

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

**MATEJKA PUŠKARIĆ**

UTJECAJ RAZLIČITE PIGMENTACIJE  
ELEKTROINKA NA FORMIRANJE RASTERSKIH  
ELEMENATA CIJANA, MAGENTE I ŽUTE

**DIPLOMSKI RAD**

ZAGREB, 2010. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

Diplomski studij grafička tehnologija;  
modul: Grafička tehnologija

UTJECAJ RAZLIČITE PIGMENTACIJE  
ELEKTROINKA NA FORMIRANJE RASTERSKIH  
ELEMENTA CIJANA, MAGENTE I ŽUTE

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:  
Prof. dr. sc. STANISLAV BOLANČA

Student:  
MATEJKA PUŠKARIĆ

ZAGREB, 2010. godina

## ZAHVALE

Veliko hvala mentoru prof. dr. sc. Stanislavu Bolanči, ali i cjelokupnoj Katedri za tisak, Grafičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu za pomoć pri realizaciji rada i svim potrebnim otiscima, te za dozvolu korištenja prostora i svih potrebnih mjernih uređaja.

Zahvaljujem se na stručnoj pomoći neposrednom voditelju dr. sc. Igoru Majnariću, na vremenu i trudu koji je uložio u ostvarenje ovoga rada, te na pažljivo pregledanom rukopisu i korisnim preporukama.

## SAŽETAK

Promjena pigmentacije procesnih tiskarskih bojila rezultirati će promjenama unutar svih rastertonskih područja. Ovaj rad usredotočiti će se na istraživanje ElektroInk elektrofotografskog bojila, odnosno kako će različita koncentracija pigmentata utjecati na formiranje najsitnijih rasterskih elemenata (rasterskih točaka). Pritom je analizirano 5 različitih koncentracija (gustoća tekućeg bojila varirana je od  $D=1,20$  do  $D=2,00$ , u koraku od  $\Delta D=0,20$ ). Analizom su obuhvaćene kolorimetrijske promjene otiska na papiru za umjetnički tisak (CIE LAB  $\Delta E_{2000}$ ), kao i mikroskopska i denzitometrijska analiza reproduciranih rasterskih elemenata ( $\Delta d$ ,  $\Delta R$ ). Razlika u obojenju, devijacija promjera rasterskih elemenata i reflektancija sa otisnutog rasterskog elementa dane su samo za svjetla rastertonska područja (20% RTV), u kojima su rasterski elementi oblikom savršeni. Ovim istraživanjem dobit će se odgovor kolika je optimalna koncentracija pigmentnih čestica i kako pojedini sastav pigmenta utječe na konačnu reprodukciju. Također će se razmatrati kako prevelika koncentracija pigmentata utječe na otiske, te da li su nastali dodatni problemi tijekom otiskivanja.

### Ključne riječi

Elektrofotografski tisak, ElektroInk bojilo, varijacija pigmentacije, deformacije rasterskog elementa

## ABSTRACT

Change the pigmentation Process printing inks will result in changes within all half tone area. This paper will focus on research ElectroInk electrophotographic inks, as well as different concentrations of pigments affect the smallest screen elements (print dots). Paper will analyzed 5 different concentrations (density of liquid inks varied from  $D=1.20$  to  $D=2.00$ , the



step of  $\Delta D = 0.20$ ). The analysis included colorimetric changes in prints on Fine Art Paper (CIE LAB  $\Delta E_{2000}$ ), as well as microscopic and densitometric analysis reproduced the print dots ( $\Delta d$ ,  $\Delta R$ ). The colour difference, deviation in diameter and reflectance of print dots are given only for light tone values (20%), in which the print elements look perfectly. This research will get answer what are the optimal concentration of pigment particles, and how each the pigment composition affects of the final reproduction. It will also be considered as excessive concentration of pigment affects the image, and if they affect on additional problems during printing production.

### **Key words**

Electrophotographic printing, ElectroInk, pigmentation variation, deformations of screen elements

## POPIS KRATICA

RTV	Rastertonska vrijednost
d	Promjer rasterskog elementa
$\Delta d$	Razlika u promjeru rasterskih elemenata
D	Gustoća obojenja
$\Delta D$	Razlika u gustoći obojenja
L*	Svjetlina
a* i b*	Kromatične vrijednosti
$\Delta E$	Razlika u obojenju
R	Koeficijent reflektancije
$\Delta R$	Razlika koeficijenata reflektancije
C	Cijan
M	Magenta
Y	Žuta

# SADRŽAJ

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME DIPLOMSKOG RADA

## ZAHVALE

## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

## POPIS KRATICA

## SADRŽAJ

<b><u>1</u></b>	<b><u>UVOD</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>TEORIJSKI DIO</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>3.1</b>	<b>ELEKTROFOTOGRAFIJA</b>	<b>3</b>
3.1.1	NABIJANJE U ELEKTROFOTOGRAFIJI	6
3.1.2	OSVJETLJAVANJE TISKOVNE FORME	7
3.1.3	RAZVIJANJE FOTORECEPTORA	10
3.1.4	PRENOŠENJE TONERA NA TISKOVNU PODLOGU	18
3.1.5	ČIŠĆENJE FOTOKONDUKTORA U ELEKTROFOTOGRAFIJI	20
<b>3.2</b>	<b>PAPIRI ZA ELEKTROFOTOGRAFSKI TISAK</b>	<b>21</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>EKSPERIMENTALNI DIO</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b>4.1</b>	<b>METODOLOGIJA</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>KORIŠTENI MATERIJALI I UREĐAJI</b>	<b>25</b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>REZULTATI I RASPRAVA</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>ZAKLJUČAK</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>7</u></b>	<b><u>POPIS LITERATURE</u></b>	<b><u>46</u></b>

# 1 UVOD

Glavna funkcija grafičkog bojila je prenijeti otisnutu informaciju (sliku, tekst) što je moguće vizualno uočljivije. Pritom je nužno provesti rastriranje tiskovne forme jer se tako omogućuje otiskivanje međutonova. Raster je sredstvo pomoću kojeg višetonsku sliku pretvaramo u jednotonsku. Osim u tehnici dubokog tiska, tiskarski strojevi ne mogu nanositi različite debljine bojila. Iz tog razloga se koriste rasterski elementi koji trebaju biti toliko mali da budu ispod praga sposobnosti razdvajanja ljudskog oka tako da ih standardni promatrač može zamijetiti samo uz uporabu nekog optičkog pomagala. Ovisno o samoj veličini rasterskog elementa, promatrač će imati dojam svjetlijeg ili tamnijeg tona. (1)

Osnovne karakteristike rasterskog sustava su linijatura i oblik rasterskog elementa. Linijatura je definirana brojem linija po centimetru. S povećanjem linijature smanjuje se veličina rasterskog elementa, ali pokrivenost površine ostaje ista. Što je broj linija veći to je raster finiji te je i reprodukcija bolja. Primijenjena linijatura rastera ovisi o karakteru originala, namjeni reprodukcije, tehnici tiska, te o papiru i boji koja će se koristiti. Oblik rasterskog elementa može biti različiti, a koji će se oblik koristiti ovisi o namjeni, tipu originala i uvjetima tiska. Najčešći oblik rasterskog elementa je točkica, odnosno oblik kruga, međutim postoji i oblik elipse, kockice, linije, romba, ili neki drugi posebni oblik.

U ovome radu korišteni su rasterski elementi u obliku točkica. Korišteni postupak rastriranja potpuno je digitaliziran i osim promjene veličine rasterskog elementa, omogućena je i promjena razmaka među rasterskim elementima kao i oblika rasterskih elemenata. Kod digitalnog rastriranja ulogu rastriranja preuzima RIP (Raster Image Processor) koji pripremljene stranice u standardnim grafičkim aplikacijama pretvara u rastriranu površinu izdvojenu za 4 procesne boje CMYK. (2)

Tijekom procesa otiskivanja rasterske površine doživljavaju mehaničke i optičke promjene. Mehaničke deformacije nastaju uslijed mehaničkog pritiska tiskovne forme na papirnu podlogu, dok optičke deformacije nastaju prilikom mjerenja, odnosno promatranja otisaka. Pritom reflektirana svjetlost sa rastrirane površine nije jednaka, jer jedan dio svjetlosnog zračenja ostaje zarobljen ispod otisnutih rasterskih elemenata, tvoreći tako prirast rastertonske vrijednosti. Najvažnija karakteristika kvalitetne reprodukcije postizanje je što većeg raspona gustoće obojenja. To se može postići povećanom pigmentacijom bojila ili povećanim nanosom bojila. (3)

## 2 OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI

Tekuće elektrofotografsko bojilo se zbog svojih sitnih pigmentnih čestica nejednoliko nanaša na tiskovnu podlogu. Zbog ne korištenja standardnog procesa fuziranja, u ovom tipu elektrofotografije papirna površina ne mora biti zagrijavana kako bi se omogućio stabilan otisak. Pritom se svojstva papira ne mijenjaju, što dovodi do veće kvalitete u reprodukciji.

Cilj ovog rada je ustanoviti deformacije koje nastaju na kolornim otiscima koji sadrže mnoštvo cijan, magenta i žutih rasterskih elemenata. Pritom će se analizirati kako različita koncentracija pigmentata tekućih tonera utječe na formiranje višebojne slike. Promjenom 5 različitih koncentracija tekućeg tonera dobiti će se različiti kontrastni otisci. Pritom će se utvrditi optimalna koncentracija pigmentnih čestica kao i njihov utjecaj na konačnu reprodukciju. Drugim riječima, razmotriti će se i moguća predoziranost pigmentacije, tj. da li se, osim povećanja cijene, događaju problemi pri otiskivanju.

### 3 TEORIJSKI DIO

Sveopćom implementacijom računala i laserske tehnologije, omogućen je razvoj digitalnog tiska. Digitalni tisak je realnost jer su informacije koje nas okružuju u digitalnom obliku, te se kao takve mogu lako modificirati i ponovo otiskivati. Konvencionalne tehnike tiska ponajviše su namijenjene otiskivanju većih naklada, dok su za tisak manjih naklada neisplative. Digitalni tisak razvija se u dva smjera: „Computer to Press“ tehnologija i „Computer to Print“ tehnologija. „Computer to Press“ tehnologiju karakterizira izrada standardne 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 otiskivanja ponovo izrađuje. Ovu tehnologiju karakterizira i vrlo mala sila pritiska u zoni dodira tiskovne podloge i tiskovne forme, te se takve tehnike otiskivanja nazivaju i NIP (Non Impact Printing) tehnike otiskivanja. Kao takve, pogodne su za tisak na zahtjev (Print on demand). (4)

U NIP tehnike tiska ubrajaju se: elektrofotografija, ionografija, magnetofotografija, Ink Jet, termografija, elektrografija, fotografija i „X“ grafija. Pomoću NIP tehnika tiska omogućena je proizvodnja grafičkih proizvoda koji do tada nisu bili ekonomski isplativi. Takvi strojevi nude mogućnosti personalizacije, kratku strojnu pripremu i razumnu cijenu otiska, izbjegavajući standardne tiskovne forme i filmove. NIP tehnike otiskivanja svakodnevno se razvijaju, a ipak se najviše investira u strojeve koji rade principom elektrofotografije ili Ink Jeta. (5)

#### 3.1 Elektrofotografija

Chester Charlson i Otto Kornei su u hotelu Astoria u Queensu (1938. godine), nakon višegodišnjeg istraživanja, postigli otisak sa suhim (praškastim) bojom. To je prvi poznati događaj elektrofotografskog otiska u povijesti. U eksperimentu je korištena mikroskopska staklena pločica na kojoj je bilo napisano "10.-22.- 38 ASTORIA", dakle točan datum kad se eksperiment dogodio (slika 1).

Tvrtka Harold (sadašnji Xerox) otkupljuje izvorni patent i nastavlja istraživanje na elektrofotografskom suhom otiskivanju, nakon što je 9 godina mirovala zbog nezainteresiranosti američkih elektroničkih kompanija za ovu metodu umnožavanja. U Xerox-

ovom laboratoriju 1953. godine ostvaren je prvi kolorni otisak principom praškaste elektrofotografije, da bi prvi automatizirani kopirni elektrofotografski stroj bio predstavljen 1959. godine. Upravo takva konstrukcija temelj je svih fotokopirnih strojeva. Prvi višebojni elektrofotografski stroj na svijetu pojavljuje se 1972. godine. Tri godine kasnije predstavljen je i prvi kolorni elektrofotografski stroj koji koristi lasersku tehnologiju za osvjetljavanje fotokonduktora, kolornu korekciju i višetonsko kolorno otiskivanje. Sadašnji predvodnici u proizvodnji digitalnih tiskarskih strojeva su tvrtke Helmut Packard, Xeikon, Xerox, OCE i Kodak. (6)



*Slika 1 Pločica s natpisom " 10.-22.-38 ASTORIA "*

Elektrofotografija s tekućim tonerom razvijena je mnogo kasnije. Pionir u razvoju takvih konstrukcija je tvrtka Indigo koja je svoj prvi stroj prezentirala na IpeX-u 1995. godine. Riječ je o E-printu, četverobojnom tiskarskom stroju kojeg je moguće proširiti i na 6 boja.

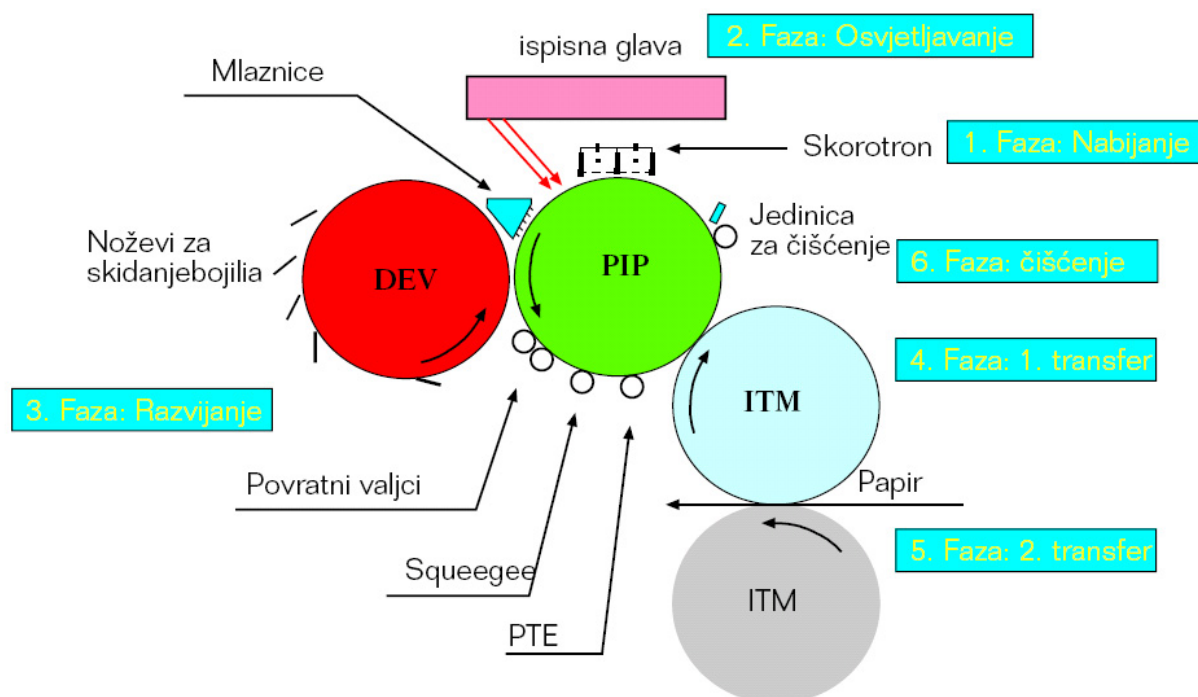
Osnovni princip elektrofotografije baziran je na fizikalnoj pojavi unutarnjeg fotoelektričnog efekta. Fotoelektrični efekt karakterističan je za električki nevodljive ili slabo vodljive kristale telura, selena, bakrenog oksida, talijevog sulfida, talijevog oksida. Takvi kristali pod utjecajem jače svjetlosne energije mijenjaju svoju kristalnu strukturu pri čemu se povećava električna provodljivost. Osnova cijelog elektrofotografskog procesa je fotoreceptor. Funkcija fotoreceptora je da od optičke slike stvori latentnu sliku, koja će se u fazi razvijanja transformirati u vizualno vidljivu sliku. (7)

Elektrofotografske tiskarske strojeve karakterizira mogućnost tiska na tiskovne podloge gramatura od 70 do 300 g/m<sup>2</sup>, precizan registar, mogućnost reproduciranja višebojnih otisaka najčešće izlazne rezolucije od 600 DPI. Nedostaci elektrofotografskog tiska mogu se pronaći u

relativno malom formatu tiskovne podloge, ograničenom broju vrsta papira pogodnih za kvalitetno otiskivanje i nezadovoljavajućih reprodukcija većih jednotonskih površina. (7)

Da bi se generirao jedan otisak, proces otiskivanja provodi se u šest faza, koje su prikazane na slici 2:

1. Nabijanje tiskovne forme
2. Osvjetljavanje tiskovne forme
3. Obojenje tiskovne forme bojiлом
4. Transfer bojila na prijenosni medij
5. Transfer bojila sa prijenosnog medija na tiskovnu podlogu
6. Čišćenje tiskovne forme od ostataka bojila.



