drugi ponovno ulazi i podiže na razinu izlaganja. Pritom se nakon tiska prvog posla izloženi arci pomiču u stranu za nekoliko milimetara (radi lakšeg odvajanja). Pauza prilikom zamjene traje svega nekoliko sekundi. Također, moguće je napraviti izmaknuto izlaganje (u slučaju da se otiskuje više različitih poslova). Na raspolaganju su i kolica kako bi se svi kupovi papira mogli premjestiti na dodatnu doradu.

Konica Minolta tiskarski sustavi su vrlo modularni te je na njih moguće priključiti razne jedinice za doradu, kao što su: jedinica za obrezivanje i jedinica za sabiranje već uvezanih brošura. Navedena jedinica je izrađena od strane Konice Minolte, no postoji i slična od tvrtke Plockmatic koja se obično koristi za tisak većih naklada ili tisak isključivo brošura. Na kraju ove konfiguracije nalazi se visokokapacitetni stabilni izlagač s jednom izlaznom ladicom gdje se može napraviti kutno ili bočno klamanje te lijepljenje ili ubacivanje dugačkih araka.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Metodologija rada

Za otiskivanje eksperimentalnih uzoraka korišten je elektrofotografski tiskarski stroj Konica Minolta AccurioPress C12000. Od definiranih 18 uvjeta tiska koji čine osnovu standardiziranog tiska, smatra se da su uvjeti tiska 1 i 5 najvažniji za ofsetni tisak i elektrofotografiju. Za ova dva uvjeta tiska definirana je nova karakterizacija podataka s odgovarajućim profilima koji su definirani standardom ISO 12647-2 uz način mjerenja M1. Za taj način mjerenja definirani su i tehnički parametri tiska kao što su povećanje vrijednosti tona (RTV). Zato se pri tisku prema ISO standardu koriste samo točno definirane ciljane vrijednosti i parametri. U našem eksperimentalnom otiskivanju primijenjeni su standardni uvjeti tipa 5, koje karakterizira:

- Primjena u ofsetnom tisku
- Boje za tisak prema ISO 2846-1 (K-C-M-Y)
- Papir tipa 5 (nepremazani, bezdrvni, bijeli, 70–250 g / m²)
- Linijatura 52–70 l/cm (bez konvencionalnog načina kopiranja ploče)
- Podaci o karakterizaciji: FOGRA 52 (M1)
- Karakteristična krivulja ispisa/TVI prema ISO 12647-2: 2013-C (22% srednji ton)

Preduvjet svakom konvencionalnom otiskivanju je probno otiskivanje kako bi se sadržaj probnog tiska prilagodio novim parametrima tiska. U ovom slučaju su definirani kriteriji za standardizirano probno otiskivanje ISO 12647-7: 2016. Koordinate kromatičnosti podloge za probni tisak uz simulaciju papira bijele boje pri načinu mjerenja M1 ne smiju biti veće od $\Delta E = 3,0$.

Razlika u obojenju između ciljanih i ostvarenih vrijednosti na probnom tisku temelji se na novoj CIE ΔE euklidskoj formuli. Ova formula je značajno složenija te je bolje prilagođena ljudskoj percepciji boje.

Osnovna formula razlike u obojenju ΔE dana je izrazom:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

pri čemu je

$$\Delta L^{*2} = L_r^* - L_{or}^* \quad \Delta a^{*2} = a_r^* - a_{or}^* \quad \Delta b^{*2} = b_r^* - b_{or}^*$$

U ovom slučaju L^* predstavlja svjetlinu dok a^* i b^* kromatske vrijednosti unutar CIE Lab prostora boja. Ovom formulom se mogu usporediti dva tona, odnosno kvaliteta otisaka (prema standardu ISO 12647-5). Formula je bila korigirana više puta te je posljednja verzija objavljena 2000. godine, u kojoj je dodatno korigirana devijacija u plavom području. Koeficijenti kolorne korekcije su:

$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0,045\bar{C}' \quad S_H = 1 + 0,015\bar{C}'T$$

pri čemu su ΔL^* , ΔC^* i ΔH^* razlike u svjetlini, zasićenosti i tonu između dva uzoraka (otiska). Ostali parametri navedene formule ΔE_{2000} definirani su na sljedećih način:

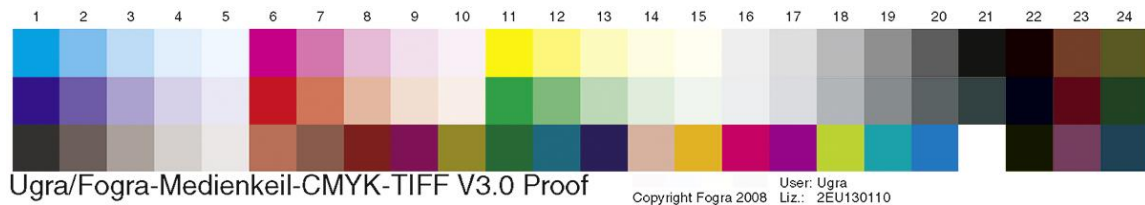
$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0,045\bar{C}' \quad S_H = 1 + 0,015\bar{C}'T$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(h' - 30^\circ) + 0,24 \cos(2h') + 0,32 \cos(3h' + 6^\circ) - 0,20 \cos(4h' - 63^\circ)$$

$$R_C = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}} \quad R_T = -\sin(2\Delta\Theta)R_C \quad \Delta\Theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{(h' - 275^\circ)}{25}\right]^2\right\}$$

Ovako definirana razlika u obojenju (ΔE) detaljnije opisuje kvalitetu reprodukcije i odstupanja između reprodukcije od originala.

Pri probnom otiskivanju zahtjeva se korištenje mjernog uvjeta M1 i odgovarajućih podataka o karakterizaciji. Dakle, ako se provodi probni tisak, npr. u skladu s FOGRA 52 s profilom PSOcoated_v3, mjerenje se mora koristiti način M1. Za procjenu probnog i proizvodnog otiska primijenjen je Fogra/Ugra MediaWedge 3.0 CMYK klin s poljima u kojima su odstupanja točno definirana.



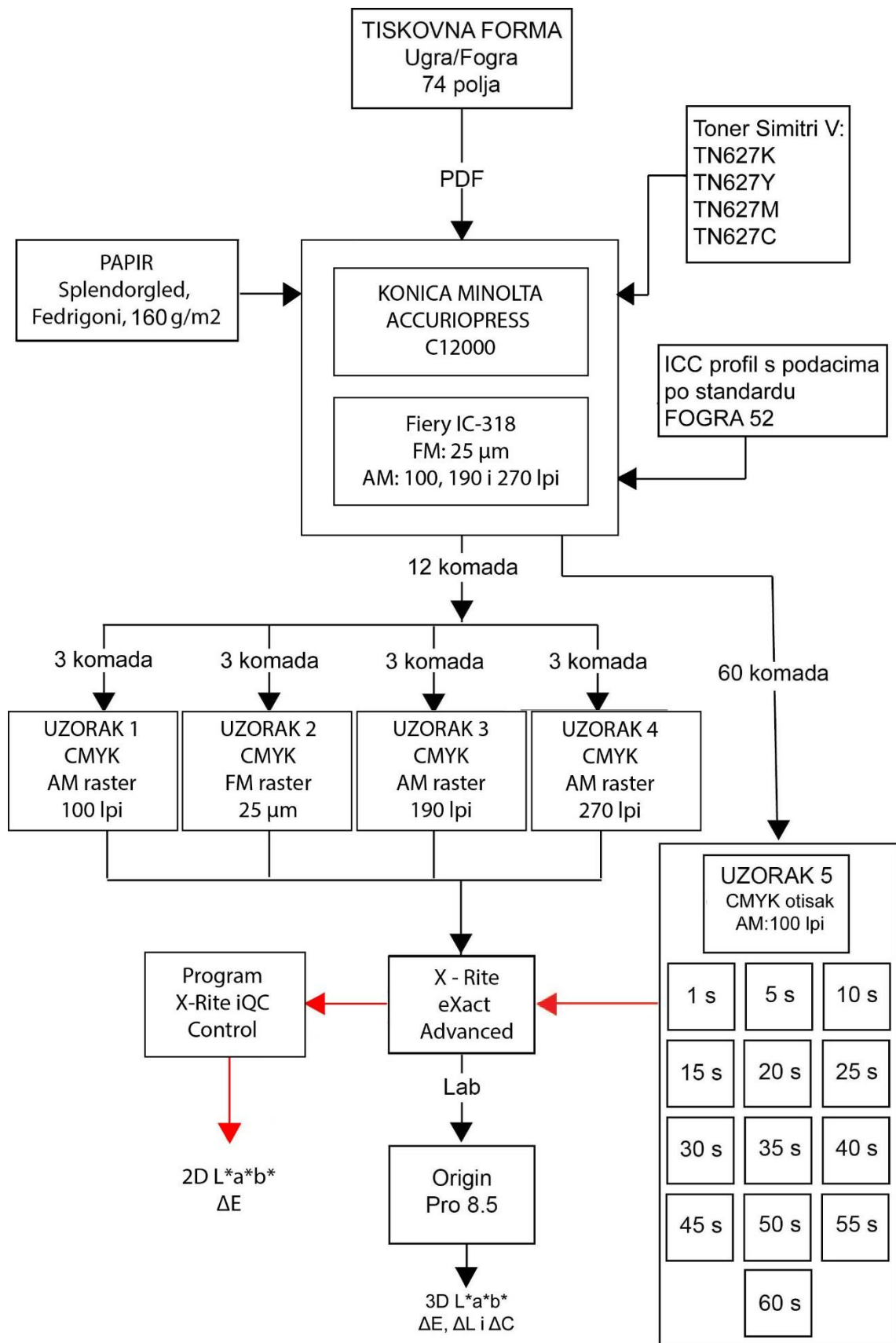
Slika 21. Fogra/Ugra MediaWedge 3.0 CMYK

[Izvor: <https://www.ugra.ch/en/product/ugra-fogra-media-wedge-cmyk-3-0/>]

Točnost odnosno rezultati probnog otiskivanja dani su u izvještaju koji je obvezno generiran. Korištena standarda verzija uključuje specifikaciju godine, naziv datoteke, naziv sustava probnog ispisa, naziv tiskane podloge, vrijednost referentnog tiska, načine mjerenja te datum i vrijeme izrade probnog tiska.

Nakon kalibracije i probnog otiskivanja pristupilo se eksperimentalnom otiskivanju, na tiskarskom stroju KM AccurioPress C12000. Tijekom eksperimenta korišten je frekventno modulirani raster promjera rasterskog elementa 25 μm te amplitudni rasteri linijatura 100, 190 i 270 lpi-a. To je omogućeno korištenjem RIP-a Fiery IC-318. Korištena tiskovna podloga u eksperimentu je bio standardni ofsetni papir Splendorgel gramature 160 g/m^2 , dok je kao referenca uzet Fogra 52 standard. Dobiveni CMYK otisci su analizirani kolorimetrijskom metodom (X-Rite eXact Advanced vrijednosti) uz određivanje kolornih promjena CIELAB, ΔE , ΔL , ΔC nastalih međusobnom komparacijom. Dodatno je ispitana i ujednačenost otisnute naklade pri čemu se detaljno pratio testni interval od 60 sekundi. Za ostale grafičke prikaze rezultata korišten je program Origin Pro 8.5. Pritom je korišten X-Rite aplikacija iQC Control zajedno sa njegovim iQC grafičkim prikazima.

Shematski prikaz izvršenog eksperimenta prikazan je na slici 22.



Slika 22. Kronološki prikaz izvršenog eksperimenta

3.2. Korišteni uređaji

3.2.1. Konica Minolta AccurioPress C12000

Pri eksperimentalnom dijelu ovog rada korišten je elektrofotografski tiskarski stroj Konica Minolta AccurioPress C12000. (slika 23)



*Slika 23. Elektrofotografski stroj Konica Minolta AccurioPress C12000
[Izvor: <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000>]*

Ovakva tiskovna jedinica ima široku paletu podržanih medija, od papira gramature 65g/m^2 do 450g/m^2 , reljefnog papira, omotnica, kao i naljepnice iz arka od poliestera. Također, postoji mogućnost jednostranog tiska na arcima duljine do 1300 mm te obostranog tiska na arcima duljine od 900 mm. Na raspolaganju ima šest ulagaćih ladica za papir te maksimalan kapacitet od 14 150 araka gramature 80g/m^2 . Za navedeni stroj značajan je novi sustav IQ-501 koji pruža automatizaciju proizvodnje i točnu registraciju slike s jedne i druge strane te kontrolu obojenja. Novi medijski senzor omogućuje automatsko detektiranje vrste, gramature, debljine te dimenzije papira, odabirući odgovarajući profil iz strojnog kataloga papira. Time se smanjilo vrijeme podešavanja i gubitak vremena pripreme za tisak uz povećanu produktivnost. Konica Minolta AccurioPress C12000 koristi toner Simitri V koji se primjenjuje samo kod ovog tipa stroja. Osnovna specifičnost mu je matiran otisak.

Uz smanjenu veličinu čestica tonera, smanjenju temperaturu taljenja te poboljšano elektrostatičko ponašanje tonera Toner Simitri V podržava visoku rezoluciju stroja od maksimalnih 2400x3600 dpi. Stroj se ističe visokom kvalitetom ispisa, fleksibilnošću odabranih medija i najvišim stupnjem automatizacije. KM C12000 podržava i tisak omotnica bez potrebe za mijenjanjem fuzerske jedinice. Jedinica za osvjetljavanje sadrži 16 laserskih izvora spojenih u SEAD X tehnologiji. Također, značajna je i kontrola pozicioniranja najmanjih tiskovnih elemenata kako bi se osiguralo da fontovi, polutonovi i slike imaju izvrsnu kvalitetu. Pomoću ugrađenog skenera također može prepoznati brojeve, barkodove ili QR kodove, očitati ih i spremiti u CSV datoteku. Navedeni stroj sadrži sučelje na kojem se mogu označiti područja na kojima bi trebalo tražiti QR kodove, barkodove i brojeve, čime se povećava produktivnost. Tehničke karakteristike stroja dane su u tablici 1. Dok su ostale moguće jedinice i dorada prikazane u tablici 2 i 3. [7]

Tablica 1. Osnovne karakteristike uređaja KM AccurioPress C12000

Brzina ispisa A4	120 str/min
Brzina ispisa A4 po satu	6,832 jedinica
Brzina ispisa A3	69 str/min
Rezolucija ispisa	2.400 x 3.600 dpi x 8 bita
RIP (Fiery IC-318)	Vanjska arhitektura
OS stroja	Windows 10
Procesor	Intel i7-6700
Radna frekvencija	3,2 GHz
RAM std	16 GB
HDD	1 TB
Podržani jezici za opis stranice	Adobe PostScript 3; PDF v1.7; APPE v5; PDF / VT-1 / -2 v3; PDF / X1a, 3,4; PPML v3.0; PCL; Creo VPS
Primjenjivi OS	Windows 8.1 / 10; Windows Server 2012 / R2 / 2016/2019; Mac OS X 10.11-14

[Izvor: Konica Minolta, <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000#specifications>]

Tablica 2. Dodatne opcije KM AccurioPress C12000 (I. dio)

RIP	KM kontroler slike (KM image controller)	IC-610
	EFI vanjski RIP (<i>EFI external image controller</i>)	IC-318
	EFI vanjski RIP (<i>EFI external image controller</i>)	IC-319
	CREO vanjski RIP (<i>CREO external image controller</i>)	IC-316
TRANSPORT	Jedinica za ulaganje papira (<i>Paper Feeder Unit</i>)	PF-712
	Jedinica za ulaganje papira sa skenerom (<i>Paper Feeder Unit with Scanner</i>)	PF-713
	Grijač i ovlaživač zraka (<i>Dehumidifier Heater</i>)	HT-506
	Višenamjenska ladica (<i>Multi Bypass Tray</i>)	MB-511
	Transportna jedinica (<i>Conveyance Unit</i>)	RU-518m
	Ovlaživač zraka (<i>Humidifier</i>)	HM-103
KONTROLA	Jedinica za praćenje kvalitete otisaka (<i>Intelligent Quality Optimizer</i>)	IQ-501
	Jedinica za čišćenje (<i>Purge Unit</i>)	RU-702
	Jedinica za automatsku kontrolu slike (<i>Auto Inspection Unit</i>)	UK-301
IZLAGANJE	Jedinica za uvezivanje kuverata (<i>Envelope Fusing Unit</i>)	EF-106
	Izlazna ladica (<i>Output Tray Unit</i>)	OT-512
	Jedinica za izlaganje dugih araka (ulaz) (<i>Long Sheet kit (Input)</i>)	MK-760
	Jedinica za izlaganje dugih araka (izlaz) (<i>Long Sheet kit (Output)</i>)	MK-761
	Vanjska jedinica za probni otisak (<i>Relay Unit</i>)	RU-510

[Izvor: Konica Minolta, <https://www.konicaminolta.eu/en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000#specifications>]

Tablica 2. Dodatne opcije KM AccurioPress C12000 (II. dio)

DORADA	Jedinica za klamanje (<i>Stapling Unit</i>)	FS-541
	Jedinica za uvezivanje arak u arak (<i>Saddle Stitcher kit</i>)	SD-510
	Jedinica za bušenje (<i>Punch kit</i>)	PK-525
	Jedinica za sabiranje (<i>Mount Kit</i>)	MK-732
	Jedinica za sabiranje i izrezivanje (<i>Press and trim kit</i>)	PT-220
	Jedinica za sabiranje i rubno izrezivanje (<i>Corner forming kit</i>)	SF-204
	Jedinica za savijanje i bušenje araka (<i>Folding and Punching Unit</i>)	FD-503
DORADA	Jedinica za uvezivanje brošura (<i>Booklet making Unit</i>)	SD-506
	Jedinica za uvezivanje brošura (<i>Booklet making Unit</i>)	SD-513
	Savijačica (<i>Folding kit</i>)	FD-504
	Jedinica za izrezivanje (<i>Trimmer kit</i>)	TU-503
	Jedinica za biganje (<i>Creaser kit</i>)	CR-101
	Jedinica za sabiranje (<i>Stacking Unit</i>)	LS-507
	Transportna kolica (<i>Handcart</i>)	LC-502
	Jedinica za uvezivanje arak na arak (<i>Perfect Binding Unit</i>)	PB-503
	Jedinica za izrezivanje (<i>Trimmer Unit</i>)	TU-510
	Jedinica za biganje (<i>Creaser kit</i>)	CR-102
	Komplet noževa za rezanje (<i>Trimmer kit</i>)	TU-504
	Jedinica za uvezivanje ljepilom (<i>Booklet making Unit</i>)	MB-200
	Jedinica za izlaganje banera (<i>Banner Stacking Unit</i>)	MPS-130

[Izvor: Konica Minolta, <https://www.konicaminolta.eu/en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000#specifications>]

3.2.2. X-Rite eXact Advanced

X-Rite eXact Advanced je uređaj korišten za kontrolu kvalitete, mjerenje obojenja i tiskovne podloge u grafičkoj industriji. Navedeni spektrofotometar može izmjeriti i kolorimetrijske vrijednosti u CIE L*a*b* prostoru boja. Moguće je izvoditi i denzitometrijska mjerenja kao što su mjerenje kontrasta, trapinga i optičke gustoće obojenja. Osim mjerenja spektrofotometar sadrži automatsku opciju izračunavanja spektrofotometrijskih razlika, mjerenje metamerizma i optičkih svojstava papira. Karakteristike spektrofotometra X-Rite prikazane su u tablici 3.



