

# Studija indirektne elektrofotografije

---

**Majnarić, Igor**

**Doctoral thesis / Doktorski rad**

**2007**

*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:216:676885>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu**

**Igor Majnarić**

**STUDIJA INDIREKTNE ELEKTROFOTOGRAFIJE  
STUDY OF INDIRECT ELECTROPHOTOGRAPHY**

**Doktorska disertacija**

Zagreb, 2007.

UDK:

Znanstveno područje: - područje tehničkih znanosti  
Znanstveno polje: - grafička tehnologija  
Voditelj rada: - red. prof. dr. sc. Stanislav Bolanča  
Broj stranica: - 144  
Broj slika: - 44  
Broj tabela: - 10  
Broj grafova: - 152  
Broj literaturnih referenci: - 91  
Datum obrane: -

Sastav povjerenstva za obranu:

Rad je pohranjen: u biblioteci Grafičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

## Sažetak

Indirektno elektrofotografsko otiskivanje tehnički je vrlo je složen proces. On u sebi implementira 6 zasebnih faza koje se izvode sinhronizirano. To su nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje, prvi transfer, drugi transfer i čišćenje. U ovome radu istraživana je utjecaj svake pojedine faze na kvalitetu višebojne reprodukcije, pri čemu su se koristili i parametri koji nisu standardni za proizvodni tisak. Rezultati utjecaja pojedinih faza elektrofotografskog tiska na konačnu reprodukciju prikazani su u gamutnom obliku (konstrukcija definirana s ECI formom od 378 polja), i kao CIE LAB  $\Delta E$  razlika između kalibracije i eksperimentalnog otiska.

U početnoj fazi istraživana je utjecaj skorotrona na formiranje budućih slobodnih površina. Pritom nastale promjene gamuta su minimalne ( $\Delta V_{\text{simb}}=13,3$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=8,6$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=4,1$  prostorne jedinice). Uz to vrijedi pravilo: što niži napon skorotrona to veći volumen gamuta. Promjena rastriranih površina pritom je veća u odnosu na pune tonove. Kod istraživanja utjecaja laserske glave, uočeno je da rasterska točka doživljava veliku promjenu. Povećavanjem snage lasera rasterski elementi se povećavaju i postaju tamniji. Puni tonovi se ne mijenjaju značajnije, te gamutni doživljavaju slijedeće promjene:  $\Delta V_{\text{simb}}=10,3$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=13,2$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=2,9$  prostorne jedinice.

Razvijački proces (razvijački bubanj i povratni valjci) utječu na maksimalnu promjenu obojenja gamuta ( $\Delta V_{\text{sim}}=301,5$  odnosno  $\Delta V_{\text{simb}}=210$  prostorne jedinice). Primjenom viših napona, ostvaruje se i veći nanos bojila. Djelovanje razvijačkog bubnja utječe na veću promjenu punih tonova, dok se u slučaju povratnih valjaka postiže veća promjena u rasteru. Ekstremnim povećanjem napona "squeegee" valjka ostvaruje se samo manja degradacija gamutnog volumena ( $\Delta V_{\text{simb}}=17,2$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=22,3$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=9,4$  prostorne jedinice).

Pri izvođenju transfernog postupka, varirana su dva parametra: temperatura ofsetnog cilindra i napon ofsetnog cilindra. Porastom temperature raste i viskozitet bojila, čime se povećava i volumen gamuta ( $\Delta V_{\text{simb}}=44,8$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=49,3$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=31,9$  prostorne jedinice). Viši napon ofsetnog cilindra osigurava bolji transfer. Promjena napona od 200V uzrokovat će najveći porast gamuta ( $\Delta V_{\text{simb}}=37,7$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=14,3$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=11,5$  prostorne jedinice).

Na kraju istraživanja, promatran je utjecaj gustoće bojila na konačanu reprodukciju. Porast koncentracije pigmenta ostvaruje tamniji otisak. Tijekom varijacije boje, nastali gamuti nisu očekivano veliki ( $\Delta V_{\text{simb}}=60,2$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=36,6$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=57,3$  prostorne jedinice).

Pri istraživanju elektrofotografskog procesa korištene su 3 različite tiskovne podloge: Simbol (sjajni papir za umjetnički tisak namijenjen otiskivanju u klasičnom ofsetu), Splendogel (naravni papir s premazom za digitalni tisak) i Arcoprint (naravni papir za klasični ofsetni tisak). Površinska svojstva papira pokazala su da imaju presudnu ulogu pri postizanju kvalitetne reprodukcije. Splendogel i Simbol papir zbog premazane površine najbolje se ponašaju u ekstremnim uvjetima, što nije slučaj za naravni papir Arcoprint.

Ključne riječi:

Ektrofotografija, nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje, transfer, gamutna reprodukcija

## Abstract

Technically, the indirect electrophotographic printing is a very complicated job. It implements 6 separate phases performed synchronically. They are charging, exposing, developing, the first transfer, the second transfer and cleaning. The influence of each phase on the quality of the multicolour reproduction has been researched in this work and the parameters which are not the standard ones for the production printing were used in it. The influence results of particular phases of electrophotographic printing process on the final reproduction have been presented in the gamut form (construction defined by ECI form of 378 patches) as well as the CIE LAB  $\Delta E$  difference between calibration and the experimental print.

In the starting phase, the influence of scorotron on the formation of the future free surfaces has been researched. The changes in gamut which appeared, were minimal ones ( $\Delta V_{\text{simb}}=13,3$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=8,6$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=4,1$  space unit). The valid rule in this case is: the less scorotron voltage, the greater gamut volume. The change of the screen surfaces is greater in relation to the full tones. In investigating the influence of the laser head, it was noticed that the screen dot is subdued to great change. By increasing the laser strength, the screen elements become greater and darker. Full tones do not change considerably, and gamuts have the following changes:  $\Delta V_{\text{simb}}=10,3$ ,  $\Delta V_{\text{sple}}=13,2$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=2,9$  space unit.

The developing process (developing drum and the squeegee rollers) influence the maximal change of the gamut inking ( $\Delta V_{\text{simb}}=301,5$ ;  $\Delta V_{\text{simb}}=210$  space unit). By application of higher voltages, the greater application of the ink is achieved. The activity of the developing drum influences the greater change of the full tones, while in the case of the squeegee rollers greater change is achieved in screen. By the extreme increase of the voltage of the squeegee rollers, only smaller degradation of the gamut volume is achieved ( $\Delta V_{\text{sim}}=17,2$ ,  $\Delta V_{\text{sple}}=22,3$  i  $\Delta V_{\text{arc}}=9,4$  space unit)

During the transferring process, two parameters varied: the temperature of the offset cylinder and the voltage of the offset cylinder. The increase of temperature causes the increase of the ink viscosity, which increases the gamut volume ( $\Delta V_{\text{sim}}=44,8$ ,  $\Delta V_{\text{sple}}=49,3$  i  $\Delta V_{\text{arc}}=31,9$  space unit). The higher voltage of the offset cylinder ensures the better transfer. The change in voltage of 200V will cause the greatest gamut increase ( $\Delta V_{\text{simb}}=37,7$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=14,3$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=11,5$  space unit).

At the end of the research the influence of the ink density on the final reproduction has been observed. The concentration increase of the pigment results in darker impression. During the colour variations, the gamuts were not expected to be great ( $\Delta V_{\text{simb}}=60,2$ ,  $\Delta V_{\text{splen}}=36,6$  i  $\Delta V_{\text{arco}}=57,3$  space unit).

In investigation of the electrophotographic process, three different substrates were used: Simbol (glossy fine art paper for printing in classical offset), Splendogel (natural coated paper for digital printing) and Arcoprint (natural paper for classical offset printing). The surface properties of paper showed that they have decisive role in achieving the reproduction quality. Splendogel and Simbol papers with their coatings behave better in extreme conditions which is not the case in the application of the natural paper Arcoprint.

Key words:

Electrophotography, charging, exposing, developing, transfer, gamut reproduction

Sadržaj	
Sažetak	3
Summary	4
Uvod	7
1. Svrha rada	8
1.1 Problem	8
1.2. Ciljevi i zadaci istraživanja	8
2. Teoretski dio	9
2.1 Povijesni pregled elektrofotografije	9
2.2. Fotoelektrični efekt	10
2.3 Osnovni princip elektrofotografije	13
2.3.1. Pripremni procesi u elektrofotografiji	15
2.3.1.1. Dither metoda rastriranja	16
2.3.1.2. Error diffusion metoda rastriranja	17
2.3.2. Nabijanje fotokonduktora u elektrofotografiji	18
2.3.2.1. Pozitivsko nabijanje	19
2.3.2.2. Negativsko nabijanje	20
2.3.2.3. Kombinirano nabijanje	22
2.3.3 Osvjetljavanje fotokonduktora	23
2.3.3.1. Princip negativskog osvjetljavanja	25
2.3.3.2. Princip pozitivskog osvjetljavanja	27
2.3.3.3 Jedinice za osvjetljavanje	28
2.3.4. Obojavanje (razvijanje) tiskovne forme	34
2.3.4.1 Elektrofotografija s praškastim tonerima	34
2.3.4.2 Elektrofotografija s tekućim tonerima	39
2.3.5. Transfer tonera	42
2.3.5.1. Direktni transfer	42
2.3.5.2. Indirektni transfer	43
2.3.6. Fuziranje tonera	46
2.3.6.1. Fuziranje zagrijanim valjcima	47
2.3.6.2. Fuziranje zračenjem	50
2.3.7. Čišćenje fotokonduktora u elektrofotografiji	53
2.3.7.1. Skidanje praškastih tonera	53
2.3.7.2. Skidanje tekućih tonera	54
2.4 Dizajn višebojnih elektrofotografskih strojeva	55

3. Eksperimentalni dio	58
3.1. Plan rada i metode istraživanja	58
3.2. Korišteni strojevi i uređaji	61
3.2.1. HP Indigo TurboStream	61
3.2.2. X-rite SwatchBook	63
3.2.3. X-rite DTP 41	64
3.3. Korišteni materijali	65
3.3.1. Papir za umjetnički tisak	65
3.3.2. Naravni papir	66
3.3.3. Standardni papir za digitalni tisak	67
4. Rezultati istraživanja	68
4.1. Rezultati denzitometrijskog mjerenja	68
4.2. Rezultati spektrofotometrijskog mjerenja	69
5. Diskusija rezultata	110
6. Zaključci	133
7. Literatura	136
8. Popis slika, tablica i formula	142
9. Popis objavljenih radova	145
10. Životopis	148

## Uvod

Razvitak grafičke industrije nemoguće je zamisliti bez primjene suvremenih tehnologija. Implementacijom računala i laserske tehnologije u tiskarski proces omogućena je proizvodnja grafičkih proizvoda koja do tada nije bila ekonomski isplativa.

Digitalni je tisak danas realnost. Informacije o grafičkim proizvodima u digitaliziranom su obliku, i mogu se vrlo lako modificirati i ponovno tiskati. Kod konvencionalnih tehnika tiska koje su namijenjene otiskivanju velikih naklada, gotovo je sve dobro ispitano i uravnoteženo. Međutim, kod tiskarskih tehnika za tisak vrlo malih naklada postoje još mnoge nejasnoće koje dovode do neželjenih promjena. Razvoj digitalnog tiska kreće se u dva smjera. Pritom se razlikuju Computer to Press i Computer to Print tehnologija otiskivanja. Computer to Press tehnologiju karakterizira izrada standardne tiskovne forme u samom tiskarskom stroju, nakon čega slijedi otiskivanje uvijek istog motiva. Computer to Print tehnologija bazirana je na latentnoj tiskovnoj formi koja se poslije svakog otiska ponovno izrađuje. Time je omogućen tisak malih serija i personalizirani tisak. Computer to Print tehnologije karakterizira i vrlo mala (ili nikakva) sila pritiska u zoni dodira tiskovne podloge i tiskovne forme. Takve tehnike otiskivanja nazivaju se i NIP (Non Impact Printing) tehnike otiskivanja.

Jedna od najvažnijih NIP tehnika otiskivanja je elektrofotografija. Elektrofotografski proces otiskivanja je vrlo složen, i odvija se u pet faza (nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje, otiskivanje i čišćenje). Modifikacije postojećih elektrofotografskih sustava vrlo su česte. Samo raščlanjenim istraživanjem osnovnih faza elektrofotografije možemo utjecati na poboljšanje procesa otiskivanja. S mnogobrojnim varijacijama napona doći će se do odgovora jesu li i u kom obimu elektrofotografski otisci pogodni za upotrebu, odnosno kolika je njihova kvaliteta u odnosu na standardnu ofsetnu reprodukciju.

Nedovoljno poznavanje svih parametara proizvodnje u digitalnom tisku, kao i nedovoljno proučena interakcija - tiskovna podloga, bojilo, tiskarski stroj, nerijetko imaju za posljedicu neočekivanu reakciju u tisku. Kako osigurati visoku kvalitetu otiskivanja uz prihvatljivu ekonomičnost i personalizaciju vrlo malih naklada, veliko je područje istraživanja širom svijeta. Naravno i u Hrvatskoj se pokušava vlastitim istraživanjima dati određeni doprinos u tom svjetskom nastojanju.

Na osnovi priloženog veoma opsežnog istraživanja za očekivati je da će dobiveni rezultati doprinijeti razjašnjenju i boljem razumijevanju niza parametara realnog indirektnog digitalnog tiska. Varijacija proizvodnih parametara rezultirat će fenomenom promjene rastertonske vrijednosti, te u tom smislu i mogućim padom kvalitete grafičkog proizvoda, što će ujedno biti i značajan doprinos znanosti vezanoj uz grafičku struku.



## 1. Svrha rada

### 1.1 Problem

Suvremeno civilizirano društvo postavlja mnogo zahtjeva na kvalitetu grafičkog proizvoda. U realnom svijetu postoje neki više ili manje povoljni uvjeti za dostizanje standardno kvalitetnog proizvoda. U uvjetima realne grafičke proizvodnje, određivanjem kritičkih točaka unutar tiskarskog sustava moguće je utjecati na povećanje kvalitete grafičkih proizvoda.

Tehnike digitalnog tiska pri svom radu koriste mnoge fizikalne i kemijske procese koje pojednostavljeno definiramo terminima nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje. Njihov je utjecaj od presudne važnosti na determiniranje parametara rasterske točke, kao i na cjelokupnu kvalitetu reprodukcije.

Tiskovna podloga mora posjedovati također određena svojstva kako bi zadovoljila u tehnološkom procesu digitalnog elektrofotografskog tiska. Tu se naročito ističu sastav papira i primijenjen površinski premaz.

Smatra se da se egzaktnim istraživanjem u strogo kontroliranim uvjetima može definirati ponašanje određenih tehnoloških cjelina procesa otiskivanja, kao i uvjeti kakvi se događaju u svakodnevnim tisku. Istraživanje bi ustanovilo optimalno područje kao i krajnje granice pri otiskivanju najčešćih papira za digitalni tisak.

### 1.2 Ciljevi i zadaci istraživanja

Ciljevi rada definirani su na osnovi vlastitih prelimenarnih istraživanja, iskustvenih spoznaja te saznanja iz najnovije svjetske literature. Primarni cilj je ispitivanje relevantnih čimbenika u procesu indirektnog elektrofotografskog tiska, odnosno kvantificiranje osnovnih parametara fotokonduktorskog nabijanja, fotokonduktorskog osvjetljavanja, razvijanja bojila i transfera bojila, sve u cilju postizanja što kvalitetnijeg otiska.

Pri standardnim uvjetima tiska izučavala bi se ujedno i svojstva standardnih i ne standardnih tiskovnih podloga, kao i njihova interakcija s pripremljenim bojilima različite formulacije. Uz to cilj ovog rada je studiranjem vrijednosti relevantnih parametara ustanoviti krajnje limite ofsetnog tiska na principu elektrofotografije na karakterističnim tiskovnim podlogama. Sukladno saznanjima dobivenim iz istraživanja, te proučavanjem znanstvene literature nužno je odrediti strateške odrednice daljnjeg razvoja, kako bi se unaprijedila kvaliteta grafičkih proizvoda.

## 2. Teoretski dio

### 2.1 Povijesni pregled elektrofotografije

Povijesni eksperiment prvog elektrofotografskog otiskivanja dogodio se 22. listopada 1938. u hotelu Astorija (Queens). Sudionici tog događaja su Chester Charlson i Otto Kornei koji nakon petnaestgodišnjeg istraživanja uspjevaju postići otisak sa suhim (praškastim) bojiлом.

U eksperimentu kao original, korištena je mikroskopska staklena pločica s tintom napisanom "10.-22.-38 ASTORIA". Za formiranje buduće tiskovne forme upotrijebila se cinkova ploča premazana sa sumporom, koja se u zamračenoj prostoriji trljala pamučnom maramicom. Tako je postignut jednoličan površinski elektrostatski naboj. Pripremljena cinkova ploča osvjetljavana je vrlo kratko kroz originalno mikroskopsko staklo, čime je formirana virtualna tiskovna forma. Po osvjetljavanju slijedilo je nanašanje žutog likopodijskog praška (lycopodium) koji se dobro apsorbirao na neosvjetljenu sumpornu površinu. S osvjetljenih površina likopodijski prašak se skidao laganim otpuhivanjem. Vidljivi otisak dobiven je prijenosom likopodijskog praška na voštani papir, na kojemu se vosak rastalio. Skrućivanjem voska na papiru postignut je suh i konzistentan otisak (1).

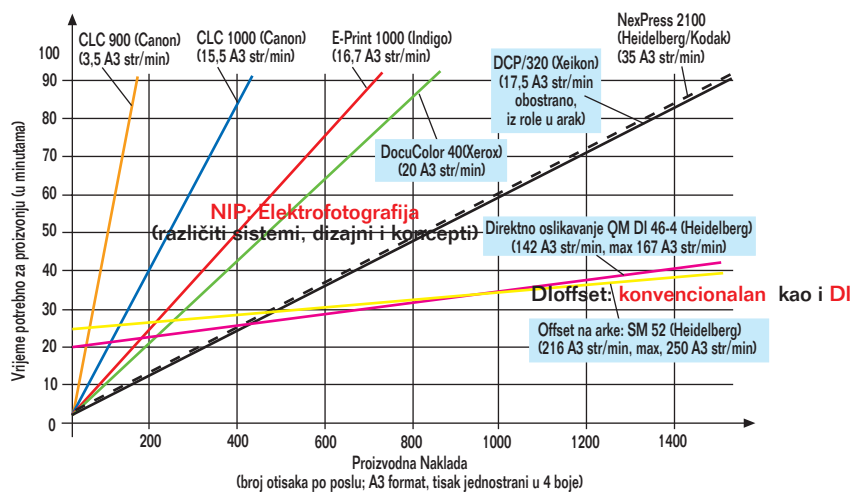
Komercijalna primjena patenta mirovala je devet godina, i gotovo sve vodeće američke elektroničke kompanije (RCA, Remington, General Electronic, IBM, Eastman Kodak), nisu bile zainteresirane za ovu metodu umnožavanja. Tek 1949. godine tvrtka Harold (sadašnji Xerox) otkupljuje izvorni patent i nastavlja istraživanje na elektrofotografskom suhom otiskivanju. Rezultat toga je automatiziran Xerografski stroj (tip 914) koji je predstavljen 1959. godine. Upravo je ta platforma temelj svih današnjih fotokopirnih strojeva (2).

Uočavanjem svih prednosti elektrofotografskog tiska, Xerox nastavlja s daljnjim razvojem i prilagođava Xerografiju kompjuterskom ispisivanju. Rezultat toga je da Xerox 1978. godine prezentira svoj prvi komercijalni laserski printer (Laser 9700) s brzinom tiskanja od 120 A4 str/min.

Tijekom osamdesetih godina personalna računala (PC) postaju sve popularnija u poslovanju, što je utjecalo i na razvoj stolnog izdavaštva. Tako tvrtka Hewlett Packard (HP) 1984. godine predstavlja printer LaserJet (brzina 8 A4 str./min), koji je utjecao na razvoj stolnog izdavaštva. Posebnost tog printera je konstrukcijska jednostavnost, koja je dobivena uslijed spajanja razvijачkog dijela i fotokonduktorskog dijela u jednu jedinstvenu cjelinu. Na taj način zamjenom potrošenog tonerskog spremnika mijenja se i fotokonduktor, čime se osigurava stalna kvaliteta otiskivanja (3).

Iako obojeni toneri na tržištu postoje od 1950 godine, prvi kolorni fotokopirni stroj predstavljen je 1968. godine. Pri radu primjenjuje proces "Dye sublimacije" s. Višebojni elektrofotografski stroj na principu praškastih tonera prvi patentira Canon (1973. godine), čime ujedno i započinje era kolornog elektrofotografskog digitalnog tiska (4).

Elektrofotografski digitalni tisak se u grafičkoj industriji započeo implementirati 1995. godine. Tvrtke Indigo (današnji HP), Xeikon, Xerox, OCE i Kodak na tržištu predstavljaju višebojne strojeve formata A3+ koji tiskaju s proizvodnom brzinom do 35 str/min (5).



Slika 1. Usporedba proizvodnih vremena pri korištenju današnjih elektrofotografskih strojeva i klasičnih ofset strojeva

## 2.2. Fotoelektrični efekt

Fotoelektrični efekt odigrao je važnu ulogu u razvoju suvremene fizike, čime je i dokazana kvantna priroda svjetlosti. Fotoelektrični efekt je pojava koja nastaje uslijed osvjetljivanja površine metalne ploče, uslijed koje dolazi do emisije elektrona iz metalnih rešetaka. Teorija o svjetlosti kao vala ne objašnjava zašto veća količina energije ne izaziva fotoelektrični efekt, odnosno takvom se teorijom predviđa da ista količina energije mora prouzrokovati isti efekat.

Fotoelektrični efekt u potpunosti je objasnio Albert Einstein, zbog čega je 1921. godine dobio Nobelovu nagradu iz fizike. Kao osnova poslužila mu je ideja Herberta Planka po kojoj atom može primiti i predati energiju samo u određenim iznosima - kvantima. Pritom je boja svjetlosti zavisna o energiji kvanta. Energija jednog kvanta svjetlosti (fotona) izražava se jednadžbom:

$$E_f = h \cdot f$$

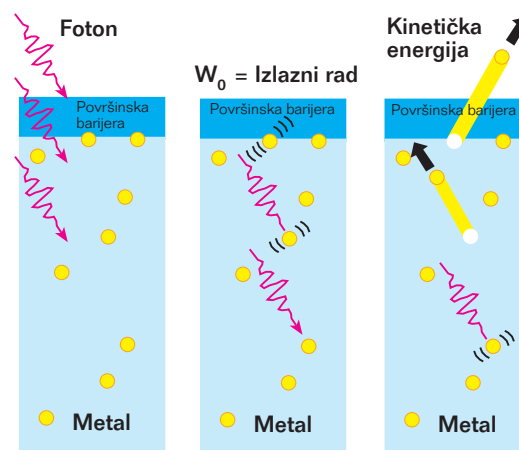
$E_f$  = Energija fotona  
 $h$  = Plankova konstanta ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js)  
 $f$  = frekvencija svjetlosti [1(2.2.)]

Kombinacijom Plankove hipoteze i činjenice da su nositelji naboja u metalu negativno nabijeni elektroni, Albert Einstein pretpostavlja da je za oslobađanje elektrona iz metala potrebna energija koja je identična za sve elektrone (naziva je izlaznim radom). Tom pretpostavkom u potpunosti je objašnjen fotoelektrični efekt (6).

$$E_{kin} = h \cdot f - W$$

$E_{kin}$  = Kinetička energija emitiranog elektrona  
 $h$  = Plankova konstanta ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js)  
 $f$  = Frekvencija svjetlosti  
 $W$  = Izlazni rad [2(2.2.)]

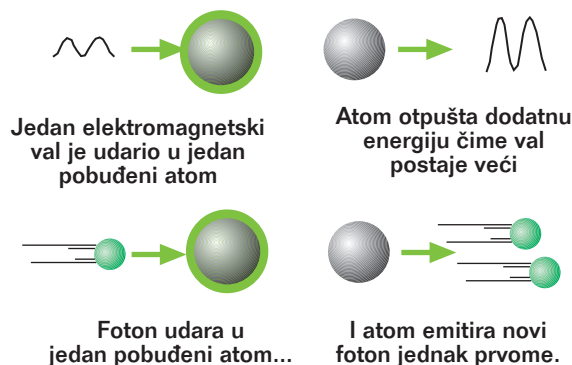
Ukoliko je energija jednog kvanta svjetlosti (fotona) manja od izlaznog rada ( $W$ ) do fotoelektričnog efekta ne dolazi. Energija fotona nije dovoljno velika da bi raskinula vezu između elektrona i metalne rešetke (7). Svjetlosno zračenje čija je frekvencija nedovoljno velika, bez obzira na njen intezitet ne može izazvati fotoelektrični efekt, te niti jedan foton nema dovoljnu energiju za izbacivanje elektrona iz metala.



Slika 2. Prikaz fotoelektričnog efekta

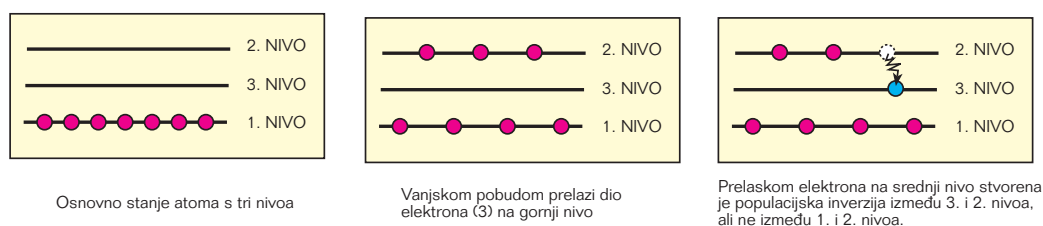
Kinetička energija elektrona ne ovisi o intezitetu svjetlosti osvjetljivanog metala. Bez obzira na broj fotona, elektron prima energiju samo od jednog fotona. Napon koji je potreban za zaustavljanje oslobođeni elektrona nije ovisan o intezitetu svjetlosti, već o valnoj duljini, energiji fotona i vrsti osvjetljenog materijala. Udarom fotona u fizikalni sustav (atom ili molekula) doći će do pobude. Ovisno o energiji ulaznog fotona može nastati nova emisija. Pritom nastaje novi foton koji je potpuno identičan ulaznom fotonu (jednake boje i jednakog smjera). Tako nastaju dva fotona koji putuju zajedno (sl.3). U slučaju da takvi fotoni "pronađu" novi pobuđeni atom, nastat će treći foton, tj. takav način "kloniranja fotona" neprestano će se ponavljati.

Ukupan broj fotona se pri tome povećava, što je u fizici poznato pod nazivom "stimulirana emisija". Ovim Einsteinovim otkrićem stvoren je fizikalni temelj izrade LASERA (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), koji ovisno o korištenom izvornom materijalu može biti u 4 agregatna stanja (plin, tekućina, krutina, plazma). (8).



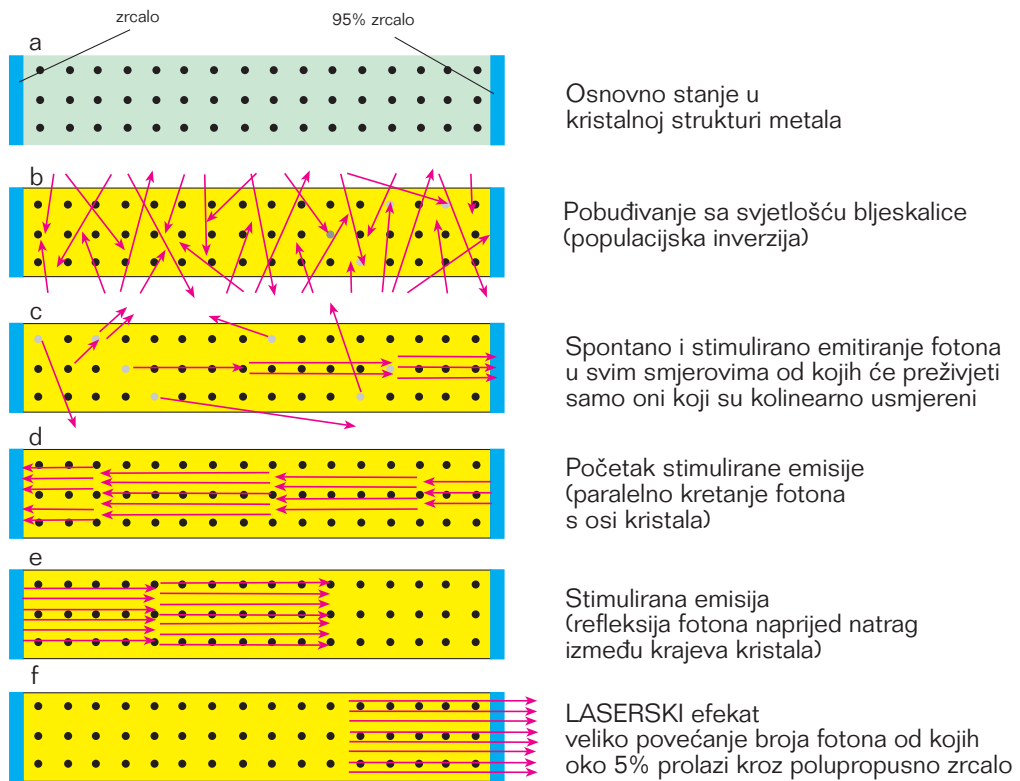
Slika 3. Stimulirana emisija atoma

Pri trajanju stimulirane emisije ne iskorištavaju se svi pobuđeni atomi u kristalnoj strukturi metala. Atomi (molekule) koji su na nižim energetske nivoima pri sudaru s fotonom ne mogu započeti stimuliranu emisiju. Oni se prebacuju samo na više energetske nivoe s kojih se vremenom vraćaju natrag u početno stanje. Postignutom "populacijskom inverzijom" (stvaranje više atoma u pobuđenom stanju nego u nepobuđenom) i određenom uvjetovanom vjerojatnošću, omogućeni su skokovi atoma na dane nivoe. Zbog nestabilnosti populacijsku inverziju nije moguće postići na sustavima s dva energetska nivoa (veći broj pobuđenih atoma ne može se zadržati na višem drugom nivou). Sustavima s 3 i više energetskih nivoea stvorena je mogućnost populacijske inverzije.



Slika 4. Princip stvaranja populacijske inverzije na atomu s 3 nivoea

Korištenjem rezonatora s polupropusnim zrcalima omogućeno je fizičko konstruiranje lasera. Atomi (molekule) se smještaju u zatvoren prostor čiji krajevi su zrcalo i polupropusno zrcalo. Vanjskom pobudom atomi počinju titrati. Spontanom emisijom svjetlosti fotoni započinju populacijsku inverziju koja generira stimuliranu emisiju. Rezultat toga je povećanje broja novih fotona od kojih rijetki pronalaze otvor na polupropusnom zrcalu. Svi fotoni će se pritom kretati u istom smjeru (slika 4).



Slika 5. Princip stvaranja kontinuiranog laserskog svjetla

### 2.3. Osnovni princip elektrofotografije

Osnovni princip elektrofotografije baziran je na fizikalnoj pojavi unutarnjeg fotoelektričnog efekta (photoconductive effect). Fotoelektrični efekt karakterističan je za električki nevodljive ili slabo vodljive pojedinačne kristale, odnosno kristalne mase kao što su kristalizirani selen, kristalizirani telur, kuprooksid, talijev sulfid, talijev oksid. Takvi kristali pod utjecajem jačeg inteziteta svjetlosti mijenjaju svoju strukturu, pri čemu se povećava električna provodljivost (9).

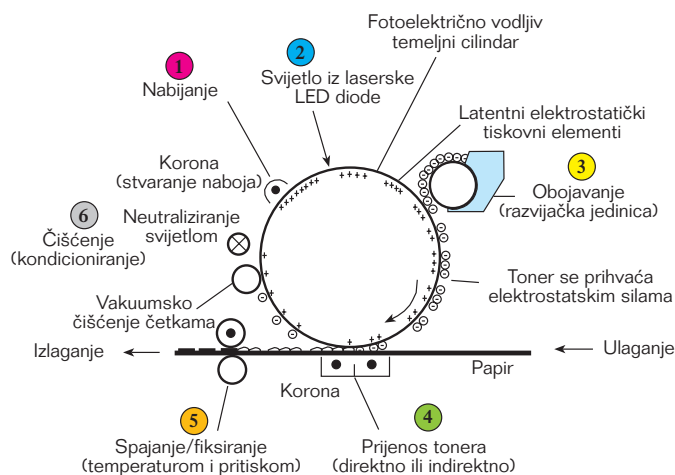
U razvoju elektrofotografskog procesa veliki je korak bio prelazak s analogne uredske xerografske tehnologije u digitalnu tehnologiju otiskivanja. Za ostvarivanje tog cilja potrebno je bilo zadovoljiti dva osnovna preduvjeta:

- svjetlosni izvori morat će se mijenjati ovisno o podacima iz računala,
- svjetlosni izvori morat će se podesiti spektralnoj osjetljivosti fotoreceptora.

Osnova cijelog elektrofotografskog procesa je fotoreceptor. Funkcija fotoreceptora je da se od optičke slike stvori latentna slika, koja će se u fazi razvijanja transformirati u vizualno vidljivu tonersku sliku.

Formiranje otiska u elektrofotografiji provodi se u šest osnovnih faza (10):

1. Nabijanje fotokonduktorskog bubnja
2. Osvjetljavanje tiskovne forme
3. Obojavanje tiskovne forme tonerom
4. Prenošnje tonera na tiskovnu podlogu
5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi
6. Čišćenje tiskovne forme od ostatka tonera



Slika 6. Osnovni princip elektrofotografije

Proces otiskivanja započinje fazom nabijanja. Pri tom se fotoosjetljiva površina fotokonduktorskog bubanja električki nabija, čime se stvara električki nabijena površina. Nakon toga laser selektivno osvjetljava površinu fotokonduktorskog bubnja. Laser s definiranom svjetlošću izbija nosioce električnog naboja, čime takva površina poprima niži potencijal (najčešće nula). Krajnji rezultat je virtualna tiskovna forma, s tiskovnim elementima i slobodnim površinama koje posjeduju različit energetska potencijal (11).

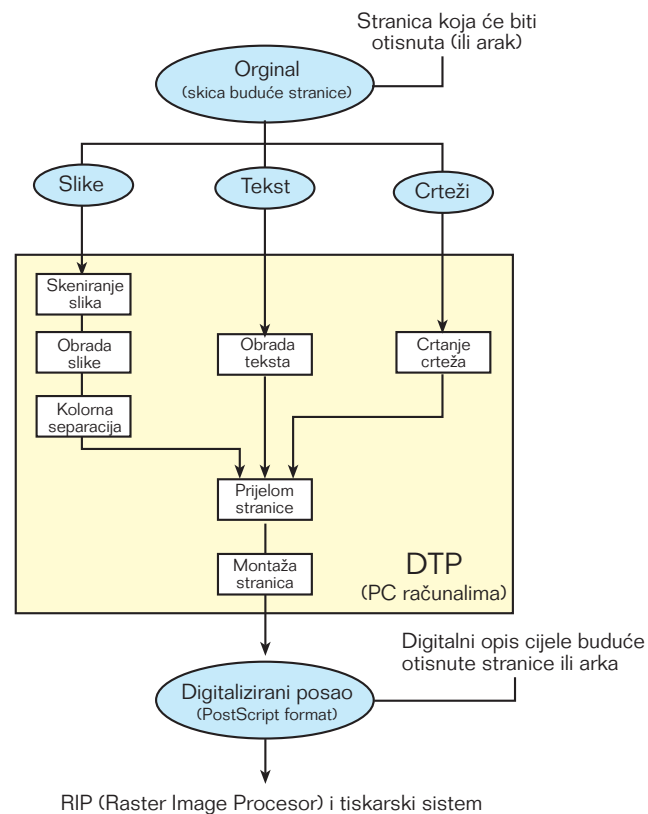
Specijalna bojila za elektrostatski tisak nazivaju se toneri. U 80% slučajeva elektrofotografski strojevi koriste tonere u praškastom obliku, dok preostali dio otpada na tekućine. Praškasti toneri (jednokomponentni ili dvokomponentni) su zrnate strukture, i veličina čestica im se kreće između 6 i 35  $\mu\text{m}$ . Nanošenje i prihvaćanje tonera na tiskovne elemente naziva se razvijanje. Toneri su uglavnom permanentnog negativnog elektropotencijala, te se prihvaćaju za pozitivnije djelove temeljnog cilindra (12).

Prijenos tonera s tiskovne forme na tiskovnu podlogu pomaže transferna korona, koja svojim elektrostatskim silama privlači čestice tonera. Tako dobiven otisak je nestabilan, te se praškasti toner lako može ukloniti. Fiksiranje tonera najčešće se

provodi dovođenjem otiska u kontakt s vrućim valjcima. Toner se pritom tali, prihvaća za papir i skrućuje. Kod elektrofotografije debljina tonerskog sloja formiranog na tiskovnoj podlozi kreće se između 5 i 10  $\mu\text{m}$ . Po završenom otiskivanju temeljni cilindar se mehanički i elektrostatski čisti, čime se izvršava priprema za slijedeći ciklus otiskivanja (13).

### 2.3.1. Pripremni procesi u elektrofotografiji

Neposredno prije procesa otiskivanja nužno je da se tekstualni i slikovni podaci iz DTP (Desk Top of Publishing) računala prenesu na elektrofotografski tiskarski stroj. Računalo tiskarskog stroja i DTP računala međusobno su povezana LAN-om (Local Area Network), čime je osiguran brz protok podataka. Postoji mogućnost i unošenja informacija pomoću dodatnih kompjuterskih ulaznih jedinica (DVD, CD, Exabyte, JEZZ drive i ZIP drive) što je kompliciraniji i sporiji način unosa podataka (14).



Slika 7. Faze kreiranja digitalnog zapisa na DTP računalu

Komunikacijski protokol je složen. Računalo elektrofotografskog stroja prihvaća samo specifične digitalne zapise od kojih su najčešći: P.S. (PostScript), PDF, EPS i TIFF (slika 7). Svi poslovi kreirani na DTP računalu pretvaraju se u odgovarajući binarni (strojni) oblik kojeg je moguće rastrirati, odnosno prevesti u digitalni rasterski oblik s izdvojene 4 procesne boje CMYK (15).



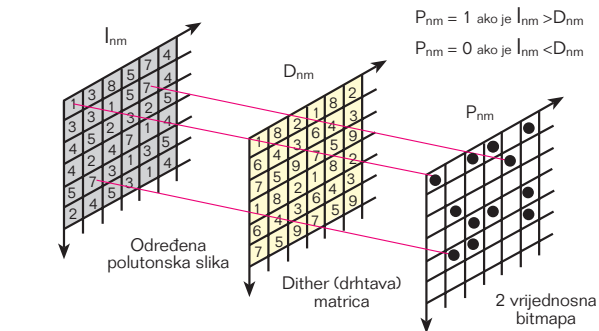
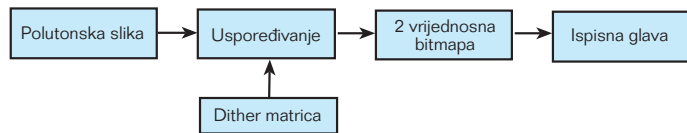
U fazi digitalnog rastriranja računalo primjenjuje: amplitudno-modulirano rastriranje (Dither metodu) ili frekventno modulirano rastriranje (Error diffusion metodu). Izripani poslovi pohranjeni su u računalu tiskarskog stroja i mogu se otisnuti u svakom trenutku. Klikom na tipku miša, binarne informacije zapisa kolorne separacije trenutno se šalju do laserske glave. Ovisno o kolornoj separaciji koja se trenutno provodi, signal dolazi i do razvijačkog sustava koji se pritom aktivira (16).

#### 2.3.1.1. Dither metoda rastriranja

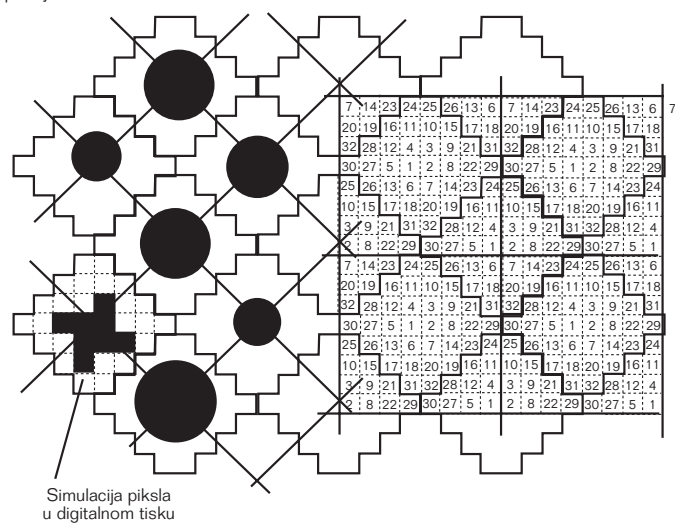
Dither metoda rastriranja temelji se na usporedbi originalne polutonske slike s vrijednostima strojne Dither matrice. Preduvjet dobre kvalitete je zadovoljavajući original (skenirana polutonska slika koja mora biti identične rezolucije kao i buduća otisnuta slika). Rasterske ćelije u strojnoj Dither matrici formirane su nizanjem piksela u formaciji 8 x 8 ili 16 x 16. Nastavak nizanja rasterskih ćelija po x i y smjeru rezultirat će popunjavanjem čitave površine slike (17).

Uspoređivanje vrijednosti polutonske slike i strojne dither matrice rezultirat će s dvovrijednosnom bitmapom u kojoj tiskovni elementi nastaju ako je vrijednost piksela originala veća od vrijednosti strojne Dither matrice. U svim ostalim slučajevima rezultat je redukcija vrijednosti polutonske slike u odnosu na otisak (slika 8). Pri tom postupku korištena je matematička modulo operacija, koje je direktna funkcija rezolucije slike i metode rastriranja (18).

Digitalizirani rasterski elementi u odnosu na original su promjenjive veličine i nepravilnog su drhtavog oblika. Ovisno o korištenoj strojnoj Dither ćeliji, svaki je rasterski element moguće kreirati u odgovarajućoj sivoći. U slučaju matrice (4x4) kreira se 32 nijanse sive, dok kod matrice 8x8 64 nijanse sive (19).



Originalna slika s različitim promjerima rasterskih točkica      8 x 8 Dither (drhtava) matrica

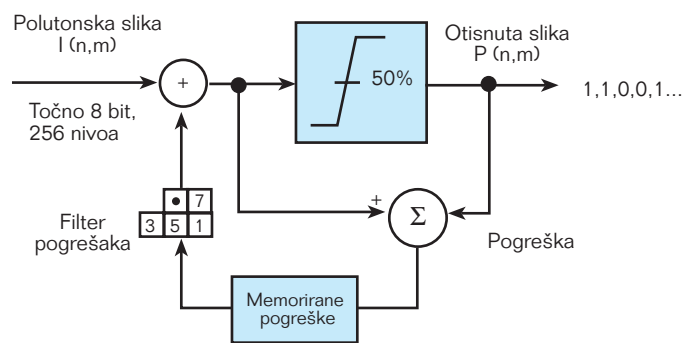


Slika 8. Princip rastranja Dither metodom

### 2.3.1.2. Error diffusion metoda rastranja

U digitalnom tisku frekventno-modulirano rastranje poznato je i pod nazivom Error difuzijska metoda rastranja. Takva metoda rastranja bazirana je na difuznoj (rasipnoj) pogrešci originalne polutonske slike  $I(n,m)$  u odnosu na fiksnu početnu rastersku površinu (slika 9). Postoje samo dvije fiksne vrijednosti rasterske površine;  $P=1$  (točka je tada otisnuta) ili  $P=0$  (točka tada nije otisnuta). Pri takvoj metodi rastranja originalna slika mora biti minimalno 8 bitna, tj. sadržava 256 nijansi sivih tonova (20).

Nakon usporedbe ulazne slike i pozicije izlaznog rasterskog otiska, stvorene pozicijske pogreška se memoriraju i korigiraju s error filterima. Najčešći su error difuzijski filteri: Floyd-Steinberg, Jarvis i Stucki (slika 10).



Slika 9. Princip rastriranja Error difuzijskom metodom

Ovakvom metodom rastriranja postižu se rasterski elementi koji su uvijek istog oblika i sivoće. Za kvalitetu reprodukcije presudnu važnost ima rezolucija laserske glave. Što je zraka laserskog svjetla uža veličina nastalog rasterskog elemenata je manja (21,22).

Floyd-Steinberg	Jarvis et al	Jarvis et al
● 7/16	● 7/48 5/48	● 8/42 5/42
3/16 5/16 1/16	3/48 5/48 7/48 5/48 3/48	2/42 4/42 8/42 4/42 3/42
3/16 5/16 1/16	1/48 3/48 5/48 3/48 1/48	1/42 2/42 4/42 2/42 1/42

Slika 10. Floyd-Steinberg, Jarvis i Stucki error filteri

### 2.3.2. Nabijanje fotokonduktora u elektrofotografiji

Temelj elektrofotografskog procesa je stvaranje kontroliranog električnog potencijala na fotokonduktorskoj površini. Pritom su presudni parametri debljina vodljivog fotokonduktorskog sloja, primjenjen površinski naboj i dielektrička konstanta fotoreceptorskog sloja. Nastali površinski potencijal fotokonduktora proporcionalan je naboju stvorenom na koroni.

$$V_C = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon \epsilon_0} \text{ (V)} \quad [1(2.3.2)]$$

$V_C$  = potencijal površine fotokonduktora (V)  
 $d$  = debljina fotokonduktorskog sloja ( $\mu\text{m}$ )  
 $\epsilon$  = dielektrička konstanta nabijenog fotokonduktorskog sloja (C/Vcm)  
 $\epsilon_0$  = dielektrička konstanta nenabijenog fotokonduktorskog sloja ( $\epsilon_0=8,9 \cdot 10^{-4}$  C/Vcm)  
 $\sigma$  = površinski naboj (V)

Ovisno da li je riječ o direktnoj ili indirektnoj elektrofotografiji, proces nabijanja može biti negativski ili pozitivski (23).

### 2.3.2.1. Pozitivsko nabijanje

Pozitivsko nabijanje vrlo je često u elektrofotografiji. Takvo je nabijanje primjenu pronašlo u uredskim kopirnim strojevima, DTP laserskim printerima i njihovim kombinacijama. Pri pozitivskom nabijanju fotokonduktorski bubanj rotira konstantnom brzinom, pri čemu se izlaže djelovanju korotrona ili dikotrona. Kod ovakvih nabijanja površina fotokonduktora premazana je fotopoluvodičkim slojem karakterističnog specijalnog tamnog otpora većeg od  $10^{14} \Omega \text{ cm}$ . Kasnije izvršenim laserskim osvjetljavanjem otpor se smanjuje na vrijednost između  $10^7 - 10^9 \Omega \text{ cm}$  (24).

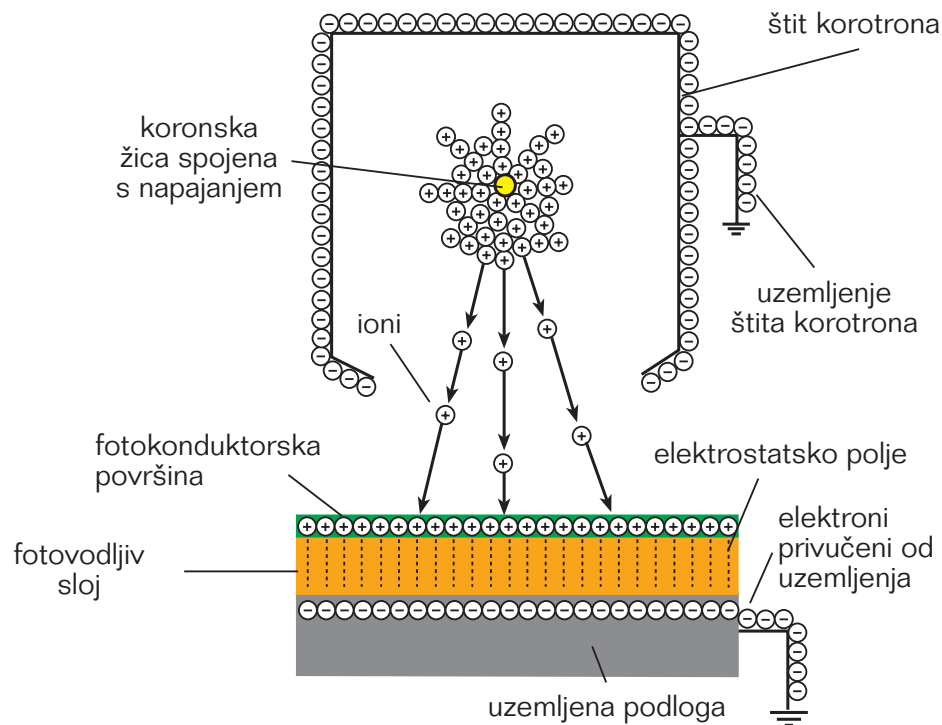
Uređaji korišteni za pozitivsko nabijanje nazivaju se korotroni. Osnovni dio korotrona je tanka pozlaćena volframova ili platinasta žica, koja je direktno spojena s napajanjem (power supply). Žica je smještena u kućište koje je s tri strane zatvoreno, dok je s fotokonduktorske strane otvoreno. Kućište korotrona, baza fotokonduktorskog bubnja i osnovno napajanje pritom moraju biti uzemljeni. Kratkom aktivacijom jedinice osnovnog napajanja u koronu pristiže istosmjerna struja visokog napona (oko 1200V).

Između uzemljenog metalnog kućišta i pozitivne korone stvara se jako elektrostatsko polje. Elektroni se oslobađaju s površine kućišta, i započinju svoje gibanje. Oslobođene elektrone privlači pozitivna korona i pritom se sudaraju s okolnim molekulama zraka. Pri takvom sudaranju molekule zraka se transformiraju u pozitivne ione, dok se novo oslobođeni elektroni nastavljaju kretati u smjeru koronske žice. Proces ionizacije izvodi se sve dok se okolina korone ne zasiti s pozitivnim ionima.

Pozitivnim zasićenjem korone, formira se drugo elektrostatsko polje (između korone i baznog fotokonduktora) koje nije tako jako, ali ima dovoljnu snagu da privuče ione sa zasićene korone. Pozitivni ioni u blizini pozitivno nabijene korone se odbijaju u svim smjerovima. Kućište korotrona kontrolira snagu elektrostatskog polja, i samo oslobođeni ioni koji putuju u smjeru fotokonduktora slobodno prolaze kroz otvor na kućištu korotrona.

Molekule zraka koje okružuju fotokonduktor su pozitivni ioni, koji generiraju pozitivan površinski naboj. Pri procesu površinskog nabijanja fotokonduktora, korotron daje uvijek istu količinu pozitivnih iona. Za to je zaslužna uzemljena podloga. Uzemljenjena podloga je vodič, i dolaskom iona na površinu fotokonduktora sav negativan naboj fotokonduktora usmjerava u smjeru oksidnog sloja uzemljene podloge. Uzemljenjeni negativno nabijeni sloj tako stvara novo elektrostatsko polje s površinsko pozitivnijim fotokonduktorskim slojem. Baza fotokonduktora preko uzemljene podloge dobiva dodatne elektrone održavajući tako snažan negativni naboj (25).

Kod elektrofotografskih strojeva većih brzina i formata, za homogeniju pozitivnu površinu fotokonduktora potrebno je povećati ionsku emisiju iz korone. To se konstrukcijski postiže većim brojem koronskih žica ili spajanjem nekoliko korotrona u niz (30).



Slika 11. Princip pozitivskog nabijanja

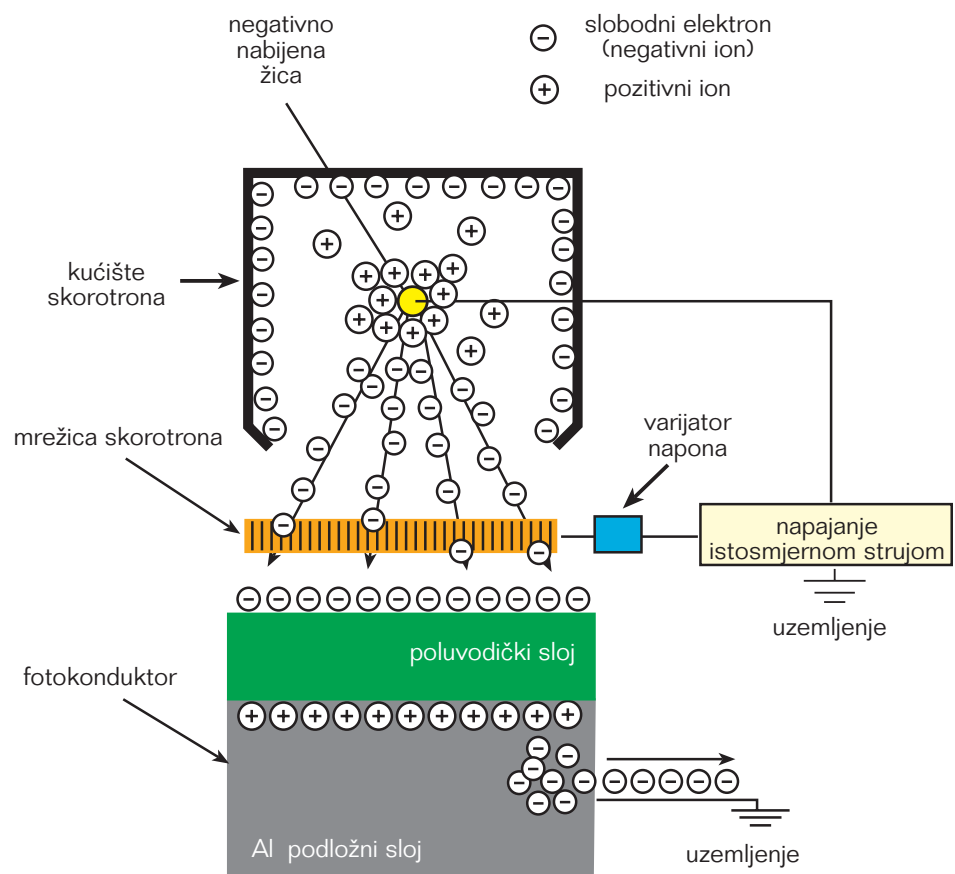
### 2.3.2.2. Negativsko nabijanje

Negativsko nabijanje karakterizira stvaranje negativnih nosilaca naboja na površini fotokonduktora. Negativsko nabijanje koristi se u elektrofotografskim strojevima II generacije, koji rade indirektnim načinom otiskivanja.

Površinski sloj fotokonduktora koji se negativski nabija premazan je s OPC fotopoluvodičem (Organic Photo Conductor). Organski fotokonduktora ima nizak početni otpor, koji se laserskim osvjetljavanjem povećava. Uređaji korišteni za negativsko nabijanje nazivaju se skorotroni. Skorotronska konstrukcija je vrlo slična korotronske konstrukciji. Postoji samo razlika u skorotronske mrežici koja se nalazi na otvorenoj strani kućišta. Kod negativskog nabijanja kućište skorotrona je slobodno, što se ne može reći za skorotronske žicu i skorotronske mrežicu (one su direktno spojene s napajanjem).

U početnoj fazi negativnog nabijanja, uređaj za napajanje formira visoki negativan napon na skorotronske žici. Rezultat toga je emisija velikog broja elektrona koji će formirati 3 elektrostatska polja: skorotronska žica - kućište skorotrona, skorotronska žica - skorotronska mrežica i skorotronska mrežica - fotokonduktorska površina (27).

Elektrostatske sile formiraju oslobođeni elektroni iz molekula zraka koji okružuju žicu skorotrona. Oslobođeni elektron iz molekule zraka odbija se od negativno nabijenog skorotrona i svojim gibanjem sudara se s molekulama zraka izazivajući oslobađanje novih elektrona. Molekula zraka s manjkom elektrona postaje pozitivni ion. Proces ionizacije (stvaranje iona) izvodi se sve dok se područje oko skorotronske žice ne zasiti pozitivnim ionima. Oslobođeni elektroni gibaju se u svim smjerovima, ali brojčano ih više završi na skorotronske mrežici. Reguliranjem napona skorotronske mrežice kontrolira se protok elektrona kroz skorotronske mrežice, čime se utječe na snagu elektrostatskog polja (fotokonduktor - skorotronska mreža). Rezultat toga je željeni negativan naboj na površini fotokonduktora.



Slika 12. Princip negativskog nabijanja skorotronom

Fotokonduktori korišteni u negativskom procesu nabijanja sastoje se od dva sloja: površinskog poluvodičkog sloja i uzemljene aluminijske podloge. Kontinuirana emisija slobodnih elektrona na poluvodičku površinu ima za posljedicu oslobađanje elektrona iz baznog aluminijskog sloja, koji se uzemljenjem odvode iz fotokonduktora. Time se stvara elektrostatsko polje između poluvodičke površine i rubne površine aluminijskog sloja (28).

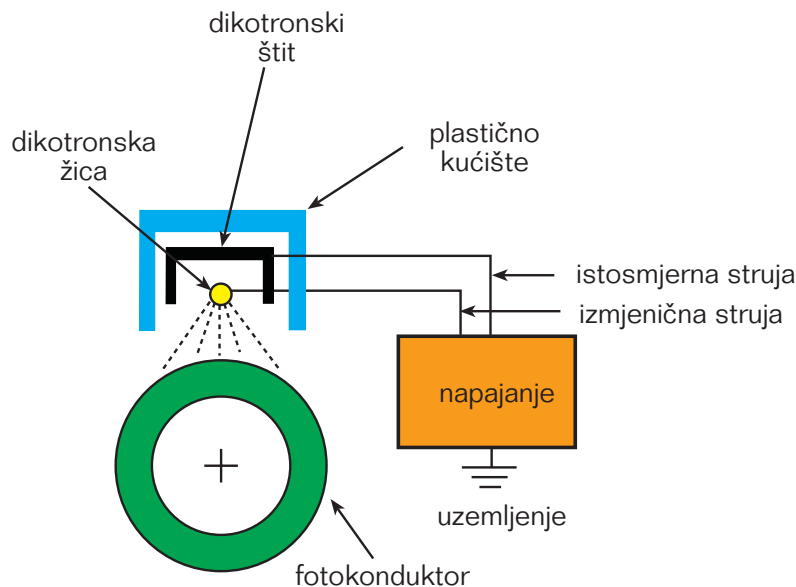
Pri procesu nabijanja pristizanje novih elektrona na površinu fotokonduktora (negativni naboj) postaje sve izražajnije. Aluminijski sloj svojom debljinom i kapacitetom ne uspijeva uzemljiti sve novopristigle elektrone. Fotokonduktorski sloj tako postaje sve negativniji, što rezultira s nejednakim elektrostatskim poljem. Kontrolom skorotronske mrežice taj problem je eliminiran. Skorotronska mrežica formirana je od aluminijskih žica spojenih na izmjenjivač napona.

Promjenom napona na skorotronske mrežice mijenja se i elektrostatsko polje (skorotronska žica - skorotronska mrežica), čime se ujednačava protok elektrona u smjeru površine fotokonduktora. Molekule zraka oko fotokonduktora postaju negativni ioni i površinski sloj fotokonduktora postaje negativno nabijen (29).