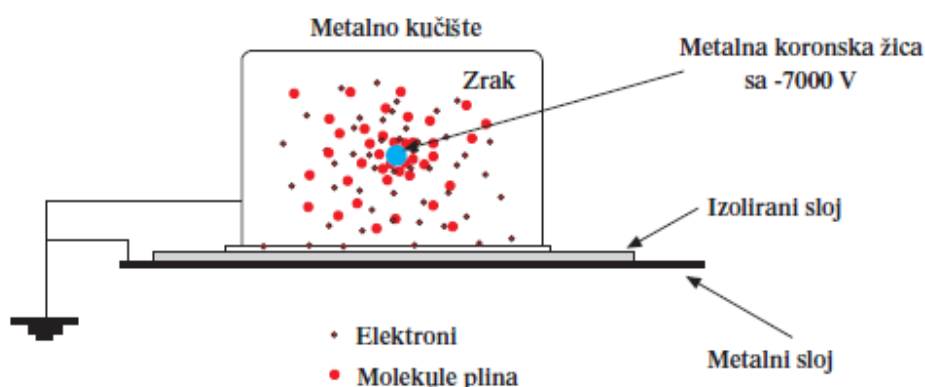
Slika 2 Princip rada elektrofotografskog tiska s ElektroInk bojiлом



### 3.1.1 Nabijanje u elektrofotografiji

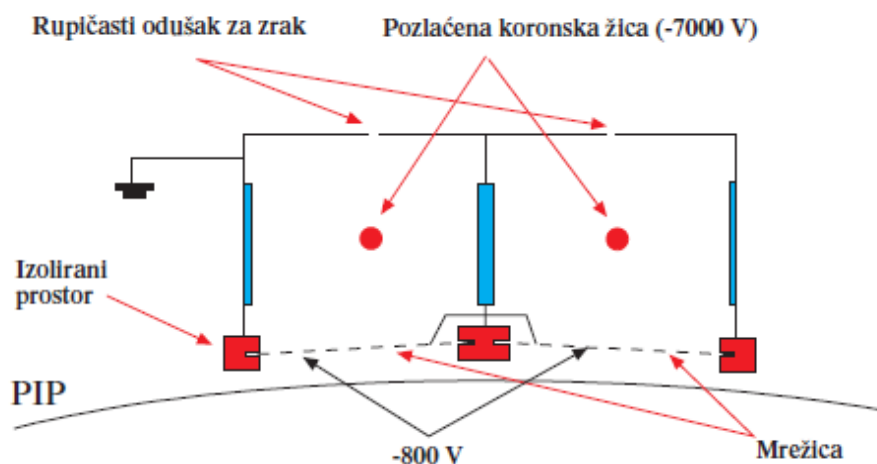
Proces elektrofotografskog tiska počinje fazom nabijanja. Fotosjetljiva površina bubnja se elektrostatički nabija, stvarajući pritom električki nabijenu površinu. Nabijanje tiskovne forme je stvaranje kontroliranog elektrostatičkog potencijala na površini fotokonduktora. Prema stvorenom naboju na fotokonduktoru razlikujemo pozitivno i negativno nabijanje. Negativno nabijanje karakteristično je za Indigo proces otiskivanja pa je u ovo radu detaljnije obrađeno. Kod Indigo tiskarskih strojeva naziv fotokonduktor zamijenjen je sa Photo Image Plate (PIP) što je i osnova digitalnog kolornog ofseta. Parametri koji su važni za stvaranje elektrostatičkog potencijala su: debljina vodljivog fotokonduktorskog sloja, primijenjen površinski naboj i dielektrična konstanta fotoreceptorskog sloja.

Kod elektrofotografije, nabijanje PIPa se vrši sa skorotromom čije kućište je slobodno. Suprotno tome, skorotronska žica i skorotronska mrežica su direktno spojene s napajanjem. U početnoj fazi negativskog nabijanja, uređaj za napajanje formira visok permanentan napon na skorotronske žici od -7000 V (slika 3).



Slika 3 Schematski prikaz skorotrona

Iz koronske žice oslobađaju se elektroni, koji se zajedno s molekulama zraka gibaju u svim smjerovima te dolaze do skorotronske mrežice. Regulacijom napona skorotronske mrežice kontrolira se protok elektrona kroz skorotronske mrežicu, čime se utječe na snagu elektrostatskog polja. Elektroni prolaze kroz mrežicu i jednoliko nabijaju površini PIPa. Rezultat toga je nabijanje površine virtualne tiskovne forme naponom od -800 V (slika 4).

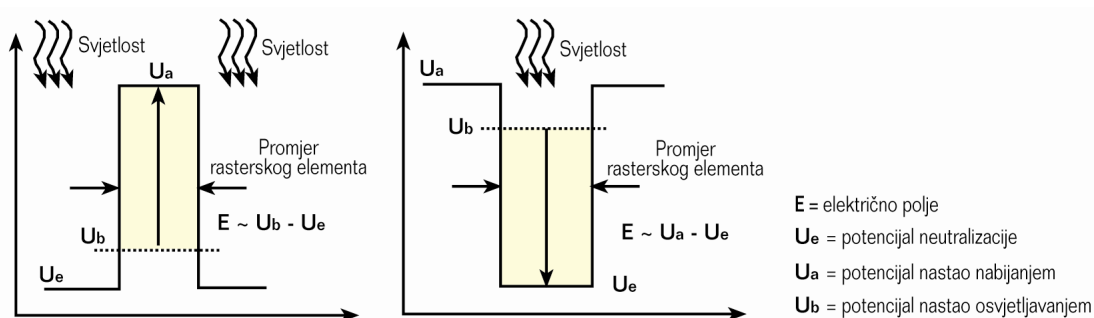


Slika 4 Princip rada skorotrona

Za visokoproduktivne elektrofotografske strojeve, proces nabijanja mora biti ubrzan. To se postiže dodavanjem više koronskih žica u skorotron (slika 4) ili montiranjem više skorotrona u liniju (obično 3).

### 3.1.2 Osvjetljavanje tiskovne forme

Osvjetljavanje je proces u kojem se originalni dokument ili kompjutorski podaci projiciraju na fotokonduktor pri čemu se naponi na fotokonduktoru mijenjaju (najčešće neutraliziraju). Ovisno o izvršenom nabijanju fotokonduktorske površine, razlikujemo negativsko osvjetljavanje CAD (Charged Area Development) i pozitivsko osvjetljavanje DAD (Discharged Area Development) koji su prikazani na slici 5. Osnovni preduvjet za negativsko osvjetljavanje je pozitivno nabijena fotokonduktorska površina, dok su kod pozitivskog osvjetljavanja takvi preduvjeti su dijametralno suprotni (potrebna je prethodno negativno nabijena površina fotokonduktora).

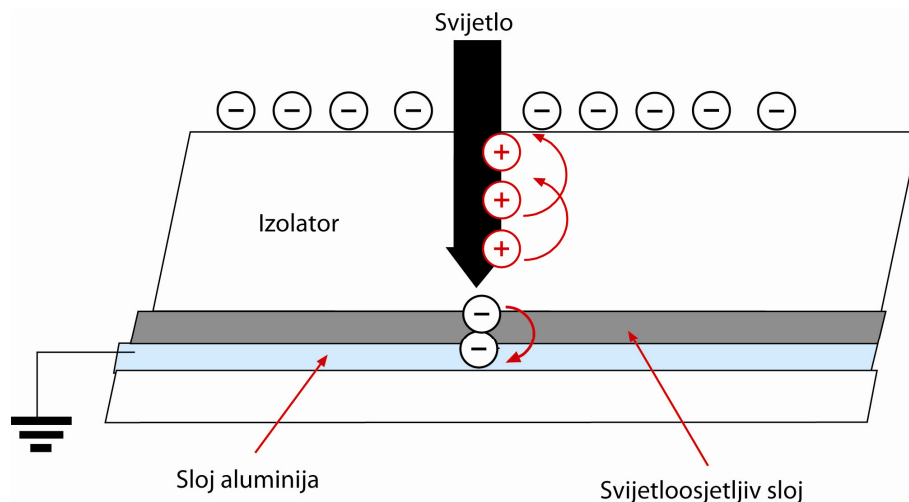


Slika 5 Shematski prikaz negativskog (CAD) i pozitivskog (DAD) osvjetljavanja

Zavisno o informacijama pripremljenog obojenog izvotka, laserska glava selektivno osvjetljava površinu PIPa. Pritom se upotrebljava laserska glava čiji su izvori laserske diode (4 komada) koje usmjereno vode svjetlost prema PIPu. Valna duljina takve svjetlosti iznosi  $\lambda=830$  nm što spada u IR elektromagnetsko područje. Na osvjetljenim mjestima dolazi do izbijanja negativnog naboja, čime ta mjesta postaju elektropozitivnija. Ovisno o snazi svjetlosti lasera moguće je na tiskovnoj formi postići različite potencijale (od minimalnih -800 V do maksimalnih -100 V). Tako se formira virtualna tiskovna forma, koja posjeduje osvjetljene tiskovne elemente i neosvijetljene slobodne površine. Tiskovni elementi formirani na fotokonduktoru su vrlo mali, čime je osigurana dobra rasterska reprodukcija.

Princip osvjetljavanja direktno je ovisan o građi fotokonduktora. U proizvodnji pozitivskih fotokonduktora osnovu čini aluminijska podloga koja je uzemljena. Iznad podloge nanesen je sloj za akumuliranje naboja, te sloj za transfer naboja. U završnom sloju takvog tipa fotokonduktora može se pronaći i zaštitni sloj, koji omogućuje organskim fotokonduktorima dužu trajnost. Presjek pozitivskog fotokonduktora vidljiv je na slici 6.

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 = Organic Photo Conductor).



Slika 6 Presjek HP Indigo fotokonduktora

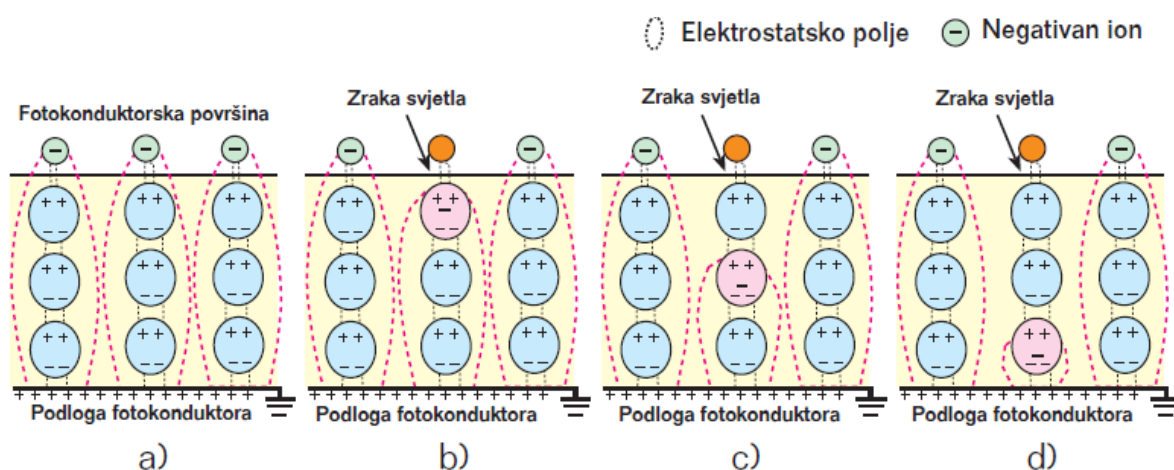
### 3.1.2.1 Princip pozitivskog osvjetljavanja

Pozitivski princip osvjetljavanja zahtjeva polariziranje u unutrašnjosti fotokonduktorskog sloja koje se provodi nabijanjem skorotromom. Formira negativni naboj na površini fotokonduktora, dok je podloga fotokonduktora permanentno pozitivna. Uslijed djelovanja skorotromona, u centralnom sloju fotokonduktora stvara se snažno elektrostatsko polje u kojem se elektroni slobodno gibaju unutar vlastitih molekula (slika 7a).

U momentu osvjetljavanja jednog dijela fotokonduktorskog bubnja (tiskovni elementi), nosioci negativnog naboja usmjeravaju se u smjeru najviše polarizirane molekule centralnog poluvodičkog sloja. Na taj način 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 7b).

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 negativan naboj i dalje smanjuje (neutralizira) što je vidljivo na slici 7c.

Migracija negativnog naboja ponavlja se s viših na sve niže molekule, tj. do posljednje molekule koja graniči s uzemljenom podlogom. U tom trenutku pozitivna fotokonduktorska podloga privlači oslobođeni elektron u ionu, te na taj način dolazi do neutralizacije iona i pozitivne podloge (slika 7d).



Slika 7 Reakcije u fotokondukturu tijekom osvjetljavanja

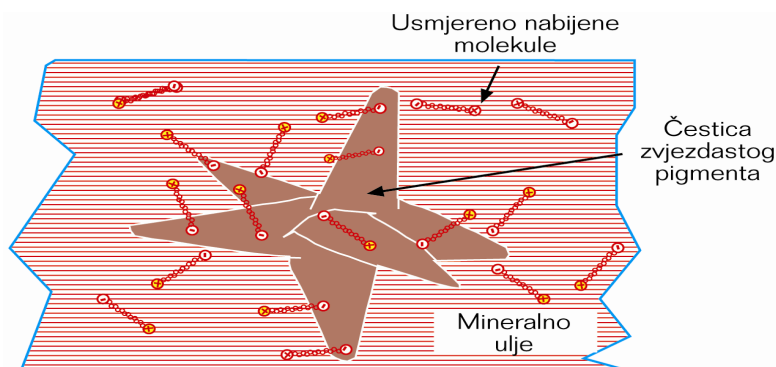
Kretanje elektrona s površine u smjeru podloge traje za vrijeme osvjetljavanja fotokonduktorske površine. Prestankom osvjetljavanja prestaje i emisija elektrona. Dugotrajnim svjetlosnim izlaganjem fotokonduktora cjelokupan će površinski naboj biti smanjen, odnosno površina fotokonduktora imat će veoma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

### 3.1.3 Razvijanje fotoreceptora

Razvijanje je nanošenje tonera na latentnu sliku koja pritom postaje vidljiva. Pri tome se koriste specijalizirano obojeni materijali (toneri), koji su prilagođeni za prenašanje na tiskovnu podlogu koji su najčešće praškastog oblika ali mogu biti i tekućine. Ovisno o agregatnom stanju tonera, prilagođena je i konstrukcija elektrofotografskih strojeva.

#### 3.1.3.1 Tekuće elektrofotografsko bojilo - ElektroInk

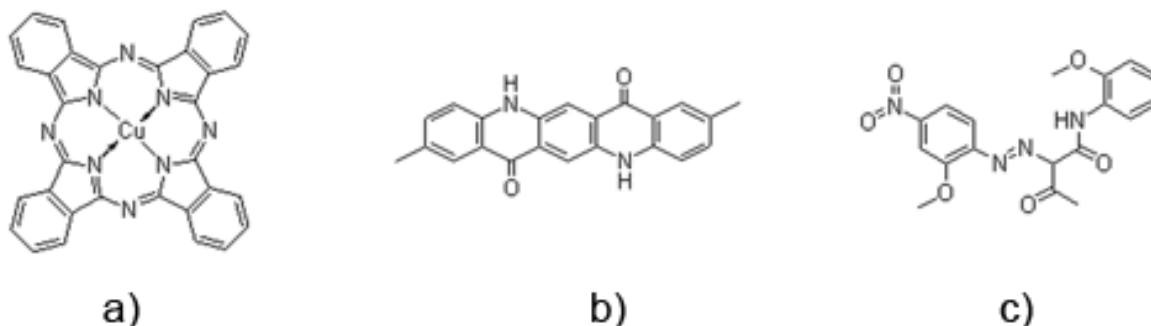
U elektrofotografiji tekući toneri su vrlo rijetki. Jedan od predstavnika je ElektroInk izraelskog proizvođača Indigo. ElektroInk se sastoji od tekućeg nosioca u kojemu su raspršene čestice pigmenta. U osnovnom stanju ElektroInk je emulzija koja sadrži 3 osnovne komponente: monomernu pigmentnu pastu (oko 5%), lako hlapljivo mineralno ulje ISOPAR (oko 94%), i agense za povećavanje električne provodljivosti (oko 1%).



Slika 8 Prikaz tekućeg bojila ElektroInk

Čestice pigmenta su zvjezdastog oblika i prosječna veličina im je između 1 i 3  $\mu\text{m}$  (slika 8). Za usmjereno kretanje ElektroInka zaslužni su jednolično raspršeni agensi za povećanje električne provodljivosti. Oni su izrazito polarne molekule koje svojom pozitivnom stranom hvataju zvjezdaste pigmente. Tako uhvaćene pigmentne čestice sposobne su za usmjereno

kretanje u smjeru manje negativnog elektrostatskog polja. Čestice pigmenta sastavni su dio termalnog polimera. Njihov udio varira, ovisno o kemijskom sastavu. Cijan pigment baziran je na bakru (C.I. 74160, Pigment Blue 15), i poznat je i kao bakar ftalocijanin plava. Molekulska formula pigmenta je  $C_{32}H_{16}CuN_8$ . Pigment u magenta bojilu (C.I. 73915, Pigment Red 122) je kristalne strukture, molekulske formule  $C_{22}H_{16}N_2O_2$ . Žuti pigment, baziran na azo spojevima je Dalamar žuta (C.I. 11741, Pigment Yellow 74) molekulske formule  $C_{18}H_{18}N_4O_6$ . Na slici 9. prikazane su strukturne formule navedenih pigmenata. (11)



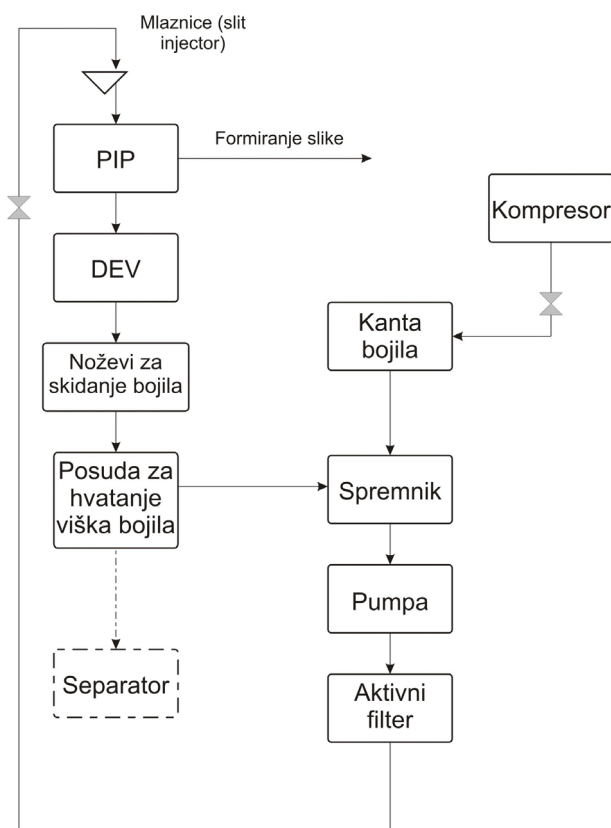
Slika 9 Kemijska struktura cijan, magenta i žutih pigmenata ugrađenih u ElektroInk bojilima: a) C.I. Pigment Blue 15; b) C.I. Pigment Red 122; c) C.I. Pigment Yellow 7

Tijekom otiskivanja ElektroInk će se rapidno mijenjati. U početnoj fazi, bojilo je tekuće i niskog dinamičkog koeficijenta viskoziteta, te će se u završnoj fazi skrutiti pri čemu će se koeficijent dinamičke viskoznosti povećati. Promjena viskoziteta moguća je zbog nepolarnog izoparafinskog ugljikovodika, specijalni derivat petroleja niske temperature isparavanja od  $40^{\circ}C$ . Pri temperaturi od  $125^{\circ}C$  (koja se postiže tijekom tiska na ofsetnoj gumi), ElektroInk bojilo gubi tekući nosioc (hlapljivo ulje) i prelazi u ljepljivu pastoznu masu. Zagrijavanjem pigmentnog polimera kemijski proces plastifikacije počinje. Tim procesom pigmentni polimer bubri, čime postaje optimalan za prihvaćanje na tiskovnu podlogu. Na krajnjem otisku se nalazi tanki sloj (oko  $1 \mu m$ ) koji je, po svojoj kromatičnosti i saturaciji, srodan otiscima stvorenim u klasičnom ofsetnom otisku. (12)

### 3.1.3.2 Konstrukcija uređaja za pripremu ElektroInk bojila

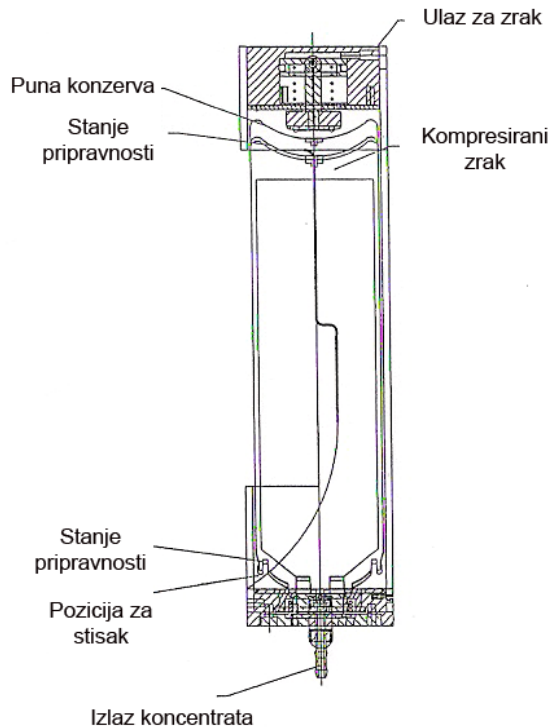
Uređaj za pripremu ElektroInk bojila sastoji se od tri glavna dijela: spremnika, pumpe i nosača kartuše. Da bi se dobilo bojilo željenih karakteristika ( $D=1,70$  te provodljivost 90 phmo), u pumpi su smješteni senzori za praćenje nivoa (2 komada), denzitometar za mjerenje gustoće obojenja i uređaj za mjerenje električne provodljivosti.