Slika 24. Spektrofotometar X-Rite eXact Advanced
[Izvor: <https://colorconfidence.com/products/x-rite-exact-advanced-with-bluetooth>]

Tablica 3. Tehničke specifikacije X-Rite eXact Advanced uređaja

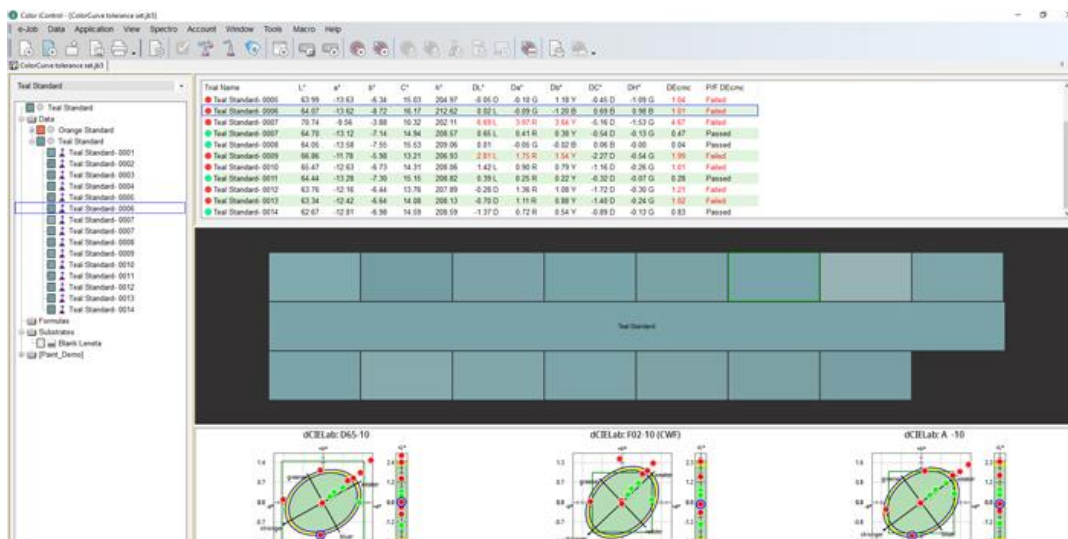
Otvor mjerne površine	1.5 mm, 2mm, 4 mm i 6 mm
Baterija	Lithium Ion, 7.4VDC, 220mAh
Kalibracija	Automatska-uključena bijela referenca
Ukupna kolorimetrijska razlika	CIE ΔE 1976, 1994, 2000, CMC
Geometrija mjerenja	45/0°
Spektralni raspon	400 – 700 nm
Brzina mjerenja	<1 s
Dimenzije i težina uređaja	18 cm x 7.8 cm x 7.6 cm, 700 g
Mjerni uvjeti	M0, M1, M2 i M3

[Izvor: X-Rite Pantone <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-advanced>]

3.2.3. Color iQC softver

Color iQC program je proizvođača X-Rite služi za održavanje točnosti u produkciji boje. Osnovna namjena ovog softvera je da se kolorna vrijednost originalnog dizajna prenese do konačno otisnutog proizvoda. Color iQC program zasnovan na ideji kako bi se korisnicima omogućio rad uz praćenje konstantnosti reprodukcije tijekom procesa umnožavanja na tiskovnoj podlozi. Pritom sustav sadrži unaprijed definirane standarde, tolerancije i postavke. Pomoću Color iQC sustava, dobavljači i proizvođači tiskanih proizvoda mogu definirati načine kalibracije, pomoću mjerenja sa instrumentima te osigurati ispravan proces mjerenja boja, bez obzira na mjesto ili konfiguraciju softvera.

Ovaj program analizira zašto se pojavljuju pogreške u obojenju, identificira glavne parametre kako bi se omogućilo podešavanje procesa i osiguralo da konačni grafički proizvod točno odgovara očekivanjima. Također, ima mogućnost cjelovitog praćenja i izvještavanja u svrhu poboljšanja komunikacije između kupca i tiskare. Tako voditelji odjela za kontrolu kvalitete manje prate kontrolu kvalitete obojenja, a više su koncentrirani na brzinu i učinkovitost grafičke proizvodnje. Poslovi se mogu unaprijed konfigurirati s podacima o obojenju i dozvoljenim odstupanjima tako da svaki djelatnik može vidjeti iste podatke na isti način. [12]



Slika 25. Prikaz zaslona prilikom korištenja iQC programa
[Izvor: <https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc>]

Originali se tako mogu definirati za različite tiskarske procese ili materijale i uključuju dozvoljene standarde, tolerancije, postavke i linijature. Prikaz obojenja boja vidljiv je u kolornim sustavima: CIE L*a*b*, CIE L*C*h*, Hunter Lab, CIE (XYZxy) dok je izračun kolornih promjena: omogućen je izračunima FMCII, CIE ΔL^* , Δa^* , Δb^* , CIE ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Hunter ΔL , Δa , Δb , Svi atributi CIELab, CIELch ili HunterLab, CMC, CIE2000:). Navedeni program podržava mnogo rasvjetnih tijela kao što su: D50, D55, D65, D75, F2, F7, F11, C, A, Horizon, TL84, Ultralume 3000

Osnovne karakteristike Color iQC programa prikazane su u tablici.

Tablica 4. Tablica osnovnih karakteristika iQC Color X-Rite programa (I. dio)

Kompatibilni Android uređaji	Nema
Kompatibilni iOS uređaji	Nema
Potreban prostor na disku	5 GB-100 GB
Izračun kolorne promjene	FMCII, CIE ΔL^* , Δa^* , Δb^* , CIE ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* , Hunter ΔL , Δa , Δb , Svi atributi CIELab, CIELch ili HunterLab, CMC (l: c), CIE2000: c: h)
Prikaz prostora boja	CIE L*a*b*, CIE L*C*h*, Hunter Lab, CIE (XYZxy)
Kompatibilni softver koji podržava DNG profile	Nije dostupan
Opcije konfiguracije	Osnovna, profesionalna, upravljačka, mrežna
Povezivost	USB-Priključak
Baze podataka	MS Access, MS SQL Server
Rezolucija zaslona	1024 x 768 dpi
Razina korištenja	Početna do napredna
Rasvjetna tijela	D50, D55, D65, D75, F2, F7, F11, C, A, Horizon, TL84, Ultralume 3000
Ulazni/izlazni formati	CxF, QTX, JB5, MIF, XTF
Internet veza	Da, za PantoneLIVE

[Izvor: X-Rite, <https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc>]

Tablica 4. Tablica osnovnih karakteristika iQC Color X-Rite programa (II. dio)

Podržani jezici	engleski, francuski, njemački, španjolski, talijanski, portugalski, japanski, kineski
Uvjeti mjerenja	Refleksija, transmisija, refleksija/prijenos, prekomjerno svjetlo / pretamno, SCI / SCE
Memorija	2GB
NetProfiler podrška	Da
Broj zaslona po računalu	1
Promatrač	2 stupnja, 10 stupnjeva
Optički pogon	Da
PantoneLIVE podrška	Da
Opcija Pass / Fail	Da
Procesor	Core 2 Duo, 2 G
Virtualni uzoraka	Da
Podrška cilja skenera	Nije dostupan
Sigurnost	Isključivo instalacija
Standardni indeksi	Bjelina [ASTM E313, CIE, GANZ, Berger, Stensby, Taube, Tappi], žutost [ASTM E313, D1925], neprozirnost [Omjer kontrasta, Tappi], Snaga [SWL, zbrojena, ponderirana suma], izmaglica, Munsell notacija, Sok od naranče, sjaj [ASTM E429, Gloss60], siva skala [ISO 105, bojenje, promjena boje], metamerizam, indeks postojanosti boja, APHA, indeks boja Gardner, indeks boja ASTM, indeks boje Saybolt, AATCC TM203 indeks blokiranja svjetlosti DIN55979 Indeks crnine, G7, kompenzacija podloge
Podržani uređaji	eXact, eXact Scan, eXact XP, CI4200, CI52, CI62, CI64, 962, 964, Color i5, Color i7, CE-7000A, CI7600, CI7800, SP62, SP64

[Izvor: X-Rite, <https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc>]

3.3. Korišteni materijali

3.3.1. Toner Simitri V generacije

Simitri V toner spada u najnoviju generaciju tonera koji se nanaša dvokomponentnim principom razvijanja. U svom sastavu sadrži stiren akrilnu i poliestersku smolu, vosak, organski pigment, ferit željezni oksid, manganov oksid, titan i amorfni silicijev dioksid. Pri njegovom korištenju preporučaju se mjere opreza koje podrazumijevaju da se ne udiše tonerska prašina i da se izbjegava kontakt s očima. Sigurno rukovanje preporučuje da se spremnik drži zatvorenim te da se toner skladišti na hladnom i suhom mjestu. Toner je pakiran u boce ili uložak koji je točno definiran od strane Konica Minolte. Ventilacija nije potrebna za namjeravanu uporabu. Toner nije reaktivan te je relativno stabilan, odnosno stabilan je pri temperaturama nižim od 200 °C (392 °F). Pri rukovanju treba izbjegavati električno pražnjenje te oksidirajuće materijale. U tablici 5 su dane osnovne supstance tonera. [8]

Tablica 5. Sastav tonera Simitri V

Generički naziv	[CAS No.]	[%]
Stiren akrilna smola	+++	55-65
Poliesterska smola	+++	10-20
Vosak	+++	1-10
Organski pigment	147-14-8	1-10
Ferit Željezni oksid	1309-37-1	1-10
Manganov oksid	1344-43-0	1-10
Amorfni silicijev dioksid	7631-86-9	1-10
Titan-dioksid	13463-67-7	< 1

[Izvor: Konica Minolta, file:///F:/Toner%20KM12000/TN627M_MFP-4644.pdf]

Toner je minimalno nadražujući za oči i kožu te ne sadržava senzibilizatora. Dugotrajno udisanje pretjerane prašine može prouzročiti oštećenje pluća. Korištenje ovog proizvoda ne dovodi do udisanja prekomjerne prašine. Kancerogenost; po IARC je određena za titan dioksid koji spada u kancerogenu skupinu 2B (mogući karcinogen za ljude). Prema IATA-i ili IMDG-u transport ne spada u skupinu opasnih materijala.[9]

3.3.2. Papir Splendorgel Extra White

Splendorgel Extra White je izuzetno bijeli premazani papir posebno prilagođen strojevima digitalnog tiska. Papir je prilagođen za kvalitetno fiksiranje tonera te sadrži dobra mehanička svojstva koja pogoduju u višeprolaznim sistemima digitalnih strojeva. Glatka površina uz ostale karakteristike pruža savršene performanse pri tisku i izvrsnu iskoristivost samog tonera. Tehničke karakteristike Splendorgel EW papira dane su u tablici 6. [13]

Tablica 5. Tehničke karakteristike papira Splendorgel EW

Tehničke karakteristike papira Splendorgel EW					
Gramatura	Volumen	Opacitet	Hrapavost	Otpornost na kidanje	
ISO 536	ISO 534	ISO 2471	ISO 8791-2	ISO 1924	
g/m ²	cm ³ /g	%	ml/min	KN/m	
				dugi tok ±10%	kratki tok ±10%
160 ± 5%	1,05	-	70 ± 20	9,1	5,2

[Izvor: Fedrigoni, <https://www.fedrigonipapers.com/paper-selector/splendorgel-extra-white>]

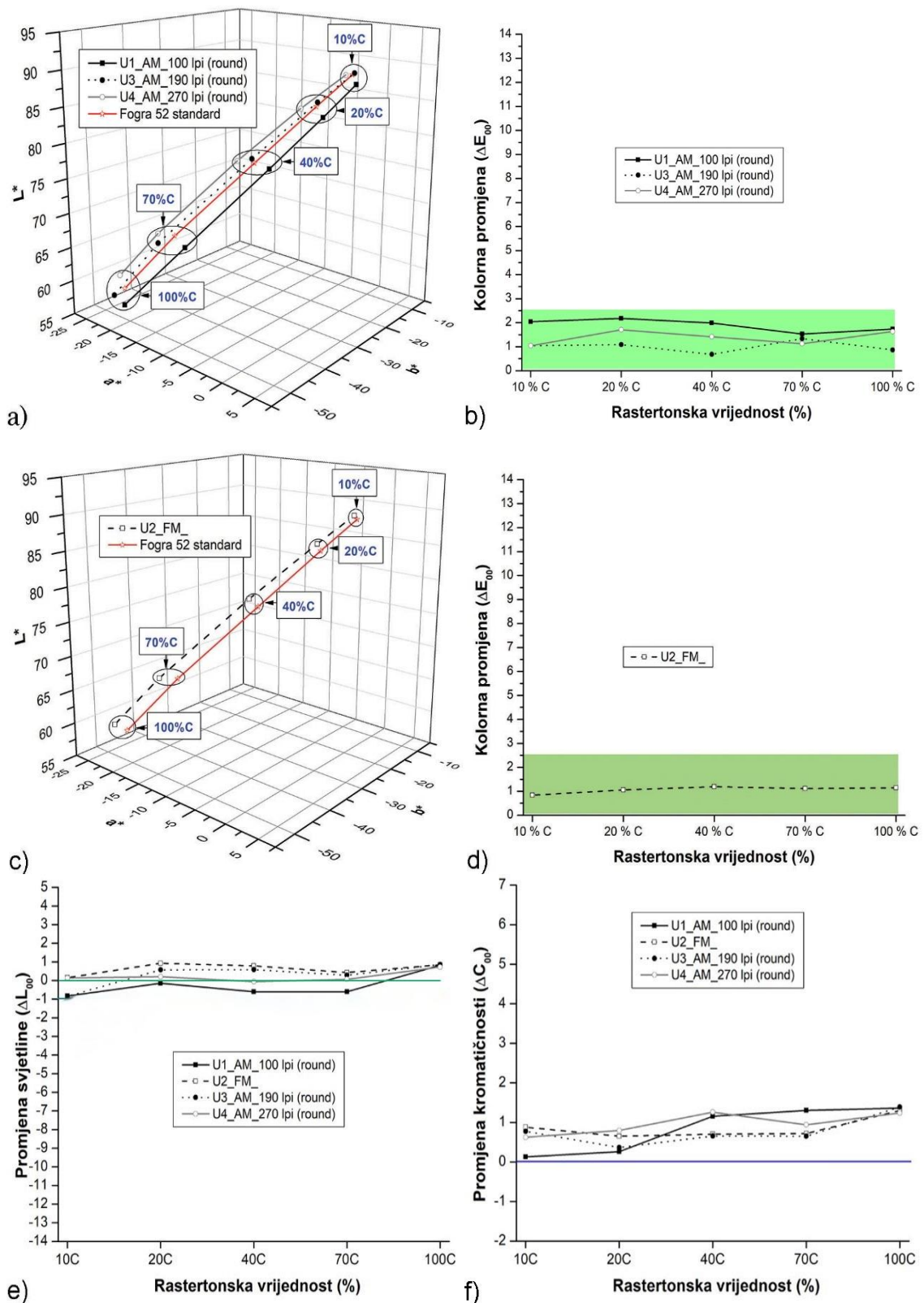
4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Kolorne razlike procesnih boja

Kako bi se ostvarili visokokvalitetni kolorni otisci i višebojne fotografije, potrebno je izvršiti njihovo rastriranje te pretvaranje u binarni oblik sa sitnim rasterskim elementima. Suvremeni RIP-ovi imaju mogućnost višestrukog rastriranja pri čemu je moguće koristiti amplitudne (AM) i frekventno modulirane (FM) rastere. Kod amplitudnih rastera varira se linijatura te veličina pojedinih rasterskih elemenata uz konstantno definirane vrijednosti pozicije. Kod FM rastera veličina rasterskih točkica je konstantna, a tonovi se ostvaruju njihovom različitom koncentracijom i distribucijom. Na slikama 26, 27, 28 i 29 prikazane su CMYK odstupanja za eksperimentalno otiskivanje uzoraka na potpuno novom (početna instalacija) tiskarskom stroju KM AccurioPress C12000.

Na slici 26a možemo uočiti da su sve tri amplitudne krivulje pravilne te da ostvaruju linearnu funkciju. Na navedenim krivuljama nema značajnih odstupanja no primjetno je da se najveće oscilacije zbivaju pri linijaturi od 100 lpi-a (U1). Pri analizi kolornih promjena na otisku (ΔE) uzeli smo u obzir minimalna i maksimalna odstupanja te je izračunata kolorna promjena pojedinih linijatura.

Najveće odstupanje očituje se na pri svjetlom području cijan otiska (slika 26b) te iznosi $\Delta E_{100LPI_20\%RTV}=2.18$. Kolorna promjena je izražena u pozitivnom smjeru $+a^*$ odnosno ton izgleda crvenije od zadanog Fogra 52 standarda. Manja odstupanja su vidljiva i kod koordinata L^* i b^* gdje vidimo da je navedeni otisak nešto tamniji u usporedbi sa standardom. Vrijednost koordinate b^* kreće se u smjeru plave boje. Najmanji pomak očituje se na uzorku rastera linijature od 190 lpi-a, preciznije $\Delta E_{U3_40\%RTV}=0.68$. Pri otiskivanju s AM rasterom, uzorak U3 pokazao se kao najidealnija varijanta za cijan separaciju sa srednjom vrijednosti odstupanja $\Delta E_{U3\text{-stand}}=1$, dok AM uzorak sa linijaturom od 100 lpi-a najviše odstupa sa srednjom vrijednosti odstupanja od $\Delta E_{U1\text{-stand}}=1.89$. Navedeni rezultati se nalaze unutar granica tolerancije te je razlika u odstupanjima između dva rastriranja $\Delta E_{U1-U3}=0.89$.