#### 2.3.2.3. Kombinirano nabijanje

Kombinirano nabijanje karakterizira stvaranje pozitivnih i negativnih nosilaca naboja na površini fotokonduktora. Razlika između korotronske i dikotronske je u dodatnom plastičnom kućištu koje s tri strane okružuje dikotronske žice. Osnova takvog procesa nabijanja je dikotronska žica, koja je direktno spojena s izmjeničnim izvorom električne energije. Takvim strujnim izvorom moguće je formirati pozitivne i negativne ione.

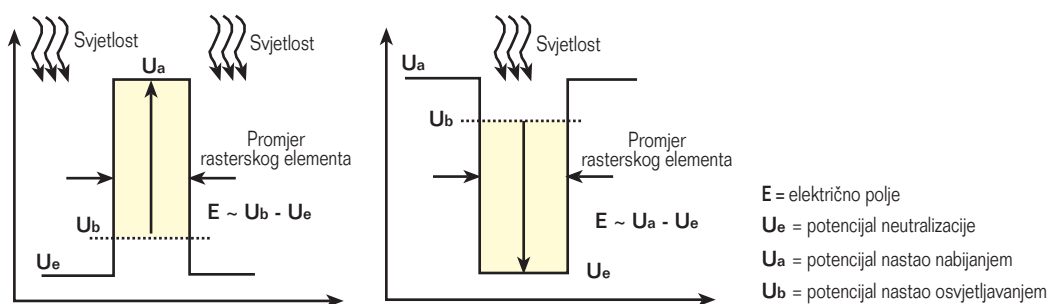
Dikotronske štite također je direktno napajan. Napajanje dikotronske štite izvodi se istosmjernom strujom koja se može lako podešavati. Ovisno o jačini izmjeničnog napona na dikotronske žice, dikotronske štite će proizvesti ili pozitivan ili negativan ion. Takvom regulacijom direktno se utječe na izlazni naboj sa dikotronske, čime se provodi samokontrolirajuće pozitivno i negativno nabijanje (30).



Slika 13. Princip kombiniranog nabijanja dikotromom

### 2.3.3 Osvjetljavanje fotokonduktora

Osvjetljavanje je proces u kojem se originalni dokument ili kompjuterski podaci projiciraju na fotokonduktora. Pritom se naponi na fotokondukturu mijenjaju (najčešće neutraliziraju). Ovisno o izvršenom nabijanju fotokonduktorske površine (slika 14), razlikujemo negativsko osvjetljavanje CAD (Charged Area Development) i pozitivsko osvjetljavanje DAD (Discharged Area Development). Osnovni preduvjet za negativsko osvjetljavanje je pozitivsko nabijena fotokonduktorska površina. Kod pozitivskog osvjetljavanja takvi preduvjeti su dijametralno suprotni, odnosno potrebna je prethodno negativsko nabijena površina fotokonduktora (31).



Slika 14. Negativsko (CAD) i pozitivsko (DAD) osvjetljavanje

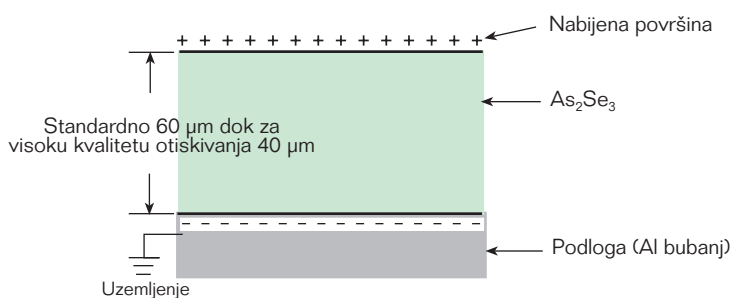
Kod elektrofotografskih strojeva koji rade principom negativskog osvjetljavanja, ukupna svjetlosna izloženost fotokonduktorske površine vrlo je velika. Neosvijetljeni tiskovni elementi se ne mogu nijansirati, te je takav princip osvjetljavanja pogodan za reprodukciju jednostavnijih grafičkih aplikacija (crteži i tekst).



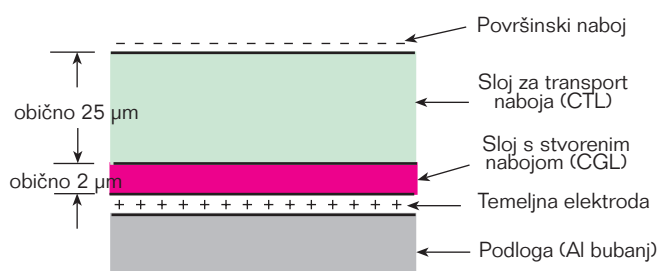
Pri pozitivskom osvjetljavanju svjetlosti se izlažu budući tiskovni elementi. Intenzitet laserskog zračenja je moguće modulirati. Time je omogućen različit elektrostatski potencijal tiskovnih elemenata, koji će se kasnije u fazi razvijanja pretvoriti u različitu gustoću obojenja. Tiskovni elementi formirani na fotokonduktora su vrlo mali, čime je osigurana dobra rasterska reprodukcija (32).

Princip osvjetljavanja direktno je ovisan o građi fotokonduktora. Fotokonduktori za negativsko osvjetljavanje jednostavne su konstrukcije. Karakteriziraju ih 3 osnovna djela: pozitivno nabijena vanjska površina, srednji fotoosjetljivi sloj i uzemljena aluminijska podloga (slika 15).

Sastav pozitivskih fotokonduktora nešto je kompleksniji (slika 16). U proizvodnji pozitivskih fotokonduktora osnovu čini aluminijska podloga na koju je nanešena pozitivno nabijana elektroda. Iznad nabijene elektrode nanešen je sloj za akumuliranje naboja, te sloj za transfer naboja. U završnom sloju takvog tipa fotokonduktora može se pronaći i zaštitni sloj, na kojemu je skorotromom stvoren negativan naboj (organski fotokonduktori).



Slika 15. Presjek negativnog fotokonduktora na bazi  $As_2Se_3$



Slika 16. Presjek pozitivnog fotokonduktora na bazi organskih fotokonduktora

Središnji prijenosni fotokonduktorski sloj ima presudnu ulogu u procesu generiranja latentne slike. Ovisno o kemijskom sastavu prijenosnog sloja razlikujemo slijedeće tipove fotokonduktora: anorganske ( $As_2Se_3$ , ZnO,  $\alpha$ -Si, SeTe) i organske (OPC). Njihova karakteristike dane su u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike organskih i anorganskih fotokonduktora pri maksimalnoj osjetljivosti

Materijal	Debljina sloja $\mu\text{m}$	Valna duljina nm	$E^*_{1/2}$ $\mu\text{J}/\text{cm}^2$	Prirast**	Dielektrična konstanta	Komercijalna upotreba
ANORGANSKI						
Se-Te / +800 V	60	488	0,3	0,34	7	Da
As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> / +800 V	60	680	0,4	0,29	11	Da
a-Si / +600 V	30	680	0,4	0,29	11	Da
ORGANSKI						
H <sub>2</sub> Pc / -600 V	25	780	0,5	0,11	3,3	Da
TiOPc / -600 V	25	780	0,18	0,30	3,3	Da
TiOPc / -600 V	20	780	0,08	0,85	3,3	Ne
HOGaPc / -800 V	25	780	0,15	0,36	3,3	Ne
Squaraine / -950 V	30	800	0,4	0,11	3,3	Ne
Azo-Pigment / -600 V	20	800	0,5	0,13	3,3	Da

$E^*_{1/2}$ : osvjetljavanje s 50% intezitetom izvora svjetlosti

Prirast\*\*: promjena naboja površine na mjestima koje nisu osvjetljene

Spektralna osjetljivost organskih i anorganskih fotokonduktora nije jednaka. Potencijal na površini fotokonduktora i fotokonduktorska osjetljivost odnose se razmjerno, odnosno viši potencijal na površini fotokonduktora izaziva veću spektralnu osjetljivost. Pojavom novih OPC fotokonduktora to je uspješno promijenjeno. OPC fotokonduktori tako u sloju za stvaranje naboja (CGL) sadrže i svijetlo osjetljive pigmente, čime je spektralna osjetljivost uspješno smanjena na sigurno područje laserskog zračenja (33).

Iako anorganski fotokonduktori posjeduju veću mehaničku otpornost, sve su manje u upotrebi. Prvenstveni razlog tomu je njihova temperaturna nestabilnost koja direktno utječe na neujednačenost naboja, što kod organskih fotokonduktora nije slučaj (34).

### 2.3.3.1. Princip negativskog osvjetljavanja

Neposredno prije negativskog osvjetljavanja fotokonduktora se polarizira uslijed pozitivskog nabijanja. Formiran pozitivan naboj na fotokonduktorskoj površini je stabilan, i ne mijenja se u odnosu na konstantnu negativno nabijenu fotokonduktorsku podlogu. U molekulama centralnog sloja elektroni se ne mogu oslobađati, te zadržavaju pozicije unutar vlastite kristalne strukture. Između površine i podloge fotokonduktora tako egzistira stabilno elektrostatsko polje (slika 17a).

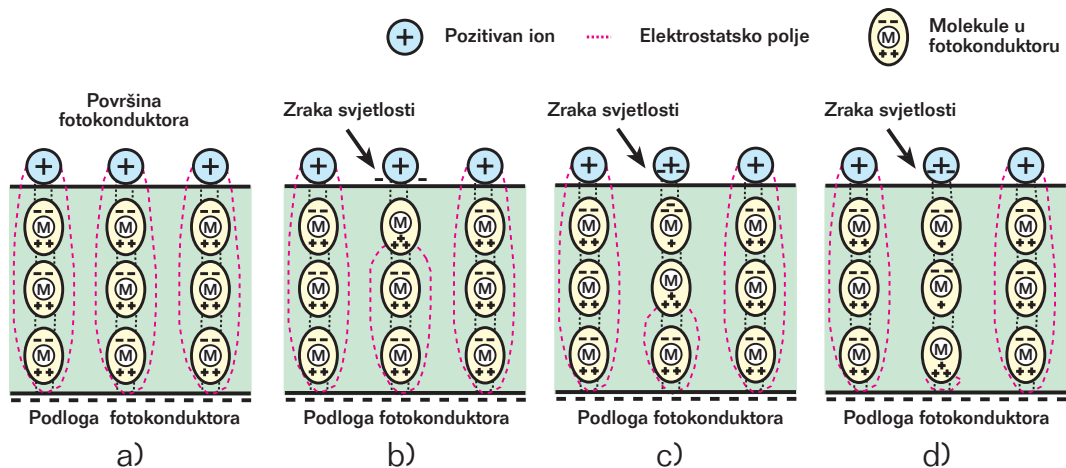
Središnji dio kod CAD fotokonduktora je poluvodič. Poluvodiči su dualne materije koje mogu biti izolatori (u mraku ne provode elektricitet) i vodiči (pri svjetlosti provode elektricitet). Izlažući se definiranoj svjetlosti poluvodički dijelovi fotokonduktora započinju s fotokemijskom reakcijom.

Analizom fotokemijskog procesa uočeno je da se prvo mijenjaju molekule poluvodiča koje su najbliže fotokonduktorskoj površini. U toj osvijetljenoj molekuli elektroni započinju gibanje koje se kreće u smjeru pozitivnih iona (formirani su tijekom nabijanja površine fotokonduktora). Pritom se neutralizira samo manji dio pozitivnih iona. Gornji dio površinske molekule postaje pozitivno nabijena molekula (šupljina), a snažno elektrostatsko polje pomiče se naniže (slika 17b).

Istovremeno elektroni u nižem redu (ispod površinskih molekula) reagiraju na pozitivan naboj i migriraju u smjeru gornje molekule, provodeći tako daljnu neutralizaciju površine fotokonduktora. Gubitkom elektrona takva molekula postaje pozitivno nabijena molekula, uslijed čega se snažno elektrostatsko polje pomiče još niže u smjeru fotokonduktorske podloge (slika 17c).

Ovakav se proces nastavlja sve do momenta kada najdonjnje molekule u poluvodičkom sloju ne postanu pozitivno nabijene šupljine. Oslobođeni elektroni u tom trenutku prelaze iz podloge na površinu fotokonduktora pri čemu se neutralizira i posljednji pozitivni ion (slika 17d).

Pomicanje elektrona s podloge na fotokonduktorsku površinu provodi se zbog vodljive podloge (koja je vodič), ali i zbog snažnog elektrostatskog polja koje egzistira između zadnje fotokonduktorske molekule i podloge. Za održavanje neutralne fotokonduktorske površinske uzemljene podloge ne smiju biti previše vodljive. Oksidacijom aluminijskog podložnog sloja smanjuje se prekomjerna emisija elektrona iz uzemljenja, čime je zadržana električna stabilnost površine fotokonduktora (35).



Slika 17. Reakcije u fotokondukturu tijekom negativnog osvijetljavanja

### 2.3.3.2. Princip pozitivskog osvjetljavanja

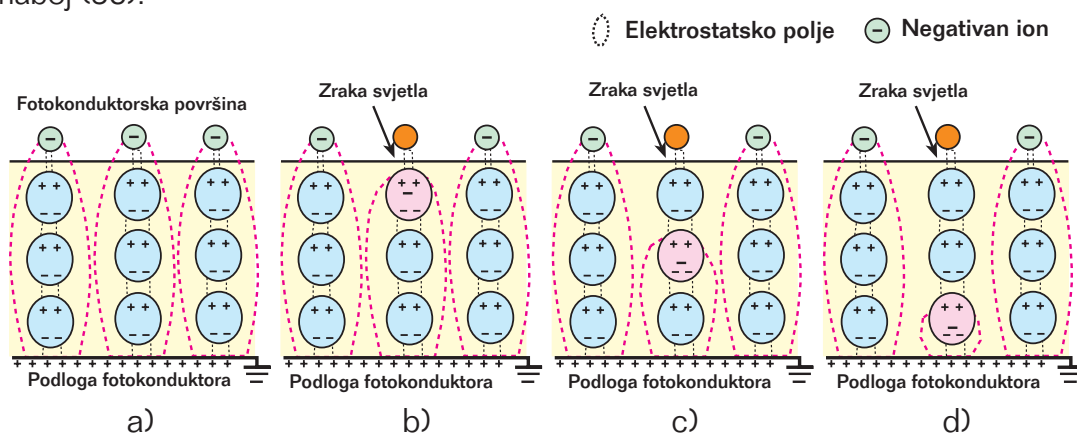
Pozitivski princip osvjetljavanja također zahtjeva polariziranje u unutrašnjosti fotokonduktorskog sloja. Ono se provodi uslijed skorotronske nabijanja. Pritom se formira negativni naboj na površini fotokonduktora, dok je podloga fotokonduktora permanentno pozitivna. Uslijed djelovanja skorotronske, u centralnom sloju fotokonduktora stvara se snažno elektrostatsko polje u kojem se elektroni slobodno gibaju unutar vlastitih molekula (slika 18a).

U momentu osvjetljavanja jednog dijela fotokonduktorskog bubnja (tiskovni elementi), elektroni se s negativno nabijene površine pomiču u smjeru najviše polarizirane molekule centralnog poluvodičkog sloja. Time započinje redukcija negativnog površinskog naboja fotokonduktora. Molekula koja je prihvatila elektron postaje ion (molekula najbliža površini), pri čemu dolazi i do pomaka u elektrostatskom polju. Elektrostatsko se polje spušta naniže te egzistira između negativno nabijene molekule i pozitivno nabijene fotokonduktorske podloge (slika 18b).

Na snažno elektrostatsko polje utječu elektroni u ionu, te izazivaju migraciju elektrona na nižu molekulu poluvodiča. Dobivanjem elektrona takva molekula postaje ion, pri čemu se površinski negativni naboj i dalje smanjuje (neutralizira) slika 18c.

Migracija negativnog naboja ponavlja se s viših na sve niže molekule, tj., do posljednje molekule koja graniči s pozitivno nabijenom podlogom. U tom trenutku oslobođeni elektron u ionu privučen je od pozitivne fotokonduktorske podloge, čime dolazi do neutralizacije iona i pozitivne podloge (slika 18d).

Kretanje elektrona s površine u smjeru podloge traje za vrijeme osvjetljavanja fotokonduktorske površine. Prestankom osvjetljavanja prestaje i emisija elektrona. Dugotrajnim svjetlosnim izlaganjem fotokonduktora cjelokupan će površinski naboj biti smanjen, odnosno površina fotokonduktora imat će veoma nizak negativan naboj (36).

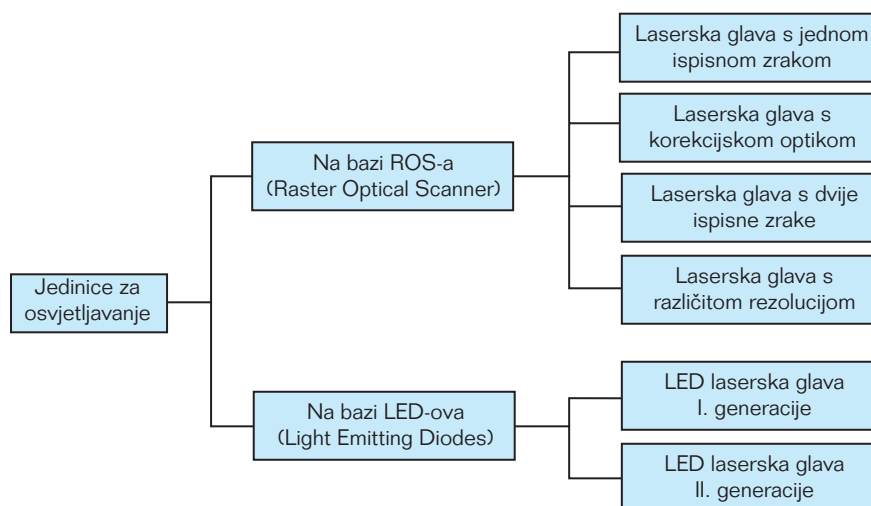


Slika 18. Reakcije u fotokondukturu tijekom negativskog osvjetljavanja

### 2.3.3.3 Jedinice za osvjetljavanje

Ovisno o primijenjenoj tehnologiji koja se koristi u fazi neutralizacije fotokonduktorske površine, razlikuju se dva tipa elektrofotografskih uređaja za osvjetljavanje: na bazi "rasterskih optičkih skenera" (ROS = Raster Optical Scanners) i na bazi svjetlo emitirajućih dioda (LED = Light Emitting Diodes).

ROS princip osvjetljavanja primjenjuje plinski laserski izvor, koji se spaja na akustičko optički modulator. Plinske laserske izvore zamijenili su poluvodički laseri (laserske diode) koje je moguće direktno modulirati. ROS tehnologija primjenjiva je u konstrukciji manje kvalitetnih stolnih laserskih printera. Paralelno sa svjetlosnim izvorima mijenja se i konstrukcija ROS ispisnih glava. Danas tako 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 (37).



Slika 19. Prikaz ROS i LED tehnologije osvjetljavanja

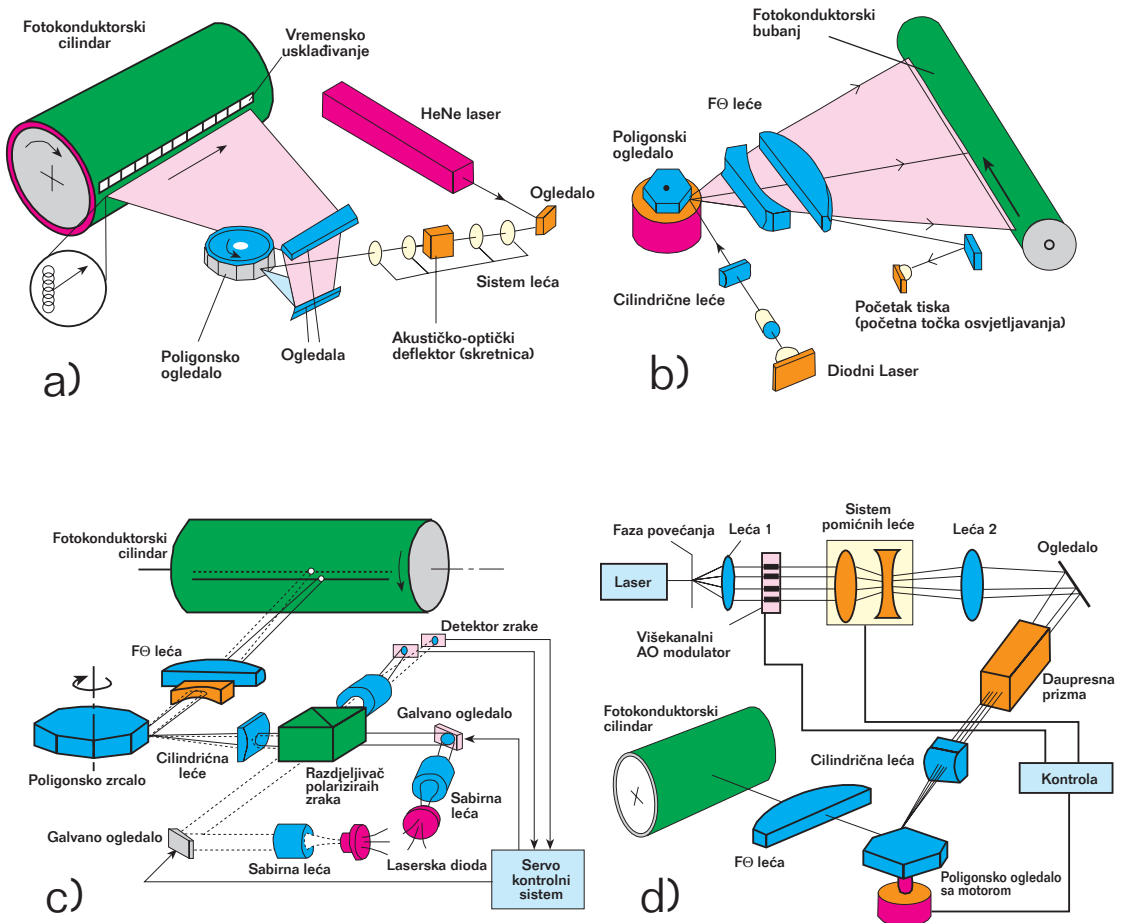
Suvremeni tipovi jedinica za osvjetljavanje bazirani su na LED tehnologiji. Ugrađeni LED svjetlosni izvori vrlo su sitni, i odgovaraju veličini budućih tiskovnih elemenata. Ovisno o načinu spajanja u linijske blokove razlikujemo:

- LED laserske glave prve generacije
- LED laserske glave druge generacije.

Broj poredanih LED blokova može biti vrlo velik, što rezultira mogućnošću ispisa i većih formata (38).

## ROS jedinice za osvjetljavanje

Sredinom 70-tih godina s konstrukcijom prve ROS ispisne laserske glave započeo je razvoj elektrofotografskog otiskivanja. Osnovni princip rada ROS laserske glave do danas nije mnogo mijenjan, ali je bazna konstrukcija doživjela određene modifikacije. Karakteristično za ovakvu lasersku tehnologiju je: dugi put laserske zrake, specijalno prilagođeni optički sistemi leća, te specijalno konstruirana zrcala. Na slici 20 prikazana su 4 tipa laserskih glava temeljenih na ROS tehnologiji. (39)



Slika 20. Konstrukcijska rješenja laserskih glava baziranih na ROS tehnologiji

- a) ROS sistem sa zrcalima (izvor nije u liniji sa fotoreceptorom)
- b) ROS sistem s korekcijskom optikom
- c) ROS sistem s dualnim diodnim laserom
- d) ROS sistem s varijabilnom rezolucijom

Laseri su svjetlosni izvori koji emitiraju jedna ili više usmjerenih svjetlosnih zraka uvijek iste valne duljine ( $\lambda$ ). Snagom sustava za napajanja regulira se elektricitet koji uzrokuje stimulaciju laserskog materijala.

Zavisno o načinu provođenja stimulacije u elektrofotografiji razlikujemo plinske lasere i poluvodičke lasere. U plinskim laserima elektricitet prolazi kroz staklenu cijev ispunjenu plemenitim plinovima (neonom, helijem i argonom). Elektricitet pobuđuje atome plina, što ima za posljedicu oslobađanje fotona. Pritom se emitira i koherentna svjetlost. Za selektivno fotokonduktorsko osvjetljavanje plinskom laseru pridodan je modulator koji ima funkciju skretnice. Samo neskrenute zrake svjetlosti osvjetljavaju fotokonduktorsku površinu, formirajući tako virtualnu tiskovnu formu (slika 20a).

Poluvodički laser kao izvor koristi lasersku diodu. Dovođenjem električne energije u poluvodičku diodu, zatvara se strujni krug koji će rezultirati emisijom usmjerene svjetlosti. Varijacijom napona u samoj laserskoj diodi (slika 20 b,c,d) omogućit će se podešavanje momenta formiranja svjetlosti. Zbog toga poluvodičkim laserima nisu potrebni dodatni modulatori (40).

U procesu osvjetljavanja laserska zraka mora osvjetliti jednu usku traku po cijeloj dužini fotoreceptora. To se provodi refleksijom laserske zrake s poligona koji rotira oko svoje osi konstantnom brzinom. Poligoni u takvim jedinicama za osvjetljavanje sadrže obično 8 ili 16 ogledala. Broj ogledala i brzina rotiranja poligona direktno utječe na produktivnost elektrofotografskog stroja.

Jedinice za osvjetljavanje koriste ogledala da bi promijenile smjer laserske zrake. Promjenom smjera zrake skraćuje se udaljenost između laserskog izvora i fotoreceptorske površine, čime je smanjen volumni prostor jedinice za osvjetljavanje. Na ogledalima postoji reflektirajući sloj. On je nanešen s prednje strane, čime je eliminirana negativna refleksija laserske zrake.

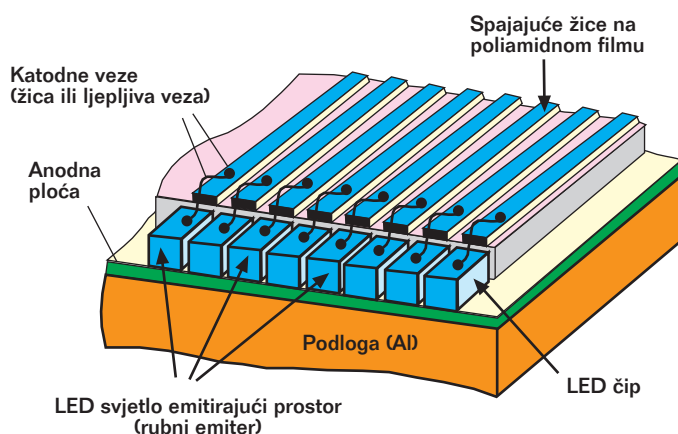
U prvim laserskim glavama sustav leća sadržavao je dvije vrste leća: fokusirajuće i korekcijske (slika 20a). Prednja fokusirajuća leća ima zadaću da nepravilnu izvornu zraku (eliptičnog oblika) korigira u okrugli oblik. Pritom se na fotokonduktoru formira precizna rasterska točka koja u potpunosti odgovara poziciji izvornog piksela. Stražnja korekcijska leća sprečava mogući otklon laserske zrake, koji može nastati uslijed pogrešne refleksije s rotirajućeg poligona. Time je osigurana ravna skenirna linija u odnosu na fotoreceptor.

Razvoj kvalitetnijih fotokonduktora direktno je utjecao i na konstrukciju sustava za osvjetljavanje. Nove laserske glave sada sadrže veći broj leća, čime je produljen put laserske zrake. Takvi sustavi sadržavaju: cilindrične leće, F $\theta$  leće (slika 20b), kolimatore (slika 20c) i pomični sustav leća (slika 20 d).

## Jedinice za osvjetljavanje na principu svjetlo emitirajućih dioda

Ispisne glave koje rade na principu svjetlo emitirajućih dioda montirane su na fiksnom nosaču i poredane su po cijeloj širini fotokonduktorskog bubnja. Svaka je dioda odgovorna za formiranje tiskovnog elementa, pri čemu razmak između dioda direktno utječe na rezoluciju ispisivanja.

Prvi LED printeri proizvedeni su 1978. godine. Sadržavali su četiri LED diode po dužnom milimetru. Konstrukcijom laserskih glava s dva LED kanala (parni kanali su pomaknuti za pola širine rasterskog elementa) omogućen je tisak od 8 točkica po milimetru, što odgovara rezoluciji od 200 dpi. Takve LED diode su lijepljene na osnovnu noseću podlogu, i spajane su mikronskom žicom za fleksibilan poliamidni film. Za stvaranje buduće virtualne tiskovne forme, poliamidni film morat će biti žicom povezan s računalom iz kojeg dobiva ispisne podatke (41).



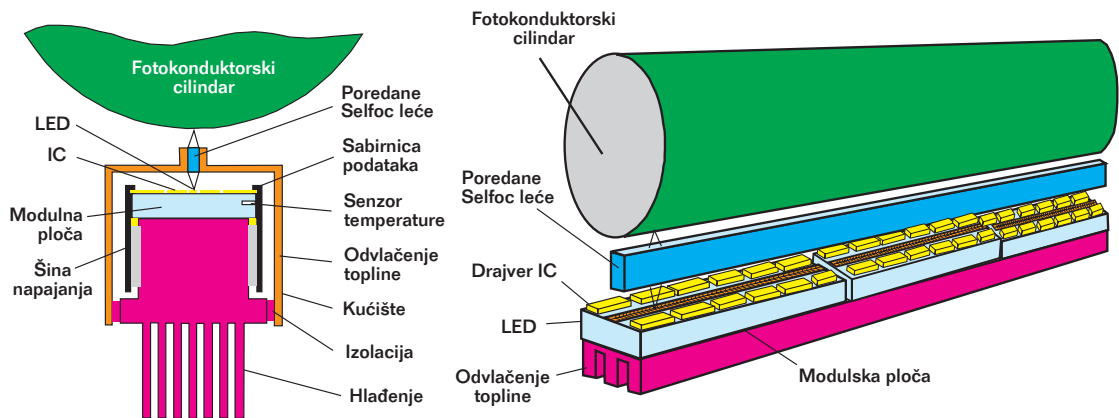
Slika 21. Konstrukcija prve LED jedinice za osvjetljavanje

U ispisnoj šipci 1. generacije, LED diode emitiraju svjetlost točno definirane valne duljine. Prolaskom tako formirane svjetlosti kroz selfoc leću (samofokusirajuću leću) osigurava se projekcija u omjeru 1:1. Velika preciznost izrade i dug servisni vijek, razlog je primjene ovakve ispisne glave u printerima visokih tehničkih karakteristika. U laserskim glavama 1. generacije LED ispisne šipke su fiksne i sastoje se od dva glavna dijela: kućišta i modularne ploče (slika 21).

Kućište je masivno i mrežaste je strukture. Time je osigurano konstantno odvođenje topline iz modularne ploče, pri čemu sistem dostiže maksimalnu temperaturu od 50°C. Na modularnoj ploči se nalaze 64 ili 128 LED čipova poredanih u 14 redova. Time se ostvaruje ispisna rezolucija od 240 odnosno 300 dpi. Aktivacija LED čipova ostvaruje se s ICs drajverima (IC driver = pogonski programi za upravljanje



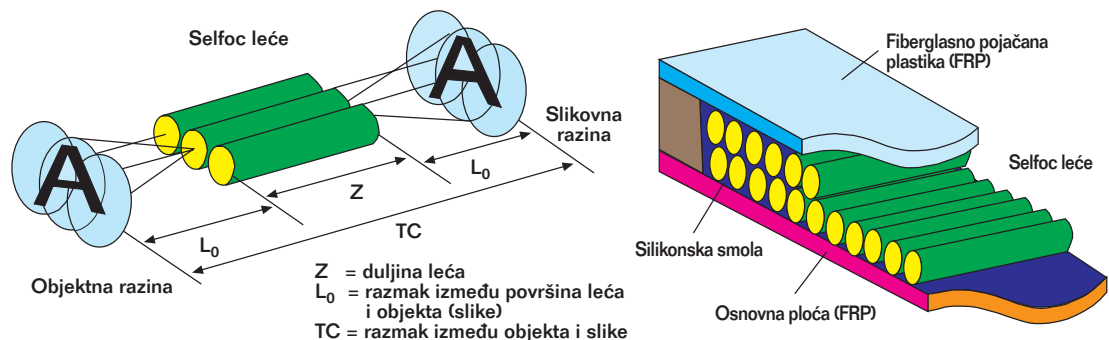
integriranih krugova) koji su smještenih na bočnoj stranici kućišta. ICs drajveri su direktno spojeni s LED čipovima pomoću sabirnice (bus), pri čemu se ostvaruje otvaranje i zatvaranje strujnog kruga, odnosno započinje aktivacija LED čipova.



Slika 22. Prikaz LED ispisne šipke 1. generacije

Sabirnicu čine aluminijske žice promjera 30  $\mu\text{m}$ . U printeru formata A4 i ispisne rezolucije od 600 dpi, ukupno postoji oko 40 000 žica. Mikrovarenjem žice su spojene s LED čipovima i ICs drajverima. S obje strane modularne ploče smještene su i dvije bakrene šine kojima se osigurava električno napajanje svjetlo emitirajućih dioda.

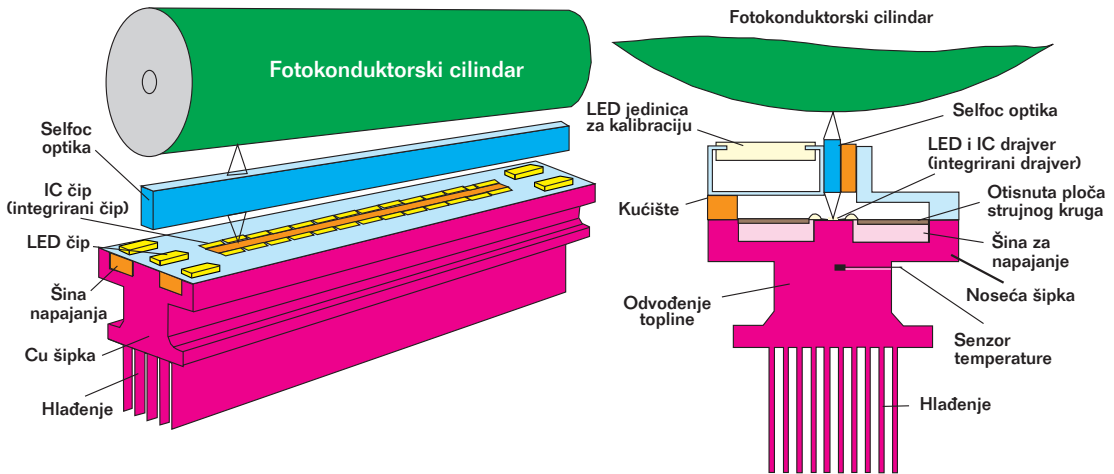
Osjetljive optičke komponente hermetički su zapečaćene s nepropusnim silikonom. Zaštićena samofokusirajuća optika "Selfoc leće" sadržavaju staklena optička vlakana, koja su poredana u dva reda (42).



Slika 23. Selfoc leće u ispisnim šipkama 1. generacije

U ispisnim šipkama 2. generacije izlazna rezolucija povećana je na 600 dpi, čime je dostignuta i rezolucijska kvaliteta standardnog ofsetnog otiska. Reproducirani rasterski element može biti formiran u 64 sive nijanse, pri maksimalnoj brzini otiskivanja od 1,3 m/s (rola širine 52 cm).

Visoka kvaliteta i produktivnost postignuta je smanjenjem veličine LED čipova. Ispisna šipka tako sadrži 96 LED čipova poredanih u jednom nizu, pri čemu svaki čip sadrži 128 svjetloemitirajućih dioda. Primjena takvih LED čipova utjecala je na konstrukciju ispisne šipke 2. generacije (slika 24).



Slika 24. Prikaz LED ispisne šipke 2. generacije

U odnosu na prethodnu generaciju ispisnih šipki značajnije promjene izvršene su u:

- širini mrežastog bakrenog nosača koji dozvoljava brzi toplinski transfer bez gubitka topline. U bakrenom nosaču smješten je i senzor topline koji prati temperaturu u LED čipovima, čime se indirektno kontrolira intezitet struje na LED čipovima.
- ispisnim podacima i kontroli signala koji se prenašaju preko elektroničke ploče. Fizički kontakt između elektroničke ploče i IC drajvera, odnosno IC drajvera i LED čipa je rađen s 20 000 veza. Za vezivanje se koriste aluminijske žice promjera 30  $\mu\text{m}$  koje se spajaju ultrazvučnom tehnologijom. Ispisna šipka 2. generacije ukupno sadrži 20 000 000 aluminijskih žica. U slučaju puknuća jedne žice potrebno je izvršiti ponovno lijepljenje što je jedini nedostatak ove tehnologije .
- lijepljenju LED čipova na bakreni nosač. Lijepljeni spoj širok je 5  $\mu\text{m}$ , čime je osigurano odvođenje topline nastale uslijed osvjetljavanja. Razmak između poredanih LED čipova manji je od 5  $\mu\text{m}$ .
- vodilicama na koje se s gornje strane bakrenog kućišta ugrađuju fiksne Selfoc leće. One projiciraju svjetlost po cijeloj širini fotokonduktorskog bubnja. U ispisnim šipkama 2. generacije selfoc leće poredane su u jednom nizu.

- oslobođenoj svjetlosti iz svake svjetloemitirajuće doide. Takva svjetlost se mjeri pomoću fotosenzora koji je smješten na "pokretnom bloku za podešavanje". Pokretni blok se pomiče vlastitim elektromotorom uzduž Selfoc leće, te programom za poravnavanje inteziteta korigira izlaznu svjetlosti u toleranciji od  $\pm 3\%$  (bez poravnavanja oscilacija inteziteta svjetlosti iznosi 50%) (43).

#### 2.3.4. Obojavanje (razvijanje) tiskovne forme

Osnovna zadaća procesa razvijanja je učiniti virtualnu tiskovnu formu vidljivom. Pritom se koriste specijalizirano obojeni materijali (toneri), koji su prilagođeni za prenašanje na tiskovnu podlogu. Toneri su najčešće praškastog oblika, ali mogu biti i tekućine. Ovisno o agregatnom stanju tonera, prilagođena je i konstrukcija elektrofotografskih strojeva (44). Razlikuju se dva osnovna tipa elektrofotografskog procesa otiskivanja:

- elektrofotografija praškastim tonerima (Xerografija)
- elektrofotografija tekućim tonerima.

##### 2.3.4.1. Elektrofotografija s praškastim tonerima

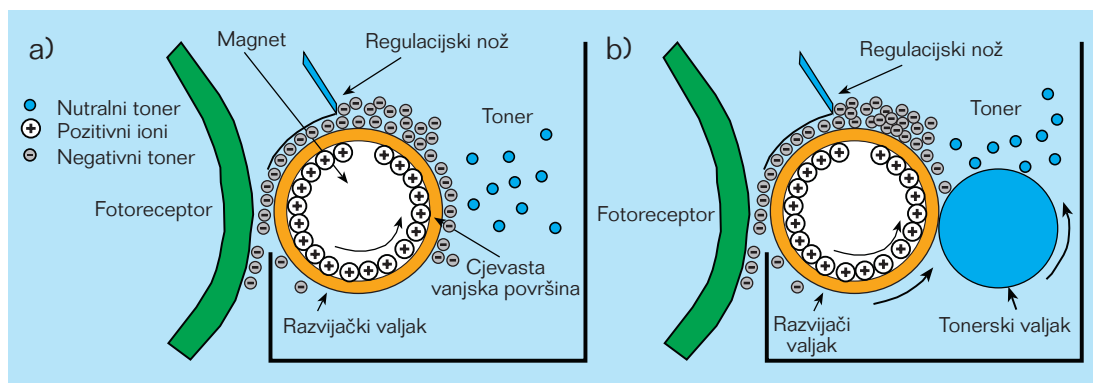
Sastav tonera utječe na konstrukciju uređaja za razvijanje. U Xerografiji tako razlikujemo jednokomponentne razvijачke sustave i dvokomponentne razvijачke sustave. U oba sustava potrebno je čestice tonera (nosioca tonera) prvo nabiti odgovarajućim nabojem, da bi se toner usmjerenom kretao iz spremnika u smjeru latentne tiskovne forme (45).

##### Jednokomponentno razvijanje

Jednokomponentno razvijanje tonera primjenjuje se kod elektrofotografskih strojeva koji negativski nabijaju fotoreceptorsku površinu. Tonerske čestice su veličine između 10 i 30  $\mu\text{m}$ . Takav toner sastoji se od: poliesterske stiren-akrilne smole (50%) i magnetizirajućeg željeznog pigmenta (50%). Na samom kraju proizvodnog procesa tonera, izvodi se premazivanje s električno provodljivim ugljikom. U procesu razvijanja tonera presudnu ulogu ima termoplastična smola koja se pri visokoj temperaturi brzo tali, odnosno hlađenjem se brzo skrućuje (46).

U Xerografiji se razvijanje jednokomponentnog tonera može odvijati na dva principa (slika 25):

- a) razvijачkom jedinicom koja sadrži razvijачki valjak s permanentnim magnetom
- b) razvijачkom jedinicom koja sadrži razvijачki valjak i tonerski valjak



Slika 25. Principi rada razvijačkih jedinica na bazi jednokomponentnog tonera

Oba razvijačka sustava konstrukcijski su slična i zajednički posjeduju: toner, razvijački valjak i regulacijski nož. Jedina razlika postoji u načinu provođenja trenja kojim se stvara pozitivan naboj na površini razvijačkog valjka. Kod sistema s jednim valjkom trenje nastaje pomoću fiksnog permanentnog magneta koji se nalazi u unutrašnjosti razvijačkog valjka (slika 25a). U sustavu s dva valjka trenje nastaje uslijed pritiska tonerskog valjka (slika 25b). Formiran pozitivan naboj na razvijačkom bubnju privlači negativno nabijene čestice tonera. Željeni nanos tonera na razvijačkom valjku regulira se razmakom regulacijskog noža u odnosu na razvijački valjak.

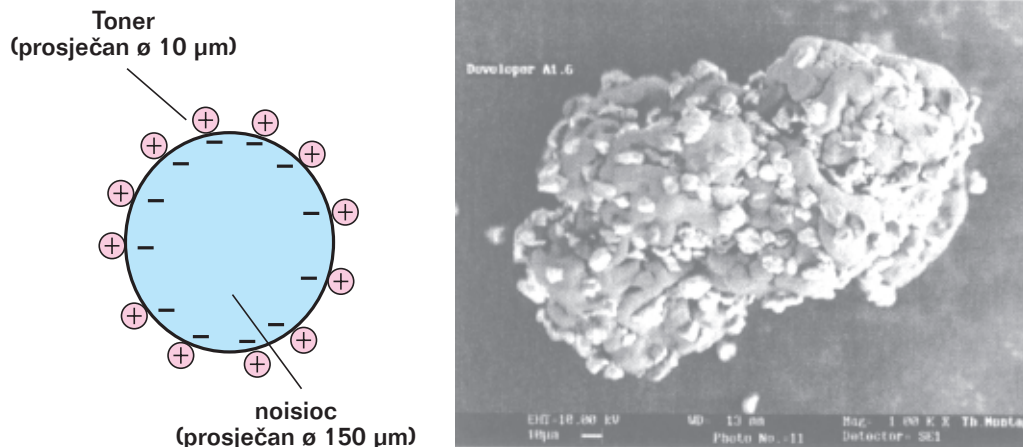
Između čestica tonera i tiskovnih elemenata virtualne tiskovne forme postoji jako privlačno elektrostatsko polje. Takvo privlačno polje omogućit će brz prelazak tonera s razvijačkog valjka na tiskovne elemente fotoreceptora. Međutim za brz i precizan transfer tonera na površinu virtualne tiskovne forme, bit će potrebno kontrolirano istosmjerno napajanje razvijačkog valjka. Dodatnim dovođenjem negativnog naboja na površinu razvijačkog valjka omogućeno je snižavanje jakog odbojnog polja (između tonera i slobodnih površina virtualne tiskovne forme), što ima za cilj ne prihvaćanje tonera za slobodne površine.

Ovakav tip razvijačke jedinice može raditi i na principu istosmjernog napajanja, koji distribuira dodatni pozitivan naboj na razvijački valjak. Dodatnim pozitivnim nabijanjem razvijačkog valjka smanjit će se snaga privlačnog polja na minimum (između tiskovnih elemenata virtualne tiskovne forme i tonera) čime će se spriječiti prihvaćanje tonera na slobodne površine (47).

#### Dvokomponentno razvijanje

Dvokomponentno razvijanje tonera primjenjuje se u visokoproduktivnim elektrofotografskim strojevima. Takvi strojevi posjeduju  $As_2Se_3$  fotokonduktore koji u fazi nabijanja moraju imati površinski jednoličan pozitivan naboj.

Za dvokomponentno razvijanje karakterističan je dvokomponentni toner poznat pod nazivom razvijlač. Dvokomponentni toner je smjesa dviju vrsta čestica: magnetskih nosećih čestica i tonerskih čestica (slika 26). Za trajanja razvijlačkog procesa čestice tonera sudaraju se s nosiocima. Pri tom kontaktu dolazi do trenja, što rezultira s triboelektričnim nabijanjem. Proces triboelektričnog nabijanja moguće je regulirati sastavom i koncentracijom tonera u razvijlačkoj smjesi (48).



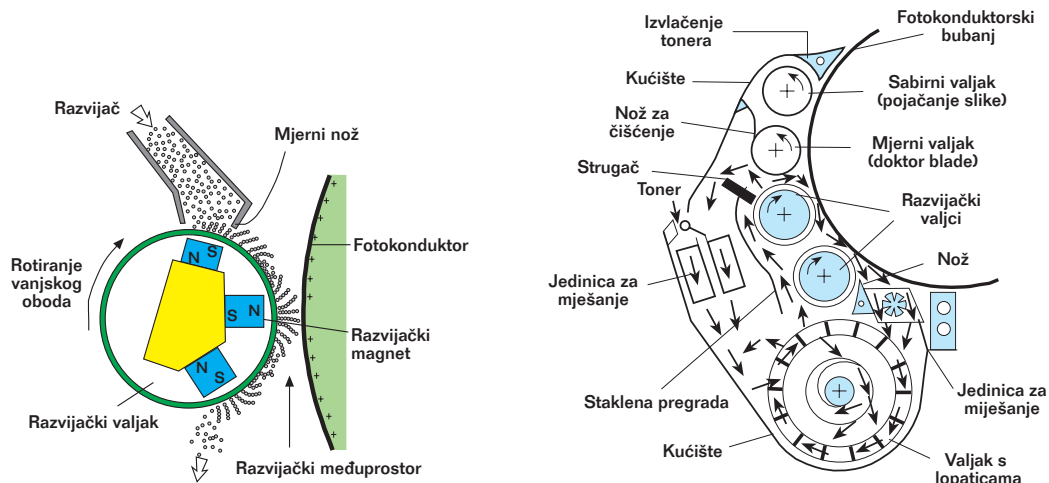
Slika 26 Prikaz dvokomponentnog tonera za elektrofotografski tisak

Nosioći tonera građeni su od magnetizirajućih materijala (željezo ili čelik), koji su nepravilnog sfernog oblika. U prvim elektrofotografskim strojevima veličina čestica nosioca tonera kretala se u granicama između 150 i 300 µm. Današnja veličina novih nosilaca tonera reducirana je, i kreće se oko 120 µm (49).

U ukupnoj masi razvijlača, čestice tonera su zastupljene od 0,5 do 4%. Čestice tonera su vrlo sitne, i njihovi se prosječni promijeri kreću između 5 i 15 µm. Sam toner po sastavu je također mješavina i u sebi sadrži: smole, nosioce obojenja, sredstava za kontrolu naboja i dodatke. Smole su najzastupljenije (80-90%) i po kemijskom su sastavu: polistiren, metakrilati i poliesteri. Po količinskom udjelu slijede obojeni pigmenti (5-15%), sredstva za kontrolu naboja (1-3%) i dodaci (voskovi i silicijev dioksid). Uobičajeni proizvodni proces tonera izvodi se u 5 faza: polimerizacija i/ili polikondenzacija, miješanje osnovnih komponenata, dezintegracija mljevenjem, klasifikacija čestica i formiranje finalnog proizvoda.

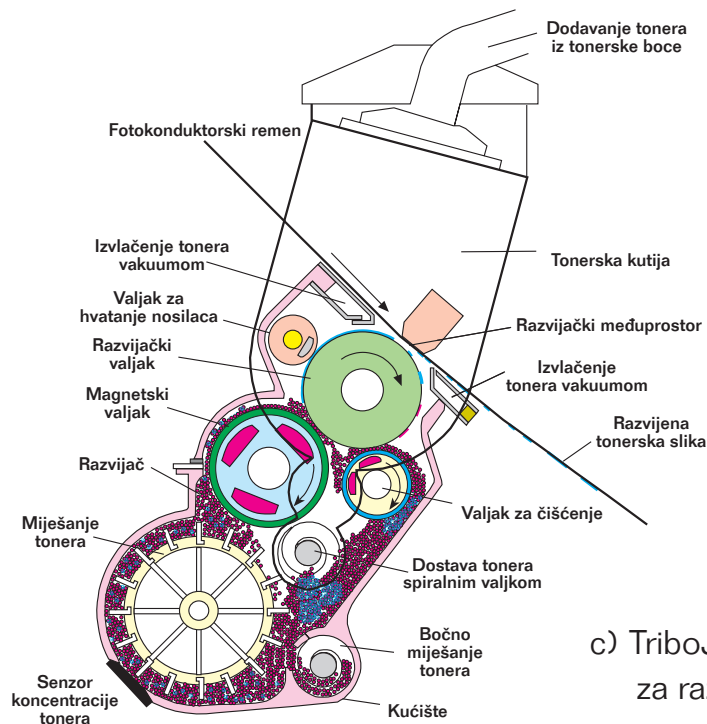
Polarna nabijenost tonera određena je veličinom i glatkoćom tonerskih čestica. Naboj tonera izražava se tribo jedinicom (µC/g) koja pokazuje udio naboja po masi. Optimalan tribo u elektrofotografskim strojevima iznosi 15 µC/g. Modifikacija naboja tonera u procesu tiska moguća je s dodatkom čestica tonerskih nosilaca. U slučaju preniske tribo vrijednosti potrebno je dodati toner ili izvršiti izmjenu tonerskih nosilaca, koji nažalost imaju ograničen životni vijek (50).

Kao i kod jednokomponentnih razvijačkih sustava (vidi prethodno poglavlje) između fotokonduktora i tonerskih čestica djeluju identična elektrostatska polja, kojima se osigurava točna pozicija tonerske slike. U elektrofotografiji je proces razvijanja dvokomponentnog tonera mnogo složeniji, i najčešće se koriste slijedeće 3 konstrukcije razvijačkih uređaja (slika 27):



a) Razvijanjem magnetskom četkom

b) Razvijanje s dva razvijačka valjka



c) TriboJump jedinica za razvijanje

Slika 27. Razvijački uređaji koji koriste dvokomponentni toner

Razvijanje magnetskom četkom bazirano je na statičkim magnetima koji su smješteni u unutrašnjosti valjka. Statički magneti se sa svojim magnetskim polovima međusobno izmjenjuju (N-S, S-N, N-S). Rotacijom valjka nastalo magnetsko polje proširuje se i izvan vanjske površine valjka, privlačući noseće čestice razvijača. Na taj se način formira tonerski lanac u razvijačkom međuprostoru koji djelomično dolazi u kontakt s fotokonduktorskom površinom. Na ulaznom dijelu smješten je regulacijski nož kojim se podešava količina nanešenog tonera. Ovisno o naponima fotokonduktora (latentna slika), čestice se tonera selektivno prihvaćaju, stvarajući vidljivu tonersku sliku.(51)

Razvijačke jedinice s dva razvijačka valjka primjenjuju se kod visokokvalitetnih elektrofotografskih strojeva. Osnovni dio je kućište u kojemu se vrši miješanje s lopatastim valjkom. Lopatasti valjak nalazi se na dnu kućišta i svojom rotacijom baca mješavinu tonera i nosilaca u smjeru razvijačkih valjaka. Magnetski razvijački valjci svojim magnetskim poljem prihvaćaju čestice razvijača i usmjeravaju ih k fotokondктору. Uz gornji razvijački valjak montiran je i rakel kojim se ugrubo regulira količina razvijača. U daljnjem procesu razvijanja potrebno je količinu razvijača dodatno smanjiti pomoću regulacijskog valjka, nakon čega se toner nanosi na latentnu tiskovnu formu. Pomoću vodilica i staklene ploče sav se suvišan toner vraća natrag u razvijačku jedinicu. Na istoj toj strani nalazi se pukotina za dodavanje novog tonera. Višak tonera (svjež toner) pada u jedinicu za miješanje koja svojim aksijalnim kretanjem razribava toner. Nakon nanašanja tonera na fotokondktor, preostali razvijač prelazi na donji magnetski valjak. Uz donji magnetski valjak smješta se jedinica za miješanje sa skidajućim nožem, koja svojim aksijalnim gibanjem također bočno razribava razvijač, te ga vraća natrag na lopatasti valjak.(52)

TonerJump jedinica za razvijanje konstruirana je za visoku produkciju. Kod ovakve razvijačke konstrukcije na početku razvijačkog procesa nalazi se tonerska kutija u kojoj je stalno kontroliran nivo tonera, te se potrošen toner nadopunjava novim tonerom iz dodatnog spremnika. Početak miješanja dvokomponentnog tonera započinje ubacivanjem tonera u razvijačku jedinicu i njegovim miješanjem pomoću rotirajućeg spiralnog valjka. Toner pada u niže dijelove razvijačke jedinice, gdje se miješa s nosiocima tonera. Rezultat toga je negativno nabijena mješavina tonera i nosioca nastala tribo-električkim efektom. Jedinica za miješanje konstantno baca jednoliku količinu razvijača u smjeru magnetskog valjka, koji ga prihvaća i prenosi na razvijački valjak.

U beskontaktnom razvijanju, jednoličan sloj tonera se prenosi s razvijačkog valjka na fotokondktor. Toner se pritom kreće kroz zračni međuprostor u kojem djeluje odgovarajući elektrostatski potencijal. Održavanje takvog potencijala omogućeno je s dodatnim uređajem za napajanjem (koji distribuira izmjeničnu struju). Valjak za hvatanje čestica nosilaca također je u kontaktu s razvijačkim valjkom.

Njime je spriječen unos većeg broja čestica nosilaca na površinu fotoreceptora. Neiskorištene čestice tonera se sabiru i vraćaju natrag u jedinicu za miješanje. Sveukupno neiskorištena dvokomponentna mješavina eliminira se pomoću magnetskog valjka za čišćenje. Između površine razvijačkog valjka i valjka za čišćenje također postoji razlika u elektrostatskom potencijalu, te je na taj način stvoreno elektrostatsko polje koje privlači smjesu razvijača i tonera. Time se u potpunosti održava čistoća površine razvijačkog valjka. Da u procesu otiskivanja ne bi došlo da neujednačene koncentracije čestica tonera u razvijačkoj jedinici potrebno je izvršavati bočno razribavanje. To se provodi sa spiralnim valjkom koji je smješten na dnu razvijačke posude. Spiralni valjak svojim aksijalnim gibanjem jednolično distribuira nove nosioce tonera. Tonerske čestice koje nisu iskorištene za formiranje tonerske slike uklanjaju se vakuumskom pumpom. Vakuumska pumpa smještena je uz fotoreceptor, i pri radu usisava preostale čestice tonerske prašine. (53).

#### 2.3.4.2 Elektrofotografija s tekućim tonerima

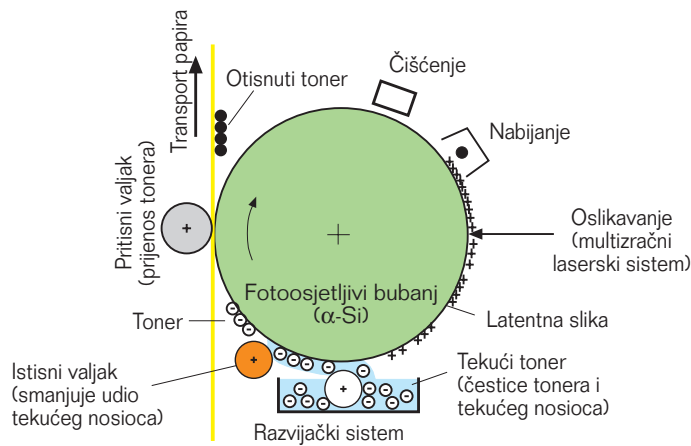
Elektrofotografski princip otiskivanja s tekućim tonerima mnogo je rjeđi u odnosu na elektrofotografiju s praškastim tonerima. Tvrtke Mitsubishi i HP Indigo najviše su odmakli u razvoju takvog procesa, i još ga uvijek unapređuju.

Osnova takvog procesa je tekući toner. On se sastoji od tekućeg nosioca u kojemu su raspršeni negativno nabijeni pigmenti veličine između 1 i 3  $\mu\text{m}$ . U elektrofotografskim sustavima s tekućim tonerom karakterističan je i fotokonduktor koji je građen od amornog silikona. Fotokonduktor se negativskim postupkom nabija i osvjetljava s laserskim sustavom koji odjednom proizvodi više laserskih zraka. Na tako formiranu latentnu tiskovnu formu direktno se nanosi tekuće bojilo. Pritom se koristi jedan valjak koji je permanentno pozitivno nabijen.

U fazi razvijanja potrebno je pigmentne čestice odvojiti od tekućeg nosioca. Pritom se koristi istisni (squeeze) valjak. Djelovanjem istisnog valjka reducira se ukupna količina tekućeg bojila na fotokonduktoru, čime je stvoren vrlo tanki nanos na tiskovnim elementima. Direktnim pritiskom fotokonduktorskog bubnja o papir postiže se visoko kvalitetan otisak koji je osušen kombinacijom penetracije i evaporacije.

Pri takvom se transferu tekući nosioci moraju u potpunosti eliminirati s fotokonduktorske površine. Zbog toga je transferni proces potpomognut s kontroliranim naponom i toplinom. Kvaliteta otiska u odnosu na ostale elektrofotografske sustave mnogo je veća, što se pripisuje maloj veličini čestica pigmentnog tonera.



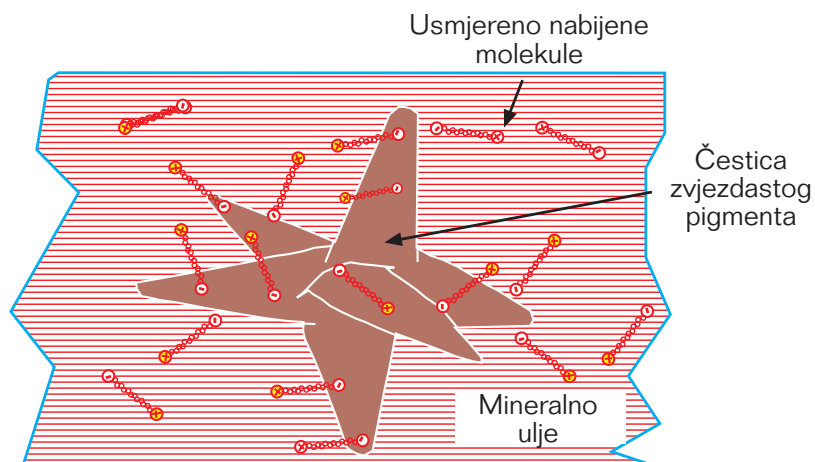


Slika 28. Princip rada elektrofotografije s tekućim tonerima

### Digitalni Kolorni Ofset

Digitalni Kolorni Ofset je indirektni elektrofotografski postupak koji primjenjuje specijalno tekuće bojilo ElectroInk (slika 29). Karakteristika takvog bojila je niski dinamički koeficijent viskoznosti ( $\eta$ ), koji u početnoj fazi otiskivanja iznosi 15 mPa·s, da bi se u završnoj fazi povećalo na 50 Pa·s. Pri otiskivanju ElectroInk se zagrijava, prestaje biti tekućina i postaje ljepljiva pigmentna pasta. Takva osobina ElectroInka dozvoljava visoku kvalitetu obojavanja i rezoluciju otiskivanja od 2400 dpi.

