

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

MATO MEŠTROVIĆ

**KOMPARACIJA VISOKO PRODUKTIVNIH
DIGITALNIH STROJEVA NAMIJENJENIH
ZA TISAK ETIKETA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

MATO MEŠTROVIĆ

**KOMPARACIJA VISOKO PRODUKTIVNIH
DIGITALNIH STROJEVA NAMIJENJENIH
ZA TISAK ETIKETA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Mato Meštrović

Zagreb, 2020.

SAŽETAK

Tehnologija digitalnog tiska sve češće se primjenjuje pri proizvodnji samoljepljivih etiketa. Od trenutno aktualnih NIP tehnika otiskivanja uglavnom se primjenjuje elektrofotografija i Inkjet. U tiskarama tako najčešće možemo pronaći UV-inkjet strojeve (Durst Tau 330 RSC) i elektrofotografske strojeve s tekućim tonerom (HP Indigo WS 6900). Volumen proizvodnje samoljepljivih etikete u stalnom je porastu pri čemu se ističu Polipropilen i etikete s termo osjetljivim slojem namijenjen naknadnim otiskivanjem s termalnim pisačima. Zbog različitog sastava bojila i načina generiranja rastrirane konačne slike u diplomskom radu izvršit će se komparativna analiza reprodukcije CMYK punih tonova (100% RTV-a), ostvarena CMYK RGB raster tonska vrijednost (RTV), ostvareni relativni tiskarski kontrasti (K%), nanašanje boje na boju (traping), pogreška tona (HE%) i sivoća primarnih tonova (GR). Korištene tiskovne podloge pritom će biti Termoeco (sadrži površinski sloj sa dye termo osjetljivim slojem) i polipropilen bijele boje. Mjerna metoda za određivanje razlika u klornoj reprodukciji biti će optička denzitometrija pri čemu će se kao referenca uzeti otisak u skladu s Fogra 39. Time će se odrediti odstupanja mjerenih varijabli te odrediti potrebna korekcija da bi se ostvario preduvjet za točan i ponovljiv kolorni otisak. Za denzitometrijsko mjerenje koristiti će se spektrofotometar i kolorimetar X-rite eXact. Rezultati pokazuju da otisci napravljeni na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC više odgovaraju FOGRA 39 standardu, pri čemu su bolji rezultati ostvareni na tiskarskoj podlozi Termoeco ScandTherm TCS.

Ključne riječi:

Tisak etiketa, UV Inkjet, elektrofotografija s tekućim tonerom, denzitometrija.

ABSTRACT

Digital printing technology is applied to the production of self-adhesive labels. Of the currently used NIP printing techniques, electrophotography and Inkjet are mostly suitable. Now you can find UV-inkjet machines (Durst Tau 330 RSC) and liquid-tone electrophotographic machines (HP Indigo WS6900) in the production. The production volume of self-adhesive labels is constantly increasing, with Polypropylene and labels with a thermo-sensitive layer intended for subsequent printing with thermal printers standing out. In the thesis due to the different color composition and the way of generating the rasterized final image. A comparative analysis are: CMYK full tone reproduction (100% RTV), achieved CMYK RGB raster tonal value (RTV), achieved relative printing contrasts (K%), trapping, tone error (HE%) and grayness of primary tones (GR). The printing substrates used will be Termoeco (contains a surface layer with a thermo sensitive layer) and white polypropylene. The measurement method for determining the difference in color reproduction will be optical densitometry, and a reference prints in accordance with Fogra 39. Than will determine the deviations of the relevant variables and determine the necessary correction to achieve the prerequisite for accurate and repeated color prints. For densitometric measurement, we use the eXact X-rite spectrophotometer and colorimeter. The results show that the prints made on the Durst Tau 330 RSC printing machine correspond more to the FOGRA 39 standard, with better results being achieved on the Termoeco ScandTherm TCS printing substrate.

Key words:

Label printing, UV Inkjet, Electrophotography with liquid toner, densitometry.

SADRŽAJ

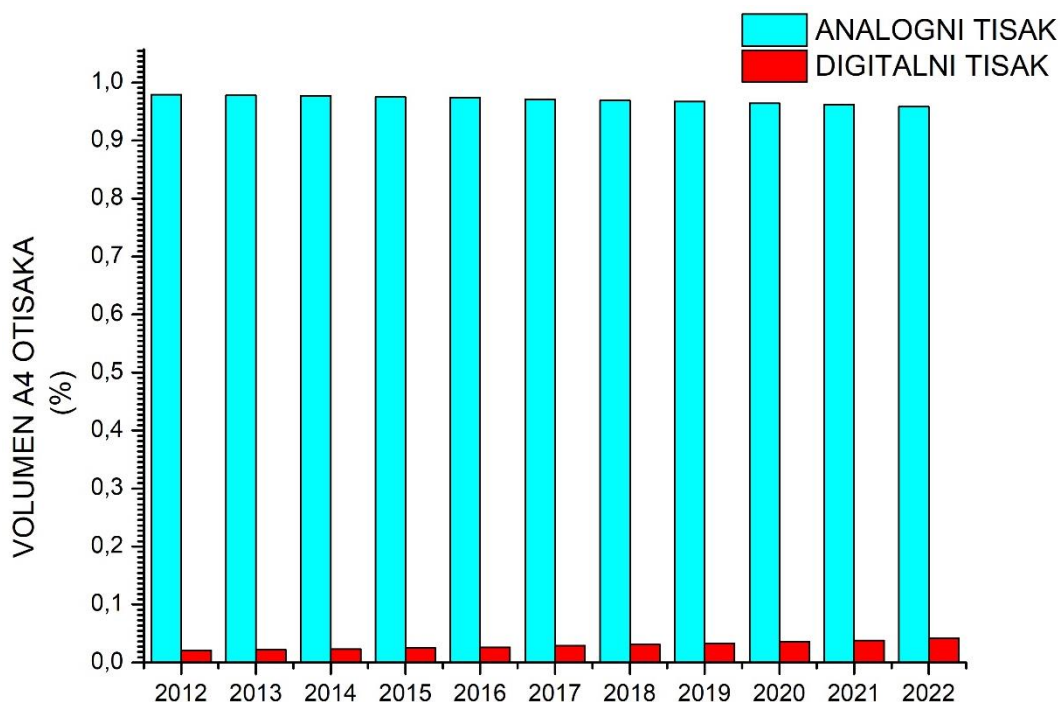
1. UVOD.....	1
1.1. Trendovi u tiskarstvu i digitalnom tisku	1
2. TEROIJSKI DIO	6
2.1. Elektrofotografiski stroj na principu elektrofotografije (HP Indigo WS 6900).....	6
2.1.1. Skorotron („Charge roller“)	8
2.1.2. ROS Laserska glava	10
2.1.3. Postupak razvijanja	14
2.1.4. I. transfer	16
2.1.5. II. transfer	17
2.1.6. Čišćenje PIP-a	18
2.2. UV Inkjet tisak iz role (Durst Tau 330 RSC).....	19
2.2.1. Uvod u Inkjet otiskivanje	19
2.2.2. Preduvjeti formiranja kapljica	24
2.2.3. Piezoelektrična Inkjet glave.....	25
2.2.4. MEMS tehnologija izrade Inkjet glava	26
2.2.5. Samba G3L ispisna glava	29
2.2.6. Durst Tau 330 RSC.....	32
2.2.7. Boje za Durst Tau 330 RSC.....	37
2.2.8. Durst Tau 330 RSC sušenje	38
3. EKSPERIMENTALNI RAD.....	41
3.1. Metodologija rada	41
3.2. Korišteni strojevi i uređaji.....	43
3.2.1. HP Indigo WS 6900.....	43
3.2.2. Durst Tau 330 RSC.....	44

3.2.3. Epson SC-P5000	45
3.2.4. X-Rite eXact advance	47
3.2.5. Mikroskop Leica DM 2500.....	48
3.3. Korištene tiskovne podloge.....	49
3.3.1. Termoeco ScandTherm TCS	49
3.3.2. Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60.....	50
3.3.3. EFI Offset proofpaper 9200 semimatt	51
4. REZULTATI I DISKUSIJA	52
4.1. Krivulje reprodukcije	52
4.2. Relativni tiskarski kontrast.....	62
4.3. Pogreška tona	65
4.4. Sivoća tona.....	68
4.5. Prihvaćanje boje na boju	71
5. ZAKLJUČAK	75
6. LITERATURA.....	78
7. PRILOZI	81
7.1. Popis slika	81
7.2. Popis tablica	83

1. UVOD

1.1. Trendovi u tiskarstvu i digitalnom tisku

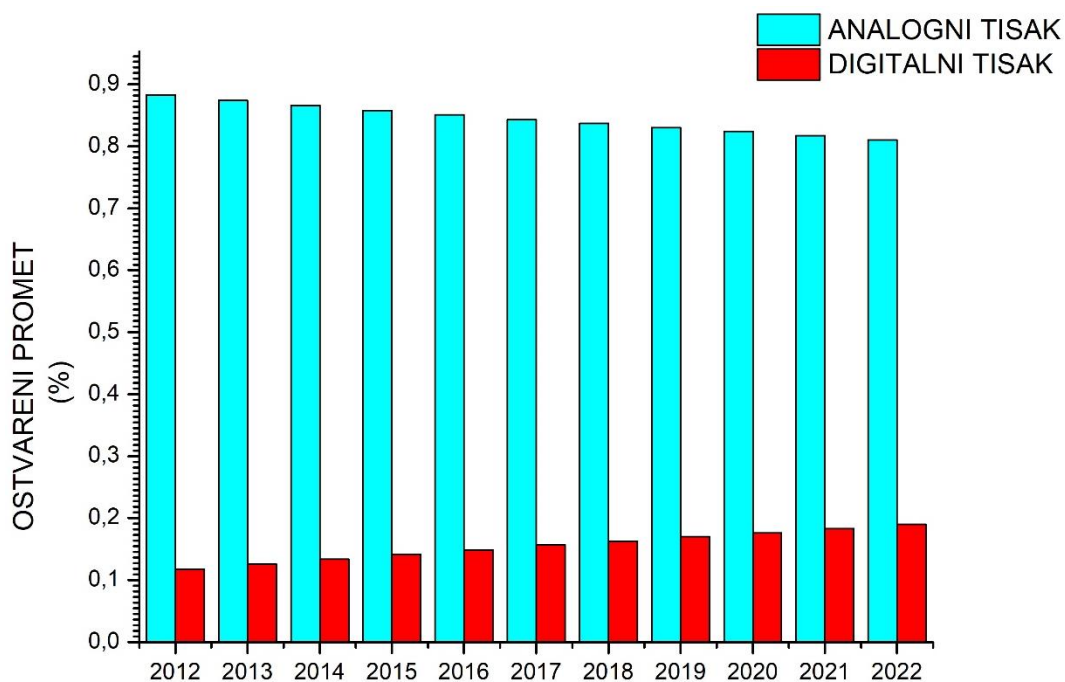
Analizirajući trenutne trendove u grafičkoj industriji vidljivo je da digitalne tehnike otiskivanja započinju svoju primjenu. To je vidljivo i u ostvarenom volumenu otisnutih A4 otisaka i ostvarenom novčanom prihodu. Na slikama 1 i 2 su prikazani trendovi kretanja analognog tiska i digitalnog tiska od 2012. do 2020. godine.