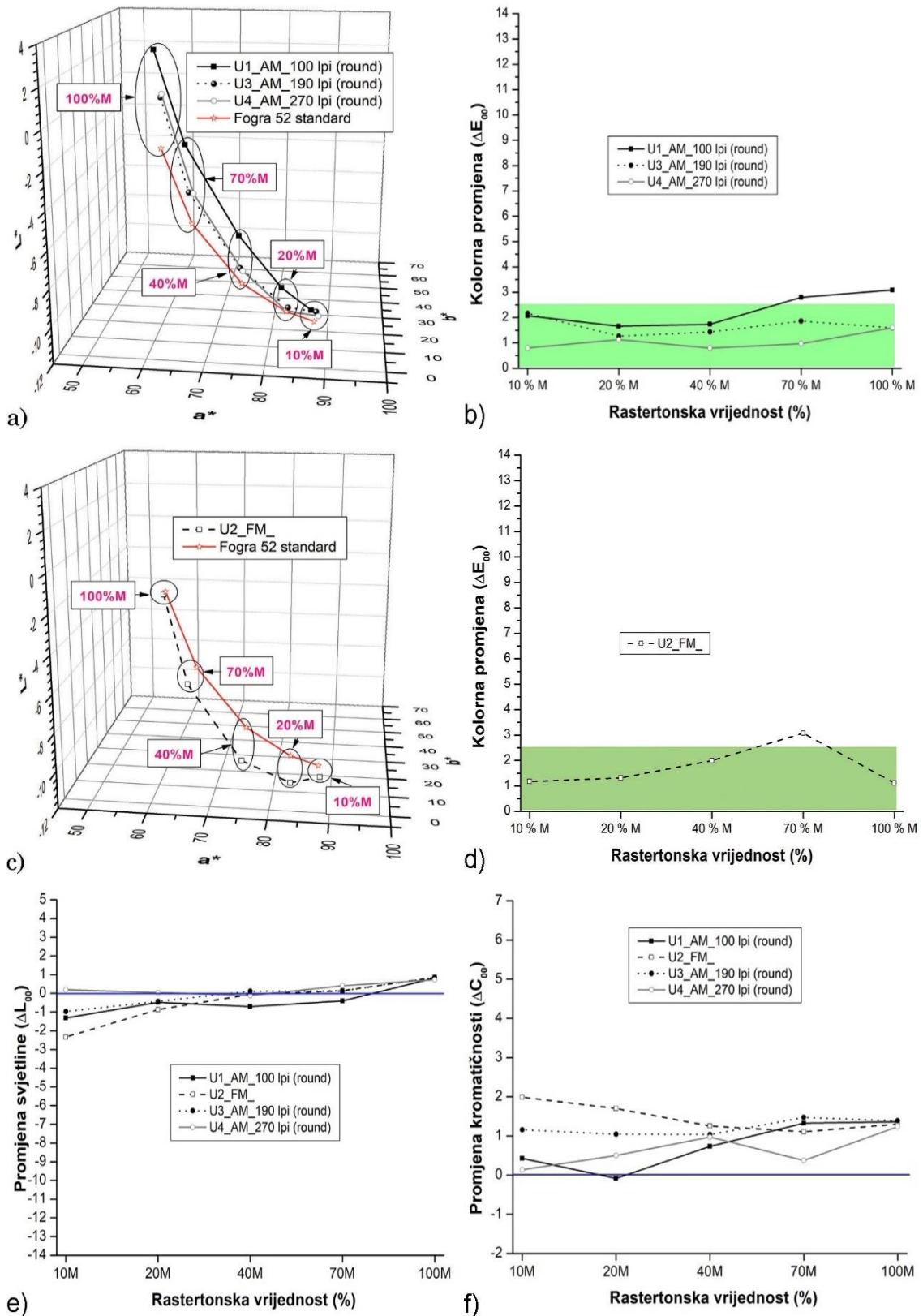
Slika 26. Kolorne razlike cijan separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti ΔC

Pri otiskivanju frekventno moduliranim rasterom (slika 26c) možemo uočiti da je linija reprodukcije pravilna i bez većih odstupanja. Najveće odstupanje ostvareno je u srednjim tonovima te iznosi $\Delta E_{FM_40\%RTV}=1.19$ dok najmanje odstupanje ostvareno pri svijetlim cijan područjima i iznosi $\Delta E_{FM_10\%RTV}=0.84$, što čini razliku od $\Delta E_{FM_stand}=0.35$. Kolorne promjene kod otiskivanja s FM rasterom su povoljne odnosno nalaze se unutar granica tolerancije. Usporednom rezultata dobivenih sa amplitudnim linijaturama možemo uočiti da je srednja vrijednost kolorne promjene otiska za frekventno modulirani raster najbližnja kolornoj promjeni amplitudnog rastera linijature od 190 lpi-a (U3) odnosno varijanti koju smatramo idealnom za cijan separaciju.

Kako bih preciznije uočili oscilacije na otisku, izračunali smo i promjenu svjetline ΔL za navedene rastere (slika 26e). Iz slike je vidljivo da su promjene najmanje pri uzorku linijature 270 lpi gdje je $\Delta L_{U4_10\%RTV}=0.06$. Najveće promjene su vidljive pri punom tonu četvrtog uzorka odnosno iznose $\Delta L_{U4_100\%RTV}=1.59$. Također, može uočiti da su odstupanja između linijatura u punom tonu gotovo neprimjetna. Odstupanja svjetlina za sve analizirane rastere najmanja su kod rastera linijature 190 lpi-a $\Delta L_{U3_190lp}=-0.01$, dok je najveća kod uzorka sa linijaturom s 100 lpi-a $\Delta L_{U1_100lp}=-0,74$.

U obzir smo uzeli i promjenu kromatičnosti ΔC (slika 26f) gdje su najmanja odstupanja i pri ovom izračunu bila kod linijature od 190 lpi-a (U3) koja iznose $\Delta C_{C_U1}=0.6$. Najveća odstupanja u kromatičnosti su se dogodila pri linijaturi od 270 lpi-a odnosno $\Delta C_{C_U4}=0.74$. Najveće kromatsko odstupanje imamo pri punom tonu prvog uzorka s vrijednošću od $\Delta C_{C_100\%RTV}=1.3$, dok najmanje imamo pri četvrtom uzorku s $\Delta C_{270LPI_10\%RTV}=0.08$.

Sumom svih rezultata možemo zaključiti da su navedeni profili cijana dobro definirani i da su otisci unutar granica tolerancije ($\Delta E < 2.5$) te shodno tome zadovoljavaju zahtjeve kvalitetnog tiska. Od svih navedenih opcija ističe se amplitudni raster linijature od 190 lpi ($\Delta E_{U3_sred}=1$) koji se pokazao idealnom varijantom za cijan otiske. Uzorak linijature 100 lpi (U1) se pokazao kao najlošija varijanta s $\Delta E_{U1_sred}=1.89$ te pri usporedbi s trećim uzorkom čini razliku od $\Delta E_{U3-U1}=0.89$.



Slika 27. Kolorne razlike magenta separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti

Slika 27a prikazuje da se najveće oscilacije zbivaju pri magenta punom tonu. Zamijećene su veće vrijednosti oscilacija nego kod cijan separacije. Najveće odstupanje događa se pri punom tonu linijature od 100 lpi-a s $\Delta E_{U1_100\%RTV}=3.09$. Pri zasebnom izračunu Lab vrijednosti primjećujemo iznimno veliko odstupanje u b^* vrijednosti odnosno iz toga možemo zaključiti da se b^* vrijednost kreće prema žutoj nijansi.

Manja odstupanja su vidljiva kod koordinata L^* i a^* gdje vidimo da je navedeni otisak nešto tamniji u usporedbi sa standardom te da se vrijednost a^* kreće više u smjeru crvene od navedenog standarda. Najmanje oscilacije se očituju pri linijaturi od 270 lpi-a, točnije $\Delta E_{U4_40\%RTV}=0.79$.

Usporedbom testiranih otisaka otisnutih AM rasterom, možemo zaključiti da je magenta otisak najkvalitetnije otisnut linijaturom od 270 lpi-a (U4) te da ima najmanja odstupanja u odnosu na zadani Fogra 52 standard. Za razliku od cijan separacije, navedeni rezultati se pri određenim rasterima i linijaturama ne nalaze unutar granica tolerancije te zahtijevaju dodatnu korekciju.

Uzorak 2 predstavlja otiskivanje sa frekventno moduliranim rasterom. U odnosu na Fogra 52 standard ostvarene su prosječne oscilacije od $\Delta E_{FM_sred}=1.74$ što se nalazi unutar granica tolerancije. Pri RTV-u od 70% možemo uočiti da se zbiva najveće odstupanja zbivaju pri $\Delta E_{FM_70RTV\%}=3.08$ te da je to jedino veće odstupanje koje se nalazi izvan granica tolerancije. Najmanje odstupanje iznosi $\Delta E_{U1_100\%}=1.12$ i ono se očituje pri punom tonom. Kolorne promjene pri otiskivanju s frekventno moduliranim rasterom su, isključujući RTV od 70%, unutar granica tolerancije.

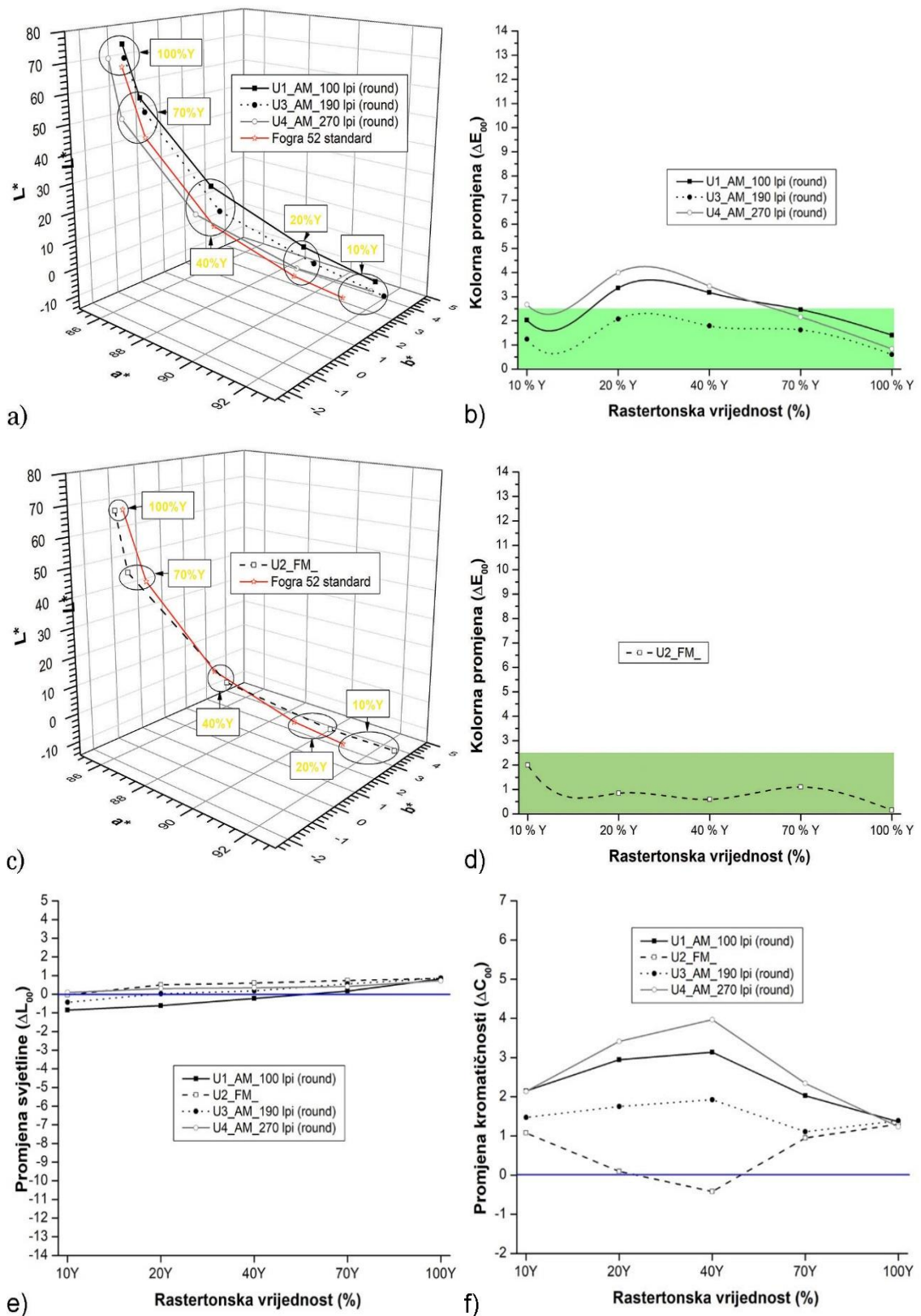
Usporednom vrijednosti dobivenih otiskivanjem FM i AM rasterom uočavamo da je srednja vrijednost kolorne promjene otiska za frekventno modulirani raster najbližnja linijaturi od 100 lpi-a (U1) odnosno varijanti AM rastera koja ima najveća odstupanja magenta separacije.

Zanimljivo je uočiti da se pri otiskivanju amplitudnim rasterom najveće odstupanje događa pri punom tonu dok je puni ton najidealnija varijanta pri otiskivanju frekventno moduliranim rasterom.

Dodatno je analizirana promjena svjetline ΔL i promjena kromatičnosti ΔC za testirane rastere. Najmanja odstupanja vidljiva su pri rastertonskoj vrijednosti linijature 270 lpi gdje je $\Delta L_{U4_40\%RTV}=0.04$. Najveće vidljiva oscilacija u punom tonu uzorka linijature 100 lpi-a odnosno $\Delta L_{U1_100\%RTV}=-1.38$. Iz slika možemo primijetiti da sve linijature rezultiraju pozitivnim rastom te da su odstupanja između linijatura u punom tonu ista. Aritmetički prosjek oscilacija najmanji je za linijaturu od 270 lpi-a s vrijednošću od $\Delta L_{U4-sred}=0.18$, te najveće oscilacije bilježi se pri linijaturi od 100 lpi-a s $\Delta L_{U1-sred}=-0.86$.

Promjena u kromatičnosti ΔC je tako najmanja kod četvrtog uzorka gdje je $\Delta C_{270LPI_sred}=0.35$. Najveća odstupanja zbilja su se kod linijature od 190 lpi-a odnosno $\Delta C_{U3-sred}=1.08$. Maksimum oscilacija magente pripada linijaturi od 190 lpi-a s $\Delta C_{U3_10\%RTV}=1.47$, minimum je vidljiv pri uporabi rastera linijature od 190 lpi-a s $\Delta C_{U1_40\%RTV}=-0.08$.

Pregledom svih vrijednosti možemo zaključiti da su navedeni profili pretežito dobro definirani te da je većina otisaka unutar granica tolerancije. Pri magenta separaciji prednost bi trebalo dati amplitudnom rasteru. Od testiranih uzoraka, zaključujemo da za navedenu separaciju bi najidealnije bilo koristiti amplitudni raster linijature od 270 lpi-a ($\Delta E_{U4-sred}=1.06$), dok linijatura 100 lpi najviše odstupa sa srednjom vrijednosti od $\Delta E_{U1-sred}=2.27$. Razlika u odstupanjima između najpovoljnije i najnepovoljnije varijante tako iznosi $\Delta E_{U1-U4}=1.22$.



Slika 28. Kolorne razlike žute separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti

Najveće žute oscilacije (slike 28a i 28b) zbivaju se u području od 20% do 40% RTV-a. Usporedbom srednjih vrijednosti žutih separacija u odnosu na ostale kolorne separacije, možemo zaključiti da žuta ima veća odstupanja. Maksimalna vrijednost odstupanja bilježi linijatura od 270 lpi-a ($\Delta E_{U4_20\%RTV}=3.99$) koja je vidljiva u $+b^*$ koordinati. U usporedbi sa standardom njeno odstupanje iznosi $\Delta b^*_{20\%RTV}=5.02$. Nešto manje oscilacije su zabilježene kod svjetline L^* gdje vidimo da su otisci U1 i U3 nešto tamniji u usporedbi sa standardom dok su U2 i U4 lagano svjetliji. Koordinata a^* kreće se više smjeru crvene od navedenog Fogra 52 standarda. Minimalna odstupanja očituju se u punom tonu uzorka linijature od 190 lpi-a ($\Delta E_{U3_100\%RTV}=0.61$). Pri korištenju AM rastera možemo zaključiti da je najkvalitetniji otisak otisnut linijaturom od 190 lpi-a te shodno tome ima najmanja odstupanja u odnosu na zadani standard ($\Delta E_{U3_stand}=1.47$), za razliku od linijature od 270 lpi-a koja najviše odstupa sa srednjom vrijednosti od $\Delta E_{U4_stand}=2.62$. Neki dobiveni žuti rezultati se ne nalaze unutar granica tolerancije te je potrebno izvršiti korekciju.

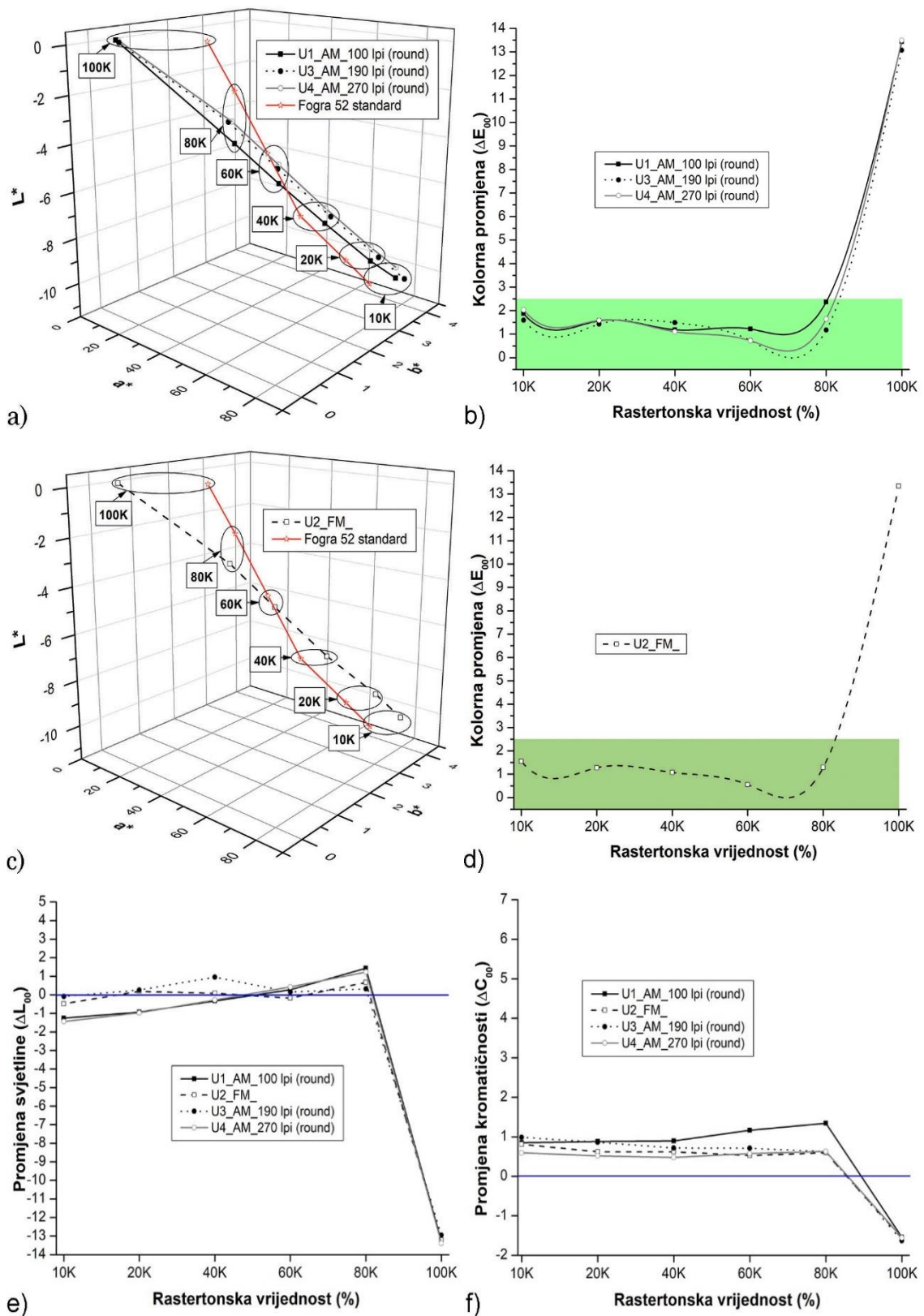
Vrijednosti dobivene za FM raster se nalaze granica tolerancije te ga čine boljim izborom od AM rastera. Prosječna odstupanja za navedeni raster iznose $\Delta E_{FM_stand}=0,94$, što je ujedno i mala kolorna promjena. Najveća odstupanja zabilježena su na početku žutog klina s $\Delta E_{FM_10\%RTV}=2,01$. Analogno sveopćem trendu odstupanja AM rastera, najmanja odstupanja vidljiva su pri punom tonu s ($\Delta E_{FM_100\%RTV}=0.15$). Kolorne promjene pri otiskivanju s FM rasterom se nalaze unutar granica tolerancije te ih karakteriziramo kao kvalitetne otiske.