Pastozno bojilo istiskuje se iz kartuše kada se na kontrolnom uređaju za gustoću obojenja pokaže da je gustoća obojenja ispod vrijednosti 1,68. Također, u slučaju kada je nivo bojila ispod normalne razine, automatski se dodaje mineralno ulje. Kada je bojilo pripravljeno, pumpa u rezervoaru stvara pritisak te se bojilo usmjerava prema aktivnom filteru, iz kojeg se dalje usmjerava na slit injectore (mlaznice). Selektivnim otvaranjem ventila, kontrolira se pokrivenost bojilom ne bi li se ostvarilo nanašanje na cijelu površinu PIPa. Nakon što se kroz mlaznice nanese bojilo, noževi za skidanje bojila skupljaju svo bojilo sa razvijačkog bubnja i vraćaju ga nazad u spremnik sa bojilom. Ukoliko je ostalo imalo bojila na razvijačkom bubnju, ono se skuplja sa tzv 7. nožem i šalje do separatora. Na slici 10 prikazana je shema konstrukcije uređaja za pripremu ElektroInk bojila. (13)

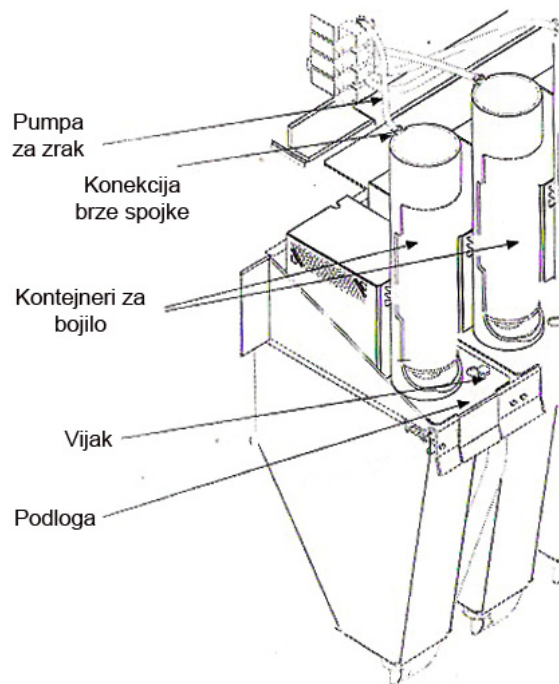


Slika 10 Shema konstrukcije protoka ElektroInk u tiskarskom stroju HP Indigo S1000

Da bi se povećao nanos, potrebno je aktivirati kompresor koji će stvoriti komprimirani zrak na kućištu kartuše s bojilom. Tada klip pritisne kartušu s bojilom prema dolje te se na taj način stvori tlak koji istisne pastozno bojilo. Na slici 11. prikazana je konstrukcija nosača kartuše.



Slika 11 Konstrukcija nosača kartuše



Slika 12 Spremnik s bojilom

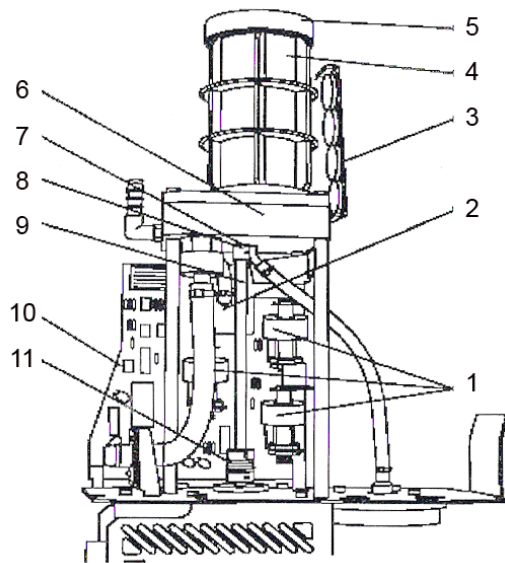
Zbog održavanja, spremnik s bojilom pomičan je (slika 12.) Kako bi se fiksirao, umeće se u metalni okvir na stražnjoj strani i fiksira u okvir s prednje strane uz pomoć vijka. Na vrhu plastičnog spremnika je brtva. Elektrolnk bojilo mora biti zagrijano na radnu temperaturu od  $30^{\circ}\text{C}$ . Da bi se omogućilo zagrijavanje, oko spremnika se nalazi grijač koji je napajan naponom od 220V.

Cjelokupna pumpa (slika 13.) sadrži ugrađen elektromotor, senzore nivoa (mjere nivo bojila u rezervoaru), senzore za provodljivost (mjere provodljivost bojila putem elemenata kondenzatora), senzor za gustoću obojenja (mjeri gustoću obojenja pomoću optičkog uređaja) i magneta. Magneti služe tome da se uklone sitne metalne čestice unutar rezervoara s bojilom.

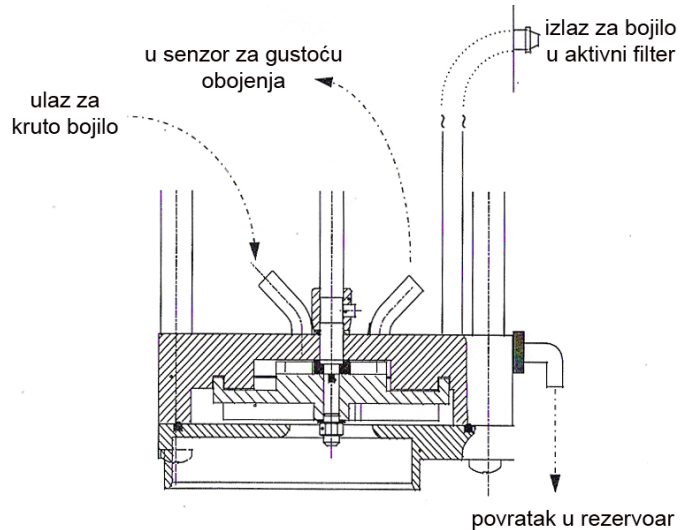
Senzor za protok montiran je na izlazu pumpe gdje kontrolira reakciju protoka. Pomoćni rotor omogućuje nekoliko funkcija: stvaranje linijskog pritiska, miješanje bojila u rezervoaru, miješanje pigmenta koji ulaze u rezervoar te ubrizgavanje bojila u senzor za praćenje gustoće obojenja. Prikaz jedinice za pumpanje prikazan je na slici 14.



Aktivni filter sadrži mrežicu finoće 50  $\mu\text{m}$  i četku koja je spojena na istosmjerni motor od 24V. Četka rotira unutar filtera te na taj način miješa bojilo i stvara pritisak koji ga šalje do ventila (nakon što je filtrirano).



*Slika 13 Pumpa: 1. Senzor nivoa bojila, 2. Senzor gustoće obojenja, 3. Magneti, 4. Filter, 5. Poklopac filtera, 6. Kućište rotora, 7. Plastični sustav za pranje, 8. Stezač, 9. Osovina rotora, 10. TCU (Tank Control Unit – kontrolna jedinica rezervoara), 11. Spojnica*



*Slika 14 Jedinica za pumpanje*

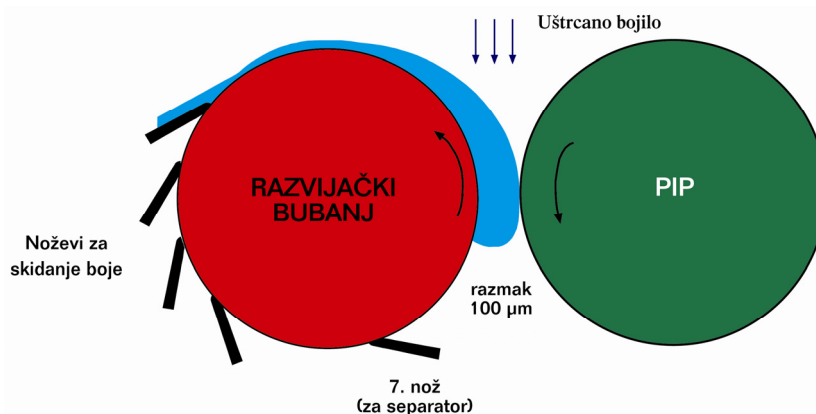
Tri su parametra bojila na koje treba paziti i koje treba održavati unutar specifikacija. To su provodljivost, gustoća obojenja i temperatura. Temperatura bojila treba biti između 30 i 33 $^{\circ}\text{C}$ . Preniska temperatura može izazvati probleme sa protokom, dok previsoka temperatura može dovesti do zapaljenja, uzrokovati začepljenje i ostale probleme u tisku. Preniska gustoća obojenja može izazvati bijela linije i ogrebotine, a previsoka može pak biti uzrok tamnim linijama ili velikoj vlažnosti. Provodljivost bojila trebala bi biti između 70 i 110  $\mu\text{S/cm}$ . Preniska provodljivost izaziva probleme na rubovima otiska, dok previsoka stvara probleme s kvalitetom otiska.

### 3.1.3.3 Razvijanje u elektrofotografiji sa tekućim tonerima

Digitalni kolorni ofset je indirektni elektrofotografski postupak koji primjenjuje specijalno tekuće bojilo ElektroInk. Karakteristika takvog bojila je niski dinamički koeficijent viskoznosti ( $\eta$ ). Pri otiskivanju ElektroInk se zagrijava, prestaje biti tekućina i postaje ljepljiva pigmentna pasta. Takva osobina ElektroInka dozvoljava visoku kvalitetu obojavanja i rezoluciju otiskivanja od 2400 dpi. Strojevi koji primjenjuju ovakvu boju su HP Indigo S1000, HP Indigo S2000, HP Indigo S5000 i HP Indigo S7000.

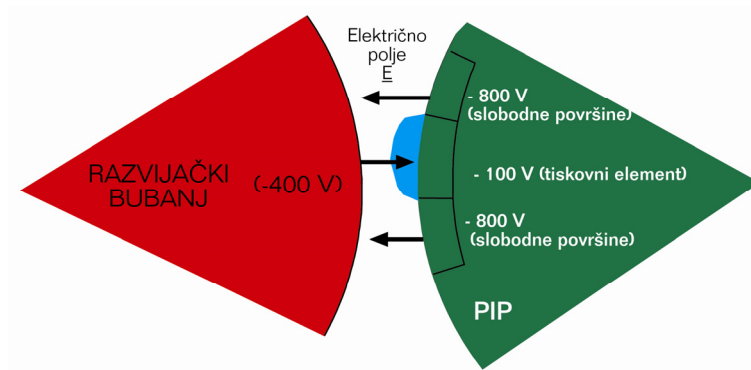
Razvijanje tekućeg tonera u uređaju HP Indigo 1000 počinje uštrcavanjem bojila između razvijačkog bubnja i PIP-a (fotoreceptora) kao što je vidljivo na slici 15.

Razvijački bubanj je pod permanentnim naponom od  $-400V$ , dok su na fotoreceptoru dvije vrste napona: napon tiskovnih elemenata ( $-100V$ ) i napon slobodnih površina ( $-800V$ ). Jedan razvijački bubanj koristi se za razvijanje svih separacija. Za vrijeme razvijanja spuštaju se noževi koji skidaju boju sa površine razvijačkog bubnja i vraćaju je u tank sa bojilom. Dodatno čišćenje vrtil se s tzv. 7. nožem koji u potpunosti skida sve čestice ElektroInka, što omogućuje razvijanje naredne separacije, te je aktivan kod razvijanja svih separacija.



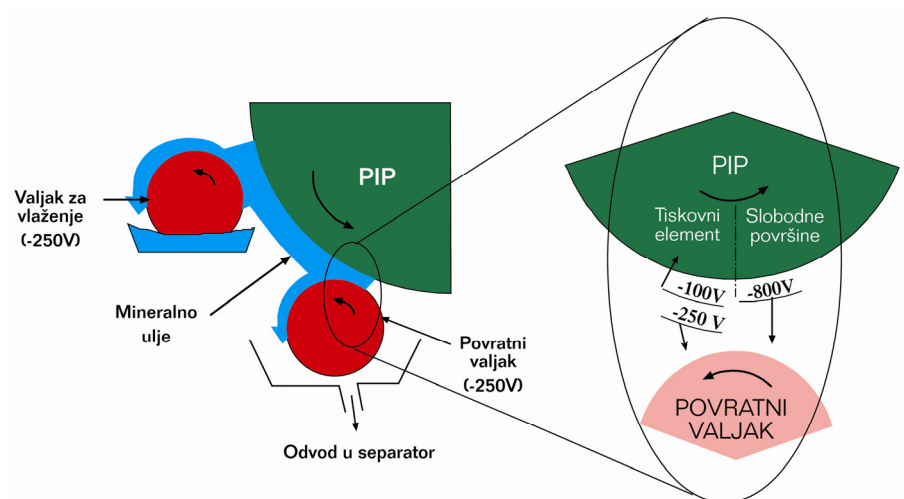
Slika 15 Prikaz razvijanja pomoću bubnja

Razlika naboja između razvijačkog bubnja i organskog fotokonduktora (PIP-a), omogućava selektivno nanašanje bojila. Pri međusobnom djelovanju razvijačkog valjka i fotokonduktora, napon tiskovnih elemenata ( $-100V$ ) je električno pozitivniji od razvijačkog bubnja ( $-400V$ ), te ne dolazi do prihvaćanja ElektroInka. Suprotno tome, napon slobodnih elemenata ( $-800V$ ) je negativniji od napona razvijačkog bubnja ( $-400V$ ) pri čemu se ElektroInk prihvaća za površinu razvijačkog bubnja (slika 16).



Slika 16 Raspoređivanje bojila na PIP

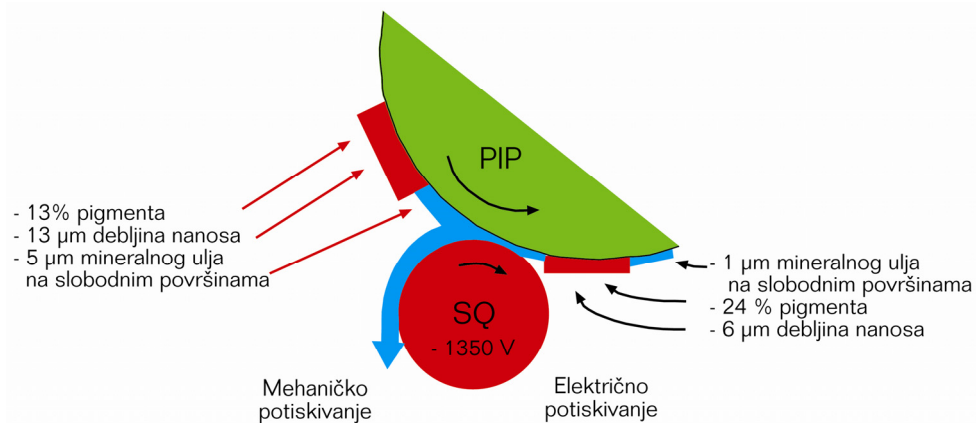
Ovim razvijačkim procesom formira se tzv tonerska slika koja je nestabilna ali vidljiva golim okom. Debljina sloja bojila na fotokonduktoru (PIP-u) iznosi oko 13 $\mu$ m.



Slika 17 Djelovanje povratnog valjka

Tekuću tonersku sliku (preveliki nanos bojila) potrebno je dodatno razviti sistemom razvijačkih valjaka. To se provodi pomoću povratnog valjka (slika 17) koji je pod permanentnim naponom od  $-250\text{V}$  (crna  $-50\text{V}$ ). Uz to, koristi se i valjak za vlaženje koji je konstantno vlažen sa mineralnim uljem. Mineralno ulje se zajedno sa otopljenim česticama Elektrolnka vraća natrag u separator posredstvom malog negativnog napona. Sa stanovišta kvalitete, ovaj uređaj važan

je za određivanje denzitometrijskih vrijednosti na otisku. Stoga se tokom kalibracijskog procesa ovi parametri mijenjaju.