Dobiveni otisak posjeduje tanki nanos bojila (oko 1  $\mu\text{m}$ ), te svojom kromatičnošću i zasićenjem odgovara otisku klasičnog ofseta. U osnovnom stanju ElectroInk je emulzija koja sadrži 3 osnovne komponente: monomernu pigmentnu pastu (oko 5%), mineralno lako hlapivo ulje ISOPAR (oko 94%), i agense za povećavanje električne provodljivosti (oko 1%)(54).

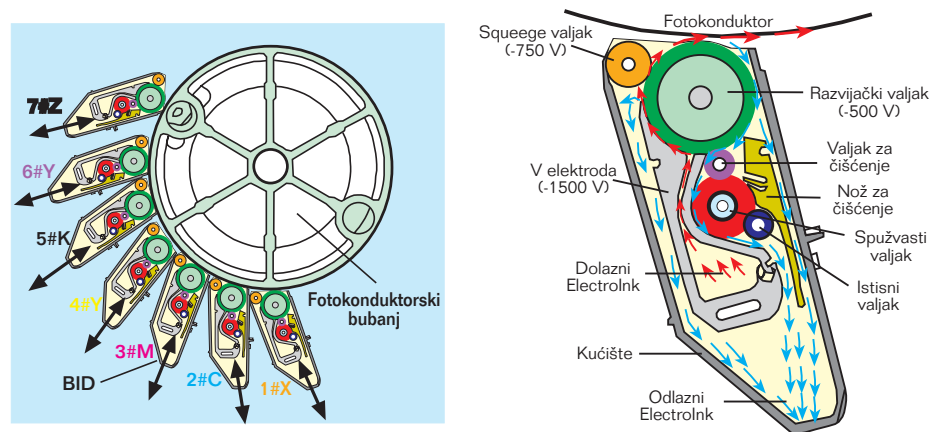


Slika 29. Prikaz tekućeg bojila ElectroInk

Čestice pigmenta su zvjezdastog oblika i prosječna veličina im je između 1 i 2  $\mu\text{m}$ . Za usmjereno kretanje Electrolnka zaslužni su jednolično raspršeni agensi za povećavanje električne provodljivosti. Takvi agensi su izrazito polarne molekule, koje svojom pozitivnijom stranom hvataju zvjezdaste pigmente. Tako uhvaćene pigmentne čestice sposobne su za usmjereno kretanje u smjeru manje negativnog elektrostatskog polja (55).

### Razvijanje tekućeg tonera

U prvom elektrofotografskom stroju s tekućim tonerom (Indigo E-print 1000) ugrađen je samo jedan uređaj za razvijanje. On svojom satelitskom konstrukcijom nanosi i razvija ukupno 6 bojila (standardno YMCK bojila + dodatne XY). Zbog učestalih kontaminacija bolila satelitska konstrukcija zamijenjena je s BID konstrukcijom (BID = Binary Ink Developer). BID konstrukcija tako sada sadrži i do 7 odvojenih uređaja za nanašanje i razvijanje tonera (slika 30).



Slika 30. Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje

Pojedinačne BID jedinice su selektivno pokretljive. One se u momentu razvijanja priljubljuju uz površinu fotokonduktora, te se po završetku razvijanja vraćaju u početnu poziciju. Pri aktivaciji određene BID jedinice bojilo se prvo izvlači V elektrodom (-1500 V) iz spremnika i dovodi do razvijačkog valjka. Razvijački valjak je pod permanentnim naponom od -500V, čime se ostvaruje jednolično nanašanje Electrolnka u debljini od 13  $\mu\text{m}$ . U tom trenutku udio pigmenta u bojilu iznosi oko 13%. Djelovanjem squeegee valjka smanjuje se količina mineralnog ulja na razvijačkom valjku, uslijed čega se povećava i koncentracija pigmenta. Na samom kraju razvijačkog procesa udio pigmenta na razvijačkom valjku iznosi 24%. (56).

Pri međusobnom kontaktu razvijačkog valjka i fotokonduktora, tiskovni elementi na letentnoj tiskovnoj formi privlače čestice Electrolnka. Pritom se na fotokondukturu formira tonerska slika s debljinom nanosa od 6  $\mu\text{m}$  (57).

Nakon ostvarenog transfera sav preostali ElectroInk na površini razvijačkog valjka je suvišan. Čišćenje razvijačkog valjka provodi se pomoću valjka za čišćenje koji je pod permanentnim naponom od -250V. Valjak za čišćenje je uz to konstantno vlažen mineralnim uljem, koje je nanoseno mekanim spužvastim valjkom. Mineralno ulje se zajedno s otopljenim česticama Electroinka skida (poliuretanskim rakelom), i vraća natrag u spremnik (58).

### 2.3.5. Transfer tonera

Tonersku sliku nakon razvijanja potrebno je prenjeti na tiskovnu podlogu. U elektrofotografiji je to provedivo na dva načina: direktnim transferom i indirektnim transferom (59).

#### 2.3.5.1. Direktni transfer

Pri direktnom elektrofotografskom tisku tiskovna podloga (obično papir) dovodi se u izravni kontakt s fotokonduktorom. Za što učinkovitiji prijenos tonera s fotokonduktora na tiskovnu podlogu, potrebno je ugraditi transferni uređaj. On se smješta s donje strane tiskovne podloge, i pri svom radu generira pozitivno nabijene ione. Potencijal pozitivno nabijenih iona ovisan je o potencijalu korištenog tonera, te je uvijek suprotnog predznaka. Po konstrukciji razlikujemo dva tipa transfernih uređaja: transferne korone i transferne valjke.

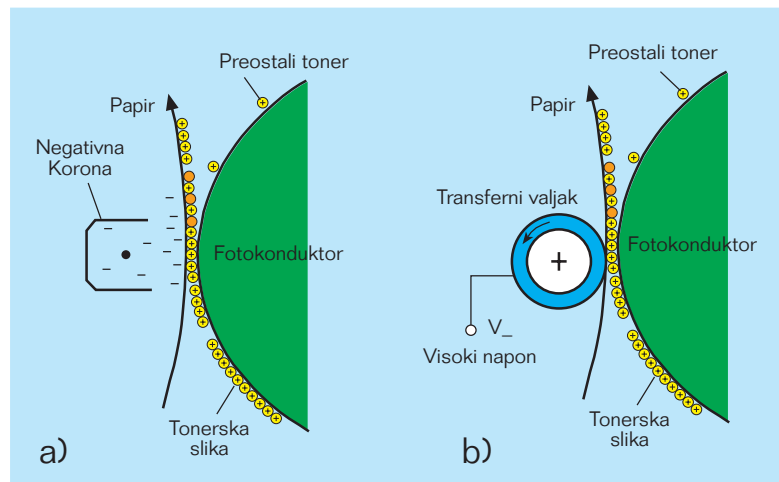
Transferom koronom omogućen je i beskontaktni prijenos tonera s fotokonduktora na papir (slika 31a). Pritom se prenaša samo površinski sloj tonerske slike, čime se postiže i manji nanos tonera na papiru. Veći nanos tonera na otisku moguć je, te se ostvaruje mehaničkim dodiranjem triju tijela (fotokonduktor - toner - papir). Pritom je formirano i jače elektrostatsko polje između tonera i transferne korone (60).

Prijenos je moguć i s transfernim valjkom (slika 31b). Transferni valjak je građen od metalne vodljive jezgre presvučene s električki provodljivom gumom. Valjak je smješten tik uz fotoreceptor, čime je ostvaren fizički kontakt fotokonduktorskog bubnja i tiskovne podloge.

Elektrofotografski strojevi koji koriste takvu tehnologiju transfera obično koriste tiskovne podloge u roli. U zoni dodirivanja formira se veći tlak koji rezultira i dodatnim glačanjem po cijeloj širini papirne role. Time je osigurana veća produktivnost s manjim brojem zastoja.

Za postizanje ujednačenosti kvalitete otiskivanja, transfer valjak se spaja s dodatnim uređajem za električno napajanje. Ovisno o tipu i debljini tiskovne podloge, napon transfernog valjka moguće je mijenjati, čime je postignuta regulacija jačine

elektrostatskog polja "toner - transferni valjak". Efikasnost transfera definirana je kao postotak prenešenog tonera s fotokonduktorske površine na papir, i obično je veća od 90% (61).



Slika 31. Konstrukcija uređaja za direktno prenašanje tonera na papir

#### 2.3.5.2. Indirektni transfer

Kod indirektnog otiskivanja tiskovna podloga nije u direktnom dodiru s fotokonduktorom, već se kontakt izvodi posredstvom prijenosnog medija. Za uspješno provođenje indirektnog transfera, potrebno je prvo nanijeti toner na površinu prijenosnog medija, s koje će se toner dalje prenijeti na tiskovnu podlogu (slika 41 i 43). Pritom se koriste specijalni prijenosni mediji koji mogu biti u obliku: beskonačnog remena ili kao navlaka na prijenosnom cilindru (62).

#### Indirektni transfer praškastog tonera

Pri indirektnom transferu praškastih tonera koristi se silikonski beskonačni remen. Indirektni transforni remen građen je od dva sloja: gumiranog platna (osnovni noseći sloj) i silikonskog sloja (površinski sloj debljine od 50  $\mu\text{m}$ ). Za izvođenje tonerskog transfera, adhezijske sile prijenosnog medija moraju biti jače od privlačnih elektrostatskih sila fotokonduktora. Zbog toga se neposredno prije transfera fotoreceptor osvjetljava s definiranom svjetlošću, usljed kojeg se smanjuje djelovanje privlačnih elektrostatskih sila. Pritom se toner i neutralizira (63).

Pri prijenosu tonera s fotokonduktora na transforni remen primjenjuje se i veća pritiska sila, čime je postignuta veća kvaliteta transfera (iznad 95%). Efikasnost transfera ovakvog sustava može biti i veća ako se smanji nanos tonera na fotokonduktoru. Toner na silikonskom remenu izložen je temperaturi i od 165°C,

pri čemu dolazi do taljenja tonera i promjene agregatnog stanja (iz praha u pastu). Gustoća obojenja se pritom mijenja (s  $D=0,7$  na fotokonduktoru na  $D=1.2$  na transfernom remenu). Da na površini transfernog remena ne bi nastao veći toplinski gubitak, tiskovna podloga se prije otiskivanja zagrijava dodatnim sustavom za grijanje papira. Rezultat takve aktivnosti je zagrijan papir čija je temperatura između  $80^{\circ}\text{C}$  i  $100^{\circ}\text{C}$ .

Snažnim pritiskom rastaljeni toner se uprešava u papirnu podlogu gdje se fiksira skrućivanjem. Uspješnost prijenosa tonera s transfernog remena na papir provodi se s 99%-tnom efikasnošću. Na kraju transfernog postupka, ostatke tonera i papirne prašine potrebno je ukloniti s jedinicom za čišćenje transfernog remena. Dobiveni otisci u potpunosti su osušeni, te im nije potrebna dodatna faza fuziranja (64).

Indirektni transfer tekućeg Electrolnk bojila

Elektrofotografski strojevi koji koriste tekuće Electrolnk bojilo izvode transfer pomoću centralnog ofsetnog cilindra. Konstrukciju transfernog cilindra karakteriziraju 2 osnovna dijela: grijač i vanjska površina cilindra (spojena s električnim napajanjem) (65).

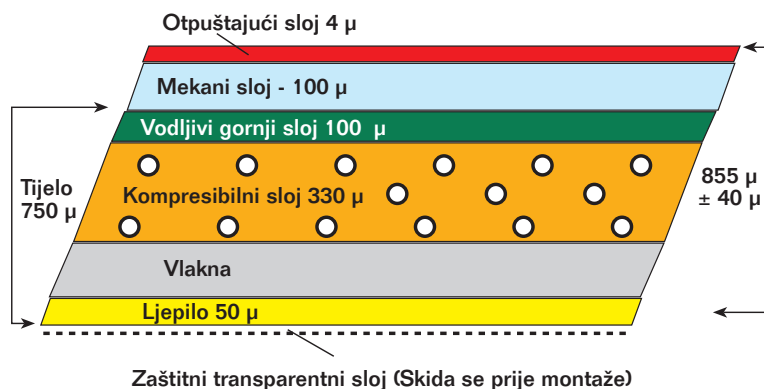
Ofsetni cilindar direktno je spojen s istosmjernim električnim napajanjem. Pritom se na vanjskoj površini cilindra formira permanentni pozitivan napon, koji osigurava dobar transfer boje s fotokonduktora na ofsetni cilindar. Istovremeno se s ugrađenom grijačom lampom zagrijava cjelokupna površina cilindra (slika 47).

Na vanjsku površinu ofsetnog cilindra montirana je specijalna gumena navlaka koja u ovakvom indirektnom otiskivanju omogućava:

1. Prihvaćanje tekućeg Electrolnka s fotokonduktora,
2. Promjenu viskoziteta Electrolnka
3. Transfer Electroinka na tiskovnu podlogu.

Za zadovoljavanje gore spomenutih preduvjeta, gumena navlaka (slika 32) mora biti: električki provodljiva, otporna na visoke temperature i kompresibilna.

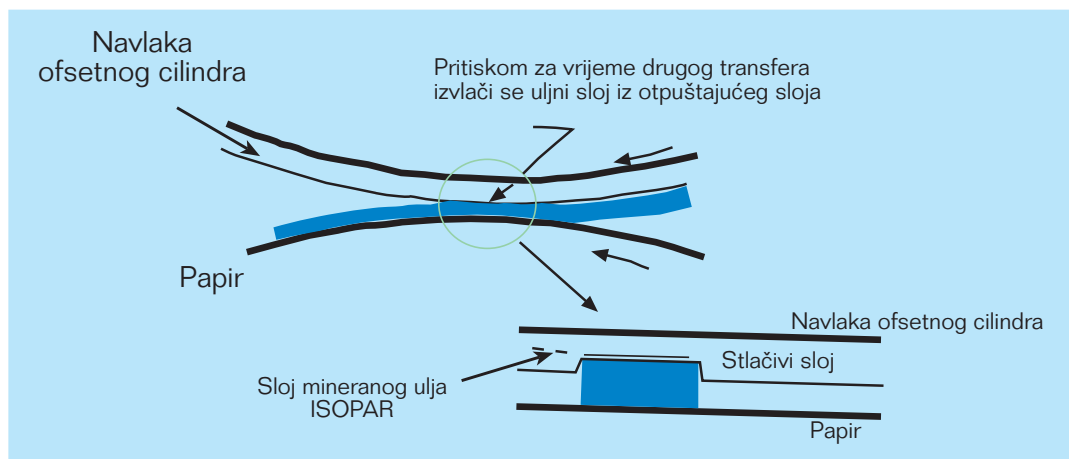
Aktivacijom PTE (Pre Transfer Erase) lampe započinje proces prenašanja bojila. Svjetlost s PTE lampe neutralizirat će površinu fotokonduktora, čime je stvorena mogućnost otpuštanja negativno nabijenog bojila s fotokonduktora na pozitivno nabijen prijenosni cilindar. Pri izvođenju prvog transfera, tekući Electrolnk doveden je u kontakt sa zagrijanom gumenom navlakom. Pri visokoj temperaturi tekući nosilac (ISOPAR) započinje snažno evaporiranje, što rezultira s promjenom agregatnog stanja Electrolnka. U veoma kratkom vremenskom periodu bojilo iz tekućeg stanja prelazi u pastozno stanje (66).



Slika 32. Presjek gumene navlake za indirektni tisak tekućim tonerom

Zbog satelitske konstrukcije (jedna te ista navlaka ofsetnog cilindra koristi se za tisak svih instaliranih bojila), transfer bojila s ofsetne gume na tiskovnu podlogu mora biti 99,9%. Ovisno o vrsti tiskovne podloge i stanja ofsetne navlake, udio ISOPARA se u pastoznom bojilu može regulirati. To je ostvareno s mogućom promjenom radne temperature ofsetnog cilindra koja se kreće između 125°C i 145°C.

Prilikom provođenja drugog transfera, ElectroInk (na prijenosnom cilindru) i tiskovna podloga (na tiskovnom cilindru) morat će se dovesti u međusobni kontakt. Pritisna sila pritom je 35 N/cm. Pri tom srazu ISOPAR će formirati tanki uljni sloj između čestica pigmentata i gumene navlake (slika 33). Čestice tonera će se uprešati na hladnu papirnu podlogu, dok će ostaci uljnog sloja (ISOPARA) u potpunosti evaporirati (67) .



Slika 33. Princip drugog transfera kod Digitalnog Kolornog Ofseta

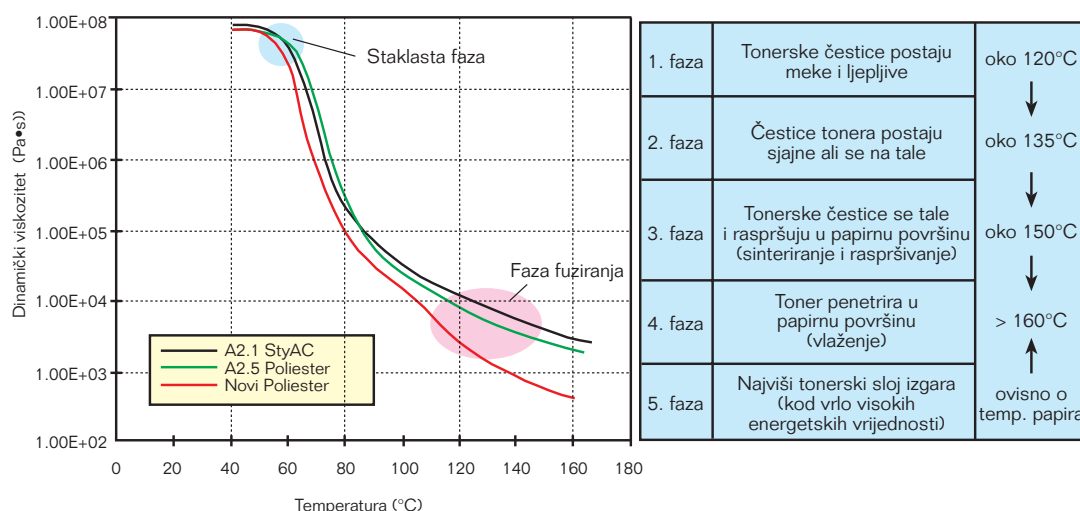
### 2.3.6. Fuziranje tonera u elektrofotografiji

Fuziranje tonera je vrlo složen proces. Pri otiskivanju u kontaktu se moraju naći čestice tonera i tiskovna podloga (najčešće papir). Pri tom srazu dolazi do međusobnog privlačenja elektrostatskim silama, ali i s međumolekularnim Wandervaalsovih silama. Pritom privlačenje čestica tonera i papirnih vlaknaca nije ujednačeno, i samo niži slojevi nanesenog tonera imaju privilegiju kvalitetnijeg vezivanja. Većina prenesenog tonera ostaje nestabilna i nije otporna na mehaničko otiranje. Zbog tog razloga potrebno je dodatno fiksiranje čestica tonera za tiskovnu podlogu. Za tu potrebu konstruirani su specijalni uređaji koji se nazivaju fuzeri (68).

Postoje različiti tipovi jedinica za fuziranje. Najčešće su u upotrebi fuzeri koji primijenjuju tehniku uprešavanja ili fuziranja zračenjem. Suvremene fuzerske jedinice uglavnom primijenjuju tehnologiju tzv. toplog fuziranja. Takvo se fuziranje bazira na činjenici da je toner građen od termoplastičnog (polimernog) materijala koji zagrijavanjem mijenja agregatno stanje. Pri takvom fuziranju toner se podvrgava temperaturi i do 160°C. Zagrijavanjem toner mijenja svoje agregatno stanje, te od krutine nastaje talina, pasta i na kraju tekućina (sl.34).

Hladno fuziranje primijenjeno je u mehanički jeftinijim modelima elektrofotografskih strojeva. U hladnoj fuzerskoj jedinici čestice tonera izložene su parama freona. Pritom dolazi i do omekšavanja tonera, što rezultira promjenom agregatnog stanja iz tekućine u paru. Kvaliteta otisaka je iznimna, jer se pri takvom fuziranju tiskovna podloga ne zagrijava i ostaje u svom prirodnom stanju. Zbog strogih ekoloških normi nažalost hladno fuziranje više nije u upotrebi (69).

U elektrofotografiji postoje i alternativne metode fuziranja. To su fuziranje laserom, mikrovalovima i fuziranje vodenom parom. Njihova je efikasnost još uvijek upitna, tako da još nisu u komercijalnoj upotrebi.



Slika 34. Utjecaj temperature na agregatno stanje tonera

### 2.3.6.1. Fuziranje zagrijanim valjcima

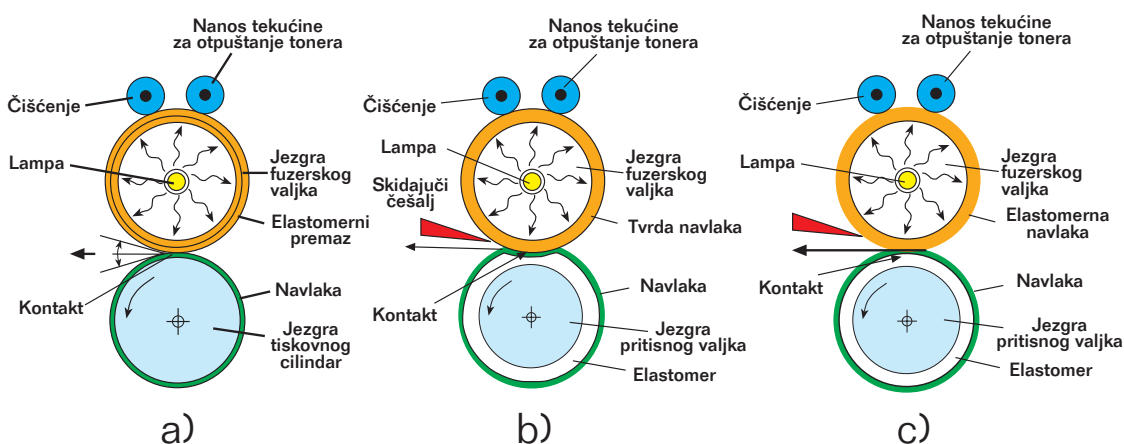
Za trajanja procesa fuziranja čestice se tonera moraju rastaliti i međusobno povezati s papirnom površinom. Tiskovna podloga koja na sebi ima nanešenu tonersku sliku prolazi kroz fuzersku jedinicu u kojoj fuzerski valjci rotiraju. Valjak koji je u kontaktu s tonerom zagrijavan je na temperaturu od 150°C do 220°C. Pritom se u zoni dodira događa prijelaz toplinske energija s fuzerskih valjaka na toner i papir. Toner je tako omekšan (početak promjene staklaste faze) i poprima pastastu konzistenciju. Istodobno pastasti toner je podvrgnut i mehaničkom pritisku koji se kreće između 5 i 20 bara. Čestice tonera se tada sinteriraju (raspad krutih tvari uslijed zagrijavanja), priljepljuju i infiltriraju (probijaju prokapljivanjem) do celuloznih vlaknaca (70).

Papir (najčešći tiskarski materijal) sadrži u svom sastavu i određenu količinu vlage koja se zagrijavanjem gubi. Rezultat toga je pojava koja se manifestira kao skupljanje papira, i nastaje pri napuštanju zone otiskivanja. Dobiveni otisak ostaje priljubljen uz površinu fuzerskog valjka, te je potrebno u sistem ugraditi i dodatan uređaj za odvajanje papira s fuzerskog valjka. Toner je pritom u rastaljenom stanju što je idealano za potpuno odvajanje s površine fuzerskog valjka (71).

Po završetku procesa fuziranja, mehaničko i toplinsko djelovanje fuzerskog valjka prestaje. Otisak se potom hladi na sobnoj temperaturi. Pritom se pojedinačne čestice tonera međusobno povezuju, formira se jedan homogeni sloj koji je trajno fiksiran za papir (72).

Valjkasti fuzirajući sistem se obično sastoji od grijanog fuzerskog valjka i hladnog pritiskog valjka. Ovisno o formiranoj dodirnoj zoni, razlikujemo 3 verzije valjkastih fuzerskih jedinica:

- a) Dodirna zona formirana masom pritiskog valjka
- b) Dodirna zona formirana pritiskom tvrdog fuzerskog i mekog pritiskog valjka
- c) Dodirna zona formirana pritiskom mekog fuzerskog i mekog pritiskog valjka



Slika 35. Fuzerske jedinice na bazi valjkaste strukture



## Fiksiranje s formiranom NIP zonom

Kod ovakve fuzerske jedinice fuzerski valjak ima nanešenu tanku elastičnu navlaku koja se deformira pri djelovanju pritiskog valjka (slika 35a). Dodirna zona nastala pritom vrlo je mala. Navlaka fuzerskog valjka vrlo je mekana, te se površina valjka dobro prilagođava tonerskoj neravnini. Tonerski sloj se pritom snažno pritišće valjcima, čime se dobiva ujednačena kvaliteta otiskivanja. Gotove otiske karakterizira reljef i veći sjaj, što je prednost ali i mana gotovom grafičkom proizvodu. Tijekom rada printera u elastičnom sloju fuzerskog valjka dešava se veća temperaturna oscilacija. Pad temperature fuzerskog valjka utječe na kvalitetu otiska, tj., limitira se brzina otiskivanja na 0,25 m/s. (73)

Za trajanja ovakvog fuziranja, čestice tonera često se lijepe za vruću površinu fuzerskog valjka. Zbog toga je potrebno toneru dodati 1 do 5% parafina ili poliofinskih polimera, koji služe kao agensi za otpuštanje (sprečavaju prihvaćanje tonera na površinu valjaka).

## Fiksiranje mekim pritiscim i tvrdim fuzerskim valjkom

Kod ovakvog fuziranja dodirna zona formirana je deformacijom elastičnog sloja pritiskog valjka (slika 35b). Kod ovakve fuzerske jedinice, fuzerski je valjak prekriven s nedeformirajućom i tonerski odbijajućom navlakom. Zagrijana navlaka rastaljuje tonerske čestice, te ih jednoliko uprešava u tiskovnu podlogu. Raznolikost tiskovnih podloga (gustoća i poroznost) utječe na nejednako pritiskanje tonerske slike, što često rezultira mutnim i nereljefnim otiskom.

U fazi fuziranja neelastična površina fuzerskog valjka otežava prijenos temperature na toner i papir. Zbog toga temperatura fuzernog valjka mora biti mnogo viša u odnosu na ostale fuzerske sisteme. Otpuštanje papira s fuzerske jedinice je zbog toga otežano, te je potrebna i ugradnja specijalnog češlja za odvajanje papira (jedini izuzetak su fuzerski sistemi čiji su promjeri manji od 30 mm). Kvaliteta otisaka fiksiranih takvim sistemom relativno je niska. Usprkos tome konstrukcija je vrlo popularana kod proizvođača elektrofotografskih strojeva zbog svoje visoke pouzdanosti i niske proizvodne cijene.

Pritisni valjci u ovakvom fuzerskom sistemu moraju biti mekani. Mekoća se postiže s nanašanjem deformacijskog premaza koji je na bazi silikonskog elastomera. Tvrdoća silikonskog elastomera pritom se kreće od 25 do 60°Sh. Na samom kraju izrade pritiskog valjka, nanosi se završni fluorosilikonski sloj (FEP PFA) čija se debljina kreće od 250µm do 500 µm. Za povećavanje trajnosti rubovi valjka se pečate sa silikonskim agensima, koji sprečavaju bočnu penetraciju dimetilpolisilikonskog ulja.

Tvrđi nedeformirajuć premaz fuzerskog valjka baziran je na PTFE-u (Politetrafluoroetilenu) i derivatima FEP i PFA (Perfloralcoxy kopolimer). Da bi se spriječilo lijepljenje tonera za fuzerski valjak potrebno je dodavati reaktivno dimetilpolisilikonsko ulje. Pritom se na fuzerskom valjku formira jednoličan uljni sloj debljine od 0,5 do 2  $\mu\text{m}$ , koji povećava ukupnu masu otiska za 5 do 10 mg. Pri višebojnom otiskivanju, masa otiska se povećava i do 30 mg (74).

Fiksiranje s mekim pritisknim i mekim fuzerskim valjkom

Sistem za fuziranje s mekim pritisknim i mekim fuzerskim valjkom prikazan je na slici 35c. Deformacija u zoni dodira formira se djelovanjem pritisknog valjka. Karakteristično za ovakav sistem je navlaka fuzerskog valjka koja ne dozvoljava deformaciju u cijelosti. Pošto je navlaka meke konzistencije, ona se može vrlo lako prilagoditi tonerskoj i papirnoj neravnosti, čime se direktno utječe i na širinu dodirne zone. Zahvaljujući slabijem pritiskivanju tonera postiže se i osrednja kvaliteta otiskivanja. U fuzerskom valjku se javlja minimalan gubitak topline, čime je omogućena velika brzina otiskivanja i dugotrajniji životni vijek.

Pritisni valjak tvrde je konzistencije. Građen je od metalne jezgre koja je premazana s fluornom smolom (Teflonom). Debljina nanešenog teflona je između 25 i 50  $\mu\text{m}$ . Na taj način spriječeno je neželjeno prihvaćanje tonera za pritisni valjak (što se može desiti uslijed papirnog zastoja).

Kod ovakvog fuzerskog sistema fuzerske valjke karakteriziraju mekani završni premazi. Danas se primjenjuju 3 vrste mekih premaza: silikonsko elastomerni premazi, fluoro elastomerni premazi i višeslojni premazi (75).

**Silikonski elastomerni premaz** koristiti se već 35 godina i zbog svojih dobrih mehaničkih i toplinskih svojstava jedan je od najpopularnijih silikonskih materijala. Po sastavu on je mješavina:

- polimera (Polidimetilsiloksana),
- dodataka za poboljšanje mehaničke stabilnosti (silicijev dioksid,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- dodataka za poboljšanje toplinske stabilnosti ( $\text{CeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- punila za poboljšanje toplinske vodljivosti ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- aditiva za povezivanje (silikati, peroksidi).

Najvažnije komponente su silicijev dioksid i aluminijski oksid. Dodatkom silicijevog dioksida povećava se elastičnost silikonske smjese, ali samo do određene granice. Toplinska provodljivost poboljšava se dodatkom aluminijskog oksida. Optimalna toplinska provodljivost postignuta je s 35% udjelom aluminijskog oksida u ukupnoj silikonskoj smjesi. U slučaju predoziranja željena svojstva nažalost se gube.

Tijekom fuzerskog procesa troše se dodaci za poboljšanje mehaničke stabilnosti (0,3 do 0,6 mg po otisku). Zbog toga je potrebno fuzerskim valjcima dodavati sredstva za otpuštanje (silikonsko ulje), kojim se nadopunjava i omekšava elastomerna smjesa. Elektrofotografske printere s elastomernim valjcima tako karakterizira: dobra kvaliteta fuziranja, dobro odvajanje gotovih otiska, niska cijena, ali i kratki vijek trajanja.

**Fluoro elastomerni premazi** poznati su i pod tvorničkim nazivima "Fluorel" (3M) i "Viton" (DuPont). Tvrdoća takvog premaza iznosi 75°Sh. Oni su građom kopolimeri otporni na temperature i do 230°C. Po kemijskom sastavu to je mješavina:

- viniliden fluorida i heksafluoro propilena
- grafita
- MgO
- Ca(OH)<sub>2</sub>
- akceleratora (organophosphonium salt)
- aditiva za povezivanje (bisphenol AF).

Fluoro elastomerni premaz je inferiorniji u odnosu na silikonski elastomer. To je zbog silikonskog ulja koje se ne može primijeniti kao sredstvo za otpuštanje. Primjenom polidimetilsilikonskog ulja taj problem je riješen, ali je i cijena otiska viša (veća je potrošnja skupljeg polidimetilsilikonskog ulja).

**Višeslojni elastomerni premaz** kombinira dvije prethodno spomenute tehnologije premazivanja. Rezultat toga je i poboljšana kvaliteta fuziranja. Višeslojni premazni valjci građeni su tako da se na grijaču jezgru prvo nanaša osnovni sloj (silikonski elastomer debljine od 0,25 do 6 mm), a na njega vanjski sloj (fluoro elastomer debljine 50 µm). Višeslojni elastomerni fuzerski valjci primijenu su pronašli u printerima namijenjenim tisku manjih i srednjih naklada.

#### 2.3.6.2. Fuziranje zračenjem

Pri fuziranju zračenjem tonerske se čestice beskontaktno zagrijavaju posredstvom infracrvenog zračenja. Time se toneru snižava dinamički koeficijent viskoznosti (toner omekšava), čime se omogućava penetracija i vezivanje uz papirnu površinu.

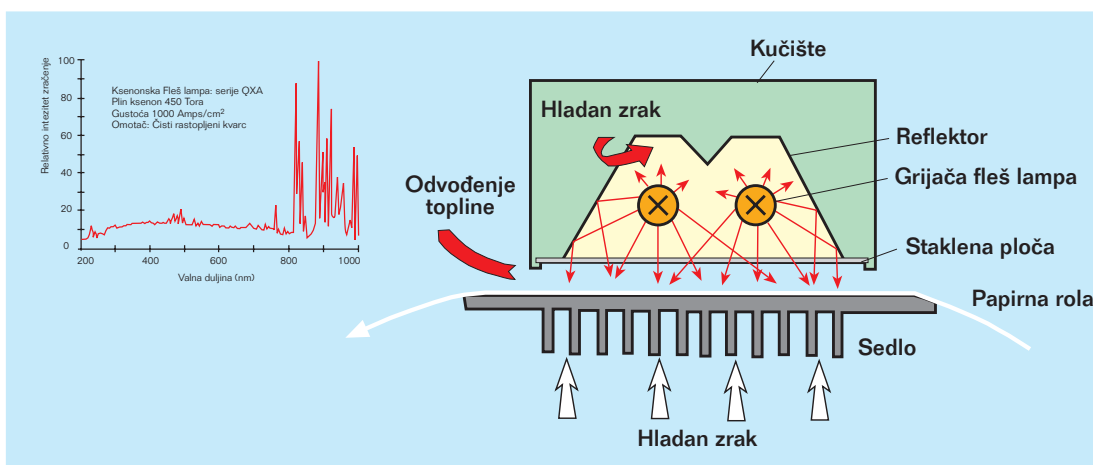
Kao izvori zračenja najčešće se koriste fleš grijači i IR (infra crveni) grijači. Mnogi čimbenici utječu na uspješnost procesa fuziranja. Najvažniji su: spektralna karakteristika grijača, apsorpcijsko ponašanje tiskovne podloge, apsorpcijsko ponašanje tonera i apsorpcijsko ponašanje prethodno otisnutog papira (76).

## Fuziranje fleš grijačima

Prvo beskontaktno fuziranje izvršeno je fleš grijačima. Pri takvom fuziranju presudna je spektralna karakteristika primijenjenog grijača. Karakteristično za fleš grijače je da u kratkom vremenskom razdoblju emitiraju ujednačeno zračenje unutar vidljivog spektra (400 - 700 nm). Spektralni intezitet zračenja u uskom IR području vrlo je velik, što je i iskorišteno za beskontaktno fuziranje (77).

Konstrukcija beskontaktnih uređaja za fuziranje vrlo je jednostavna (slika 36). Osnova procesa bazirana je na izvoru zračenja koji je s 3 strane okružen reflektorima. Oslobođena se toplina odbija od reflektora i usmjerava na otisak. Uslijed zagrijavanja čestice tonera na površini otiska omekšavaju. Pritom se oslobađaju tonerski plinovi koje je potrebno izvući i pročistiti.

Pri djelovanju fleš grijača, apsorpcija topline u papir i toner nije ista. Papir apsorbira 20% ulaznog infracrvenog zračenja, dok crni toner 95%. Kolorni toneri u odnosu na crni posjeduju značajno manje apsorpcijske vrijednosti (C=75%, M=42% i Y=43%). Zbog toga je teško postići optimalnu impulsnu snagu fuziranja, te je ovakvo fuziranje pronašlo primjenu u elektrofotografskim strojevima za monokromatsko otiskivanje (78).



Slika 36. Princip beskontaktnog fuziranja s fleš grijačima

## IR fuziranje

U odnosu na fleš fuziranje, IR fuziranje je mnogo češće primijenjivano u konstrukciji elektrofotografskih strojeva. Razlog tomu su IR izvori koji u infracrvenom spektralnom području imaju izraženiji intezitet izlaznog zračenje. Ovisno o željenom području zračenja i količini oslobođene toplinske energije, u elektrofotografiji se koriste 3 tipa IR izvora (79).

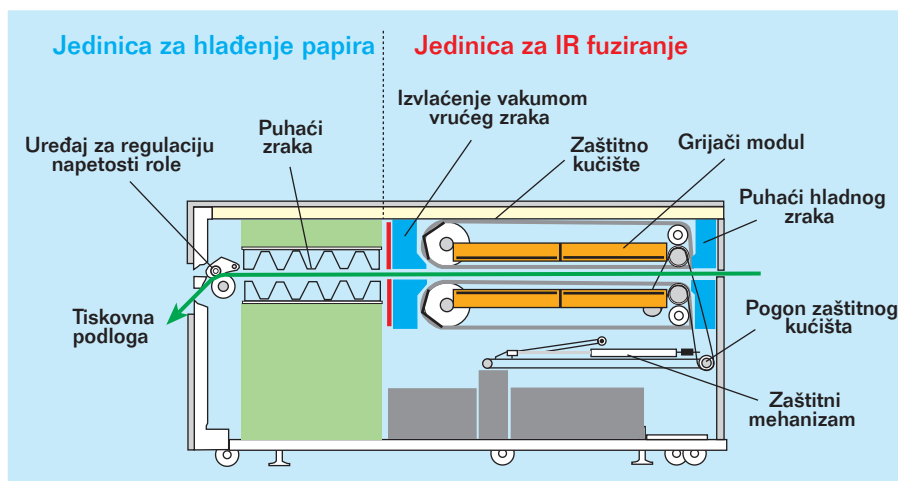
Tablica 2. Tipovi IR izvora u elektrofotografiji

Tip IR izvora	Valna duljina $\lambda$	Max. Temperature zagrijavanja
IR - A	0,8 $\mu\text{m}$ - 2 $\mu\text{m}$	2100°C - 1100°C
IR - B	2 $\mu\text{m}$ - 4 $\mu\text{m}$	450°C - 1100°C
IR - C	4 $\mu\text{m}$ - 25 $\mu\text{m}$	<450°C

IR grijači tipa A imaju vrlo intenzivnu emisiju zračenja u kratkom području IR spektra (0,8 - 2  $\mu\text{m}$ ), te su po karakteristikama vrlo slični fleš grijačima. Kod zračenja s IR B grijačem, apsorpcijska svojstva papira, akromatskog tonera i kromatskog tonera gotovo su identična. Apsorpcija crnog tonera ujednačena je po cijelom IR području, dok kolorni toneri pokazuju specifičnu apsorpciju, koja je ovisna o samoj građi polimera (toner na bazi stirola ima maksimalnu apsorpciju u području od 3,2 do 3,6 $\mu\text{m}$ , dok poliester od 2 do 4  $\mu\text{m}$ ).

Apsorpcijsko ponašanje papira u IR području ovisno je o udjelu vlage u papiru (maksimalna apsorpcija je između 3 i 8  $\mu\text{m}$ ). Oko 80% izlaznog IR zračenja koristi se za zagrijavanje papira, preko kojeg se toplina indirektno prenaša na toner. Pritom se za taljenje crnog tonera pojačava emisija IR zračenja, što će utjecati na povećanje temperature fuziranja za 20°C (80).

Povećanje temperature izvora direktno utječe na brzinu taljenja tonera. Tako se ugradnjom C - IR izvora omogućava tiskanje većih naklada, ali i otisak na debljoj tiskovnoj podlozi (slika 37).



Slika 37. Princip beskontaktnog fuziranja s IR zračenjem

U beskontaktnom procesu fuziranja nije potrebno dodavati specijalne agense za otpuštanje tonera koji su karakteristični za fuziranje valjcima. Dobiveni otisci nemaju karakteristični sjaj, te vizualno sličje otiscima proizvedenim u klasičnim tehnikama tiska (81).

### 2.3.7. Čišćenje fotokonduktora u elektrofotografiji

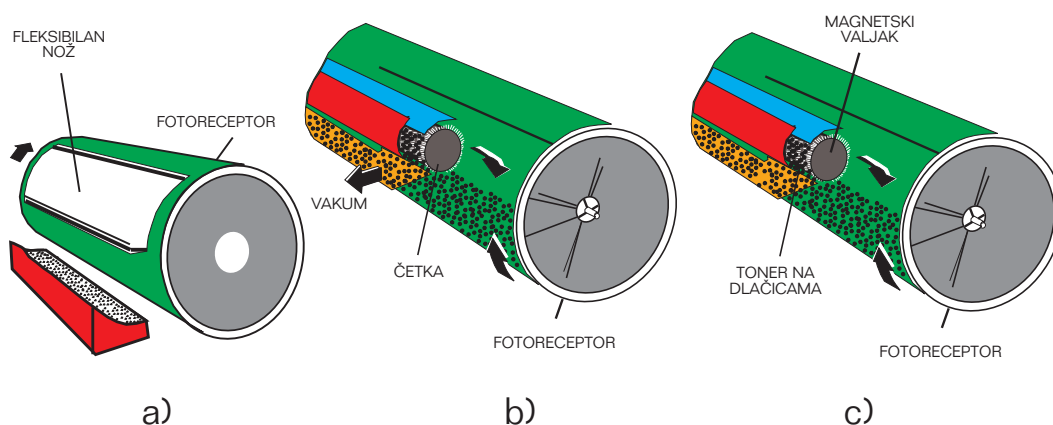
Po završetku fiksiranja potrebno je površinu fotokonduktora pripremiti za novi ciklus oslikavanja. Nakon završenog procesa otiskivanja na površini fotokonduktora zaostaje napon virtualne tiskovne forme zajedno s ostacima tonerskih čestica, koje se tijekom transfera nisu prenijele na prijenosni medij, odnosno tiskovnu podlogu. Proces čišćenja izvodi se u dvije faze:

- brisanjem napona virtualne tiskovne forme
- skidanje ostataka tonera s fotokonduktora

#### 2.3.7.1. Skidanje praškastih tonera

Neprenesene čestice tonera s tonerske slike na papir ostaju zadržane za fotokonduktor slabim elektrostatskim poljem. Za lakše otklanjanje tonera fotokonduktorska površina se izlaže djelovanju svjetlosnih izvora (fluorescentne lampe, neonske lampe, bljeskalica, LED). Tijekom osvjetljavanja dolazi do neutralizacije cjelokupne fotokonduktorske površine, pri čemu nestaje jako elektrostatsko polje (formirano nabijanjem i osvjetljavanjem laserom). Sličan je učinak moguće stvoriti djelovanjem korotrona napajanog s izmjeničnom strujom (82).

Nakon brisanja elektrostatskog polja čestice tonera mehanički se skidaju s površine fotokonduktora. Mehaničko je čišćenje moguće izvesti na 3 načina: čišćenjem elastičnim nožem, čišćenjem mekanom četkom i čišćenjem magnetskom četkom.



Slika 38. Principi čišćenja fotokonduktora od suvišnog praškastog tonera

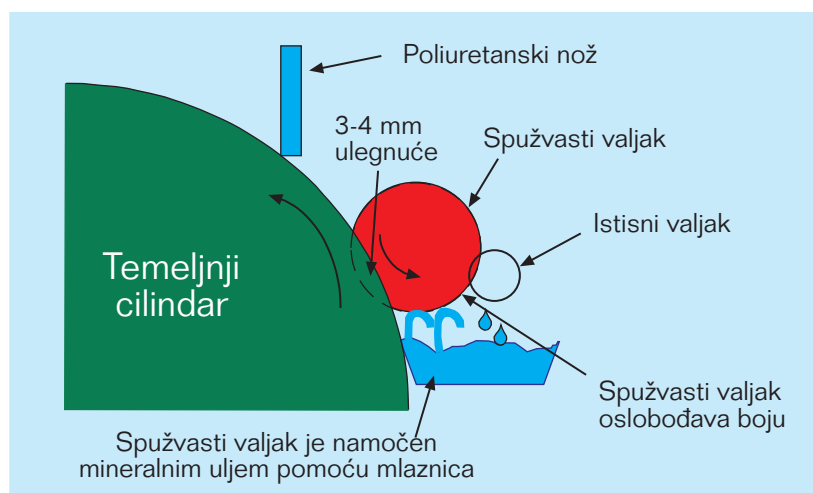
Pri čišćenju s elastičnim nožem (slika 38a), gumeni ili sintetički nož prislanja se uz površinu fotokonduktora. Rotacijom fotokonduktorskog cilindra ostaci tonera bit će uklonjeni s oštricom elastičnog noža. Kako ne bi došlo do mehaničkog oštećenja fotoreceptorske površine, nož mora biti precizno pozicioniran.

Princip mehaničkog čišćenja četkom (slika 38b) baziran je na vakuumskoj jedinici i mekom četkastom valjku. Takva jedinica za čišćenje montirana je tik uz fotokonduktorski bubanj. Četkasti valjak svojim gustim dlačicama struže po fotokonduktorskoj površini skidajući tako ostatke čestica tonera. Na kraju procesa čišćenja toner se sa četkastog valjka usisava vakuumskom pumpom i odvodi natrag u spremnik. Tijekom čišćenja između četkastog valjka i fotoreceptora javlja se trenje. Pritom je stvoren i statički elektricitet, koji se po završetku čišćenja mora ukloniti dodatnim procesom neutralizacije fotokonduktora.

Čišćenje magnetskom četkom (slika 38c) pronašlo je primjenu u elektrofotografskim strojevima koji koriste dvokomponentni toner. Magnetski valjak je smješten u neposrednoj blizini fotokonduktora. Pošto su magnetske sile magnetskog valjka veće od elektrostatskih sila fotokonduktora, sav će toner s nosiocima prijeći na površinu magnetskog valjaka. Rezultat toga je potpuno čista površina fotokonduktora (83).

### 2.3.7.2. Skidanje tekućih tonera

Kao i kod paškastih tonera čišćenje započinje sa svjetlosnom neutralizacijom. Pri mehaničkom skidanju koristi se specijalno konstruirana jedinica za čišćenje (slika 39). Takva se jedinica sastoji od: kućišta, mlaznica za nanašanje tekućeg nosioca, spužvastog valjka, valjka za cijedenje i poliuretanskog noža (84).



Slika 39 Jedinica za čišćenje tekućeg ElectroInka

Mehaničko čišćenje započinje prskanjem tekućeg nosioca na spužvasti valjak. Namočen spužvasti valjak je u direktnom kontaktu s fotokonduktorom, te ga jednolično vlaži. Dodatkom tekućeg nosioca ostaci ElectroInka će se potpuno razrijediti. Tekući nosilac s otopljenim ostacima ElectroInka lako se skida s elastičnim poliuretanskim nožem (85).

## 2.4. Dizajn višebojnih elektrofotografskih strojeva

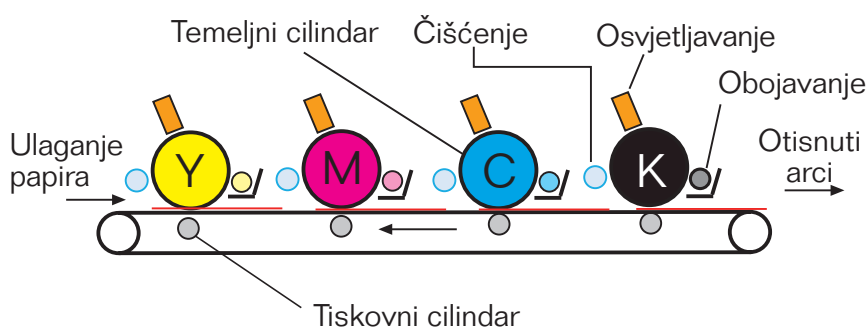
S razvojem elektrofotografskog procesa mijenjaju se i konfiguracije višebojnih tiskarskih strojeva. Tijekom komercijalnog rada proizvođači višebojnih elektrofotografskih strojeva u suradnji s ovlaštenim serviserima kontinuirano prate stanja svih proizvedenih modela. Uočavanje i najmanje nepravilnosti u proizvedenoj seriji rezultirat će s novom poboljšanom serijom. Vremenski promatrano to se dešava skoro svake druge godine. To je i razlog velikog broja proizvedenih modela, čija je kvaliteta u stalnom usponu (86).

Bez obzira na to načelno se razlikuju dva tipa konstrukcija elektrofotografskih višebojnih strojeva:

- jednoprolazni elektrofotografski strojevi
- višeprolazni elektrofotografski strojevi.

Osnovna razlika između jednoprolaznih i višeprolaznih elektrofotografskih strojeva je u konstrukciji tiskovne jedinice, odnosno u načinu provođenja otiskivanja (direktan tisak ili indirektan tisak).

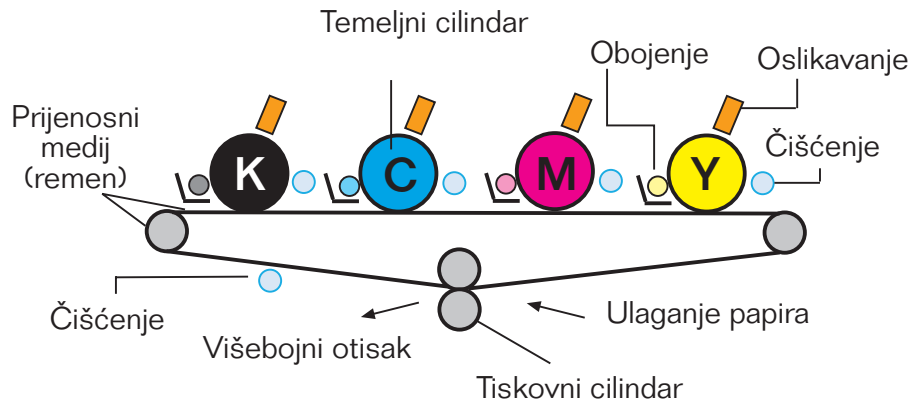
Jednoprolazni višebojni elektrofotografski strojevi (slika 40) posjeduju prostorno veći tiskarski sustav kod kojeg su tiskarske jedinice (žuta, magenta, cijan i crna) međusobno odvojene. Takav tiskarski sustav sadrži 4 temeljna i 4 tiskovna cilindra. Tiskarske jedinice odvojeno nanose bojilo, koje se direktno u jednom prolasku otiskuje na tiskovnu podlogu (direktno otiskivanje).



Slika 40. Dizajn jednoprolaznih višebojnih elektrofotografskih strojeva s direktnim načinom otiskivanja

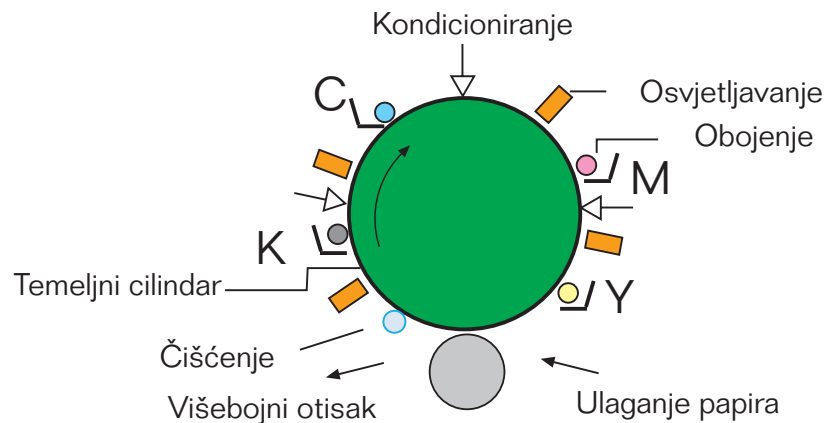
Indirektno jednoprolazno elektrofotografsko otiskivanje konstrukcijom je vrlo slično direktnom načinu otiskivanja. Razlika se očituje u dodatnom prijenosnom remenu koji se nalazi između 4 temeljna cilindra i jednog tiskovnog cilindra (slika 41). Na prijenosnom remenu se vrši nanos svih kolornih separacija (YMCK) koje se odjednom otiskuju na tiskovnu podlogu (87).





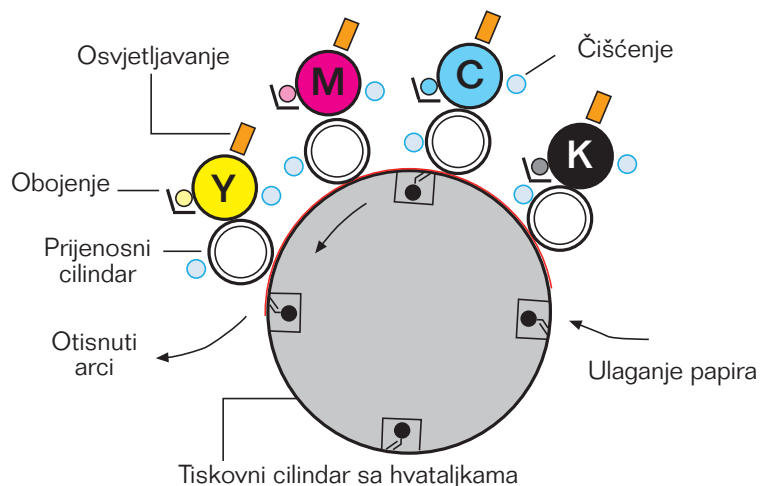
Slika 41. Dizajn jednoprolaznih višebojnih elektrofotografskih strojeva s direktnim načinom otiskivanja

Višeprolazni sistemi satelitske konstrukcije značajno su sporiji od jednoprolaznih sistema. Satelitski direktni višeprolazni sistemi posjeduju jedan veliki temeljni cilindar oko kojega su poredane 4 tiskovne jedinice. Na temeljnom cilindru se vrši nanašanje svih obojenih tonera počevši od najsvjetlije žute, magente, cijan do najtamnije crne. Između svakog procesa nanošanja tonera, izvodi se novo kondicioniranje koje je nužno potrebno za slijedeću fazu oslikavanja. Na kraju nastaje otisak direktnim pritiskom temeljnog cilindra o papir, koji se nalazi na tiskovnom cilindru (slika 42).



Slika 42. Dizajn jednoprolaznih višebojnih elektrofotografskih strojeva s direktnim načinom otiskivanja

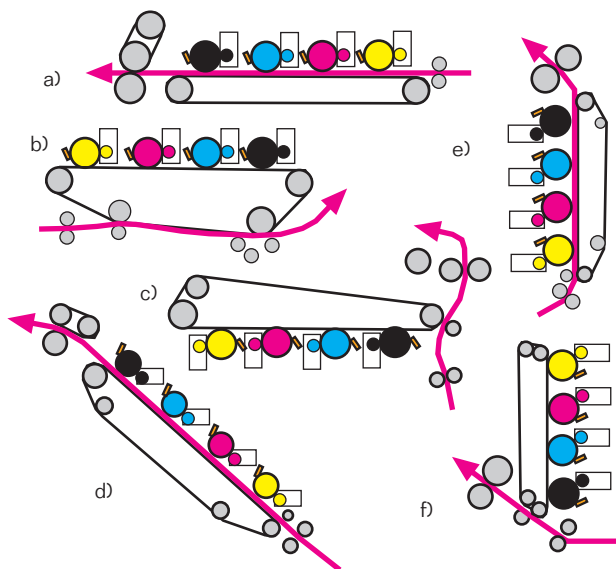
Neki indirektni višeprolazni satelitski sistemi posjeduju 4 puta veće tiskovni cilindre u odnosu na jednoprolazne. Takav tiskovni cilindar posjeduje 4 hvataljke tiskovnog cilindra koje za vrijeme otiskivanja pridržavaju tiskovne podloge. Između 4 temeljna i jednog tiskovnog cilindra nalaze se 4 prijenosna cilindra. Njihova je funkcija prenašanje obojenih tonera s fotokonduktora na tiskovnu podlogu (slika 43).



Slika 43. Dizajn višeprolaznih višebojnih elektrofotografskih strojeva s indirektnim načinom otiskivanja

Moderni višeprolazni indirektni satelitski sistemi ne primjenjuju više takvu konstrukciju, te se dimenzije tiskovnih cilindara smanjuju na dimenzije prijenosnih cilindara. Tijekom otiskivanja takvi sistemi moraju izvršiti 4 rotacijska ciklusa (za svaku separaciju po jednu), da bi se formirao četverbojni otisak. Sistemi takve konstrukcije posjeduju manje gabarite, čime se povećava funkcionalnost i smanjuje proizvodna cijena (88).

U višebojnoj elektrofotografiji ipak su najzastupljeniji jednoprolazni strojevi, koji su još poznati pod nazivom tandem tiskarski strojevi (slika 44). U dizajnu postoje razne varijante nizanja tiskovnih jedinica, tako da danas razlikujemo slijedećih 6 konstrukcija (89).



Slika 44. Konstrukcije tandemskih elektrofotografskih strojeva

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3.1. Plan rada i metode ispitivanja

Nezadrživ razvoj znanosti i tehnologije posebno je naglašen u području informatike i tiskarstva. Volumen i brzina prijenosa informacija u eksponencijalnom je porastu, zahvaljujući razvoju osobnih računala i Interneta. U digitalnom tisku povezivanje računala i tiskarskog stroja uspješno je provedeno. Rezultat toga su novi grafički proizvodi bazirani na personalizaciji, varijabilnom tisku i tisku na zahtjev.

Elektrofotografija je jedna od vodećih digitalnih tehnika otiskivanja. Kod elektrofotografske tehnike otiskivanja karakteristike tiskovne podloge (kemijski sastav, način proizvodnje, mehanička i kemijska svojstva, dielektrična konstanta i površinska obrada) imaju presudnu ulogu. Složen princip elektrofotografskog otiskivanja provodi se u nekoliko međusobnih povezanih faza. Proces nabijanja, razvijanja, prijenosa i čišćenja besprijekorno funkcioniraju u vrlo kratkom vremenskom periodu. Raznolikost u strojnoj konstrukciji, poluvodičkim materijalima, električki nabijenom bojilu, daju nam za pravo na jednu opsežnu studiju kvalitete otiskivanja indirektnog elektrofotografskog digitalnog tiska.