Analizom promjena svjetline (ΔL) i promjena kromatičnosti (ΔC) možemo uočiti novi zanimljiv trend. Na slici 28e prikazane su promjene u svjetlini zajedno s vrijednostima koje se približavaju idealnoj reprodukciji. Minimalna odstupanja ostvarena su pri linijaturi od 190 lpi-a ($\Delta L_{U3_40\%RTV} =0.03$) dok maksimalna odstupanja nastaju na prvom uzorku pri 70% RTV-a ($\Delta L_{100LPI_70\%}=-0.85$).

Slika 28e nam prikazuje promjenu svjetline. Pritom je vidljivo da nema značajnih odstupanja te ne postoje razlike u odnosu na Fogra 52 standard. Promjena u kromatičnosti je najznačajnija u srednjim tonovima (40%RTV-a) gdje svi uzorci tiskani amplitudnim rasterom imaju značajan porast. Jedino se tiskom s frekventno moduliranim rasterom ostvaruje pad vrijednosti u odnosu na zadani standard.

Aritmetički prosjek žutih oscilacija kromatičnosti najmanji je za FM raster ($\Delta C_{FM_sred}=0.32$), dok je najveći kod linijature od 270 lpi-a ($\Delta C_{U4_sred}=2.53$). Maksimalna odstupanja žute zbivaju se pri 20% RTV-a linijature od 270 lpi-a te iznose $\Delta C_{U4_20\%RTV}=3.97$, dok najmanja odstupanja bilježimo pri tisku punog tona ostvarenog linijaturom od 190 lpi-a ($\Delta C_{U3_100\%RTV}=0.22$).

FM raster u usporedbi s najpovoljnijim uzorkom AM rastera (U3) ima jedva vidljive kolorne promjene, odnosno usporedbom srednjih vrijednosti odstupanja ostvaruje se razlika od $\Delta E_{U3-U2}=0.53$. Iz toga možemo zaključiti da je u ovom slučaju idealna varijanta FM opcija ($\Delta E_{FM_sred}=0.94$). Linijatura od 190 lpi-a amplitudnog rastera te frekventno modulirani raster od 25 μm se nalaze unutar granica tolerancije. Što nije slučaj za linijature AM 100 i 270-lpi odnosno za njih je potrebno izvršiti određene korekcije.



Slika 29. Kolorne razlike crne separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti

Na slici 29a je vidljivo da se sve rasteronske vrijednosti do 80% RTV-a nalaze unutar granica tolerancije nakon čega slijede iznimno velika odstupanja koja dosežu rapidan maksimum u punom tonu. On je ostvaren pri linijaturi od 270 lpi- i iznosi $\Delta E_{U4_100\%RTV}=13.49$. Ostali testirani rasteri i linijature ostvaruju podjednake promjene. Ova razlika se pripisuje potpuno novom stroju koji je prvi put instaliran, tome se i pripisuje i velika oscilacija pri punom tonu. Komparacijom crnih srednjih vrijednosti s ostalim procesnim bojama možemo vidjeti da crna ima daleko najveća odstupanja. Minimum odstupanja je zabilježen pri uzorku linijature od 270 lpi te iznosi $\Delta E_{U4_60\%RTV}=0.72$. Primjenom amplitudnog rastera od 190 lpi-a ostvaruje se najkvalitetniji otisak crne separacije sa prosječnom vrijednosti odstupanja $\Delta E_{U3_sred}=3.25$. Suprotno tome, linijatura od 100 lpi-a najviše odstupa od standarda te njezina prosječna vrijednost iznosi $\Delta E_{U1_stand}=3.61$. Dobiveni rezultati se u konačnici nalaze izvan granica tolerancije te je potrebno izvršiti određene korekcije.

Promjenom postavki RIP-a s FM rasterom ostvaruju se slične vrijednosti kao i kod ostalih rastera. Tako će aritmetička sredina za FM raster iznositi $\Delta E_{FM_stand}=3.18$ što se također nalazi izvan granica dopuštenih tolerancija. Puni ton je sličan kao i kod FM rastera $\Delta E_{FM_100\%RTV}=13.34$. Sukladno navedenom trendu, najmanja odstupanja vidljiva su u srednjim akromatskim tonovima čije odstupanje iznosi $\Delta E_{FM_60\%RTV}=0.55$.

Frekventno modulirani raster je zadovoljavajuće otisnut u svim rastriranim područjima (sve do vrijednosti od 80% RTV-a) nakon čega nastupa skok u punom tonu. Za očekivati je da će se duljim otiskivanjem (smanjenjem koncentracije tonera i starenjem razvijačkih čestica) ova vrijednost smanjivati. Budući da puni ton definira značajnu promjenu u srednjoj vrijednosti, zadani raster se kao takav ne vodi kao ispravna opcija za otiskivanje crnog tona.

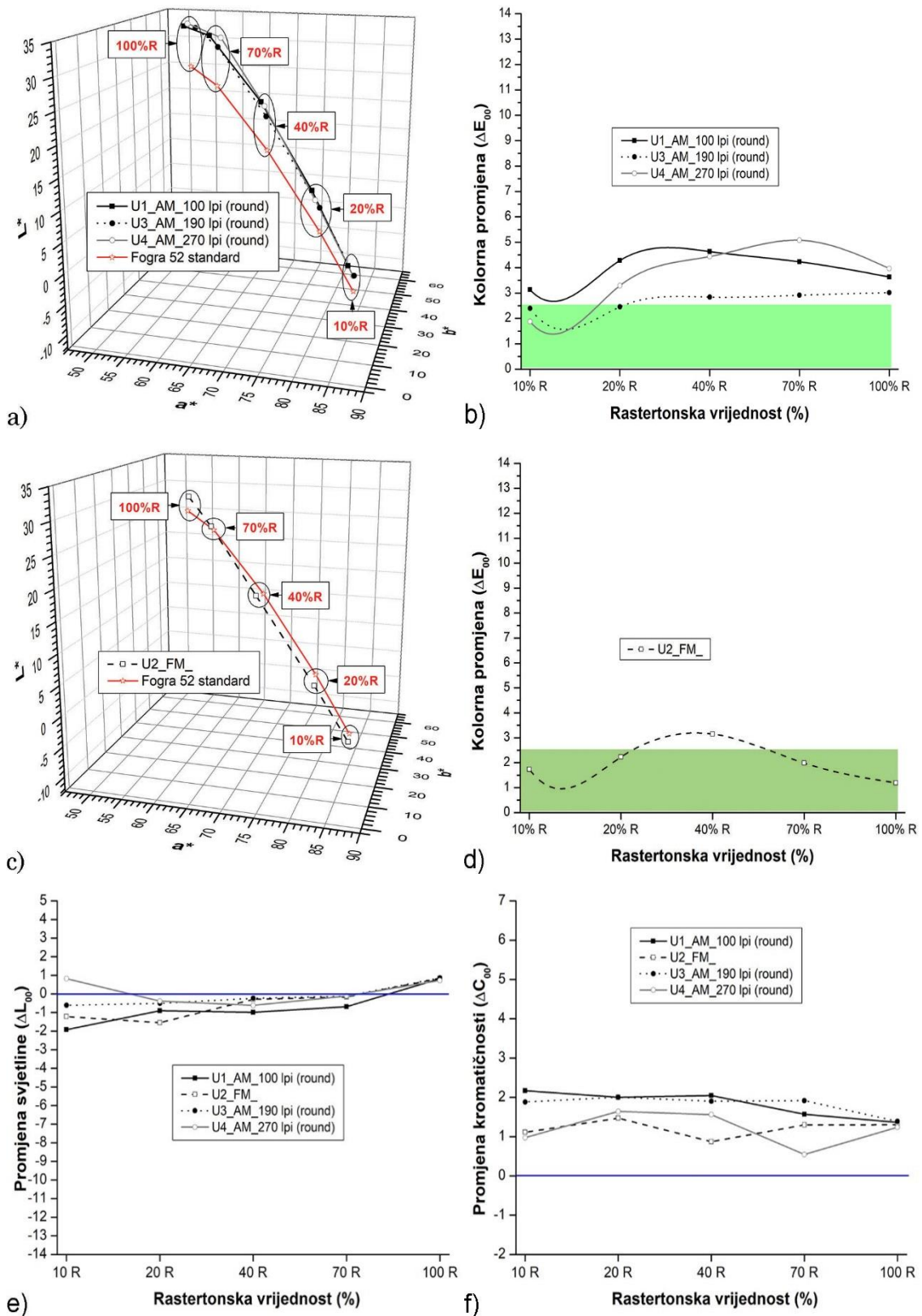
Promjena vrijednosti svjetline ΔL i kromatičnosti ΔC za navedene rastere je sukladna kolornim promjenama ΔE . Tako je najveća promjena u svjetlini i kromatičnosti ostvarena u punom tonu. Minimalna devijacija u svjetlini se dešava pri samom početku Ugra/Fogra klina $\Delta L_{10\%}=-0.09$.

Najidealnije varijante nalaze se u području srednjih tonova (od 40% do 60% RTV) gdje je srednja vrijednost svih odstupanja iznimno povoljna. Nakon toga, područje od 60% do 80% RTV-a bilježi blagi porast vrijednosti svjetline nakon čega započinje rapidan skok (puni ton) odnosno $\Delta L_{100\%RTV} = -13.38$. Sve navedene promjene svjetline se u negativom smjeru te u konačnici rezultira tamnijim otiskom od zadanog Fogra 52 standarda. Promjena u kromatičnosti bilježi svoja najveća odstupanja od 80% do 100% RTV-a ostvarujući pritom maksimalnu devijaciju od $\Delta C_{100\%RTV} = -1.63$. U ostalim mjernim poljima prvi uzorak ima najveće prosječno odstupanje od $\Delta C_{sred_100LP} = 0.6$, dok četvrti uzorak ostvaruje najmanje odstupanje od standarda s $\Delta C_{sred_270LPI} = 0.21$.

Detaljnim uvidom u sve vrijednosti dolazimo do zaključka da se niti jedna opcija sa svojim aritmetičkim prosjekom odstupanja ne nalazi unutar granica tolerancije. Izuzevši odstupanja u punom tonu, ostale vrijednosti se nalaze unutar granica. Puni ton prikazuje iznimna odstupanja u svjetlini odnosno navedeni otisak je znatno tamniji od definiranog standarda.

4.2. Kolorna razlika spotnih boja

Osim procesnih tonova na otisku se realiziraju i spotne boje. One nastaju pretiskivanjem transparentnih Simitri V tonera stvarajući pritom 200%-tni nanos (RGB). Tercijalne boje nastaju trostrukim nanosom CMY-a tonera, a u našem slučaju odabrana je nijansa ljudske kože. Na slikama 31, 32, 33 i 34 prikazane su RBG odstupanja i odstupanje nijanse ljudske kože za eksperimentalno otiskivanje uzoraka na tiskarskom stroju KM AccurioPress C12000.



Slika 30. Kolorne razlike crvenih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti ΔC

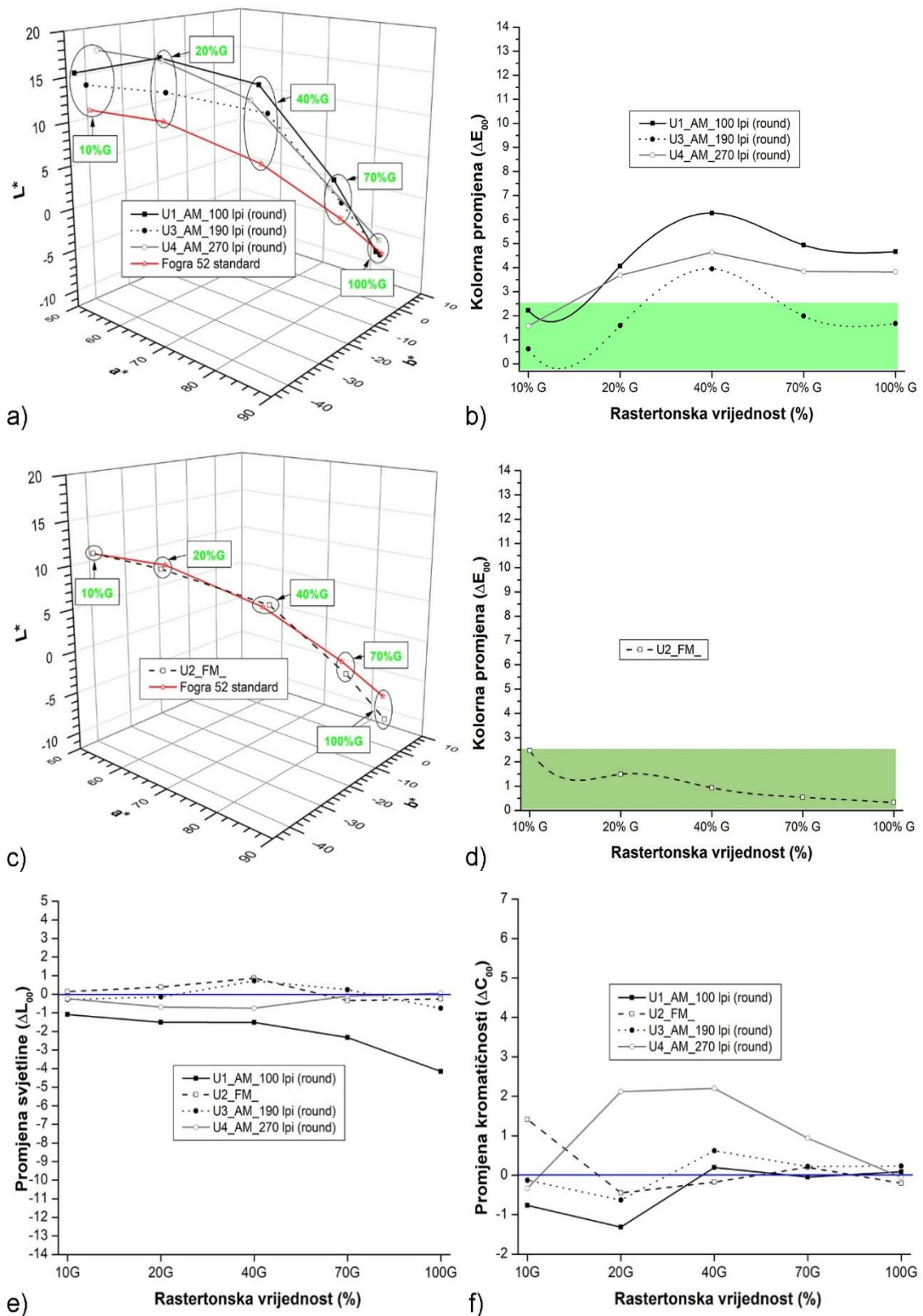
Pregledom crvenog otiska otisnutog amplitudnim rasterom žute i magente možemo primijetiti da postoje odstupanja koja kontinuirano prate linearnu funkciju standarda. Usporedbom svih srednjih vrijednosti crvenih krivulja reprodukcije možemo zaključiti da crveni tonovi u globalu imaju najveća odstupanja. Paralelno tome nastavlja se trend konstantnog porasta odstupanja koji je zabilježen i kod procesnih boja. Najveća odstupanja na prikazanoj slici 30a zbivaju se unutar područja od 40% do 70% RTV-a. Maksimalna vrijednost odstupanja vidljiva je pri 70% RTV-a za linijaturu od 270 lpi-a te iznosi $\Delta E_{U4_70\%RTV}=5.08$. Navedena linijatura u isto vrijeme bilježi maksimum i minimum odstupanja koji iznosi $\Delta E_{U4_10\%RTV}=1.87$. Ostale dvije AM linijature bilježe sljedeća odstupanja $\Delta E_{U1_100LPI}=3.98$ i $\Delta E_{U3_190LPI}=2.72$. Shodno tome, možemo zaključiti da iako se svi rezultati se u konačnici nalaze izvan granica tolerancije, linijatura 190 lpi-a je najkvalitetnija tj. najbliža referentnom standardu.

Za razliku od rezultata dobivenih primjenom amplitudnog rastera, frekventno modulirani raster sadrži u cijelosti manja odstupanja. Aritmetička sredina odstupanja za ovaj raster iznosi $\Delta E_{FM_stand}=2.06$ što je manje od svih ostalih testiranih rastera. Maksimalno odstupanje zabilježeno je za vrijednosti $\Delta E_{FM_40\%RTV}=3.15$ što je jedino polje koje se nalazi izvan granica tolerancije. Najmanja odstupanja vidljiva su pri punom tonu i iznosi $\Delta E_{FM_100\%RTV}=1.19$. Usporedbom FM rastera sa najpovoljnijim AM rasterom (190 lpi) ostvaruje se razlika od $\Delta E_{U3-u2}=0.66$. Ona je ostvarena komparacijom prosječnih vrijednosti $\Delta E_{FM_stand}=2.06$ i $\Delta E_{190LPI_stad}=2.72$.

Analizom promjene svjetline ΔL i kromatičnosti ΔC za testirane rastere možemo primijetiti najveća odstupanja u punom tonu. Navedene krivulje se znatno razlikuju u svjetlijim tonovima (negativni predznak) te završavaju s odstupanjima s pozitivnim predznakom (svjetlija nijansa). Minimalna odstupanja u svjetlini vidljiva su pri linijaturi od 270 lpi ($\Delta L_{U4_10\%RTV}=-0.11$) dok su maksimalna vidljiva u punom tonu ostvarenom s linijaturom od 100 lpi-a ($\Delta L_{U1_100\%RTV}=-2.09$). Iz slike 30e vidljivo je blago smanjenje vrijednosti što crveni otisak čini tamnijim od zadanog standarda. Za razliku od toga, slika 30f pokazuje promjenu u kromatičnosti crvenih tona koji su isključivo s pozitivnim predznakom tj. zasićeniji.

Promjena u kromatičnosti je najznačajnija pri 70% RTV-a gdje bilježi maksimum od $\Delta C_{\max(70\%RTV)}=2.17$. Uzorak otisnut frekventno moduliranim rasterom svoj maksimum doživljava na polju od 40% RTV-a ($\Delta C_{FM_40\%}=1.47$). Samim time, prosječna oscilacija najmanja je linijaturu od 270 lpi-a ($\Delta C_{U4}=1.13$) dok je najveća kod rastera linijature od 100 lpi ($\Delta C_{U1}=1.89$). Polje s najmanjom devijacijom u odnosu na standard je ostvareno linijaturom od 270 lpi i iznosi okom nevidljivih $\Delta C_{U4_10\%RTV}=0.54$.

Usporedbom srednjih vrijednosti odstupanja možemo zaključiti da je za crvene tonove najpovoljnija varijanta frekventno modulirana opcija s $\Delta E_{FM}=2.06$ koja se nalazi unutar granica tolerancije ($\Delta E < 2.5$). Varijacijom postavki RIP-a ostvarit će se kolorna razlika $\Delta E_{U4-U2}=1.92$.