*Slika 18 Djelovanje squeegee valjka*

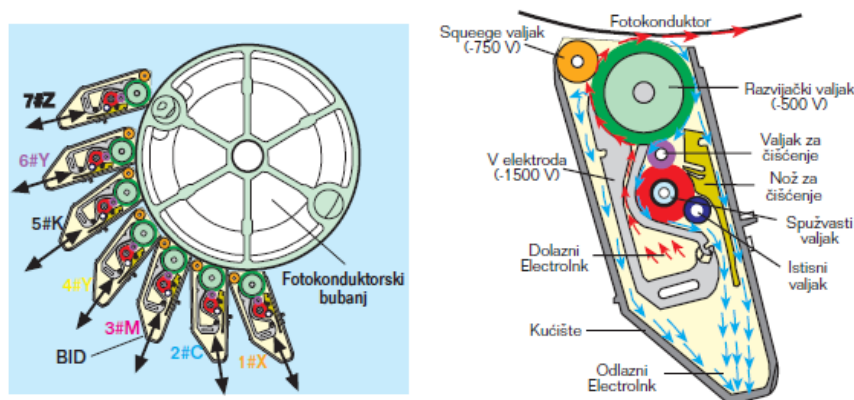
Nakon razvijanja sa povratim valjcima, tekući toner potrebno je privremeno fiksirati uz površinu fotoreceptora zbog mogućeg prokapljivanja. Djelovanjem napona squeegee valjka (-1350V) i njegovim mehaničkim pritiskom smanjuje se količina mineralnog ulja na PIP-u, prilikom čega se povećava koncentracija pigmenta (slika 18). Time je postignuto da na samom kraju razvijачkog procesa udio pigmenta u boji iznosi 24%. Kontaktno na fotokonduktoru formira se tonerska slika s debljinom nanosa od 6 µm, što je dovoljno za postizanje vrijednosti standardnog otiska.

### 3.1.3.4 BID konstrukcija

U elektrofotografskom stroju s tekućim ElektroInkom, razvijen je novi uređaj za razvijanje svojom satelitskom konstrukcijom koji razvija svaku boju za sebe. Razlog tome su učestale kontaminacije bojila, te je jedinstveni razvijачki sustav zamijenjen BID konstrukcijom (BID = Binary Ink Developer). BID konstrukcija, tako, sadrži i do 7 odvojenih uređaja za nanašanje i razvijanje tonera (slika 19).

Pojedinačne BID jedinice su selektivno pokretljive. U momentu razvijanja priljubljuju se uz površinu fotokonduktora, te se po završetku razvijanja vraćaju u početnu poziciju. Pri aktivaciji određene BID jedinice bojilo se prvo izvlači V elektrodom iz spremnika i dovodi do razvijачkog valjka.

U tom trenutku udio pigmenta u bojilu je vrlo mali, da bi se djelovanjem squeegee valjka smanjila količina mineralnog ulja na razvijačkom valjku. To dovodi do povećanja koncentracije pigmenta.



Slika 19 Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje

Pri međusobnom kontaktu razvijačkog valjka i fotokoduktora, tiskovni elementi na latentnoj tiskovnoj formi privlače čestice Elektrolnka. Na taj način se na fotokoduktorku formira tonerska slika s debljinom nanosa od 6  $\mu\text{m}$ . Nakon ostvarenog transfera sav preostali Elektrolnk na površini razvijačkog valjka se uklanja čišćenjem. Valjak za čišćenje je konstantno vlažen mineralnim uljem, koje se nanosi mekanim spužvastim valjkom. Mineralno ulje se zajedno s otopljenim česticama Elektrolnka skida (poliuretanskim rakelom) i vraća u spremnik.

### 3.1.4 Prenosjenje tonera na tiskovnu podlogu

Tonersku sliku nakon razvijanja potrebno je prenijeti na tiskovnu podlogu. U elektrofotografiji to je moguće provesti direktnim ili indirektnim transferom. Kod visokokvalitetne elektrofotografije koristi se indirektni transfer tonera.

#### Indirektni transfer tonera

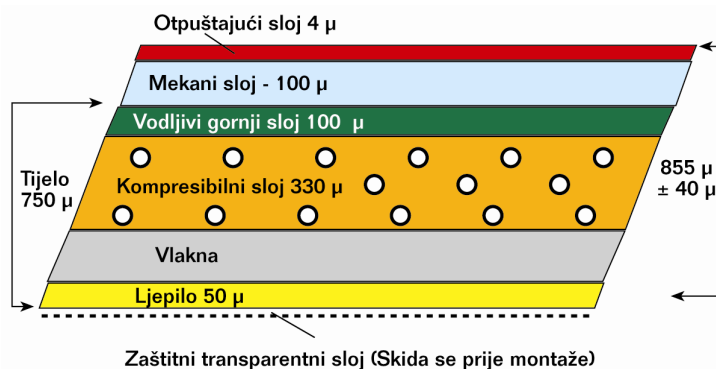
Kod indirektnog otiskivanja tiskovna podloga nije u direktnom dodiru s fotokoduktorkom. Kontakt se izvodi posredstvom prijenosnog medija. Za uspješno provođenje indirektnog transfera, potrebno je prvo nanijeti toner na površinu prijenosnog medija, s koje će se toner

dalje prenijeti na tiskovnu podlogu. Pritom se koriste specijalni prijenosni mediji koji mogu biti u obliku: beskonačnog remena ili kao navlaka na prijenosnom cilindru.

Elektrofotografski strojevi koji koriste tekuće ElektroInk bojilo izvode transfer pomoću centralnog ofsetnog cilindra. Konstrukciju transfernog cilindra karakteriziraju 2 osnovna dijela: centralni grijač i vanjska površina cilindra (spojena s električnim napajanjem). Na vanjskoj površini cilindra formira se permanentni pozitivan napon od 500V, koji osigurava dobar transfer boje s fotokonduktora na ofsetni cilindar. Istovremeno se s ugrađenom grijačem lampom zagrijava cjelokupna površina cilindra na temperaturu od 140°C. Na vanjsku površinu ofsetnog cilindra montirana je i specijalna gumena navlaka koja u ovakvom indirektnom otiskivanju omogućava:

- prihvaćanje tekućeg ElektroInka s fotokonduktora
- promjenu viskoziteta ElektroInka i
- transfer ElektroInka na tiskovnu podlogu.

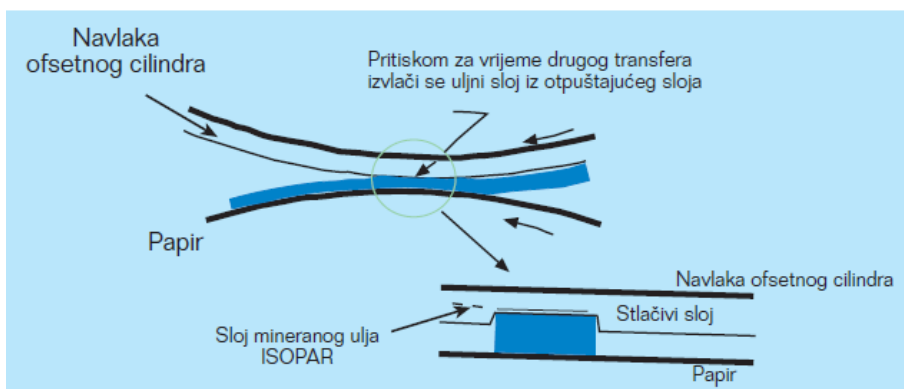
Za zadovoljavanje tih preuvjeta, gumena navlaka (slika 20) morati će biti: električki provodljiva, otporna na visoke temperature i kompresibilna. (14)



Slika 20 Presjek gumene navlake za indirektni tisak tekućim tonerom

Proces prenašanja bojila započinje aktivacijom PTE (Pre Transfer Erase) lampe čija svjetlost neutralizira površinu fotokonduktora stvarajući tako mogućnost otpuštanja negativno nabijenog bojila s fotokonduktora na pozitivno nabijen cilindar. Pri izvođenju prvog transfera, tekući ElektroInk doveden je u kontakt sa zagrijanom gumenom navlakom, što rezultira s promjenom agregatnog stanja ElektroInka. Na zagrijanoj gumi dolazi do isparavanja mineralnog ulja i termopolimerizacije pigmetnih čestica. U veoma kratkom vremenskom periodu bojilo iz tekućeg stanja prelazi u pastozno stanje.

Zbog satelitske konstrukcije (jedna te ista navlaka ofsetnog cilindra koristi se za tisak svih instaliranih bojila, redosljedom otiskivanja YMCK), 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.



Slika 21 Princip drugog transfera kod Digitalnog Kolornog Ofseta

Prilikom provođenja drugog transfera, ElektroInk (na prijenosnom cilindru) i tiskovna podloga (na tiskovnom cilindru) dolaze u međusobni kontakt (slika 21). Pritisna sila pritom je 35 N/cm. Pri tom srazu ISOPAR (tekući nosilac) će zbog svoje manje molekularne mase formirati tanki uljni sloj između čestica pigmenta i gumene navlake. Čestice tonera će se uprešati na hladnu papirnu podlogu, dok će ostaci uljnog sloja (ISOPARA) u potpunosti evaporirati zahvaljujući zračnom nožu. Na kraju hvataljke tiskovnog cilindra otpuštaju otisnuti arak te se i on izlaže na izlagaču ladicu.

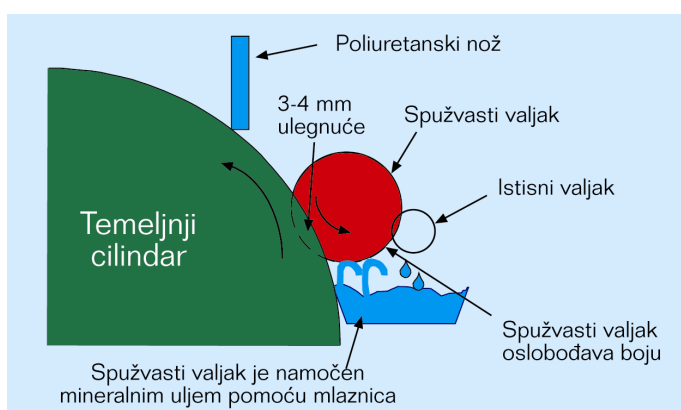
### 3.1.5 Čišćenje fotokonduktora u elektrofotografiji

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 provodi se u dvije faze:

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

### Skidanje tekućih tonera

Kod tekućih tonera, čišćenje započinje svjetlosnom neutralizacijom. Pri mehaničkom skidanju koristi se specijalno konstruirana jedinica za čišćenje. Takva se jedinica sastoji od: kućišta, mlaznica za nanašanje mineralnog ulja, spužvastog valjka, valjka za cijeđenje i poliuretanskog noža. Mehaničko čišćenje započinje nanašanjem mineralnog ulja na spužvasti valjak. Namočen spužvasti valjak je u izravnom kontaktu s fotokonduktorom, te ga jednolično vlaži. Dodatkom mineralnog ulja ostaci ElektroInka će se potpuno razrijediti, te će se lako skinuti elastičnim poliuretanskim nožem. Jedinica za čišćenje tekućeg ElektroInka prikazana je na slici 22.



Slika 22 Jedinica za čišćenje tekućeg ElektroInka

## 3.2 Papiri za elektrofotografski tisak

U grafičkoj industriji najčešće korištena tiskovna podloga je papir. Papir je tanka plošna tvorevina dobivena ispreplitanjem celuloznih vlaknaca, kojima su dodana punila, keljiva i bojila, čime se papiru poboljšavaju optička svojstva. Ovisno o vrsti celulozne sirovine, kao i njezinom načinu razvlaknjivanja, dobivaju se papiri raznih mehaničkih i kemijskih svojstava. (15)

Papiri se prema sastavu dijele u četiri skupine: bezdrvni papiri, papiri s većinskim udjelom drva, papiri rađeni od starog papira i papiri od krpa. Pri izradi mnogobrojnih grafičkih proizvoda



gramatura papira ( $\text{g/m}^2$ ) ima veoma važnu ulogu. Ovisno o gramaturi papiri se dijele u tri osnovne skupine: papiri ( $<150 \text{ g/m}^2$ ), kartoni (od 150 do  $500 \text{ g/m}^2$ ), i ljepenke ( $>600 \text{ g/m}^2$ ).

Osim gramature, na kvalitetu budućih otisnutih grafičkih proizvoda presudnu ulogu ima površinska obrada papira. Papirnom doradom (premazivanjem, impregniranjem, pergamentiranjem, laminiranjem) dodatno se oplemenjuje površina papira. Najčešći postupak papirne dorade je premazivanje. U proizvodnji papira ovisno o izvršenoj fazi premazivanja papiri se dijele na nepremazane (naravne) papire i premazane papire. (16)

Premazani papiri su grupa papira, čija je površina oplemenjena premazom u nekoliko slojeva s jedne ili obje strane. Premazi na papiru uglavnom se sastoje od mješavine pigmenata, veziva i optičkih dodataka (bjelila). U skupinu premazanih papira ubrajamo: papire za umjetnički tisak, kromopapire i kromokartone, strojno premazane papire, samokopirajuće papire, šarene papire, sjajne i mat papire.

Za postizanje kvalitetnih otisaka papiri za digitalni tisak u potpunosti moraju biti prilagođeni tehnologiji digitalnog otiskivanja. To znači da papir za elektrofotografski tisak mora zadovoljiti dva osnovna preduvjeta: posjedovanje većeg površinskog električnog otpora i da u svom sastavu sadrži relativno malo vlage. Prevelika vlažnost, odnosno niski otpor papira, uzrokuje rasipanje električnog naboja prije nanosa nabijenog tonera. Ako je otpor iznad određene razine, prijenos više nije ovisan o otporu već samo o dielektričnoj konstanti papira. Veća električna konstanta uzrokuje veću učinkovitost prijenosa, ali samo do određene granice poslije koje mogu nastati izobličenja otiska uslijed suvišnog ispuštanja naboja. (17).

Električni otpor eksponencijalno ovisi o temperaturi i vlažnosti papira. Temperaturna ovisnost temelji se na mehanizmu ionske vodljivosti, a ovisnost o vlazi proizlazi iz činjenice da se prilikom vlaženja molekule vode vežu na hidroksilne skupine molekula celuloze. Električni otpor s povećanjem vlage u papiru opada, što vrijedi i pri rastu temperature (18).

Papiri za elektrofotografiju sadrže relativno malo vlage u svom sastavu. Procesom fiksiranja tonera papir mora podnijeti visoku temperaturu ( $250 - 300^\circ\text{C}$ ), te se ne smije presušiti. Visoke temperature kod nižih gramatura papira ( $60-105 \text{ g/m}^2$ ) mogu prouzrokovati valovitost papira. Kod papira viših gramatura ( $115 - 250 \text{ g/m}^2$ ), koji imaju veću debljinu, povećava se krutost i otežan je prolazak papira kroz stroj. (19)

## 4 EKSPERIMENTALNI DIO

### 4.1 Metodologija

Za izradu ovog eksperimentalnog rada upotrijebljena je digitalizirana datoteka koja sadržava različite pune i rastrirane kromatske tonove. Otisnuta je na elektrofotografskom stroju tipa HP Indigo S 1000 na kojem je mijenjana pigmentacija cijan, magenta i žutog bojila.

Praćenje gustoće obojenja (pigmentacije) izvršeno je sa Indigo serijski ugrađenim denzitometrom, koji je konstruiran za mjerenje pigmentacije ElektroInk bojila. Konkretno, otisnuti su uzorci s 5 pigmentacija čija je gustoća obojenja iznosila od  $D=1.20$  do  $D=2.00$  u koraku od  $\Delta D = 0.20$ . Kao tiskovna podloga korišten je sjajni premazani papir za umjetnički tisak (Symbol Gloss  $115\text{g/m}^2$ ).

Dobiveni otisci analizirani su s 3 različita uređaja: spektrofotometrom X-Rite CA20, uređajem za slikovnu analizu QUE Personal IAS, te mikroskopom Leica DM 2500 M. Spektrofotometar X-Rite CA20 kao konačne rezultate daje  $L^*a^*b^*$  vrijednosti. Na bazi  $L^*a^*b^*$  vrijednosti moguće je odrediti razliku u obojenju dvaju uzoraka ( $\Delta E$ ), pri čemu se dobivene vrijednosti mogu i vizualno usporediti. Za vizualnu valorizaciju dobivenih  $\Delta E$  rezultata koristimo tablicu 1. (20)

Tablica 1. Odnos vizualne percepcije i razlike u obojenju

$\Delta E$	Vizualna percepcija
Između 0 i 1	Prosječno ljudsko oko ne vidi razliku
Između 1 i 2	Vrlo mala razlika
Između 2 i 3,5	Umjerena razlika
Između 3,5 i 5	Razlika
Iznad 5	Velika razlika

Izračun razlike u obojenju dvaju uzoraka vrši se pomoću slijedeće formule. Osnovna formula  $\Delta E$  dana je izrazom:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

pri čemu je

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

Pritom vrijednost  $L^*$  predstavlja svjetlinu dok  $a^*$  i  $b^*$  kromatske vrijednosti unutar CIE Lab prostora boja. Ova formula vrlo je važna za grafičku reprodukciju jer se njome direktno može usporediti dva tona, odnosno kvaliteta otisaka (prema standardu ISO 12647-5). Da bi se preciznije utvrdila razlika u obojenju (posebice u plavom dijelu) osnovna formula doživjela je razne modifikacije. Posljednja verzija izračuna razlike u obojenju objavljena je 2000. godine, u kojoj je dodatno korigirana devijacija u plavom području. (21)

Formula glasi:

$$\Delta E_{2000}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{S_L k_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{S_C k_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H k_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{S_C k_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{S_H k_H}\right)} \quad (3)$$

pri čemu su  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  i  $\Delta H^*$  razlike svjetline, zasićenosti i tona između dvaju uzoraka (otisaka). Ostali parametri navedene formule  $\Delta E_{2000}$  definirani su na sljedećih način:

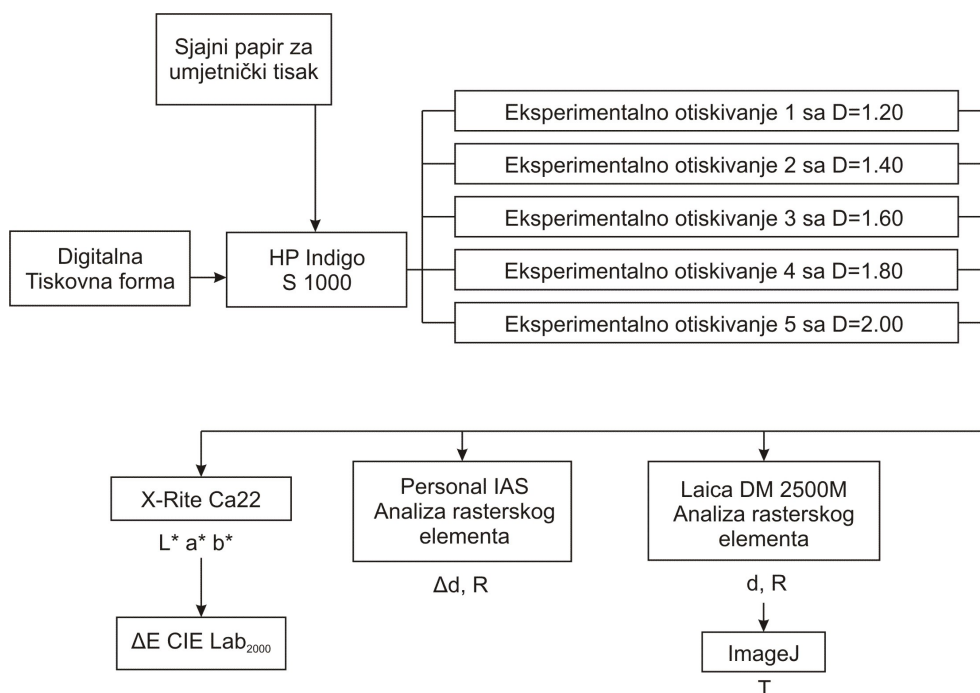
$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0,045\bar{C}' \quad S_H = 1 + 0,015\bar{C}'T \quad (4)$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(h' - 30^\circ) + 0,24 \cos(2h') + 0,32 \cos(3h' + 6^\circ) - 0,20 \cos(4h' - 63^\circ) \quad (5)$$

$$R_C = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}} \quad R_T = -\sin(2\Delta\Theta)R_C \quad \Delta\Theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{(h' - 275^\circ)}{25}\right]^2\right\} \quad (6)$$

Razlika obojenja ( $\Delta E$ ) prikazuje kvalitetu reprodukcije i odstupanje reprodukcije od originala. Na indirektan način, ova vrijednost predstavlja gubitak i otklon tristimulusnih vrijednosti koje odgovaraju percepciji boje u ljudskom oku.