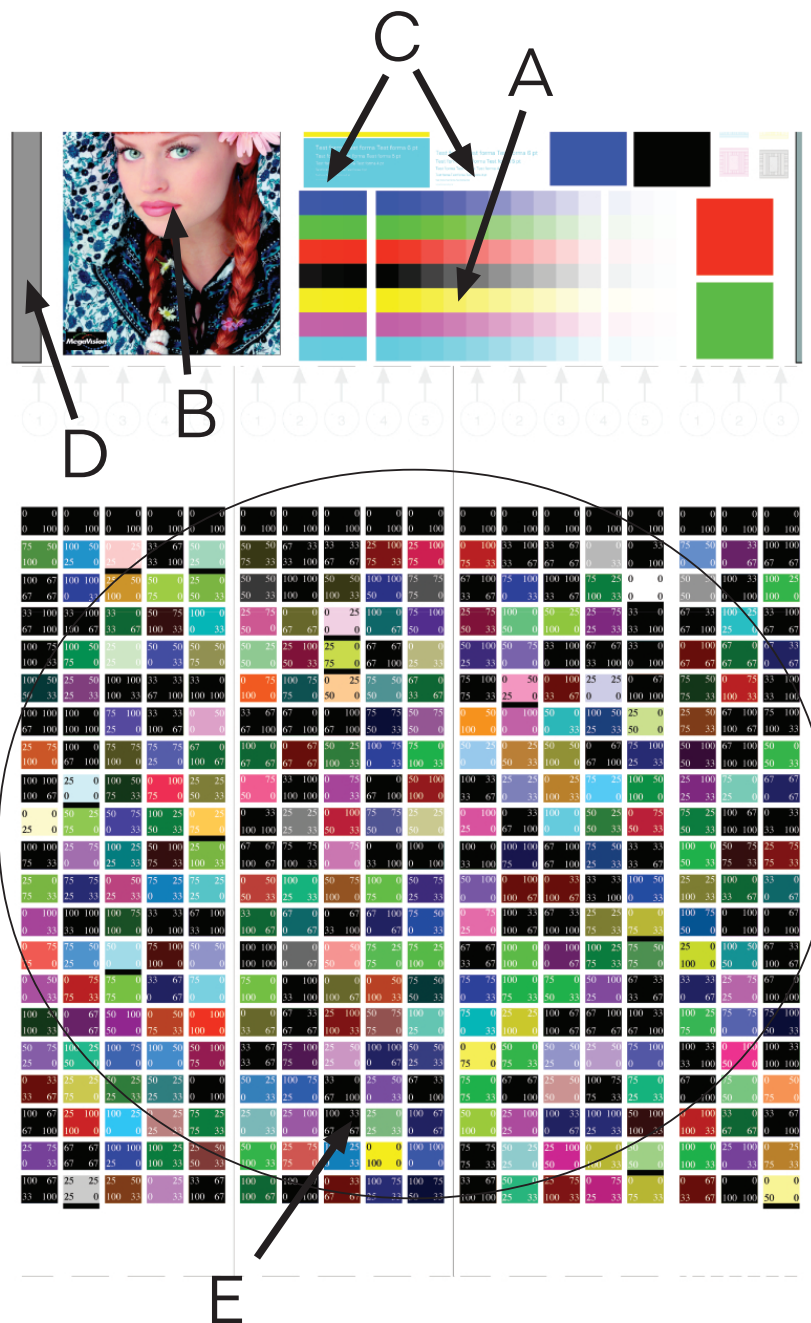
Za potrebu ove doktorske disertacija izrađena je specijalna tiskovna forma (slika 45) koja sadržava slijedeće tiskovne elemente:

- A) standardni CMYK RGB stepenasti klinovi u rasponu od 10 do 100% RTV,
- B) standardnu ISO ilustraciju za vizualnu kontrolu,
- C) tekstualne pozitivne i negativne mikroelemente
- D) klinove za određivanje sivoće
- E) standardni klin od 378 polja za izradu ICC profila i 3D gamuta.

Motivi specijalne tiskovne forme ispitivat će sve važne čimbenike kvalitete u procesu indirektnog elektrofotografskog tiska, pri čemu će vršiti i otiskivanje na tri specifične tiskovne podloge:

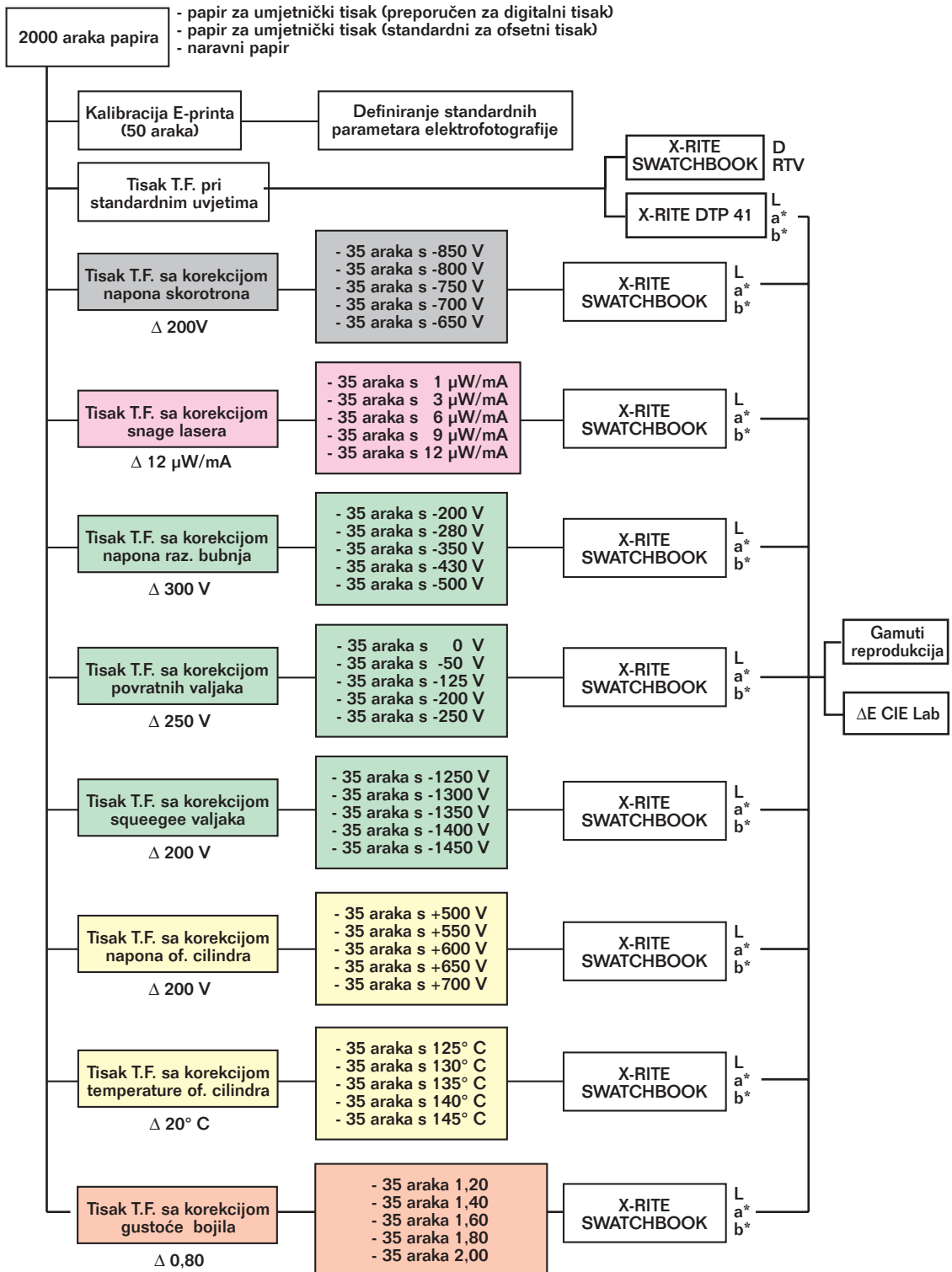
- Standardan papir za klasični ofset (papir za umjetnički tisak gloss)
- Specijalan papir za digitalni tisak (mat)
- Standardan nepremazani papir za klasični ofset.

Sve su tiskovne podloge od istoga proizvođača (Fedrigoni), te među njima ne postoji razlika u osnovnom kemijskom sastavu papirne sirovine. Jedina se razlika očituje u doradnom procesu izvršenom na papir-stroju, odnosno u kemijskom sastavu formiranog premaza.



Slika 45. Raspored tiskovnih elemenata na specijalno konstruiranoj tiskovnoj formi

Za otiskivanje eksperimentalnih uzoraka koristio se elektrofotografski tiskarski stroj HP Indigo TurboStream. Na samom početku izvršila se kalibracija tiskarskog stroja. Tijekom kalibracije tiskarski stroj je otiskivao internu CMYK kalibracijsku testnu formu (kreiranu od 4 polja punog tona i 4 polja s 50%RTV). S tvornički ugrađenim denzitometrom izmjerila se testna forma, na osnovi koje se izvršila promjena parametara laserske glave i razvijačkog bubnja. U trenutku postizanja standardnih denzitometrijskih vrijednosti, proces kalibracije je bio prekinut. Kalibriranim strojem pristupilo se eksperimentalnom otiskivanju (slika 46), na tiskovnim podlogama koje su prethodno definirane.



Slika 46. Plan eksperimentalnog otiskivanja

Nakon toga je slijedilo ispitivanje slijedećih faza indirektnog elektrofotografskog tiska:

1. Skorotronska nabijanje
2. Lasersko osvjetljavanje
3. Razvijanje s raz. bubnjem
4. Razvijanje s raz. valjcima
5. Razvijanje squeegee valjkom
6. Utjecaj temp. na 1. transfer
7. Utjecaj napona na 1. transfer

Tijekom eksperimenta samo jedna faza je varirana, dok su svi ostali parametri ostali konstantni (definirani početnom kalibracijom). Pokušalo se ostvariti i ekstremne vrijednosti koje nisu preporučene pri komercijalnom otiskivanju. Svaka ispitana faza je bila varirana s pet različitih vrijednosti, pri čemu je svaka varijacija otiskivana u nakladi od 35 otisaka. U posljednjoj fazi eksperimentalnog otiskivanja analiziran je utjecaj pigmentacije na kvalitetu otiskivanja (varirala se koncentracija nosioca obojenja u tekućem ElectroInku).

Dobiveni otisci su bili podvrgnuti denzitometrijskoj i spektrofotometrijskoj analizi. Ona je najbolje pokazala ovisnost pojedine faze indirektnog elektrofotografskog procesa o kvaliteti reprodukcije.

U doktorskoj disertaciji je izmjereno 137 214 različitih polja. Za analizu svake elektrofotografske faze su uzeta 3 otiska (otisak s početka, sredine i kraja naklade), iz kojih se izračunala srednja vrijednost. Konačni rezultati su prikazani u dvodimenzionalnom obliku (krivulje reprodukcije,  $\Delta E$  CIE Lab) i trodimenzionalnom obliku (prostorni gamut reprodukcija).

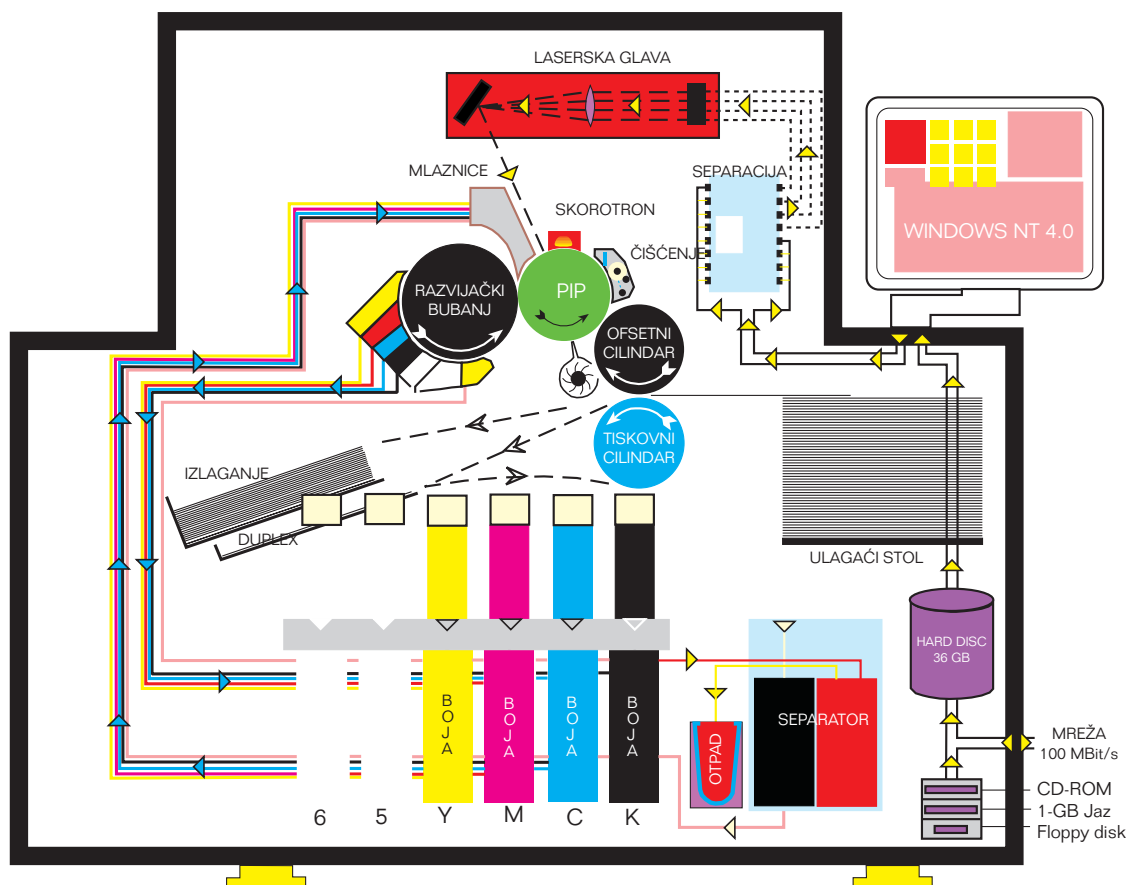
## 3.2. Korišteni tiskarski strojevi i uređaji

### 3.2.1. HP Indigo TurboStream

Eksperimentalni dio ove doktorske disertacije izvršen je na Katedri Tiska Grafičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Pritom je korišten elektrofotografski tiskarski stroj HP Indigo TurboStream (slika 47).

Osnovna karakteristika HP Indigo TurboStreama je indirektnan način otiskivanja s ispisnom rezolucijom od 812 DPI. Indigo TurboStream je standardno četverbojni stroj, s mogućnošću proširenja za dvije dodatne boje po izboru. Ugradnjom duplex ladice omogućen je obostrani tisak do maksimalnog formata 320 x 464 mm. Standardna brzina otiskivanja je 60 cm/s, tj., proizvodna brzina je ovisna o broju separacija na otisku. Tako standardni četverbojni HP Indigo u maksimalnom formatu otiskuje 4000 jednobojnih otisaka na sat, odnosno 1000 četverbojnih otisaka na sat.

U HP Indigu ugrađeno je PC računalo s procesorom Pentium III. Osnova takvog računala je tvrdi disk od 36 GB (za pohranu poslova) i radna memorija od 384 MB. Od perifernih jedinica Indigo sadrži LCD monitor, CD ROM, JAZ drive, Floppy disk i linijski X-rite denzitometar. Osim obostranog i šesterobojnog tiska, dodatne programske opcije su automatsko sabiranje, HDI (High Density Image) i kolorna personalizacija.



Slika 47. Shematski prikaz tiskarskog stroja HP Indigo TurboStream

Prije eksperimentalnog otiskivanja tiskarski stroj je imao fotokonduktor s prethodno izvršenih 8000 osvjetljavanja i ofsetnu gumu s napravljenih 1560 otisaka. Po izvršenoj automatskoj kalibraciji tiskarski je stroj postigao zadovoljavajuće uvjete, čime je bio spreman za eksperimentalno otiskivanje (tablica 3),

Tablica 3. Definirani parametri Indigo TurboStream-a nakon kalibracije (LUT krivulja 0,25)

KARAKTERISTIKE	CIJAN	MAGENTA	ŽUTA	CRNA
Denzitometrijske vrijednosti gustoće obojenja nakon kalibracije*	1,44	1,44	1,15	1,77
Rastertonska vrijednost na području od 50% RTV nakon kalibracije	75,6 %	76,9 %	74,4 %	75,2 %
Napon koronske žice	-5740 V	-5740 V	-5740 V	-5740 V
Napon skorotronske mrežice	-790 V	-790 V	-790 V	-790 V
Snaga lasera	10 $\mu$ W/mA	8 $\mu$ W/mA	1 $\mu$ W/mA	7 $\mu$ W/mA
Napon razvijaačkog bubnja	- 331 V	- 348 V	- 410 V	- 388 V
Napon povratnih valjaka	- 81 V	- 48 V	- 210 V	- 38 V
Napon squeegee valjka	- 1440 V	- 1440 V	- 1440 V	- 1440 V
Napon ofsetnog cilindra	- 520 V	- 520 V	- 520 V	- 520 V
Temperatura gume	130°C	130°C	130°C	130°C
Gustoća obojenja tekućeg Electroinka**	1,76	1,71	1,72	1,70
Električna provodljivost tekućeg Electroinka	86 pmho/scm	85 pmho/scm	89 pmho/scm	92 pmho/scm

\* Mjereno Indigo in-line denzitometrom tvrtke X-rite

\*\* Mjereno Indigo denzitometrom za tekućine pri temperaturi od 30°C

### 3.3.2 X-rite Swatch Book

Spektrofotometar X-rite SwatchBook (slika 48) je laboratorijski spektrofotometrijski uređaj koji služi za precizno određivanje obojenja. Uređaj nije sposoban za rad samostalno, te ga je potrebno spojiti na računalo. Veza korisnika i uređaja ostvarena je pomoću programa ColorShop 2.6.

Programom ColorShop 2.6 moguće je izmjeriti kolorimetrijsku vrijednost obojenja koja se može iskazati kao: gustoća obojenja statusom A, gustoća obojenja statusom E, gustoća obojenja statusom M, gustoća obojenja statusom T, RTV obojenja, CIE Lab, CIE XYZ, CIE xyY, CIE LCh, CIE Luv, RGB, vrijednost PANTONE uzoraka,  $\Delta E$  CIE Lab, spektralne refleksije i spektralne transmisije. Osnovne karakteristike X-rite spektrofotometra dane su u tablici 3.





Slika 48. X-rite Swatch Book

Tablica 4. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite SwatchBook

Točnost	<1 $\Delta$ E max., <5 prosjek
Spektralni senzor	DRS tehnologija
Spektralni opseg mjerenja	400 - 700 nm
Ponovljivost	0,2 $\Delta$ E max
Brzina mjerenja	2 s po mjerenju
Interno instrumentsko slaganje	<1 $\Delta$ E max., <0,5 prosjek
Mjerna geometrija	45% ANSI i ISO standard
Izlaz	31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T, I, A i E)
Dimenzije / masa	6,9 x 7,6 x 13,7 cm / 340 g
Izvor svjetlosti	A, C, D <sub>50</sub> , D <sub>55</sub> , D <sub>65</sub> , D <sub>75</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>7</sub> , F <sub>11</sub> , F <sub>12</sub>
Kut promatranja po CIE	2°, 10°
Mjerni zaslon	4 mm

### 3.3.2 X-rite DTP 41

X-rite DTP 41 (slika 49) je kolorimetrijski uređaj najnovije generacije. Da bi funkcionirao, kao i SwatchBook mora biti spojen s računalom. Aplikacija ColorShop X izračunava i prikazuje izlazne rezultate kao što su: gustoća obojenja, L\*, a\*, b\*, c\*, H\*, x, y, Y, sivoće, pogreške tona, spektralne refleksije u vidljivom dijelu spektra i rastertonske vrijednosti obojenja. Zbog svoje velike brzine mjerenja pogodan je za mjerenje većeg broja polja, što je iskorišteno za izradu ICC profila. Iz generiranog ICC profila moguće je formirati prostorni gamut obojenja, što se izvodi pomoću programa MONACO platinum.



Slika 49. X-rite DTP 41

Tablica 5. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite DTP 41

Točnost	<1 $\Delta$ E max., <5 prosjek
Spektralni senzor	DRS tehnologija, 24 točaka strojno
Spektralni opseg mjerenja	400 - 700 nm
Ponovljivost	0,2 $\Delta$ E max $\pm$ 0,01 D max
Brzina mjerenja	0,25 s po polju
Interno instrumentsko slaganje	0,3 $\Delta$ E
Mjerna geometrija	45%/0° ANSI i ISO standard
Izlaz	31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T, I, A, M i E)
Dimenzije / masa	8,8 x 18,4 x 11,4 cm / 890 g
Izvor svjetlosti	A, C, D <sub>50</sub> , D <sub>55</sub> , D <sub>65</sub> , D <sub>75</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>7</sub> , F <sub>11</sub> , F <sub>12</sub>
Kut promatranja po CIE	2°, 10°
Mjerni zaslon	1,8 x 2,5 mm

### 3.3. Korišteni materijali

#### 3.3.1 Standardni papir za umjetnički tisak

Papir Simbol freelifelife gloss (tablica 6) proizvod je talijanskog proizvođača papira Fedrigoni, i spada u skupinu papira za umjetnički tisak. On je obostrano premazan papir i u svom sastavu sadrži: 50% čiste bezdrvne pulpe, 40% korištenih recikliranih vlakana i 10% pročišćenih recikliranih vlakana. Specifičnost proizvodnje toga papira je u tzv. neutralnoj pH vrijednosti papirnog vodenog ekstrakta.

Ovaj papir posjeduje oznaku ISO 9706 (otporan na starenje), što znači da je pH vrijednost u pulpi između 7,5 i 10 pH. Simbol posjeduje i oznaku ECF (Elemental Chlorine Free), koja definira niski udio klora, koji se koristi za izbjeljivanje celuloznih vlaknaca (masa klora je manja od 0,6 kg po toni proizvedenog papira).

Tablica 6. Osnovne karakteristike papira za umjetnički tisak "Simbol freelife gloss"

Parametri	Jedinica	Metoda	Vrijednost	Tolerancije
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	115 g/m <sup>2</sup>	± 4%
Debljina	mm	ISO 534	0,099 mm	± 8 %
Bjelina	%	ISO 2470	95 %	±2 %
Upojnost	g/m <sup>2</sup>	Cobb	34.43 g/m <sup>2</sup>	-
Glatkoća	ml/min	Bendtsen	30.5 ml/min	-

### 3.3.2. Bezdrvni naravni papir

Papir Arcoprint E.W. je 100% bezdrvni nepremazani ofsetni papir također proizveden u tvornici papira Fedrigoni. Arcoprint je kao i Simbol ekološki prihvatljiv papir, koji posjeduje neutralnu pH vrijednost celuloznih vlaknaca i koncentraciju klorinih derivata ispod 0,6 kg/T. Arcoprint posjeduje i dodatni certifikat CE 94/62 kojim se garantira niska koncentracija teških metala (kadmija, kroma, žive i olova) u papiru. Oznaka E.W. u nazivu papira definira i visoki stupanj bjeline (tablica 7).

Tablica 7. Osnovne karakteristike naravnog papira "Arcoprint E.W."

Parametri	Jedinica	Metoda	Vrijednost	Tolerancije
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	120 g/m <sup>2</sup>	± 4%
Debljina	mm	ISO 534	0,151 mm	± 8 %
Bjelina	%	ISO 2470	94%	±2 %
Upojnost	g/m <sup>2</sup>	Cobb	31.74 g/m <sup>2</sup>	-
Glatkoća	ml/min	Bendtsen	265.8 ml/min	-

### 3.3.3. Specijalni papir za digitalni tisak

Splendogel EW Soho je premazani papir visokog stupnja bjeline. Površinskim premazivanjem i dimenzijom 320 x 464 mm prilagođen je tiskarskom stroju HP Indigo TurboStream, čime se ostvaruje visoka kvaliteta obostranog otiskivanja. U odnosu na prethodno spomenute tiskovne podloge, Splendogel E.W po svojim mehaničkim svojstvima mnogo je sličniji naravnom papiru (Arcoprint EW).

Tablica 8. Osnovne karakteristike premazanog papira "Splendogel E.W. SOHO"

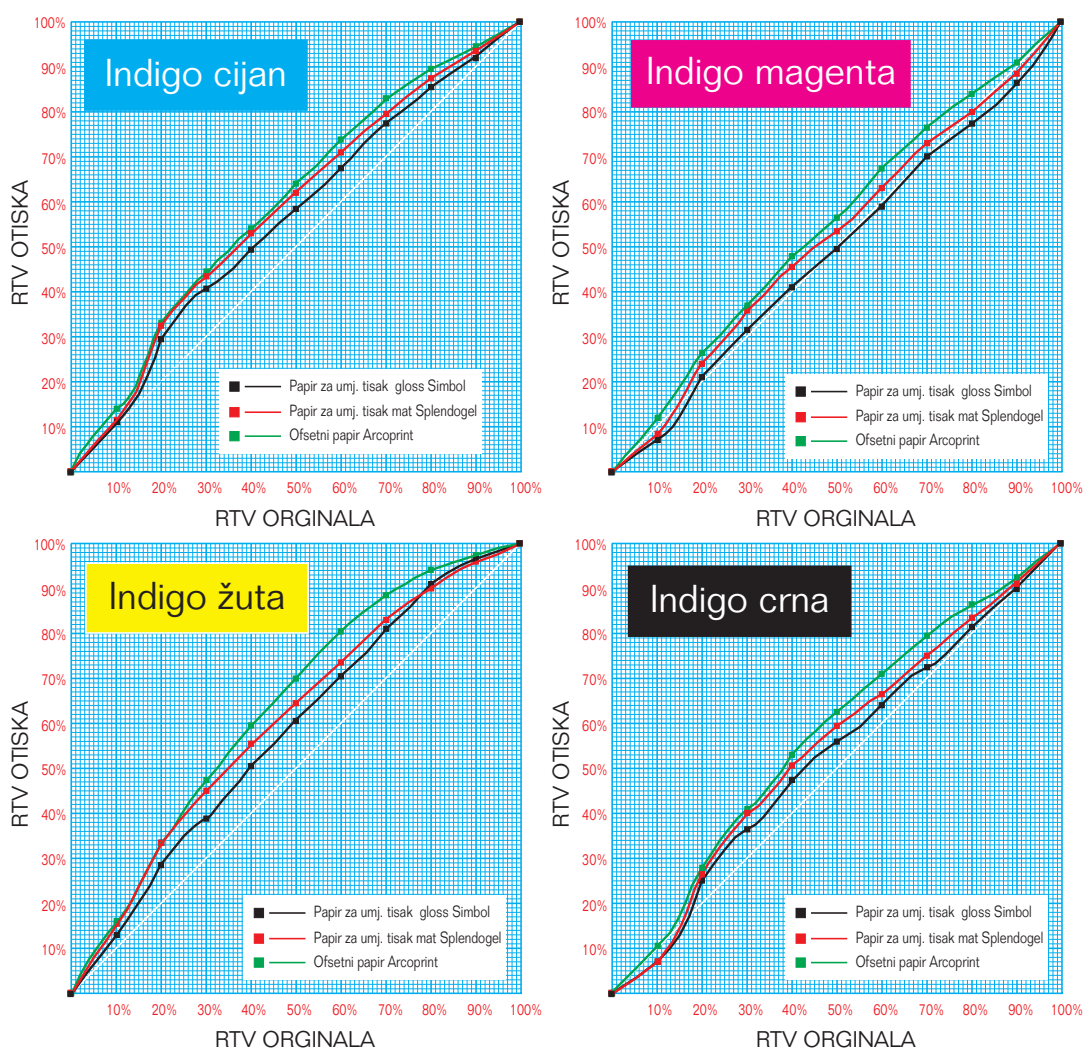
<b>Parametri</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Metoda</b>	<b>Vrijednost</b>	<b>Tolerancije</b>
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 536	160 g/m <sup>2</sup>	± 6%
Debljina	mm	ISO 534	0,170 mm	± 10 %
Bjelina	%	ISO 2470	93%	±4 %
Upojnost	g/m <sup>2</sup>	Cobb	38.49 g/m <sup>2</sup>	-
Glatkoća	ml/min	Bendtsen	57.5 ml/min	-

## 4. Rezultati rada

Nakon definiranja plana istraživanja izvršena je praktična izvedba eksperimenta. Otisci dobiveni eksperimentalnim otiskivanjem mjereni su spektrofotometrijskim uređajima. Na temelju dobivenih rezultata konstruirani su grafovi i 3D gamuti reprodukcija. Također je i izračunata razlika u obojenju između kalibriranog otiska i eksperimentalnih otisaka.

### 4.1. Rezultati denzitometrijskih mjerenja

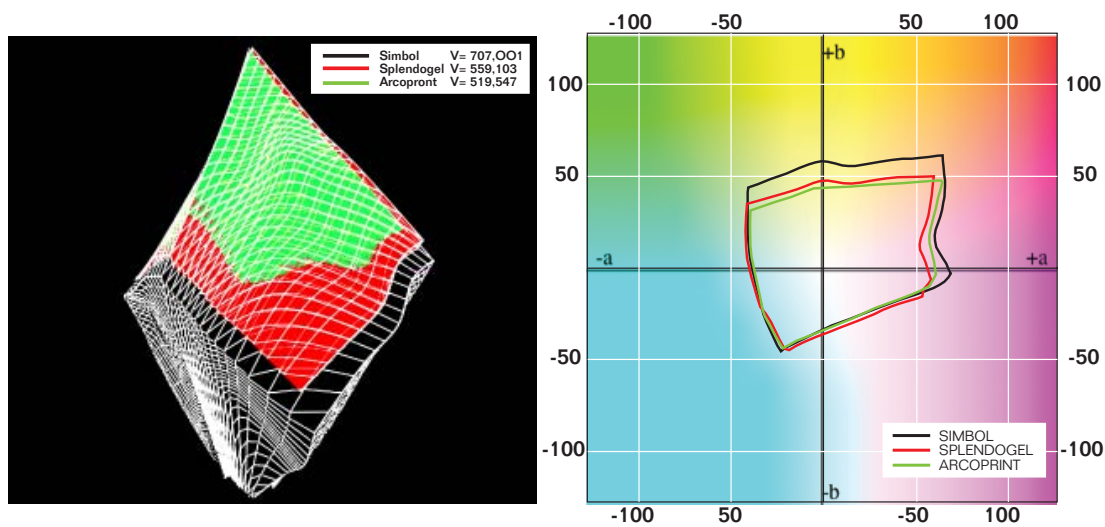
Proces kalibracije moguće je pratiti denzitometrijskim mjernim metodama. Pritom se usklađuju vrijednosti gustoće obojenja punog tona i rastriranih tonova. Denzitometrijsku kalibraciju moguće je prikazati odnosom rastertonske vrijednosti originala i rastertonske vrijednosti otiska ( $RTV_{OTISKA}$  i  $RTV_{ORIGINALA}$ ).



Slika 50. Grafovi ovisnosti  $RTV_{OTISKA}/RTV_{ORIGINALA}$  za Arcoprint, Symbol i Splendogel papir nakon kalibracije Indigo TurboStream-a

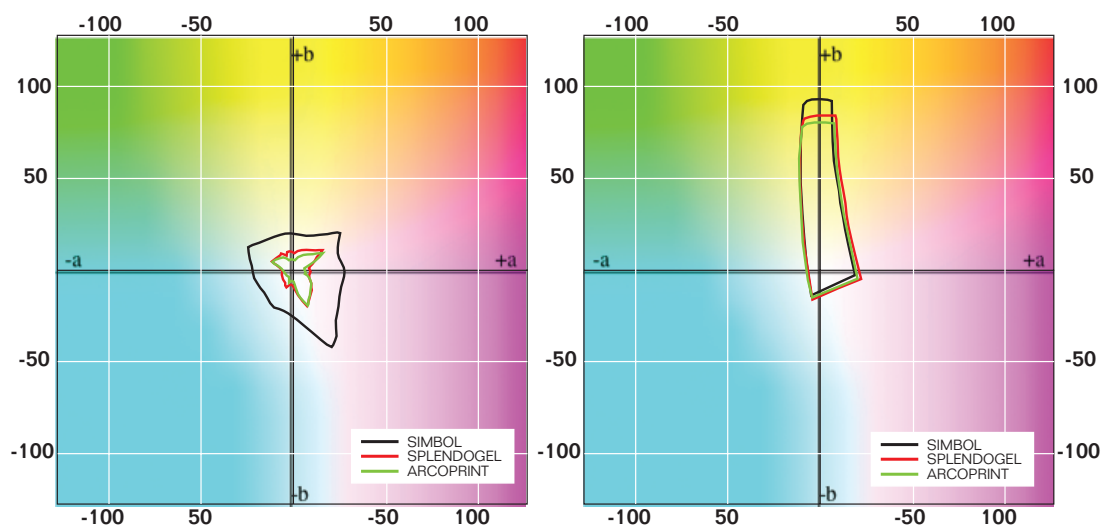
## 4.2. Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja

Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja prikazani su u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom gamutskom obliku. Gamut je konstruiran s 378 izmjerenih L\*a\*b\* polja. Za osnovne procesne boje (puni ton i 50% RTV-a) izračunate su i razlike u obojenju  $\Delta E$  CIE Lab.



a) 3D gamuti otisaka

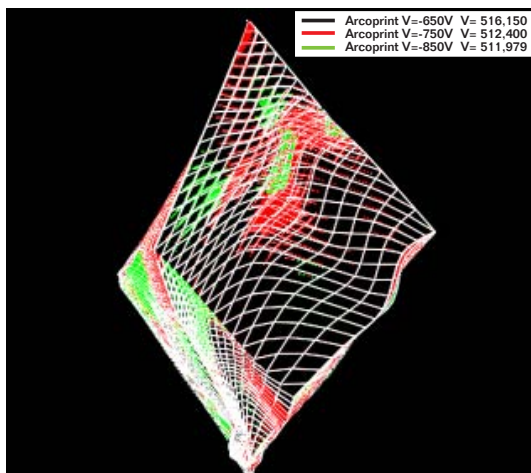
b) 2D gamuti pri svjetloći L=50



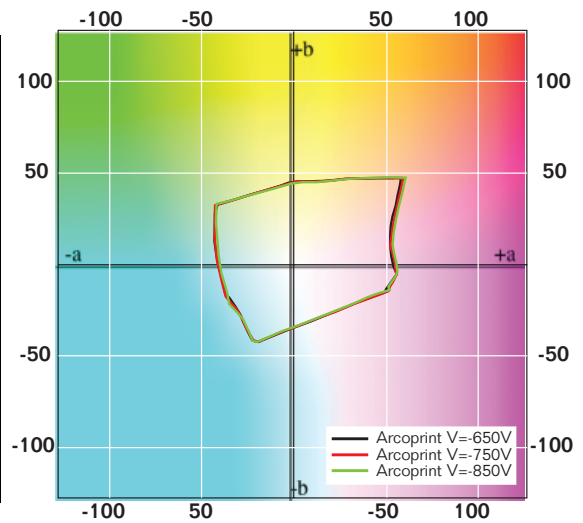
c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

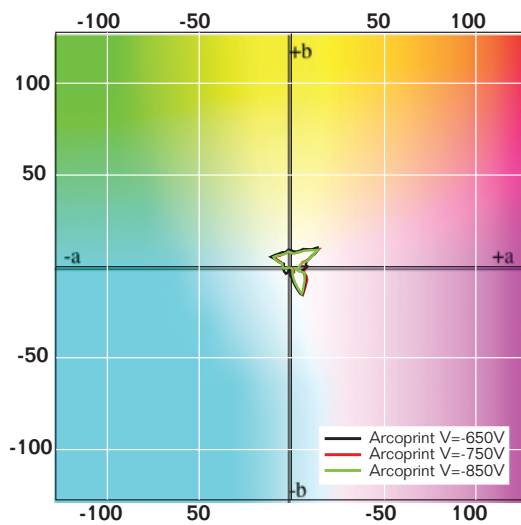
Sl. 51 Prikaz kalibriranih Indigo gamuta na Simbolu, Splendogelu i Arcoprintu



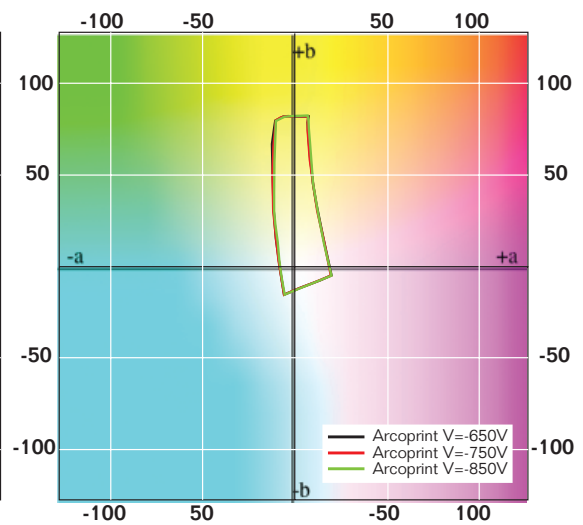
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

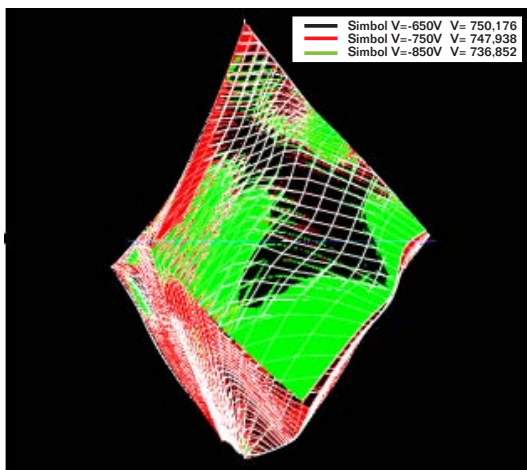


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

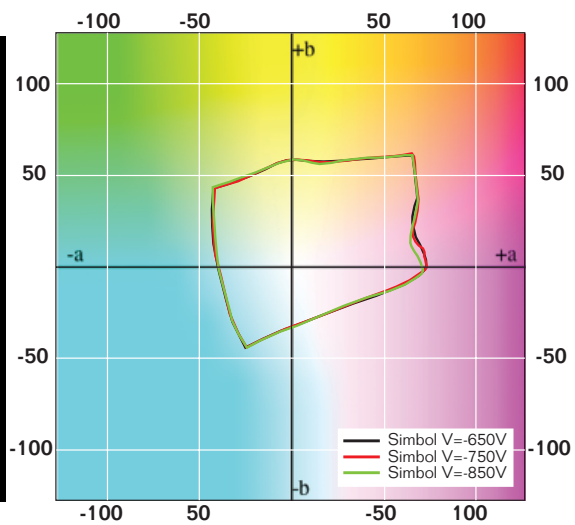


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

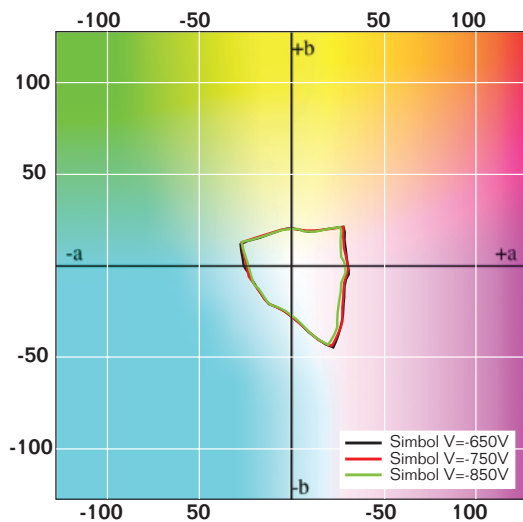
Sl. 52 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona skorotrona na Arcoprint papiru



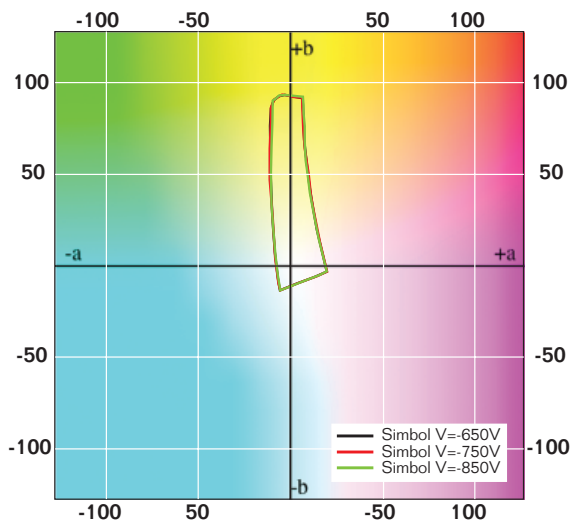
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50



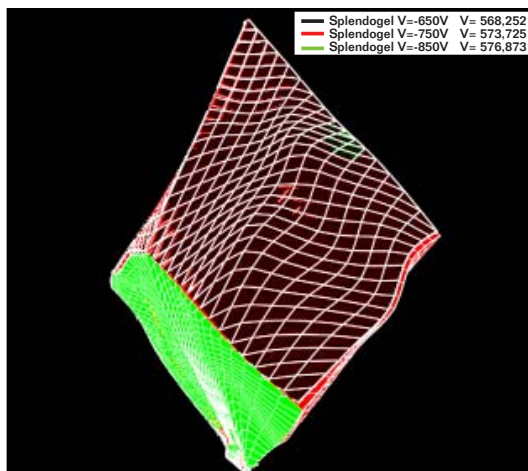
c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



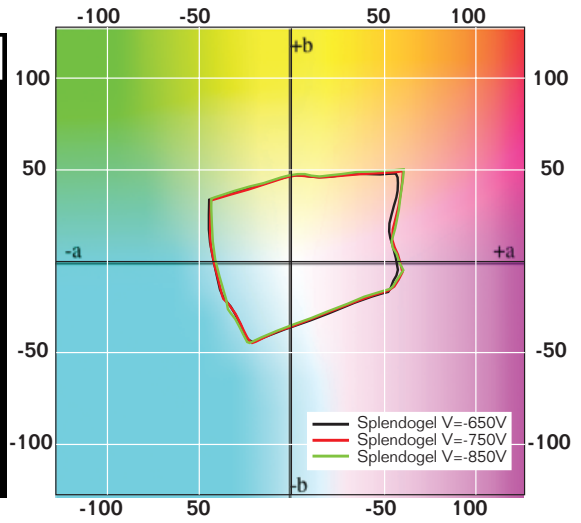
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 53 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona skorotrona na Simbol papiru

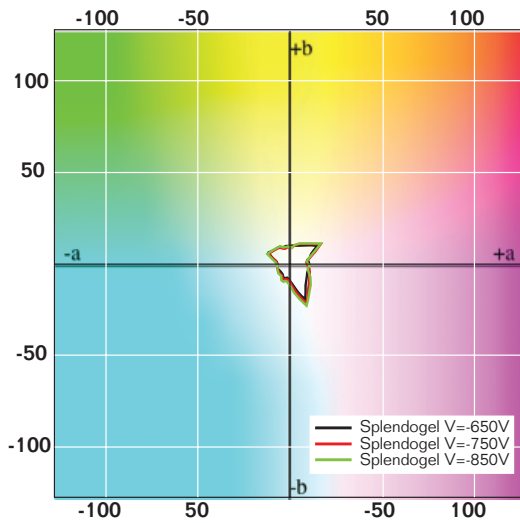




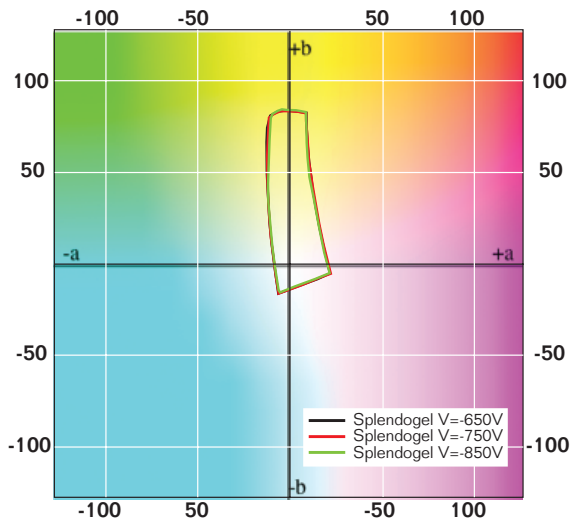
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

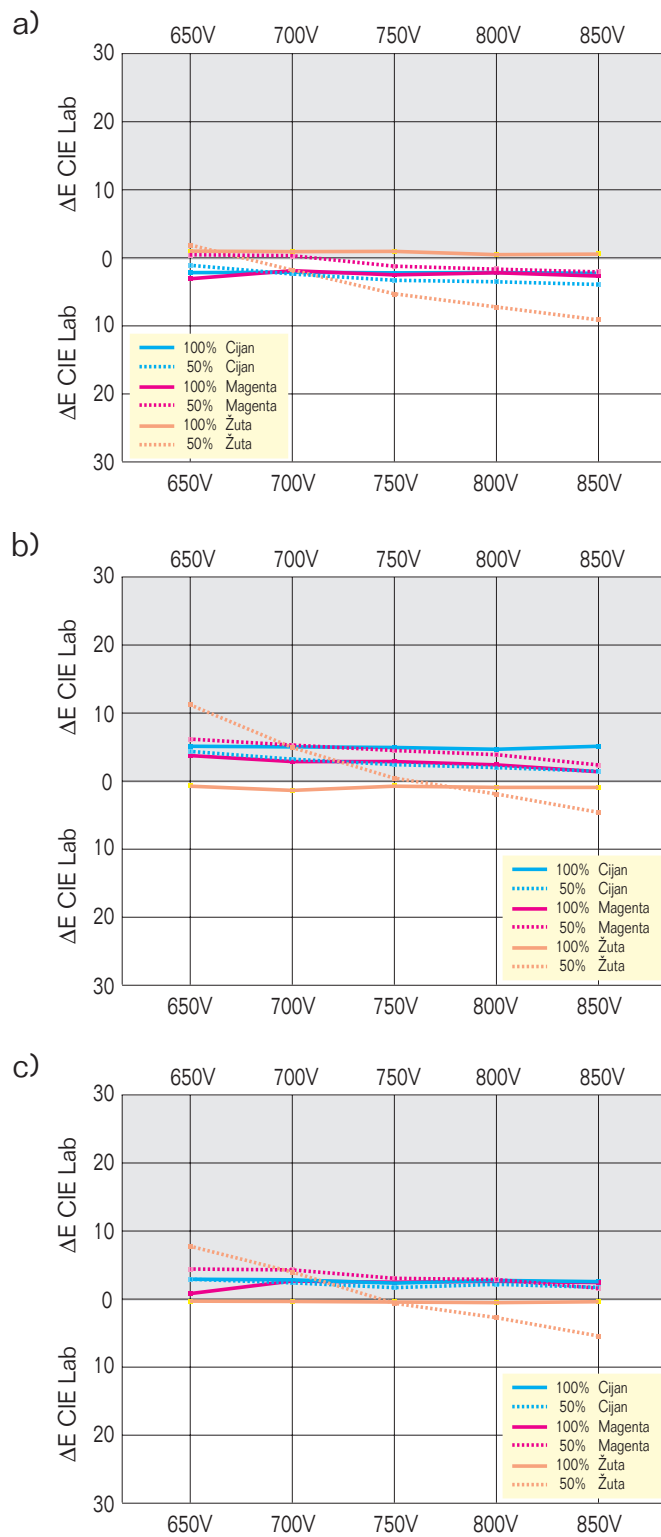


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

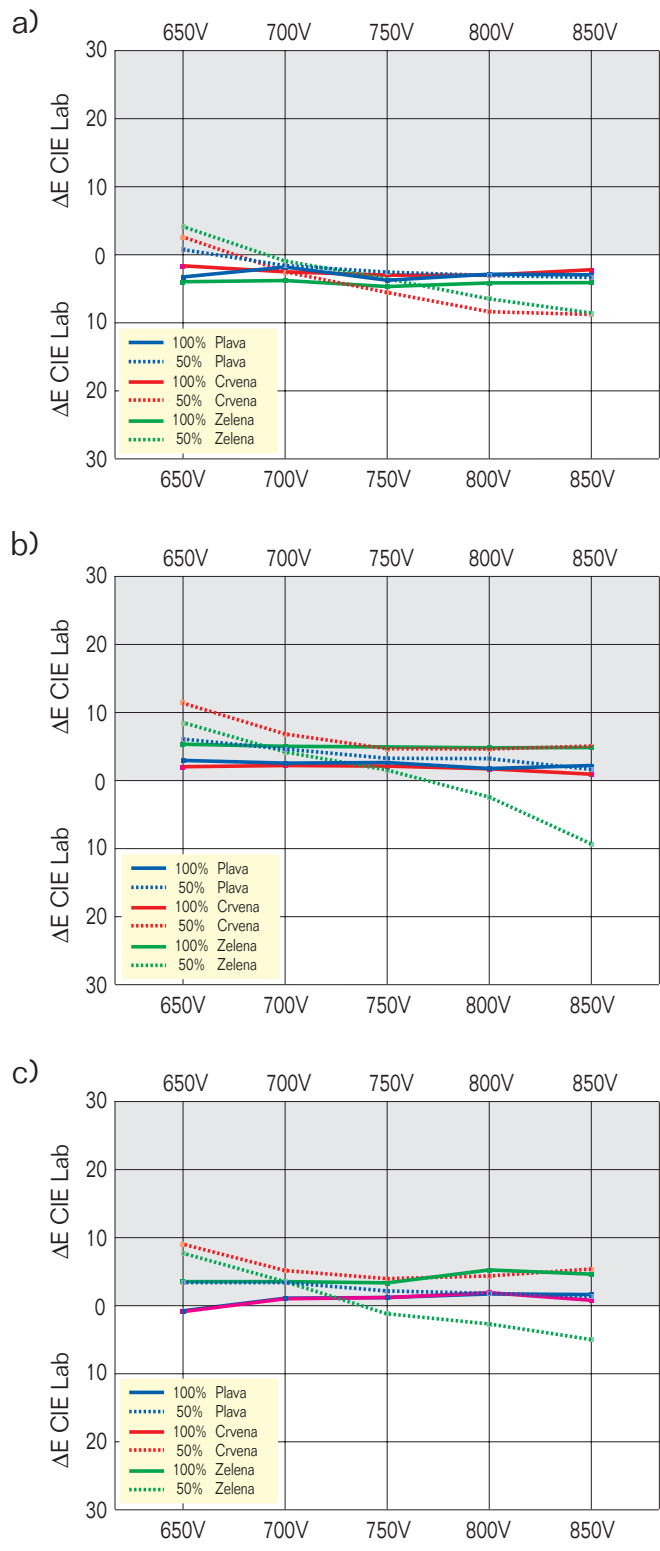


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

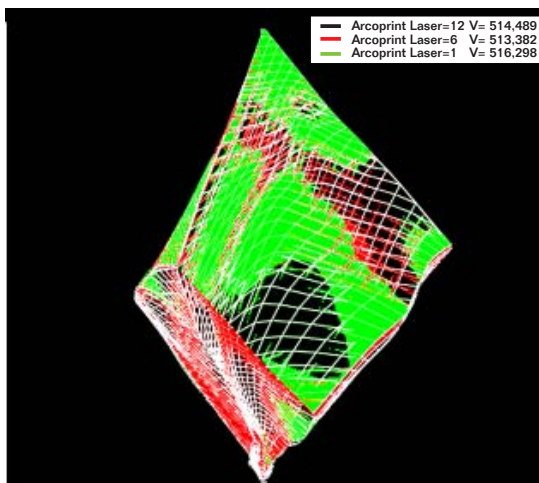
Sl. 54 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona skorotrona na Splendogel papiru



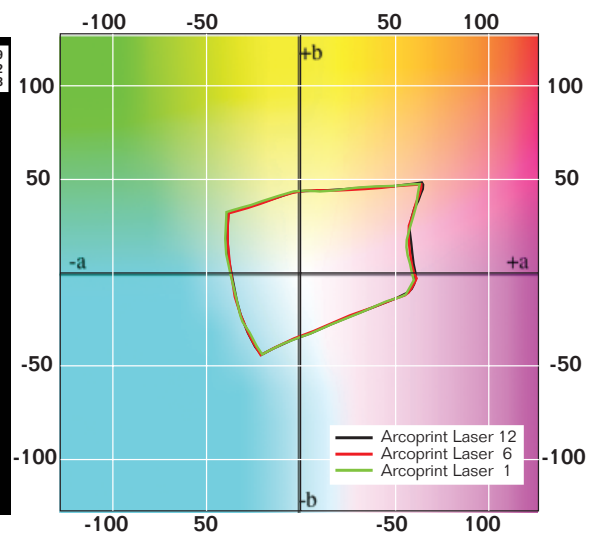
Sl. 55  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona skorotrona na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



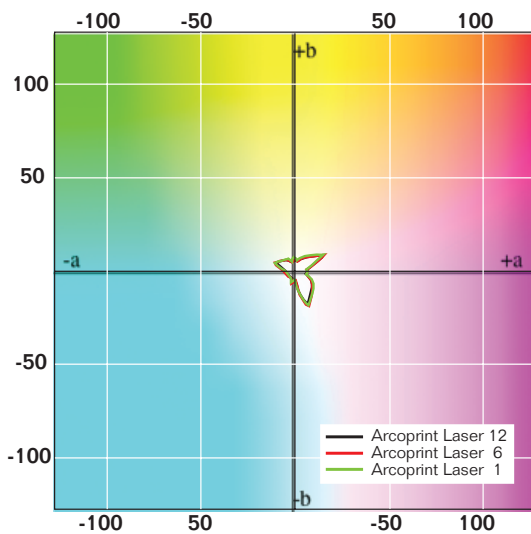
Sl. 56  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona skorotrona na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



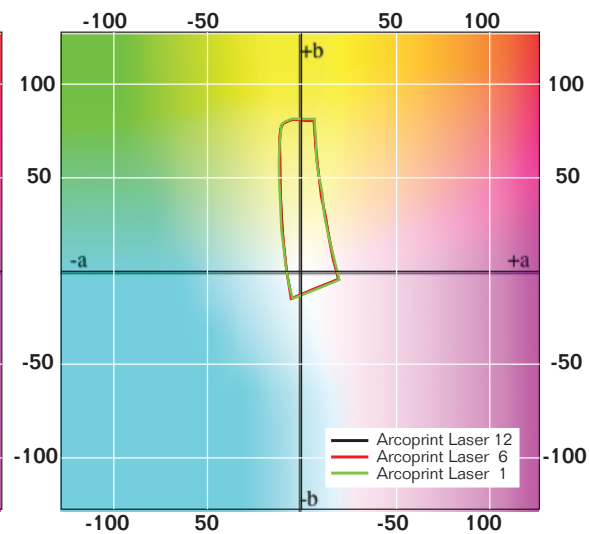
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

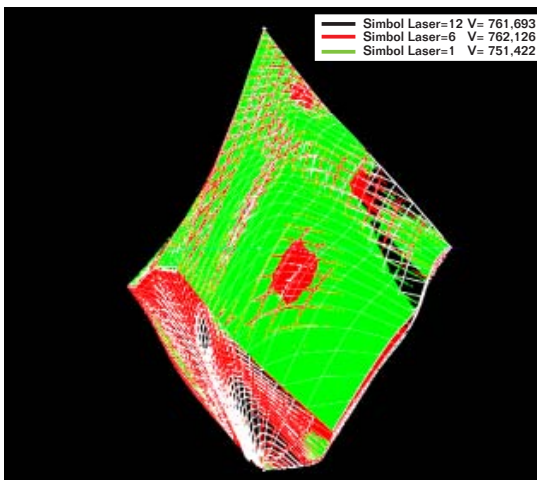


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

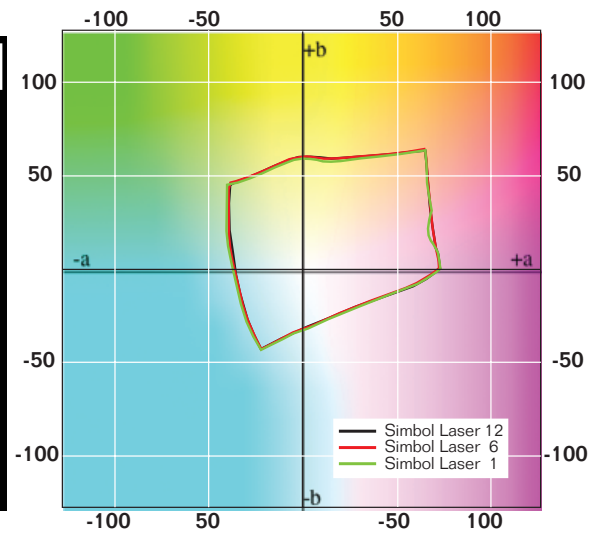


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

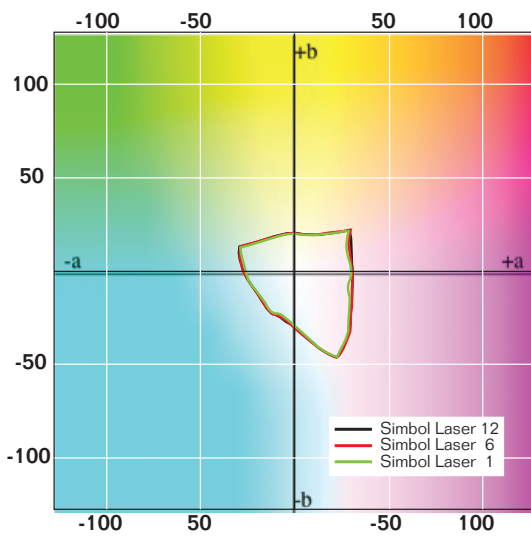
Sl. 57 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom snage laserske glave na Arcoprint papiru



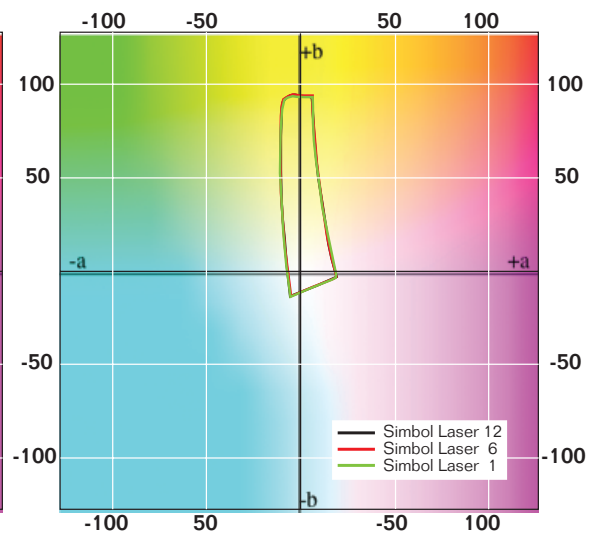
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