Slika 31. Kolorne razlike zelenih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti

Prikazom grafova zelene za amplitudni raster uočavamo da se najveća odstupanja ostvaruju u polju od 40% RTV-a nakon čega nastupa smanjuje u smjeru punog tona. Srednje vrijednosti zelenih tonova u usporedbi s crvenim tonovima u globalu imaju manja odstupanja. Maksimalna odstupanja ostvarena su pri tisku polja od 40% RTV-a uz korištenje linijature od 100 lpi-a ($\Delta E_{U1_40\%RTV}=6.27$), što je velika kolorna razlika i nalazi se izvan granica tolerancije. Minimalna odstupanja su zabilježena kod AM rastera linijature od 270 lpi-a te iznose $\Delta E_{U4_10\%RTV}=0.62$. Za linijaturu od 100 lpi-a karakteristična je velika devijacija prosječnih vrijednosti zelenih tonova od $\Delta E_{U1_100lpi}=4.43$.

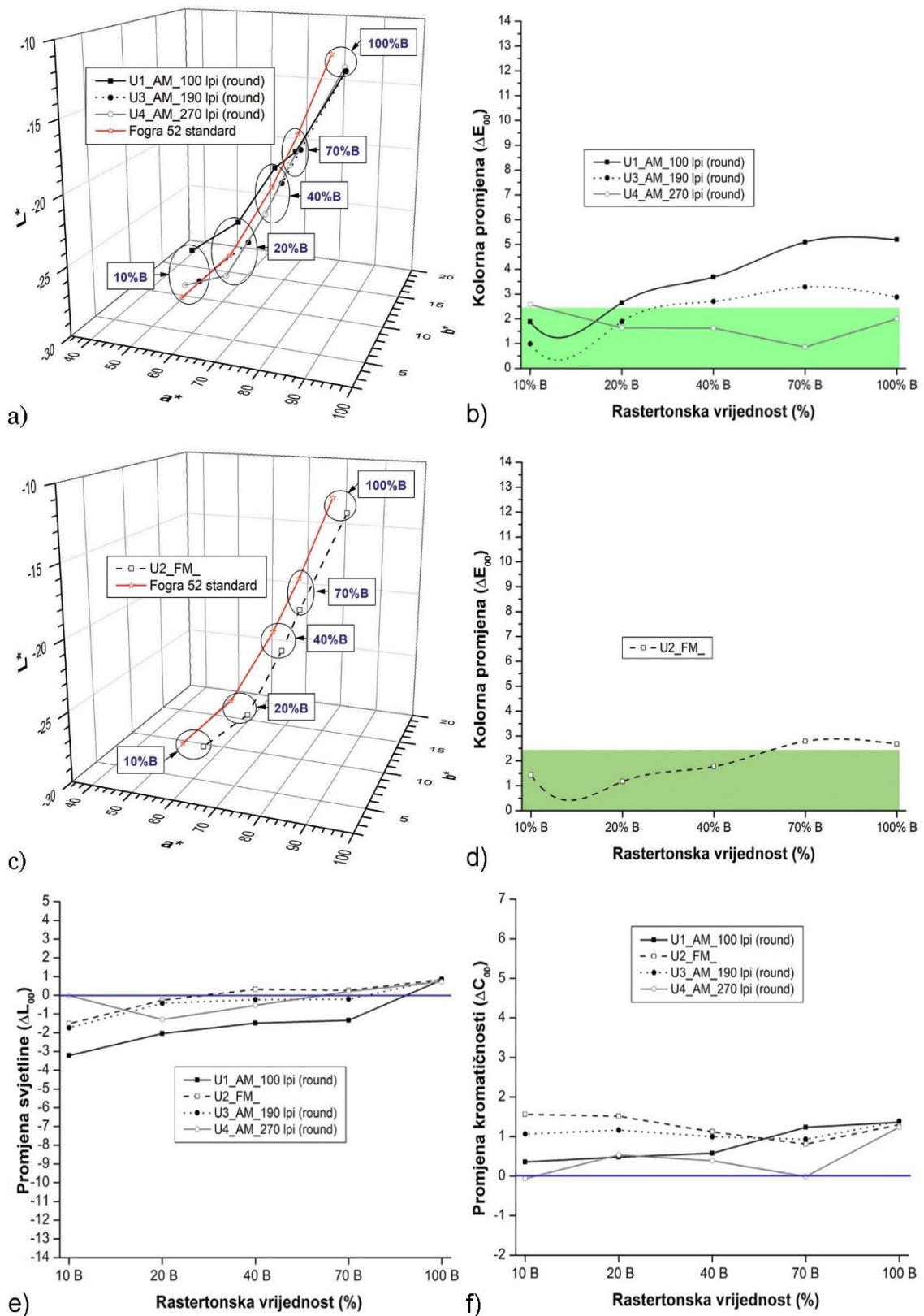
Kod testiranih AM rastera možemo primijetiti da je najkvalitetniji otisak zelenih tonova ostvaren linijaturom od 190 lpi-a čija prosječna vrijednost iznosi $\Delta E_{U3_190LPI}=1.97$. Samim time, linijatura od 190 lpi-a pokazala se kao najbolja amplitudna opcija, dok se linijatura od 100 lpi-a pokazala kao najlošija opcija rastriranja zelenih tonova.

Za razliku od AM rastera, FM raster se u potpunosti nalazi unutar dozvoljenih granica tolerancije što ga čini idealnim za reprodukciju zelenih tonova. Prosječno odstupanje FM raster iznosi $\Delta E_{FM}=1.15$. Svoj maksimum dostiže na svjetlijim područjima $\Delta E_{FM_10\%RTV}=2.46$ što je na gornjoj granici tolerancije. Minimum je ostvaren pri zelenom punom tonu sa vrijednošću $\Delta E_{FM_100\%RTV}=0.33$.

Grafovi s promjenama svjetlina ΔL (slika 31e) i kromatičnosti ΔC (slika 31f) nam prikazuju različita odstupanja za testirane rastere. Iz krivulja reprodukcije zelenih tonova zamijećeno je veće odstupanje pri AM linijaturi od 100 lpi-a (ΔL graf) te pri linijaturi od 270 lpi-a (ΔC graf). Minimalna odstupanja u svjetlini vidljiva su pri četvrtom uzorku gdje je $\Delta L_{270LPI_100\%RTV}=0.05$ dok su maksimalna odstupanja u punom tonu $\Delta L_{100\%RTV}=-4.16$. Navedeni zeleni graf nam ukazuje da svjetlina zelenih nijansi pada odnosno da je navedeni otisak tamniji od zadanog Fogra 52 standarda.

Prikaz koji pokazuje odstupanja u kromatičnosti zelenih tonova nije konstantan te najviše odstupa na pri linijaturi od 270 lpi-a $\Delta C_{U4_40\%RTV}=2.20$. Otisak otisnut frekventno moduliranim rasterom svoj maksimum ostvaruje pri polju od 10% RTV-a koji iznosi $\Delta C_{FM}=1.42$. FM i AM raster ostvaruju svoj maksimum pri polju od 40% RTV-a te iznosi $\Delta C_{FM_40\%RTV}=-0.17$. Prosječna kromatičnost zelenih tonova ne ostvaruje veća odstupanja te sve vrijednosti kreću od $\Delta C=0.16$ do $\Delta C=0.98$. Minimum odstupanja zbiva se pri 70% RTV-a prvog uzorka s $\Delta C_{100LPI_70\%RTV}=-0.05$.

Sveukupno možemo zaključiti da najpovoljniji izbor frekventno modulirani raster gdje je devijacija zelenih tonova unutar granica tolerancije ($\Delta E_{FM}=1.15$). Od AM rastera je najbolja se pokazala linijatura od 190-lpi ($\Delta E_{U3}=1.97$) Ostali AM rasteri u zelenim tonovima ostvaruju okom vidljive promjene odnosno $\Delta E_{U1_100LPI}=4.43$ što čini ukupnu razliku od $\Delta E_{U1-U2}=3.28$.



Slika 32. Kolorne razlike plavih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline ΔL ; f) Promjena kromatičnosti

Slika 32a prikazuje najveća odstupanja plavih tonova na uzorku od linijature 100 lpi-a. Iz prikazanih krivulja, područja od 10% do 20% RTV-a za navedeni graf nemaju značajnih kolornih odstupanja nakon čega slijedi rast. Maksimalna vrijednost zabilježena je u punom tonu otisnutog s linijaturom 100 lpi-a te iznosi $\Delta E_{U1_100\%RTV}=5.19$. Ta odstupanja su ostvarena u a^* koordinati u pozitivnom smjeru odnosno plavi tonovi imaju izraženiju crvenu komponentu. Minimalna odstupanja očituju se pri linijaturi od 270 lpi-a ($\Delta E_{U4_70\%RTV}=0.86$). Analizom ostalih AM zadanih linijatura dolazimo do zaključka da je plavi otisak najkvalitetnije otisnut linijaturom od 270 lpi-a (U4) pri čemu se samo jedno polje nalazi izvan granica tolerancije. Također, zamijećena je i oscilacija pri realizaciji punog tona.

FM raster se slično ponaša kao i testirani AM rasteri. Prosječno odstupanje plavih tonova iznosi $\Delta E_{FM_sred}=1.96$ što je približno amplitudnoj opciji od $\Delta E_{270LPI}=1.74$. Maksimalna vrijednost odstupanja ostvarena je na polju od 70% RTV-a i iznosi $\Delta E_{FM_70\%RTV}=2.78$ što je iznad granica tolerancije. Najbolje reproducirano polje je u plavom tonu od 20% RTV-a te iznosi $\Delta E_{FM_20\%RTV}=1.17$, dok vrijednosti tamnih tonova (od 70% do 100% RTV-a) prelaze izvan granica tolerancije (potrebna je korekcija).

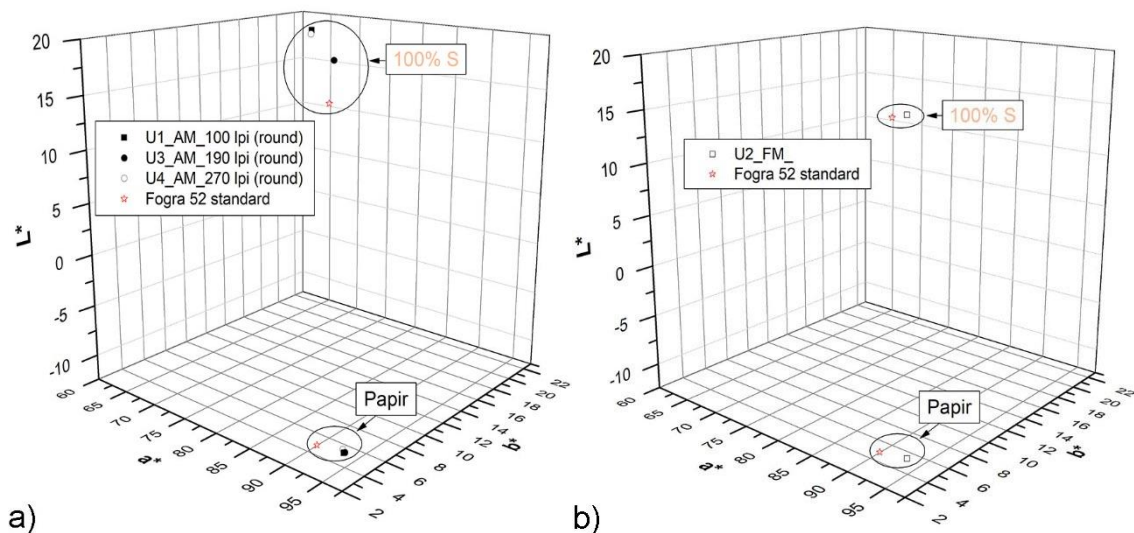
Prikazi promjene svjetline ΔL (slika 32e) ukazuju na dinamiku promjena u negativnom smjeru (otisci su tamniji). Idealni plavi ton ostvaren je na polju od 70% RTV-a pri linijaturi od 270 lpi-a ($\Delta L_{U4}=-0.02$). Maksimalno odstupanje ostvareno je također na polju od 70% RTV-a uz primjenu linijature AM 100 lpi-a ($\Delta L_{U1_70\%RTV}=-3.22$).

Promjena u kromatičnosti ostvarena je u pozitivnom smjeru (otisci su zasićeniji). Plavi tonovi svoj maksimum odstupanja ostvaruju pri linijaturi 100 lpi-a te iznose $\Delta C_{U1_10\%RTV}=1.23$. Plavi otisak otisnut frekventno moduliranim rasterom svoj maksimum doživljava na polju od 70% RTV-a te iznosi $\Delta C_{FM_70\%RTV}=1.56$. Minimalna vrijednost ostvarena je na 10% linijature od 270 lpi-a s $\Delta C_{U4_10\%RTV}=-0.01$.

Srednja vrijednost svih odstupanja najmanja je za amplitudni raster linijature 270 lpi-a s vrijednošću od $\Delta C_{U4_270LPI}=0.08$ dok je najveća kod linijature od 190 lpi-a $\Delta C_{U3}=1,00$.

Analizom svih navedenih vrijednosti dolazimo do zaključka da je najkvalitetniji otisak ostvaren amplitudnim rasterom linijature 270 lpi-a s prosječnim odstupanjem od $\Delta E_{U4}=1.74$. Takav plavi otisak se nalazi unutar granica tolerancije te zadovoljava zahtjeve kvalitetnog tiska. Nakon toga slijedi frekventno modulirani raster ($\Delta E_{FM}=1.96$); te AM linijature od 190 lpi ($\Delta E_{U3}=2.35$) i 100 lpi ($\Delta E_{U1}=3,70$).

Od specijalnih nijansi izabrana je boja ljudske kože, ona je na Ugra/Fogrinom klinu na poziciji c14. Na slici 33 prikazane su 3D CIELAB grafikoni sa oscilacijama papira i odabrane tercijalne boje.



Slika 33. Kolorne razlike tercijalne boje kože nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera, b) Lab 3D prikaz FM rastera

Na slici 33 vidljivo je da uzorak boje ljudske kože ima najveća odstupanja primjenom RIP postavki od 100 lpi-a. Za reprodukciju ovog tona važna je tiskovna podloga (vrijednost papira) čije vrijednosti se nalaze unutar granica tolerancije. Najveće odstupanje zabilježeno je pri linijaturi od 100 lpi-a ($\Delta E_{U1}=5.67$). Ona su ostvarena po koordinati b*odnosno ton postaje žući. Minimalno odstupanje postignuto je s upotrebom linijature od 190 lpi-a te iznosi $\Delta E_{U3}=2.88$.

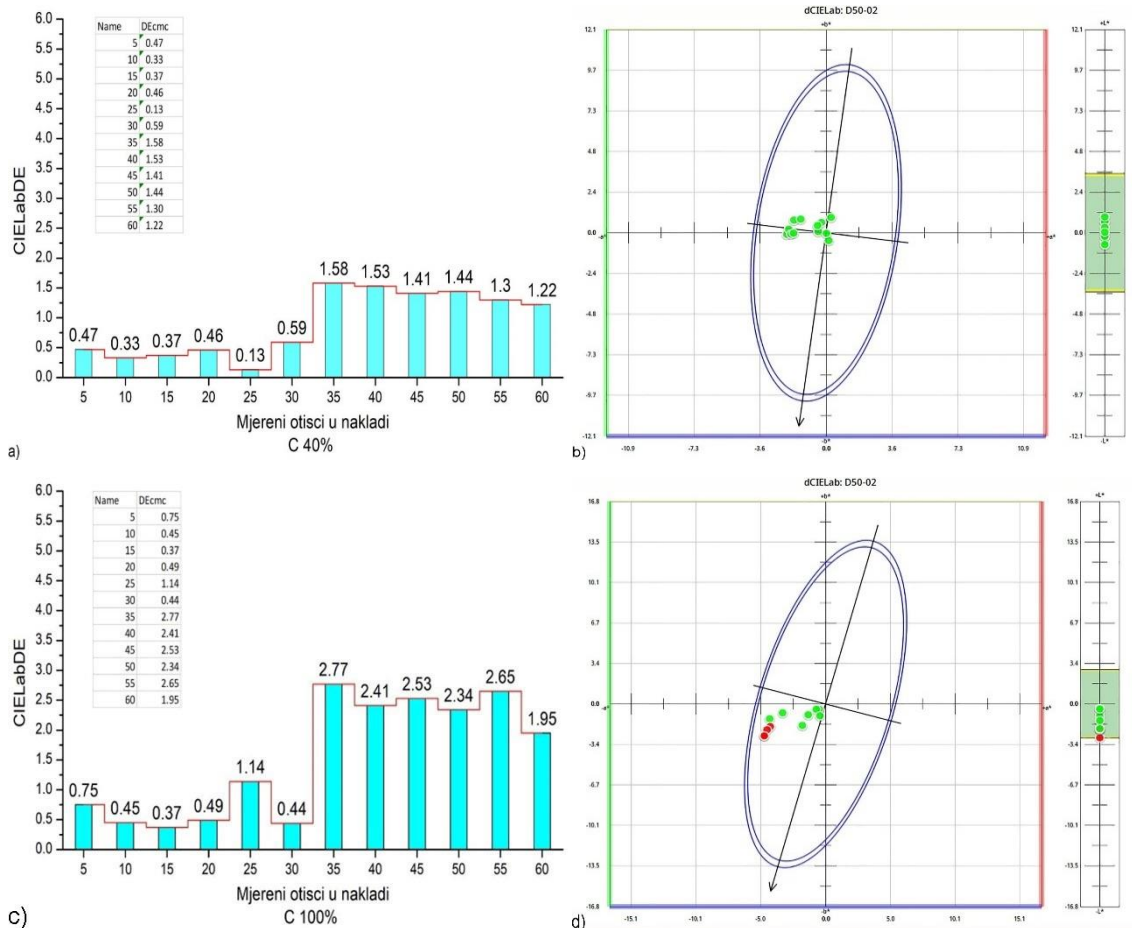
Korišteni FM raster ($\Delta E_{FM}=3.69$) najbliži je linijaturi AM 190-lpi ($\Delta E_{U3}=2.88$). Time je ostvarena njihova razlika od $\Delta E_{U2-U3}=0.81$.

Analizom ostvarenih tonova dolazimo do zaključka da je najkvalitetniji otisak ostvaren amplitudnim rasterom linijature 190 lpi-a s vrijednošću $\Delta E_{U3}=2.88$, dok je najlošija opcija raster linijature od 100lpi-a koji iznosi $\Delta E_{U1}=5.67$. Tako se preporuča da postavka RIP-a 190 lpi-a bude korigirana jer se nalazi izvan granica tolerancije.

4.3. Kolorimetrijska postojanost procesnih boja u periodu od 60 sekundi

Cijan

U proizvodnji osim kvalitete pojedinačnih otisaka važna je i dinamika njihovog nastajanja. Zbog toga se u periodu od 60 sekundi uzelo 12 mjerenja (svakih pet sekundi). Analizirajući kolornu oscilaciju, histograme, na slici 34 možemo učiti promjene nastale u području od 40 % i 100% RTV-a za cijan otisak. Procesne nijanse mjerene u eksperimentalnom dijelu nalaze se na Ugra/Fogra Media Wedge klinu koje su za cijan separaciju definirane na pozicijama a1 do a5.