Shematski prikaz cijelog izvršenog ispitivanja prikazan je na slici 23.



Slika 23 Shema postupka istraživanja

## 4.2 Korišteni materijali i uređaji

### 4.2.1 HP Indigo S 1000

Osnovna karakteristika HP Indigo S1000 je indirektan način otiskivanja s ispisnom rezolucijom od 812 DPI. HP Indigo S1000 je standardno elektrofotografski četverbojni stroj, s mogućnošću proširenja za dvije dodatne boje po izboru (slika 24).

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. Osnovne karakteristike tiskarskog stroja HP Indigo S 1000 prikazane su u tablici 2.



Slika 24 HP Indigo S 1000

U HP Indigo 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.

Tablica 2. Osnovne karakteristike tiskarskog stroja HP Indigo S 1000

Karakteristike	cijan	magenta	žuta	crna
Denzitometrijske vrijednost gustoće obojenja	1	1,44	1,15	1,77
RTV 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 razvijačkog 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 El.Inka	1,76	1,71	1,72	1,70
max. veličina otiska	437x308 mm (17.2x12.13")			
max. veličina tiskovne podloge	305x457 mm (12.01x17.99")			
min. veličina tiskovne podloge	216x279 mm (8.5x10.98")			
personalizacija	95 mm (3.74")			
boje	6 process			
brzina	4.000 sheets/h (A4)			
rezolucija	812 dpi			
RIP	4 mm			

#### 4.2.2 Spektrofotometar X-Rite CA20

Spektrofotometar X-Rite CA20 namijenjen je za mjerenje manjeg broja polja jer se mjeri ručno, brzinom od 2 sekunde po mjerenju. Na njemu ne postoji ispisni zaslon te radi u konekciji sa softverom „Color Shop X“. Prilikom mjerenja korištena je mjerna geometrija 45°/0°. Pomoću softvera moguće je dobiti sljedeće podatke: spektralnu reflektanciju u vidljivom spektru,  $\Delta E$ , Lab, XYZ,  $\Delta C$ , gustoću obojenja, prirast RTV, pogrešku tona, relativni tiskovni kontrast, te sivi balans. Tehničke karakteristike spektrofotometra X-Rite CA20 prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-Rite CA20

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° / 0° ANSI i ISO standard
Dimenzije / masa	6,9 x 7,6 x 13,7 cm / 340 g
Izbor 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

### 4.2.3 QUE Personal IAS

Uređajem za slikovnu analizu (QUE Personal IAS) analizirani su promjeri najmanjih tiskovnih elemenata. QUE Personal IAS omogućuje jednoznačno, objektivno mjerenje, pretvorbu informacija u brojeve i eliminira mogućnost subjektivne procjene kvalitete slike. Ovaj uređaj sadrži digitalni mikroskop visoke rezolucije i svestrano džepno računalo visokih performansi mjerenja. Uređajem je moguće snimiti sliku, izvoditi kompleksne analize i dobiti rezultate u roku od sekunde. Personal IAS pritom koristi svoju vlastitu aplikaciju. Osnovne karakteristike uređaja prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Osnovne karakteristike uređaja QUE Personal IAS

Spektralni senzor	Kolorni CCD (640 x 480)
Rezolucija	5 $\mu\text{m}/\text{inch}$
Minimalna veličina elementa	10 $\mu\text{m}$ promjer
Ponovljivost	$\pm 2 \mu\text{m}$ (prostorno), $\pm 0.05 \mu\text{m}$ (optička gustoća), $\pm 1\%$ za 200 linija/inch (RTV)
Brzina mjerenja	6 s po mjerenju
Mjerna geometrija	$45^\circ / 0^\circ$
Dimenzije / masa	23.1 x 9.4 x 5.3 cm / 850 g
Mjerni zaslon	536 color LCD (320 x 240)
Zaslon	Raspon: 18 - 236 l/cm [45 – 600 lpi]
Kalibracija	Tvornički kalibriran

### 4.2.4 Mikroskop Leica DM 2500 M

Za dobivanje detaljne slikovne analize na vrlo maloj otisnutoj površini (karakterističnim CMY rasterskim elementima) korišten je refleksijski mikroskop Leica DM 2500 M. Mogućnost povećanja izbosi 50x, 100x, 200x i 400x puta. Pritom je moguće precizno fokusiranje područja od 1  $\mu\text{m}$ . Na njemu je montiran Leica digitalni fotoaparatus, kojim je moguće postići visoko rezolucijske fotografije. Takve fotografije moguće je detaljnije analizirati sa softverom ImageJ. Osnovne karakteristike mikroskopa prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Osnovne karakteristike mikroskopa Leica DM 2500 M

Postolje	Čvrsto metalno postolje
Fokusiranje	2-zupčasto fokusiranje (grubo / fino s 1 µm skalom s vrhunskim zaustavljanjem fokusa) ili 3-zupčasto fokusiranje (grubo) (zaustavljanje fokusa), (srednja), sa 1 i 4 µm skalom, Momentalno grubo izoštravanje, podesiva visina stola
Upadna svjetlost	<p>Čvrste upadne svjetlosne osi s 4x i 5x reflektornim kupolama</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4x reflektorna kupola za BF / DF / POL / DIC i Fluo</li> <li>- 5x reflektorna kupola za BF / POL / DIC i Fluo</li> <li>- Svaka opremljena sa CDA ( Color-coded Diaphragm Assistant )</li> </ul> <p>Polje i otvor blende membrane su centrirane. Skladište filtera sa 4 filtera - Ø 32 mm. Sljedeći izvori svjetla mogu se prilagoditi svim osima upadne svjetlosti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 12 V 100 W Halogena, Hg 50, Hg 100, Xe 75</li> <li>- (Kućiče lampe serije 106Z / 106 / 107 / 2)</li> <li>- Ogledalno kućiče</li> </ul>
Objektivi	<p>5x BF / DF M32, M25 i 6x BF</p> <p>7x BF M25 kupola objektiva</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- HI PLAN EPI objektivi 5x, 10x, 20x</li> <li>- N PLAN EPI objektivi 2.5x-100x</li> <li>- PLAN Fluotar objektivi 1.25x-100x</li> <li>- LWD objektivi (duga udaljenost izoštravanja)</li> </ul>
Prolazna svjetlost	<p>12 V 100 W halogena (kućiče lampe 107 / 2)</p> <p>Ugrađeno skladište filtera</p> <p>3-pozicijski držač filtera, 2 pozicije s 2 filtera -&gt; 32 mm</p> <p>Širok raspon kondenzatora za aplikacije prolazka svjetla.</p>

#### 4.2.5 Tiskovna podloga

Korištena tiskovna podloga je sjajni premazani papir za umjetnički tisak (Simbol freelifel gloss) koji se često primjenjuje i u klasičnim tehnikama tiska. Ovaj papir spada u skupinu papira za umjetnički tisak (tablica 6). Obostrano je sjajno premazan papir i u svom sastavu sadrži 50% čiste bezdrvne pulpe, 40% korištenih recikliranih vlakana i 10% pročišćenih recikliranih vlakana. Specifičnost proizvodnje tog papira je u 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. Posjeduje i oznaku ECF (Elemental Chlorine Free) koja definira niski udio klora, koji se koristi za izbjeljivanje celuloznih vlakana (masa klora je manja od 0,6 kg po toni proizvedenog papira).

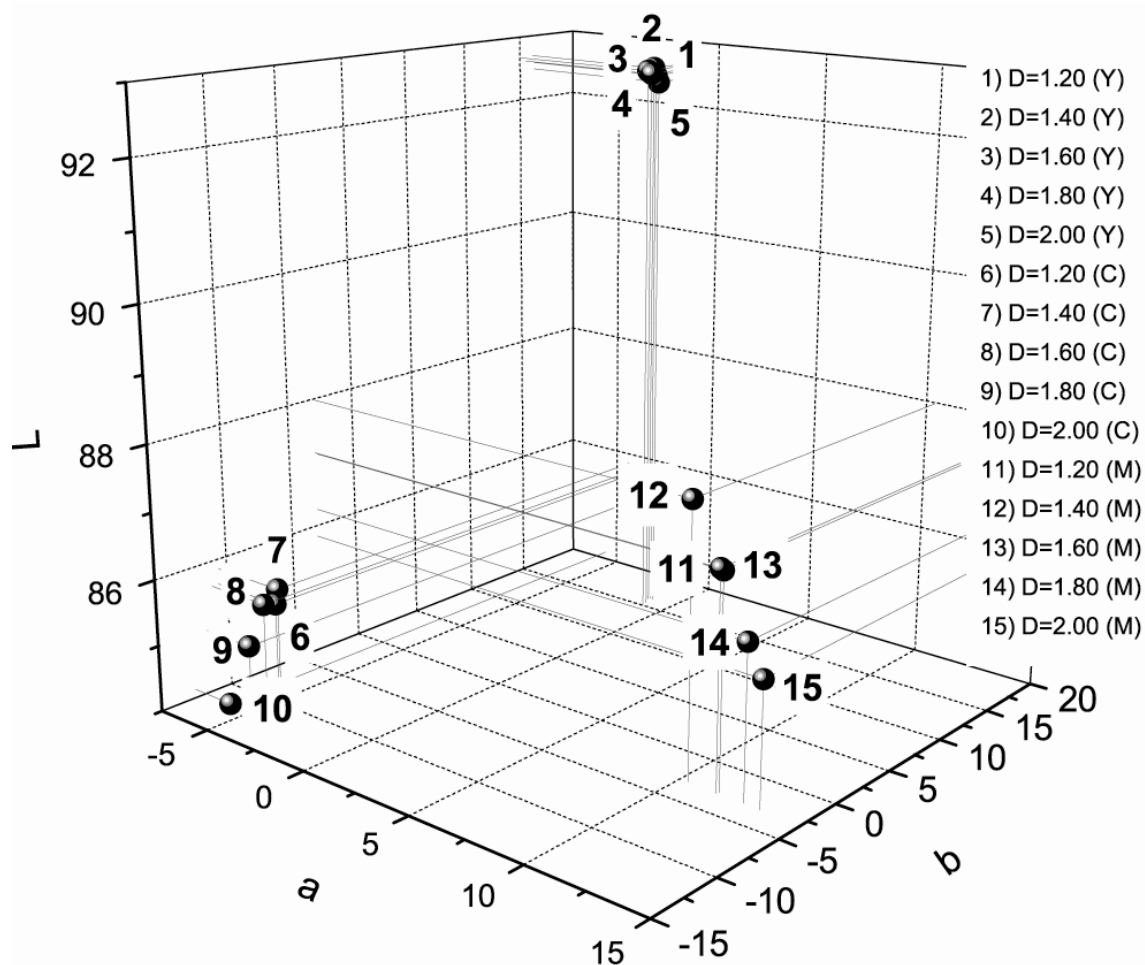


Tablica 6. Osnovne karakteristike papira za umjetnički tisak „Simbol freelife gloss“

<i>Parametri</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Metoda</i>	<i>Vrijednost</i>	<i>Tolerancija</i>
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	-

## 5 REZULTATI I RASPRAVA

Utjecaj promjene pigmentacije bojila na formiranje cijan, magenta i žutih rasterskih elemenata prikazan je na slici 25. Pri tome je predstavljen 3D grafikon koji prikazuje  $L^*a^*b^*$  vrijednosti nastale kao posljedica promjene pigmentacije za sva tri bojila. Prikazane su srednje  $L^*a^*b^*$  vrijednosti nastale na temelju 10 mjerenja istog polja.



Slika 25 Prikaz  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za 20% RTV za cijan, magenta i žute otiske.

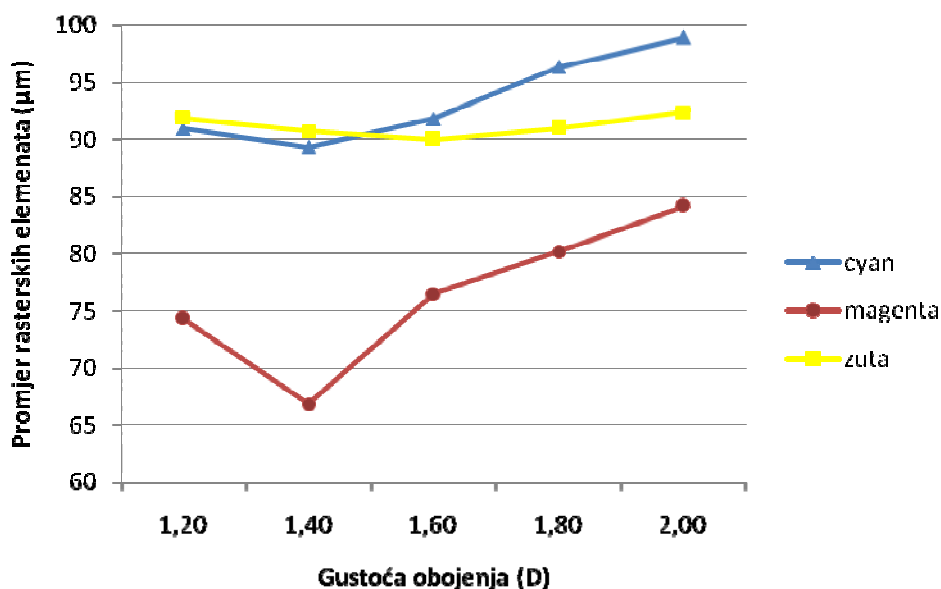
Varijacijom pigmentacije bojila, od početne 1,20 do konačne 2,00 u rasponu od  $\Delta D=0,20$ , dobiveni su cijan otisci koji u odnosu na početnu gustoću ( $D=1,20$ ) imaju sljedeća odstupanja u obojenju:  $\Delta E_{1,20-1,40}= 0,1715$ ,  $\Delta E_{1,20-1,60}= 0,4227$ ,  $\Delta E_{1,20-1,80}= 1,0623$  i  $\Delta E_{1,20-2,00}= 1,9205$ . Promjenom bojila (magenta bojilo) ostvarile su se sljedeće devijacije u obojenju:  $\Delta E_{1,20-1,40}=$

1,2134,  $\Delta E_{1.20-1.60} = 0,1490$ ,  $\Delta E_{1.20-1.80} = 1,0355$  i  $\Delta E_{1.20-2.00} = 1,6497$ . Na otiscima žutim bojom, devijacije u obojenju iznosile su:  $\Delta E_{1.20-1.40} = 0,1146$ ,  $\Delta E_{1.20-1.60} = 0,7521$ ,  $\Delta E_{1.20-1.80} = 0,4827$  i  $\Delta E_{1.20-2.00} = 0,1697$ .

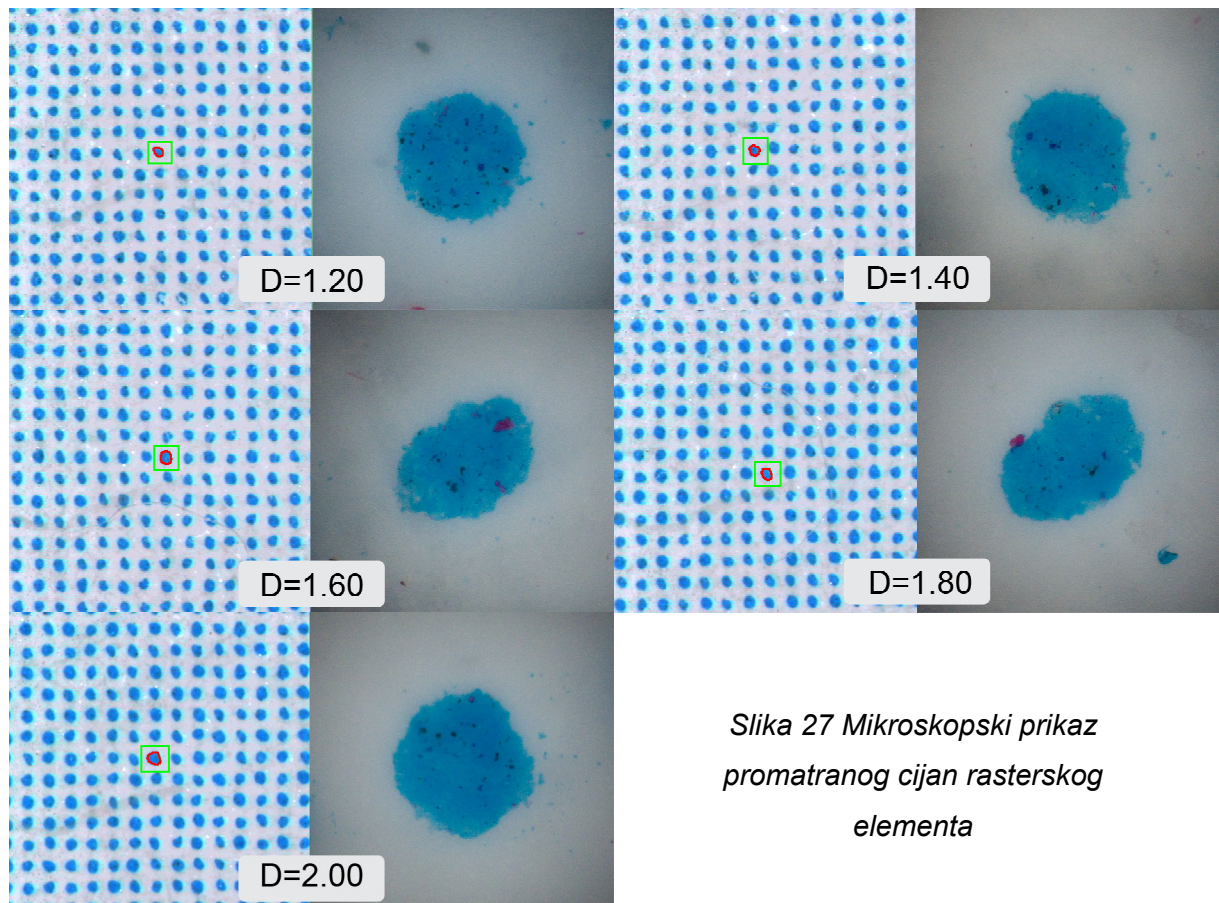
Varijacijom pigmentacije bojila kromatičnost boje znatnije se ne mijenja. Veća odstupanja odvijaju se po svjetlini ( $L^*$ ) formirajući linijsku pravilnost koja je najuočljivija na magenta otiscima. Razlika u obojenju pravilno raste povećavanjem pigmentacije bojila na cijan otiscima, dok se na magenta i žutim otiscima ne uočava linijski rast.