Slika 1 Usporedba volumena A4 otisaka između analognog i digitalnog tiska prikazanog u postocima

(Izvor: Smithers Pira)

Na grafu se može vidjeti kako u posljednjih 8 godina digitalni tisak ima povećanje volumena otisaka u odnosu na analogni tisak. Samim time pretpostavlja se da će se taj trend nastaviti. U 2012. godini volumen otisaka A4 formata za digitalni tisak iznosi 2,1% te ima kontinuirani rast tijekom godina. U 2013. volumen A4 otisaka je iznosio 2,2%, nakon čega rast iznosi 2,3% je (2014.), 2,5% je (2015.), 2,6% je (2016.), 2,9% je (2017.), 3,1% je (2018.), 3,3% je (2019.) 3,6% je (2020.). I u budućem periodu za očekivati je da će se trendovi nastaviti te će 2021. godine rast iznositi 3,8% i 2022. godine 4,2%. Tako možemo vidjeti da digitalni tisak uzima sve veći postotak volumena otisak u odnosu na analogni tisak.

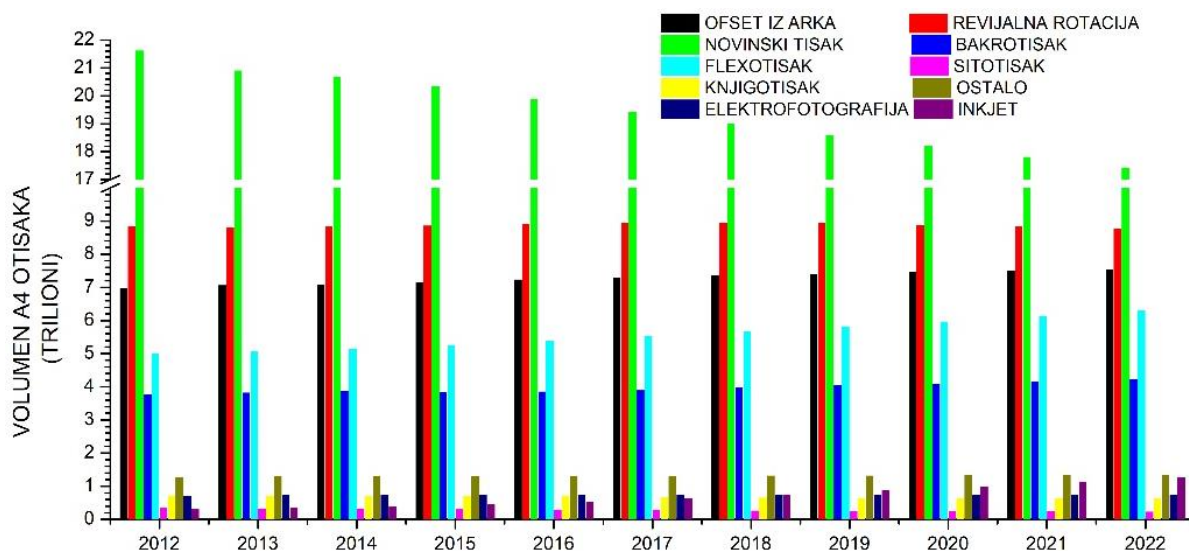


Slika 2 Usporedba ostvarenog prometa između analognog i digitalnog tiska prikazanog u postocima

(Izvor: Smithers Pira)

Sličan trend preslikan je i na ostvareni promet. U grafu na slici 2 je prikazana usporedba ostvarenog prometa između analognog i digitalnog tiska. Ostvareni promet za analogni tisak 2012. godine tako iznosi 88,3% sve ukupnog prometa ostvarenog tiskanjem, dok je za digitalni tisak u istom razdoblju ostvario promet od 11,7%. Tijekom godina ostvareni promet za digitalni tisak tako značajno raste, te za 2013. godinu iznosi 12,6%, 13,4% je (2014.), 14,2% je (2015.), 14,9% je (2016.), 15,7% je (2017.), 16,3% je (2018.), 17% je (2019.), te 17,6% je (2020.). Za 2021. i 2022. godinu se očekuje da će digitalni tisak ostvariti 18,3% odnosno 19% sve ukupnog ostvarenog prometa. Međutim zbog svjetske pandemije uzrokovane Covid 19 ovi rezultati mogu biti upitni za konvencionalni tisak.

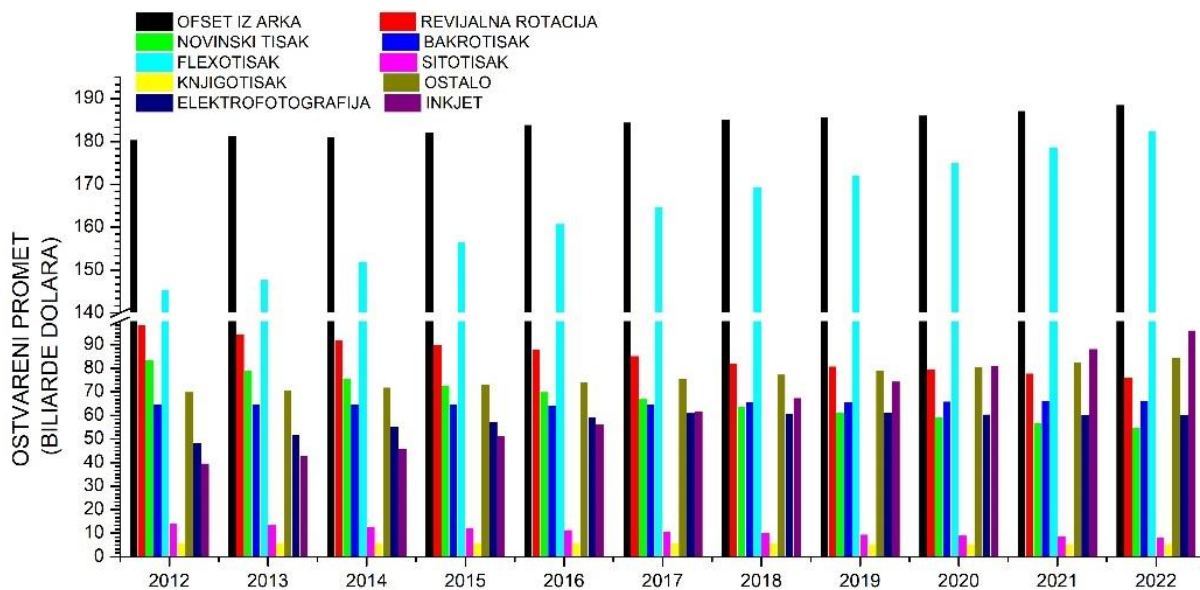
Kako na tržištu postoje razne tehnologije otiskivanja njihovo kretanje značajno ovisi o njihovoj produktivnosti i troškovima otiskivanja. Na slikama 3 i 4 prikazani su trendovi za najčešće korištene tehnike tiska (ofset, flexotisak, bakrotisak, sitotisak, knjigo tisak, elektrofotografija i Inkjet tisak) u periodu od 2012. do 2022. godine.



Slika 3 Prikaz volumena A4 otisaka za različite postupke tiska

(Izvor: Smithers Pira)

U grafu su prikazani volumeni u trilionima A4 otisaka za različite postupke tiska. Ovdje možemo primijetiti da najveći rast od analognog otiskivanja ima flexotisak koji 2012. godine ostvaruje 5 triliona otisaka dok se 2022. godine očekuje volumen od 6,31 triliona otisaka na flexotisku. Bakrotisak također bilježi rast volumena sa 3,77 triliona (2012. godine) na 4,23 triliona (2022. godine). Ofsetni tisak iz arka također ima rast sa 6,98 triliona otisaka 2012. godine na 7,54 triliona otisaka 2022. godine, dok sve druge analogne tehnike otiskivanja bilježe značajni pad. Veliki volumen otisaka preuzeo je digitalni tisak. Tako elektrofotografija 2012. godine ostvaruje 0,72 triliona otisaka, dok se 2022. godine očekuje rast i volumen od 0,74 triliona otisaka. Inkjet tehnologija digitalnog otiskivanja 2012. godine ostvaruje 0,30 triliona otisaka, te se očekuje najveći rast od 325,1% do kraja 2022. godine. Samim time se očekuje da će volumen A4 otisaka napravljenih na Inkjet strojevima iznositi 1,27 triliona.



Slika 4 Prikaz ostvarenog prometa za različite postupke tiska

(Izvor: Smithers Pira)

Na grafu slike 4 je prikazan ostvareni novčani promet za različite postupke otiskivanja. I ovdje možemo viditi da je ofsetni tisak iz arka osvaruje najveći promet te on do 2020. iznosi 188,5 biliona dolara. Analogna tehnika otiskivanja flexotisak ima najveći rast ostvarenog prometa od 2012. godine 145,3 biliona dolara, a 10 godina kasnije (2022. godine) 182,3 biliona dolara. Osim ofsetnog tiska iz arka i flexotiska kod analognih tehnika otiskivanja jedino još bakrotisak ima pozitivan rast ostvarenog prometa. On za 2022. godinu iznosi 66 biliona dolara, dok sve druge tehnike bilježe veliki pad ostvarenog prometa. Tehnike digitalnog tiska imaju značajni rast ostvarenog prometa. Oni za elektrofotografiju za (2022. godinu) iznosi 60,2 biliona dolara dok je u 2012. godinu iznosio skromnih 48,1 bilion dolara. Inkjet tehnologija i u segmentu ostvarenog prometa bilježi rast te tako za 2012. godinu ostvaruje promet od 39,5 biliona dolara dok za 2022. godinu očekuje promet od 96 biliona dolara.

Trendovi digitalnog tiska su pozitivni i za očekivati je njihova sve veća komercijalna primjena. Jedna od velikih prednosti je ta da za formiranje otiska u digitalnom tisku je prethodno generiranje digitalne tiskovne forme. Zbog upotrebe računala takav postupak je puno jednostavniji i brži u odnosu na konvencionalne tehnike tiska. Dvije osnovne skupine izrade tiskovnih formi u digitalnom tisku tako su koncipirane principom računalom do ispisa („Computer to print“) i računalom do stroja („Computer

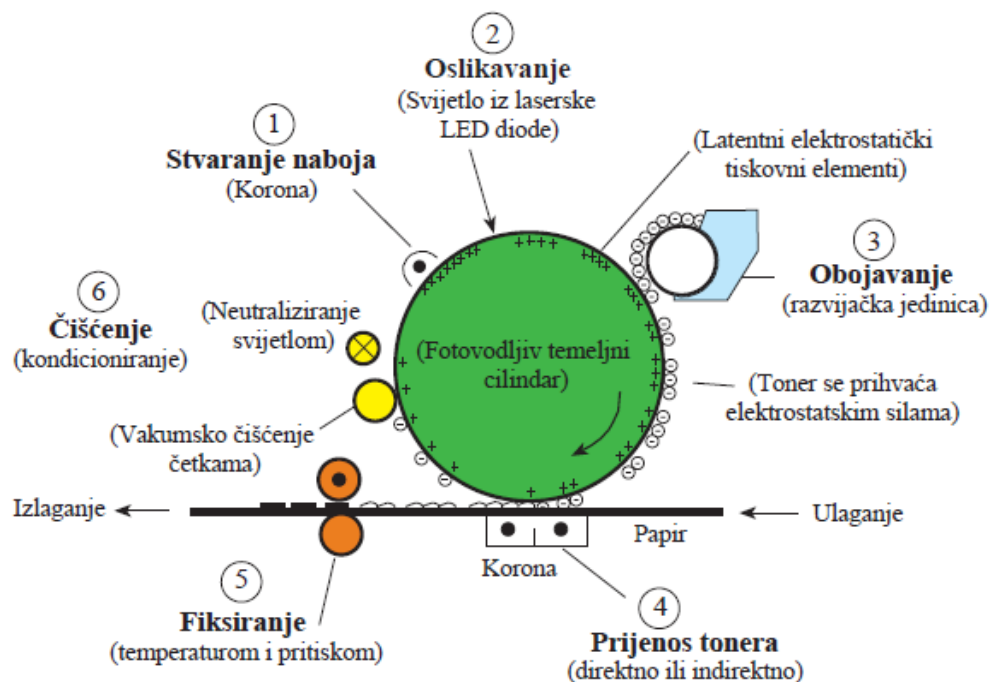
to press“). „Computer to print“ se odnosi na tisak sa promjenjivom tiskovnom formom, dok se „Computer to press“ odnosi na tisak temeljen na tiskovnoj formi nepromjenjivog sadržaja. [1]