Slika 34. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za cijan boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Analizom histograma cijan separacije od 40% RTV (slika 34a) uočavamo da početni period uhodavanja nema većih odstupanja nakon čega dolazi do naglog rasta vrijednosti kolorne promjene pri otisku otisnutom u 35. sekundi. Nakon navedenog naglog rasta kolorne promjene nakon šestog otiska dolazi do ponovne uspostave stabilnosti tiska te se ne zbivaju veća odstupanja. Kako bi uočili razlike u tisku kroz vremenski period od 60 sekundi, dodatno smo izračunali srednje vrijednosti za period prije i poslije odstupanja.

za početni period uhodavanja dobili smo rezultate koji su okom nevidljivi u srednjim tonovima (40% RTV cijan separacije), te iznose $\Delta E_{5s-30s}=0.61$. Srednja vrijednost za drugi period ima veliki iznos $\Delta E_{35s-60s}=2.44$. Maksimalna vrijednost zabilježena je na 35. otisku te iznosi $\Delta E_{35s}=1.58$, dok je minimalna vrijednost prisutna na 25. otisku $\Delta E_{C40\%_25s}=0.13$. Izračun srednjih vrijednosti za cijeli period od 60 sekundi tako iznosi $\Delta E_{0s-60s}=1.53$ što se nalazi unutar granica tolerancije.

U 2D CIEL*a*b* dijagramu (slika 34b) nastalom u programu iQC vidljivo je da se svih 12 mjerenja nalazi unutar elipse dozvoljenih odstupanja. Samim time, potvrđena je stabilnost i preciznost tiskarskog stroja pri nakladi od 60 primjeraka. U tome se očitavaju oscilacije nekih tonova po kromatičnosti, stvarajući otiske zelenkastijim. Svjetlina pritom ostaje stabilna.

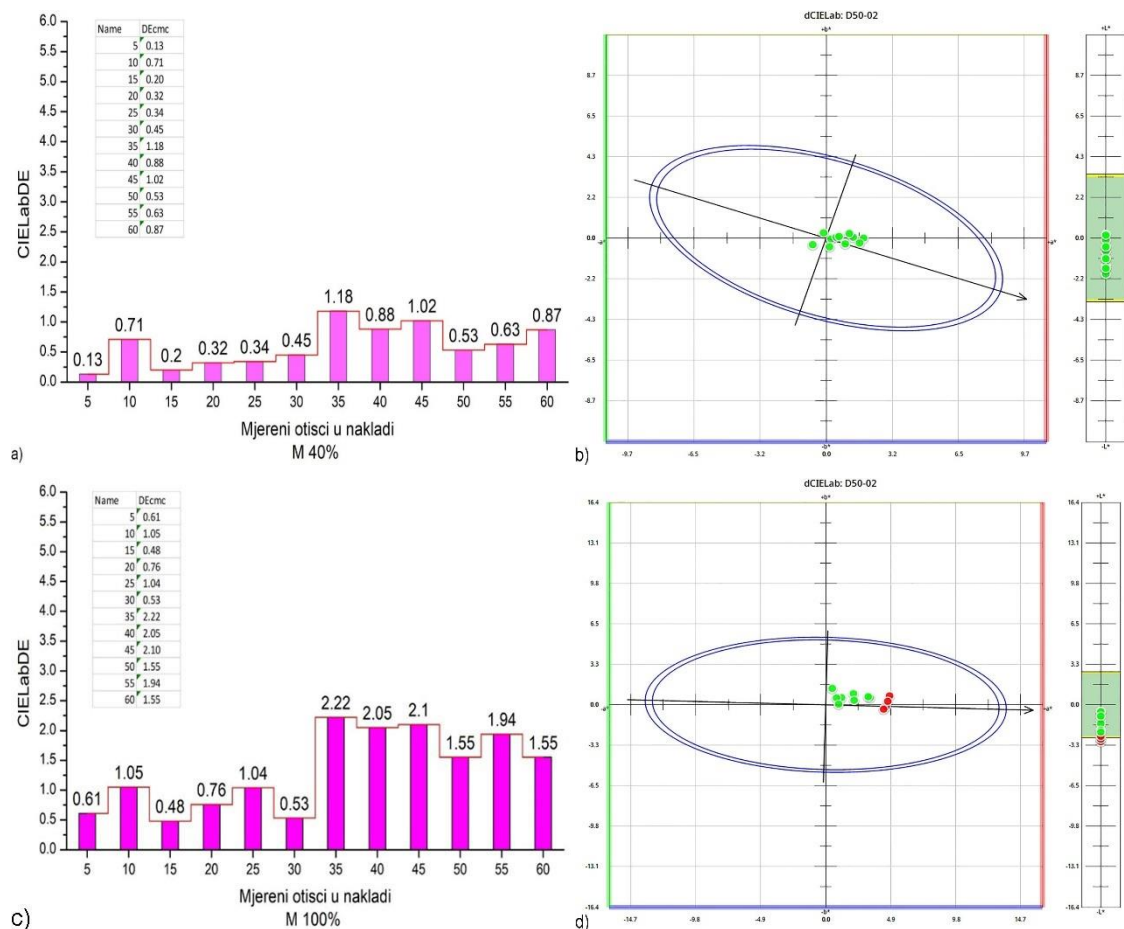
Analizom cijan otiska s 100% RTV-a uočavamo isti slijed kretanja rezultata. Odnosno, histogram u prvih 30 sekundi ima relativno kontinuirana odstupanja (iznimka 25. otisak koji bilježi odstupanje od $\Delta E_{25s}=1.14$). Nakon prvih 30 sekundi cijan otisci ponovno bilježe nagli skok (u 35. sekundi) nakon čega nastavlja sa stabilnim kretanjima rezultata.

Izračunom kolornih devijacija cijan puni ton došli smo do zaključka da u prvom dijelu histograma imamo iznimnu stabilnost $\Delta E_{C100\%_5-30s}=0.39$. Međutim, nakon toga slijedi devijacijama cijan tonova $\Delta E_{C100\%_35-60s}=1.41$ u drugom dijelu histograma. Zabilježeni maksimum je analogan slici 34a s $\Delta E_{C100\%_35s}=2.77$, dok je minimum zabilježen u 30. sekundi s $\Delta E_{C100\%_30s}=0.44$. Aritmetički prosjek svih odstupanja za period od 60 sekundi iznosi $\Delta E_{0s-60s}=0.9$.

Ostvarena mjerenja punog tona (slika 34d) također su precizna i ne prelaze eliptičnu granicu tolerancije. Međutim, za razliku od 40% RTV, pri punom tonu se tri točke nalaze na gornjoj granici tolerancije. Takvi tonovi su značajno zeleniji i tamniji od zadane Fogra 52 reference.

Magenta

Prilikom mjerenja odstupanja za procesne nijanse magente na Ugra/Fogra MediaWedge kontrolnom klinu izmjerena su polja u području od 6a do 10a (red 1). Rezultati oscilacija magentnih otisaka prikazane su na slici 35.



Slika 35. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za magenta boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Interpretacijom histograma (slika 35a) dobivenog za magenta separacije od 40% RTV bilježi se rast vrijednosti kolorne promjene pri otisku otisnutom u 35. sekundi. Kao i kod cijan separacije, navedena promjena se zbiva u istom vremenskom periodu te se kontinuirano nastavlja do kraja.

U prvoj polovici mjerenja srednja vrijednost iznosila je $\Delta E_{5s-30s}=0.36$, nakon čega dolazi do rasta od $\Delta E_{35s-60s}=0.85$. Kao i kod prethodne cijan separacije, maksimum je zabilježen u 35. sekundi ($\Delta E_{35s}=1.18$), dok je minimum zabilježen u 5. sekundi ($\Delta E_{5s}=0.13$). Sveukupno gledano prosječna oscilacija magente u polju od 40% RTV-a iznosi $\Delta E_{5s-60s}=0.6$. Navedeno odstupanje se nalazi unutar granica tolerancije.

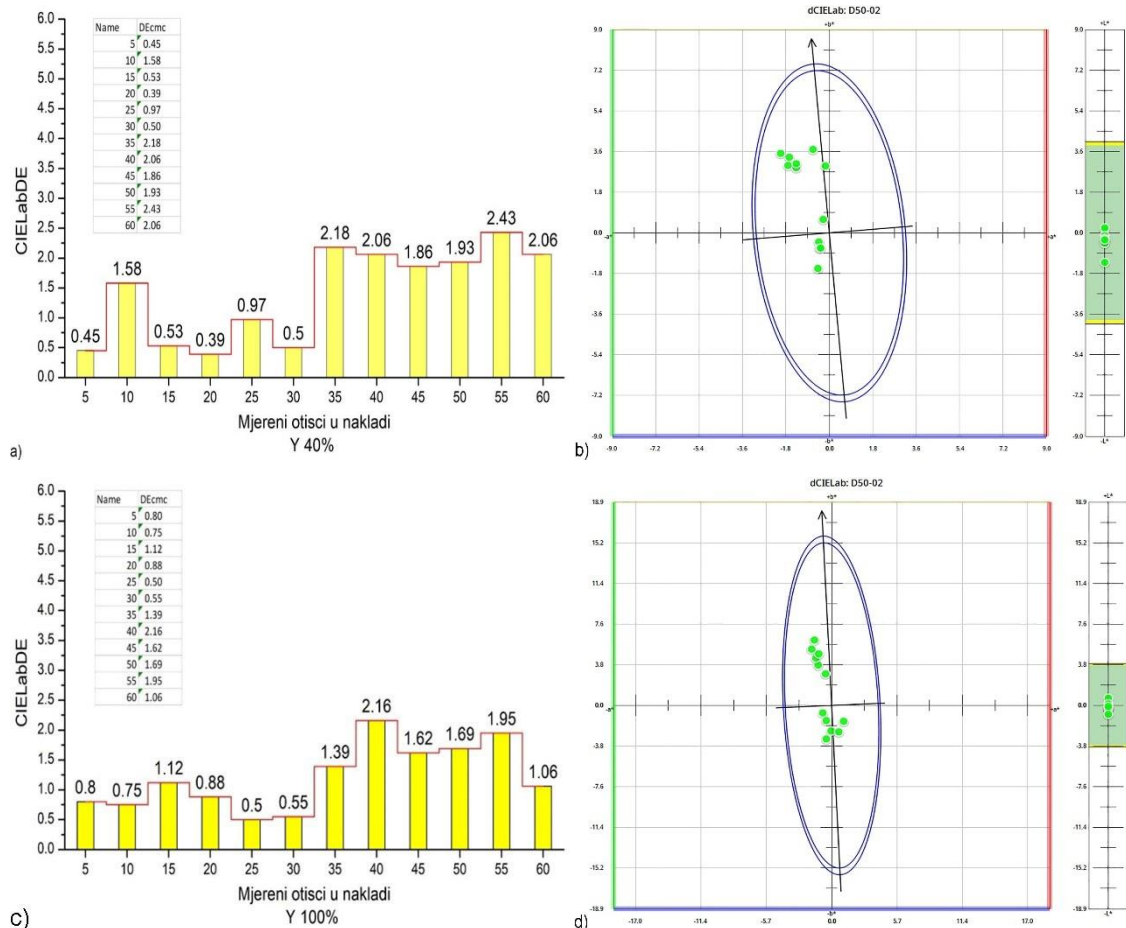
Na slici 35b prikazane su kolorne promjene unutar CIE L*a*b dijagrama. Navedena odstupanja su unutar granica tolerancije te ne bilježe veća odstupanja u tonu ili svjetlini. Blago odstupanje je primjetno u smjeru crvenog tona odnosno navedeni otisak je neznatno crveniji od zadanog standarda.

Na slici 35c prikazane su vrijednosti magenta separacije pri punom tonu. Ovdje je zabilježen isti trend kao i na slici 35a. Otisak s najmanjim odstupanjem prisutan je u 15. sekundi s $\Delta E_{15s}=0.48$. U prvih 30 sekundi navedene devijacije su također niže te njihova srednja vrijednost iznosi od $\Delta E_{5s-30s}=0.75$. Navedeni graf ponovno pokazuje nagli skok u 35. sekundi što predstavlja ujedno i maksimalnu izmjerenu vrijednost koja iznosi $\Delta E_{35s}=2.22$. U drugom dijelu mjerenja dolazi do konsolidacije (nakon zabilježenog pika) sa srednjom vrijednošću od $\Delta E_{35s-60s}=1.9$. Srednja vrijednost svih odstupanja za period od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.32$ što se nalazi unutar granica tolerancije.

Dijagram 2D CIEL*a*b* prikazuje odstupanja u tonu i svjetlini koja pokazuju da je navedeni otisak pri punom tonu crveniji u usporedbi sa zadanim standardom iako se sve točke nalaze unutar elipse, tri točke bilježe odstupanja u svjetlini koja su na granici tolerancije.

Žuta

Za provjeru kvalitete otiskivanja žute separacije korištena su polja u području od a11 do a15 kontrolnog klina Fogra/Ugra Media Wedge.



Slika 36. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za žutu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Kod žutih otisaka sa površinskom pokrivenošću od 40% RTV bilježe se dva netipična odstupanja. Ona su izmjerena u prvoj polovici grafa, odnosno pikovi su detektirani u 10. i 25. sekundi. Minimalna vrijednost odstupanja ostvarena je u 20. sekundi ($\Delta E_{20s}=0.39$) nakon čega slijedi rast žute kolorne promjene (izuzevši otisak otisnut u 30. sekundi). Za razliku od prethodno analiziranih separacija navedena promjena nije ujedno i maksimalna za navedeni testni period. Srednja vrijednost ostvarenih devijacija za period prije naglog rasta u 35. sekundi iznosi $\Delta E_{5s-30s}=0.74$.

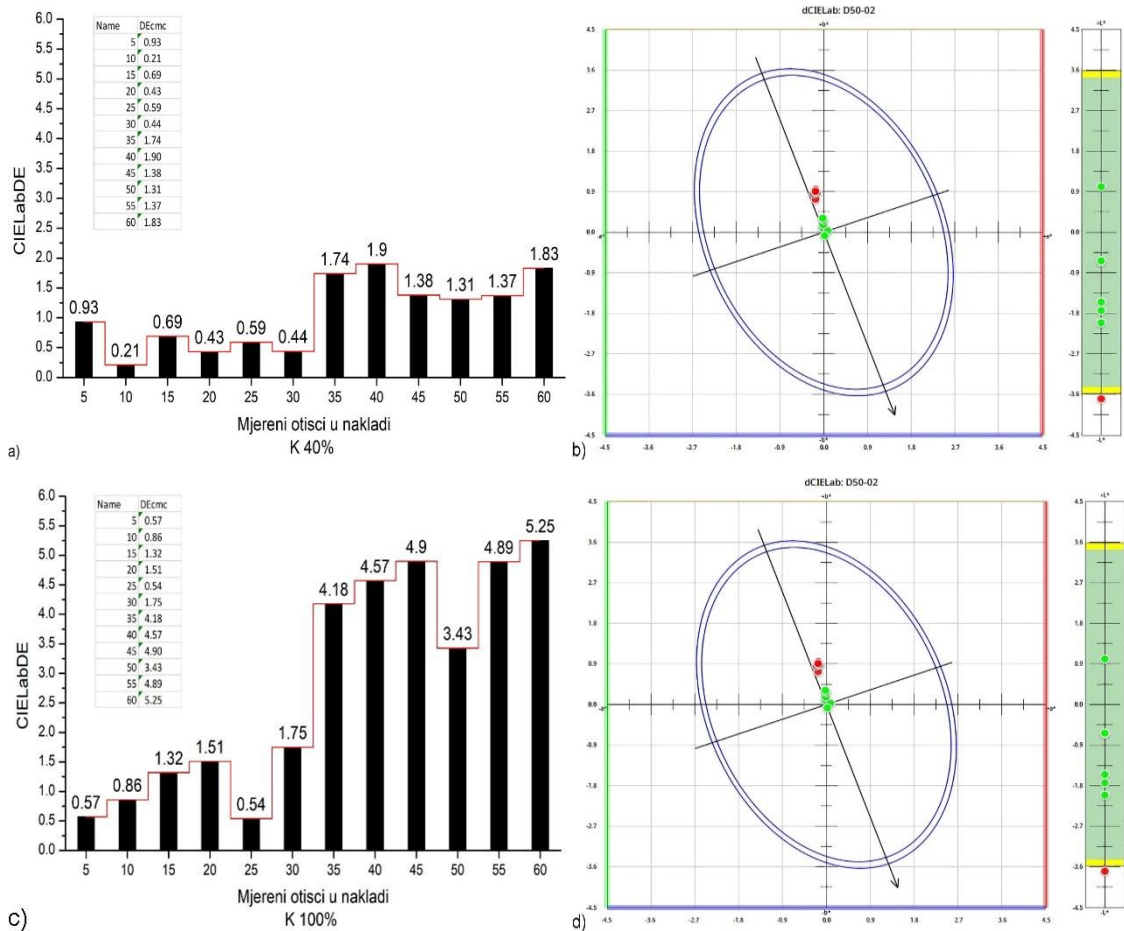
U drugoj polovici mjerenja (period od 35. do 60. sekunde) ostvaruje se devijacija u iznosu od $\Delta E_{35s-60s}=2.09$. Pritom je maksimum zabilježen na 55. otisku s $\Delta E_{55s}=2.43$. Sveukupno gledajući, srednja vrijednost svih odstupanja za žutu separaciju od 40% RTV-a u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.41$. Takva odstupanja se nalaze unutar dozvoljenih granica tolerancije.

Iako se sve oscilacije nalaze unutar eliptičnih granica tolerancije, dijagram prikazan na slici 36b prikazuje nešto veća odstupanja u tonu. Odnosno navedeni otisci su plavkastiji i zelenkastiji od zadanog standarda. Promjena u svjetlini ne bilježi značajna odstupanja.

Za razliku od prethodnog histograma, vrijednost žute separacije sa pokrivenošću od 100% RTV-a ne bilježi identičan trend. Na slici 36c zabilježen je nagli porast na 40. otisku. Trend žutih odstupanja nije kontinuiran tako je minimum zabilježen u 25. sekundi ($\Delta E_{25s}=0.5$) dok je maksimum zabilježen u 40. sekundi ($\Delta E_{40s}=2.16$). Tako će se unutar početnog intervala ostvariti razlika od $\Delta E_{5s-35s}=0.86$, dok će završni interval iznositi $\Delta E_{40s-60s}=1.7$.

Sveukupno gledajući unutar perioda od 60 sekundi ostvaruje se varijacija odstupanja $\Delta E=0.7$ što se nalazi unutar granica tolerancije. Pri punom tonu žutog otiska, CIEL*a*b* dijagram, shodno RTV-u od 40%, navedeni otisak bilježi odstupanja u obojenju u smjeru zelenog i plavog tona. Odstupanja u svjetlini su minimalna te se otisak nalazi unutar granica tolerancije.

Crna



Slika 37. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za crnu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Crni otisci pri 40% RTV-a također ostvaruju nagli skok u kolornim promjenama nakon 35. (slika 37a). Prateći trend prethodnih grafova, navedena promjena se zbiva u istom vremenskom periodu. U prvom ciklusu otiskivanja zabilježeno je minimalno odstupanje u 10. sekundi $\Delta E_{10s}=0.21$ dok je maksimum ostvaren u 40. sekundi ($\Delta E_{40s}=1.9$). Kako bih preciznije odredili odstupanja, naknadno smo izračunali i srednje vrijednosti za period prije i poslije naglog odstupanja.