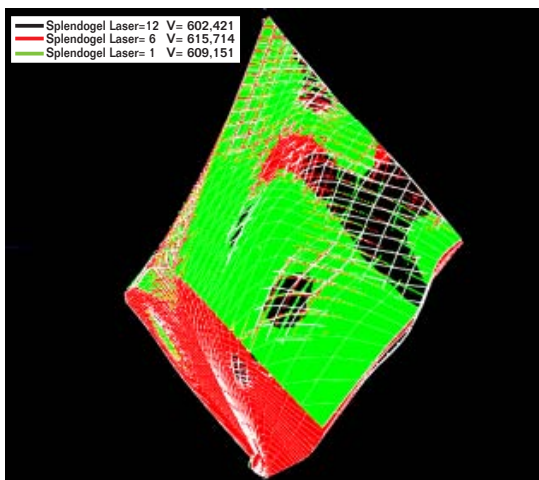


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

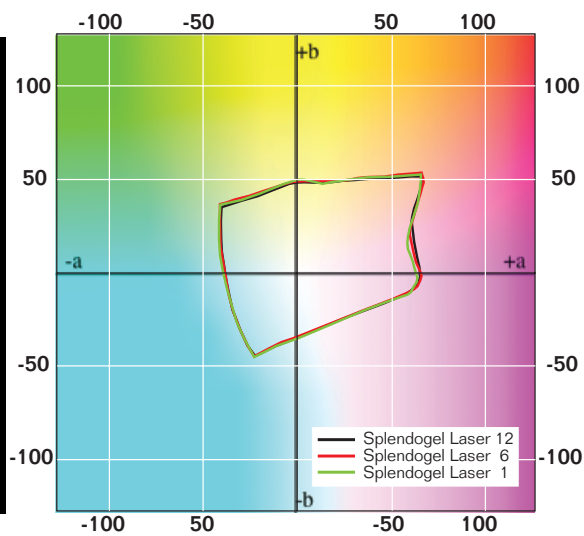


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

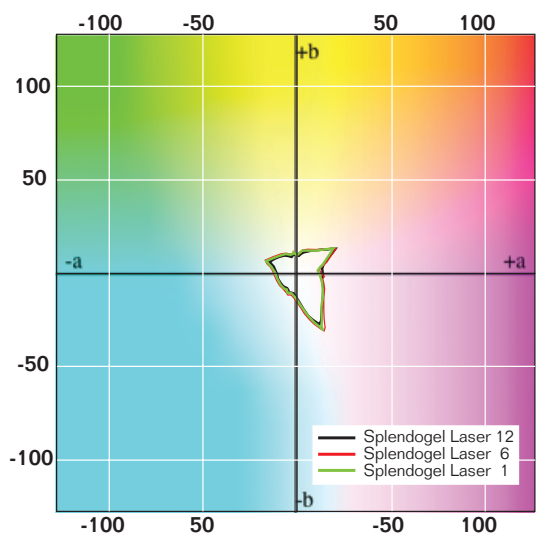
Sl. 58 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom snage laserske glave na Simbol papiru



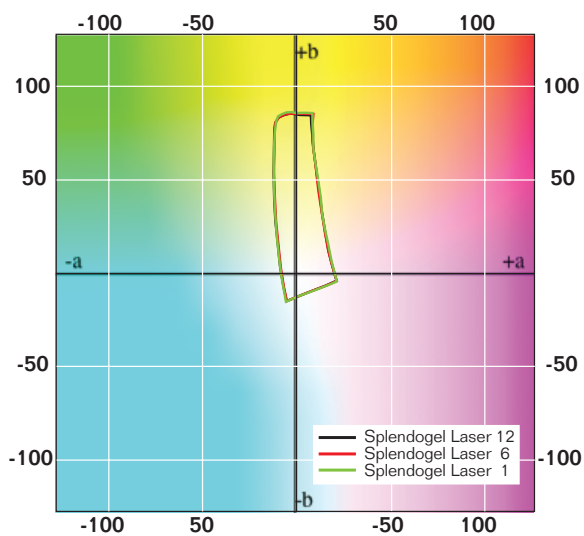
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

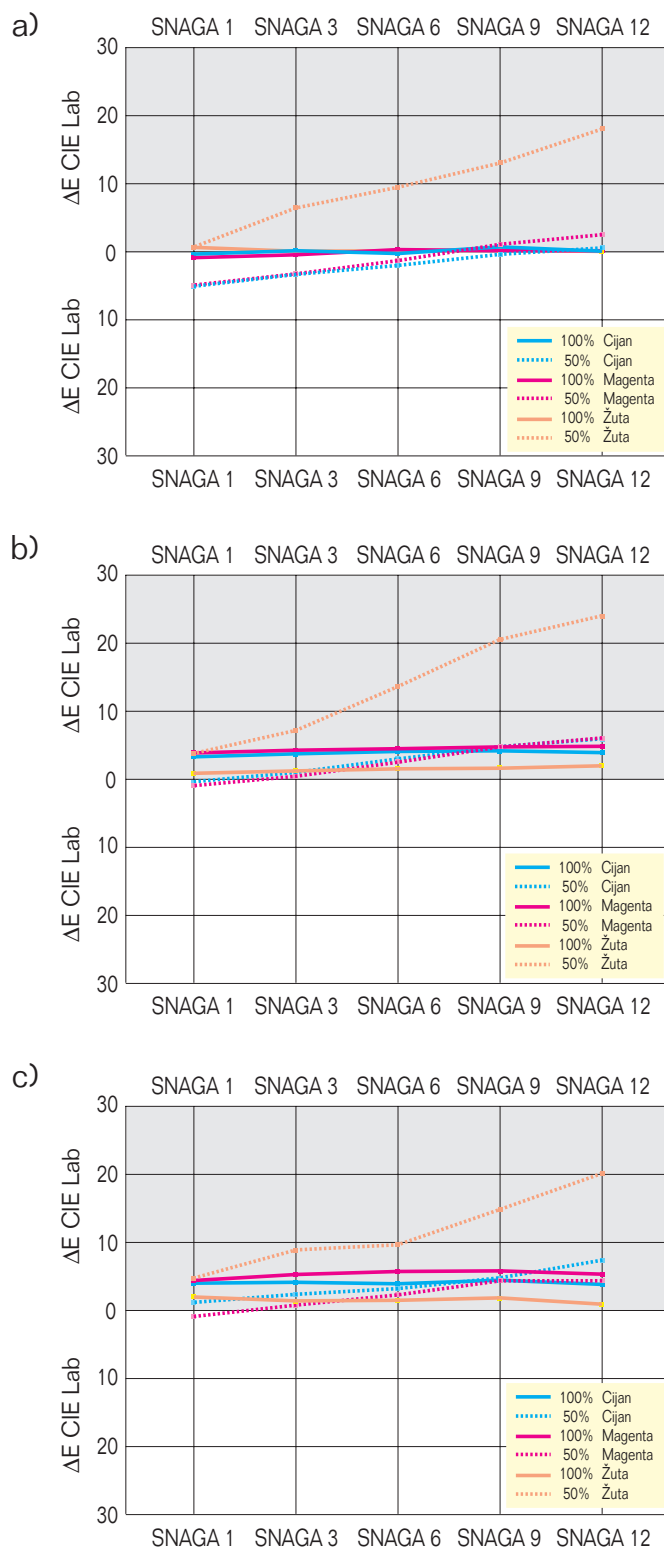


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



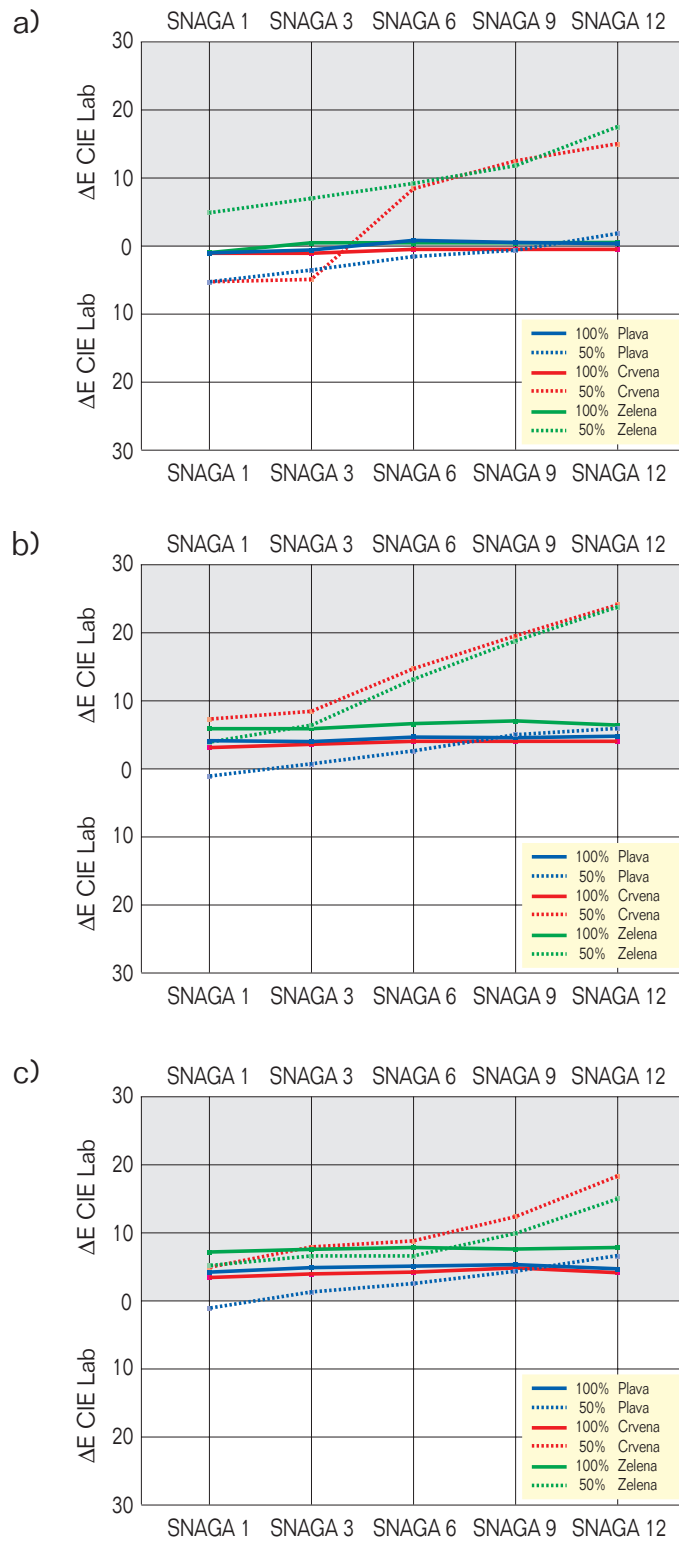
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 59 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom snage laserske glave na Splendogel papiru



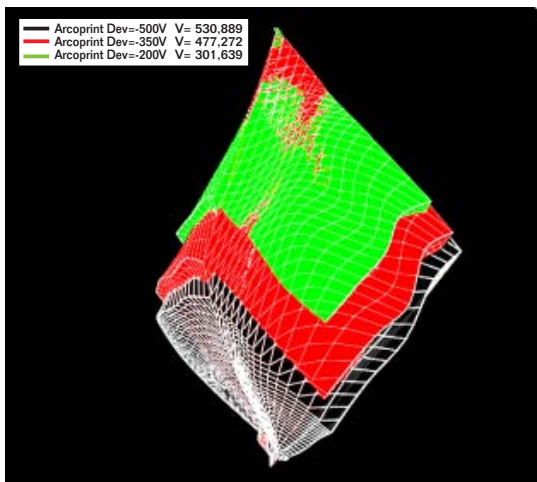
Sl. 60  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom snage lasera na

- Arcoprint papiru
- Simbol papiru
- Splendogel papiru

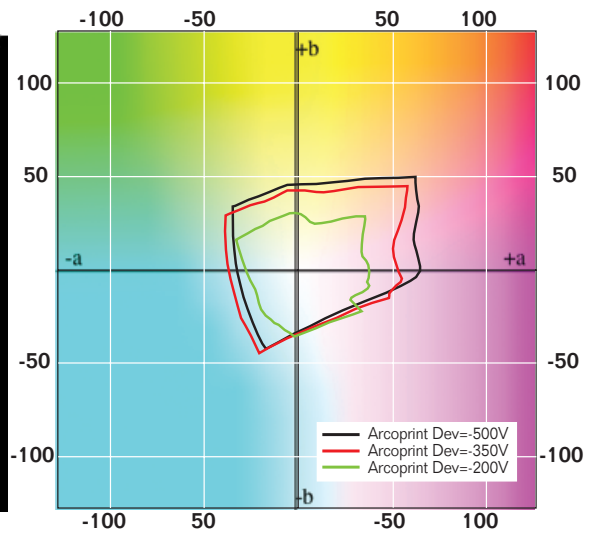


Sl. 61  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom snage lasera na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru

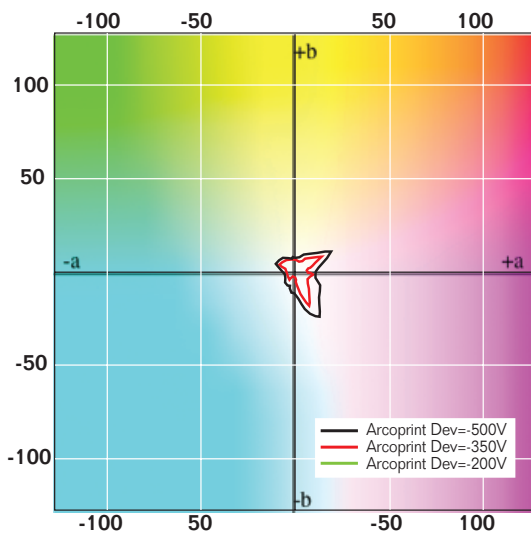




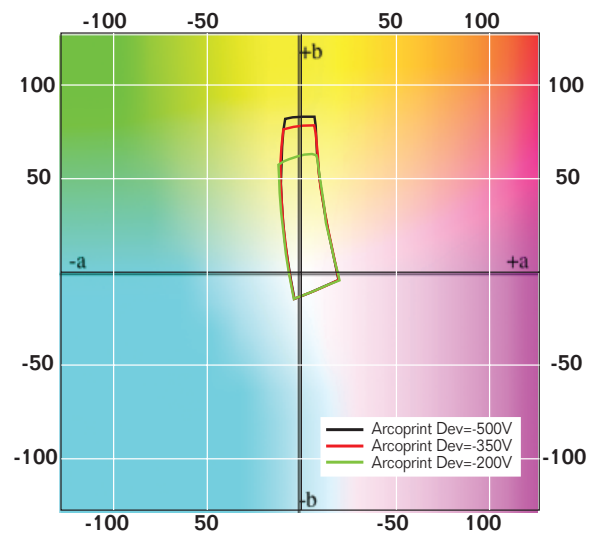
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

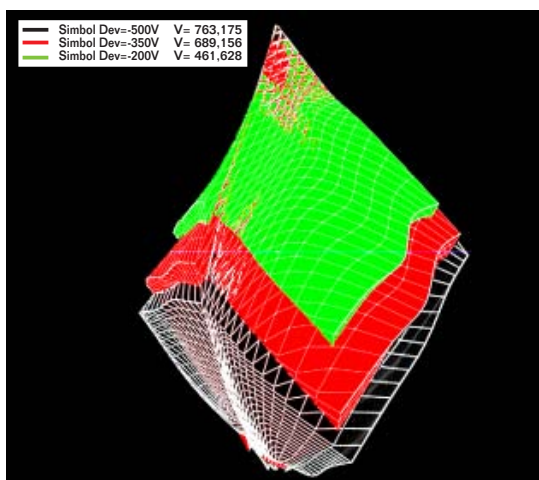


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

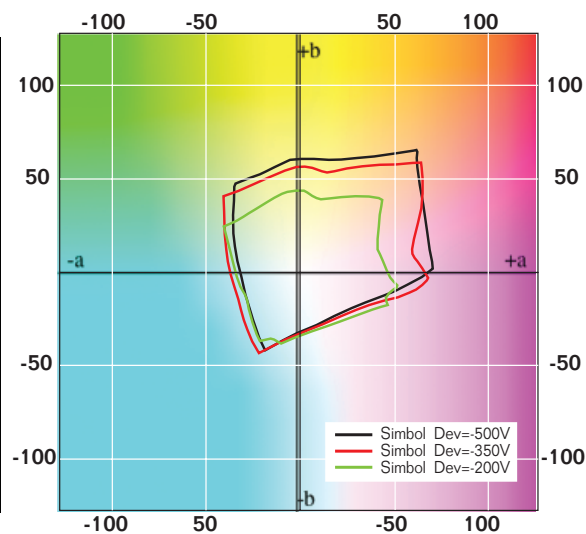


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

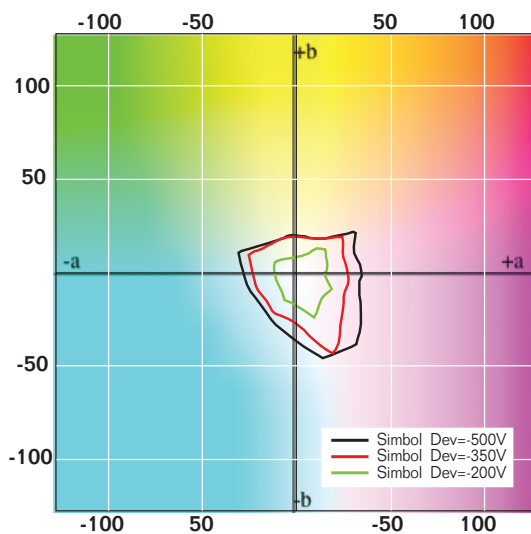
Sl. 62 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona razvijачkog bubnja na Arcoprint papiru



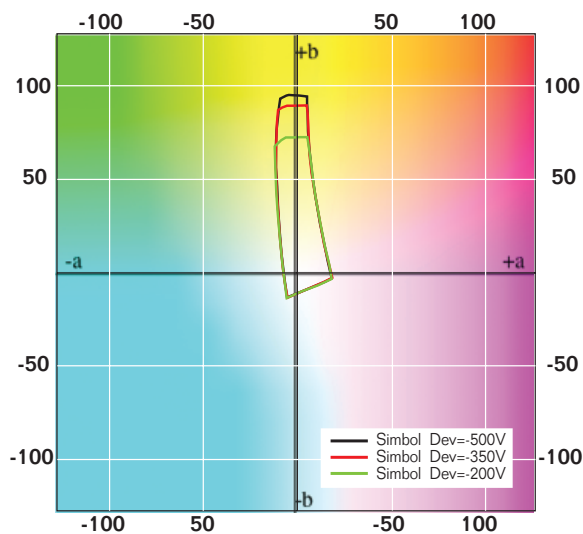
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

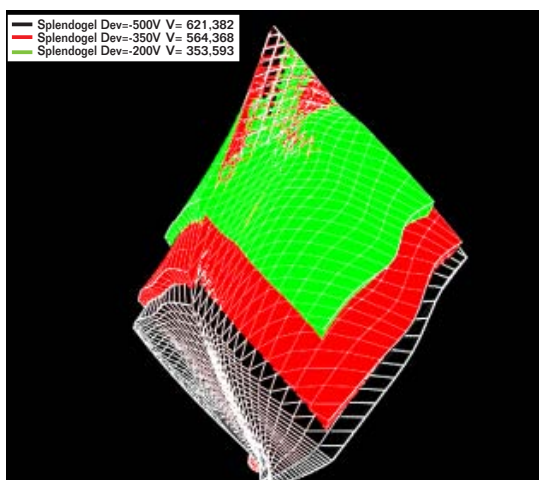


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

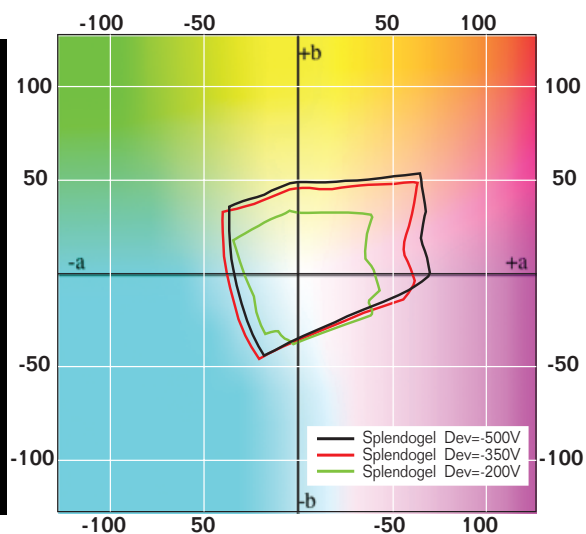


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

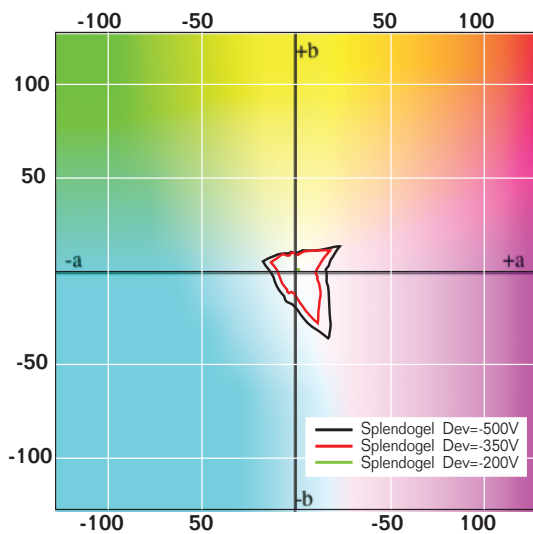
Sl. 63 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona razvijачkog bubnja na Simbol papiru



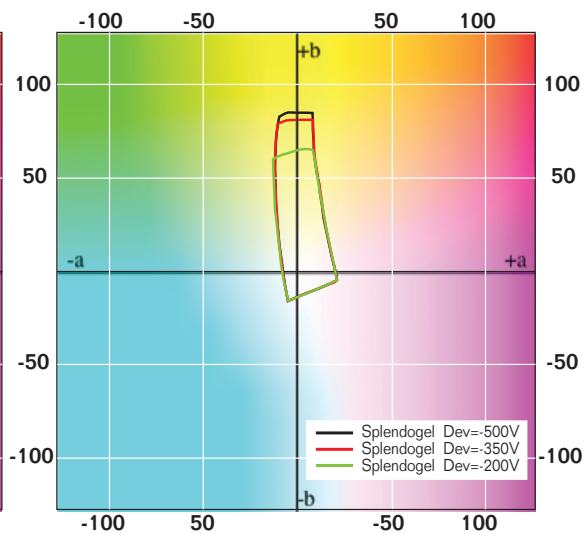
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

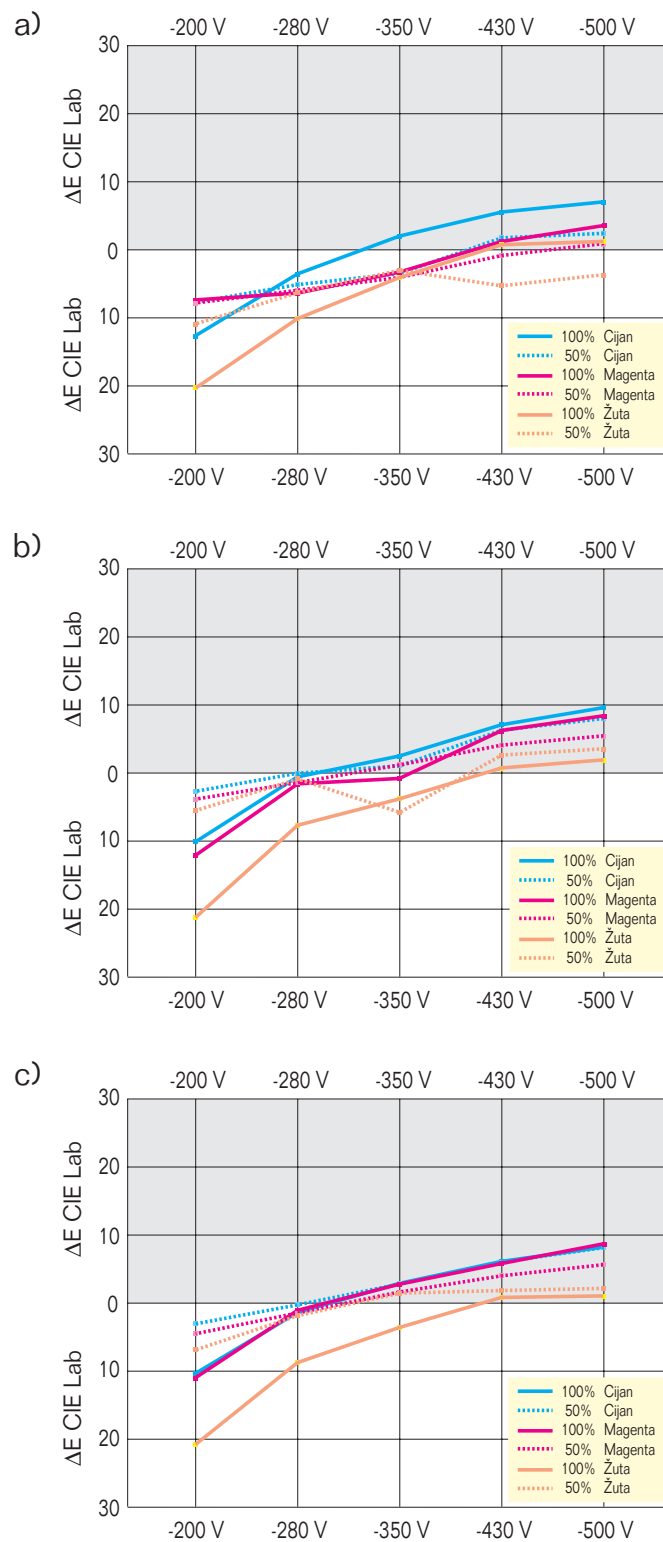


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



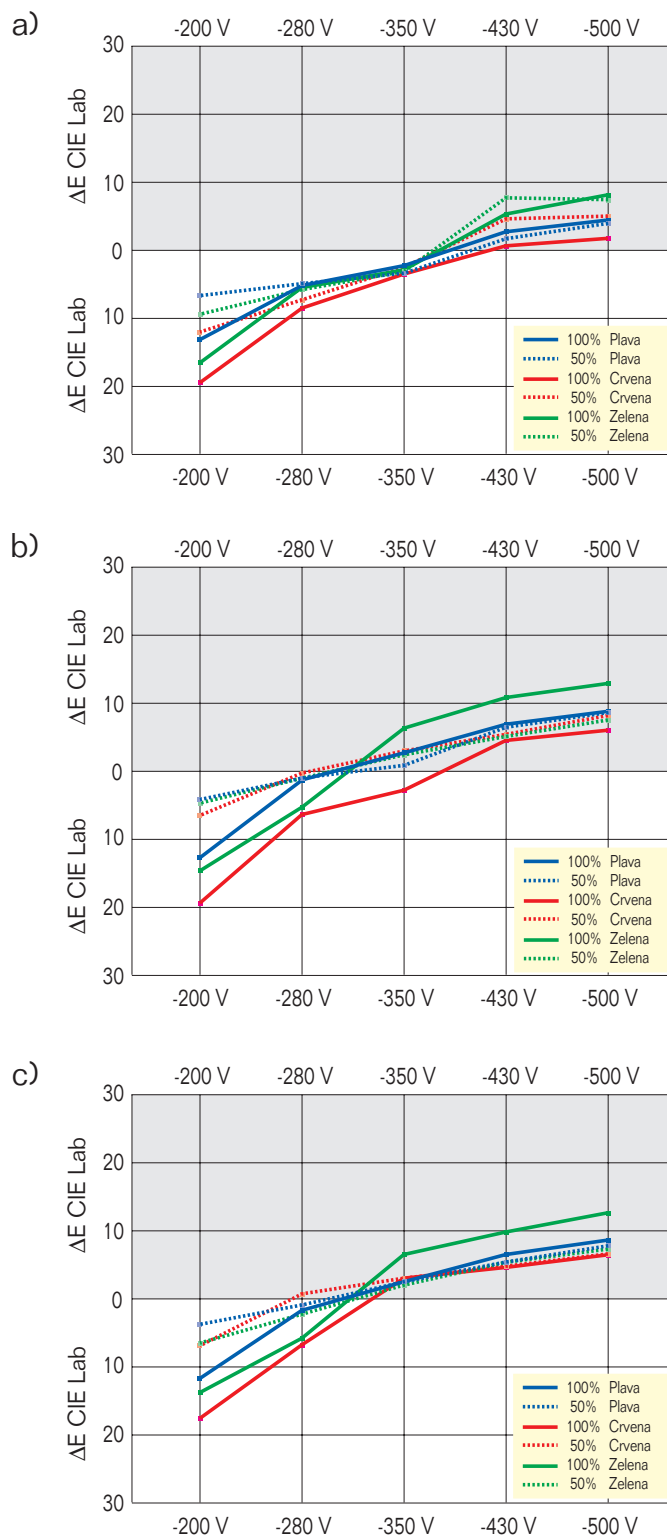
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 64 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona razvijaačkog bubnja na Splendogel papiru



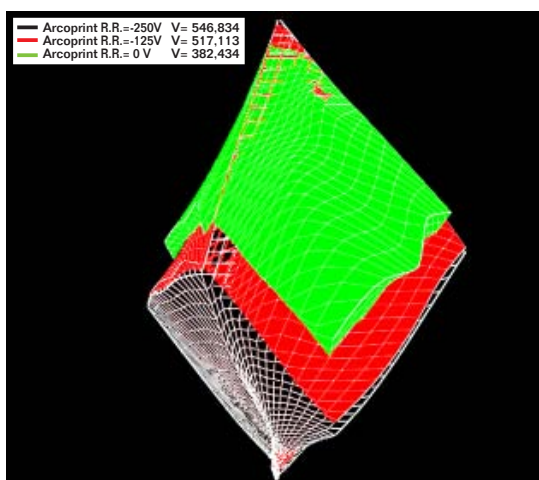
Sl. 65  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona razvijackog bubnja na

- a) Arcoprint papiru
- b) Simbol papiru
- c) Splendogel papiru

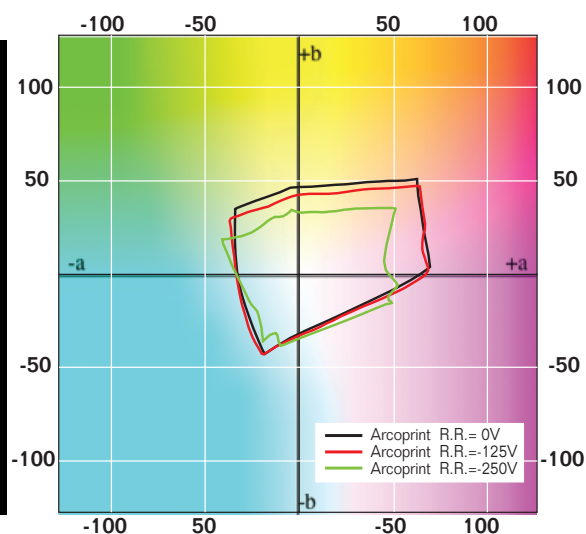


Sl. 66  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona razvijackog bubnja na

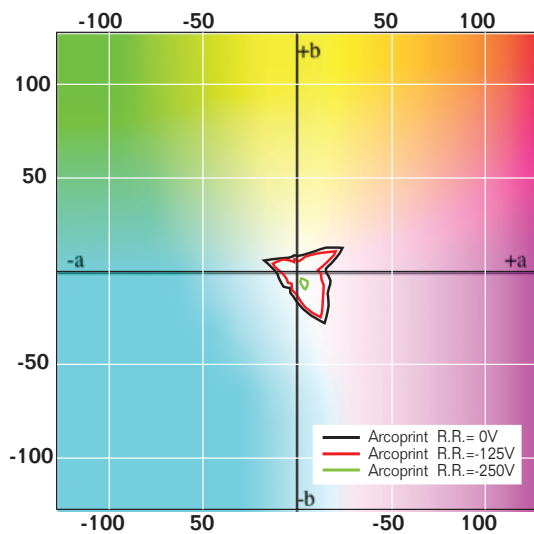
- a) Arcoprint papiru
- b) Simbol papiru
- c) Splendogel papiru



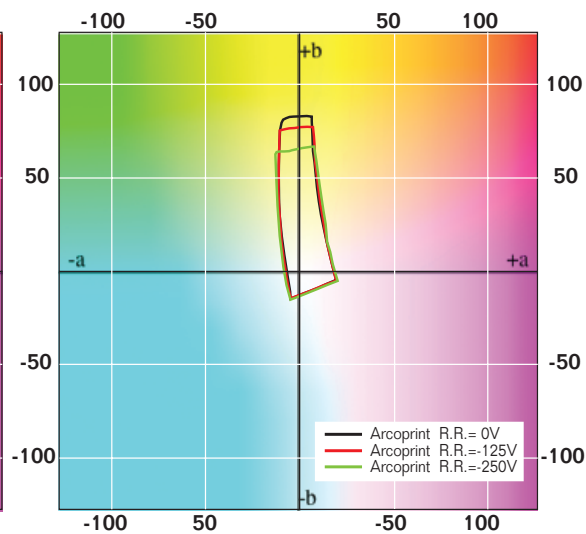
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

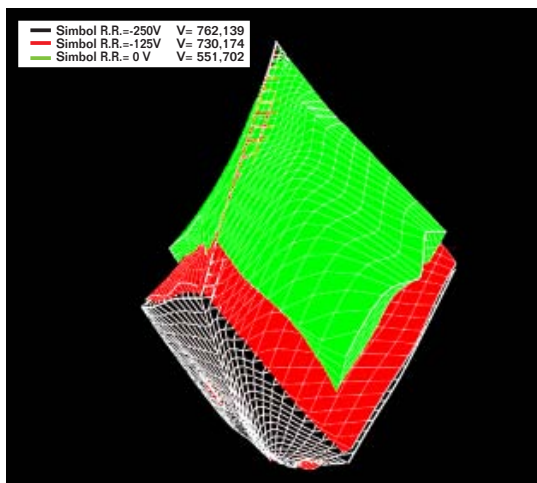


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

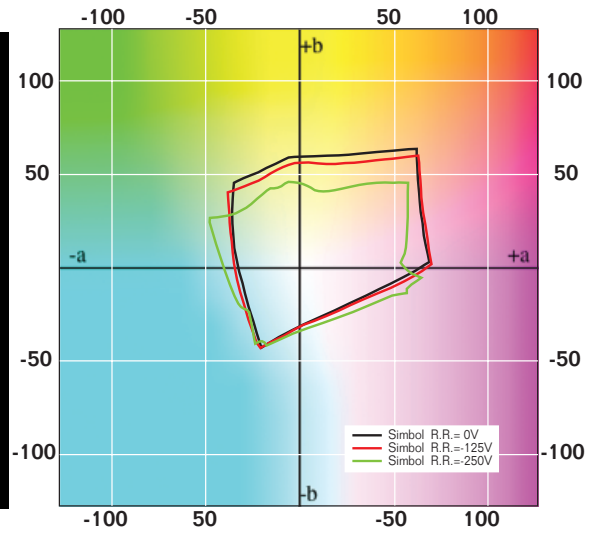


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

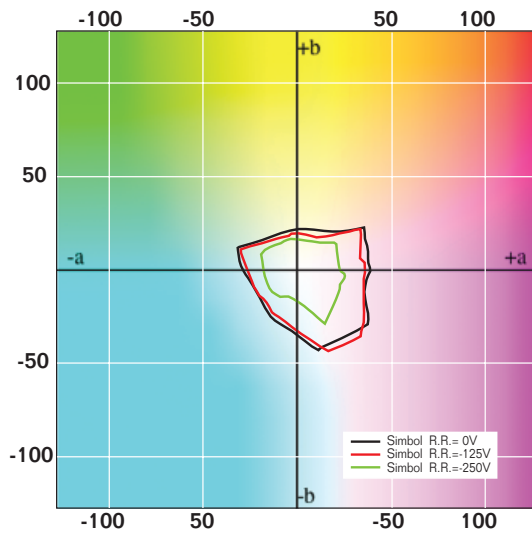
Sl. 67 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona povratnih valjaka na Arcoprint papiru



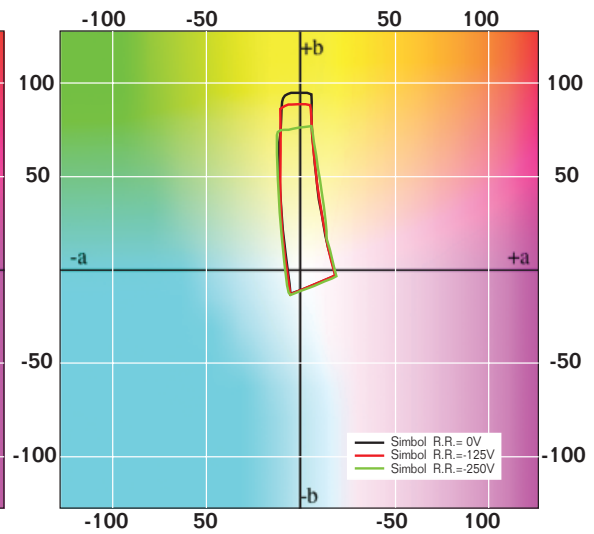
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

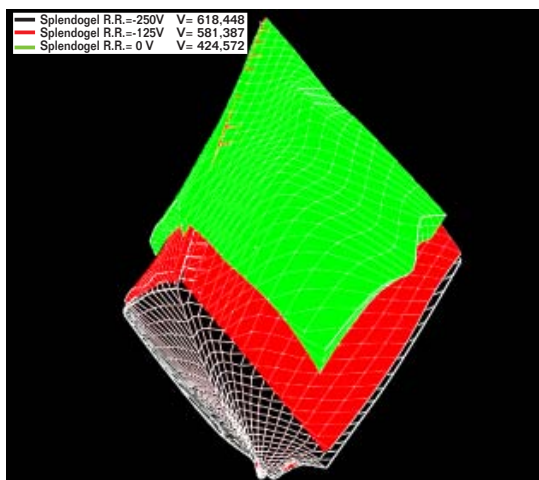


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

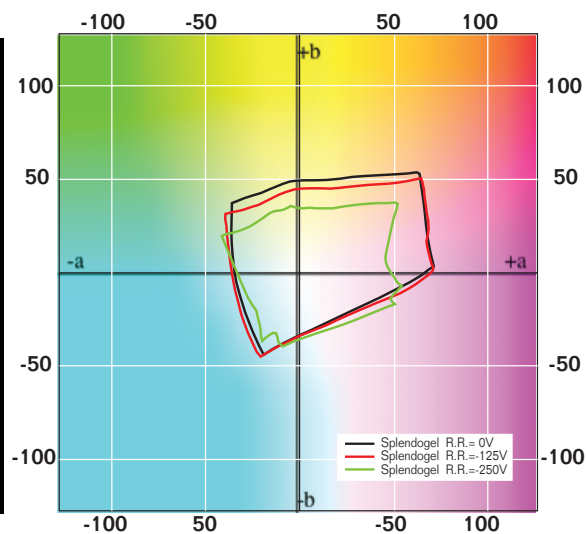


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

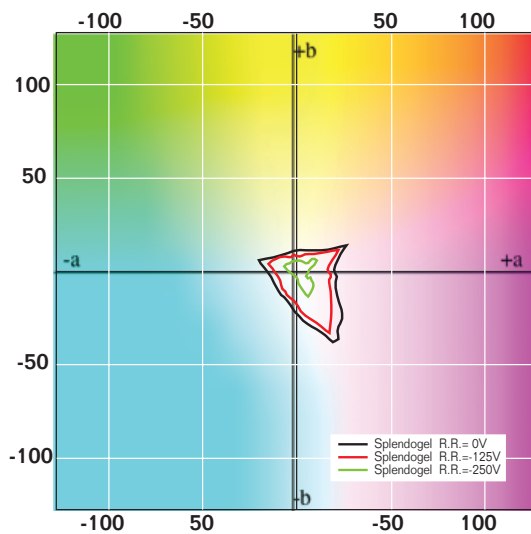
Sl. 68 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona povratnih valjaka na Simbol papiru



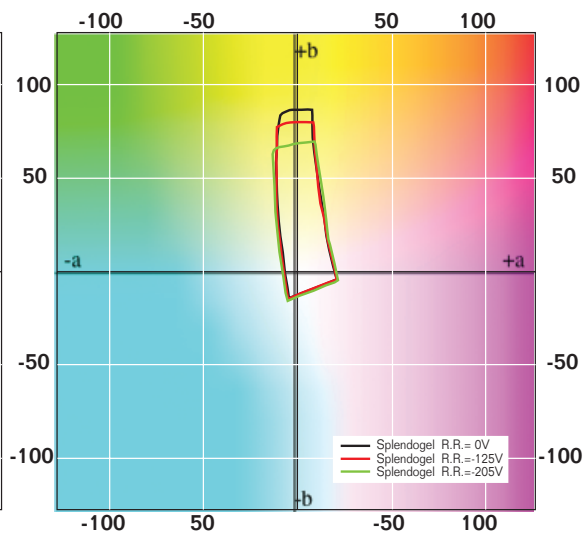
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50



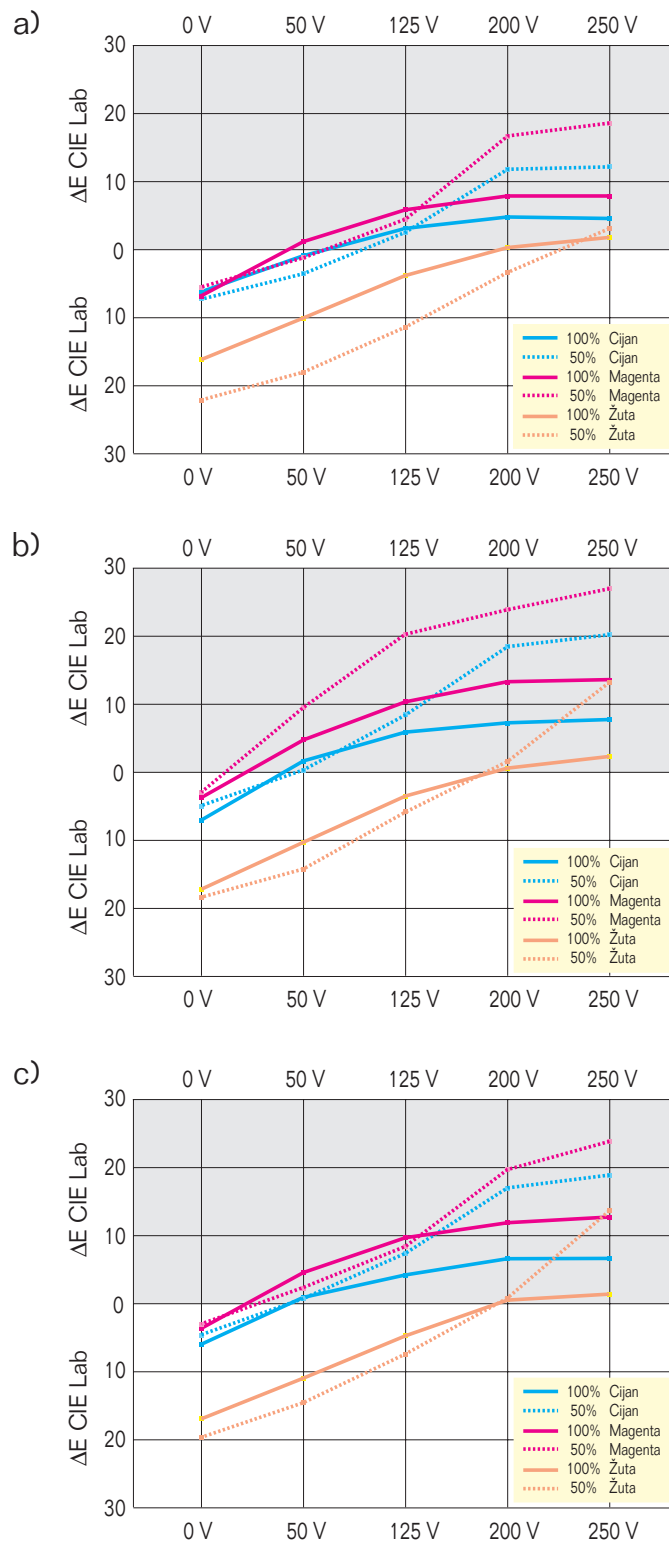
c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



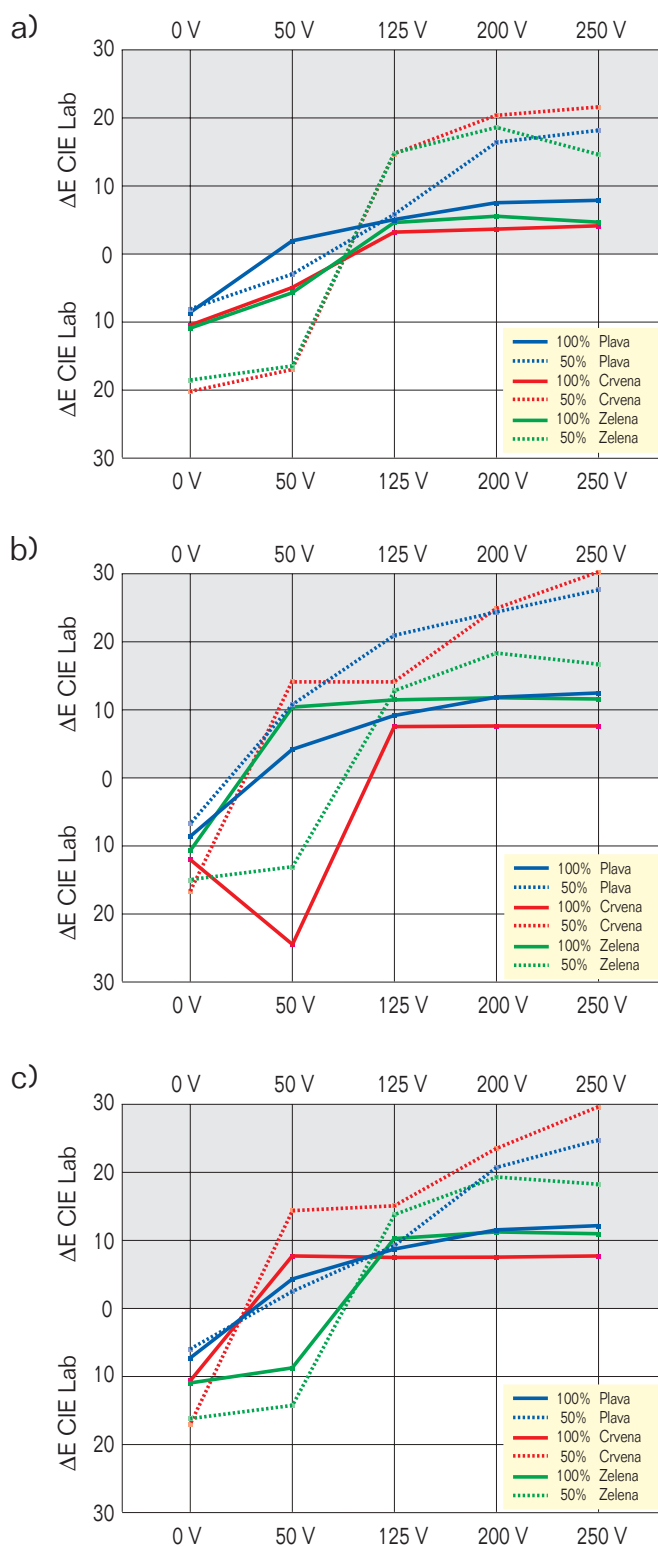
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 69 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona povratnih valjaka na Splendogel papiru

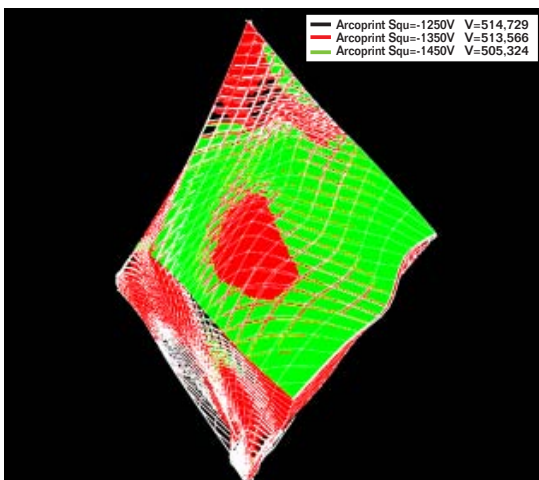




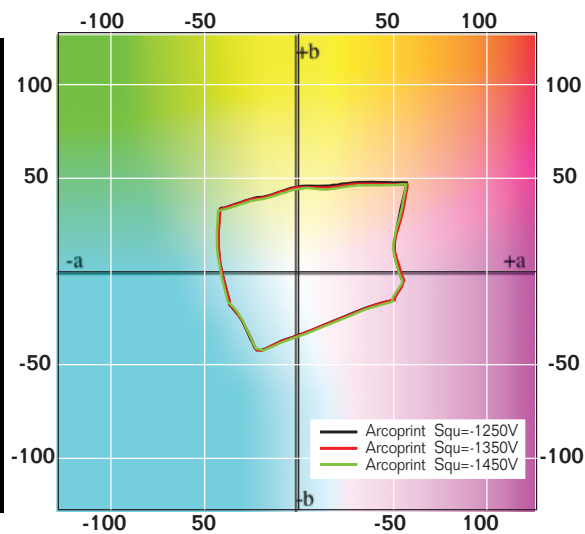
Sl. 70  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona povratnih valjaka na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



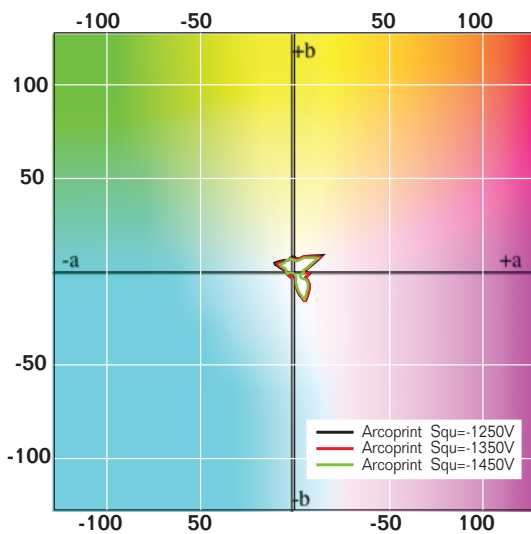
Sl. 71  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona povratnih valjaka na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Symbol papiru  
 c) Splendogel papiru



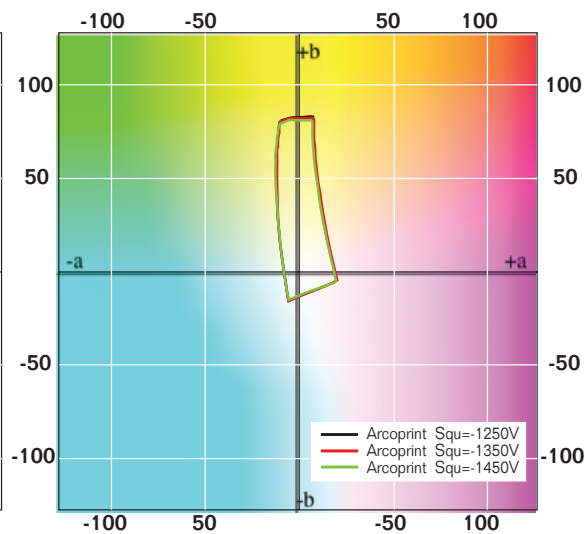
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

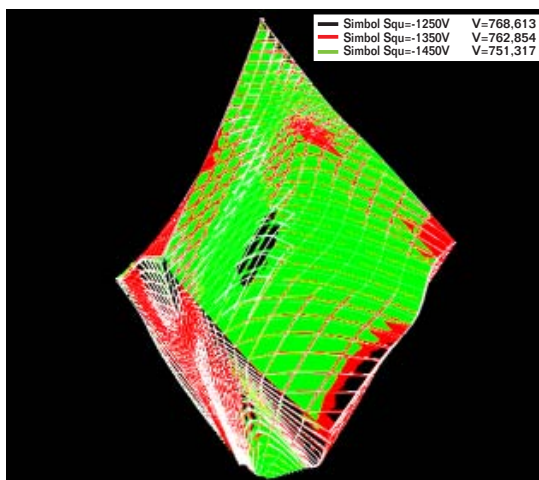


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

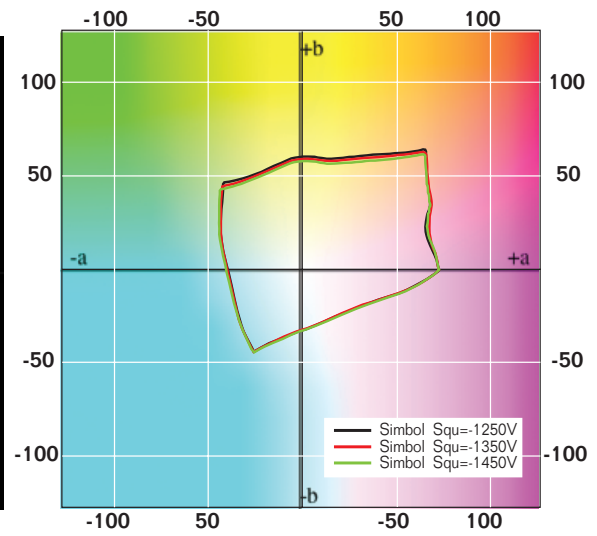


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

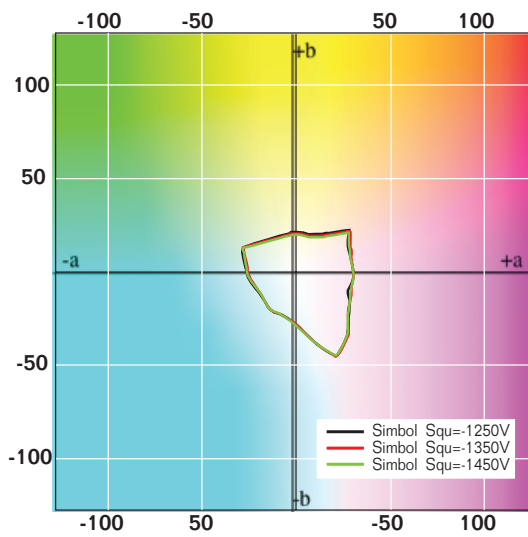
Sl. 72 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona squeegee valjka na Arcoprint papiru



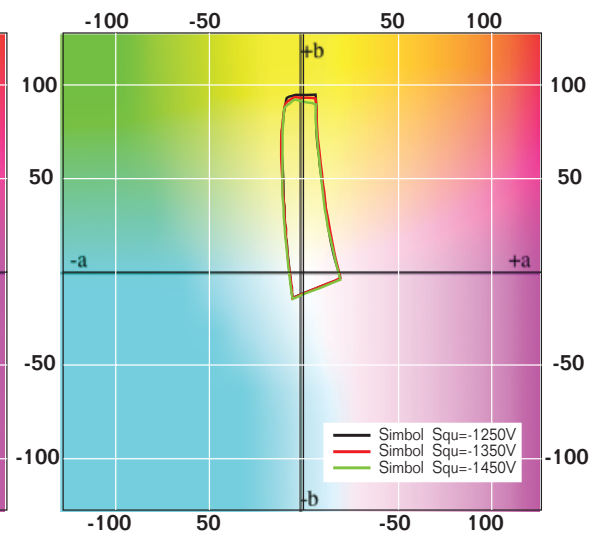
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

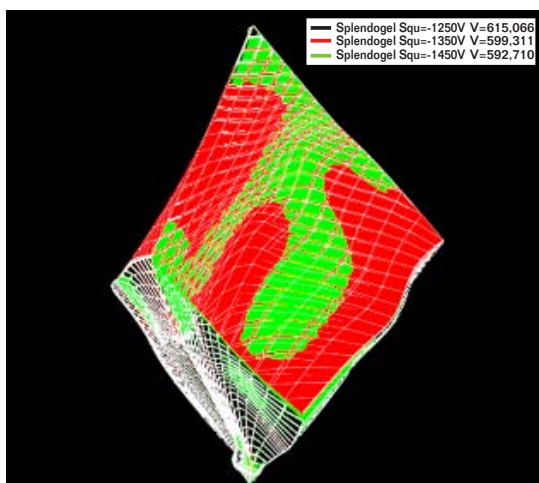


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

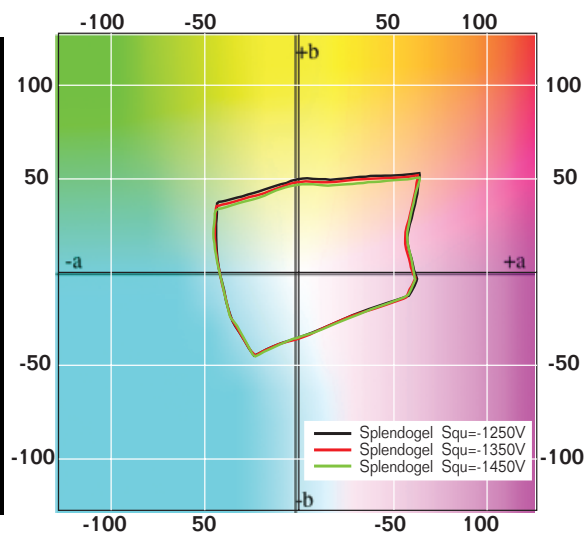


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

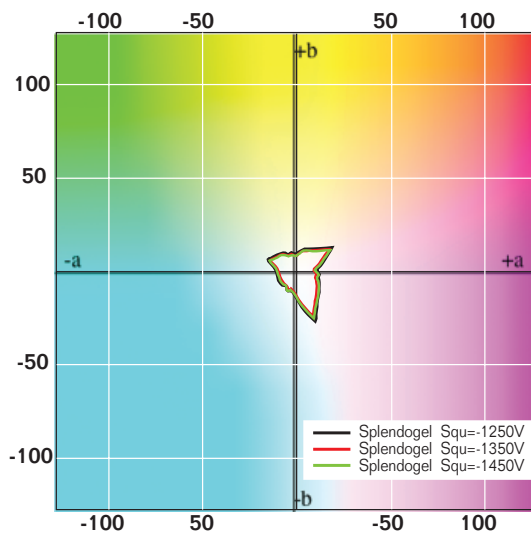
Sl. 73 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona squeezee valjka na Simbol papiru



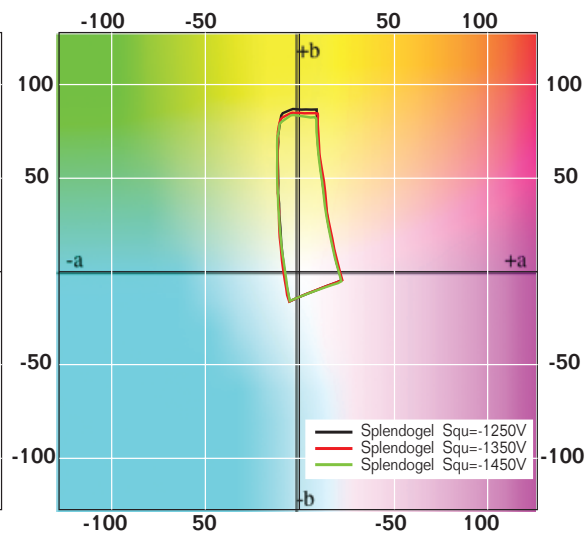
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