Tehnologija otiskivanja za koje nije potreban stabilan, fizički, fiksni nosač slike i koji može generirati promjenjivu sliku po otisku, poznatija i kao tehnologija bez kontaktnog „non-impact“ otiskivanja. NIP („Non Impact Printing“) termin je koji se koristi za princip otiskivanja sa promjenjivim sadržajem, a odnosi se na beskontaktno otiskivanje s malom silom pritiska u zoni otiskivanja. Samim time NIP tehnike tiska su sinonim za „Computer to Print“ otiskivanje. Prevladavajuće tehnologije koje se koriste NIP tehnologijom su: elektrografija, Inkjet, termografija, magnetografija i ionografija. Slobodne površine i tiskovni elementi se razlikuju u energetske potencijalu, tiskovni elementi na sebe prihvaćaju specijalno pripremljene boje (tonere) koji su suprotnog energetske potencijala. To je ujedno i glavna karakteristika kod većine virtualnih NIP tiskovnih formi. Generiranje sadržaja prilikom svakog novog prolaska tiskovne podloge kroz stroj omogućava isplativost otiskivanja malog broja kopija. U okviru NIP tehnologije dvije vrste digitalnog tiska se posebno ističu, a to su elektrofotografija i Inkjet. [1]

2. TEROIJSKI DIO

2.1. Elektrofotografski stroj na principu elektrofotografije (HP Indigo WS 6900)

Postupak elektrofotografskog tiska se može raščlaniti na šest procesnih koraka: Stvaranje naboja, osvjetljavanje, razvijanje, prijenos tonera, fiksiranje tonera, čišćenje (slika 5). Iz opisanih proceduralnih koraka može se vidjeti da elektrofotografija generira otisak bez standardne tiskovne forme. S toga se vidi da je jedna od glavnih prednosti elektrofotografije u odnosu na konvencionalne tehnike ta da može generirati drugačiju sliku otisak za otiskom. [2]

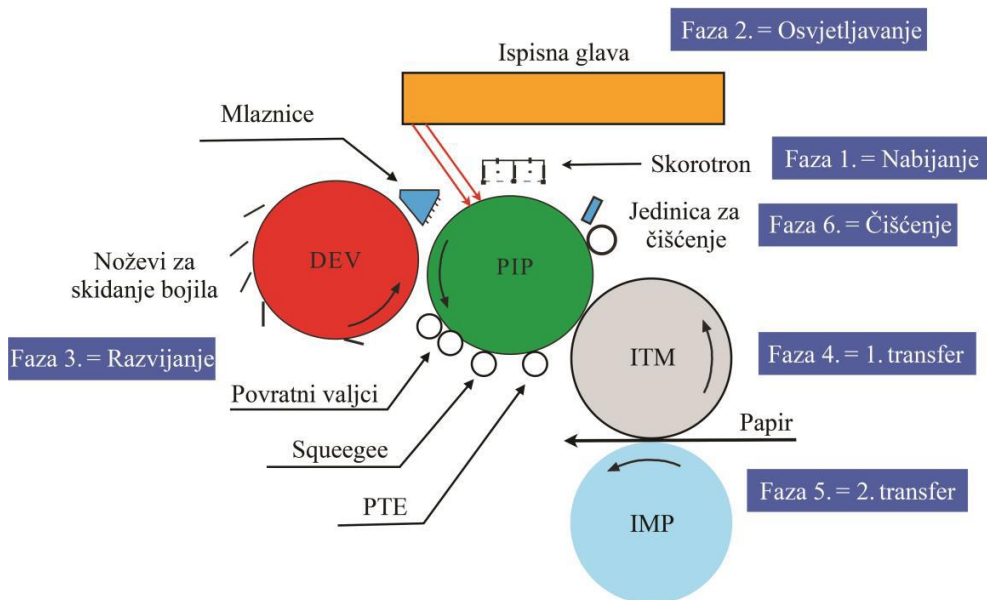


Slika 5 Osnovni princip elektrofotografskog tiska

(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

Na sajmu IPEX u Birminghamu 1993. godine predstavljena je potpuno nova koncepcija elektrofotografskih strojeva tj. prva generacija Indigo strojeva. Inovator Benny Landa primijenio je četiri osnovna patenta koja imaju iznimnu važnost za ovakvu tehniku digitalnog tiska. Patenti inovatora Benny Lande tako omogućavaju novu konstrukciju HP Indigo strojeva koju čine primjena: organskog fotokonduktora (Photo Image Plate), specijalne tekuće boje (Elektrolnck), zagrijane ofestne gume (blanket) i satelitske konstrukcije stroja. Tiskarski strojevi Indigo tako su također elektrofotografski strojevi, pri čemu se za jedan otisak koristi komponente: skorotron

(stvaranje naboja), ispisna glava (oslikavanje), razvijanje tonera (prihvatanje tonera na nabijene dijelove temeljnog cilindra), transfer tonera (sa temeljnog cilindra na blanket pa na papir), fiksiranje tonera (pomoću temperature i pritiska) i čišćenje temeljnog cilindra. [3]



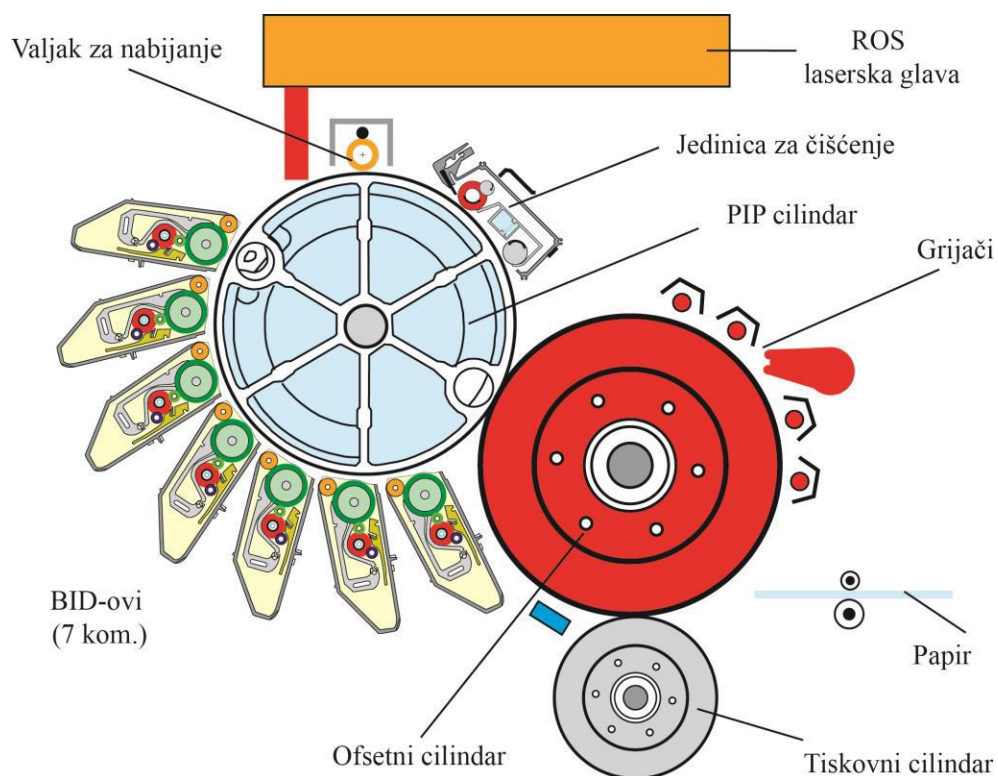
Slika 6 Shematski prikaz HP Indigo tiskovne jedinice koja vrši otiskivanje u šest faza
(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

Satelitska konstrukcija stroja je patent s kojim je Benny Landa objedinio prijašnja tri patenta. Konstrukcija se temelji na tri cilindra: temeljni cilindar (PIP), ofsetni cilindar (ITM) i tiskovni cilindar (IMP). Svaki kolorni otisak (CMYK) se izvodi u četiri rotacije, čiji je redoslijed sljedeći prva separacija žuta (Y), druga magenta (M), treći je cijan (C), i na kraju crna (K). [4]

S vremenom konstrukcijski nedostaci su se rješavali i unapređivali. Rezultat toga su nove generacije Indigo strojeva koji su sada u vlasništvu tvrtke HP. Samim time radi se o strojevima HP Indigo.

Nova generacije HP Indigo strojeva ostaje vjerna A3+ formatu otiskivanja, dok se brzina znatno povećala na (3600 otisaka na sat). Umjesto dosadašnjeg skorotrona sustav sada za nabijanje koristi valjak (Charge Roller) koji ostvaruje homogeniju površinu sa naponom od -700 V na temeljnom cilindru. To je omogućeno 2x većim promjerom temeljnog cilindra. Takva konstrukcija omogućava tisak dvostrukih separacija YM CK, čime se produktivnost povećava, dok brzina rotacije ostaje ista.

Promjer ofsetnog cilindra također je izjednačena sa promjerom temeljnog cilindra. Zbog povećanog promjera ofsetnog cilindra uz dosadašnji unutarnji grijač dodani su i vanjski grijači zbog veće brzine rada stroja. Nova laserska glava sadržava dvanaest laserskih dioda, dok su novitet i BID-ove (Binary Ink Developer) specijalne jedinice za razvijanje boje. Razvijen je novi sustav preokretanja arka pomoću zasebne dupleks ladice koji omogućuje obostrano otiskivanje, te su dodani in-line skeneri za kontrolu otiska. Ova generacija HP Indigo strojeva ima 2.500 certificiranih podloga na koje može otiskivat u rasponu debljine od 60 g/m² do 312 g/m². [5]



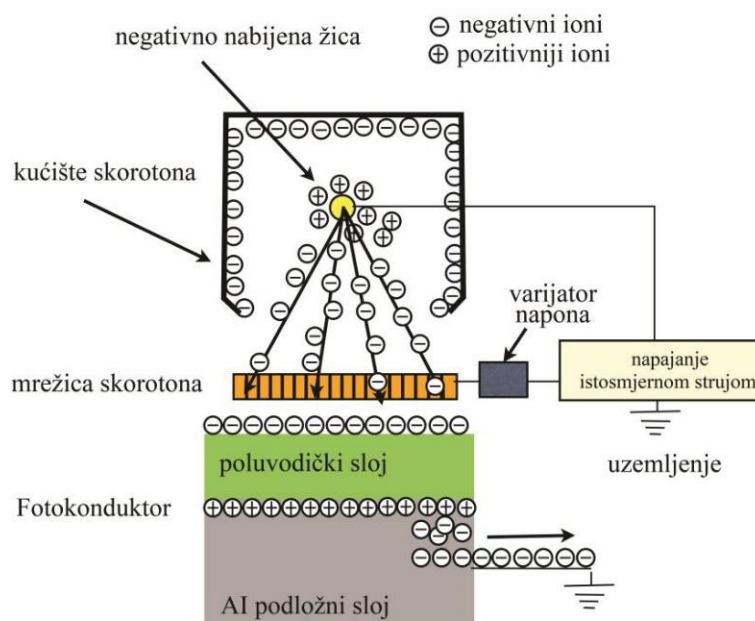
Slika 7 Prikaz tiskovne jedinice III. generacije HP indigo strojeva

(Izvor: Morić, M. (2019.), Unaprjeđenje kvalitete elektrofotografskoga tiska oplemenjivanjem tiskovne podloge i varijacijom snage korone, Doktorski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