Srednja vrijednosti za prvi period zabilježena je do 35. sekunde te iznosi $\Delta E_{5s-30s}=0.55$, dok srednja vrijednost za drugi period (nakon 35. otiska) iznosi $\Delta E_{sred(35-60s)}=1.59$. Srednja vrijednost svih odstupanja u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.07$, što se nalazi unutar granica tolerancije.

CIEL*a*b* bilježi odstupanja u svjetlini odnosno otisak značajno tamniji u odnosu na zadani standard. Budući da je riječ o crnoj separaciji to ne predstavlja nužno nekvalitetan otisak kao što bi bilo slučaj kod ostalih separacija.

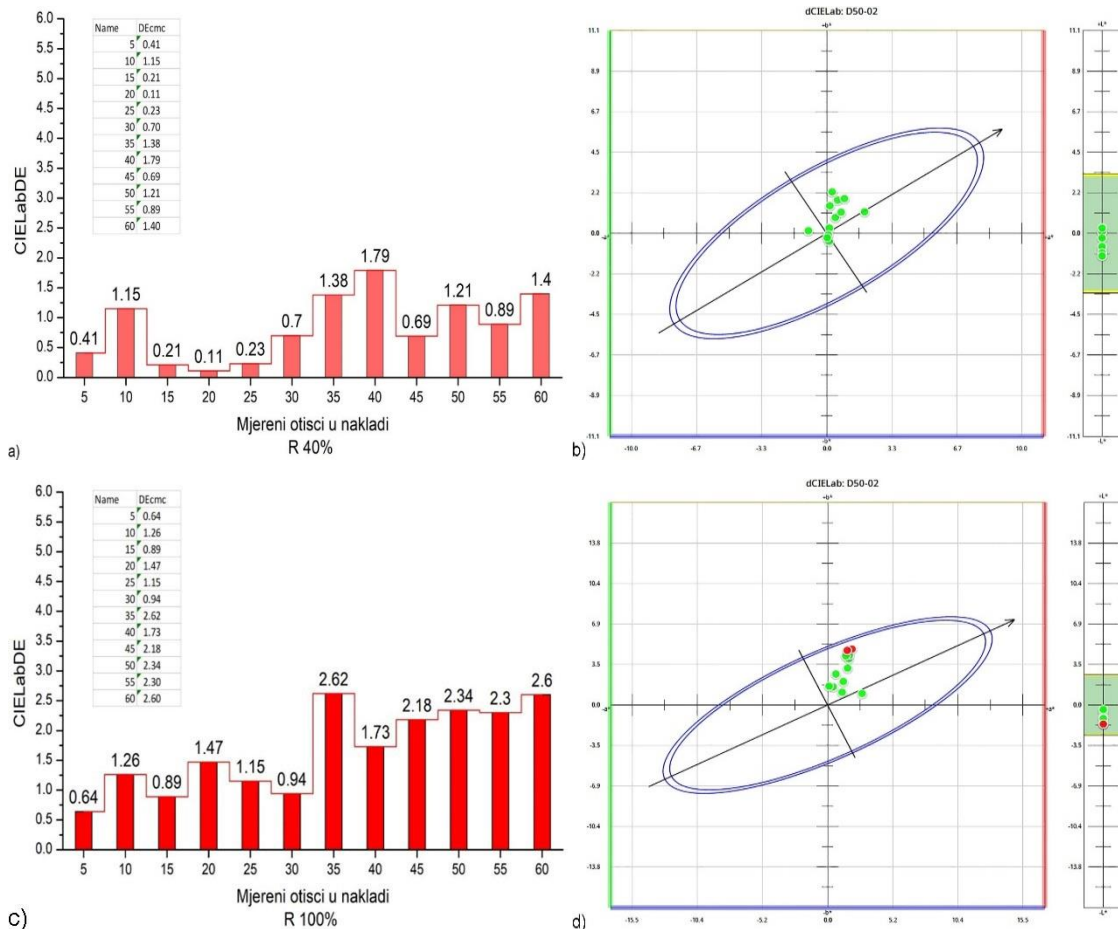
Na slici 37c prikazana je devijacija crne u punom tonu. Izračunom srednjih odstupanja za početni period dobivena je vrijednost od $\Delta E_{5-35s}=1.09$. Pritom je najniža ΔE vrijednost ostvarena na 25. otisku te iznosi $\Delta E_{25s}=0.54$. Za drugi period karakteristično je ekstremno povećanje koje iznosi $\Delta E_{40s-60s}=4.54$. Vrijednost koja je brojčano najveća dobivena je na 60. otisku te iznosi $\Delta E_{60s}=5.25$. Sveukupno gledano crna separacija punog tona ostvarila je prosječnu devijaciju od $\Delta E=2.81$ što se nalazi izvan dozvoljenih granica tolerancije. Stoga, crni Simitri V toner zahtjeva servisnu intervenciju i otklanjanje tih oscilacija.

Kao i kod prethodne varijante, CIEL*a*b* dijagram napravljen u iQC programu bilježi iznimna odstupanja u svjetlini. Navedeni otisak je znatno tamniji te blago žući u odnosu na Fogra 52 referencu. Ovisno o zahtjevima tiska, smanjenje svjetline crne separacije ne predstavlja nužno negativan efekt.

4.4. Kolorimetrijska postojanost spotnih boja u periodu od 60 sekundi

Crvena

Osim osnovnih procesnih boja CMYK na otisku su reproducirane i spotne boje. Da bi se one ostvarile vrši se otiskivanje u 100% nanosu boje pri čemu dolazi do suptraktivnog miješanja. Za mjerenje devijacija crvene separacije korištena su polja kontrolnog klina u području 6b-10b.



Slika 38. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za crvenu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Crveni otisak površinske pokrivenosti od 40% RTV (slika 38a) bilježi najujednačenije kretanje rezultata. Nagli skokovi zabilježeni su u 10. i 50. sekundi ($\Delta E_{10s}=1.15$, $\Delta E_{50s}=1.21$).

Minimalna oscilacija zabilježena je u 20. sekundi ($\Delta E_{20s}=0.21$) dok je maksimalna oscilacija zabilježena na 40. otisku ($\Delta E_{40s}=1.79$). Srednja vrijednost svih odstupanja u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=0.85$, što se nalazi unutar granica tolerancije.

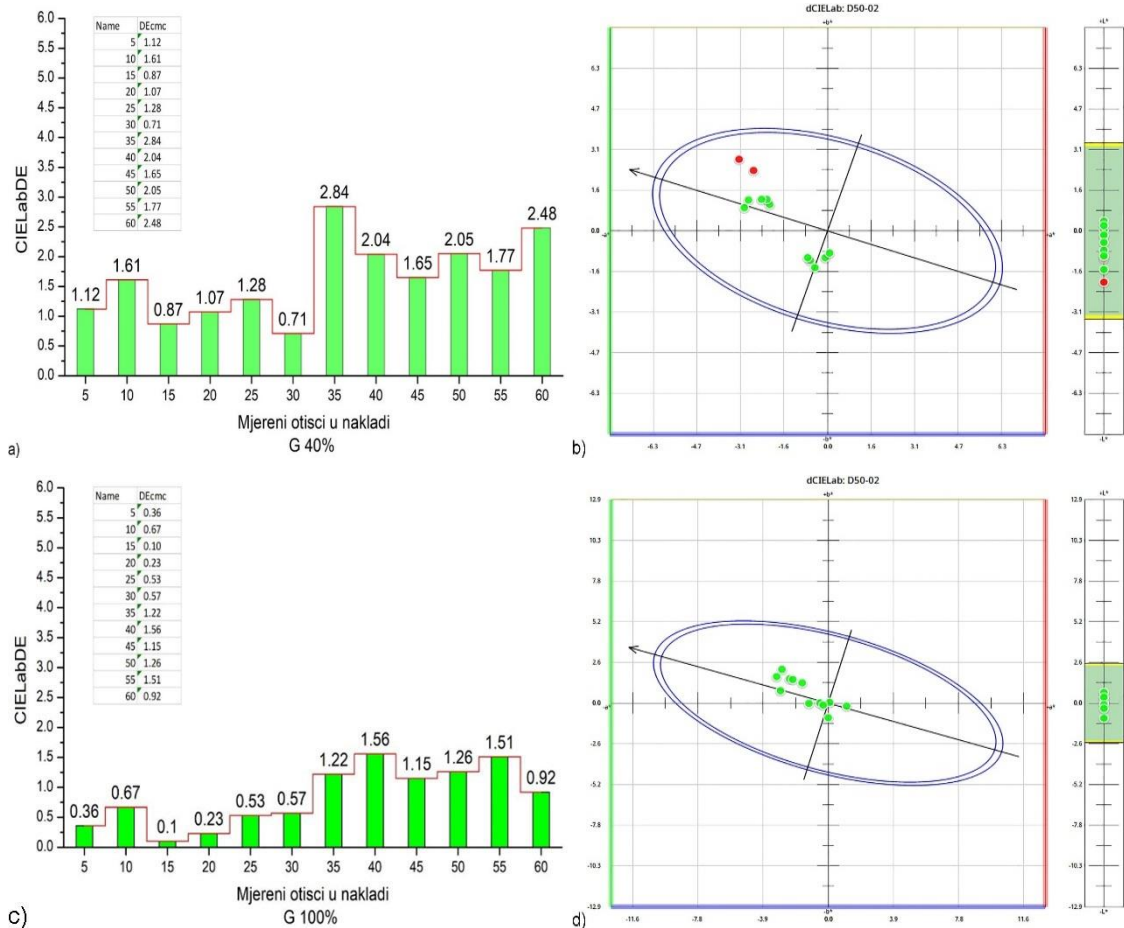
CIEL*a*b dijagram (slika 38b) bilježi odstupanja u smjeru žutog tona odnosno otisak je neznatno žući od zadane reference. Odstupanja zabilježena u promjeni svjetline su neznatna za navedeni otisak.

Crveni puni ton (slika 38c) ostvaruje veće kolorne promjene. U početnom periodu ispitivanja (do 35. sekunde) ostvaruje se kolorna devijacija od $\Delta E_{5s-30s}=1.06$. Drugi ciklus otiskivanja (od 35. do 60. sekunde) ostvario je devijacije koje iznose $\Delta E_{35s-60s}=2.3$. U cijelom procesu vrijednosti se kreću od minimalnih $\Delta E_{5s}=0.64$ do maksimalnih $\Delta E_{35s}=2.62$. Aritmetička sredina svih odstupanja za period od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.68$ što se nalazi unutar granica tolerancije.

Na slici 38d prikazan je dijagram koji paralelno separaciji od 40% RTV-a bilježi odstupanja u smjeru žutog tona. Za razliku od prethodnog dijagrama, puni ton bilježi odstupanja u svjetlini odnosno zadani otisak je znatno tamniji. Unatoč odstupanjima, vrijednosti se nalaze unutar eliptične granice tolerancije.

Zelena

Za detaljnu analizu zelene korištena su polja na Ugra/Fogra MediaWedge klinu u području od b11 do b15 (drugi red).



Slika 39. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za zelenu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

Na slici 39a prikazane su vrijednosti za otisak zelene boje površine pokrivenosti od 40% RTV. Za početni period unutar 30 sekundi prosječne kolorne promjene zelene iznose $\Delta E_{5s-30s}=1.11$. Pritom je minimalna izmjerena vrijednost ostvarena na 30. otisku ($\Delta E_{30s}=0.71$). U drugom periodu otiskivanja zabilježena su veća odstupanja koja iznose $\Delta E_{35s-60s}=2.14$. Shodno tome bilježi se odstupanje koje je ujedno i maksimum odstupanja koji iznosi $\Delta E_{35s}=2.84$. Srednja vrijednost svih odstupanja u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.63$, što se nalazi unutar granica tolerancije.

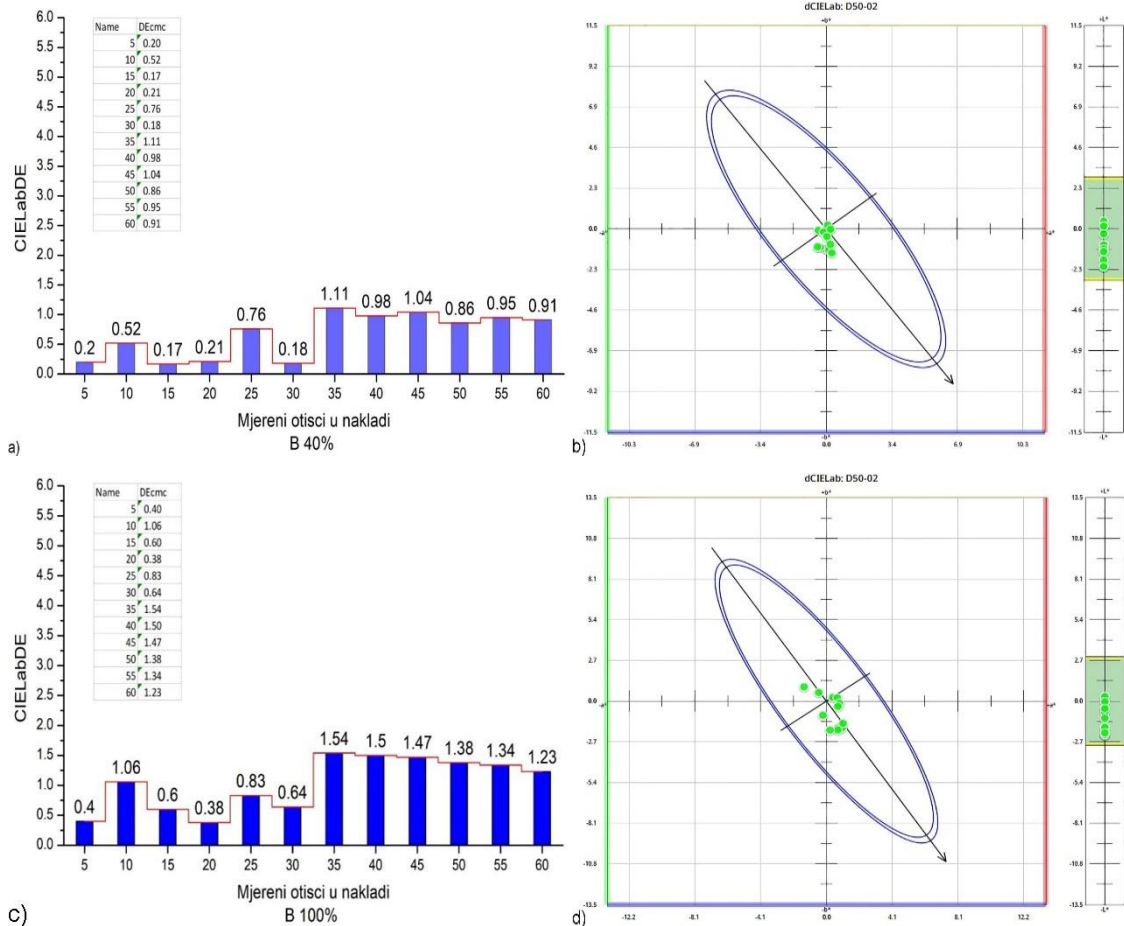
Kako bi dobili detaljniji uvid u odstupanja, očitali smo dijagram prikazan na slici 39b koji ukazuje na to da je navedeni otisak značajno zelenkastiji i u nekim dijelovima plavlji od zadanog standarda. Prikazana su i dva odstupanja koja su na gornjoj granici tolerancije te se preporuča modifikacija istih. Navedena odstupanja ne izlaze iz eliptične granice te se otisak smatra kvalitetnim.

Otisak zelene boje otisnut u punom tonu bilježi minimalno odstupanje na 15. otisku ($\Delta E_{15s}=0.1$), dok je maksimalna izmjerena vrijednost odstupanja zabilježena na 40. otisku ($\Delta E_{40s}=1.56$). Srednja vrijednost izmjerena za sva odstupanja u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=0.84$ što se nalazi unutar granica tolerancije.

Dijagram prikazan na slici 60b bilježi blaga odstupanja u tonu odnosno otisak je blago zelenkastiji u usporedbi s Fogra 52 referencom. Odstupanja u toni i svjetlini su neznčajna te se navedeni otisak nalazi unutar granica tolerancije.

Plava

Pri detaljnoj analizi plave boje korištena su polja na Ugra/Fogra MediaWedge klinu u području od b1 do b5 (drugi red).



Slika 40. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za plavu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIE Lab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a; c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIE Lab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a

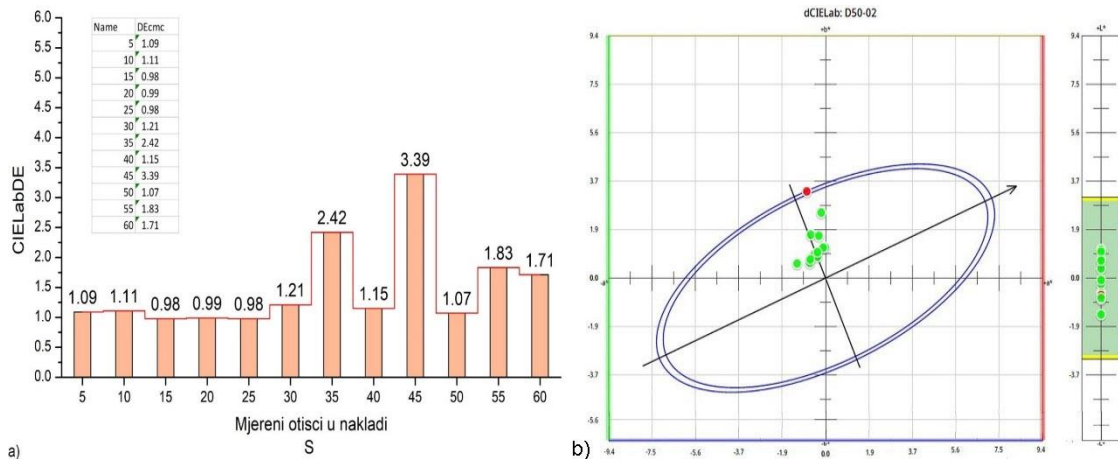
Otisak plave boje površinske pokrivenosti od 40% RTV-a (slika 40a) bilježi dva netipična odstupanja izmjerena u prvoj polovini grafa, odnosno pikovi su detektirani u 10. i 25. sekundi ($\Delta E_{10s}=0.52$ i $\Delta E_{25s}=0.76$). Treći nagli skok kolornih promjena zabilježen je na 35. otisku i nakon toga slijedila je konstantnost ($\Delta E_{35s-60s}=0.98$). Ostvarena srednja vrijednost za početni period iznosi niskih $\Delta E_{5s-30s}=0.34$ dok za cijelu nakladu iznosi $\Delta E=0.66$. Osim maksimalne vrijednosti ($\Delta E_{35s}=1.11$) karakteristična je i minimalna koja iznosi $\Delta E_{15s}=0.17$.

Kako bih preciznije odredili odstupanja, naknadno smo izračunali i srednje vrijednosti za period prije i poslije naglog odstupanja. Vrijednosti odstupanja na 2DCIEL *a*b* sustavu su minimalna, odnosno otisak zadovoljava zahtjeve tiska.