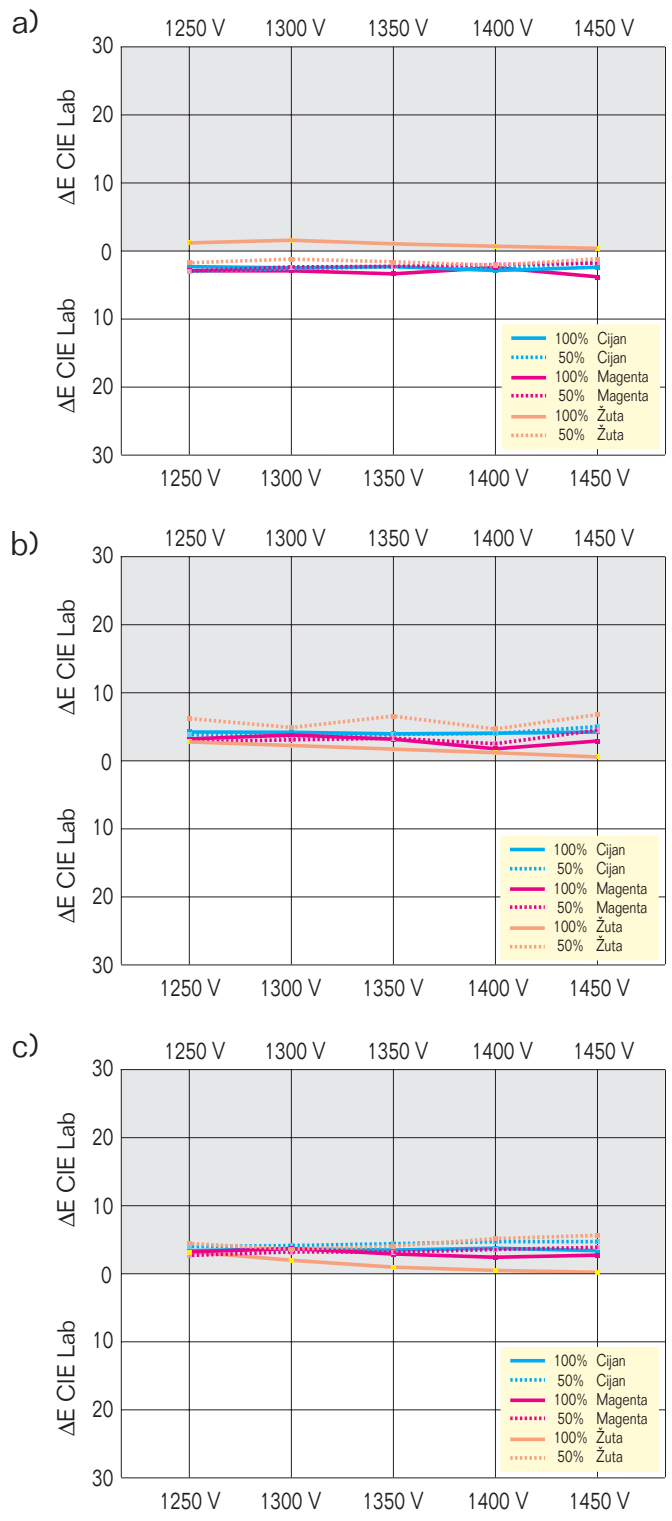


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



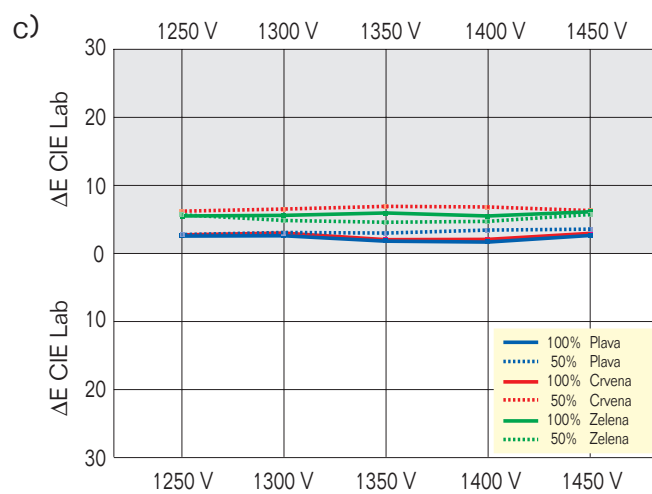
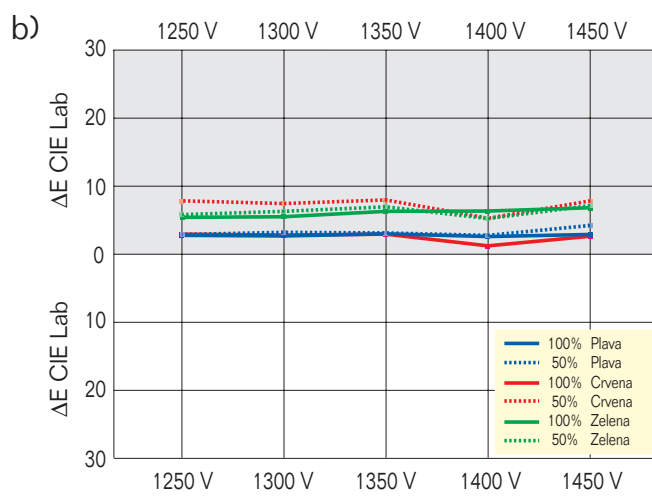
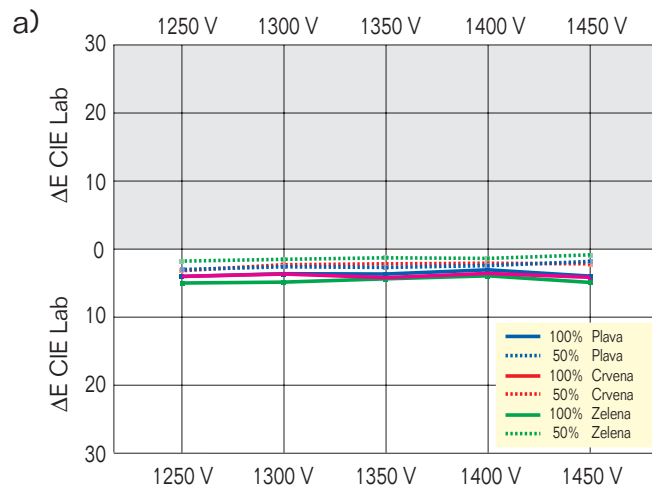
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 74 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona squeegee valjka na Splendogel papiru

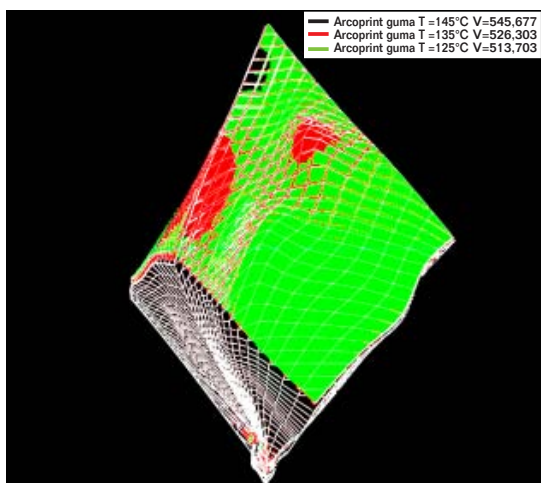


SI. 75  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona squeegee valjka na

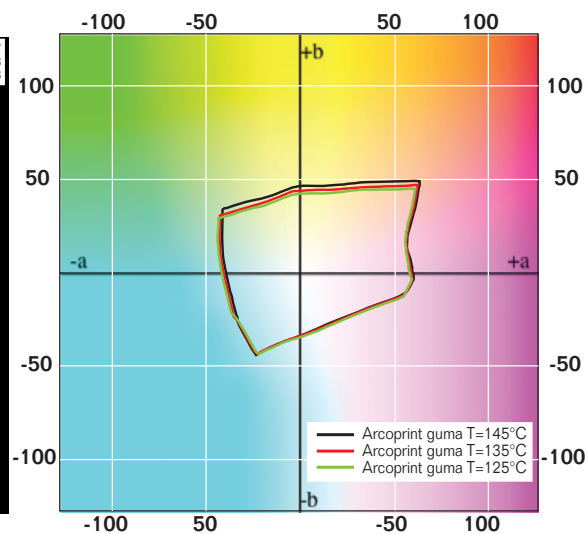
- a) Arcoprint papiru
- b) Simbol papiru
- c) Splendogel papiru



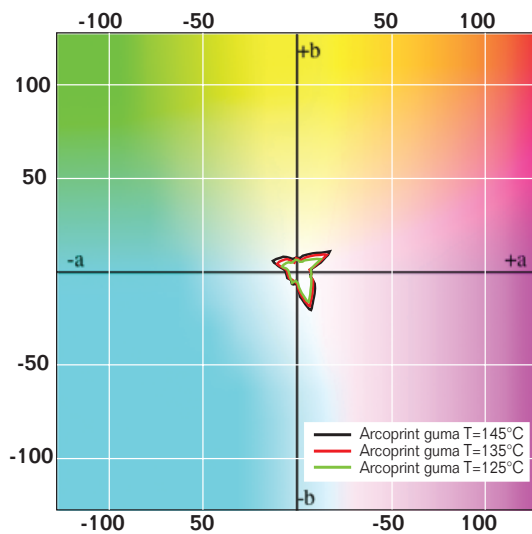
SI. 76  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona squeegee valjka na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



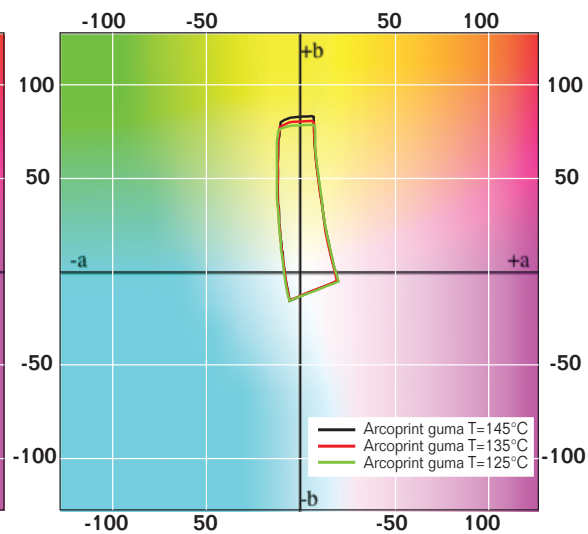
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50



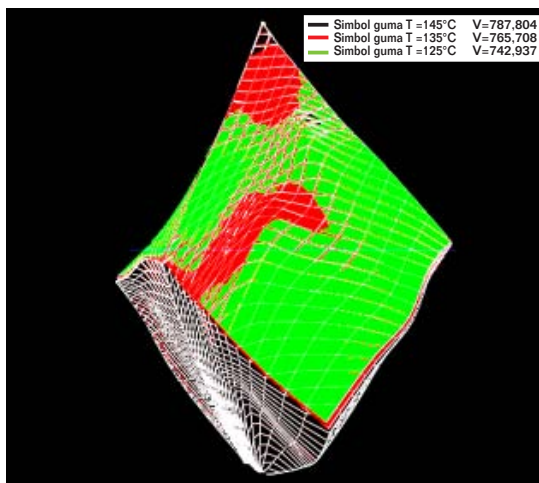
c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



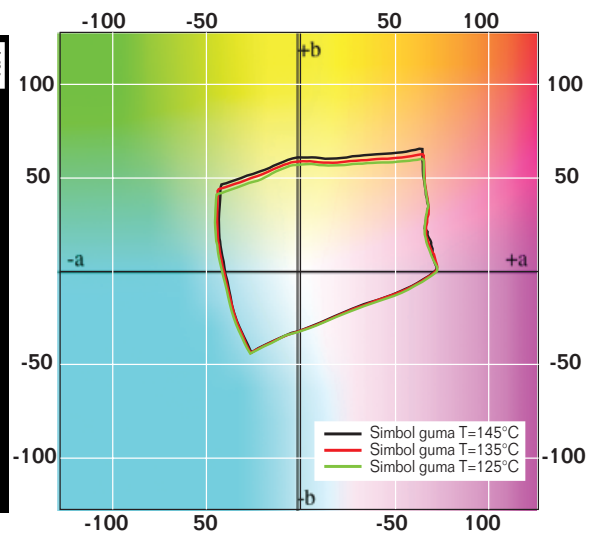
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 77 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom temperature ofsetnog cilindra na Arcoprint papiru

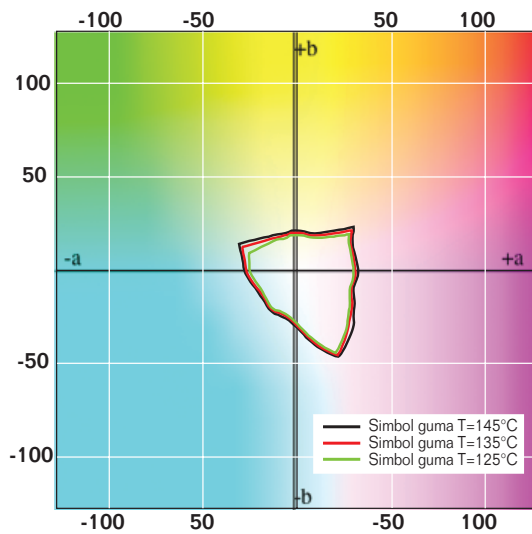




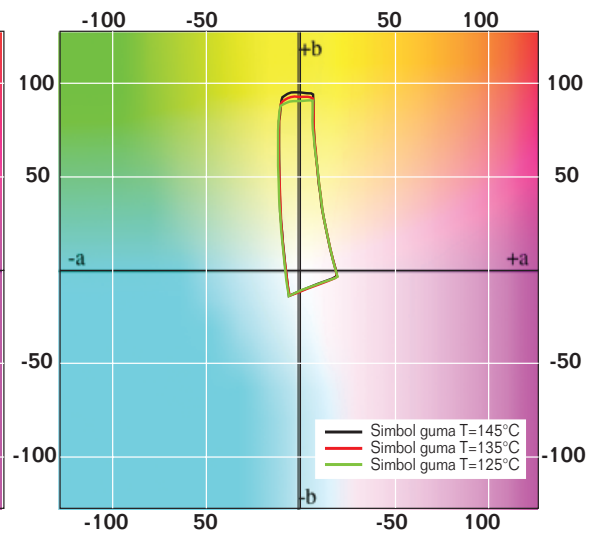
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

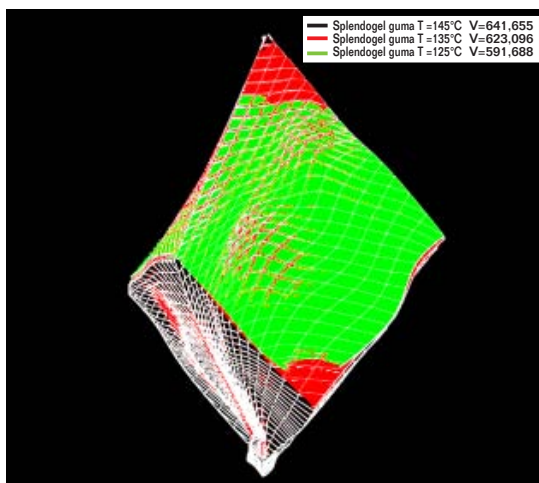


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

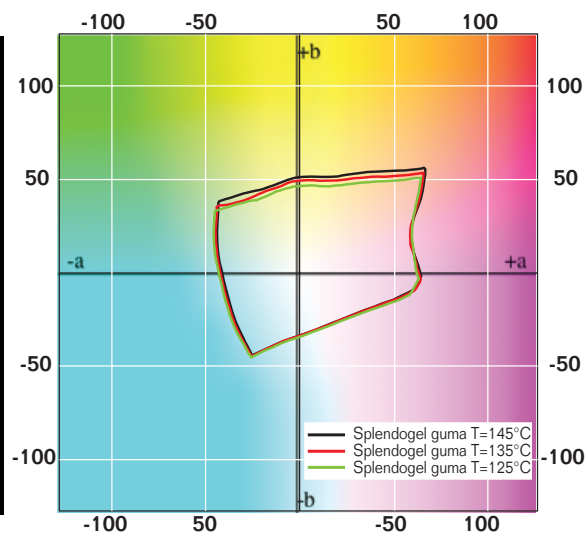


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

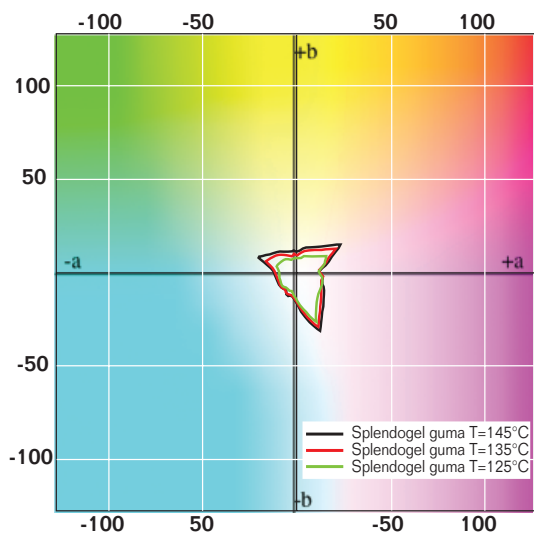
Sl. 78 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom temperature ofsetnog cilindra na Simbol papiru



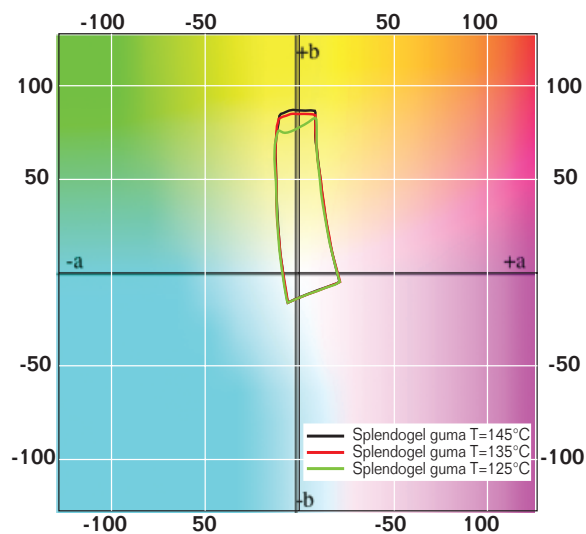
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

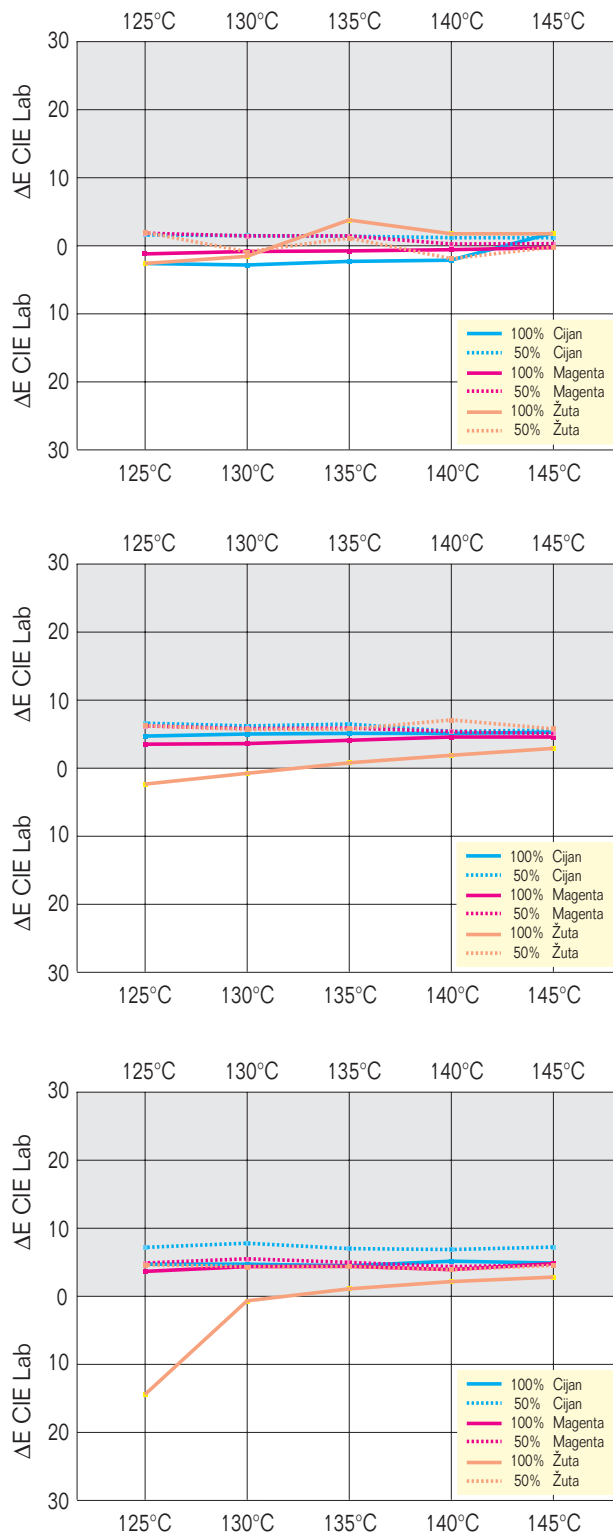


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



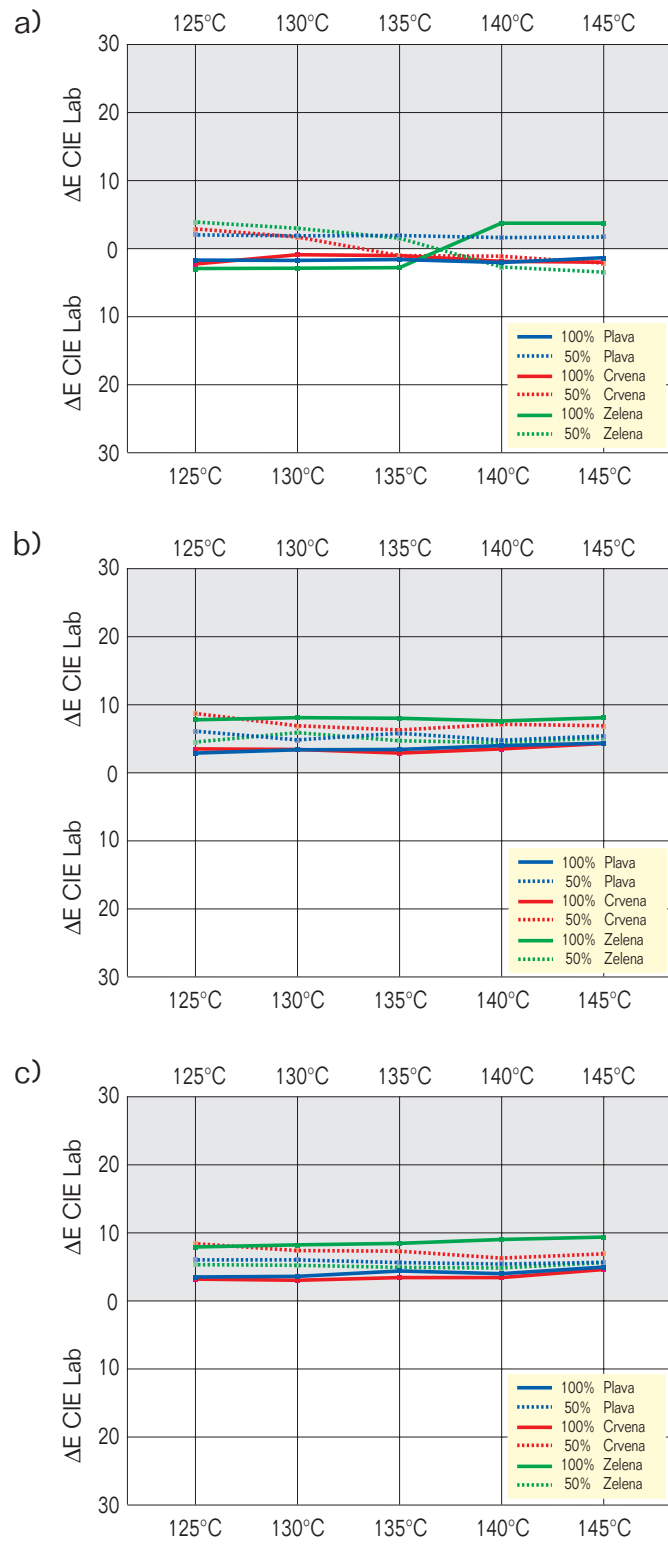
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 79 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom temperature ofsetnog cilindra na Splendogel papiru

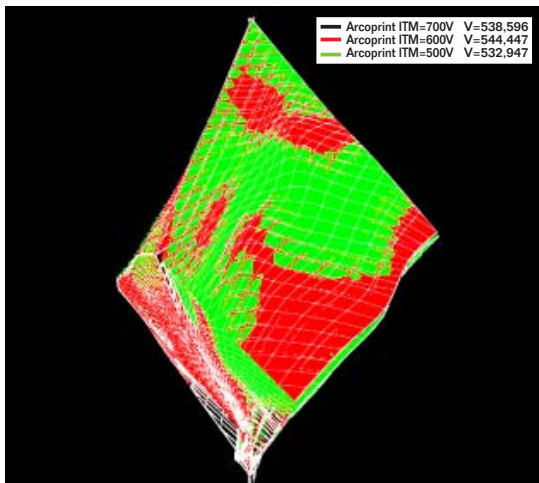


Sl. 80  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom temperature ofsetnog cilindra na

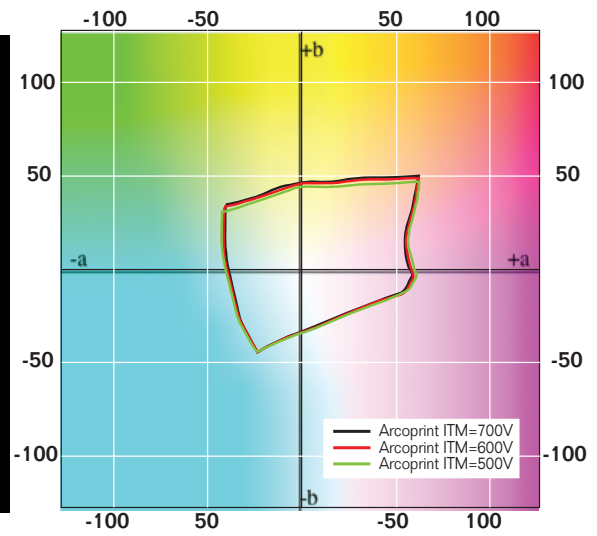
- a) Arcoprint papiru
- b) Simbol papiru
- c) Splendogel papiru



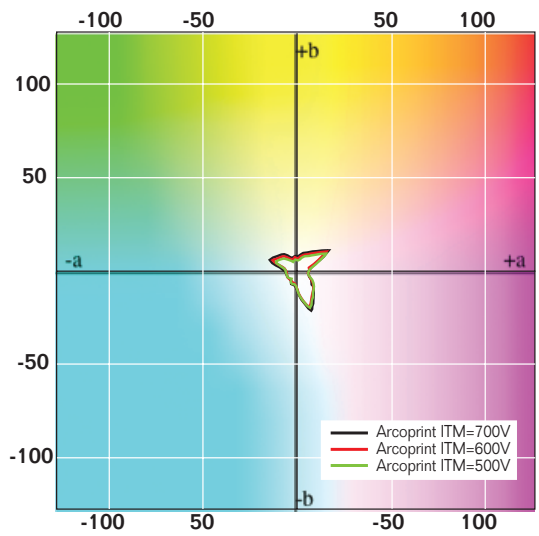
SI. 81  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom temperature ofsetnog cilindra na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



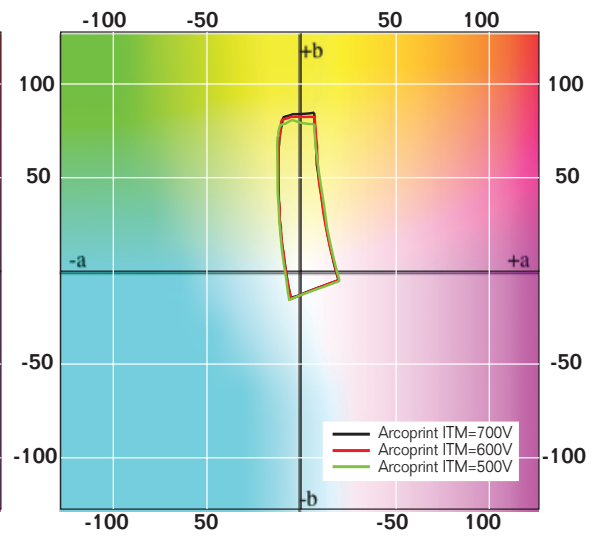
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

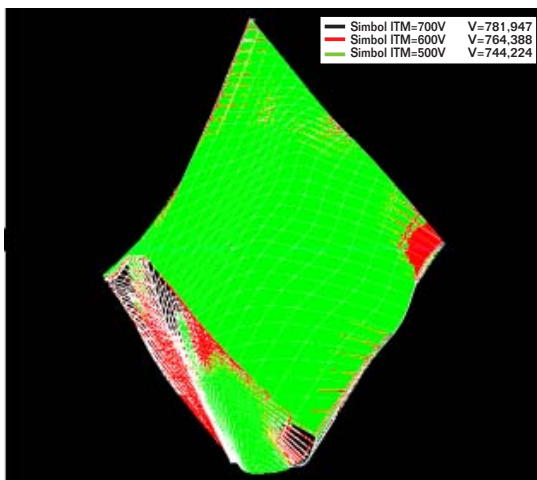


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

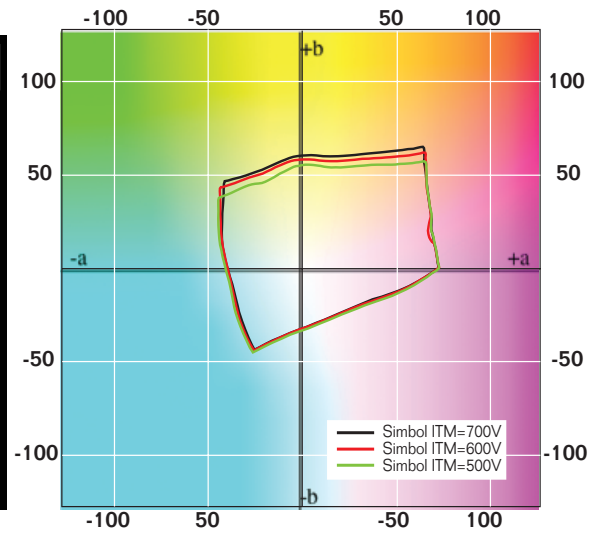


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

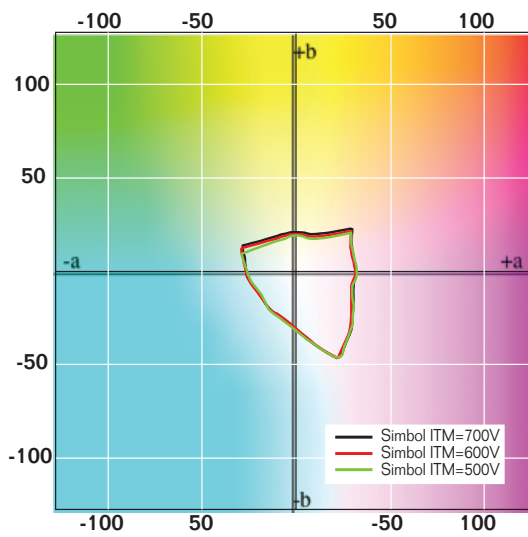
Sl. 82 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona ofsetnog cilindra na Arcoprint papiru



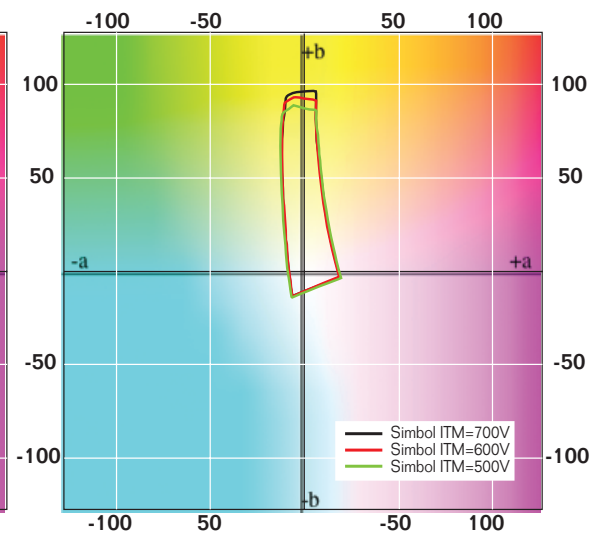
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

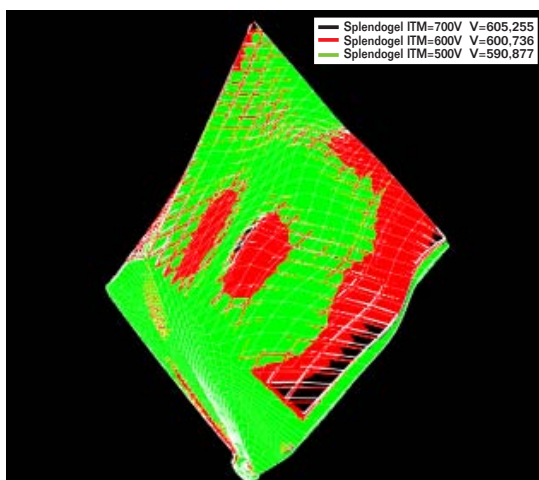


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

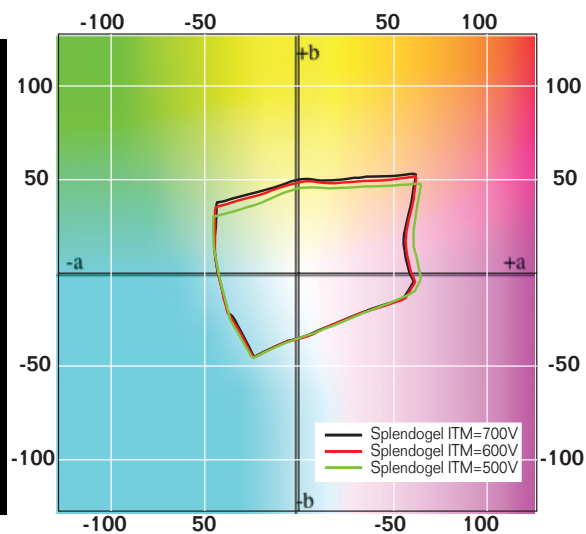


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

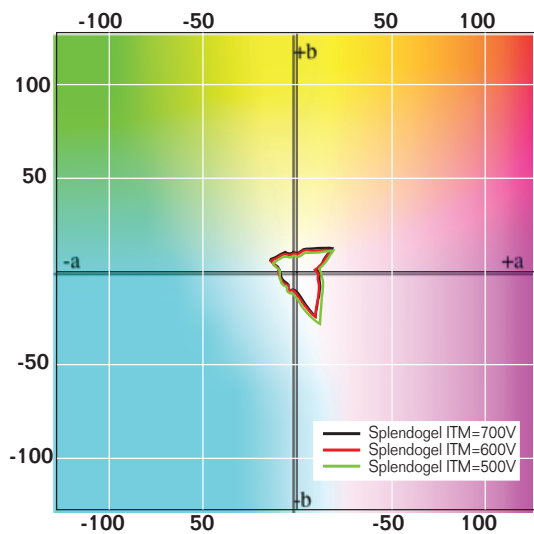
Sl. 83 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona ofsetnog cilindra na Simbol papiru



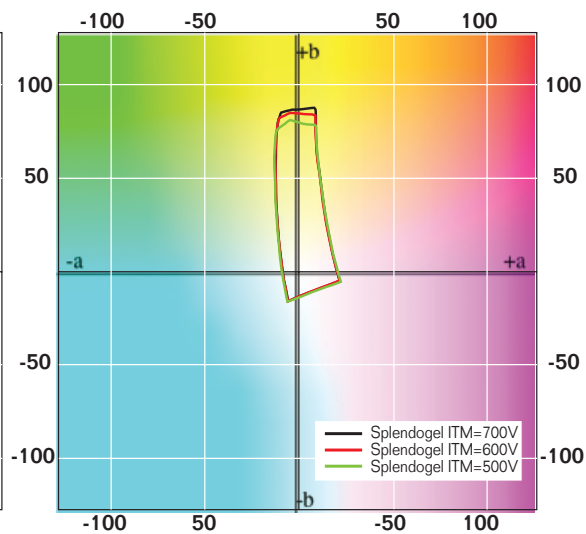
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

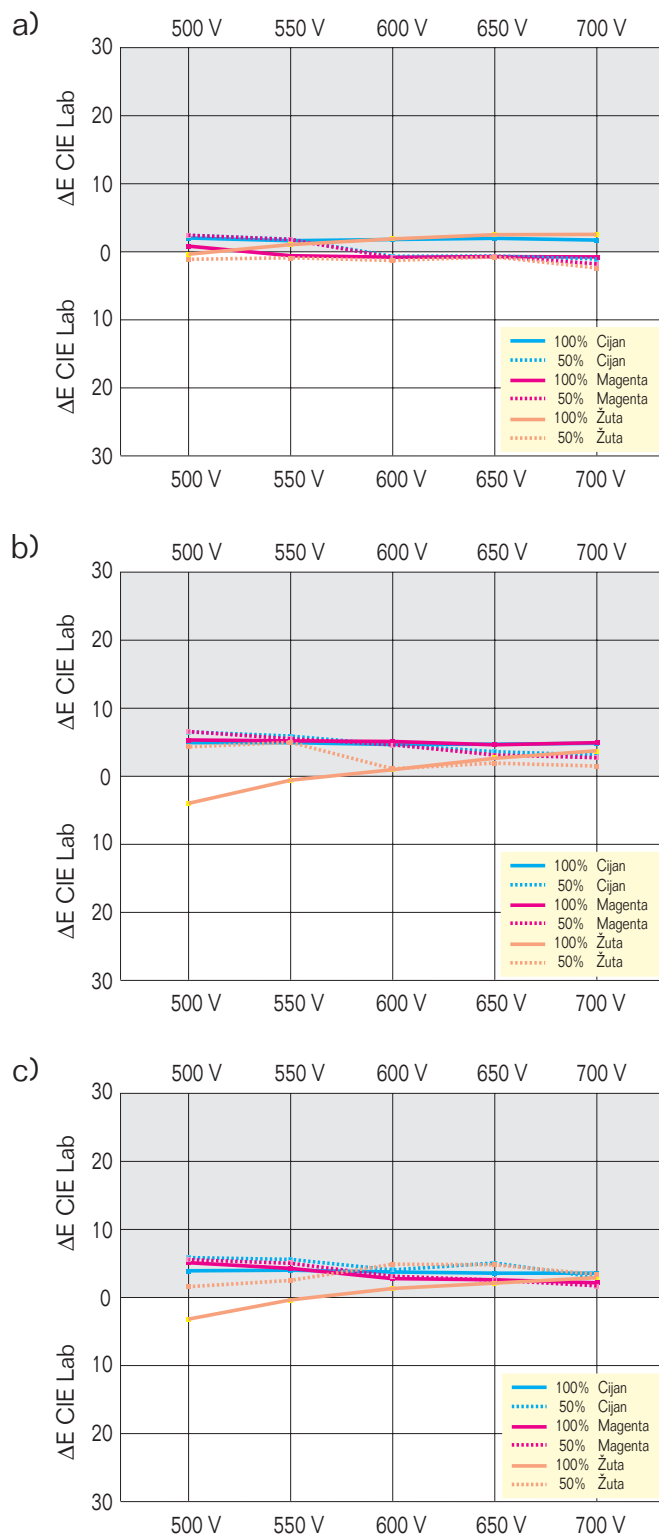


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



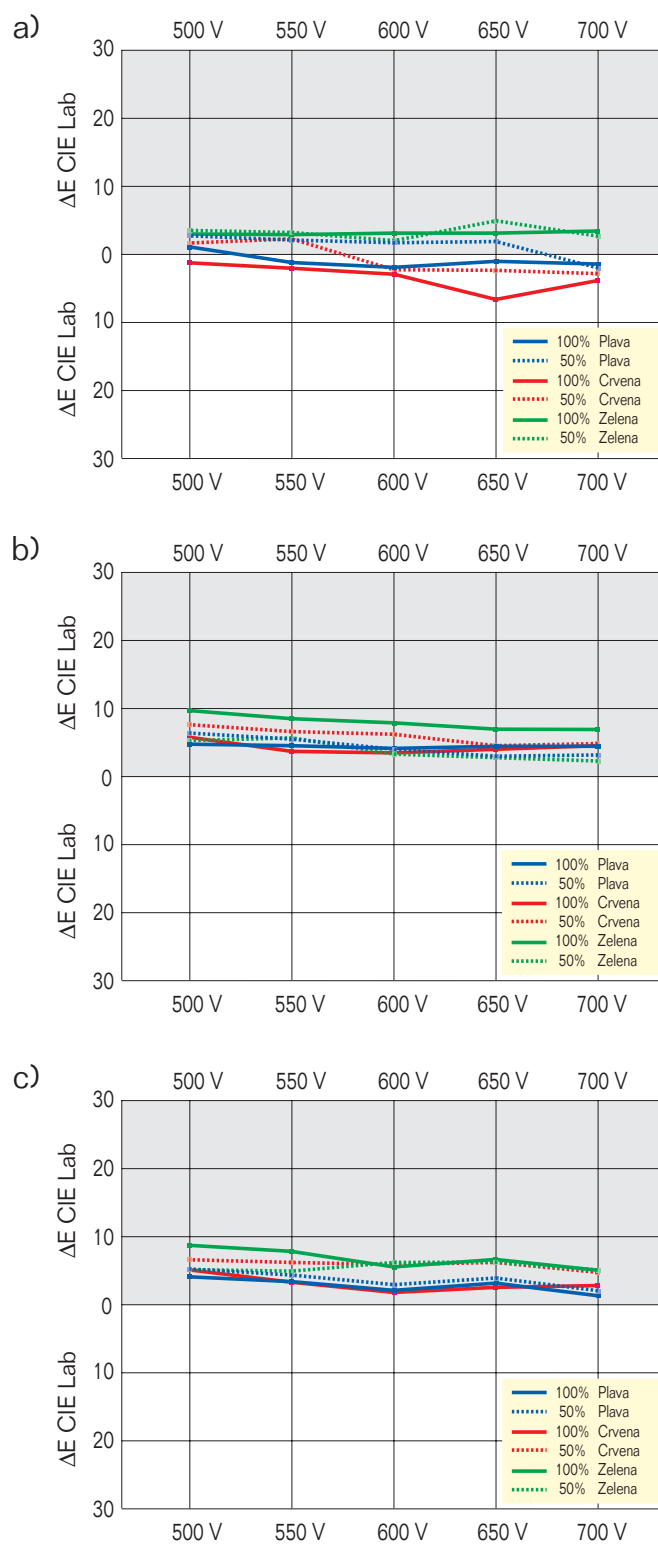
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 84 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona ofsetnog cilindra na Splendogel papiru

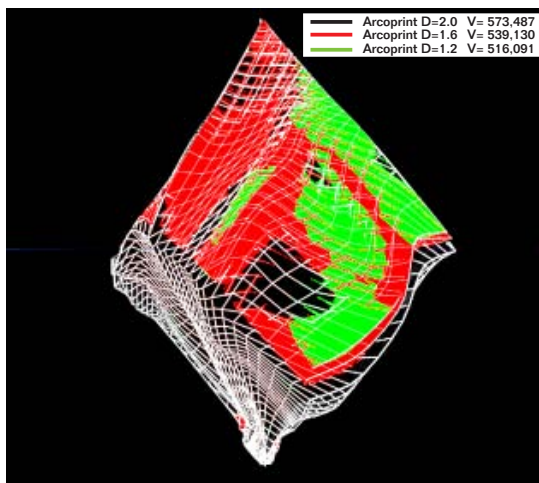


Sl. 85  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona ofsetnog cilindra na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru

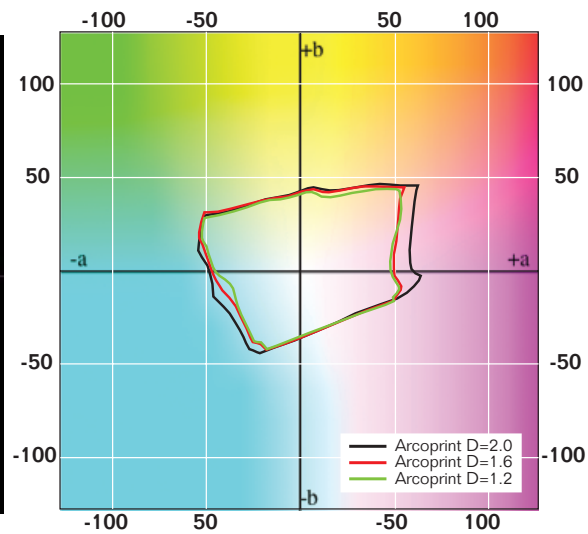




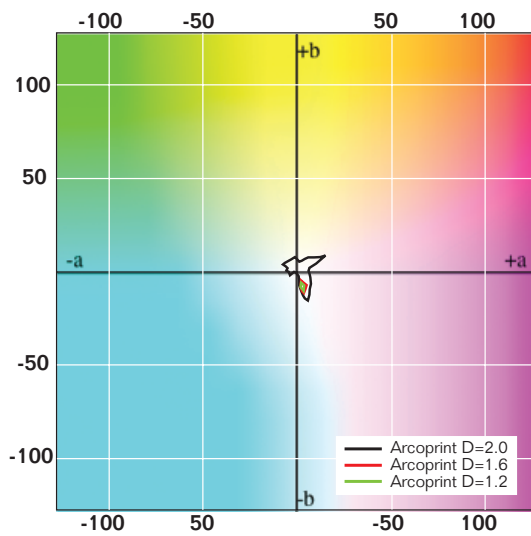
SI. 86  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona ofsetnog cilindra na  
 a) Arcoprint papiru  
 b) Simbol papiru  
 c) Splendogel papiru



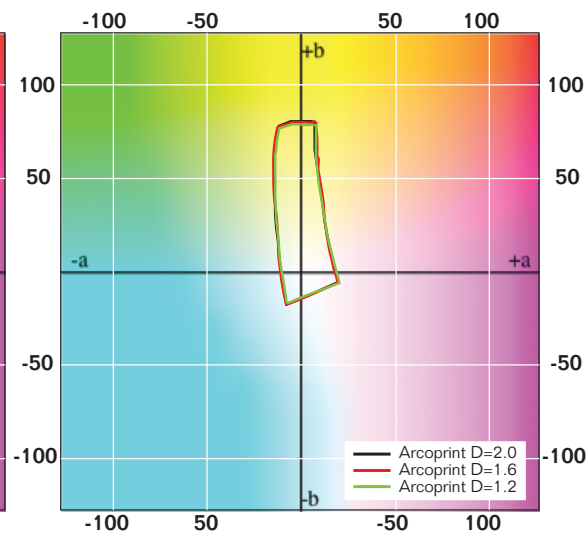
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

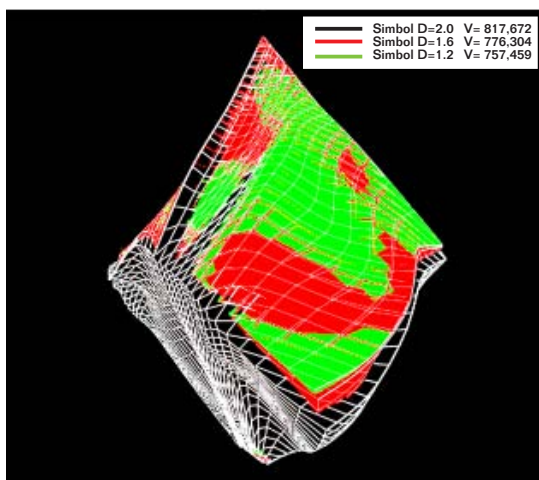


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

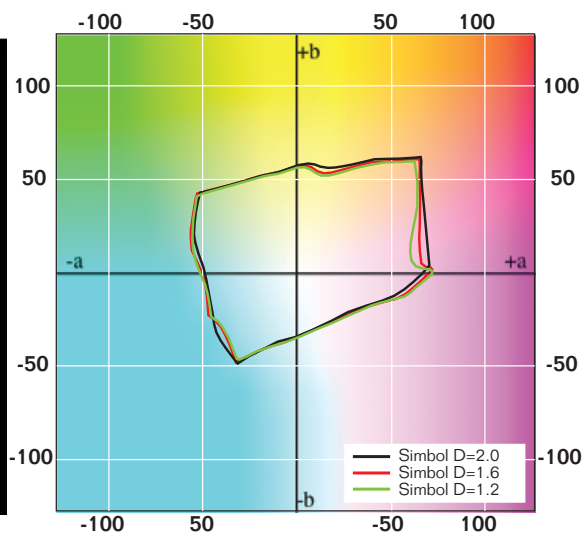


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

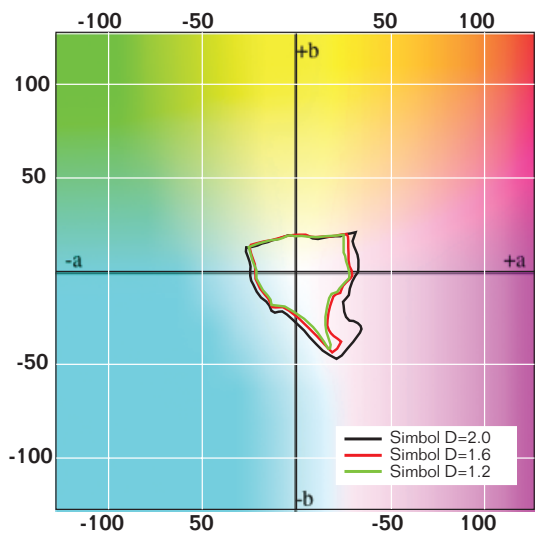
Sl. 87 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom koncentracije pigmenta Electroinka na Arcoprint papiru



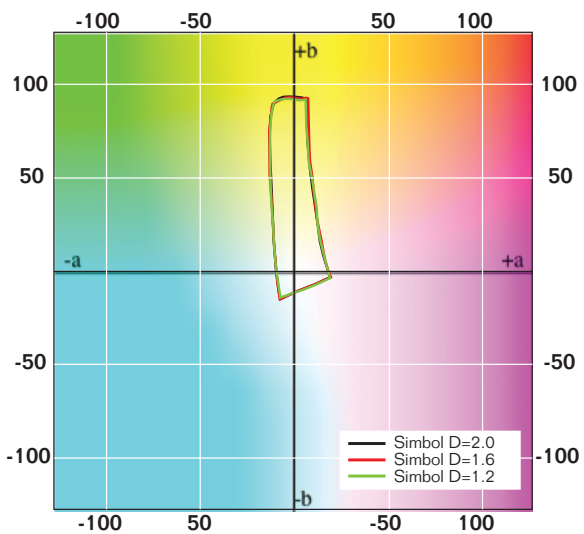
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

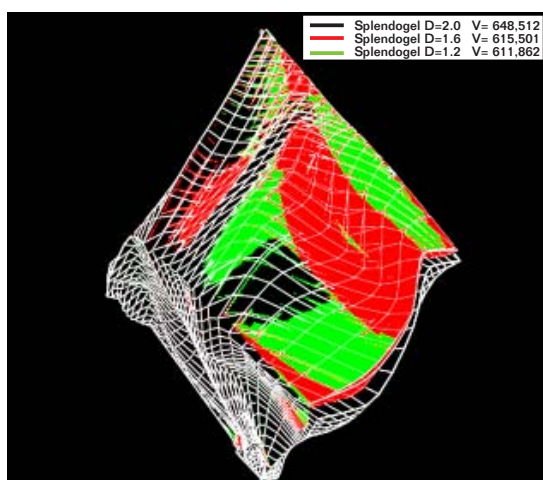


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20

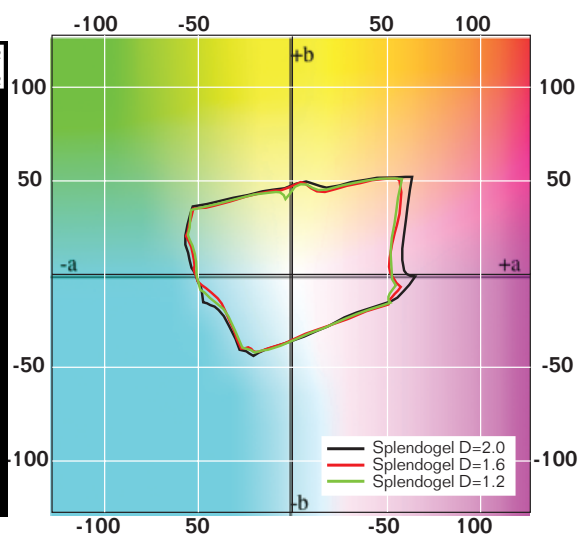


d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

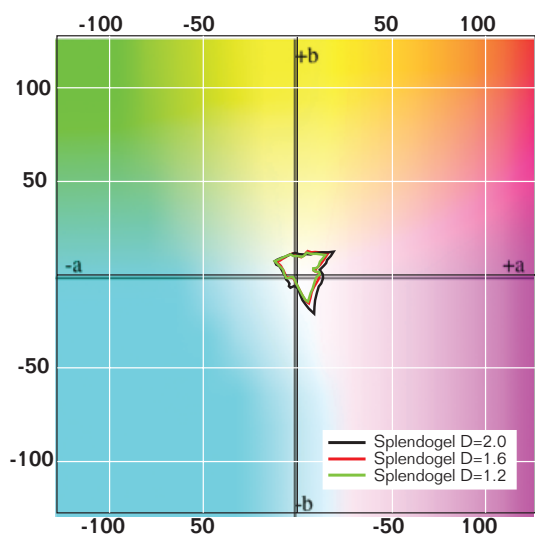
Sl. 88 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom koncentracije pigmenata Electroinka na Simbol papiru



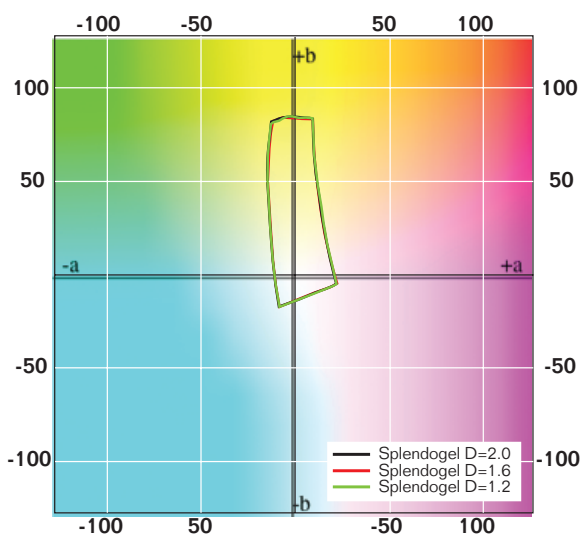
a) 3D gamuti otisaka



b) 2D gamuti pri svjetloći L=50

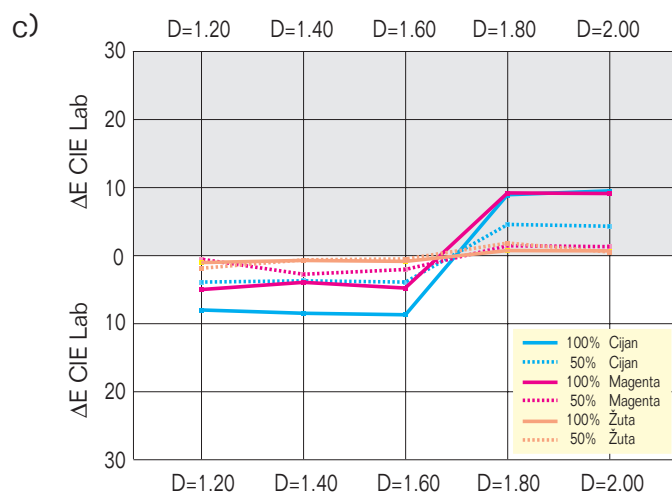
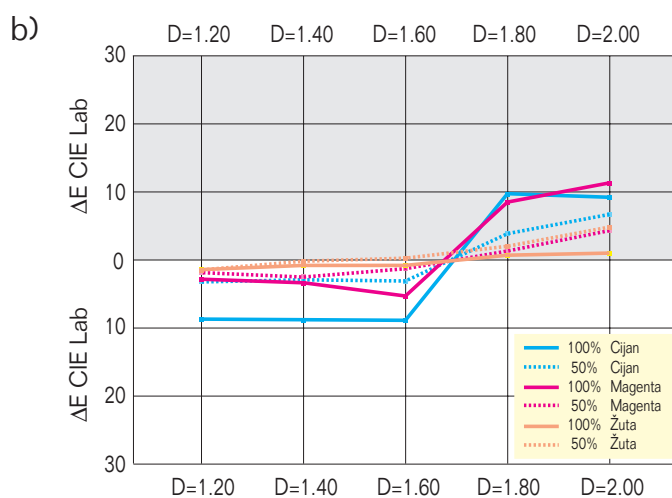
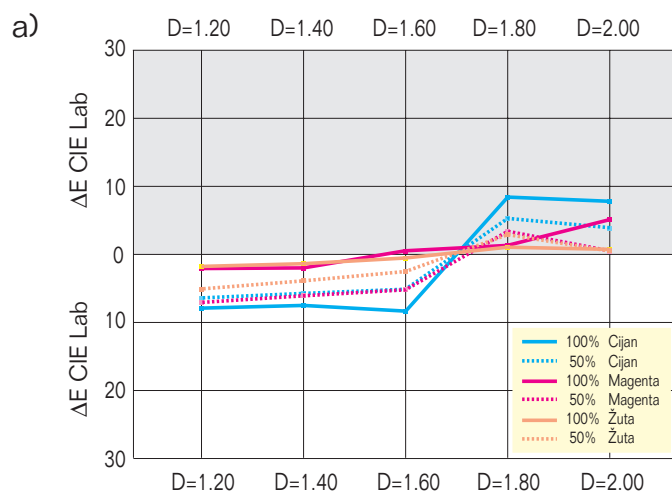


c) 2D gamuti pri svjetloći L=20



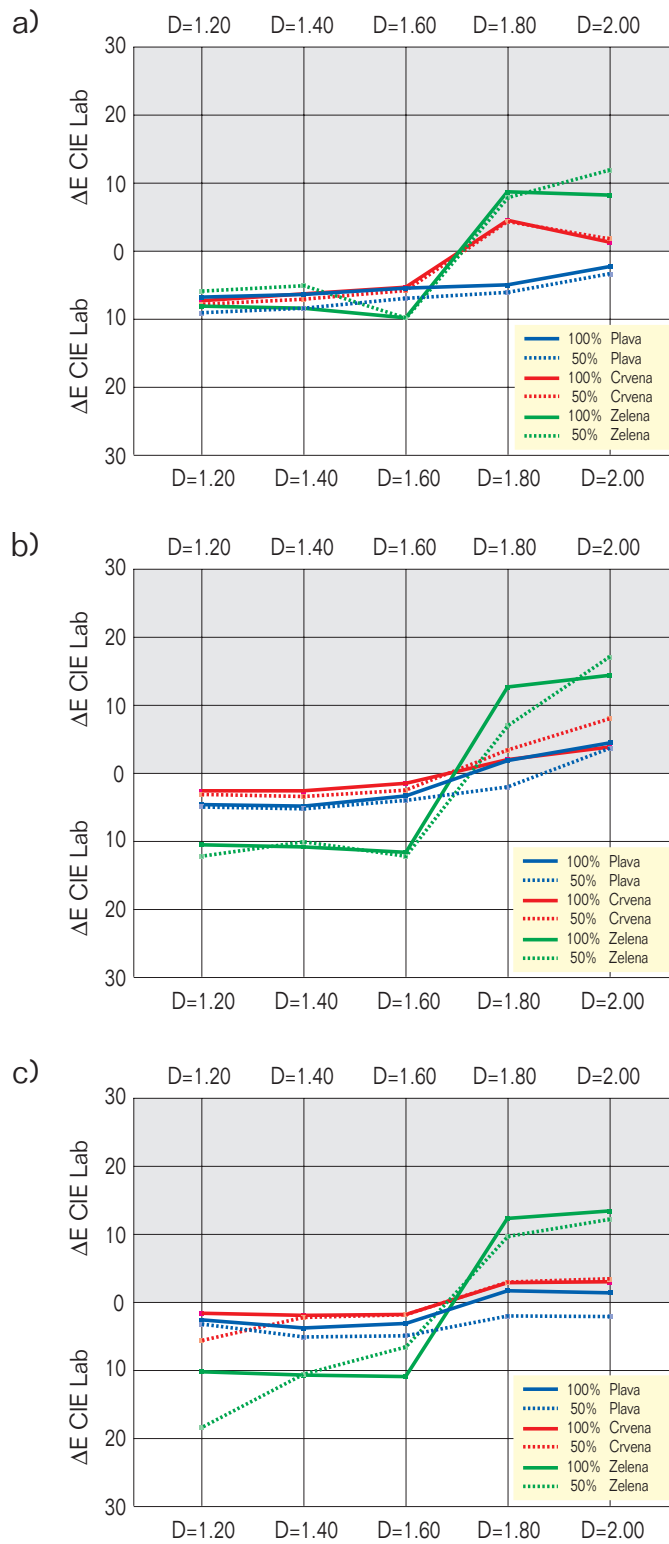
d) 2D gamuti pri svjetloći L=80

Sl. 89 Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom koncentracije pigmenata Electroinka na Splendogel papiru



SI. 90  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom koncentracije pigmenta ElectroInka na

- a) Arcoprint papiru
- b) Simbol papiru
- c) Splendogel papiru



SI. 91  $\Delta E$  CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom koncentracije pigmenta Electrolnka na

a) Arcoprint papiru

b) Simbol papiru

c) Splendogel papiru

## 5. Diskusija rezultata

Na slici 50 prikazane su krivulje višebojne reprodukcije (CMYK otisaka) nakon završene kalibracije. Iz sva četiri prikaza vidljivo je da se na gloss papiru za umjetnički tisak formira najveći prirast rastertonske vrijednosti ( $Z$ ). Nešto manji prirast imaju mat papir za umjetnički tisak (Splendogel) i naravni ofsetni papir (Arcoprint). U odnosu na idealnu linearnu krivulju, najveći prirast RTV vrijednosti nastaje pri reprodukciji žute boje. Tako žuta u 50% RTV-a ima prirast:  $Z_{\text{ŽUTA}}=20\%$  (Simbol papir),  $Z_{\text{ŽUTA}}=14,5\%$  (Splendogel papir) i  $Z_{\text{ŽUTA}}=10,5\%$  (Arcoprint papir). U analiziranim tiskovnim podlogama prirast cijana i crne nije jednak. Najveći prirast je formiran kod Simbol papira ( $Z_{\text{CIJAN}}=14\%$ ,  $Z_{\text{CRNA}}=12,5\%$ ), dok je najmanji kod Arcoprint papira ( $Z_{\text{CIJAN}}=8,5\%$ ,  $Z_{\text{CRNA}}=6\%$ ). Najmanje povećanje rasterske točke nastaje pri otiskivanju magente. Nastali prirast u 50% rastertonskoj vrijednosti iznosi:  $Z_{\text{MAGENTA}}=6,5\%$  (Simbol papir),  $Z_{\text{MAGENTA}}=4,5\%$  (Splendogel papir) i  $Z_{\text{MAGENTA}}=0\%$  (Arcoprint papir).