2.1.1. Skorotron („Charge roller“)

Svaki otisak otisnut na HP Indigu mora započeti sa procesom nabijanja gdje se PIP izlaže djelovanju skorotrona. PIP je organski fotokonduktor u obliku tanke folije koja se montira na temeljni cilindar. Sastoji se od tri sloja gdje svaki ima određenu zadaću. Prvi sloj tako služi kao temeljna elektroda (uzemljeni aluminiji), drugi sloj služi za generiranje naboja (Charge Generation Layer) te se na njemu pohranjuje elektronski

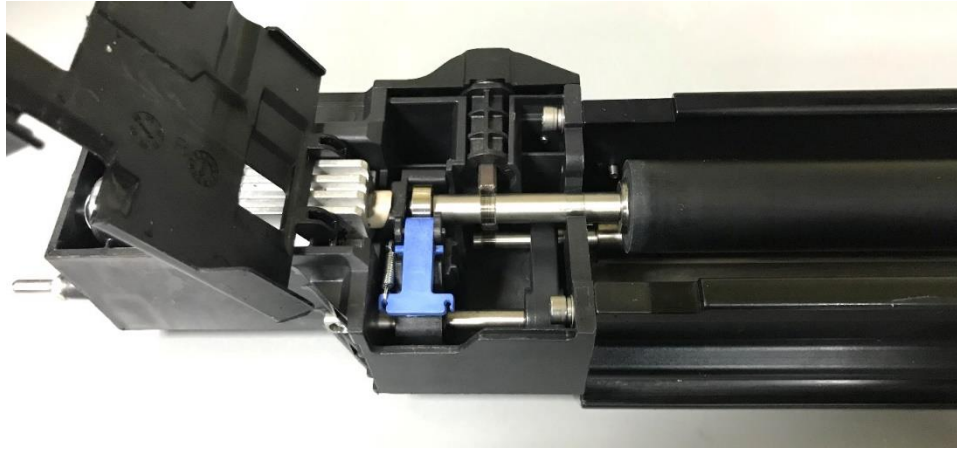
naboj i formira latentna slika. Najvažniji je treći sloj koji služi za transport naboja (Charge Transport Layer), kroz njega migriraju elektroni tijekom osvjetljavanja i formiraju se različiti naponski potencijali. Proces nabijanja fotoreceptora se odvija u mraku, u kojem fotoreceptor mora biti sposoban primiti i zadržati odgovarajući naboj te kao takav je izolator. Nabijanje se izvršava pomoću skorotona koji u svom kućištu generira ionizirani zrak. U centru skorotona se nalazi negativno nabijena koronska žica, koja pod naponom od -7.000 V oslobađa veliku količinu slobodnih elektrona, koji se raspršuju po cijelom kućištu. Kućište oko skorotona je izrađeno od uzemljenog aluminijskog, koji izvlači negativne elektrone te je zbog toga negativno nabijen. U kućištu dolazi do sudara između elektrona i molekula zraka koji formiraju ione negativnog karaktera. Skorotronska mrežica selektivno propušta nabijeni ion i usmjerava ga na temeljni cilindar (PIP). Na temeljnom cilindru se generira elektrostatsko polje koje sprečava raspršivanje iona zraka. [6]



Slika 8 Shematski prikaz nastajanja naboja skorotonom

(Izvor: Majnarić, I. (2004.), Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

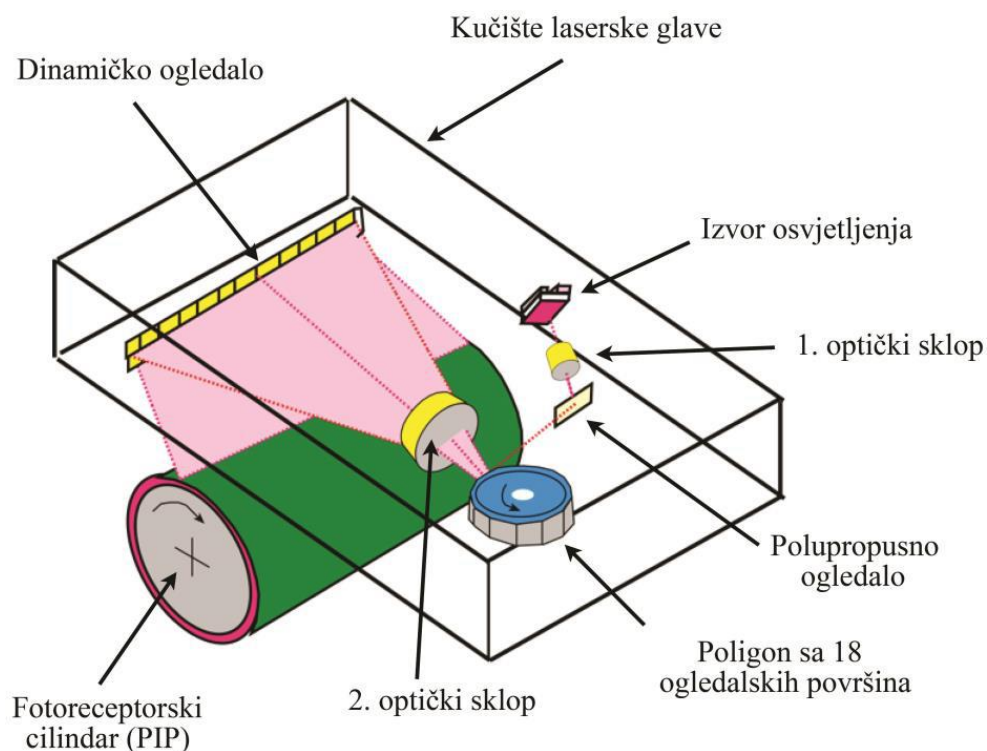
U novoj generaciji HP Indigo strojeva djelovanje skorotona zamijenio je charge roller. Samim time ostvareno je kontinuirano i bolje raspršeno elektrostatsko polje na PIP-u. Čime je ostvarena ujednačena kvaliteta nanašanja bojila.



Slika 9 Charge roller kod stroja HP Indigo WS 6900

2.1.2. ROS Laserska glava

Da bi se na PIP-u ostvarila virtualna tiskovna forma potrebno je laserskim osvjetljavanjem formirati buduće tiskovne elemente. Osvjetljavanjem fotoreceptor će izgubiti naboj samo na određenim mjestima koja će biti osvjetljena i početak će se ponašati kao vodič. Osvjetljavanje se izvodi kao druga faza i izvodi se s ROS (Raster Optical Scanner) ispisnim glavama, gdje IR laser formira virtualnu sliku. Iznad fotoreceptora se nalazi ROS laserska glava u kojoj je vakuum i točno definirana temperatura. Formirana laserska zraka prvo prolazi kroz 1. optički sklop koji izvodi piramidalnu kompenzaciju laserske zrake. Laserska zraka nastavlja put do polupropusnog ogledala gdje dolazi do njezinog usmjeravanja prema rotirajućem poligonu s osamnaest ogledala (feketa), koji rotira velikom brzinom. Takva laserska zraka se reflektira na površinu temeljnog cilindra (PIP) koristeći točno definiran nagib dinamičnog ogledala. Širina cijelog ispisa od 320 mm je ekvivalent jedne rotacije poligonskog ogledala. [7]



Slika 10 Osvjetljavanje temeljnog cilindra (PIP) pomoću ROS ispisne glave

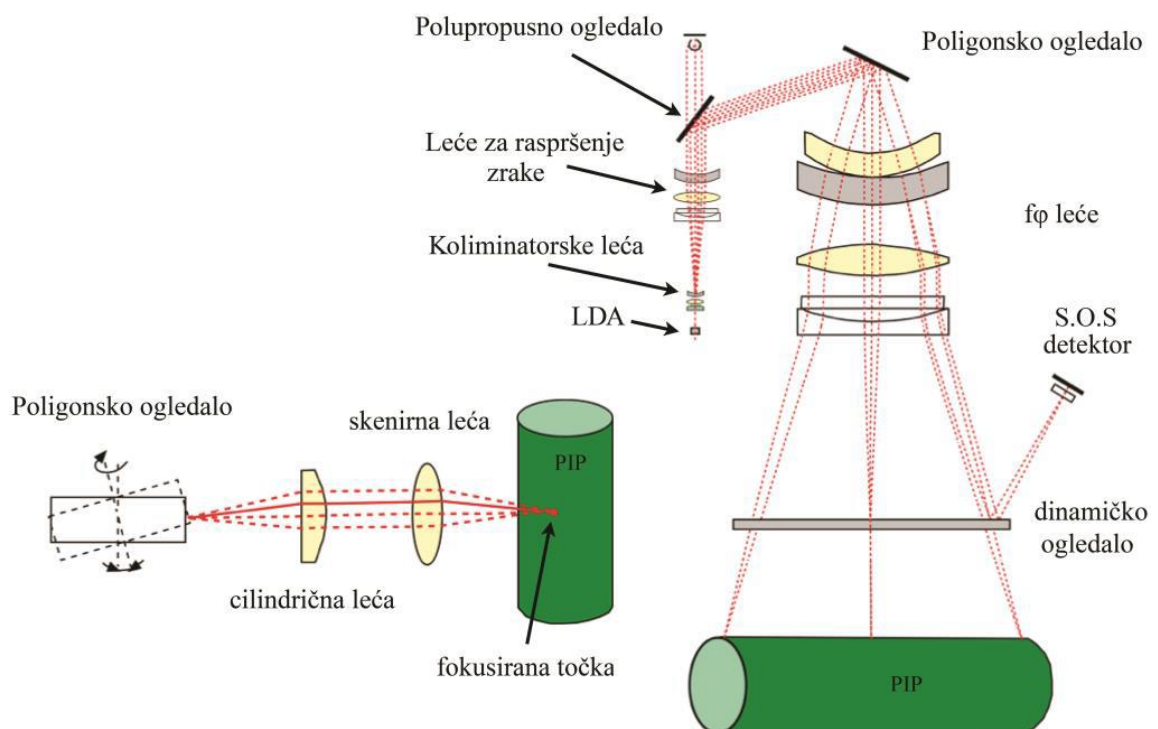
(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

Na prvoj generaciji strojeva korištene su aluminijska kućišta dimenzija $200 \mu\text{m} \times 650 \mu\text{m}$ u kojem su smještene laserske diode sa četiri lasera koji su povezani u nizu i smješteni u svoja ležišta. Laserske diode smještene su tako da je razmak između svake $150 \mu\text{m}$, a ležišta od dioda su obložena olovom i kositrom. Laserska dioda se zagrijava prilikom emitiranja svjetlosti, pa se za izvlačenje topline koristi bakar koji je naperen na aluminijsku podlogu čime se sprečava pregrijavanje. Isti koncept zadržan je na novim strojevima s razlikom u ugradnji većeg broja laserskih dioda, (sa 4 na 32 diode) čime je riješena produktivnost i veća zona osvjetljavanja.

Aktivirana laserska zraka nije idealnog kružnog oblika, svjetlosna zraka se formira u obliku elipse i time stvara probleme prilikom generiranja tiskovnih elemenata. Intenzitet svjetlosne zrake je najjači u centru i lagano slabi prema rubovima, a promjer laserske zrake iznosi $31,25 \mu\text{m}$. Zbog eliptičastog oblika, zrake se međusobno preklapaju što dovodi do raspršenja zrake. Takva svjetlosna zraka nastaje brzinom od 19 ns.

Poligonsko ogledalo (feketa) mora biti u potpunosti osvjetljeno IR laserskim svjetlom. To je u laserskoj glavi omogućeno pomoću prvog optičkog sklopa. Poligonsko ogledalo tako sadržava 18 feketa koji su postavljeni pod kutom od 20° , brzina rotacije iznosi 16.260 rot/min. [8] Prije dolaska uske laserske zrake na rotirajuće poligonsko ogledalo, tajming zrake se mora provjeriti djelovanjem polupropusnog ogledala. Početno širenje laserske zrake se odvija prolazom kroz koliminarske leće, gdje se zraka širi u horizontalnoj osi s 12 mm na 36 mm, dok se u vertikalnoj smjeru se fokusira širina od 2 mm na vrijednosti od $100 \mu\text{m}$.