Na slici 40c prikazane su vrijednosti plavog punog tona. I kod njega postoji nagli skok u 35. sekundi koji je ujedno i maksimum odstupanja ($\Delta E_{30s}=1.54$). Nakon toga sistem postaje stabilan ($\Delta E_{35-60s}=1.41$). U početnoj fazi tiska naklade devijacije plave su manje te iznose $\Delta E_{5s-30s}=0.65$. U tom periodu ističu se vrijednosti u 10. sekundi ($\Delta E_{10s}=1.06$) i 20. sekundi ($\Delta E_{20s}=0.38$). Sveukupno gledano srednja vrijednost u periodu od 60 sekundi iznosi $\Delta E=1.03$ što se nalazi unutar granica tolerancije.

Slika 40d prikazuje blaga odstupanja u nekim tonovima odnosno prikazuje blago zelenkastije vrijednosti od zadanog standarda. Odstupanja u svjetlini se nalaze unutar dozvoljenih granica.

Tercijalna boja (boja kože)



Slika 41. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za tercijalnu boju kože kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard

Pri otiskivanju boje kože (slika 41a) ostvarena je konstantnost u reprodukciji ($\Delta E_{5s-60s}=1.5$). Jedina iznimka su otisci 35 i 45. koji imaju nagle skokove sa vrijednostima $\Delta E_{35s}=2.42$ i $\Delta E_{45s}=3.39$.

Dijagram (slika 41b) bilježi jedinu karakterističnu točku unutar grafa koja se nalazi na samoj granici dozvoljenih odstupanja te za koju bi trebalo izvršiti korekciju. Riječ je o otisku otisnutom u 45. sekundi. Navedeni tonovi su nešto crveniji od zadanog standarda no unatoč tome se nalaze unutar dozvoljenih tolerancija. Promjene u svjetlini su minimalne.

5. ZAKLJUČAK

Kolorne razlike spotnih i procesnih boja

Iz svih rezultata dolazimo do zaključka da se od procesnih boja najkvalitetnijom reprodukcijom pokazala žuta separacija otisnuta s frekventno moduliranim rasterom ($\Delta E_{\text{red}}=0.94$).

Primjenom AM načina rastriranja najbolje se pokazala cijan separacija s linijaturom od 190 lpi-a koja ima odstupanje od $\Delta E=1.00$.

Crna separacija je najlošija te ima najveća odstupanja kod svih testiranih tonova pri čemu se raster precizno reproducira ($\Delta E_{10\%-80\%}=1.36$), a puni ton nekontrolirano oscilira ($\Delta E>13$).

Analizom spotnih boja najveća odstupanja su zabilježena kod crvene separacije otisnute linijaturom od 270 lpi ($\Delta E=3.72$), dok su najmanja odstupanja zabilježena kod zelene boje dobivene primjenom FM rastera ($\Delta E=1.15$).

Tercijalna nijansa boje ljudske kože najbolje je otisnuta linijaturom od 190 lpi-a ($\Delta E_{U3}=2.88$), dok je najlošija opcija primjena RIP-a linijature od 100 lpi ($\Delta E_{U1}=5.67$).

Direktnom promjenom postavki RIP-a od strane operatera ostvarene su devijacije tonova: cijan $\Delta E_{U1-U3}=0.89$, magenta $\Delta E_{U1-U4}=1.21$, žuta $\Delta E_{U4-U2}=1.68$ i crna $\Delta E_{U1-U2}=0.43$.

Unutar naklade od 60 primjeraka (60 sekundi) u većini otisnutih tonova (CMYK boje) je zabilježen nagli skok vrijednosti kolorne promjene pri otisku otisnutom u 35. sekundi.

Unutar analiziranog intervala najkonstantnija kolorna separacija je magenta sa površinskom pokrivenosti od 40% ($\Delta E_{40\%RTV}=0.61$) dok se kod crne uočava velika oscilacija u punom tonu ($\Delta E_{100\%RTV}=2.81$).

Analizom svih otisaka i rastera uočeno je da su veće oscilacije zabilježene pri punom tonu.

6. LITERATURA

- [1] T. Tietzen, Official blog of Terry Tietzen, [Mrežno] [Citirano: 21. lipanj 2021.] <https://www.teetee.us/chester-carlson-ahead-of-his-time/>.
- [2] I. Majnarić, *Studija indirektne elektrofotografije*, Zagreb: doktorska disertacija, Grafički fakultet, 2007.
- [3] I. Majnarić, *Digitalni tiskaski sustav postupkom elektrokoagulacije*, s.l.: Acta Graph. 12(2000) 2. str. 67.-73.
- [4] I. Majnarić, *Osnove digitalnog tiska*, Zagreb: Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2015.
- [5] D. Naletilić, Utjecaj temperature i strukture tiskovne podloge na transfer ElectroInka, Zagreb: Diplomski rad, 2010.
- [6] Konica Minolta, *Konica Minolta AccurioPress C12000*. [Mrežno] [Citirano: 21. travanj 2021.] <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000>.
- [7] Konica Minolta, [Mrežno] [Citirano: 9. travanj 2021.] <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000>.
- [8] Konica Minolta, Konica Minolta. *Web-mjesto tvrtke Konica Minolta*. [Mrežno] 17. siječanj 2020. [Citirano: 5. lipanj 2021.] file:///F:/Toner%20KM12000/TN627C_MFP-4654.pdf.
- [9] —. Konica Minolta, *Web-mjesto tvrtke Konica Minolta*. [Mrežno] 17. siječanj 2020. [Citirano: 5. lipanj 2021.] file:///F:/Toner%20KM12000/TN627Y_MFP-4634.pdf.
- [10] Konica Minolta, *Web-mjesto tvrtke Konica Minolta*. [Mrežno] 17. siječanj 2020. [Citirano: 5. lipanj 2021.] file:///F:/Toner%20KM12000/TN627M_MFP-4644.pdf.
- [11] —. Konica Minolta, *Web-mjesto tvrtke Konica Minolta*. [Mrežno] 17. siječanj 2020. [Citirano: 5. lipanj 2021.] file:///F:/Toner%20KM12000/TN627K_MFP-4624.pdf.

- [12] X-Rite, X-Rite PANTONE [Mrežno] [Citirano: 15. srpanj 2021.]
<https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc>.
- [13] Fedrigoni, [Mrežno] [Citirano: 17. svibanj 2021.]
https://www.fedrigoni.asia/sites/default/files/2018-10/Splendorgel%20EW_0.pdf.
- [14] Group, Lumesca, Color Confidence [Mrežno] [Citirano: 12.. svibanj 2021.]
<https://colorconfidence.com/products/x-rite-exact-advanced-with-bluetooth>.
- [15] Ugra, [Mrežno] [Citirano: 5. svibanj 2021.]
<https://www.ugra.ch/en/product/ugra-fogra-media-wedge-cmyk-3-0/>.
- [16] X-Rite, *Color iQC Software - X-Rite* [Mrežno] [Citirano: 15. 6 2021.]
<https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc>.
- [17] M. Andrić, *Kompacija otisaka otisnutih standardnim i visokopigmentiranim elektrofotografskim tonerom*, Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, 2014.
- [18] D. Šarić, *Analiza reprodukcije rasterskih elemenata na in-line oplemenjenoj tiskovnoj podlozi u elektrofotografskom tisku*. Zagreb: Diplomski rad, 2019.
- [19] S. Eškinja, *Svjetlosna postojanost četverbojnih i šesterbojnih HP Indigo otisaka*. Zagreb: Diplomski rad, 2013.
- [20] J. Buhin, *Multicolor tisak i njegova postojanost na ubrzano starenje*. Zagreb: Diplomski rad, 2014.
- [21] M. Matošević, *Utjecaj ekstremnih nanosa ElectroInka na gamut kolorne reprodukcije*. Zagreb : Diplomski rad, 2009.
- [22] M. Meštrović, *Komparacija visokoproduktivnih digitalnih strojeva namijenjenih za tisak etiketa*. Zagreb : Diplomski rad, 2020.
- [23] J.L, Johnson, *Principles od Non-impact Printing*. Irvine (CA): Palatino Press, 1998.
- [24] H. Kipphan, *Handbook of Print Media*, Berlin: Springer, 2001.

- [25] M.D. Thompson, *Aspects of Toner Transport on a Traveling Wave Device*. Springfield (VA): NIP 15: International Conference on Digital Printing Technologies (Proceedings). The Society for Imaging Science and Technology (IS&T), 1999. PP. 262-265.
- [26] H. Kipphan, *Status and Trends in Digital Multicolor Printing-Technologies, Materials, Processes, Architecture, Equipment and Market*. Springfield (VA) : NIP 13: International Conference on Digital Printing Technologies (Proceedings). The Society for Imaging Science and Technology (IS&T), 1997. pp. 11-19.
- [27] J. Geraedts, al et. *Océ's productive colour solution based on the Direct Imaging Technology*. Springfield (VA): NIP 13: International Conference on Digital Printing Technologies (Proceedings). The Society for Imaging Science and Technology (IS&T), 1997. pp. 11-19.
- [28] L. B. Schein, *Electrophotography and Development Physics*, 2nd ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1996.
- [29] K. Y. Y. N.J. Lee; H.R. Joo, *Development of Positive Charging Multi-Layered Organic Photoconductor for Liquid Electrophotographic Process*. New Orleans: IS&T NIP 19, 2003.
- [30] A. Kraushaar, *ProcessStandard Digital Handbook 2014*. Munich: Fogra Research Institute for Media Technologies, 2018.
- [31] N. Pauler, "Paper Optics - optical and colour science related to the pulp and paper industry." AB Lorentzen & Wettre, Kista, Sweden, 2012.
- [32] A. Kraushaar, "ProcessStandard Offset (PSO) and ProcessStandard Digital (PSD) – printing the expected in offset and digital printing," pp. 1–25, 2016.

7. POPIS SLIKA I TABLICA

7.1. Popis slika

Slika 1. Chester Carlson i eksperiment izvođenja EP procesa [Izvor: Official blog of Terry Tietzen; Chester Carlson – Ahead Of His Time, https://www.teetee.us/chester-carlson-ahead-of-his-time/]	2
Slika 2. Osnovni princip rada elektrofotografije [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	4
Slika 3. Princip pozitivskog nabijanja [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]	7
Slika 4. Princip negativskog nabijanja [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]	9
Slika 5. Shematski prikaz diktronske konstrukcije [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	10
Slika 6. Princip pozitivskog osvjetljavanja [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	12
Slika 7. Princip negativskog osvjetljavanja [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]	13
Slika 8. Prikaz LED ispisne šipke I. generacije [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	14
Slika 9. Shematski prikaz sistema s jednim razvijačkim valjkom [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	15
Slika 10 Prikaz dvokomponentnog tonera za elektrofotografski tisak [I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	17
Slika 11. Princip tvorničkog nastajanja EA tonera [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	18
Slika 12. Transfer tonera - djelovanje transfernog korotrona [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	19
Slika 13. Transfer tonera - Prihvaćanje tonera nakon napuštanja zone transfera [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektna elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]	20

Slika 14. Osnovni princip fiksiranja tonera pomoću fuzerske jedinice s dva valjka [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	21
Slika 15. Shematski prikaz fuziranja s formiranom NIP zonom [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	22
Slika 16. Shematski prikaz fuziranja s tvrdim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	23
Slika 17. Shematski prikaz fuziranja mekim fuzerskim i mekim pritisnim valjkom [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	24
Slika 18. Povećanje zone dodira dodatkom jastučića [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	25
Slika 19. Suvremena konstrukcija inducirano zagrijavanog fuzerskog grijača [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.].....	26
Slika 20. Shematski prikaz čišćenja fotoreceptora (praškasti toner) [Izvor: I. Majnarić, Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, 2007.]	27
Slika 21. Fogra/Ugra MediaWedge 3.0 CMYK [Izvor: https://www.ugra.ch/en/product/ugra-fogra-media-wedge-cmyk-3-0/].....	37
Slika 22. Kronološki prikaz izvršenog eksperimenta	38
Slika 23. Elektrofotografski stroj Konica Minolta AccurioPress C12000 [Izvor: https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/production-printing/accuriopress-c12000]	39
Slika 24. Spektrofotometar X-Rite eXact Advanced [Izvor: https://colorconfidence.com/products/x-rite-exact-advanced-with-bluetooth] ...	43
Slika 25. Prikaz zaslona prilikom korištenja iQC programa [Izvor: https://www.xrite.com/categories/formulation-and-quality-assurance-software/color-iqc].....	44
Slika 26. Kolorne razlike cijan separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE	

(AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti ΔC	50
Slika 27. Kolorne razlike magenta separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti	52
Slika 28. Kolorne razlike žute separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti	55
Slika 29. Kolorne razlike crne separacije nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti	58
Slika 30. Kolorne razlike crvenih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti ΔC	61
Slika 31. Kolorne razlike zelenih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti	64
Slika 32. Kolorne razlike plavih separacija nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera; b) Kolorne promjene ΔE (AM), c) Lab 3D prikaz FM rastera; d) Kolorne promjene ΔE (FM), e) Promjena svjetline Δ ; f) Promjena kromatičnosti	67
Slika 33. Kolorne razlike tercijalne boje kože nastale uslijed varijacije RIP-a tiskanog strojem KM AP12000: a) Lab 3D prikaz AM rastera, b) Lab 3D prikaz FM rastera.....	69
Slika 34. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za cijan boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za	

100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	71
Slika 35. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za magenta boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	73
Slika 36. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za žutu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	75
Slika 37. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za crnu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	77
Slika 38. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za crvenu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	79
Slika 39. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za zelenu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	81
Slika 40. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za plavu boju kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena 40% RTV-a; b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 40% RTV-a, c) Histogram promjena za 100% RTV-a; d) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard za 100% RTV-a.....	83

Slika 41. Praćenje kolorne oscilacije na otiscima za tercijalnu boju kože kroz vremenski period od 60 sekundi: a) Histogram promjena b) CIELab kolorna odstupanja u odnosu na standard 85

7.2. Popis tablica

Tablica 1. Osnovne karakteristike uređaja KM AccurioPress C12000	40
Tablica 2. Dodatne opcije KM AccurioPress C12000 (I. dio).....	41
Tablica 3. Tehničke specifikacije X-Rite eXact Advanced uređaja	43
Tablica 4. Tablica osnovnih karakteristika iQC Color X-Rite programa (I. dio).	45
Tablica 5. Tehničke karakteristike papira Splendorgel EW	48
Tablica 6. Prikaz izračuna kolornih promjena ostvarenih varijacijom RIP-a	95
Tablica 7. Oscilacije obojenja po uzorcima kroz vremenski period od 60 sekundi	96

8. PRILOZI

Tablica 6. Prikaz izračuna kolornih promjena ostvarenih varijacijom RIP-a

RTV (%)	CUJAN				MAGENTA				ŽUTA				CRNA			
	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4
oznaka	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)
raster	10	2,04	0,84	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	2,07	1,17	2,17	0,80	2,03	2,01	1,24	2,67
	20	2,18	1,05	1,09	1,71	1,66	1,32	1,13	1,66	1,32	1,26	1,13	3,36	0,85	2,07	3,99
	40	1,99	1,19	0,68	1,42	1,73	1,99	1,43	1,73	1,99	1,43	0,79	3,17	0,59	1,79	3,44
	60	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	70	1,53	1,11	1,34	1,12	2,79	3,08	1,86	2,79	3,08	1,86	0,97	2,46	1,10	1,62	2,16
	80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	100	1,73	1,14	0,87	1,63	3,09	1,12	1,60	3,09	1,12	1,60	1,60	1,41	0,15	0,61	0,84
min		1,53	0,84	0,68	1,04	1,66	1,12	1,26	1,66	1,12	1,26	0,79	1,41	0,15	0,61	0,84
max		2,18	1,19	1,34	1,71	3,09	3,08	2,17	3,09	3,08	2,17	1,60	3,36	2,01	2,07	3,99
sred		1,89	1,07	1,00	1,38	2,27	1,74	1,66	2,27	1,74	1,66	1,06	2,49	0,94	1,47	2,62
RTV (%)	CRVENA				ZELENA				PLAVA				BOJA KOŽE			
oznaka	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4
raster	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)	AM (100 lpi)	FM (25 µm)	AM (190 lpi)	AM (270 lpi)
10	3,13	1,74	2,40	1,87	2,22	2,46	0,62	1,58	1,88	1,43	0,99	2,58				
20	4,28	2,23	2,45	3,29	4,07	1,49	1,59	3,68	2,65	1,17	1,89	1,64				
40	4,63	3,15	2,84	4,44	6,27	0,93	3,95	4,65	3,68	1,77	2,70	1,63				
70	4,23	1,98	2,91	5,08	4,94	0,54	1,99	3,85	5,09	2,78	3,28	0,86				
100	3,63	1,19	3,01	3,96	4,67	0,33	1,68	3,83	5,19	2,67	2,88	2,00	5,67	3,69	2,88	5,49
min		3,13	1,19	2,40	2,22	0,33	0,62	1,58	1,88	1,17	0,99	0,86			2,88	
max		4,63	3,15	3,01	6,27	2,46	3,95	4,65	5,19	2,78	3,28	2,58			5,67	
sred		3,98	2,06	2,72	4,43	1,15	1,97	3,52	3,70	1,96	2,35	1,74			4,43	

Tablica 7. Oscilacije obojenja po uzorcima kroz vremenski period od 60 sekundi

Vrijeme	C		M		Y		K		R		G		B		S
	40	100	40	100	40	100	1	2	40	100	40	100	40	100	100
RTV(%)															
5s	0.47	0.75	0.13	0.61	0.45	0.80	0.93	0.57	0.41	0.64	1.12	0.36	0.20	0.40	1.09
10s	0.33	0.45	0.71	1.05	1.58	0.75	0.21	0.86	1.15	1.26	1.61	0.67	0.52	1.06	1.11
15s	0.37	0.37	0.20	0.48	0.53	1.12	0.69	1.32	0.21	0.89	0.87	0.10	0.17	0.60	0.98
20s	0.46	0.49	0.32	0.76	0.39	0.88	0.43	1.51	0.11	1.47	1.07	0.23	0.21	0.38	0.99
25s	0.13	1.14	0.34	1.04	0.97	0.50	0.59	0.54	0.23	1.15	1.28	0.53	0.76	0.83	0.98
30s	0.59	0.44	0.45	0.53	0.50	0.55	0.44	1.75	0.70	0.94	0.71	0.57	0.18	0.64	1.21
35s	1.58	2.77	1.18	2.22	2.18	1.39	1.74	4.18	1.38	2.62	2.84	1.22	1.11	1.54	2.42
40s	1.53	2.41	0.88	2.05	2.06	2.16	1.90	4.57	1.79	1.73	2.04	1.56	0.98	1.50	1.15
45s	1.41	2.53	1.02	2.10	1.86	1.62	1.38	4.90	0.69	2.18	1.65	1.15	1.04	1.47	3.39
50s	1.44	2.34	0.53	1.55	1.93	1.69	1.31	3.43	1.21	2.34	2.05	1.26	0.86	1.38	1.07
55s	1.30	2.65	0.63	1.94	2.43	1.95	1.37	4.89	0.89	2.30	1.77	1.51	0.95	1.34	1.83
60s	1.22	1.95	0.87	1.55	2.06	1.06	1.83	5.25	1.40	2.60	2.48	0.92	0.91	1.23	1.71
sred	0.90	1.52	0.61	1.32	1.41	1.21	1.07	2.81	0.85	1.68	1.62	0.84	0.66	1.03	1.49
uk.sred	1.21		0.97		1.31		1.94		1.27		1.23		0.85		1.49