Promjene obojenja postignute varijacijom pigmentacije bojila, na žutim otiscima, nisu zamjetne ljudskom oku. Na cijan i magenta otiscima, promjenom pigmentacije od  $\Delta D=0,60$ , postiže se prva promjena vidljiva ljudskom oku ( $\Delta E > 1$ ). Ona je ipak značajna za formiranje većih tonskih vrijednosti, gdje će prirast RTV biti veći, a time otisak mnogo tamniji.

Promjena pigmentacije neminovno utječe na veličinu reproduciranih rasterskih elemenata. Analizirane su devijacije rasterskih elemenata u svjetlom tonskom području od 20% RTV (rasterski se elementi ne preklapaju i ne dodiruju, zbog čega su pogodni za analizu). Detaljna analiza reproduciranog karakterističnog elementa prikazana je na slikama 29, 30, 33, 34, 37 i 38. Neujednačenost nanašanja različito pigmentiranog bojila može se prikazati 3D topografijom rasterskog elementa.



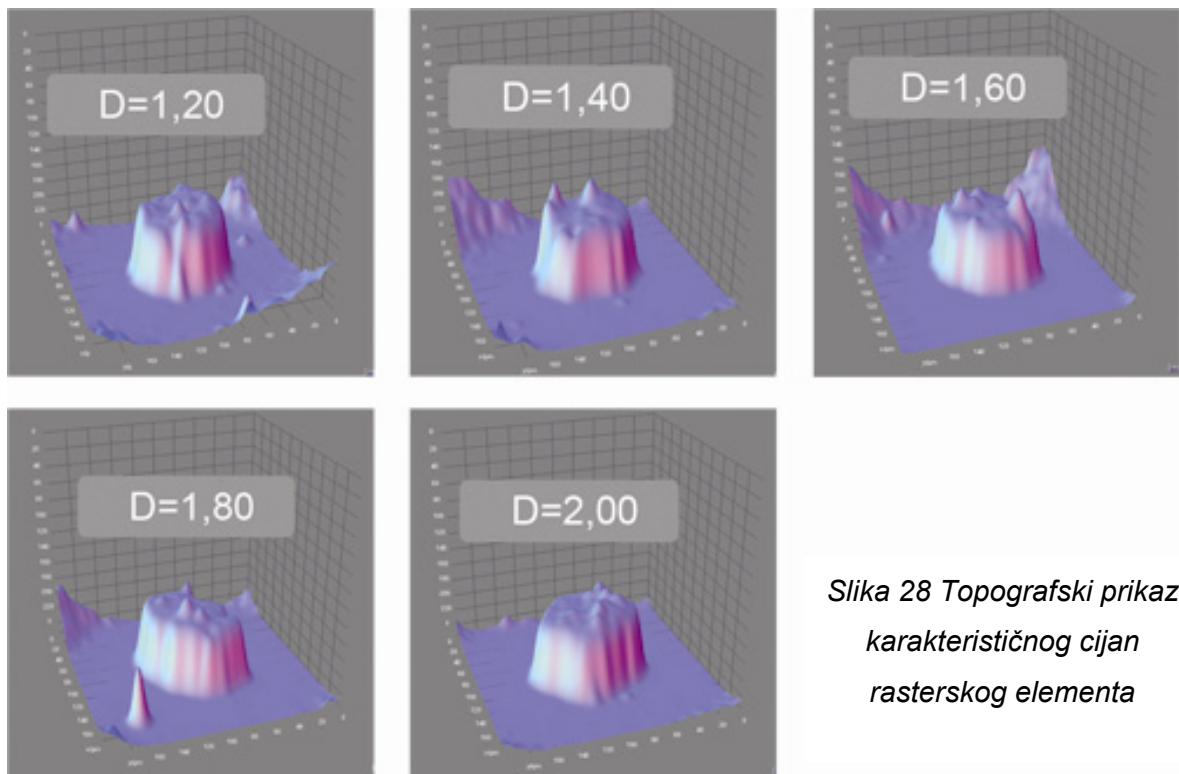
Slika 26 Promjena promjera rasterskog elementa u ovisnosti o promjeni gustoće obojenja



*Slika 27 Mikroskopski prikaz promatranog cijan rasterskog elementa*

Analizom niza rasterskih elemenata, uslijed promjene koncentracije pigmenta cijan bojila dobiveni su sljedeći promjeri elemenata:  $d_{1,20}=90,92\mu\text{m}$  (187 analiziranih elemenata),  $d_{1,40}=89,32\mu\text{m}$  (197 analiziranih elemenata),  $d_{1,60}=91,83\mu\text{m}$  (196 analiziranih elemenata),  $d_{1,80}=96,34\mu\text{m}$  (186 analiziranih elemenata) i  $d_{2,00}=98,91\mu\text{m}$  (184 analizirana elementa) kao što je prikazano i na slici 26. Uočljiv je gotovo linearan porast promjera rasterskog elementa s porastom pigmentacije bojila, osim pri gustoći obojenja  $D=1,40$ , gdje je suprotno očekivanju, došlo do blagog smanjenja rasterskog elementa. Razlog tome može se protumačiti nedovoljnim miješanjem velike količine bojila koje će se stajanjem sedimentirati na dnu posude (zbog specifične težine pigmenta). Ovdje je važno napomenuti da je sistem za nanašanje bojila (pumpni ventil) smješten na vrhu tanka.

Prikaz uvećanih rasterskih elemenata te njihov položaj na otisku prikazan je na slici 27. Iz slike je vidljivo prisustvo stranih pigmenta u obliku malih točkica. To se može objasniti satelitskim procesom razvijanja. Uzmemo li u obzir činjenicu da je cijan zadnji po redu za otiskivanje, moguće da je kontaminiran sa žutom i magentom. S povećanjem koncentracije pigmenta,



*Slika 28 Topografski prikaz karakterističnog cijan rasterskog elementa*

količina i oblik spomenutih točkica se smanjuje. Također uočljivo je i da se oblik samog cijan rasterskog elementa kod srednjih pigmentacija ElektroInka (D=1,60 i D=1,80) dobiva nepravilan, duguljasti oblik, te se dodatnim povećanjem pigmentacije postaje pravilnijeg kružnog oblika.

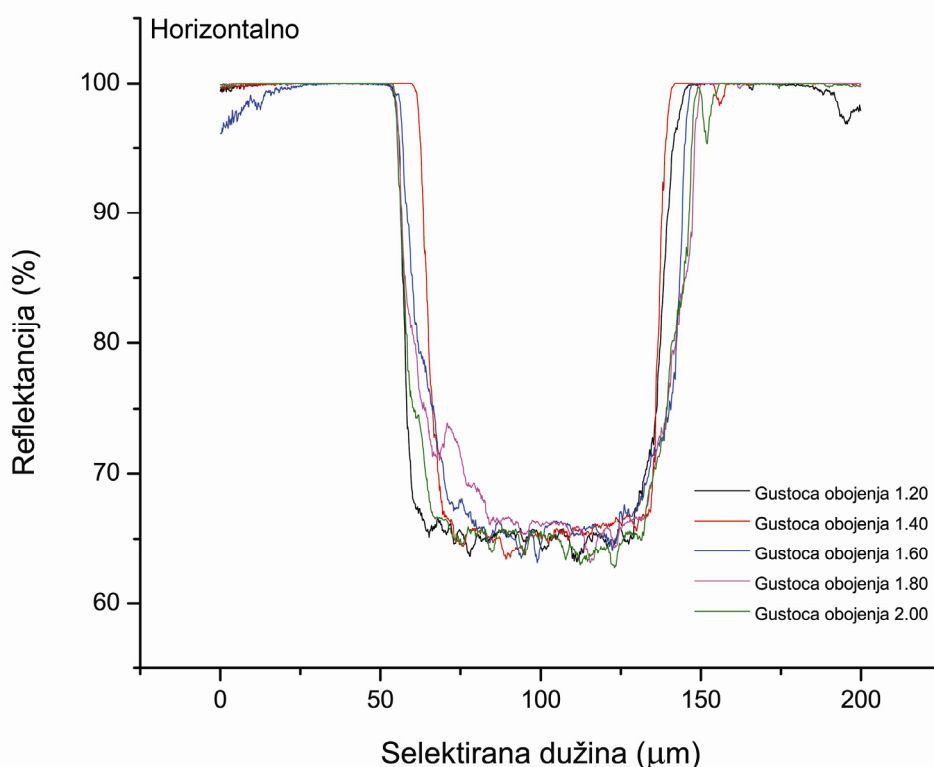
Prihvatanje bojila za podlogu vidljivo je na topografskim prikazima karakterističnog rasterskog elementa (slika 28). Vizualnom procjenom uočava se najpravilnije oblikovan element pri pigmentaciji bojila D=2,00 (4 karakteristična vrha). Na nižim pigmentacijama bojila elementi imaju više karakterističnih vrhova, tako se na D=1,80 uočava 6 vrhova, na pigmentacijama bojila D=1,60 i D=1,40 vidljivo je 7, a na D=1,20 nalazi se 9 karakterističnih vrhova. Pritom je za rastriranje digitalne točke bolje primijeniti što je moguće veću pigmentaciju bojila.

Analiza profila karakterističnog cijan rasterskog elementa po horizontalnom i vertikalnom presjeku prikazana je na slikama 29 i 30. Tu su prikazane reflektancije po horizontalnoj i vertikalnoj selektiranoj dužini presjeka rasterskog elementa, preciznošću od jednog mikrona.

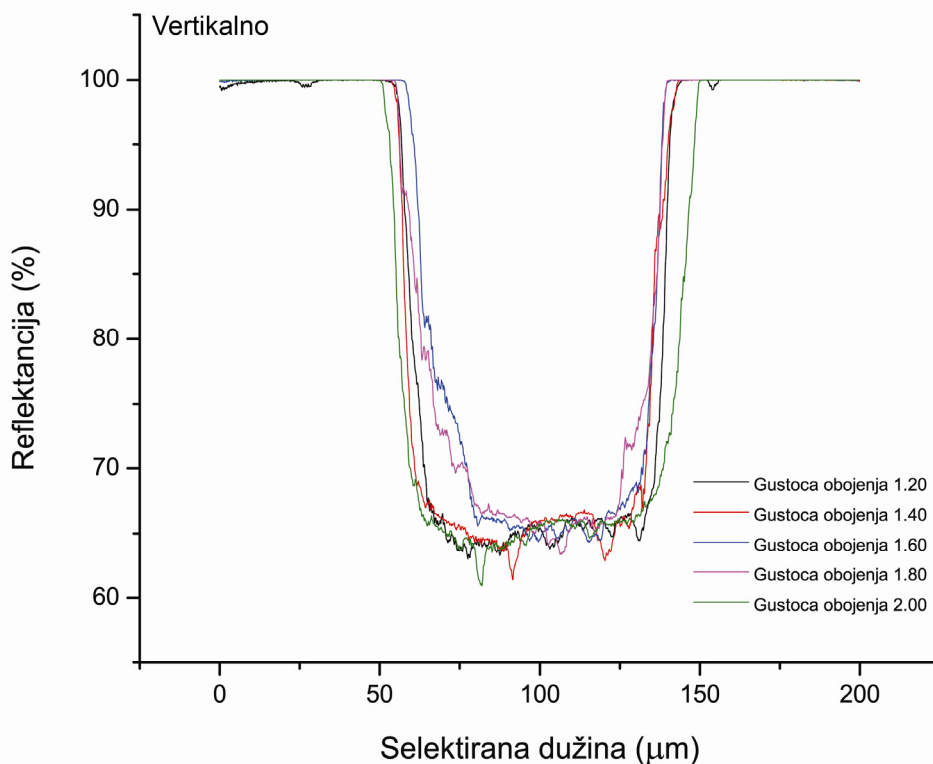
Na horizontalnom presjeku vidljivo je da je ukupna površina prilično nepravilna kod svih koncentracija pigmenata. Može se primijetiti da je ta nepravilnost uglavnom ujednačena po cijelom presjeku. Kod srednjih pigmentacija ElektroInka (D=1,60 i D=1,80) je ipak uočljiva

nešto viša reflektancija s lijeve strane. Suprotno tome, kod najniže pigmentacije Elektroinka, nešto je niža reflektancija. Prosječne reflektancije po horizontalnom presjeku su:  $R_{1,20}=72,08\%$ ,  $R_{1,40}=75,09\%$ ,  $R_{1,60}=72,90\%$ ,  $R_{1,80}=72,51\%$  i  $R_{2,00}=70,80\%$ . Ove prosječne vrijednosti odnose se na selektiranu dužinu od 50 do 150  $\mu\text{m}$ .

Na vertikalnom presjeku slična je situacija. Kod srednjih pigmentacija Elektroinka ( $D=1.60$  i  $D=1.80$ ) je najuočljivija nepravilnost reflektancije. Kod koncentracije pigmenta od  $D=1.80$  uočljivo je ukupno jednoliko suženje, odnosno viša reflektancija s gornje i s donje strane promatranog rasterskog elementa, dok je kod koncentracije pigmenta od  $D=1.60$ , viša reflektancija prisutna samo s gornje strane. Suprotno tome, kod preostalih koncentracija pigmentata, primjećuje se s gornje strane nešto niža reflektancija. S donje pak strane, skoro sve krivulje se poklapaju, dakle daju slične ujednačene rezultate ali sa nepravilnijom površinom prikazanom u obliku brojnih oštih vrhova. Prosječne reflektancije za cijan po vertikalnom presjeku, na selektiranoj dužini od 50 do 150  $\mu\text{m}$ , su:  $R_{1,20}=72,57\%$ ,  $R_{1,40}=73,03\%$ ,  $R_{1,60}=76,35\%$ ,  $R_{1,80}=75,91\%$  i  $R_{2,00}=69,47\%$ .



Slika 29 Analiza profila karakterističnog cijan rasterskog elementa horizontalno



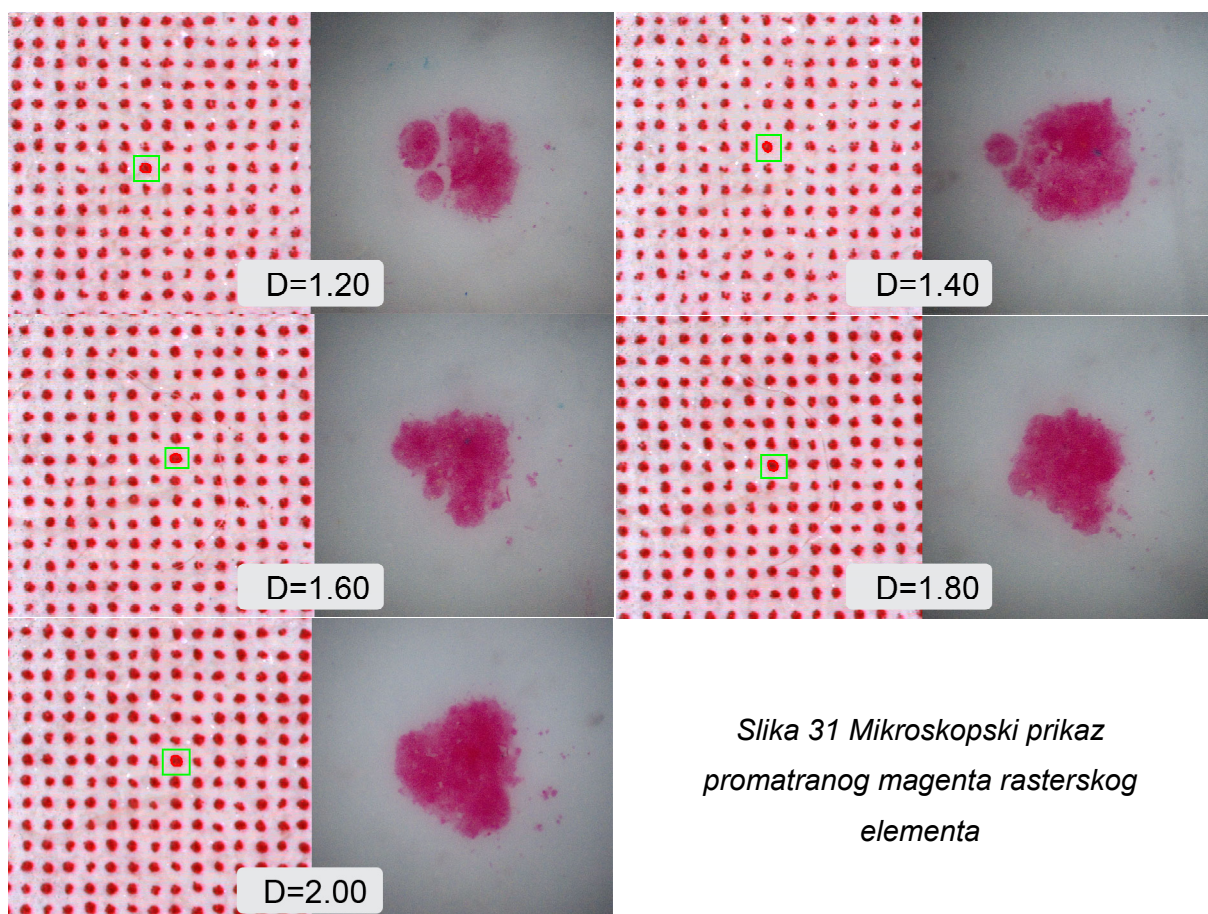
Slika 30 Analiza profila karakterističnog cijan rasterskog elementa vertikalno

Analizom većeg broja magentnih rasterskih elemenata, uslijed promjene koncentracije pigmentata u bojilu dobiveni su sljedeći promjeri elemenata:  $d_{1,20}=74,27\mu\text{m}$  (201 analiziran element),  $d_{1,40}=66,85\mu\text{m}$  (199 analiziranih elemenata),  $d_{1,60}=76,46\mu\text{m}$  (197 analiziranih elemenata),  $d_{1,80}=80,17\mu\text{m}$  (180 analiziranih elemenata) i  $d_{2,00}=84,15\mu\text{m}$  (196 analiziranih elemenata). Kao i kod cijan rasterskih elemenata, uočava se gotovo linearan porast promjera rasterskog elementa s porastom pigmentacije bojila, s iznimkom u koncentraciji koja je povećana za  $\Delta D=0,20$ , gdje dolazi do smanjenja rasterskog elementa (slika 26). Razlog tome identičan je kao i kod cijan bojila s tom razlikom da je pad više naglašen, što govori o tome da kohezivnost bojila mora biti točna.