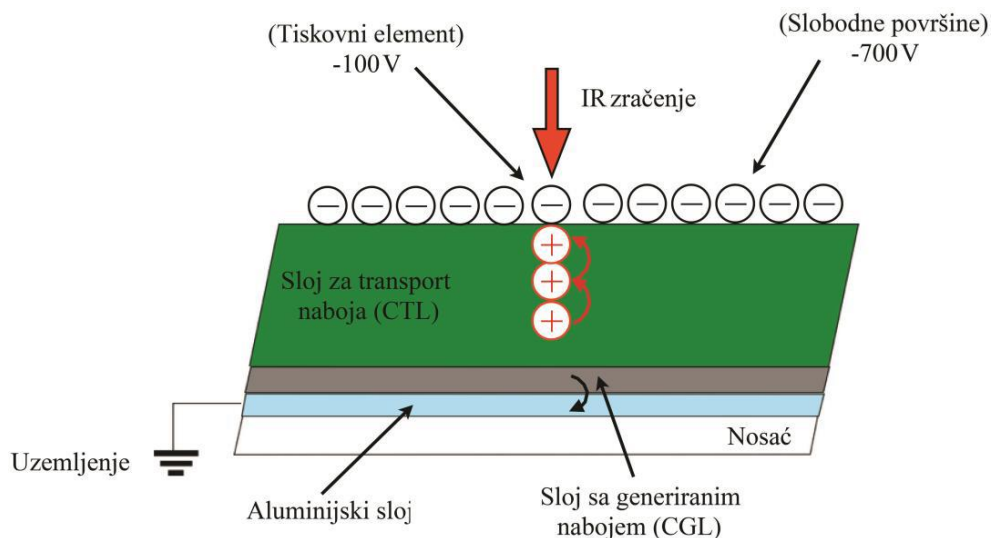
Laserska svjetlosna zraka nakon poligonskog ogledala dolazi na 2. optički sklop, koji se sastoji od pet velikih $f\phi$ leća koje su točno definiranog zaobljenja i velikog zakrivljenog promjera. Drugi optički sklop izvršava korekciju i kompenzaciju, nakon koje se svjetlost proširuje i prenosi na dinamičko ogledalo, sa kojeg ide na dužinu cijelog temeljnog cilindra. Oslikavanje PIP-a se kontrolira pomoću S.O.S. (Split Optic Sensor) detektora laserskog svjetla. Također, S.O.S. senzor ima važnu ulogu u fazi kalibracije dimenzija otiska. [9]



Slika 11 Shematski prikaz putanje svjetlosti kroz drugi optički sklop

(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

Prije definiranja tiskovnih elemenata i slobodnih površina, potrebno je površinu temeljnog cilindra nabit negativnim nabojem od -700 V. Osvijetljena mjesta laserskom zrakom će se neutralizirati, pritom će negativni naboj migrirati u aluminijsku podlogu, a osvjetljena površina će postati pozitivnija. Potencijal od -100 V je moguće generirati aktivacijom maksimalne snage napona, pa se takve površine nazivaju tiskovni elementi. Digitalni tisak ima mogućnost generiranja i drugih vrijednosti naboja. Samim time je ostvarena mogućnost dobivanja svijetlih tiskovnih elemenata, odnosno mogućnost nijansiranja napona po svakom rasterskom elementu. Na slici 12 shematski je prikazano kako nastaju osnovni tiskovni elementi.



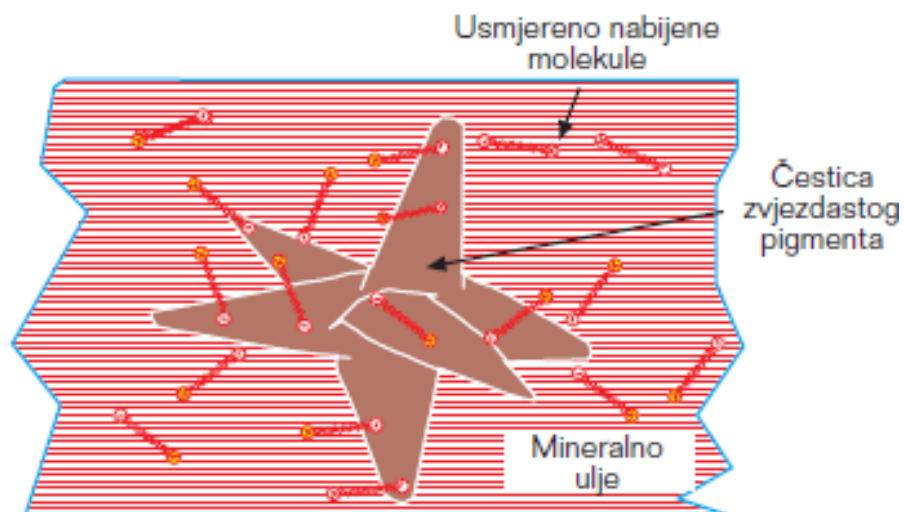
Slika 12 Prikaz generiranja tiskovnih elemenata i slobodnih površina na PIP-u

(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

Standardna rezolucija na HP Indigo strojevima je 812 x 812 dpi, što znači da za izradu jednog rasterskog elementa RIP (Raster Image Processor) upotrebljava super piksel veličine 6 x 6 dpi. Uz brzinu od 60 cm/s može se generirati 36 nijansi sive unutar jednog super piksela. Postoji opcija nadogradnje više ispisne linijature HDI-a (High Definition Image) koja ima rezoluciju ispisa od 2400 x 2400 dpi-a. Ovakva opcija razvija male super piksele koji postaju rasterski elementi što omogućava precizniju reprodukciju ostvarivanjem jednotonskih otisaka. Međutim pritom se gubi mogućnost više tonskog nijansiranja na bazi jednog piksela. [10]

2.1.3. Postupak razvijanja

Razvijanje je treći postupak u elektrofotografiji. On se izvodi nakon što je generirana latentna tiskovna forma na površini temeljnog cilindra. Zbog tekućeg tonera postupak razvijanja je najkompliciranija faza otiskivanja u elektrofotografiji. U fazi razvijanja latentna tiskovna forma tako postaje vidljiva jer se ElektroInk boja primila na tiskovne elemente. ElektroInk je jedinstveni oblik tonera koji se koristi u HP Indigo digitalnim printerima. Tekuća boja ElektroInk tako sadrži tri vrste komponenata. To su: lako hlapljivo otapalo ISOPAR (90% do 95%) u koje se dodaju čestice pigmenta (5% do 8%) i regulator naboja Image Agent koji se dodaje 1% do 3%. ElektroInk bojilo uvijek mora biti jednakog sastava, zbog čega se koristi denzitometar koji se nalazi u svakom spremniku za boju i mjeri udio suhe tvari u tekućini. Ona mora točno iznositi 1.70 g/cm^3 . Pigment ElektroInk bojila ima specifičan oblik zvjezdica što omogućuje dobro i kvalitetno povezivanje. Čestice tonera ElectroInk su male (od 1 do 2 mikrona), što je znatno manje od najmanje čestice suhog tonera. Polimerizacijom dobiveni homogeno otisnuti sloj ElectroInka teško je probiti. Što znači da u procesu recikliranja papira stvara dodatne probleme, tj. u procesu uklanjanja celuloznih vlaknaca čestice ElectroInk ostaju grupirane u veće nakupine koje se ne mogu ukloniti. Ovo je veliki problem za industriju papira koja koristi stari papir kao sirovinu. [11]



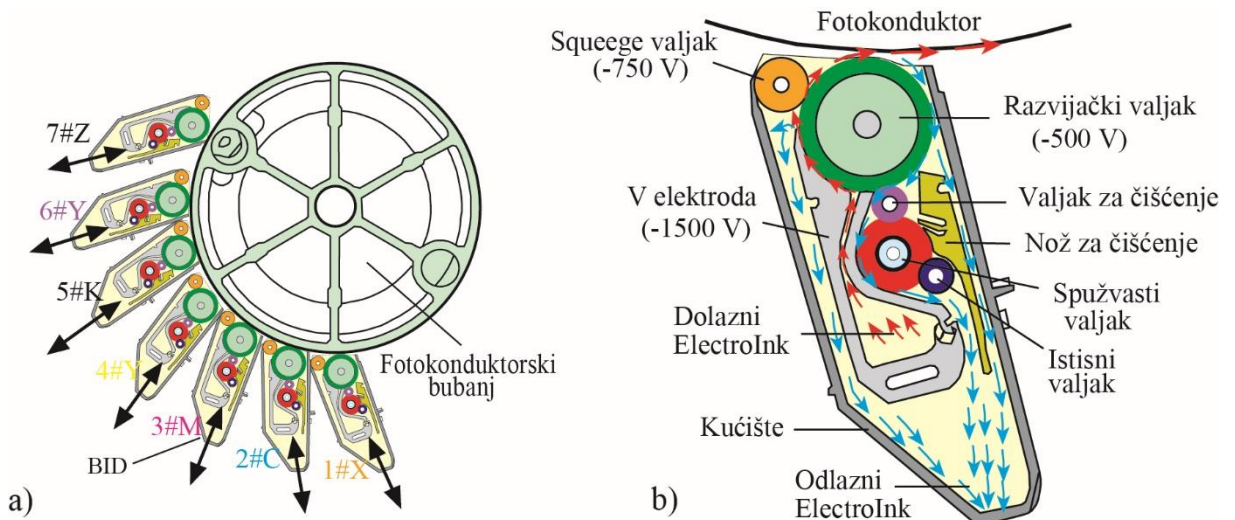
Slika 13 Prikaz tekućeg bojila ElectroInk

(Izvor: Majnarić, I. (2007.), Studija indirektna elektrofotografije, Doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

Zbog nestabilnog elektrofotografskog tekućeg tonera postupak razvijanja se odvija postepeno. Tako se u strojevima I. generacije razvijanje odvija korištenjem razvijačkog bubnja, povratnim valjcima i squeegee valjkom. Shematski prikazano na slici 6. Razvijanje tako započinje nakon djelovanja laserske diode, osvjetljavanjem žute separacije i nanašanjem žutog ElektroInk bojila. Bojilo se nanese u cjelokupni prostor između razvijačkog bubnja i temeljnog cilindra (100 μm). Promjer oba cilindra pritom mora biti isti. Međutim, rotacija cilindara se odvija u suprotnim smjerovima. Na temeljnom cilindru prethodno su generirani tiskovni elementi (-100 V) i slobodne površine (-700 V). Razvijači bubanj uvijek ima napon od -400 V i uzrokuje stvaranje elektronskoga polja između cilindara zbog razlike u potencijalima od 300 V. Zbog Image Agent-a u sastavu žutog ElektroInk bojila pigment će se kretati u smjeru manje negativnijeg napona. Razlikom potencijala između cilindara tako se dobije selektivno prihvaćanje tekućeg tonera na površinu temeljnog cilindra. Boja koja se nakon razvijanja zadržala na površini razvijačkog valjka se skida pomoću noža i vraća se u žuti spremnik. Stoga svaka separacija ima svoj nož za čišćenje razvijačkog valjka da ne bi došlo do kontaminacije bojila.