Otisci nastali nakon kalibracije stroja prikazani su i u trodimenzionalnom gamutskom obliku (slika 51). Za formiranje gamuta potrebno je spektrofotometrijski izmjeriti karakterističnih 378 polja, iz kojih će se formirati izlazni ICC profil, odnosno gamut.

Najveći prostorni volumen ostvaren je na Simbol papiru ( $V=707,001$ ), nakon čega slijedi Splendogel ( $V=559,103$ ) i Arcoprint ( $V=519,547$ ). Promatrajući 3 karakteristična presjeka (svjetloća  $L=50$ ,  $L=20$  i  $L=80$ ), uočava se da obojenje ne oscilira jednakomjerno kod svih tiskovnih podloga.

U presjeku po sredini gamuta ( $L=50$ ) uviđa se da promjena tiskovne podloge utječe na konačno obojenja magente, crvene, žute i svjetlozelene. Pritom su tamnozeleni, cijan i ljubičastoplavi otisci gotovo nepromijenjeni.

Gamuti Splendogela i Arcoprinta potpuno su ujednačeni u područjima tamnijih tonova. Za razliku od njih Simbol otisak ima veću reproduciranu površinu, što se očituje u svim tonskim područjima. Otisci bez obzira na tiskovnu podlogu, u svjetlijim područjima gamutna posjeduju jednu ujednačenost. Oscilacije su uočavaju samo u žutoj boji.

Na ovakve osobine prostornog gamuta utječe glatkoća papira. Mjerenjem glatkoće površine čistog papira (po Bendtsenu), uočava se da papir za umjetnički tisak (Simbol) ima najveću glatkoću (30 ml/min). Premazani Splendogel papir ima srednju glatkoću (57,5 ml/min), dok naravni Arcoprint papir ima najmanju glatkoću (265,8 ml/min). Izlaganjem otisaka dnevnom svjetlu, glađa površina formirat će veću reflektanciju s otisnute površine papira, što ima za posljedicu čišći ton otisnutog bojila.

*Pri ocjenjivanju kvalitete grafičkog proizvoda, kalibrirane Indigo otiske je potrebno usporediti s otiscima standardnog ofseta. Komparirajući volumene gamuta i krivulje reprodukcije s izvornim znanstvenim radom: Screen Shapes and the Ink Application as the Factors of Qualitative Offset Printing, može se zaključiti da kalibrirani Indigo otisci i standardni ofsetni otisci imaju vrlo malu međusobnu razliku. Kod otisaka otisnutih na papiru za umjetnički tisak, krivulje reprodukcija se u potpunosti poklapaju, i njihova ukupna razlika volumena je  $\Delta V=1,5$  (kod 80-tog ofsetnog otiska prostorni volumen iznosi  $V=708,5$ ). (90)*

*Gotovo isto ponašanje uočeno je u magistarskom radu: "Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge". Pritom su korištene slične tiskovne podloge ( $115\text{g}/\text{m}^2$  Simbol Gloss, i  $120\text{g}/\text{m}^2$  Arcoprint). Krivulje reprodukcije oblikom su vrlo slične, te se razlikuju samo u najsvjetlijim područjima (10%RTV). Za ovu promjenu zaslužan je stariji tip fotokonduktora (Mark 1) koji ne posjeduje mrežastu podlogu (Softsub), koja omogućava bolju reprodukciju navedenih svijetlih tonova.*

**Nabijanje fotokonduktora je početna faza elektrofotografskog procesa.** Na slikama 52, 53 i 54 prikazan je utjecaj skorotrona na gamute reprodukcije. Pritom je variran napon skorotronske mrežice od -650V do -850V.

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 52) postignut je s naponom od -650V ( $V=516,150$ ), dok je najmanji postignut s naponom od -850V ( $V=511,979$ ). Pritom je nasto pad volumena od 0,81% ( $\Delta V=4,171$ ). Promjena napona sa -650V na -750V rezultirat će 89,91% padom volumena gamuta ( $\Delta V=6,73$ ). Daljnje povećanje napona od -100V (s -750V na -850V) rezultira neznatnim padom gamuta od  $\Delta V=0,421$ . Pritom su po svim karakterističnim presjecima gamuta, razlike u linijama gotovo zanemarive.

U odnosu na ostale ispitane tiskovne podloge, Simbol otisci (slika 53) s promjenom napona skorotrona ostvaruju najveću promjenu gamuta ( $\Delta V=13,324$ ). Ostvareni prostorni volumen je najveći pri naponu od -650V ( $V=750,176$ ), dok je najmanji pri naponu od -850V ( $V=736,852$ ). Pritom je i ostvaren porast gamuta od 1,80%. Promjena napona s -650V na -750V rezultirat će padom gamutnog volumena za 2,238 prostornih jedinica. Forsirano povećanje napona od -100V (s napona od -750V na napon od -850V) rezultirat će još većim padom gamuta od 11,086 prostornih jedinica. U karakterističnim presjecima gamutnih tijela, uočavaju se određena odstupanja u tamnijim i svjetlijim tonovima. Takvi tonovi imaju izraženiju +a koordinatnu kromatsku vrijednost (magenta i crvena).

Tijekom ispitivanja Splendogel otisaka (slika 54) zamijećeno je da se s rastom napona uvjetuje porast gamuta reprodukcije. Takvo kretanje rezultata je u potpunoj kontradikciji s rezultatima Arcoprinta i Simbola.



Najveći gamut reprodukcije se tako postiže s naponom od -850V ( $V=576,873$ ), dok je najmanji gamut postignut s naponom od -650V ( $V=568,252$ ). Pritom je postignut ukupan porast gamuta od 8,621 prostornih jedinica. Povećanje napona s -650V na -750V rezultirat će porastom gamuta od 5,473 prostornih jedinica. Daljnji porast napona za -100V (s -750V na -850V) rezultirat će rastom gamuta za 3,148 prostorne jedinice. U karakterističnim presjecima također je vidljivo da srednji tonovi najviše osciliraju u crvenom području, dok tamniji tonovi u ljubičastoplavom području.

Kromatske promjene nastale varijacijom napona skorotрона, moguće je precizno odrediti izračunavanjem razlike obojenja ( $\Delta E$  CIE Lab) između kalibriranog i eksperimentalnog otiska. Pritom se usredotočujemo na specifične tonove boja. To su osnovne boje suptraktivne sinteze (CMY) i aditivne sinteze (RGB) u 100% i 50% RTV-a.

Na Arcoprint otiscima, variranjem napona na skorotronske mrežice postignuta je srednja devijacija obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 4,11. Slika 55a i 56a prikazuje histograme ovisnosti razlike obojenja o naponu skorotronske mrežice. Ukupno odstupanje punih tonova je minimalno ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 1,03$ ). Najveće promjene zamijećene su kod ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%} = 2,0$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%} = 1,4$ ) i magente ( $\Delta E_{100\%} = 1,2$ ). Odstupanja 50% rastera vizualno su mnogo izraženija ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 7,20$ ). Najviše se mijenja zelena ( $\Delta E_{50\%} = 12,7$ ), crvena ( $\Delta E_{50\%} = 11,4$ ) i žuta ( $\Delta E_{50\%} = 11,0$ ), a najmanje cijan ( $\Delta E_{50\%} = 0,2$ ).

U odnosu na kalibrirani Arcoprint otisak, svi tonovi nastali variranjem skorotрона su svjetliji. Za postizanje optimalnog Arcoprint otiska (najbližeg kalibraciji) potrebno je za svaku procesnu boju primijeniti drugačiju postavku napona skorotрона. Optimalni naponi skorotрона su: -670V (žuta), -800V (magenta) i -700V (cijan). Za sekundarne boje preporučaju se: -700V (ljubičastoplava), -770V (zelena) i -710V (crvena).

U odnosu na kalibraciju, papir za umjetnički tisak ima manja odstupanja. Na Simbol otiscima (slike 55b i 56b) varijacijom napona skorotronske mrežice postiže se prosječna devijacija obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 4,49. Simbol otisci punih tonova u odnosu na Arcoprint, doživljavaju nešto veću prosječnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 1,8$ ). Karakteristično je da se promjenom napona skorotрона postiže najmanja devijacija kod 100% cijana ( $\Delta E_{100\%} = 0,5$ ) i 100% žute ( $\Delta E_{100\%} = 0,6$ ), dok je najveća kod 100% magente ( $\Delta E_{100\%} = 2,4$ ). Rastrirani otisci imaju nešto veću srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 7,9$ ). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) ima žuta ( $\Delta E_{50\%} = 13,1$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%} = 3,8$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%} = 3,0$ ), što utječe na devijaciju zelene ( $\Delta E_{50\%} = 17,8$ ), crvene ( $\Delta E_{50\%} = 6,8$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%} = 2,9$ ). Za postizanje optimuma (Simbol otiska najbližeg

kalibraciji) preporuča se korištenje slijedećih napona skorotronske mrežice: -780V (žuta), -850V (magenta), -650V (cijan), -830V (ljubičastoplava), -700V (zelena) i -750V (crvena).

Otisci na Splendogel papiru (slike 55c i 56c) varijacijom napona skorotrona postižu prosječnu devijaciju obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 3,90. Splendogel otisci punih tonova doživljavaju prosječnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) od 1,6. Karakteristično je da se promjenom napona skorotronske mrežice postižu najmanje devijacije 100% cijana ( $\Delta E_{100\%} = 0,5$ ) i 100% žute ( $\Delta E_{100\%} = 0,2$ ), dok su najveće devijacije kod 100% crvene ( $\Delta E_{100\%} = 2,8$ ) i 100% ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%} = 2,6$ ). Rastrirani otisci imaju veću srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) koja iznosi 6,16. Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) doživljava žuta ( $\Delta E_{50\%} = 13,2$ ) i magenta ( $\Delta E_{50\%} = 2,8$ ), što utječe na obojenje crvene ( $\Delta E_{50\%} = 5,1$ ) i zelene ( $\Delta E_{50\%} = 12,7$ ). Za dobivanje Splendogel otiska koji će najviše nalikovati kalibraciji preporučaju se naponi: -800V (magenta i ljubičastoplava), -700V (cijan i zelena) i -750V (žuta i crvena).

Promjene u obojenju nastale tijekom variranja napona skorotronske mrežice, mogu se zahvaliti pozitivskom (DAD) principu osvjetljavanja fotokonduktora. Pri pozitivskom principu osvjetljavanja, djelovanjem skorotrona formirat će se površine koje nisu predviđene za nanašanje bojila (slobodne površine). Samim time variranje skorotrona neće utjecati znatnije na kvalitetu reprodukcije zasićenijih tonova (puni tonovi). Najsvjetliji tonovi (reproducirani rasterom) puno više osciliraju, te regulacija skorotrona utječe na njih. Promjena napona skorotrona nužna je i da bi se produljio vijek trajanja poluvodičkog fotokonduktora. Dugotrajnijim laserskim osvjetljavanjem provodljivost poluvodičkog fotokonduktora lagano slabi (smanjuje se razlika u potencijalu), čime se smanjuje prijem tonera za fotokonduktor. Regulacijom napona na skorotronske mrežice utječemo na buduće slobodne površine. Time ujedno regeneriramo fotokonduktorsku površinu, što ima za cilj ujednačavanje kvalitete buduće reprodukcije.

Kod svih otisnutih tiskovnih podloga, najveće promjene u obojenju doživljavaju otisci koji imaju visoki udio žute (žuta, zelena i crvena). Žutu ElectroInk boju karakterizira visoka električna provodljivost (89 pmho/scm) koja omogućava bolju pokretljivost (bolje prihvaćanje za površinu fotokonduktora i ofsetne gume). Takva osobina utjecat će i na rezultate ostalih ispitivanih faza indirektna elektrofotografije.

**Druga faza u elektrofotografskom procesu je oslikavanje.** Ono se provodi pomoću laserske glave koja odjednom formira 4 svjetlosne zrake ( $\lambda = 830$  nm). Na slikama 57, 58 i 59 prikazani su gamuti reprodukcije nastali promjenom snage lasera od 1, 6 i 12.

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 57) postignut je sa snagom lasera 1 ( $V=516,298$ ), dok je najmanji gamut postignut sa snagom lasera 6 ( $V=513,382$ ). Pritom je nastao ukupan pad gamuta od 0,56% ( $\Delta V=2,916$ ). Variranje lasera od snage 1 do snage 6 rezultirat će maksimalnom negativnom promjenom gamuta ( $\Delta V=-2,916$ ), dok će daljnji porast snage lasera (s lasera 6 na laser 12) rezultirati skromnim rastom gamuta od 1,107 prostornih jedinica. Variranje izlaznog inteziteta IR izvora (laserske diode) neće utjecati na promjenu obojenja unutar gamutnog tijela (linije se poklapaju u sva tri karakteristična presjeka).

Simbol otisci (slika 58) s promjenom snage laserske glave ostvaruju povećanje gamuta od 10,704 prostornih jedinica. Najveće ostvareni prostorni volumen je s laserom 6 ( $V=762,126$ ), dok je najmanji prostorni volumen postignut s laserom 1 ( $V=751,422$ ). Pritom je i ostvaren najveći porast gamuta u odnosu na sve ispitane tiskovne podloge. Variranjem snage od lasera 1 do lasera 6 rezultirat će velikom promjenom u dimenziji gamuta ( $\Delta V=10,704$ ), dok će daljnje povećanje snage (s lasera 6 na laser 12) rezultirati padom gamuta od 0,433 prostornih jedinica. Najveće promjene nastaju pritom u tamnijim tonovima. Uočljiva je i jedina kromatska razlika u središnjem dijelu gamuta (crveno područje).

Kod Splendogel otisaka (slika 59) varijacija lasera je najvidljivija. Najveći gamut reprodukcije je tako postignut sa snagom lasera 6 ( $V=615,714$ ), dok je najmanji gamut postignut sa snagom 12 ( $V=602,421$ ). Pritom je postignut ukupan gamutni prirast od 13,293 prostorne jedinice. Variranjem snage laserske glave od 1 do 6 rezultirat će porastom gamuta od 6,563 prostorne jedinice, dok će daljnje povećanje snage laserske glave (s lasera 6 na laser 12) rezultirati naglim padom gamuta od 13,293 prostorne jedinice. Kao i kod otisaka na Simbol papiru kromatske razlike u gamutima vidljive su u crvenim tonovima koji imaju svjetloću  $L=50$ .

Za precizno utvrđivanje djelovanja snage lasera potrebno je otisnuti i izmjeriti osnovne boje (cijan, magentu, žutu, crvenu, zelenu i ljubičastoplavu). Svaku osnovnu boju predstavljati će dva polja: puni ton i 50% raster. Na slikama 60 i 61 prikazano je njihovo odstupanje u odnosu na kalibraciju, odnosno njihova razlika u obojenju ( $\Delta E$  CIE Lab) nastala varijacijom snage laserske glave.

Na Arcoprint otiscima (slike 60a i 61a) variranje snage lasera uzrokovat će prilično odstupanje obojenja svih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 6,40$ . Pritom je ukupno odstupanje punih tonova minimalno ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 1,05$ ). Najvišu promjenu doživljava zelena ( $\Delta E_{100\%} = 1,5$ ) i ljubičastoplava ( $\Delta E_{100\%} = 1,4$ ). Rastrirani otisci se tijekom laserskog osvjetljavanja mnogo više mijenjaju ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 11,75$ ). Od procesnih boja ukupno najveću devijaciju ima: žuta ( $\Delta E_{50\%} = 17,4$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%} = 7,4$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%} = 5,6$ ). To direktno utječe na reprodukciju sekundarnih boja: crvene ( $\Delta E_{50\%} = 20,3$ ), zelene ( $\Delta E_{50\%} = 12,6$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%} = 7,2$ ).

Kod ovakvog papira promjena snage lasera s 3 na 6 uzrokovat će veliku promjenu u rastriranoj crvenoj boji ( $\Delta E_{50\%} = 13.3$ ). Zbog toga je potrebno za svaku procesnu boju odrediti specifičnu snagu lasera. Za žutu se preporuča laser 1, za cijan laser 10, a magentu laser 8. Za dobar traping sekundarnih boja preporuča se: laser 11 (ljubičastoplava), laser 1 (zelena) i laser 4 (crvena).

Na Simbol papiru (slike 60b i 61b) variranje snage lasera uzrokuje okom vidljivo odstupanje (prosječno obojenje svih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 6,90). Puni tonovi na Simbol otiscima doživljavaju minimalnu sveukupnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 0,93$ ). Ona je također najizraženija kod zelene i žute ( $\Delta E_{100\%} = 1,1$ ). Prosječno odstupanje rastriranih površina u odnosu na pune tonove je 12 puta veće ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 12,86$ ). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu doživljava žuta ( $\Delta E_{50\%} = 20.2$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%} = 7.0$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%} = 6.3$ ). To utječe i na veliku razliku u obojenju zelene ( $\Delta E_{50\%} = 19.9$ ) i crvene ( $\Delta E_{50\%} = 16.8$ ). U odnosu na kalibraciju najmanje odstupanje nastaje pri primijeni snage lasera 9 (cijan i magenta) i lasera 1 (žuta). Za dobro prihvaćanje sekundarnih boja preporuča se: laser 8 (ljubičastoplava), laser 2 (zelena) i laser 1 (crvena).

Variranjem snage lasera prosječna devijacija Splendogel otisaka  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 16,65. Otisci punih tonova na Splendogel papiru, ne mijenjaju se ništa više u odnosu na Arcoprint i Simbol otiske ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 1,05$ ). Najveću promjenu doživljava magenta i crvena ( $\Delta E_{100\%} = 1,4$ ). Analizirajući reprodukciju rastriranih polja, uočava se velika promjena u tim područjima ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} = 9,63$ ). Promjenom snage lasera uočeno je da žuta također doživljava veliku promjenu ( $\Delta E_{50\%} = 15.4$ ). U odnosu na prethodno analizirane tiskovne podloge to je i najmanje odstupanje 50% žute. Slično stanje je uočeno i kod rastrirane crvene ( $\Delta E_{50\%} = 13,4$ ), zelene ( $\Delta E_{50\%} = 9,8$ ), ali ne i kod ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%} = 7,7$ ). U odnosu na kalibraciju najmanje odstupanje nastaje s primijenjenom snagom lasera 1 (žuta), lasera 9 (cijan) i lasera 12 (magenta). Za dobar prihvaćanje sekundarnih boja preporuča se: laser 10 (ljubičastoplava), laser 7 (zelena) i laser 1 (crvena).

Na svim istraživanim tiskovnim podlogama uočeno je da promjena snage lasera utječe na minimalna odstupanja u obojenju nerastriranih tonova (100% zasićene boje). Lasersko će osvjetljavanje utjecati na promjenu otisnute RTV vrijednosti (najviše žuta, crvena i zelena). Varijacijom snage laserskog izvora ostvaruje se i različita dimenzija i gustoća rasterske točke. Konkretno, povećanjem snage lasera postiže se veća rasterska točka koja pritom posjeduje i veću gustoću obojenja.

Kombinacijom djelovanja visokog napona skorotronske mrežice (-850V) i snage laserskog osvjetljavanja (snaga lasera 12), formirat će se na fotokonduktoru dva naponska ekstrema. Razlika u naponu osvijetljenog i neosvijetljenog dijela pritom se kreće oko 600V.

Na taj je naćn stvorena virtualna tiskovna foma koja moųe prihvatiti optimalnu kolićinu bojila (100% nanos boje na otisku odgovara standardu klasićnog ofsetnog tiska). Sniųavanje naponske razlike formirat će se meųutonovi. Regulacijom napona skorotrona i snage laserskog izvora moguće je tako mijenjati fotokonduktorski napon, odnosno utjecati na ukupnu kolićinu bojila na fotokonduktoru (budućem otisku). Pri radu je mnogo lakųe varirati laserski izvor, što je iskoriųšteno za izvoųenje kalibracije rastriranih povrųina.

*Na ovakve rezultate istraųivanja utjeće i sama tiskovna podloga. Bojilo se sa rastriranih tiskovnih elemenata bolje prihvaća za premazaniji (gladi) papir. Dobiveni otisci na Arcoprint papiru su najujednaćeniji, te su najslićniji kalibriranom Arcoprint otisku. To znaći da se varijacijom laserske glave ne postiųe veća promjena u obojenju nepremazanih papira. Na sjajnom papiru za umjetnićki tisak utjecaj promjene lasera je vidljiviji, što je posebice naglašeno na Simbol papiru. Površinska obrada i njen utjecaj na povrųinu gamuta istraųivan je u radu: "Optićki aspekti digitalnog tiska na adhezivnim medijima". Istraųivanje je pokazalo da hrapavost tiskovne podloge itekako utjeće na povrųinski gamut. Time naravno i na manju devijaciju otisaka na hrapavijim tiskovnim podlogama. (84)*

**Treća faza u indirektnoj elektrofotografiji je razvijanje.** Razvijanje se provodi u 3 zasebna dijela: razvijanjem razvijaćkim bubnjem, razvijanje povratnim valjcima i fiksiranje squeegee valjkom. Na slikama 62, 63 i 64 prikazani su prostorni gamuti Arcoprint, Simbol i Splendogel papira nastali varijacijom napona razvijaćkog bubnja u rasponu od -200 do -500V.

Kod nepremazanog Arcoprint papira (slika 62) variranjem napona razvijaćkog bubnja uoćava se velika promjena u prostornom gamutnom volumenu ( $\Delta V=229,25$ ). To ujedno odgovara i 76% promjeni gamutne povrųine. Najveći gamut je formiran s naponom od -500V ( $V=530,889$ ) dok je najniųi gamut formiran pri naponu od -200V ( $V=301,639$ ). Variranje napona u podrućju od -200V do -350V rezultirat će ogromnim rastom povrųine gamuta ( $\Delta V=175,633$ ). Dodatno povećanje napona od -125V (s -350V na -500V) rezultirat će dodatnim rastom gamuta ali samo za 23,3% ( $\Delta V=53,617$ ).

Analizirajući karakteristićne presjeke gamuta, vidljivo je da srednji tonovi osciliraju po svim tonskim podrućjima gamuta (izuzetak je ljubićastoplavo podrućje). Karakteristićno je da i veći napon (-500V) ne ostvaruje dobru reprodukciju tonova u zelenom i cijan podrućju. Za najniųi presjek gamutog tijela ( $L=80$ ), karakteristićno je da se gamut s naponom od -200V ne uoćava. Samo visoki naponi razvijaćkog bubnja (-350V i -500V) omogućuju reprodukciju tamnijih tonova, što je posebice vidljivo u ljubićastoplavom podrućju. Na vrųnom presjeku gamuta ( $L=20$ ) promjena napona utjecat će samo na reprodukciju ųutih tonova. Što je negativan napon razvijaćkog bubnja viųi, ųuti tonovi su izraųeniji.

Simbol otisci (slika 63) s promjenom napona razvijačkog bubnja postižu najveći porast gamutnog volumena ( $\Delta V = 301,547$ ). Ostvareni prostorni volumen je također najveći pri naponu od -500V ( $V = 763,175$ ), dok je najmanji pri naponu od -200V ( $V = 461,628$ ). Pritom je ostvaren ukupan porast gamuta od 65,32%. Promjena napona s -200V na -350V rezultirat će također s velikom promjenom u dimenziji gamuta ( $\Delta V = 227,528$ ). Daljnji porast napona od -150V (s -350V na -500V) rezultira sa skromnim rastom gamuta od 74,019 prostornih jedinica. U središnjem presjeku gamutnog tijela ( $L = 50$ ), vidljivo je da su tonovi magente, crvene, žute i svjetlozelene doživjeli najveće promjene. Također je uočeno da maksimalni napon razvijačkog bubnja (-500V) stvara slabiju reprodukciju cijana i tamnozeleno, u odnosu na srednji napon (-350V). Utjecaj napona na reprodukciju tamnijih tonova uglavnom je razmjeran (veći napon = veći prostorni gamut). Maksimalna zasićenost žute postignuta je već kod napona od -350V, te daljnje povećanje napona ne utječe na porast gamuta. Vršni dio gamuta (svjetliji tonovi) doživljava promjenu samo u žutoj boji.

Gamuti Splendogel otisaka (slika 64) nastalih uslijed promjene napona razvijačkog bubnja, vrlo su slični gamutima otisnutim na Arcoprint papiru (pritom je nastao porast volumena gamuta od 75,73%). Promjena napona s -200V na -350V rezultirat će porastom gamuta od 210,014 prostornih jedinica. Daljnji porast napona od -150V (s -350V na -500V) rezultirati će rastom gamuta od 57,014 površinskih jedinica. Po obliku su gamuti vrlo slični, te postoji samo manja razlika u prostornom volumenu. Splendogel otisak tako postiže najveći gamut pri naponu -500V ( $V = 621,382$ ), dok mu najmanji gamut nastaje pri naponu od -200V ( $V = 353,593$ ). Razlika se može primijetiti i u reprodukciji tamnih tonova, koji su kod Splendogel papira bolje otisnuti.

Za preciznu analizu utjecaja razvijačkog bubnja na kvalitetu reprodukcije, potrebno je izmjeriti 100% i 50% rastrirana polja (cijana, magente, žute, crvene, zelene i ljubičarsto plave). Na slikama 65 i 66 prikazano je njihovo odstupanje u odnosu na kalibraciju, odnosno njihova razlika obojenja ( $\Delta E$  CIE Lab).

Na Arcoprint otiscima (slike 65a i 66a) varijacija napona razvijačkog bubnja rezultira prosječnom devijacijom obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 15,66. Puni tonovi pritom doživljavaju jako veliku promjenu (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 15,66). Nastala promjene je najveća kod žute ( $\Delta E_{100\%} = 21,5$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%} = 21,2$ ) i zelene ( $\Delta E_{100\%} = 24,6$ ). Pri djelovanju različitih napona razvijačkog bubnja, rastrirani se otisci puno manje mjenjaju (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 12,06). Pritom najveću promjenu doživljava zelena ( $\Delta E_{50\%} = 17,1$ ), crvena ( $\Delta E_{50\%} = 17$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%} = 11,1$ ).

Grafički prikazana ovisnost napona razvijaačkog bubnja o promjeni obojenja je gotovo linijska funkcija. Jedina se iznimka uočava pri 50% rastriranoj žutoj boji (narančasta isprekidana linija), koja linearno raste samo do napona -350V. Zbog sastava bojila i neobrađene površine papira prihvat veće količine boje više nije tako uspješan. Arcoprint papir nažalost nije u mogućnosti primiti veliku količinu bojila (upojnost po Cobbu je 31,74 g/m<sup>2</sup>), te nakon postizanja svoga maksimuma nanos ostaje konstantan. Za postizanje optimuma (otisak najbliži kalibraciji) preporuča se korištenje slijedećih napona: -400V (magenta i žuta), i -310V (cijan). Za zadovoljavajuću reprodukciju sekundarnih boja preporuča se jedinstveni napon od -350V. Pritom će se sva osnovna bojila međusobno zadovoljavajuće prekrivati (traping).

Na Simbol otiscima (slike 65b i 66b) varijacija napona razvijaačkog bubnja rezultira prosječnom devijacijom obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 17,20. U odnosu na Arcoprint, Simbol otisci punih tonova (100% RTV) doživljavaju veliku prosječnu devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 22,66). Karakteristično je da će promjena napona razvijaačkog bubnja rezultirati najmanjom devijacijom kod 100% cijana ( $\Delta E_{100\%} = 19,7$ ), a najvećom kod 100% zelene ( $\Delta E_{100\%} = 27,5$ ). Rastrirani otisci imaju dvostruko manju srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 11,46). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) doživljava cijan ( $\Delta E_{50\%} = 10,9$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%} = 9,3$ ) i žuta ( $\Delta E_{50\%} = 9,0$ ). Takva će promjena utjecati na obojenje zelene ( $\Delta E_{50\%} = 12,2$ ), crvene ( $\Delta E_{50\%} = 14,6$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%} = 12,8$ ). Za postizanje optimalnog otiska preporuča se korištenje različitih napona: -350V (žuta i magenta) i -260V (cijan). Za sve sekundarne boja preporuča se jedinstveni napon od -350V. Time će se i ostvariti najbolje prekrivanje, odnosno njihova najbolja reprodukcija.

Na Splendogel otiscima (slike 65c i 66c) varijacija napona razvijaačkog bubnja rezultirat će s prosječnom devijacijom obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 16,65. Puni tonovi pritom doživljavaju promjene koje su veće od Arcoprint otisaka, odnosno manje od Simbol otisaka (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 21,78). Odstupanje je najuočljivije kod ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%} = 20,3$ ), žute ( $\Delta E_{100\%} = 21,8$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%} = 24$ ) i zelene ( $\Delta E_{100\%} = 26,4$ ). Rastrirani otisci se također mijenjaju pri djelovanju napona razvijaačkog bubnja (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 11,53). Pritom najveću promjenu doživljava zelena ( $\Delta E_{50\%} = 13,8$ ) crvena ( $\Delta E_{50\%} = 13,5$ ) i ljubičastoplava ( $\Delta E_{50\%} = 11,6$ ).

Za postizanje otiska koji će najviše sličiti kalibriranom otisku, preporuča se korištenje napona: -300V (magenta i cijan) i -430V (žuta). Za dobro otiskivanje ljubičastoplave i zelene boje preporuča se napon od -300V, dok crvena boja zahtijeva nešto viši napon (-350V).

Analizom svih ispitivanih tiskovnih podloga, došlo se do spoznaje da je Splendogel papir najprikladniji za indirektan elektrofotografski tisak. Sve osnovne boje jednako se ponašaju pri promjeni napona razvijačkog bubnja, što ima za cilj jednolično povećanje nanosa bojila na otisku.

Razvijački bubanj je smješten uz fotokonduktorski bubanj. Zbog svoje suprotne rotacije, razvijački bubanj se ne dodiruje s fotokonduktorskom površinom. Između njih postoji manji razmak (100  $\mu\text{m}$ ) u koji se uštrcava tekuće bojilo. Tijekom otiskivanja, na razvijačkom bubnju se formira permanentni negativni napon, koji će sa susjednim fotokonduktorom uspostaviti elektrostatsko polje. Da bi virtualni tiskovni elementi prihvatili bojilo, oni će morati biti elektropozitivniji od razvijačkog bubnja. S povećanjem napona razvijačkog bubnja rasti će i snaga elektrostatskog polja, što će rezultirati povećanjem nanosa bojila na tiskovnom elementu.

*Prezentirane rezultate ovog dijela istraživanja (nastale varijacijom napona razvijačkog bubnja) moguće je komparirati s rezultatima rada: "Digital Printing with Increased Ink Layers". Iako je u tom radu analizirana ovisnost denzitometrijske gustoće obojenja o naponu razvijačkog bubnja, postoji mogućnost povezivanja denzitometrijskih rezultata sa spektrofotometrijskim. Debljinu nanos bojila na otisku moguće je pratiti denzitometrijskom i kolorimetrijskom metodom. Pritom su gustoća obojenja i kromatska zasićenost razmjerne, tj., rastom gustoće obojenja raste i kromatska obojenost. Iz oba rada je vidljivo da variranje napona razvijačkog bubnja rezultira povećanjem debljine nanosa bojila. Pritom se napon od -350V pokazuje optimalnim.(61)*

**Slijedeći korak u razvijačkom procesu je razvijanjem povratnim valjcima.** Na slikama 67, 68 i 69 prikazani su gamuti reprodukcija Arcoprint, Simbol i Splendogel otisaka nastalih uslijed varijacije napona povratnih valjaka. Pritom je istraživano područje od 0 do -250V.

Na Arcoprint papiru (slika 67) najveći gamut reprodukcije postignut je s naponom od -250V ( $V=546,834$ ), dok je najmanji gamut postignut s naponom od 0V ( $V=382,434$ ). Pritom je nastao ukupan rast gamuta od 42,98% ( $\Delta V=164,4$ ). Promjena napona povratnih valjaka s 0V na -125V rezultirat će velikim rastom gamutne površine ( $\Delta V=134,679$ ). Daljnji rast napona od -125V (s -125V na -250V) rezultirat će skromnijim porastom gamuta od 29,721 prostornih jedinica. U karakterističnim presjecima je vidljivo da su tonovi doživjeli najveću promjenu u središnjem i donjem dijelu gamuta (povećanje napona s 0V na -125V utjecat će na promjenu magente, crvene, žute i svjetlozelene). Aktivacijom maksimalnog napona (-250V), utjecat će se na promjenu tonova koji imaju visoku kromatsku vrijednost na +b koordinati, tj., u sebi sadrže veći postotak žute.



Promjenom napona povratnih valjaka, Simbol otisci (slika 68) ostvaruju najveće povećanje gamuta ( $\Delta V=210,437$ ). Pri naponu od -250V ostvareni prostorni volumen je najveći ( $V=762,139$ ), dok je gamut ostvaren s naponom 0V najmanji ( $V=551,702$ ). Pritom je ostvaren porast gamuta za 38,14%. Povećanje napona s 0V na 125V rezultirat će ogromnom promjenom u dimenziji gamuta ( $\Delta V=178,472$ ), dok će daljnji porast napona od -125V (s -125V na -250V) rezultirati skromnim rastom gamuta od 31,965 prostornih jedinica. Za Simbol papir je specifično da centralni dio gamutnog tijela ( $L=50$ ) ima pri naponu od 0V najbolju reprodukciju zelenih i ljubičastoplavih tonova. Povećanjem napona povratnih valjaka doći će do manjeg smanjenja ljubičastoplave, ali i do povećanja magente, crvene, žute i zelene. Kao i kod Arcoprint otisaka, maksimalno povećanje napona (-250V) utjecat će samo na tonove koji imaju visoku vrijednost na +b koordinati. Pritom je to najvidljivije na najsvjetlijim tonovima žute. Tamniji tonovi u gamutnom tijelu (presjek pri svjetloći  $L=20$ ) dobro su otisnuti. Zanimljivo je i da će napon od -125V dati bolju reprodukciju ljubičastoplavih tonova u odnosu na napon od -250V.

Na Splendogel papiru najveći gamut reprodukcije (slika 69) je postignut s naponom od -250V ( $V=618,448$ ), dok je najmanji gamut postignut s naponom od 0V ( $V=424,572$ ). Pritom je postignut ukupan porast gamuta za 193,876 prostorne jedinice. Povećanje napona s 0V na -125V rezultirat će rastom gamuta od 156,815 prostorne jedinice, dok će daljnje povećanje napona za -125V (s -125V na -250V) rezultirati daljnjim rastom gamuta od 37,06 prostornih jedinica. Gamuti Splendogel otisaka oblikom su vrlo slični gamutima Arcoprint otisaka (karakteristični presjeci im se podudaraju). Jedina razlika se primijećuje u tamnim i svjetlim tonovima, jer se bojilo bolje prihvaća na premazanu Splendogel tiskovnu podlogu, koja u odnosu na Arcoprint ima i veću upojnost ( $6,75 \text{ g/m}^2$  mjereno po Cobb-u).

Otiskivanjem i mjerenjem karakterističnih polja (osnovne boje suptraktivne i aditivne sinteze) moguće je precizno utvrditi utjecaj povratnih valjaka na kvalitetu višebojne reprodukcije. Na slikama 70 i 71 prikazana je razlika obojenja ( $\Delta E$  CIE Lab), nastala promjenom napona povratnih valjaka.

Na Arcoprint otiscima (slike 70a i 71a) variranjem napona povratnih valjaka postiže se srednja devijacija obojenja svih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 22,09. Puni tonovi pritom doživljavaju znatnu promjenu (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 15,2). Promjena u obojenju je najuočljivija kod žute ( $\Delta E_{100\%}=18,0$ ), ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%}=16,5$ ) i zelene ( $\Delta E_{100\%}=16,4$ ). Prilikom djelovanja povratnih valjaka otisnute rasterske površine doživjele su puno veće promjene u obojenju (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 28,89). Raspon oscilacija rastriranih tonova za sve tonove nije isti. Najniži je kod cijan rastera ( $\Delta E_{50\%}=19,4$ ), dok je najviši kod rastrirane crvene ( $\Delta E_{50\%}=41,8$ ). Za postizanje optimuma (Arcoprint otiska najbližeg kalibraciji) preporuča se korištenje specifičnog napona za svaku procesnu boju.

Žuta tako zahtijeva napon povratnih valjaka od -230V, magenta od -130V i cijan od -125V. Za zadovoljavajuću reprodukciju sekundarnih boja preporuča se postavka napona na -20V (ljubičastoplava i crvena) i -80V zelena.

Otisci na Simbol papiru (slike 70b i 71b) nastali varijacijom napona povratnih valjka imaju prosječnu devijaciju obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 27,29. Simbol otisci punih tonova pritom doživljavaju prosječnu devijaciju tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 21,21. Karakteristično je da se variranjem napona povratnih valjaka postiže najveća devijacija kod 100% zelene ( $\Delta E_{100\%}=22,5$ ) i crvene ( $\Delta E_{100\%}=32,1$ ), dok je najmanja kod 100% cijana ( $\Delta E_{100\%}=19,7$ ). Rastrirani otisci posjeduju puno veću srednju devijaciju obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  koja iznosi 33,36. Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu doživljava žuta ( $\Delta E_{50\%}=31,5$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%}=29,9$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%}=25,2$ ). To naravno utječe i na obojenje rastrirane crvene ( $\Delta E_{50\%}=46,9$ ), ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%}=34,4$ ) i zelene ( $\Delta E_{50\%}=32,3$ ). Za postizanje optimalnog Simbol otiska preporuča se korištenje slijedećih napona: -190V (žuta), -130V (magenta) i 0V (cijan). Za zadovoljavajuću reprodukciju sekundarnih boja (nastaju dvostrukim 100%-tnim nanašanjem dva različita bojila), naponi povratnih valjaka ne smiju biti previsoki. Konkretno, sjajni papir za umjetnički tisak zahtijeva slijedeće napone: 0V (ljubičastoplava), -110V (zelena) i -5V crvena).

Nastali otisci na Splendogel papiru (slike 70c i 71c) uslijed variranja napona povratnih valjaka, doživljavaju prosječnu devijaciju obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 25,29. Otisnuti puni tonovi (100% obojenje) na Splendogel papiru ostvarili su promjene u obojenju koje su manje u odnosu na Simbol papir, ali i veće u odnosu na Arcoprint papir. Srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 17,85. Promjene su najviše izražene kod zelene ( $\Delta E_{100\%}=22,3$ ), ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%}=19,4$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%}=18,3$ ) i žute ( $\Delta E_{100\%}=18,3$ ).

Mijenjanjem napona na povratnim valjcima, rastrirani otisci doživljavaju još veću promjenu (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 32,73). Pritom najveću promjenu tona doživljava rastrirana crvena ( $\Delta E_{50\%}=46,6$ ), zelena ( $\Delta E_{50\%}=35,5$ ) i ljubičastoplava ( $\Delta E_{50\%}=30,7$ ). Za otiske najbliže kalibraciji preporučuju se naponi: -200V (žuta), -15V (magenta), -50V (cijan). Za dobar traping crvene i zelene boja preporuča se napon od -80V, a za ljubičastoplavu boju napon od -120V.

*Razvijački proces u kojem se koriste razvijački valjci ima za cilj dobivanje čistog (ne zamrljanog) fotokonduktora. Zbog toga je i potrebno nanijeti čisto mineralno ulje "ISOPAR" (identično po sastavu kao i tekućina za raspršivanje pigmentnog nosioca obojenja) na površinu fotokonduktora. U kontaktnoj zoni između fotokonduktora i povratnog valjka formirano je elektrostatsko polje, koji je puno slabije u odnosu na elektrostatsko polje fotokonduktora - razvijački bubanj.*

*Zbog svog niskog napona (od 0 V do - 250V), povratni valjci mogu lako postati elektropozitivniji od tiskovnih elemenata, što će rezultirati s dodatnim skidanjem boje s fotokonduktora. Time je ujedno i dokazano veliko odstupanje punih tonova na otisku. Pritom se slobodne površine u cijelosti čiste, ali i mnogi prethodno obojeni rasterski elementi. Variranje napona povratnih valjaka zbog toga je iskorišteno za brz kalibracijski postupak, jer se s malom promjenom napona može brzo uspostaviti željeni nanos bojila na otisku.*

Posljednji ciklus u procesu razvijanja je izvršen squeegee valjkom. Na slikama 72, 73 i 74 prikazani su gamuti reprodukcija Arcoprint, Simbol i Splendogel otisaka koji su nastali uslijed djelovanja napona squeegee valjka (od -1250 V do -1450V).

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 72) postignut je s naponom od -1250V ( $V=514,729$ ), dok je najmanji postignut s naponom od -1450V ( $V=505,324$ ). Pritom je nastao ukupan pad gamuta od 1,86% ( $\Delta V=9,405$ ). Promjena napona s -1250V na -1350V rezultirat će padom volumena gamuta od -1,163 površinske jedinice. Povećanjem napona za -100V (s -1350V na -1450V) rezultirati će daljnjim padom gamuta od -8,242 prostornih jedinica (87,63%). Promatrajući karakteristične presjke gamuta, vidljivo je da su promjene u obojenju po svim presjecima jednake, što znači da niti jedna boja ne dominira.

Simbol otisci (slika 73) nastali promjenom napona squeegee valjka ostvaruju najveću promjenu gamuta ( $\Delta V=17,296$ ). Ostvareni prostorni volumen najveći je pri naponu od -1250V ( $V=768,613$ ), dok je najmanji pri naponu od -1450V ( $V=751,317$ ). Pritom je i ostvaren pad gamuta za 2,30%. Povećanje napona s -1250V na -1350V rezultirat će s padom volumena gamuta od -5,759 prostornih jedinica. Daljnji porast napona s -1350V na -1450V rezultirat će još izraženijim padom gamuta od -11,537 prostornih jedinica (66,79% ukupnog pada volumena gamuta). Simbol gamuti ne razlikuju se bitno od Arcoprint gamuta (karakteristični presjeci gamuta vrlo su im vrlo slični). Jedina veća razlika vidljiva je u tonovima koji imaju visoku kromatsku vrijednost +b koordinate (boje u kojima je visoki udio žute boje).

Utjecaj Squeegee napona na gamut reprodukcije najuočljiviji je kod Splendogel papira (slika 74). Maksimalan volumen je postignut s naponom od -1250V ( $V=615,066$ ), dok je minimalan volumen postignut s naponom od -1450V ( $V=592,710$ ). Pritom je nastao ukupan pad napona od  $\Delta V=-22,356$  prostornih jedinica. Promjena napona s -1250V na -1350V rezultirati će padom gamuta od -15,755 prostorne jedinice. Daljnji rast napona od -100V (sa -1350V na -1450V) rezultirat će daljnjim padom gamuta od -6,601 prostorne jedinice. To je 29,52% pad u odnosu na najveći gamutni volumen. Kao i kod Simbol papira, Splendogel otisci također imaju oscilacije u području žutih tonova (gornji i srednji presjek gamuta).

Iz otisnutih i izmjerenih karakterističnih polja (100% i 50% cijan, magenta, žuta, crvena, zelena i ljubičarstoplava), moguće je precizno odrediti djelovanje squeegee valjaka na reprodukciju. Na slikama 75 i 76 prikazano je njihovo odstupanje u odnosu na kalibraciju, odnosno njihova razlika u obojenju ( $\Delta E$  CIE Lab).

Na Arcoprint otiscima (slike 75a i 76a) promjenom napona squeegee valjka postiže se srednja devijacija obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 1,02. Pritom puni tonovi doživljavaju minimalnu kolornu promjenu (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 0,95). Odstupanje punih tonova najuočljivije je kod magente ( $\Delta E_{100\%}=1,4$ ), žute ( $\Delta E_{100\%}=1,2$ ) i zelene ( $\Delta E_{100\%}=1,0$ ). Pri djelovanju različitih napona squeegee valjka, rastrirani otisci se vrlo slično ponašaju (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} =1,1$ ). Pritom najveću promjenu doživljava cijan ( $\Delta E_{50\%}=1,3$ ), ljubičastoplava ( $\Delta E_{50\%}=1,2$ ) i crvena ( $\Delta E_{50\%}=1,1$ ).

Odnos razlike obojenja i squeegee napona grafički je prikazan s horizontalnom linijom. Sve linije su smještene u negativnom kvadrantu (svjetlije su od kalibracijskog otiska) s izuzetkom 100% žute. Za postizanje optimalnog otiska preporuča se korištenje slijedećih napona: -1450V (žuta), -1400V (magenta), te -1350 V (cijan). Za zadovoljavajuću reprodukciju svih sekundarnih boja preporuča se postavka napona na -1400V. Tada će se ostvariti i zadovoljavajući traping-prekrivanje.

Simbol otisci (slike 75b i 76b) nastali uslijed promjene napona squeegee valjka, postižu prosječnu devijaciju obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 1,60. U odnosu na Arcoprint tiskovnu podlogu, otisci punih tonova na Simbol papiru, doživljavaju nešto veću prosječnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 1,33). Karakteristično je da se promijenom napona squeegee valjka uzrokuje najveća devijacija 100% žute ( $\Delta E_{100\%}=2,2$ ) i 100% magente ( $\Delta E_{100\%}=2,0$ ). Puni ton cijana pritom doživljava najmanju promjenu ( $\Delta E_{100\%}=0,3$ ). Rastrirani otisci imaju nešto veću srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 1,88). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu doživljava crvena ( $\Delta E_{50\%}=2,5$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%}=2,0$ ) i žuta ( $\Delta E_{50\%}=2,1$ ). Za postizanje optimuma (otiska najbližeg kalibraciji) zahtjeva se korištenje različitih napona. Preporučuju se slijedeći naponi: -1400V (cijan, magenta, ljubičastoplava, crvena), -1300V (žuta), te -1250V (zelena). Sve linije u histogramima su smještene u pozitivnom kvadrantu (iznad idealne centralne osi), čime je postignuto i nešto tamnije obojenje od željenih tonova.

Splendogel otisci (slike 75c i 76c) nastali uslijed promjene napona squeegee valjka imaju srednju devijaciju obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 1,14. Puni tonovi pritom doživljavaju prosječne promjene koje su vrlo slične prosječnim promjenama rastriranih tonova (puni tonovi  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}=1,2$ , rastrirani tonovi  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN} =1,8$ ). Najintezivnija promjena je uočena kod žute ( $\Delta E_{100\%}=3,0$  i  $\Delta E_{50\%}=2,0$ ), odnosno magente ( $\Delta E_{100\%}=1,3$  i  $\Delta E_{50\%}=1,2$ ).

U odnosu na ostale ispitane tiskovne podloge, promjena obojenja na Splendogel otiscima je najkonstantnija, čime je još jednom dokazana visoka kvaliteta ovog papira. Jedina veća promjena uviđa se kod 100% žute, koja jedina pri naponu od -1450V, dostiže željenu kalibracijsku vrijednost. Pritom nastaje i najveće odstupanje rastrirane žute. Za postizanje što optimalnijih otisaka preporučuju se slijedeći naponi: -1250V (žuta), -1300V (cijan) i -1350V (magenta). U želji za postizanjem što bolje reprodukcije sekundarnih boja (RGB), najbolje će se prekrivanje izvesti pri naponu od -1400V.

Za ovakve rezultate zaslužan je visok negativni napon na squeegee valjku (od -1250V do -1450V), u kombinaciji s mehaničkim pritiskom. Relativno vlažan fotokonduktorski bubanj potrebno je prije prvog transfera iscijediti (ukloniti većinu ISOPAR mineralnog ulja koje je nanijeto tijekom razvijačkog procesa). Pri takvom kombiniranom djelovanju osim cijedenja, bojilo se u zoni dodirivanja naponom prisiljava na čvršće povezivanje za pozitivnije tiskovne elemente (fiksiranje). Samo bojila s visokim udjelom tekućine za povećanje električne provodljivosti (Image Agent) ostvarit će kvalitetnije fiksiranje.

U prethodno izvršenom razvijačkom procesu zamijećeno je da tonovi s visokim udjelom žute, zbog svoje visoke električne provodljivosti uzrokuju i najbolje prihvaćanje na fotokonduktor (odnosno na budući otisak). Ta karakteristika žute boje nije izražena pri djelovanju vrlo visokog negativnog napona squeegee valjka. Žuta boja će se dobro fiksirati bez obzira na svoju visoku električnu provodljivost (89 pmho/scm). Konačan rezultat djelovanja squeegee valjka biti će vidljiv i u nanosu bojila na fotokonduktor. Tako se 13  $\mu\text{m}$  nanos boje (prije djelovanja squeegeea) smanjuje na debljinu od 6  $\mu\text{m}$  (poslije djelovanja squeegeea). Time se povećava i udio gušćih pigmentnih čestica za 11%.

Četvrta faza u indirektnoj elektrofotografiji je prvi transfer bojila. Pri prvom transferu, čestice tonera se s fotokonduktorske površine prenašaju na prijenosni medij (ofsetni cilindar). Kod Digitalnog Kolornog Ofseta, na cjelokupni transferni postupak utječu temperatura i napon ofsetnog cilindra. Temperatura pritom ima vrlo važnu ulogu. Na slikama 77, 78 i 79 prikazani su prostorni gamuti Arcoprint, Simbol i Splendogel papira nastali varijacijom temperature ofsetnog cilindra (od 125°C do 145°C).

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 67) postignut je s temperaturom od 145°C ( $V=545,677$ ), dok je najmanji gamut postignut s temperaturom od 125°C ( $V=513,703$ ). Pritom je nastao ukupan porast gamuta za 31,974 prostorne jedinice. Promjena temperature sa 125°C na 135°C uzrokovat će rast gamuta za 12,6 prostornih jedinica, dok će daljnje povećanje temperature od 10°C (sa 135°C na 145°C) rezultirati s daljnjim rastom gamuta od 19,374 prostornih jedinica.

Promatrajući karakteristične presjeke vidljivo je da su tonovi doživjeli najveću promjenu u središnjem dijelu gamuta. Porast temperature će utjecati na povećanje tonskih vrijednosti koje imaju visoku vrijednost na +b koordinati (žuti tonovi). Pritom dolazi i do smanjivanja obojenja tonova koji imaju visoku vrijednost na koordinati -a (zelena). Promjena žute boje još je bolje uočljivija na svijetlim područjima gamuta. Kod reprodukcije tamnijih tonova nema većih promjena, te se svi tonovi jednoliko povećavaju s porastom temperature ofsetne gume.

Simbol otisci (slika 78) promjenom temperature ofsetnog cilindra će ostvariti najveće povećanje gamuta ( $\Delta V=44,867$ ). Pri temperaturi od  $145^{\circ}\text{C}$  ostvaren je i najveći prostorni volumen ( $V=787,804$ ), dok je najmanji nastao pri temperaturi od  $125^{\circ}\text{C}$  ( $V=742,937$ ). Pritom je i ostvaren porast gamuta od 6,03%. Povećanje temperature sa  $125^{\circ}\text{C}$  na  $135^{\circ}\text{C}$  rezultirat će s rastom od 22,771 prostorne jedinice. Daljnji porast temperature za  $10^{\circ}\text{C}$  (sa  $135^{\circ}\text{C}$  na  $145^{\circ}\text{C}$ ) rezultirat će nastavkom rasta gamuta od 22,096 prostorne jedinice (što je 49,24% od ukupnog povećanja gamuta). Za Simbol papir je specifično da srednjišnji dio gamuta pri temperaturi od  $145^{\circ}\text{C}$  ima najbolju reprodukciju svjetlozelenih, žutih i crvenih tonova. Kao i kod Arcoprint papira, maksimalno povećanje temperature ( $145^{\circ}\text{C}$ ) utjecati će samo na tonove koji imaju visoku vrijednost na +b koordinati (što je vidljivo u najsvjetlijim tonovima). Tamniji tonovi u gamutu (presjek pri svjetloći  $L=20$ ) dobro su otisnuti u svim područjima. Pri nižim radnim temperaturama ( $125^{\circ}\text{C}$ ) loše se otiskuju samo tamnozeleni tonovi.

Na Splendogel papiru (slika 79) najveći gamut reprodukcije postignut je pri temperaturi od  $145^{\circ}\text{C}$  ( $V=641,655$ ), dok je najmanji gamut postignut pri temperaturi od  $125^{\circ}\text{C}$  ( $V=591,688$ ). Pritom je postignut ukupan porast gamuta od 49,967 prostorne jedinice. Povećanje temperature sa  $125^{\circ}\text{C}$  na  $135^{\circ}\text{C}$  rezultirat će rastom gamuta od 31,408 prostornih jedinica. Daljnji porast temperature za  $10^{\circ}\text{C}$  (sa  $135^{\circ}\text{C}$  na  $145^{\circ}\text{C}$ ) rezultirat će dodatnim rastom gamuta od 18,559 prostornih jedinica. (što je 37,14% od ukupnog rasta volumena gamuta). Gamuti Splendogel otisaka oblikom su vrlo slični gamutima Arcoprint otisaka (karakteristični presjeci im se podudaraju). Jedina veća razlika uočava se u svjetlijim tonovima (tempeatura od  $125^{\circ}\text{C}$ ), kod kojih se žuto bojilo slabije prihvaća na mat tiskovnu podlogu (Splendogel).

Za određivanje utjecaja temperature ofsetnog cilindra na kvalitetu reprodukcije, potrebno je također otisnuti 12 karakterističnih polja. Na slikama 80 i 81 prikazana je njihova temperaturna ovisnost, odnosno njihova razlika obojenja ( $\Delta E_{\text{CIE Lab}}$ ) u odnosu na kalibrirani otisak.

Na Arcoprint otiscima (slike 80a i 81a) variranjem temperature ofsetnog cilindra postiže se srednja devijacija obojenja tonova  $\Delta E_{\text{MAX}} - \Delta E_{\text{MIN}}$  od 3,35. Puni tonovi pritom doživljavaju veću promjenu koja je najuočljivija kod žute ( $\Delta E_{100\%}=6,4$ ) i cijane ( $\Delta E_{100\%}=4,9$ ).

U odnosu na pune tonove, rastrirani se otisci pri djelovanju visoke temperature prosječno manje mijenjaju (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 3,1). Pritom najveću promjenu doživljava zelena ( $\Delta E_{50\%}=7.4$ ), crvena ( $\Delta E_{50\%}=5,0$ ) i žuta ( $\Delta E_{50\%}=3.8$ ).

Za postizanje optimalnog Arcoprint otiska, preporuča se jedna jedinstvena temperatura ofsetnog cilindra za sve procesne boje. To je temperatura od 145°C, pri kojoj i nastaje najmanja devijacija tonova. Definiranje pojedinačnih temperatura ofsetne gume nije moguće provesti, jer je proces zagrijavanja i hlađenja vrlo dugotrajan. Za zadovoljavajuću reprodukciju sekundarnih boja preporuča se postavka temperature na 138°C.