Promatranjem magenta rasterskih elemenata (slika 31) uočljivo je da pri nižim gustoćama obojenja isti elementi imaju jako nepravilan oblik. Konkretno, kod gustoće obojenja  $D=1,20$  uočljivo je da se rasterski element rastavio na tri djela. Povećanjem pigmentacije dolazi do spajanja tih dijelova u pravilniji oblik. Tako kod  $D=1,40$ , rasterski element je još uvijek rastavljen i nepravilan, dok je kod  $D=1,60$  potpuno spojen u jednu točkicu ali i dalje vrlo nepravilnu. Kod tih pigmentacija bojila uočljivo je prisustvo sitnih točkica drugih pigmentata, ali



znatno manje nego kod cijan bojila. Razlog tome je što je magenta drugo bojilo po redu za nanašanje (nakon žute) te je moguća kontaminacija samo žutom. Daljnjim povećanjem gustoće obojenja oblik rasterskog elementa je sve pravilniji.

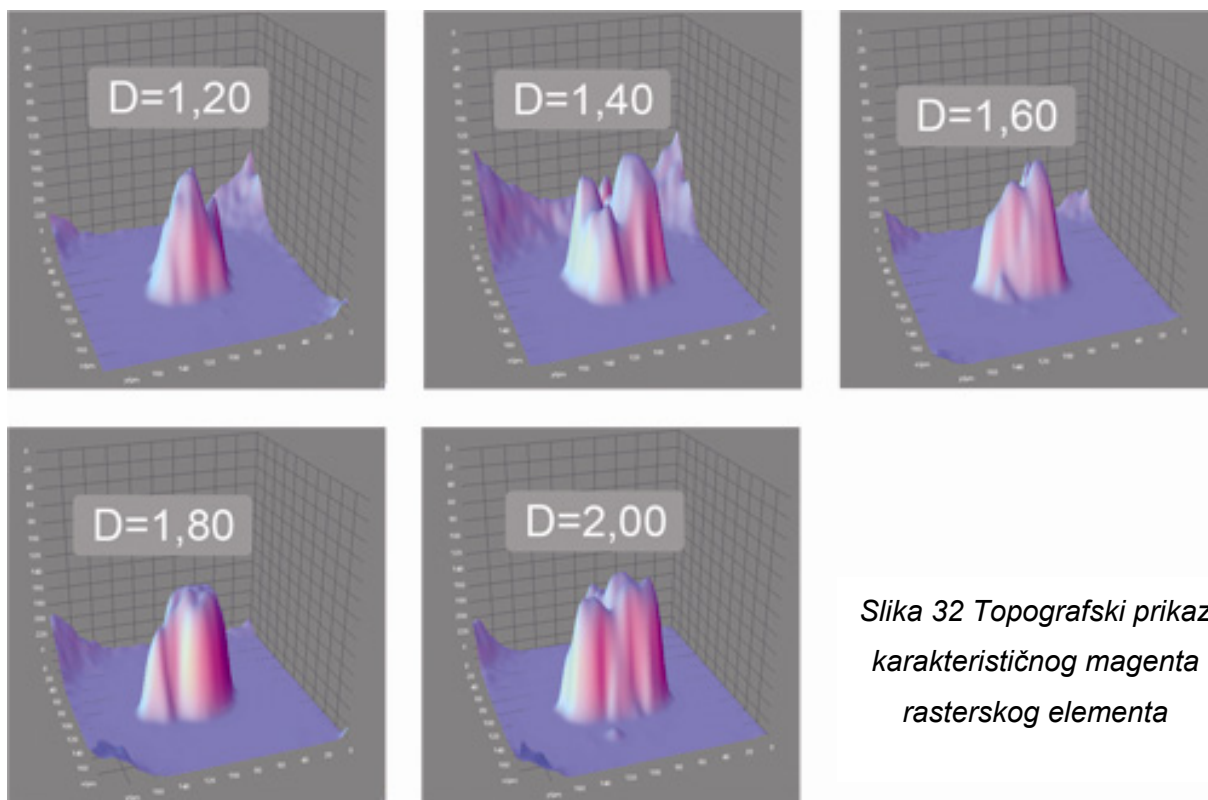


*Slika 31 Mikroskopski prikaz promatranog magenta rasterskog elementa*

Prihvatanje bojila za podlogu vidljivo je na topografskim prikazima karakterističnog rasterskog elementa (slika 32). Vizualnom procjenom uočava se najpravilnije oblikovan element pri pigmentaciji bojila  $D=2,00$  (4 karakteristična vrha). Na nižim pigmentacijama bojila elementi imaju više karakterističnih vrhova, ali je i razlika u visini među vrhovima veća, tako se na  $D=1,80$  uočavaju također 4 vrha, na pigmentacijama bojila  $D=1,60$ ,  $D=1,40$  i  $D=1,20$  vidljivo je 5 karakterističnih vrhova. Time je pokazana slaba homogenost između magnetnih čestica koje se teže povezuju u jednu cjelinu.

Analiza profila karakterističnog magenta rasterskog elementa po horizontalnom i vertikalnom presjeku prikazana je na slikama 33 i 34. Tu su prikazane reflektancije po horizontalnoj i vertikalnoj selektiranoj dužini presjeka rasterskog elementa, preciznošću od jednog mikrona.

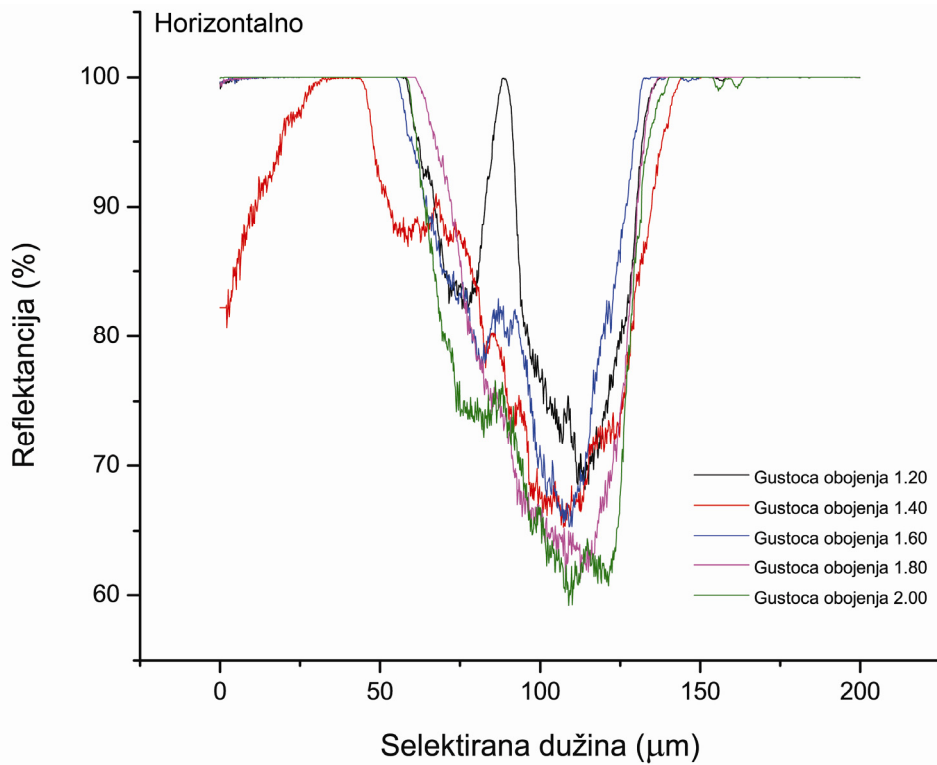




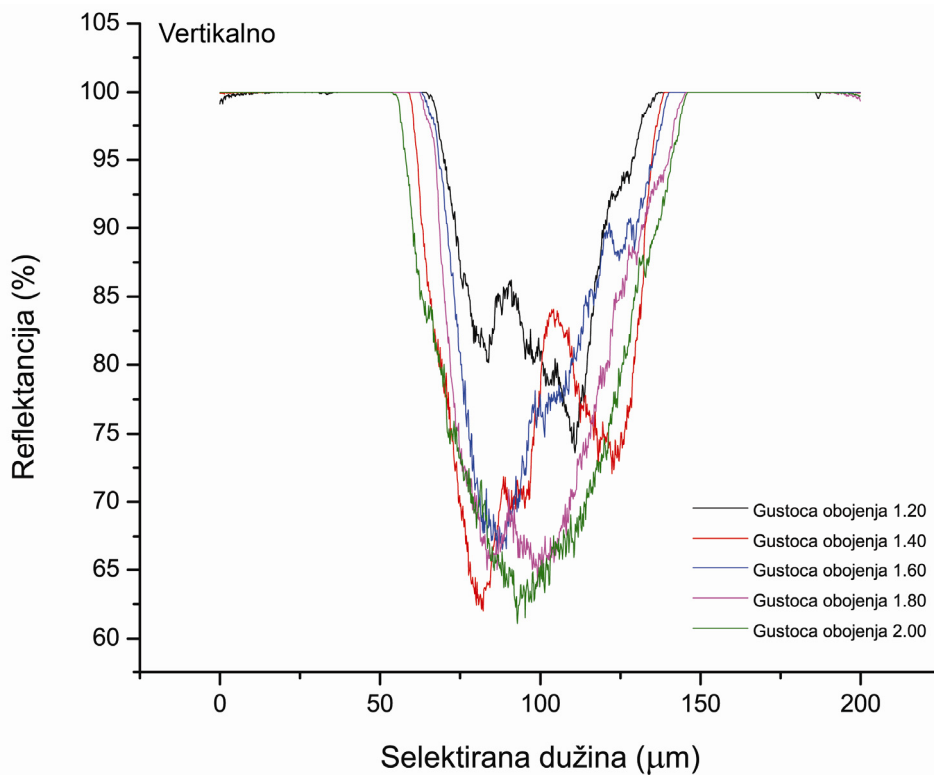
*Slika 32 Topografski prikaz karakterističnog magenta rasterskog elementa*

Po horizontalnom presjeku rasterskog elementa uočljiva je izrazita nepravilnost površine. To je posebice izraženo sa lijeve strane presjeka promatranog rasterskog elementa gdje su vrijednosti reflektancije znatno više nego što su s desne strane. Najpravilniji presjek uočljiv je kod koncentracije ElektroInka od  $D=1.80$  gdje je ujednačena reflektancija s lijeve i desne strane, sa najnižom vrijednošću oko sredine. Prosječne reflektancije za magentu po horizontalnom presjeku su:  $R_{1.20}= 87,58\%$ ,  $R_{1.40}= 81,81\%$ ,  $R_{1.60}= 85,57\%$ ,  $R_{1.80}= 82,70\%$  i  $R_{2.00}= 79,78\%$ . Ove prosječne vrijednosti odnose se na selektiranu dužinu od 50 do 150  $\mu\text{m}$ .

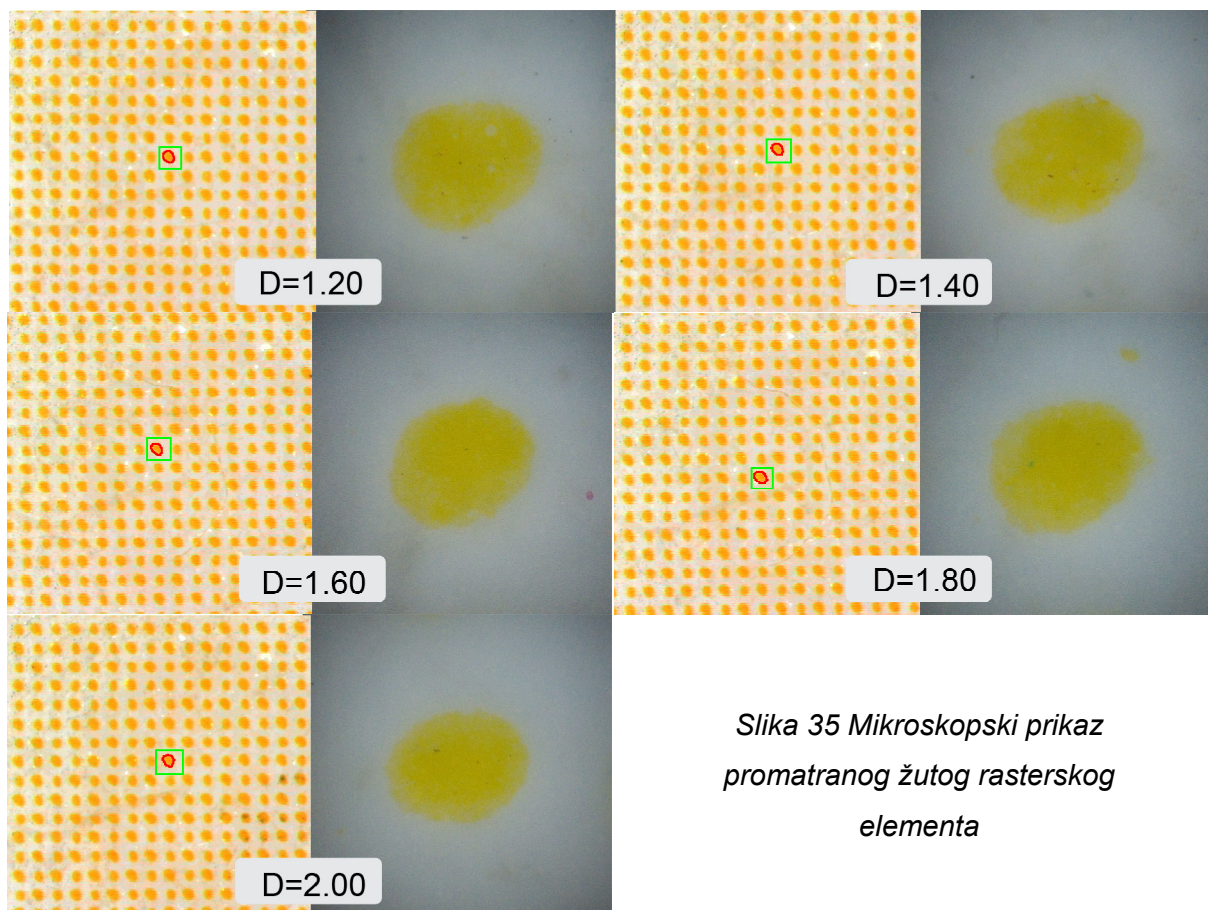
Kod vertikalnog također je uočljiva izrazito nepravilna površina promatranog rasterskog elementa. Ta nepravilnost najnaglašenija je po sredini promatranog presjeka (što je najizraženije kod  $D=1.20$ ) gdje je reflektancija znatno viša nego na ostalim dijelovima koje karakteriziraju oštri vrhovi. Ta „rupa“ na rasterskom elementu, odnosno naglašen skok u reflektanciji se ispravlja kod koncentracije pigmenta  $D=1.60$ , ali gdje je nepravilnost površine i dalje jako naglašena te se reflektancija linearno povećava s gornje na donju stranu presjeka. Daljnjim povećanjem koncentracije pigmenta, reflektancija je sve ujednačenija po cijeloj površini presjeka rasterskog elementa, sa najnižom vrijednošću po sredini. Prosječne reflektancije po vertikalnom presjeku, na selektiranoj dužini od 50 do 150  $\mu\text{m}$ , su:  $R_{1.20}=90,45\%$ ,  $R_{1.40}=82,35\%$ ,  $R_{1.60}=86,63\%$ ,  $R_{1.80}=82,38\%$  i  $R_{2.00}=78,85\%$ .



Slika 33 Analiza profila karakterističnog magenta rasterskog elementa horizontalno



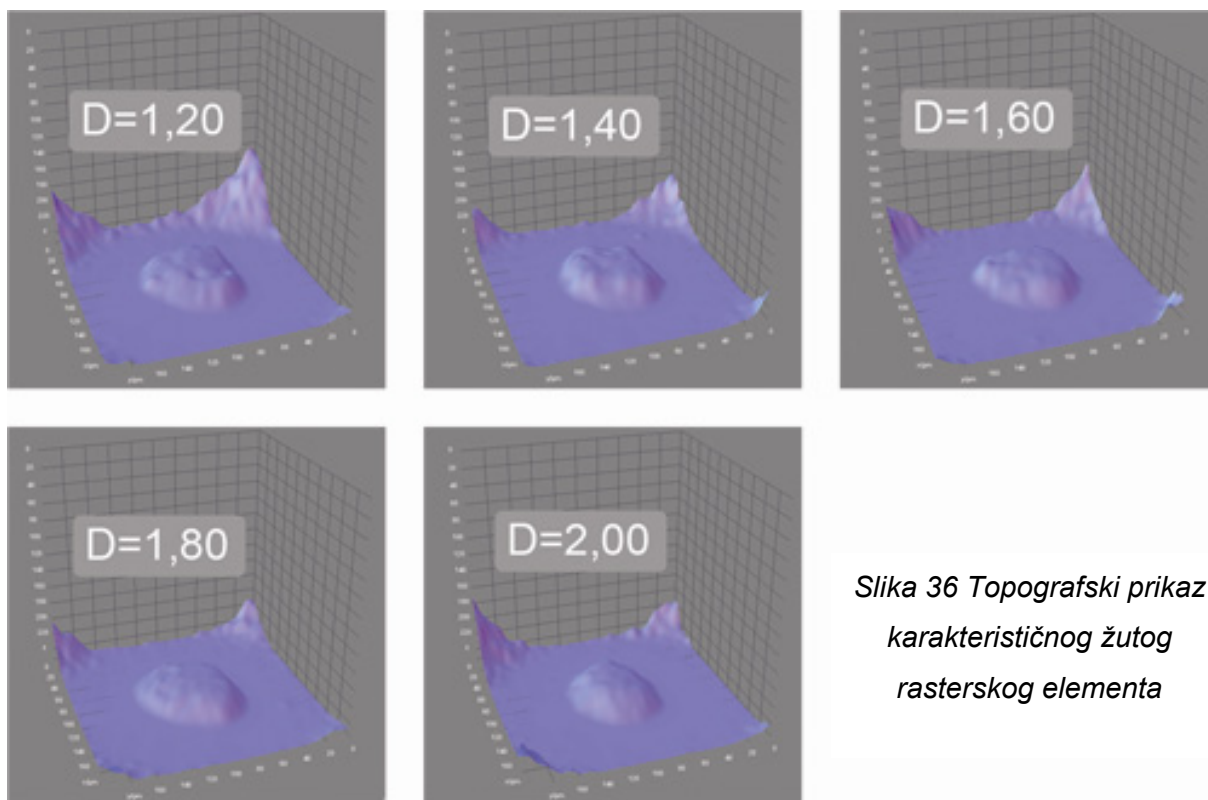
Slika 34 Analiza profila karakterističnog magenta rasterskog elementa vertikalno



*Slika 35 Mikroskopski prikaz promatranog žutog rasterskog elementa*

Promjena koncentracije žutog pigmenta, rezultirala je različitom dimenzijom promjera rasterskih elemenata (slika 26). Prosječni promjeri analiziranih elemenata iznose:  $d_{1,20}=91,89\mu\text{m}$  (256 analiziranih elemenata),  $d_{1,40}=90,68\mu\text{m}$  (256 analiziranih elemenata),  $d_{1,60}=89,98\mu\text{m}$  (243 analizirana elementa),  $d_{1,80}=90,98\mu\text{m}$  (256 analiziranih elemenata) i  $d_{2,00}=92,35\mu\text{m}$  (256 analiziranih elemenata). Kretanje promjera rasterskog elementa nije linearan, povećanjem koncentracije pigmenta za  $\Delta D=0,20$  i  $\Delta D=0,40$  ne dolazi do povećanja promjera, već do njegovog smanjenja, što je suprotno situaciji kod većih koncentracija pigmenta gdje je uočljivo povećanje promjera.