Nakon prve faze razvijanja nanos boje na temeljnom cilindru je prilično velik. Zbog toga je potrebno izvesti dodatno razvijanje s valjcima za razribavanje kako bi se smanjio nanos boje. Druga faza razvijanja se odvija s dva valjka, vlažećim valjkom i povratnim valjkom. Pritom će se temeljni cilindar čistiti ISOPAR mineralnim uljem koje se nanaša pomoću valjka za vlaženje. Povratni valjak naponom smanjuje nanos boje i sakupljeni višak mineralnog ulja i boju odvodi u separator. Squeegee valjak koji je napravljen od specijalne želatine izvršava treću fazu, odnosno fiksiranje razvijene boje. Napon na squeegee valjku je -1350 V i njegova osnovna funkcija je stabiliziranje boje i mineralnog ulja na površini temeljnog cilindra. Boja prije djelovanja squeegee valjka obično sadrži 13% pigmenta sa debljinom nanosa pigmenta koja iznosi 13 μm , tj. 5 μm prethodno nanesenog mineralnog ulja. Djelovanjem squeegee valjka i njegovog napona od -1350 V koncentracija pigmenta se povećava na 24 %, a nanos mineralnog ulja pada na 1 μm . [12]

Kod nove generacije HP Indigo stroja ovaj sistem je proživio najveće promjene pri čemu se razvijanje u 3 faze izvodi u 1 fazi. To je omogućeno razvojem (Binary Ink Developer) jedinice. Tako će HP Indigo stroj imati minimalno 4 BID-a (za CMYK) boja uz mogućnost dodatne 3 spot boje (lak). Konstrukcija BID-a je puno jednostavnija, te umjesto 3 zasebna dijela sadržava: V elektrodu, razvijači valjak, squeegee valjak, valjak za čišćenje spužvasti valjak i istisni valjak. [6]



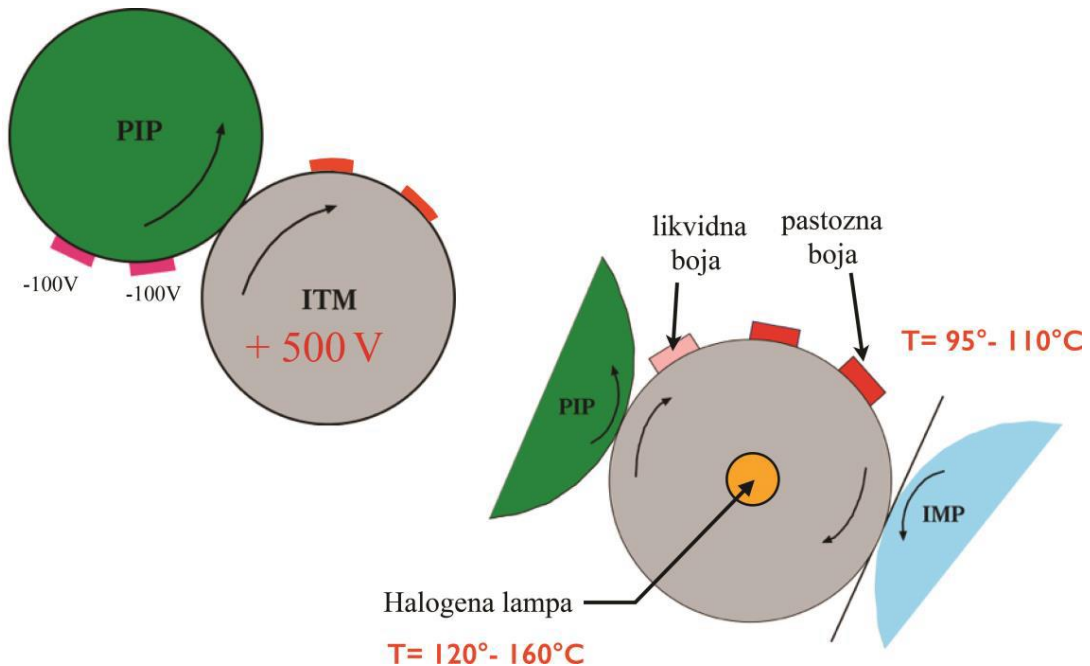
Slika 14 Razvijački proces kod stroja HP Indigo WS 6900: a) Pozicija BID-ova u tiskarskoj jedinici b) Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje

(Izvor: Majnarić, I. (2007.), Studija indirektna elektrofotografije, Doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

2.1.4. I. transfer

Poslije faze razvijanja dolazi četvrta faza a to je prvi transfer. Transfer boje na ofsetni cilindar zahtijeva brisanje svog napona sa temeljnog cilindra. Bisanje se odvija osvjetljavanjem LED lampom žute svjetlosti površinu temeljnog cilindra. Djelovanjem LED lampe poništavaju se svi naponi i omogućuje daljnji transfer boje na pozitivno nabijenu ofsetnu gumenu navlaku. Ofestna gumena navlaka se obavezno nalazi na ofsetnom cilindru što je treći patent Benny Landa. Karakteristično za ovu gumenu navlaku je da se zagrijava djelovanjem kvarcne lampe u središnjem dijelu ofsetnog cilindra, gdje temperatura ovisi o podlozi koja se otiskuje. Ofsetna guma je točno definirane debljine od 855 μm s varijacijom kompresije od $\pm 40 \mu\text{m}$ (ovisno o podlozi). Ovaka ofsetna guma je univerzalna tehnologija jer jedina omogućuje 100% transfer boje na tiskovnu podlogu. Površina ofsetnog cilindra je nabijena na +500V, što

omogućava dobar transfer boje između cilindara. Zbog potrebe da boja bude suha prilikom otiska ofsetni cilindar se pomoću halogene lampe u sredini cilindra zagrijava na temperaturu od 120° C do 160°C. Zbog temperature boja prelazi iz tekućeg u pastelno stanje, a to se događa zbog čestica transparentnog polimera koji se nalazi u pigmentu. [13]



Slika 15 Shematski prikaz transfera ElektroInk boje

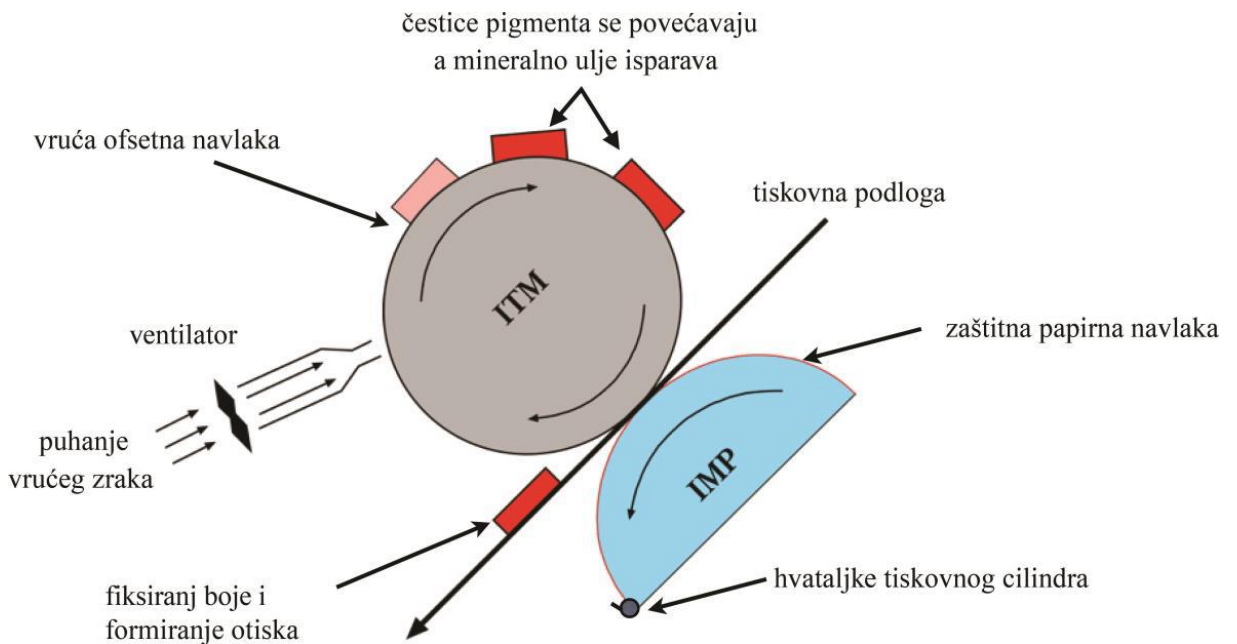
(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

HP Indigo serije WS 6900 ima ofsetni cilindar 2x većeg promjera. Samim time osim internog zagrijavanja, sistem koristi i vanjske grijače kako bi temperatura bila konstanta.

2.1.5. II. transfer

Ulaganje papira u tiskovnoj jedinici prethodi petoj fazi otiskivanja, a to je drugi transfer. To znači da otisak nastaje djelovanjem ofsetnog i tiskovnog cilindra između kojih prolazi tiskovna podloga. Zagrijavanjem ofsetnog cilindra i boje na njemu dovest će do polimerizacije i sedimentacije pigmenta, te formiranja samostalnog sloja ulja. To će rezultirati laganim prijenosom gušćeg (pigmentnog) sloja na papir. Lakši sloj (hlapljivo ulje) ostaje na ofsetnoj gumi dok se gušći (boja) prenosi na tiskovnu podlogu. Ovakav sustav omogućava 100% transfer obojenih pigmenta. Zbog zadržavanja lako hlapljivog ulja na ofsetnom cilindru, čitava površina ofsetnog cilindra

se dodatno tretira vrućim zrakom kako bi se uklonili ostaci mineralnog ulja. Tretiranje vrućim zrakom mlaznicama koje pušu u ofsetni cilindar je omogućeno da uvijek bude suh i čist, te pogodan za prihvaćanje sljedećih separacija. [14]



Slika 16 Shematski prikaz drugog transfer otiskivanja u HP Indigo strojevima

(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

2.1.6. Čišćenje PIP-a

Prije otiskivanja nove separacije potrebno je izvest posljednju fazu otiskivanja, a to je čišćenje temeljnog cilindra. Jedinica za čišćenje se sastoji od dva valjka: spužvasti i istisni valjak. Navlaženi spužvasti valjak pritišće se na temeljni cilindar i gdje se deformira 3-4 mm. Istisni valjak u istom momentu cijedi spužvasti. Dvije mlaznice koje se nalaze ispod spužvastog valjka kontinuirano špricaju mineralno ulje koje otapa sve čestice tonera. Smjesa mineralnog ulja i tekućeg tonera se vraća u separator. Na kraju pomoću mekog poliuretanskog noža se u potpunosti skidaju preostali ostaci mineralnog ulja i isušuje površina temeljnog cilindra. [12]

2.2. UV Inkjet tisak iz role (Durst Tau 330 RSC)

2.2.1. Uvod u Inkjet otiskivanje

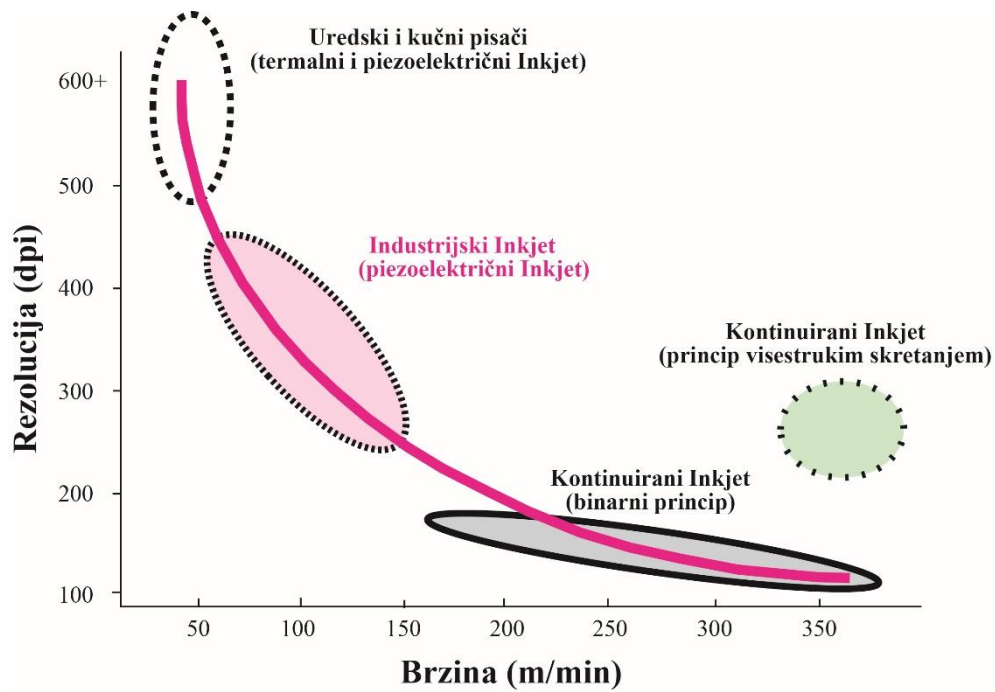
Inkjet tisak je jedna od najjednostavnijih tehnika otiskivanja (potpuno bez kontaktna tehnika) gdje se tekuća bojila direktno nanose na tiskovnu podlogu). Inkjet pisači formiraju kapljice u rasponu od 1 do 100 pikolitara. U posljednjih nekoliko desetljeća Inkjet se razvio u dominantnu tehnologiju ispisa za mnoge primjene. Razlog tome je njegova fleksibilnost. Pojam Inkjet odnosi se na dvije skupine vrlo sličnih a opet i različitih tehnologija koje imaju isti cilj, pritom je to precizno stvaranje kapljica tekućina koje se slobodno kreću ka tiskovnoj podlozi. Potrebna preciznost usredotočena je na ostvarivanje točnog volumena kapi, vremenu formiranja kapi i brzine same kapljice.