Na Simbol otiscima varijacijom temperature ofsetnog cilindra postiže se prosječna devijacija obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 1,51. U odnosu na nepremazanu tiskovnu podlogu, otisci na papiru za umjetnički tisak doživljavaju dvostruko manju promjenu. Kod punih tonova prosječna devijacija tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) iznosi 1,58. Karakteristično je da se promjenom temperature ofsetne gume postiže najmanja devijacija kod 100% cijana ( $\Delta E_{100\%}= 0,6$ ), a najveća kod 100% žute ( $\Delta E_{100\%}= 5,2$ ). Rastrirani otisci imaju nešto nižu srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 1,45). Od rastriranih boja najveću promjenu doživljava crvena ( $\Delta E_{50\%}=2.4$ ), dok najmanju promjenu ima cijan ( $\Delta E_{50\%}=1,0$ ). Za postizanje optimalnog Simbol otiska preporuča se korištenje temperature od 145°C, pri kojoj se zadovoljavajuće otiskuju sekundarne boje (crvena, zelena i ljubičastoplava).

Variranjem temperature ofsetnog cilindra postižu se Splendogel otisci koji posjeduju srednju devijaciju obojenja tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 2,41. Puni tonovi pritom doživljavaju promjene koje su manje u odnosu na Arcoprint otisak, ali veće u odnosu na Simbol otisak (srednja devijacija samo punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 3,8). Na takav rezultat najviše je utječe 100% otisnuta žuta, koja ima ekstremno odstupanje pri temperaturi od 125°C ( $\Delta E_{100\%}=17,2$ ). Pri djelovanju različitih temperatura ofsetnog cilindra, rastrirani se otisci minimalno mijenjaju (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 1,03). Pritom najveću oscilaciju doživljava crvena ( $\Delta E_{50\%}= 2.1$ ) i magenta ( $\Delta E_{50\%}=1,1$ ). Preporučljiva temperatura ofsetnog cilindra je 145°C. Na toj temperaturi postignuti su ujednačeni otisci sa zadovoljavajućim trapingom. Istraživanje prvog transfera pokazalo je da Simbol otisci imaju ujednačenu devijaciju u svim analiziranim tonovima. Za Arcoprint i Splendogel otiske to se ne može reći.

Hrapava Arcoprint tiskovna podloga (hrapavost = 265,8 ml/min i upojnost = 31,74 g/m<sup>2</sup>) u kontaktu sa zagrijanom bojom na ofsetnim cilindru, uzrokovat će veću oscilaciju zelenih i crvenih tonova. Kod kvalitetnijih tiskovnih podloge najmanja hrapavost ne znači nužno i najbolju upojnost.

Iako Splendogel papir ima veću hrapavost od Simbol papira (za 17,5 ml/min), tvornički premaz Splendogel papira uvjetovat će i veću površinsku upojnost (za 4,06 g/m<sup>2</sup>). To je posebno vidljivo kod reprodukcije žute boje pri temperaturi od 125°C. Minimalna temperatura utjecat će na veću koncentraciju ISOPAR-a (tekućeg nosioca pigmenta u ElectroInku), čime će se direktno utjecati na koncentraciju čestica pigmenta na ofsetnoj gumi. Minimalna temperatura će tako formirati svjetliji konačni otiskak.

Neposredno prije prvog transfera fotokonduktor se osvjetljava s PTE lampom (Pre-Transfer Erase lamp). Svjetlost lampe briše sve prethodno kreirane napone na fotokonduktoru, nakon čega bojilo može prijeći na površinu zagrijanog ofsetnog cilindra. Takav transfer potpomognut je i s pozitivnim naponom ofsetnog cilindra. Na visokoj temperaturi mineralno ulje iz ElectroInka (ISOPAR) evaporira, što ima za posljedicu povećanje viskoziteta bojila. Bojilo postaje ljepljiva pastasta tvorevina u kojoj dominira čisti pigment. Udio zadržanog mineralnog ulja direktno ovisi o temperaturi ofsetne gume, odnosno o brzini isparavanja ISOPARA.

*U radu "Condition in Digital Printing of Packaging on the Print Quality", istraživan je utjecaj starosti ofsetne gume na kvalitetu otiskivanja u digitalnom tisku. U tom radu također je istraživan utjecaj promjene temperature ofsetnog cilindra na kvalitetu reprodukcije. Pritom dobiveni gamuti su pokazali istu pravilnost kao i ovo istraživanje, tj. promjene nastale uslijed zagrijavanja ofsetne gume najvidljivije su u žutom i zelenom području. S većom starošću ofsetne gume (istrošenošću) potrebno je povećavati temperaturu ofsetnog cilindra. Time je omogućena i bolja kvaliteta otiskivanja, tj., izvršava se kompenzacija nastalih oštećenja (hrapavost) na ofsetnoj gumenoj navlaci. Tijekom otiskivanja lošijih tiskovnih podloga (nepremazanih papira) preporuča se i niža temperatura ofsetnog cilindra (niska temperatura znači tvrđa ofsetna guma). Usto je potreban i niži viskozitet bojila koji ima i manju ljepljivost, čime se sprječava moguće čupanje papira, te moguća kontaminacija površine ofsetne navlake.(65)*

Za što bolji prijenos bojila s fotokonduktora na prijenosni medij, potrebno je primjeniti i pozitivno nabijanje ofsetnog cilindra. Na slikama 82, 83 i 84 prikazani su gamuti reprodukcija Arcoprint, Simbol i Splendogel otisaka, koji su nastali uslijed djelovanja napona ofsetnog cilindra (od +500 V do +700V).

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 82) postignut je s naponom ofsetnog cilindra od +600V (V= 544,447), dok je najmanji gamut postignut s naponom od +500V (V= 532,947). Pritom je nastao ukupan rast gamuta od 11,5 prostornih jedinica. Povećanje napona ofsetnog cilindra s +500V na +600V, rezultirat će maksimalnom promjenom gamuta od 11,5 prostorne jedinice. Daljnji porast napona od 100V (sa +600V na +700V) rezultirat će s malim padom gamuta



od 5,851 prostorne jedinice. U sva tri gamutna presjeka, uočeno je da najveća promjena nastaje u tonovima koji imaju veliku vrijednost na +b koordinati (to je posebno izraženo u srednjim i svijetlim područjima gamutnog tijela). Najniže primjenjeni napon (+500 V) u svim ostalim tonskim područjima općenito omogućava neznatno višu kvalitetu otiskivanja.

Simbol otisci (slika 83), promjenom napona ofsetnog cilindra, ostvaruju najveće povećanje gamuta ( $\Delta V=37,723$ ). Najveći prostorni volumen ostvaren je pri naponu od +700V ( $V=781,947$ ), dok je najmanji formiran s naponom od +500V ( $V=744,224$ ). Pritom je ostvaren porast gamuta za 5,06%. Promjena napona ofsetnog cilindra s +500V na +600V rezultirat će povećanjem gamuta od 20,163 prostorne jedinice. Dodatno povećanje napona od 100V (s +600V na +700V) rezultirat će daljnjim povećanjem gamuta od 17,559 prostornih jedinica (što je 46,54% od ukupne devijacije gamuta).

Splendogel otisci (slika 84) promjenom napona ofsetnog cilindra, postižu gamute koji su vrlo slični gamutima Arkoprint otisaka (ukupan porast volumena gamuta je 2,43%). Variranje napona u području od +500V do +600V rezultirat će porastom gamuta od 9,856 prostornih jedinica, dok će daljnji porast napona od 100V (s +600V na +700V) rezultirati danjim rastom gamuta od 4,519 prostorne jedinice. Oblikom gamuti prilično slične, te postoje jedino manja odstupanja u žutom, crvenom i magentnom području. Na Splendogel papiru se tako formira najveći gamut s naponom od +700V ( $V=605,255$ ), dok je najmanji gamut formiran s naponom od +500V ( $V=590,877$ ). Postoji izvjesna razlika i u reproduciranim tamnim tonovima. Oni su s nižim naponom (+500V) bolje otisnuli cijan i ljubičastoplave tonove.

Na Arcoprint otiscima (slike 85a i 86a) variranjem napona ofsetnog cilindra postiže se vidno odstupanje obojenja unutar svih ispitanih tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 2,68). Pritom je odstupanje punih tonova minimalno ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 1,68). Najveća promjena je vidljiva kod žute ( $\Delta E_{100\%}=2,9$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%}=2,6$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{100\%}=2,1$ ). Rastrirani otisci pri promjeni napona ostvaruju dvostruko višu vrijednost u odnosu na pune tonove ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 3,68). Od osnovnih procesnih boja ukupno najveću devijaciju ima: magenta ( $\Delta E_{50\%}=4,2$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%}=3,5$ ). To direktno utječe na reprodukciju sekundarnih boja: crvene ( $\Delta E_{50\%}=5,1$ ), zelene ( $\Delta E_{50\%}=2,9$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%}=4,8$ ). Jedino rastrirana žuta postiže nižu otisnutu vrijednost ( $\Delta E_{50\%}=1,6$ ), u odnosu na puni ton ( $\Delta E_{100\%}=2,9$ ). Ta pojava se može opet protumačiti s visokom električnom provodljivošću žute ElectroInk boje.

Za postizanje optimalnog otiska zahtijeva se korištenje različitih napona na ofsetnom cilindru. Preporučaju se napon od +500V za žutu i cijan, i napon od +600V za magentu. Za zadovoljavajuću reprodukciju sekundarnih boja predlažu se naponi iznad +550V, tj., za zelenu +550V, crvenu +600V i ljubičastoplavu +690V.

Na Simbol otiscima (slike 85b i 86b) varijacijom napona ofsetnog cilindra postiže se prosječna devijacija obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 2,95. U odnosu na Arcoprint, Simbol otisnuti puni tonovi doživljavaju nešto veću prosječnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 2,4). Karakteristično je da se promjenom napona ofsetnog bubnja postiže najmanja devijacija kod 100% cijana ( $\Delta E_{100\%}=0,3$ ), a najveća kod 100% žute ( $\Delta E_{100\%}=7,7$ ). Rastrirani otisci imaju nešto veću srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 3,5). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu doživljava cijan ( $\Delta E_{50\%}=3,4$ ), magenta ( $\Delta E_{50\%}= 3,9$ ) i žuta ( $\Delta E_{50\%}= 3,9$ ), što direktno utječe na devijaciju zelene ( $\Delta E_{50\%}=3,4$ ), crvene ( $\Delta E_{50\%}=3,1$ ) i ljubičastoplave ( $\Delta E_{50\%}=3,4$ ). U odnosu na ostale ispitane tonove, otisnuta žuta boja kao i kod Arcoprinta pokazuje inverzne rezultate. Najvišu zaslugu za to ima napon od +500V. On će tako formirati svjetliji tonalitet žute u odnosu na kalibraciju. Za postizanje optimuma (otiska najbližeg kalibraciji) preporuča se korištenje slijedećih napona: +600V (žuta, magenta, cijan, ljubičastoplava) i +650V (crvena i zelena). Time se ostvaruje zadovoljavajuće prekrivanje koje je najbliže kalibracijskom otisku.

Na Splendogel papiru (slike 85c i 86c) variranjem napona ofsetnog cilindra dobivaju se otisci koji imaju srednju devijaciju obojenja svih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 2,97. Puni tonovi pritom doživljavaju promjene koje su veće u odnosu na Arcoprint i Simbol otiske (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 3,75). Promjena kolorita najviše je istaknuta kod: žute ( $\Delta E_{100\%}= 6,6$ ), crvene ( $\Delta E_{100\%}=3,3$ ) i zelene ( $\Delta E_{100\%}=3,7$ ). Rastrirani otisci žute, crvene i zelene manje se mijenjaju, u odnosu na njihove pune tonove. Srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  tako iznosi 2,75. Od svih boja najveću promjenu doživljava magenta ( $\Delta E_{50\%}= 3,9$ ), žuta ( $\Delta E_{50\%}= 3,2$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%}= 3,0$ ). Za izvršeno istraživanje općenito vrijedi da porast napona ofsetnog cilindra utječe na smanjenje razlike u obojenju. Razlika između kalibriranog otiska i analiziranog otiska se smanjuje, pri čemu nastaju sve svjetliji otisci. Za postizanje otiska koji je optimalan, preporučuju se slijedeći naponi: +550V (zelena), +600V (cijan, crvena), +650V (magenta), +690V (ljubičastoplava) i +700V (žuta).

Ovakvo kretanje rezultata može se protumačiti slijedećim činjenicama. Prilikom izvođenja prvog transfera, tekućina za povećanje električne provodljivosti u Electroinku bit će prihvaćena od strane pozitivno nabijenog ofsetnog cilindra. Što je površina cilindra pozitivnija (veća) ostvaruje se sve veće privlačenje Electroinka na ofsetnu gumu. Nakon toga provodi se drugi transfer, pri kojem se dovodi u izravni kontakt tiskovna podloga i vruće bojilo. Snažnim pritiskom tiskovnog cilindra, u dodirnoj zoni formirat će se tanak uljni sloj (preostalo električki provodljivo mineralno ulje ISOPAR) tik uz površinu ofsetne gumene navlake. Time je omogućeno da se površinski pigmenti mehanički utisnu u hladnu tiskovnu podlogu. Karakteristično za takav proces je da uljni sloj zajedno s ostacima čestica pigmenta ishlapi uslijed visoke temperature.

Rezultat takvog transfera je apsolutno čista (99%) ofsetna navlaka. S takvim postupkom omogućeno je korištenje jednog prijenosnog medija za otiskivanje svih instaliranih boja, tj., stvorena je pretpostavka primijene satelitskog elektrofotografskog otiskivanja.

Za kvalitetu vezivanja čistog pigmenta presudnu ulogu ima tiskovna podloga. Analizom svih ispitivanih tiskovnih podloga, došlo se do spoznaje da su upojnost i hrapavost presudni za drugi transfer bojila. Upotrebljeni papiri za eksperimentalno otiskivanje imaju slijedeće upojnosti po Cobb-u: Splendogel papir ( $38,49 \text{ g/m}^2$ ), Simbol papir ( $34,43 \text{ g/m}^2$ ) i Arcoprint papir ( $31,74 \text{ g/m}^2$ ). Pri otiskivanju većih nanosa bojila (100% RTV) na standardne ofsetne papire (Arcoprint i Simbol), dolazi do lošeg transfera s ofsetne gume. Rastrirana područja puno se bolje otiskuju. Splendogel papir se opet prikazao najprikladnijim za indirektan elektrofotografski tisak. Nanašanje mat premaza na tiskovnu podlogu omogućuje bolje vezivanje čestica čistog pigmenta, što u konačnici osigurava i bolje otiskivanje većih nanosa bojila (punih tonova).

Osim studije osnovnih faza elektrofotografskog procesa, u ovoj doktorskoj disertaciji analiziran je i utjecaj tekućeg ElectroInk bojila na konačan otisak. Na slikama 87, 88 i 89 prikazani su gamuti reprodukcija Arcoprint, Simbol i Splendogel otisaka nastalih uslijed promjene gustoće, odnosno koncentracije pigmentata u tekućem ElectroInku.

Najveći gamut reprodukcije na Arcoprint papiru (slika 67) postignut je s bojiлом gustoće  $D=2,00$  ( $V=573,487$ ), dok je najmanji gamut postignut s bojiлом gustoće  $D=1,20$  ( $V=516,091$ ). Pritom je nastao ukupan porast gamuta od 57,396 prostorne jedinice. Promjena gustoće tekućeg bojila sa  $D=1,20$  na  $D=1,60$  rezultirati će porastom u dimenziji gamuta za 23,039 prostorne jedinice. Daljnje povećanje gustoće bojila za 0,40 (s gustoće boje 1,60 na gustoću 2,00) rezultirat će dodatnim porastom gamuta za 34,357 prostornih jedinica. Promatrajući karakteristične presjeke vidljivo je da su tonovi doživjeli najveću promjenu u središnjem i donjem dijelu gamuta. Najveća promjena tako nastaje u magentnom, crvenom i cijan području. Karakteristično je i da se žuta najmanje mijenja. To se može protumačiti s niskom viskoznošću bojila (preniska koncentracija pigmentata) koja nedovoljno prekriva površinu tiskovne podloge. Refleksija s tiskovne podloge u tom slučaju je velika, što ima za posljedicu snižavanje kromatske zasićenosti otisnutog bojila. Tamni tonovi dobro su reproducirani samo s najgušćim bojiлом ( $D=2,00$ ), dok se s rijetkim bojiлом tek nadziru.

U odnosu na ostale ispitane papire, Simbol otisci (slika 88) variranjem gustoće bojila ostvaruju najveće povećanje gamuta ( $\Delta V=60,213$ ). Najveći prostorni volumen ostvareni je s bojiлом gustoće 2,00 ( $V=817,672$ ), dok je najmanji prostorni volumen dobiven bojiлом gustoće  $D=1,20$  ( $V=757,459$ ).

Pritom je i ostvaren porast gamuta od 7,94%. Promjena gustoće boje s  $D=1.20$  na  $D=1,60$  rezultirat će s povećanjem dimenzije gamuta za 18, 845 prostornih jedinica. Daljnji porast koncentracije pigmenata u bojilu (s  $D=1,60$  na  $D=2,00$ ) rezultirat će još izražajnijom promjenom gamuta od 41,368 prostornih jedinica. Varijacijom bojila gamuti u srednjišnjem dijelu neće doživjeti veću promjenu. Ipak postoje neke male razlike. One su vidljive u magenti i žutoj. Porast gamuta na Simbol papiru očitiji je u tamnijim područjima gamuta, i dominantan je u ljubičastoplavom području.

Na Splendogel papiru najveći gamut reprodukcije (slika 89) je također postignut s bojom gustoće  $D=2,00$  ( $V=648,512$ ). Gamut najmanje dimenzije ( $V=611,862$ ) postignut je s bojom gustoće  $D=1,20$ . Pritom je nastao i ukupan porast gamuta od 36,65 prostorne jedinice. Promjenom gustoće bojila s  $D=1.20$  na  $D=1.60$  rezultirat će porastom gamuta za 3,639 prostornih jedinica. Daljnji rast gustoće bojila za 0,40 jedinica (s  $D=1,60$  na  $D=2,00$ ) rezultirat će velikim rastom gamuta od 33,011 prostornih jedinica. Gamuti Splendogel otisaka oblikom su vrlo slični gamutima Arcoprint otisaka (karakteristični presjeci im se podudaraju). Jedina razlika vidljiva je u tamnijim tonovima, jer premaz tiskovne podloge (Splendogel) bolje prihvaća ElectroInk bojilo.

Za precizno analiziranje utjecaja koncentracije čistog pigmenta na reprodukciju, potrebno je otisnuti i izmjeriti karakteristična polja 100% i 50% rasterom. Na slikama 90 i 91 prikazano je njihovo odstupanje u odnosu na kalibraciju.

Na Arcoprint otiscima (slike 90a i 91a) promjenom sastava bojila postiže se ukupno odstupanje u otisku  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 10,94. Pritom su ukupna odstupanja punih tonovi velika ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 10,26). Najviše pritom odstupa cijan ( $\Delta E_{100\%}=16,8$ ) i zelena ( $\Delta E_{100\%}=18,5$ ). U odnosu na pune tonove, rastrirani otisci se pritom intenzivnije mijenjaju ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 11,61). Od osnovnih procesnih boja ukupno najveću devijaciju ima: cijan ( $\Delta E_{50\%}=11,7$ ) i magenta ( $\Delta E_{50\%}=7,4$ ). Od sekundarnih boje izdvaja se: crvena ( $\Delta E_{50\%}=12,2$ ), zelena ( $\Delta E_{50\%}=21,7$ ) i ljubičastoplava ( $\Delta E_{50\%}=5,7$ ). Iz ovakvih rezultata zaključuje se da najveće oscilacije imaju denzitometrijski najtamnije boje (cijan, magenta te žuta), odnosno suptraktivne boje u kojima su one zastupljene.

Pri postizanju standardnih otisaka potrebno je ujednačiti obojenje 50%RTV i 100%RTV. U histogramskom prikazu vidljivo je da sve procesne boje pri gustoći  $D=1,70$  imaju razliku u obojenju  $\Delta E=0$ , odnosno postižu otisak istovjetan s kalibracijom. Vrlo slična situacija uočava se i kod tiska sekundarne crvene i zelene. Jedina iznimka je ljubičastoplava boja koja se ne uspijeva približiti idealnoj kalibraciji, tj. za njezino formiranje prihvaćanje cijana na magentu trebalo bi biti bolje.

Na Simbol otiscima (slike 90b i 91b) varijacijom koncentracije pigmenata postiže se prosječna devijacija obojenja  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 12,65. U odnosu na Arcoprint, puni tonovi Simbol otisaka, doživljavaju nešto veću prosječnu devijaciju tonova ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 13,21). Karakteristično je da se promjenom gustoće bojila postiže najveća devijacija kod 100% zelene ( $\Delta E_{100\%} = 26,0$ ) i 100% cijana ( $\Delta E_{100\%} = 18,6$ ), dok je najmanja kod 100% žute ( $\Delta E_{100\%} = 2,4$ ). Rastrirani otisci imaju nešto manju srednju devijaciju obojenja ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 12,1). Od procesnih rastriranih boja najveću promjenu ima zelena ( $\Delta E_{50\%} = 29,3$ ), crvena ( $\Delta E_{50\%} = 11,4$ ) i cijan ( $\Delta E_{50\%} = 9,9$ ). Za postizanje optimalnog otiska preporuča se korištenje jedinstvene gustoće obojenja  $D = 1,70$ .

Na Splendogel papiru (slike 90c i 91c) variranjem gustoće bojila dobivaju se otisci koji imaju srednju devijaciju obojenja svih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  od 10,65. Puni tonovi pritom doživljavaju promjene koje su manje od Simbol otisaka, ali veće od Arcoprint otisaka (srednja devijacija punih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 11,46). Promjene su najuočljivije kod zelene ( $\Delta E_{100\%} = 24,3$ ), cijana ( $\Delta E_{100\%} = 18,2$ ), i magente ( $\Delta E_{100\%} = 14,1$ ). Pri tisku s različito gustim bojilom, rastrirani otisci doživljavaju manje promjene (srednja devijacija rastriranih tonova  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  iznosi 9,85). Pritom najveću promjenu doživljava zelena ( $\Delta E_{50\%} = 30,6$ ), crvena ( $\Delta E_{50\%} = 9,0$ ), te cijan ( $\Delta E_{50\%} = 8,5$ ). Za otiske najsličnije kalibraciji preporuča se također gustoća obojenja  $D = 1,70$ .

Žuta boja stvara najveći problem pri kalibraciji tiskarskog stroja. Posebice je to naglašeno kod realizacije 50% žute boje. Zbog svoje velike svjetloće teško je zadržati čistoću bojila, odnosno njenu konstantnost pri otiskivanju. Zamijećeno je i da pri samom procesu otiskivanja raste i električna provodljivost žutog tekućeg Electrolnka. Pri radnoj temperaturi od 30°C čestice čistog pigmenta iz svoje okoline polagano poprimaju dodatnu elektronegativnost, što konačno rezultira prevelim nanosom bojila na otisku. Zbog tog razloga proizvođač HP Indigo strojeva često mjenja sastav Electrolnk pigmenata ne bi li riješio ovaj problem (dosad su za tržište razvijena 4 tipa Electrolnk bojila).

Za sve rezultate je karakteristično da maksimalni viskozitet bojila ne znači i najveću gustoću obojenja na otisku (područje u histogramu između  $D = 1,80$  i  $D = 2,00$  je horizontalna linija). Tu pojavu je moguće protumačiti s prevelikom viskoznošću tekućeg bojila. Što je koncentracija pigmenata veća fluidnost tekućeg bojila će biti manja. Tijekom otiskivanja tekuće se bojilo na fotokondutor distribuira kroz 0,5 mm pukotinu (Slit Injector). Zbog premale fluidnosti u točno određenom vremenskom intervalu proći će manja količina bojila, što će u konačnici imati za posljedicu istu ili manju količinu bojila na otisku.

## 6. Zaključak

Osnovne faze u procesu indirektnog elektrofotografskog tiska različito utječu na kvalitetu konačnog otiska. Iz izvršenog istraživanja i konstruiranih gamuta moguće je donijeti slijedeće zaključke:

- Nakon kalibracije, otiskivanjem triju karakterističnih tiskovnih podloga ostvareni su slijedeći gamutni volumeni: Arcoprint (519,547 prostornih jedinica), Simbol (707,001 prostornih jedinica) i Splendogel (559,103 prostornih jedinica).

- Variranjem napona skorotronske mrežice, rastrirani elementi na otiscima proživljavaju veću promjenu u odnosu na pune tonove. To je vidljivo i u minimalnoj promjenjeni gamutnog volumena. Gamuti Arcoprint otisaka odstupaju najmanje (0,81%), dok Simbol otisci najviše (1,8%). Maksimalni gamutni volumen tako nastaje pri naponu od -650V (Arcoprint i Simbol papir), odnosno -850V (Splendogel papir). Na Simbol i Arcoprint otisku maksimalno povećanje napona skorotrona (pojačanje sa -750V na -850V), rezultirat će 85% padom gamutnog volumena. Splendogel otisci pri najvećem naponu postižu najveći gamut reprodukcije tj. rast gamuta za 36,5%.

- Otisnuti rasterski elementi nastali variranjem snage laserske glave doživljavaju deset puta veću promjenu u odnosu na pune tonove. To je rezultiralo također s minimalnom promjenom u gamutima. Najmanji porast gamutnog tijela ostvaren je na Arcoprint otiscima (0,56%), dok je najviši ostvaren na Splendogel otiscima (2,2%). Najveća gamutna površina nastaje aktivacijom snage lasera 6 (Splendogel i Simbol), odnosno laserskom snagom 1 (Arcoprint papir).

- Razvijački proces najviše utječe na konačne rezultate obojenja na tiskovnim podlogama. Najveće promjene u koloritu otiska ostvarene su u prvoj fazi razvijanja (promjenom napona razvijačkog bubnja). Povećanje napona u vrijednosti od -300V uzrokovat će dvostruko veću promjenu punih tonova. Devijacija gamutnih volumena, najveća je kod: Splendogel papira (75%), Simbol papira (65%) i Arcoprint papira (23,3%). Početno povećanje napona za -150V (s -200V na -350V) rezultirat će ukupnim rastom gamutnog volumena za 75%. Općenito vrijedi: viši napon razvijačkog bubnja = veći nanos bojila, odnosno tamniji otisak.

- Druga faza razvijanja izvodi se djelovanjem povratnih valjaka. U odnosu na početnu kalibraciju, ostvarena je ogromna razlika u obojenju. Rastrirane površine pritom postižu dvostruko veće povećanje u koloritu, u odnosu na pune tonove (100% obojenje). Maksimalnim povećanjem napona povratnih valjaka od -250V, ostvarit će se najveći rast gamuta kod Splendogel otisaka (45%), Arcoprinta otisaka (42%) i Simbol otisaka (38%).

Početno povećanje napona od -125V (s napona 0V na napon -125V), utjecat će na 84% rast gamuta. Daljnje povećavanje napona utječe na porast nanosa bojila, što uzrokuje razlijevanje bojila po slobodnim površinama fotokonduktora.

- Završna faza razvijanja izvodi se djelovanjem squeegee valjka. Varijacijom napona squeegee valjka, u svim analiziranim poljima minimalno se mjenjaju obojenja (prosječno odstupanje za sve otisnute boje  $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$  je 1,6). Promjene u gamutima najveće su kod Splendogel papira (3,7%), dok su manje kod Arcoprint (2,3%) i Simbol papira (1,8%). Najbolja reprodukcija je postignuta s primjenom najnižeg napona squeegee valjka (-1250V), dok je najlošija reprodukcija postignuta s najvećim naponom (-1450V).

- Variranje temperature ofsetnog cilindra ( $\Delta T=20^{\circ}C$ ) utječe na proces prijenosa bojila s fotokonduktora na tiskovnu podlogu. Dovodjenje ofsetnog cilindra u viši energetski nivo, rezultira s rastom gamuta reprodukcije (maksimalni volumeni ostvareni su pri temperaturi od  $145^{\circ}C$ ). Najmanja devijacija gamuta je kod Arcoprint otisaka je (1,8%), dok je kod Splendogel otisaka najveća (3,7%). Pri početnom porastu temperature sa  $125^{\circ}C$  na  $135^{\circ}C$  ostvarit će se različiti porasti u volumenu. Splendogel papir ostvaruje 62% rast, Simbol 50% rast, a Arcoprint 39,4% rast gamuta. Usljed rasta temperature promjene su izraženije kod punog tona. To je posebno vidljivo pri reprodukciji žute na Splendogel papiru.

- Efikasan transfer ElectroInka na ofsetnu navlaku omogućen je regulacijom pozitivnog napona ofsetnog cilindra (od +500 do +700V). Rastrirane površine Arcoprint i Simbol otisaka doživljavaju dvostruko veće povećanje u koloritu, u odnosu na pune tonove. Najmanji rast gamutnog tijela ostvaren je na Arcoprint otiscima (2,5%), dok je najviši rast ostvaren na Simbol otiscima (5,06%). Glatkoća papirne podloge ima presudnu ulogu pri drugom transferu. Napon od +700V formira najveću gamutnu površinu na Simbol i Splendogel otisku, dok za Arcoprint preporučamo napon od +600V.

- U posljednjoj fazi istraživanja izvršena je analiza utjecaja sastava bojila na konačnu reprodukciju. Devijacija prostornog volumena najveća je kod Arcoprint papira (11,12%) Simbol papira (7,9%) te Splendogel papira (5,98%). Najveći prostorni gamut formira se s najgušćim bojilom ( $D=2,0$ ). Postepeno povećanje gustoće obojenja (s  $D=1.20$  na  $D=1.60$ ) rezultirat će na Splendogel papiru skromnim rastom gamuta od 9,29%. Ostale tiskovne podloge bolje reaguju (Arcoprint 40,14% a Simbol 31,29%). Prosječna odstupanja nastala u obojenju ( $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ ) su velika (Simbol 12,6, Splendogel 10,6 i Arcoprint 10,26). Pritom i rastrirani i nerastrirani elementi doživljavaju gotovo identične promjene.

Završnu ocjenu utjecaja tiskovne podloge na reproducirane otiske moguće je prikazati u tabelarnom obliku (tablica 9).

Tablica 9. Maksimalni volumeni otisaka i njihova najveća devijacija nastala variranjem osnovnih parametara elektrofotografskog tiska

	Maksimalni volumen gamuta			Ukupno nastala devijacija gamuta		
	Arcoprint	Simbol	Splendogel	Arcoprint	Simbol	Splendogel
Skorotron (V)	516,150	750,176	576,87	Δ 4,1	Δ 13,3	Δ 8,6
Laserska glava	516,289	762,126	615,714	Δ 2,91	Δ 10,7	Δ 13,2
Razvijački bubanj (V)	530,889	763,175	621,382	Δ 229,0	Δ 301,5	Δ 269,7
Razvijački valjci (V)	546,834	762,139	618,448	Δ 146,4	Δ 210,0	Δ 193,0
Squeegee valjak (V)	514,729	768,613	615,066	Δ 9,4	Δ 17,2	Δ 22,3
Temp. of. gume (C°)	545,677	787,804	641,655	Δ 31,9	Δ 44,8	Δ 49,3
Napon of. gume (V)	544,447	781,947	605,255	Δ 11,5	Δ 37,7	Δ 14,3
Gustoća bojila	573,487	817,672	648,512	Δ 57,3	Δ 60,2	Δ 36,6
<b>KALIBRACIJA</b>	519,547	707,001	559,103			

- Površinska obrada tiskovnih podloga ima važnu ulogu pri postizanju kvalitetnog otiska. Na premazu prilagođenom za elektrofotografski tisak (Splendogel papir), postignuti su najjednačeniiji rezultati. Što je upojnost podloge veća, vezivanje ElectroInk bojila je bolje (Splendogel = 38,49 g/m<sup>2</sup>, Simbol = 34,43 g/m<sup>2</sup>, Arcoprint = 31,74 g/m<sup>2</sup>). Dielektrična svojstva papirne površine također pogoduju izvrsnom prihvaćanju ElectroInk bojila.

- Naravni papir zbog svoje hrapave površine (265,8 ml/min) nejednolično prihvaća bojilo, što je vidljivo pri ekstremnim nanosima bojila. Sjajni standardni papiri za umjetnički tisak (Simbol), posjeduju standardni premaz prilagođen za litografski tisak (hrapavost površine = 30,5 ml/min). Svojom ravnomjernom površinom dobro prihvaća ElectroInk bojilo, što rezultira visokom reflektancijom, odnosno visokim koloritom obojenja.

\* \* \* \* \*



Provedeno istraživanje potvrdilo je rezultate o izvrsnosti kalibracije HP Indigo stroja, te će definirani parametri omogućiti formiranje otisaka istovjetnih s otiscima standardnog ofseta. Pritom su i reprodukcije osnovnih procesnih boja zadovoljavajuće. Mogućnost direktnog utjecaja na reprodukciju sekundarnih boja (crvene, zelene i ljubičastoplave) nije moguća. Da bi se na karakterističnim podlogama otisnule ujednačene sekundarne boje, na HP Indigo stroju preporučuju se slijedeći parametri (tablica 10):

Tablica 10. Preporučeni parametri za tisak sekundarnih boja na HP Indigo TurboStream

PAPIR	Sekundarne Boje	Skoro-tron (V)	Laserska glava	Razvijački bubanj (V)	Razvijački valjci (V)	Squeegee valjak (V)	Temp. of. gume (C°)	Napon of. gume (V)	Gustoća bojila
ARCO-PRINT	Crvena	-710 V	4	-350 V	-80 V	-1400 V	135°C	600 V	1,7
	Zelena	-770 V	1	-350 V	-80 V	-1400 V	138°C	550 V	1,7
	Ljubičastoplava	-700 V	11	-350 V	-120 V	-1400 V	145°C	690 V	1,7
SIMBOL	Crvena	-750 V	1	-430 V	-5 V	-1400 V	145°C	700 V	1,7
	Zelena	-700 V	2	-300 V	-110 V	-1250 V	130°C	700 V	1,7
	Ljubičastoplava	-830 V	8	-300 V	0 V	-1400 V	140°C	600 V	1,7
SPLENDOGEL	Crvena 100%	-750 V	1	-350 V	-20 V	-1250 V	145°C	700 V	1,7
	Zelena	-700 V	7	-300 V	-80 V	-1400 V	125°C	600 V	1,7
	Ljubičastoplava	-800 V	10	-300 V	-20 V	-1350 V	145°C	700 V	1,7

## 7. Popis literature

1. History of Electrophotography, Wikipedia-free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org>, 16.11. 2005.
2. Birkenshaw J.; Short Run Printing. PIRA, Leatherhead (UK) 1994.
3. Fenton H. M., Romano F, J.; On Demand Printing, The revolution in Digital and Customised Printing, Pretince Hall, PTR, New Jersey, 1998.
4. Flagan A., Endless; Applications Print on Demand, [www.podb.com](http://www.podb.com).
5. Kriso H.; Budućnost elektronskog izdavaštva, Acta Graphica 4(4) 1994, 194 - 195, 1994.
6. Frank J. R. (Ed); GATF Encyclopedia of Graphic Communications, GATFPress, Pittsburgh, 1998.
7. A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 225-290, 1996.
8. E. M. Williams, The Physics and Technology of Xerographic Process, Krieger Publishing Co. 1993.
9. L. B. Schein; Electrophotography and Development Physics, 2<sup>th</sup> (ed), Laplacian Press, Morgan Hill (CA), 1996.
10. A. Flagan; On-demand Printing, Upper Saddle River, New York, 1998.
11. A. G. Nothmann; Nonimpact Printing, Graphic Arts Technical Foundation, Pittsburgh, 73-86, 1989.

12. J. L. Johnson; Principles of Non-impact Printing, Palatino Press, Irvine (CA), 1998.
13. Romano F. J.; The Printing Industry in the Electronic Age, Understanding Graphic Communication, GATFPress, Pittsburgh, SAD, 215 - 221, 2000.
14. K. Johansson, P. Luderc, R. Ryberc: Guide to Graphic Print Production, Willey, Stockholm, 2002.
15. V. Žiljak, K. Pap; PostScript, Print & Publishing International Verlagsges m. b. H. Wien, 1999.
16. R. Ulichney; Digital Halftoning; The MIT Press, Cambridge, London, 1987.
17. Z. He, C.A. Bouman; Clustered AM/FM Halftoning Algorithm, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 1-6, 2004.
18. R. A. Ulichney; Digital Halftoning, MIT Press 1987.
19. R. L. Adler, B. P. Kitchetns & All; Matematics of Halftoning, IBM Journal of Research and Development, 47(1), 5-15, 2003.
20. Kotera H.; Image Processing and Printing Methods, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA,12-15, 1995.
21. M. Woods; A Dot Placement Approach to Stochastic Screening Using Bitmaps, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 328-332, 2004.
22. S. Lawrence; Is Error Diffusion FM Screening Becoming a Barrier to High Speed, High Quality, Image Printing, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Amsterdam,51 - 52, 2005.
23. B. Landa; Digital Color Offset -Today and Tomorrow, SPIE Proceedings, vol. 2171, 2-7 Bellingham (WA) 1994.
24. E. Miyamoto, Y. Mizuta, T. Nakazava; Design for Charge Transport Property of Positive - Charging - Type Single -Layer OPC Photoreceptor, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 497-500, 2004.
25. Jeffrey N.; Looking to 2010, Print on Demand, www.podb.com, 27.10. 2000.
26. R. M. Schaffert; Transfer of Latent Electrostatic Images to Dielectric Surfaces, Electrophotography, Focal Press, Stoneham, MA, str. 512, 1975.
27. Chatow C., Udi C.; The Fudamentals of Indigo's Digital Offset Colour Printing Process and How it Rivals Mechanical Offset Printing, Proceedings T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Antwerpen, Belgium, 21-25, 2001.
28. Y. Mizuta, E.Miyamoto, J. Azuma; High Resolution Technology Using Positive Charge Type OPC Photoreceptor, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 501-504, 2004.
29. M. F. Molaire, T. Zubil; CocrySTALLINE Mixures of Tytanyl Fluorophthalocyanine and Unsubstituted Titanyl Phthalocyanine, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 487-491, 2004.

30. Drennan B.; Indigo E-print, Adams-Harmon Graphics Press, Chicago 1998.
31. Lutz M.; Recent Trends in Photoconductor Development for Non-Impact Printers, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA, 23-25, 1995.
32. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999.
33. I. Majnarić, I. Bolanča, Z. Bolanča; Overview of the Surface Condition of Photoconductors by Image Analysis Method, MED 06 International, Conference on Materials, Energy and Design, Dublin 2006.
34. M. Lutz; Recent Trends in Photoconductor Development for Non-Impact Printers, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, South Carolina, 23-25, 1995.
35. N. Nagayama, N. Nakamura, M. Yokoyama: Pixel Image Formation on a Multi-Layered Organic Film Installed with Pixel-Like Floating Electrodes, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 543-546, 2004
36. N. J. Lee, H.R. Joo, K. Y. Yon: Development of Positive Charging Multi-Layered Organic Photoconductor for Liquid Electrophotographic Process, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, 670-673, 2003.
37. L. Cheng, D. Forrest, M. K. Tse; Evaluation of an LED Printer and Printhead using Print Quality Analysis, IS&T NIP 17, International Conference on Digital Printing Technologies, Fort Lauderdale, 101-106, 2001.
38. H. Livne, M. Plotkin; High Speed Laser Scanning Unit (LSC) Using 12-Beam Laser Diode Array and Image Tracking System (ITT) for High Quality Color Printing, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 472-475, 2003.
39. H. Mizes, D. Viassolo; Scanner-based Technique to Adjust LED Print Bar Uniformity, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 532-536, 2003.
40. K. Kataoka, Y. Shibayama, S. Monma: High-Speed Laser Printer Using Multiple Beam from Optical Fiber Array Coupled with Violet Laser Diodes, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Amsterdam, 49 - 50, 2005.
41. Takiguchi T., Koichi H.; High-quality Digital Color Xerography; Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, San Jose, CA, USA, 38-46, 1993.
42. J. You, H. Kim. S. Han: Banding Reduction in Electrophotographic Printer, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 470-473, 2004.
43. M. Schleusener; Océ VS 9000 - a New Platform for Digital Production Printing, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 339-341, 2004.

44. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I.; Comparison of the Quality Limits of Some Printings Papers in Offset and Digital Printing, *Advances in Printing Science and Technology*, A.(Ed) Bristow, Surrey, UK, 177 - 182, 2001.
45. Majnarić I, Knešaurek N.; Utjecaj promjene LUT krivulja Indigo E-printa na kvalitetu probnog otiska, *Zbornik radova 7. Znanstveno-stručnog simpozija grafičara Blaž Baromić*, 113-118, Senj 2003.
46. T. Mizawa, Y. Nakata, Y. Mizuno; Charging Characteristics of Spherical Mono-dispersed Particles, *IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies*, New Orleans, Louisiana, 107-110, 2003.
47. J. M. Eun, H.C. Lee, K. J. Do: Single Component Non-Magnetic Development System for High-Speed Desktop Printer, *IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies*, Salt Lake City, Utah, 17-21, 2004.
48. Golubović A.; Tiskarske podloge i tiskarske boje koje se koriste u digitalnom tisku, *Zbrnik radova 7. Znanstveno stručnog simpozija hrvatskih grafičara "Blaž Baromić"*, 11-20, Senj 2003.
49. C. Suzuki, M. Takagi, S. Inoue: Toner Characteristics and Xero Interactive Performance of EA Particles with Specific External Additives, *IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies*, New Orleans, Louisiana, 134-137, 2003.
50. T. Nanya, F. Sasaki, S.Yagi; Development of New Polyester - Based Polymerization Toner, *IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies*, Salt Lake City, Utah, 143-147, 2004.
51. G. Goldmann; *The World of Printers*, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004.
52. I. Majnarić; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, *Magistarski rad*, Zagreb 2004.
53. I. E. M. Severens, DEM Simulations of Toner Behavior in the Development NIP of the Océ Direct Imaging Print Process *IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies*, Salt Lake City, Utah, 67-72, 2004.
54. J. R. Larson, G. A. Gipson, P. S. Schmidt; Liquid Toner Materials, *HandBook of Imaging Materials 2nd edition*, (Ed) A.D. Diamond and D. S. Weiss, 239-264, 2002.
55. D.H. Lee, S.H. Choi, S.D.Kim; The Charging Characteristics of CCA, *IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies*, Salt Lake City Utah, 154-157, 2004.
56. S. Matsumoto, Y. Fukano, J. Matsuno; High Speed Liquid Development Using Highly Concentrated Liquid Toner, *IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies*, New Orleans, Louisiana, 53-56, 2003.
57. G. Field; *Color and Its Reproduction*, GATF Press (Second edition) Pittsburgh 1999.
58. U. Chatow, R. Samuel; Digital Labels Printing, *IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies*, New Orleans, Louisiana, 476-481, 2003.

59. Lemperth C., Ingvar H.; Paper and Digital Printing - What is Happening? Proceedings T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Antwerpen, Belgium, 331-334, 2001.
60. T. Mitsuya, T. Kamasaka; Heat Transfer and Toner Melting in an Electrophotographic Fuser System, *Journal of Imaging Science and Technology*, 36, (1) 88-92, 1992.
61. S. Bolanča, I. Majnarić, S. Pigac; Scientific book: Digital Printing with Increased Ink Layers, *Graphic Arts Technology, Design, Communications*, 131-142, Zagreb 2005.
62. S. Bolanča; Glavne tehnike tiska, *Acta graphica*, Zagreb, 150 - 153, 1997.
63. T. Takahashi, S. Iwai, M. Kadonaga; A Study of Transfer Process by Observation of Discharge Light Emission; IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 28-31, 2003.
64. Eldred N., Scarlett T.; What the Printer Should Know about Ink. 3rd edition. GATF, Pittsburgh (PA) 1994.
65. I. Majnarić, I. Bolanča, Z. Bolanča, M. Milković; Condition in Digital Printing of Packaging on the Print Quality, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Amsterdam, 97 - 99, 2005.
66. M. Samei, T. Naguchi, H. Tatematsu; Color-Fusing Technology Using Induction Heating, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 58-62, 2003.
67. E. Caruthers, J. Larson, J. Barkes; Liquid Toner Transfix Print Process, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 45-48, 2003.
68. R.B. Prime; Relationship Between Toner Properties, Fuser Parameters, and Fixing of Electrophotographic Images, *Photographic Science and Engineering*, 27 (1), 19-25, 1983.
69. S.S. Hwang; Toner Penetration into Paper at Fusing, *Journal of Imaging Science and Technology*, 44 (1), 20-26, 2000.
70. K. M. Sipi, P.T. Oittinen; Print Quality with Hot Roller and IR - Radiation Fixing Methods & *Journal of Imaging Science and Technology*, 44 (5) 442-451, 2000.
71. Walenski W.; *Das Papier, das Buch*, Verlag Berufsschule, 1994.
72. Anon A.; Digital Paper for Digital Presses, *Graph World*, 156 2001, 9-10, 2001
73. D. Cho, H. Kim, S. Han; e-Coil Roller Fusing System for Energy Saving and Long Life, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 221-225, 2004.
74. Kato L. K., Cameron R. E.; *Polymer International*, 51(8) 2002,
75. T. Mitsuya, D. Hara, R. Yabuki; Micro Scale Temperature Field Analyses for Robust Fusing Systems Design in High - Speed heavy - Duty Laser Printers, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 17-21, 2004.

76. Young T.; On the Theory of Light and Colours, Phil. Trans., R. Soc, 12, 2002.
77. D. S. Hagenest, D. Rohde; Paper Transpot in Duplex Color Radiation Fusing, Continuous and Flash; IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 41-44, 2003.
78. H. Al-Rubaiey, P. Oittinen; The Influence of Flash Fusing Variables on Image Fixing Quality, ICIS Tokyo, 496-498, 2002.
79. M. Schleusener, R. Apel; The Influence of Toner and Paper Properties on Electrophotographic Print Quality, Preceedings of the 10th International Conference on Advantces in Non-Impact Printing Tecnologies, IS&T, New Orleans, 545-548, 1994.
80. L.H. Lee; The Thermal Fixing of Electrophotographic Images, Adhesion Science and Technology, L.H. Lee (ed), Plenum Press, New York, 831-852, 1975.
81. L. B. Schein, G. Beardsley; Offset Quality Electrophotography, Journal of Imaging Science and Technology, 37, (5) 451-461, 1993.
82. M. Yamamoto, Y. Takuma, K. Kikuchi; Characteristic of DC Charging Roller System, Development of New Polyester - Based Polymerization Toner, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 12-16, 2004.
83. H. Kawamoto; Chatter Vibration of a Cleaner Blade in Electrophotography, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA, 238-242, 1995.
84. I. Majnarić, M. Brozinćević, S. Bolanča; Optički aspekti digitalnog tiska na adhezivnim medijima, International Conference MATRIB, Vela Luka 2005.
85. F.G. Fan, M. Soltani, G. Ahmadi; Removal of Rigid-Link Fibers by Fluid Flows, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA, 243-246, 1995.
86. Hars C.; Autorizacija i novi impulsi u tehnici tiskarskih strojeva, Acta Graphica 2(4) 1995, Zagreb, 107 - 111, 1995.
87. Kumar M.; Drupa 2000: Digitalna evolucija: digitalne tehnike tiska, Grafičar 6 2000, 6-33, 2000.
88. Kiphan H.; Status and Trends in Digital Multicolor Printing, Technologies, Materials, Processes, Architecture, Equipment and Market; NIP 13: Proceedings of International Conference on Digital Printing, IS&T, Springfield (VA) 11-19, 1997.
89. S. Yamana; High-Speed Color Laser Printing; IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 1-6, 2004.
90. I. Majnarić, A. Zadro, I. Pučić; Screen Shapes and the Ink Application as the Factors of Qualitative Offset Printing, Scientific book: Graphic Arts Technology, Design, Communications, 79 - 88, Zagreb 2006.
91. Lozo B., Knešaurek N., Majnarić I.; Removal of Ink by Defribation: Colorimetric Properties of Recycled Paper, CGIV 2002, Proceeding First European colour in graphic, image and vision, 459-462, Poitiers 2002.

## Popis slika

- Slika 1. H. Kiphan, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications Tutorial 9, IS&T, Amsterdam 2005, str. 125.
- Slika 2. A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str. 230.
- Slika 3. A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str. 231.
- Slika 4. A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str. 231.
- Slika 5. A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str. 232.
- Slika 6. A. G. Nothmann; Nonimpact Printing, Graphic Arts Technical Foundation, Pittsburgh, str. 74.
- Slika 7. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str. 678.
- Slika 8. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 205.
- Slika 9. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 207.
- Slika 10. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 208.
- Slika 11. I. Majnarić; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Zagreb 2004. str. 63
- Slika 12. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavlje 3, str. 7
- Slika 13. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavlje 3, str. 5
- Slika 14. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 99.
- Slika 15. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 80.
- Slika 16. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 80.
- Slika 17. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavlje 5, str. 2
- Slika 18. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavlje 5, str. 4
- Slika 19. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str. 141.
- Slika 20. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str. 142.
- Slika 21. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str. 146.
- Slika 22. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str. 147.

- Slika 23. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str.162.
- Slika 24. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje 5.2 i 5.3 str.154.
- Slika 25. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavnje 6, str. 12.
- Slika 26. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 686
- Slika 27. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje str. 91
- Slika 28. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 698
- Slika 29. I. Majnarić; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Zagreb 2004. str. 61
- Slika 30. C. Staelin, R. Bergman: Dot Gain Table and Developer Voltage Prediction for HP Indigo Press, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, str.211
- Slika 31. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, poglavlje str.97.
- Slika 32. Indigo Operator's Manual E-print 1000 verzija 2.4, Maastricht 1997, poglavlje 8, str 4.
- Slika 33. Indigo Operator's Manual E-print 1000 verzija 2.4, Maastricht 1997, poglavlje 8, str 5.
- Slika 34. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str.111.
- Slika 35. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str.115.
- Slika 36. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str.129.
- Slika 37. M. Schleusener; Océ VS 9000 - a New Platform for Digital Production Printing, IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, str. 340.
- Slika 38. Xerox Corporation, Concepts of Basic Xerography, Poglavnje 9, str. 3.
- Slika 39. I. Majnarić; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Zagreb 2004. str. 60.
- Slika 40. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 670,
- Slika 41. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 670,
- Slika 42. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 670,
- Slika 43. H. Kiphan, Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001, str 670,
- Slika 44. S. Yamana; High-Speed Color Laser Printing; IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Springfield, VA, str.2.
- Slika 47. Majnarić; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Zagreb 2004. str. 54.



## Popis tabela

Tablica 1. M. Lutz; Recent Trends in Photoconductor Development for Non Impact Printers, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, South Carolina, str. 24

Tablica 2. G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str.131.

Tablica 3. Osnovni parametri Indigo Turbo Steama nakon kalibracije

Tablica 4. Tehničke karakteristike Spektrofotometra X-rite SwatchBook, [www.X-rite.com](http://www.X-rite.com).

Tablica 5. Tehničke karakteristike Spectrofotometra X-rite DTP 41, [www.X-rite.com](http://www.X-rite.com).

Tablica 6. Tehničke karakteristike papira Symbol free life gloss, [www.fedrigoni.com](http://www.fedrigoni.com)

Tablica 7. Tehničke karakteristike papira Arcoprint E.W., [www.fedrigoni.com](http://www.fedrigoni.com)

Tablica 8. Tehničke karakteristike papira Splendogel E.W., [www.fedrigoni.com](http://www.fedrigoni.com)

## Popis korištenih formula

[1 (2.2)] A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str. 230.

[2 (2.2)] A. L. Schawlow, Lasers and Light, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1996, str.232.

[1 (2.3.2)] G. Goldmann; The World of Printers, Océ Printing Systems GmbH, Dusseldorf 2004, str. 81.

## Popis radova

### KVALIFIKACIJSKI RAD:

1. Majnaric, I., Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad. Zagreb: Graficki fakultet Zagreb, 19. 04. 2004., 158 str. Voditelj: Bolanca, Stanislav.

### ZNANSTVENI RADOVI

#### a) Poglavlje u knjizi s međunarodnom recenzijom

2. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I., Comparison of the Quality Limits of Some Printing Papers in Offset and Digital Printing, Advances in Printing Science and Technology (Edited by Anthony Bristow), Surrey, UK 2001. str 177 - 182.

3. Bolanča S., Majnarić I., Pigac S.; Scientific book: Digital Printing with Increased Ink Layers, Graphic Arts Technology, Design, Communications, Ed. Z. Bolanča, M. Mikota, 131- 142, Zagreb 2005.

4. Majnarić I., Zadro A., Pučić I.; Scientific book: Screen Shapes and the Ink Application as the Factors of Qualitative Offset Printing, Scientific book: Graphic Arts Technology, Design, Communications, Ed. Z. Bolanča, M. Mikota, 79 - 88, Zagreb 2006.

#### b) Radovi objavljeni u zborniku radova s međunarodnog skupa

5. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I., Comparison of the Quality Limits of Some Printing Papers in Offset and Digital Printing, Paper 2.1., Proceedings 27th IARIGAI Research Advances in Paper and Board performance, Graz, Austria 2000.

\*Rad objavljen u knjizi odabranih radova navedeno pod 1.

6. Lozo B., Knešaurek N., Majnarić I., Removal of Ink by Defibrillation: Colorimetric Properties of Recycled Paper, CGIV 2002, First European Colour in Graphic, Image and Vision, Paris 2002. str. 459 - 462.

7. I. Majnarić I., I. Bolanča I., Bolanča Z., Milković M; Condition in Digital Printing of Packaging on the Print Quality, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Amsterdam, 2005, 97.
8. Bolanča Z., Bolanča I., Majnarić I., The Influence of the Digital Printing of Packaging, on the Characteristic of the Recycled Fibres, International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Amsterdam, 2005, 100.
9. Majnarić I, Bolanča I., Bolanča Z., Some Optical Characteristics of Xerox Prints in Function of Ageing, The 10th Congress of the International Colour Association, Granada, 2005, 1207.
10. Majnarić I, Brozinčević M., Bolanča S., Optical Aspects of the Digital Printing on Adhesive Media, International Conference MATRIB, Proceedings, Vela Luka 2005.
11. I. Majnarić, I. Bolanča, Z. Bolanča; Overview of the Surface Condition of Photoconductors by Image Analysis Method, Proceedings International Conference on Materials, Energy and Design, Dublin, March 2006,
12. Bolanča Z, Bolanča I, Majnarić I, Optical Characteristics of Ink Jet Prints Conditioned by Substrate Ageing, Proceedings, Congress of International Colour Association, Johannesburg, 2006, 42.
13. Bolanča Z, Bolanča I, Majnarić I, Ageing of Substrate and the Quality of Digital Prints, Proceedings, International Congress of Imaging Science, Rochester, May 2006, 591.
14. Bolanča I, Majnarić I, Bolanča Z, Some Optical Characteristics of Digital Prints in Function of Ageing, Proceedings, International Conference Printing Technology, Saint Petersburg, June 2006, 215.
15. Majnarić I, Bolanča Mirković I, Bolanča Z, Study of Printing Substrate Properties and Factors of the Environment (MATEST Accepted)
16. Bolanča Mirković I, Majnarić I, Bolanča Z, Recycling of Waste Paper with Different Density of Liquid Toner (6th International Conference on Ecosystems and Sustainable Development, Accepted).

c) Radovi objavljeni u zborniku radova s domaćeg skupa

17. Zjakic I. Bolanča S., Majnarić I., Istraživanje metamerije u suvremenom tisku, 6. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Senj 2002. Zbornik radova, 58 - 61.

18. Majnarić I., Knešaurek N., Utjecaj promjene LUT krivulja indigo E-printa na kvalitetu probnog otiska, 7. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Senj 2003. Zbornik radova, 113 - 118.

19. Bolanča S., Majnarić I., Zadro A., Otisci digitalnih tehnika tiska kroz gradaciju rastertonskih vrijednosti, 8. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Lovran 2004. Zbornik radova, 161 - 166.

20. Bolanča S., Majnarić I., Pigac S., Printing with the Increased Ink Layers, 8. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Lovran 2004. Zbornik radova, 183 - 190.

21. Avalon S., Golubović V., Majnarić I., Tiskarstvo u znanstveno-stručnim časopisima, 9. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Lovran 2005. Zbornik radova, 181 - 188.

22. Cigula T, S. Bolanča, I. Majnarić; Studija trapinga kod digitalnog ofsetnog tiska, 10. Znanstveno stručni simpozij hrvatskih grafičara Blaž Baromić, Novi Vinodolski 2006. Zbornik radova, 127 - 132.

#### OSTALI RADOVI

23. Majnarić I., Digitalni tiskarski sustav primjenom koagulacije, Acta Graphica 12 (2000)2, 67, UDK 655.39:681.3.

24. Majnarić I., Proces elektrokoagulacije u prijenu digitalnog tiska, Acta Graphica 12 (2000)3, 119, UDK 655.39:681.3.

25. Majnarić I., Tampon tisak, Ambalaža 1 (2000), 59.

26. Majnarić I., Ofsetni tisak, Ambalaža 2 (2000), 43.

## Životopis

Igor Majnarić rođen je 21. srpnja 1971. u Rijeci. Osnovnu školu završio je u Delnicama, a Srednju grafičku školu (smjer tisak) u Zagrebu 1990. godine. Za vrijeme srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja stipendiran je od tiskare Zanat-grafike iz Delnica, u kojoj izvodi svoju stručnu praksu. Višu grafičku školu završava 1995. i nastavlja školovanje na Grafičkom fakultetu kojeg završava 1998. godine. Raspisivanjem natječaja Grafičkog fakulteta od 1. listopada 1998. za zvanje mlađeg asistenta, zapošljava se na katedri za Tisak.

Poslijediplomski magistarski studij grafičko inženjerstvo (znanstveno područje tehničkih znanosti, polje grafička tehnologija) završava 19. travnja 2004. obranom magistarskog rada: Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge,

Od 2000. godine mr. sc. Igor Majnarić sudjeluje na slijedećim projektima:

1) Nacijonalni: "Istraživanje sustava: celuloza, tiskarska boja, tekućina", šifra 128001, Hrvatska, pod vodstvom dr. sc. Zdenke Bolanče, red. prof.

2) Nacijonalni: "Mehanizmi deinkinga otisaka digitalnog tiska", šifra 0128003, Hrvatska, voditelj dr. sc. Zdenka Bolanča. red. prof.

3) Međunarodni: "Enzimatski deinking i obrada otpadnih voda" voditelj dr. sc. Zdenka Bolanča, red. prof., Bileteralno hrvatsko-slovenski program suradnje u području znanosti i tehnologije.

4) Nacijonalni: "Nove formulacije materijala, karakteristike otisaka i čimbenici okoliša" šifra 128-1281955-1953, Hrvatska, voditelj dr. sc. Zdenka Bolanča. red. prof.

5) Nacijonalni: "Studij tehnoloških čimbenika grafičkog dizajna za sustavno unapređenje kvalitete" šifra 128-1281955-1962, Hrvatska, voditelj dr. sc. Stanislav Bolanča. red. prof.

U tom vremenskom periodu mr. sc. Igor Majnarić objavio je: 3 rada objavljena kao poglavlja u knjizi s međunarodnom recenzijom, 11 znanstvena rada na međunarodnim kongresima, 6 znanstvenih radova na domaćim kongresima i 4 stručna rada objavljena u domaćim časopisima.