Uvećani uzorci s karakterističnim rasterskim elementom su prikazani na slici 35. Uočljiv je najpravilniji oblik rasterskog elementa koji skoro odgovara savršenom krugu. Povećanjem pigmentacije rasterski elementi postaju sve pravilniji. Uočljivo je da se prema rubovima povećava svjetlina, odnosno da je prema periferiji rasterskog elementa manja pigmentacija. Kod žutih rasterskih elemenata nema uočljivih točkica drugog pigmenta kao kod cijana i



*Slika 36 Topografski prikaz karakterističnog žutog rasterskog elementa*

magente. Razlog tome je što je žuta kao najsvjetlija separacija, prvo bojilo koje se otiskuje u procesu otiskivanja te samim time nije kontaminirana. Pigmenti na bazi azo spojeva će se zbog veće koncentracije bolje vezivati međusobno ne stvarajući pritom vršne nakupine već jednoliku ravnu podlogu.

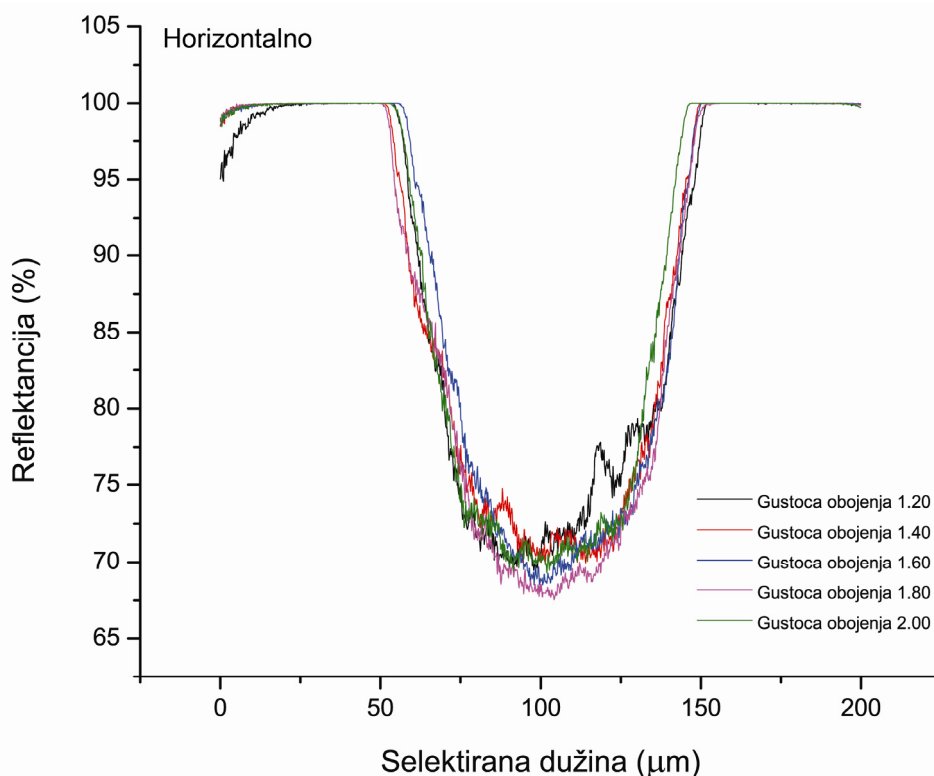
Vizualnom valorizacijom uočava se kako su žuti rasterski elementi niži po z osi (svjetlina piksela), bez izraženih karakterističnih vrhova u odnosu na cijan i magenta rasterske elemente (slika 36). Uočava se najpravičnije oblikovan element pri pigmentaciji bojila  $D=2,00$  (3 karakteristična vrha). Na nižim pigmentacijama bojila elementi imaju više karakterističnih vrhova, ali vrhovi nisu jako izraženi, tako se na  $D=1,80$  uočavaju 3 vrha, na pigmentacijama bojila  $D=1,60$ ,  $D=1,40$  i  $D=1,20$  vidljivo je 5 karakterističnih vrhova.

Analiza profila karakterističnog žutog rasterskog elementa po horizontalnom i vertikalnom presjeku prikazana je na slikama 37 i 38. Tu su prikazane reflektancije po horizontalnoj i vertikalnoj selektiranoj dužini presjeka rasterskog elementa, preciznošću od jednog mikrona.

Izrazit pravilna reflektancija uočljiva je pri horizontalnom presjeku promatranog žutog rasterskog elementa. Kod koncentracije pigmenta  $D=1,20$  jedino je uočljiva prisutnost vrhova i

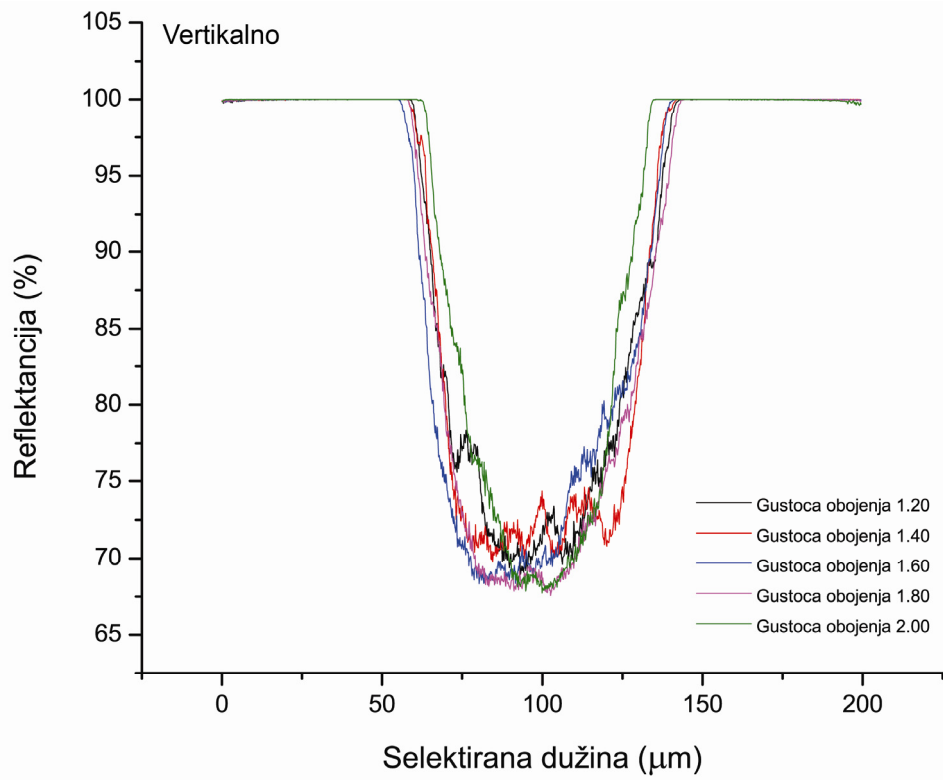
neravna površina, sa višim vrijednostima reflektancije na desnoj strani presjeka. Daljnjim povećanjem koncentracije pigmenta, pravilnost je sve veća te je površina sve ravnija i ujednačena s lijeve i desne strane. Zanimljivo je da kod pigmentacije D=2.00 dolazi do ukupnog povećanja reflektancije što dovodi do zaključka da nema potrebe za tolikom velikom pigmentacijom jer pigmentacija D=1.80 daje zadovoljavajuće rezultate. Prosječne reflektancije po horizontalnom presjeku, na selektiranoj dužini od 50 do 150  $\mu\text{m}$  žutog rasterskog elementa, su:  $R_{1,20}=79,38\%$  ,  $R_{1,40}=79,13\%$  ,  $R_{1,60}=79,70\%$  ,  $R_{1,80}=77,68\%$  i  $R_{2,00}=79,92\%$ .

Vertikalni presjek daje nešto nepravilnije rezultate, površina je nepravilnija, te sadrži veći broj oštih vrhova. Kod koncentracije pigmenta D=1.20 na gornjem dijelu presjeka izraženija je nepravilnost površine uz višu reflektanciju. Daljnjim povećanjem pigmentacije, reflektancija je ujednačenija ali uz prisustvo većeg broja oštih vrhova. Kod srednjih koncentracija pigmenata (D=1.60 i D=1.80) uočljivo je veće rasipanje na donjem dijelu presjeka gdje se reflektancija lagano povećava prema periferiji. Kod najveće korištene pigmentacije reflektancija je ujednačena i pravilna duž cijelog presjeka s najnižom vrijednošću u sredini vertikalnog presjeka promatranog rasterskog elementa. Prosječne reflektancije po vertikalnom presjeku, na već spomenutoj selektiranoj dužini od 50 do 150  $\mu\text{m}$ , su:  $R_{1,20}=82,60\%$ ,  $R_{1,40}=81,85\%$ ,  $R_{1,60}=81,33\%$ ,  $R_{1,80}=80,70\%$  i  $R_{2,00}=84,40\%$ .



Slika 37 Analiza profila karakterističnog žutog rasterskog elementa horizontalno





Slika 38 Analiza profila karakterističnog žutog rasterskog elementa vertikalno

## 6 ZAKLJUČAK

Zbog različite građe pigmenta u cijan, magenta i žutom bojilu, reproducirani rasterski elementi se vizualno znatno razlikuju. Svjetlina rasterskih elemenata proporcionalno opada porastom pigmentacije bojila, dok ukupno gledano razlike u obojenju proporcionalno raste porastom pigmentacije bojila. Kod cijana je to najuočljivije dok kod ostalih bojila dolazi do sitnih nepravilnosti. Razlika u obojenju nakon eksperimentalnog otiskivanja 1 i 3 ( $\Delta E_{1,20-1,60}$ ) kod magente manja je nego nakon eksperimentalnog otiskivanja 1 i 2 ( $\Delta E_{1,20-1,40}$ ). Nakon eksperimentalnog otiskivanja 4 ( $\Delta E_{1,20-1,80}$ ), dolazi do ponovnog povećanja razlike u obojenju, no ipak je nešto manja nego razlika  $\Delta E_{1,20-1,40}$ . Daljnjim povećanjem koncentracije pigmenata dolazi do daljnjega povećanja razlike u obojenju. Kod žute nakon eksperimentalnog otiskivanja 1 i 3 ( $\Delta E_{1,20-1,60}$ ) dolazi do povećanja razlike u obojenju u odnosu na razliku nakon eksperimentalnog otiskivanja 1 i 2 ( $\Delta E_{1,20-1,40}$ ). Daljnjim povećanjem pigmentacije, razlika u obojenju je sve veća ( $\Delta E_{1,20-1,80}$  i  $\Delta E_{1,20-2,00}$ ).

Rasterski elementi otisnuti cijan bojilom imaju najveći promjer, dok rasterski elementi otisnuti magenta bojilom imaju najmanji prosječni promjer. Maksimalna devijacija između cijan rasterskih elemenata nastala je nakon eksperimentalnog otiskivanja 2 i 5, a najmanja razlika nakon 1. i 2. eksperimentalnog otiskivanja. Kod rasterskih elemenata otisnutih magenta bojilom najveća razlika nastala je također nakon eksperimentalnog otiskivanja 2 i 5, a najmanja nakon 1. i 3. eksperimentalnog otiskivanja. U odnosu na ostale boje, žuti rasterski elementi najmanje osciliraju. Ipak maksimalna devijacija dešava se nakon eksperimentalnog otiskivanja 3 i 5, dok najmanja nakon eksperimentalnog otiskivanja 2 i 4.

Vizualnom procjenom rasterskih elemenata, uočljivo je da najpravilniji oblik imaju žuti rasterski elementi koji imaju gotovo savršen kružni oblik. Suprotno tome, najnepravilniji oblik imaju magenta rasterski elementi koji su kod nižih pigmentacija rastavljeni u dva ili tri dijela. Kod cijan rasterskih elemenata vidljivi su tragovi sitnih točkica drugih pigmenata. Kod sva tri bojila uočljivo je da povećanjem pigmentacije bojila, oblik rasterskih elemenata postaje sve pravilniji a prisustvo točkica satelitskih pigmenata opada.

Topografskom analizom potvrđene su prethodne hipoteze o utjecaju koncentracije pigmenata na formiranje rasterskih elemenata. To nam pokazuju i dobivene vrijednosti reflektancija. Najnepravilnije oblikovani elementi su bili oni pri najmanjoj pigmentaciji bojila. Za dobivanje

jednolične ravne površine rasterskog elementa, bez većih nakupina, bitno je dobro povezivanje čestica međusobno.

Kod cijana su i po horizontalnom i vertikalnom presjeku rasterskog elementa uočljive nakupine, odnosno prilično nepravilna i neravna površina presjeka promatranog rasterskog elementa. Općenito je ujednačena refleksija s lijeve i desne strane, kao i s gornje i donje strane rasterskog elementa. Oscilacija je primjećena samo kod nižih pigmentacija gdje je s gornje strane rasterskog elementa refleksija nešto veća. Kod magente je najizraženija nepravilnost u refleksiji. Po horizontalnom presjeku to je vidljivo kroz naglašene oscilacije s lijeve strane, te je najpravilniji rasterski element kod pigmentacije  $D=1.80$ . Po vertikalnom presjeku oscilacije u refleksiji su u sredini presjeka gdje je uočljiv nagli skok u vrijednosti refleksije, što se povećanjem pigmentacije smanjuje. Kod pigmentacije  $D=2.00$  postiže se najpravilniji rasterski element. Kod nižih pigmentacija ( $D=1.20$  i  $D=1.40$ ) veće su nakupine na donjoj strani presjeka, dok kod srednje pigmentacije ( $D=1.60$ ) na gornjoj strani presjeka. Kod žute je kod nižih pigmentacija po horizontalnom presjeku prisutan nepravilan odnos u refleksiji pri čemu su više vrijednosti na desnoj strani kod  $D=1.20$ , te na lijevoj strani kod  $D=1.40$ . Daljnjim povećanjem pigmentacije refleksija je sve pravilnija, te je površina sve glađa. Po vertikalnom presjeku veći je broj nakupina na površini, uglavnom uz veće vrijednosti refleksije na gornjoj strani presjeka. To je posebice uočljivo kod nižih pigmentacija. Kod srednjih pigmentacija ( $D=1.60$  i  $D=1.80$ ) veće su vrijednosti refleksije na donjoj strani presjeka. Kod najveće pigmentacije, refleksija je najpravilnija te je uočljiv ujednačen, pravilan rasterski element.

Može se zaključiti da kod sva tri primijenjena bojila veća pigmentacija ujedno znači bolji, pravilniji i ujednačeniji rasterski element te samim time kvalitetniji tisak. Ipak, zadovoljavajuća kvaliteta postiže se već pri pigmentaciji  $D=1.60$  kod žutih bojila, odnosno  $D=1.80$  kod magenta i cijan bojila. To znači da se već uz te pigmentacije može postići optimalna kvaliteta, te daljnje povećanje pigmentacije nije nužno već znači samo trošak resursa.



## 7 POPIS LITERATURE

1. S. Bolanča – K. Golubović: Tehnologija tiska od Gutenberga do danas, Senj, Senjski zbornik 35, 125-146 (2008.)
2. J. L. Johnson; Principles of Non-impact Printing, Palatino Press, Irvine (CA), 1998.
3. Thompson P., Printing materials: science and technology; Pira International, UK, 2004.
4. Majnarić I. (2004.): Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge. Magistarski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
5. Matošević M. (2009.): Utjecaj ekstremnih nanosa ElektroInka na gamut kolorne reprodukcije. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
6. J. L. Johnson; Principles of Non-impact Printing, Palatino Press, Irvine (CA), 1998.
7. Majnarić I. (2007.): Studija indirektno elektrografije. Doktorska disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
8. A. G. Nothmann; Nonimpact Printing, Graphic Arts Technical Foundation, Pittsburgh, 73-86, 1989.
9. 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.
10. 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.
11. Landa B., et al 1988., Toner for use in composition for developing latent electrostatic images, method of making the same and liquid composition using improved toner, Patent United States 4, 794, 651,27
12. Concepts of Basic Xerography, 1987; Ph. SWINDEN i dr., 2006; B. BÄUMLER – Ch. SENFF, 1988.
13. DPP Training guide; poglavlje 4 *Ink system*; Indigo, Europe Training Centre; Nizozemska, 1998.

14. Majnarić I., Bolanča S., Golubović K., 2007., The influence of ElektroInk pigmentation on the quality indirect digital printing, Proc. of 11th International Conference on Printing, Design and Graphic Communication (Zadar, Croatia, 26.-29. September 2007.) ed Z. Bolanča (Zagreb, Faculty of Graphic Arts) pp 85-89.
15. Golubović A., Tiskarske podloge i tiskarske boje koje se koriste u digitalnom tisku, Zbornik radova 7. znanstveno stručnog simpozija hrvatskih grafičara „Blaž Baromić“, 11-20, Senj 2003.
16. Kipphan H., Handbook of Print Media, Springer, Berlin, 2001.
17. Thompson P., Printing materials: science and technology; Pira International, UK, 2004.
18. Anon A.; Digital Paper for Digital Presses, Graph World, 156 2001, 9-10, 2001.
19. Lemperth C., Ingvar H.; Paper and Digital Printing - What is Happeing? Proceedings T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Antwerpen, Belgium, 331-334, 2001.
20. Zjakić I., Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, Hrvatska Sveučilišna naklada Zagreb, 2007.
21. Luo M. R., Cui G., Rigg B., The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000, Colour Research and Application, 26(5)340, 2001.