Znanstvenu osnovu za opisivanje procesa uključenih u obje tehnologije postavili su belgijski fizičar Joseph Plateau i engleski fizičar Lord Rayleigh sredinom 19. stoljeća. Plateau je bio prvi znanstvenik koji je otkrio i pisao o odnosu između promjera mlaza tekućine i veličine rezultirajuće kapi koja se formira. Lord Rayleigh objavio je niz znanstvenih radova počevši od "Nestabilnost mlaznica" 1878. godine. On je ujedno i prvi koji je shvatio da je površinska napetost tekućine pokretačka snaga razbijanja mlaza tekućine i stvaranja kapljica. Međutim bilo je potrebno mnogo godina da bi se 1951. godine izradio prvi "kontinuirani Inkjet" pisac temeljen na nestabilnosti Lorda Rayleigha. Tvorac toga printera bio je Siemens. Prve Inkjet aplikacije principom "kapanja na zahtjev" patentirane su u 1970-ima. U početku bio je korišten piezoelektrični inkjet sustav, da bi se termalni Inkjet (bubble jet) pojavio ubrzo nakon toga. Početkom 1980-ih takvi printeri bili su vrlo popularni, a samim time Inkjet tisak je počeo slijediti modificiranu verziju Mooreovog zakona. [15]

Današnji Inkjet strojevi ostvaruju produkcijsku brzinu od 1 do 350 m/min, uz rezoluciju ispisa od 100 do 600 dpi. Tako će se uredski printeri i printeri za kućnu upotrebu koristiti za najveću kvalitetu otisaka s malom produkcijskom brzinom.

Industrijski Inkjet primjenjuje piezoelektrični aktivator čija se brzina rada kreće od 50-150 m/min uz standardnu rezoluciju ispisa od 600 do 250 dpi. Kontinuirani način kapanja danas je najbrža metoda otiskivanja s kojom je moguće ostvariti brzine od 150 do 350 m/min. Međutim, rezolucija ispisivanja je ograničena na niskih 180 do 100 dpi. Moderni razvoj novih glava kreću se u smjeru kontinuiranog Inkjeta na principu

višestrukog skretanja. Na taj način ostvaruje se visoka produktivnost (350 m/min) i rezolucija otiskivanja koja je veća od 200 dpi (obično 240 dpi). Na slici 17 prikazane su 4 primjene Inkjet printera.

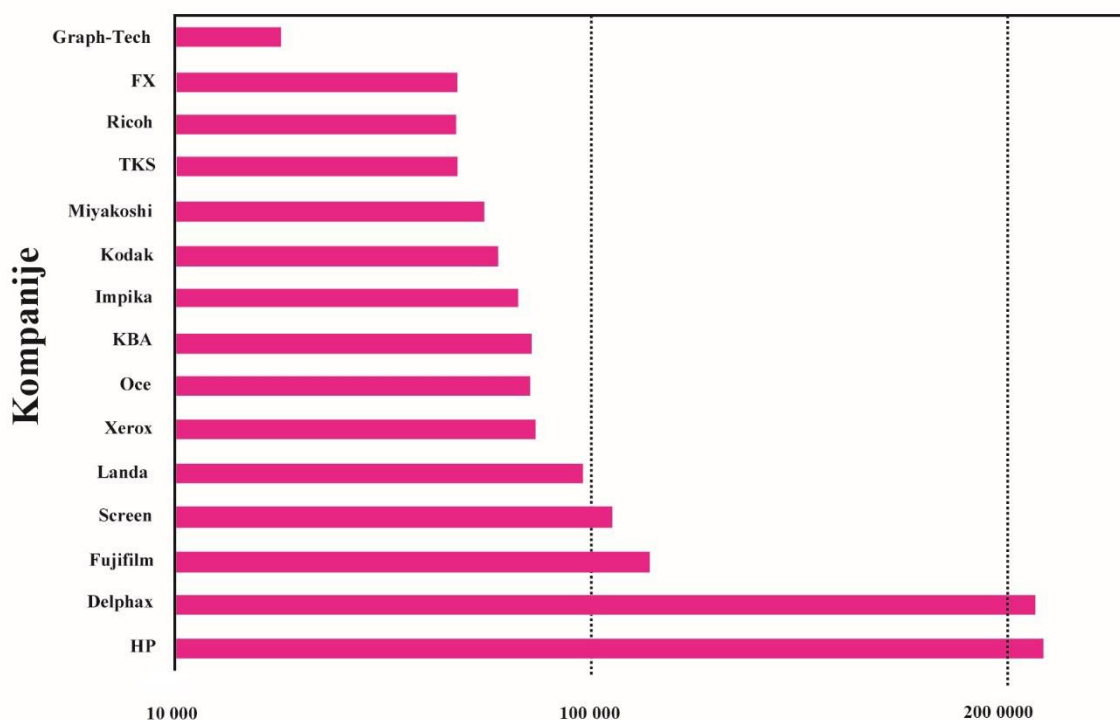


Slika 17 Primjena Inkjet tehnologija danas

(Izvor: Durst year book (2010.), *Science and Technology*, Durst AEG, Brixen)

Da bi se ostvarila veća zona otiskivanja (format ispisa) odnosno veća brzina produkcije, proizvođači glava koriste različiti broj mlaznih otvora (aktivacija). Tako se za industrijski tisak u jednom trenutku mogu koristiti od 25 000 mlaznica (Graph-Tech) do 210 000 mlaznica (HP, Delphax). Ostali proizvođači Inkjet glava su: Fx, Ricoh, TKS, Miyakoshi, Kodak, Impika, KBA, Oce, Xerox i Landa uglavnom koriste raspon od 70 000 do 95 000 mlaznica. Po produktivnosti centralno područje posjeduje tvrtka Fujifilm i Screen. Njihova Inkjet glava tako sadržava oko 100 000 mlaznica.

Broj mlaznica za različite proizvodne printere

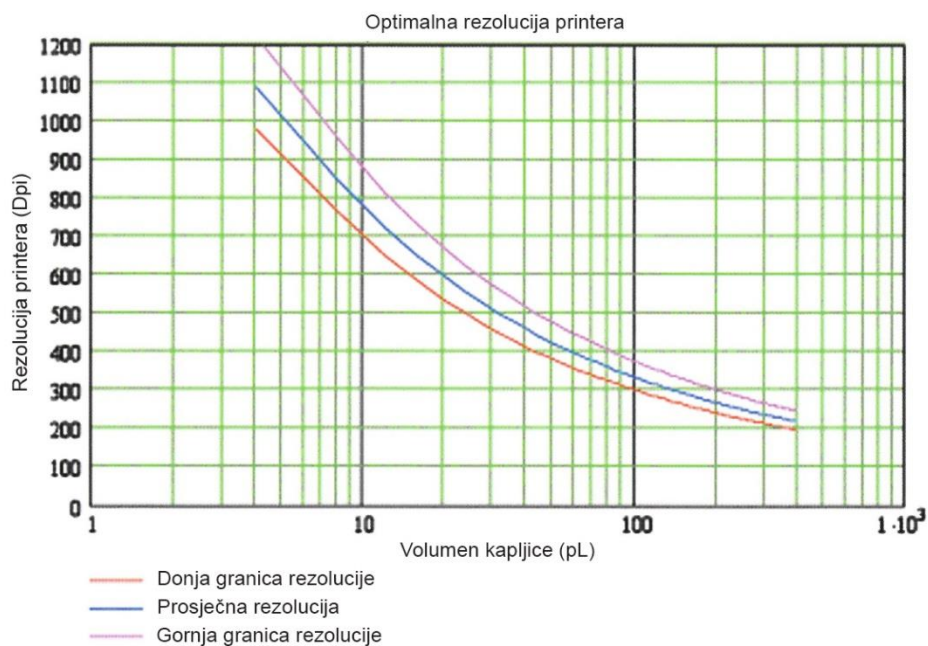


Slika 18 Broj mlaznica u Inkjet glavi različitih proizvođača

(Izvor: Durst year book (2010.), *Science and Technology*, Durst AEG, Brixen)

Od svih ovih glava, industrijske su najprimjenjivije. Jer one mogu raditi s agresivnim UV bojama. Samim time za potrebu UV Inkjeta postoje različite mogućnosti ispisne rezolucije i veličine oslobođenih kapljica. Na slici 19 i 20 prikazani su odnosi volumena kapljica i rezolucije i volumena kapljica i veličinom minimalnog tiskovnog elementa.

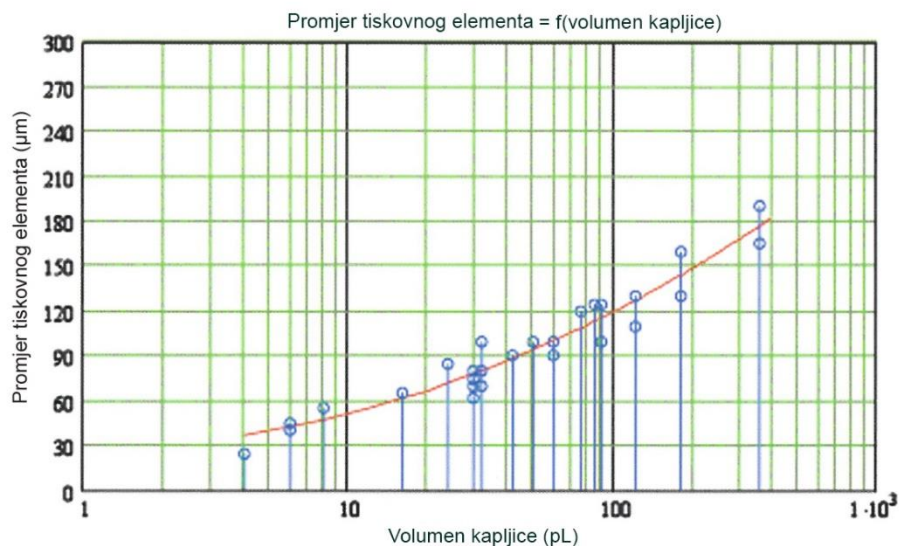
S najmanjim formiranim volumenom (6 pl) moguće je ostvariti rezoluciju od 980 do 1200 dpi. Međutim povećanjem volumena kapljice UV sušeće boje dovesti će do pada rezolucije. Kod 10 pl kapljice raspon rezolucije se sada kreće u rasponu od 880 do 780 dpi. Daljnjim povećanjem kapi na 100 pl dovodi nas do ostvarenih rezolucija od 380 do 300 dpi dok će se pri najvećim volumenu od 500 pl stvoriti rezolucija od 250 do 200 dpi.



Slika 19 Odnos volumena kapljice i rezolucije u industrijskom Inkjetu

(Izvor: Durst year book (2010.), *Science and Technology*, Durst AEG, Brixen)

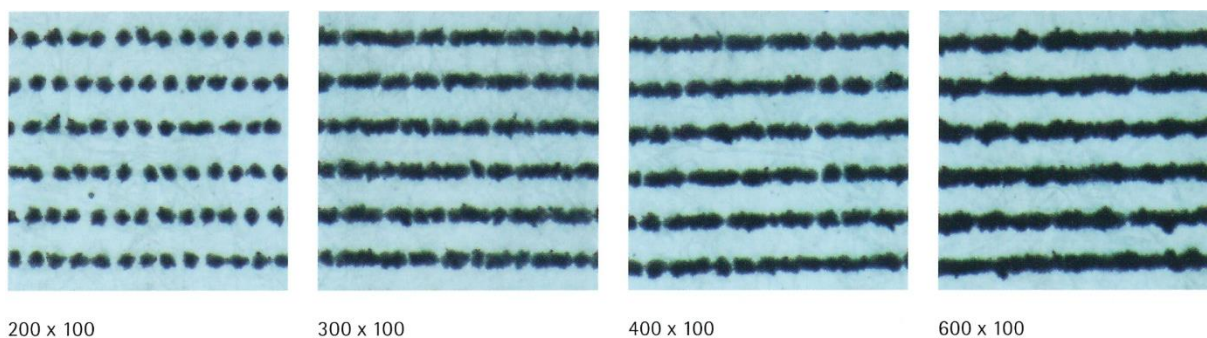
Promatrajući formiranje otiska vidljivo je da će se u industrijskom UV Inkjetu najmanji tiskovni elementi ostvariti primjenom kapi od 6 pl. U tom slučaju promjer točkice će iznositi 40 μm . Kod standardnog volumena kapi od 10 pl veličina rasterskog elementa raste na 50 μm da bi se kod 100 pl manifestirali kao 120 μm tiskovni elementi. Najveći pojedinačni tiskovni element ima promjer 180 μm te se ostvaruje kapljicama od 500 pl.



Slika 20 Odnos volumena kapljice i veličine minimalnog tiskovnog elementa u industrijskom Inkjetu

(Izvor: Durst year book (2010.), *Science and Technology*, Durst AEG, Brixen)

Primjer realiziranih različitih rezolucija prikazan je na slici 21. Pri čemu se kod vrijednosti 200x100 dpi uočava točkasta karakteristika otiska. Povećanjem rezolucije (300x100 dpi i 400x100 dpi) rasterske točkice se povezuju i tvore točkastu liniju. Optimalna rezolucija 600x100 dpi tako ima savršenu liniju (kontrast).



Slika 21 Odnos rezolucije i volumena kapljica na konačnom otisku

2.2.2. Preuvjeti formiranja kapljica

Za utvrđivanje svih relativnih čimbenika koji utječu na izbacivanje kapljice, uvode se nova dva parametra koja se primjenjuju za ocjenjivanje protoka boje. To su: Weberov i Ohnesorgov broj. Weberov broj je definiran kao omjer energije površinske napetosti i kinetičke energije, definiran je izrazom:

$$We = \rho \cdot D \cdot v^2 / \sigma \quad [1]$$

gdje je: ρ – gustoća tekućine, D – promjer otvora mlaznica, v – brzina tekućine i σ – površinska napetost tekućine. Weberovim brojem se utvrđuje da li kapljica ima dovoljnu kinetičku energiju da bi se savladala površinska napetost tekućine na otvoru mlaznice. Weberov broj mora biti nizak prilikom oslobađanja jedne kapljice iz mlaznice, kako bi se kapljica u potpunosti oslobodila i stvorila velika brzina njenog kretanja. Kod tekućine veoma velike viskoznosti kritični Weberov broj ne smije biti veći od 12. U slučaju zahtjevnijih tekućina (velika viskoznost) primjenjuje se Ohnesorgeovog broja (On). Ohnesorgeov broj se definira izrazom:

$$On = \frac{\eta}{\sqrt{\rho \cdot D \cdot \sigma}} \quad [2]$$

gdje je: η – viskozitet tekućine, ρ – gustoća tekućine, D – promjer okruglog otvora mlaznice i σ – površinska napetost tekućine. Ohnesorgeov broj jednak je omjeru kinetičke i raspršene energije u tekućini koja protiče. Samim time teoretski razlikujemo tri mehanizma špricanja. To su: Rayleighov način prekidanja mlaza, kontroliranim kapanjem na zahtjev i generiranjem fino raspršenih kapljica. Trenutno se razlikuju dvije tehnologije Inkjet strojeva: kontinuirani Inkjet printeri (kontinuirani mlaz) i Inkjet printeri koji formiraju kapljice na zahtijeva. Inkjet princip kapanja na zahtjev tako izbacuje kapljice tekućine točno kada je to potrebno kroz vrlo sitne otvore mlaznica. Konstruiran je s velikim brojem poredanih mlaznica u liniji, čime je ostvaren pred uvijet velike produkcijske brzine i veće površine otiskivanja. [16]

2.2.3. Piezoelektrična Inkjet glave

Budući da tehnologija termalnog Inkjeta ima očite nedostatke u usporedbi s piezoelektričnom Inkjet tehnologijom, (ograničen broj primljenih tekućina i vijek trajanja ispisnih glava), piezoelektrične tiskarske glave instalirane su na mnogim modernim strojevima za Inkjet tiska velikog formata. Piezoelektrične Inkjet glave koje rade na principu kapanja na zahtjev, primjenjuje obrnuti piezoelektrični efekt koji se koristi za stvaranje kapi. U piezoelektričnom keramičkom materijalu tako se električna energija pretvara u mehaničku energiju. Samim time akustična energija u kanalima ispunjenim s bojom daje kinetičku energiju kapljici boje. Kada se na piezoelektričnom aktivatoru primjenjuje električni napon, on doživljava mehaničku deformaciju, izazivajući pritisni val u kanalima ispunjenih s bojom. Pritisni val kreće se u smjeru kanala i reflektira se samo ako se promijeni zvučna impedancija kanala boje. Akustička impedancija kanala tako ovisi o području presjeka (A) i efikasnoj brzini zvuka (c_{eff}), te gustoći fluida (ρ).

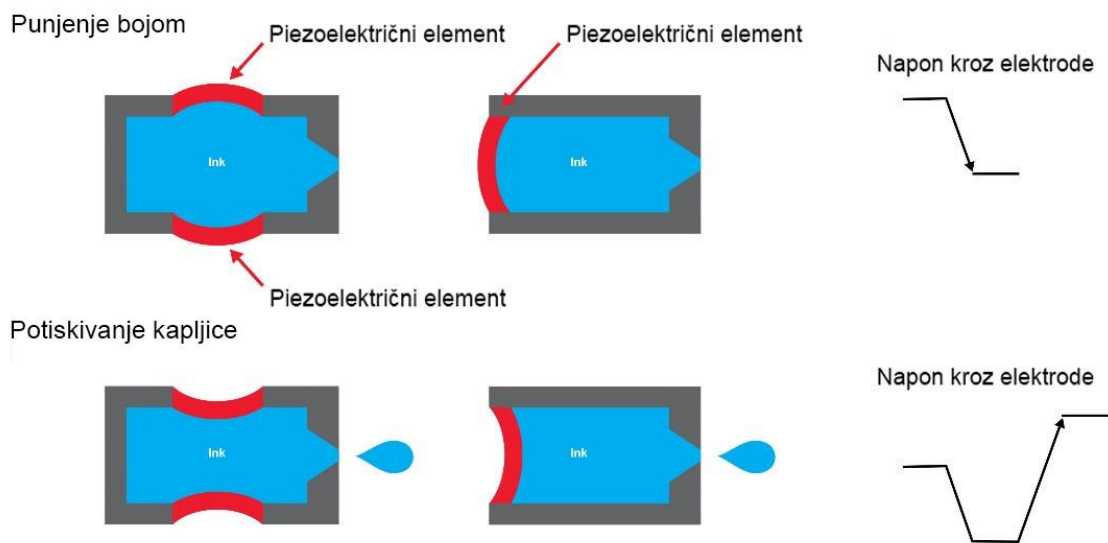
$$Z = \rho c_{eff} / A \quad [3]$$

Kanali ispunjeni bojom će u stvarnim piezoelektričnim ispisnim glavama za industrijsku primjenu obično imati nešto složeniju geometriju. To znači da će se u glavama pisača koristiti mnoštvo različitih materijala, što rezultira čestim promjenama impedancije. U konačnici to dovodi do složenih raspodjela tlaka u kanalima sa bojom proizašlih iz naponskog impulsa primijenjenog na piezoelektričnim aktivatorima. Shodno tome, pri visokim frekvencijama tiska, (impulsi napona koji su privremeno blizu jedan drugoga), prigušenje u kanalima više nije dovoljno za potpuno prigušivanje tlačnih valova (potječu iz prethodno formiranog naponskog impulsa), što dovodi do smetnji. Ako se takva brzina pada mjeri pri različitim frekvencijama ispisa, tada se uočava karakteristična njihova ovisnost. [16]

Vrijednosti pada maksimalne i minimalne brzine izražene su pomoću jednog trapezoidnog naponskog impulsa, koji je rezultat konstruktivne i destruktivne interferencije pritisnih valova s nepotpuno prigušenim pritisnim valovima prethodnog impulsa u kanalu ispunjenog s bojom. Tipični načini poboljšanja ponašanja uključuju skraćivanje dužine kanala boje kako bi se povećala rezonantna frekvencija. To dovodi i do povećanja otpora protoka u kanalu (poboljšanje prigušivanja) i promjene

akustičkih impedancija u kanalima ispunjenih s bojom. Na ovisnost frekvencije može se utjecati optimiziranjem više valnih oblika (s više impulsa) koji se sada sastoje od dva ili više impulsa napona koji dolaze jedan do drugog.

U piezoelektričnom kapanju na zahtjev ispise glave obično posjeduju linearni odnos između pritisknog odaziva u kanalima i primijenjenog napona na piezoelektričnom aktivatoru. To se obično ne odnosi na brzinu pada napona, stoga se moraju pretvoriti u signal ekvivalentnog napona i na taj način linearizirati. Signal ekvivalentnog napona i naponski impuls tako se mogu pretvoriti u diskretni frekvencijski spektar s diskretnom Fourierovom transformacijom. [17]



Slika 22 Piezoelektrični princip izbacivanja kapljica

(Izvor: https://www.microchip.com/images/default-source/design-centers/analog/180611-apid-diag-printheadactuation-7x5.jpg?sfvrsn=e92d0a82_1)

2.2.4. MEMS tehnologija izrade Inkjet glava

Korištenje Inkjet boja s nižom koncentracijom pigmenta podrazumijeva i korištenje dodatnih glava za ispis, sistema za dodatne boje, kao i samih Inkjet boja. Inkjet glave koje mogu tiskati s modulacijom veličine kapljice nude mogućost ostvarivanja visokih rezolucija. Pomoću njih moguće je formirati kapljice boje različite veličine, ovisno o podacima definirane slike. Odvojene kapljice pritom se spajaju u jednu kap, kada padnu na tiskovnu podlogu. To se događa jer kapljice padaju jedna za drugom u vrlo malom razmaku u odnosu na mlaznice tako da su obično povezane jednom tankom

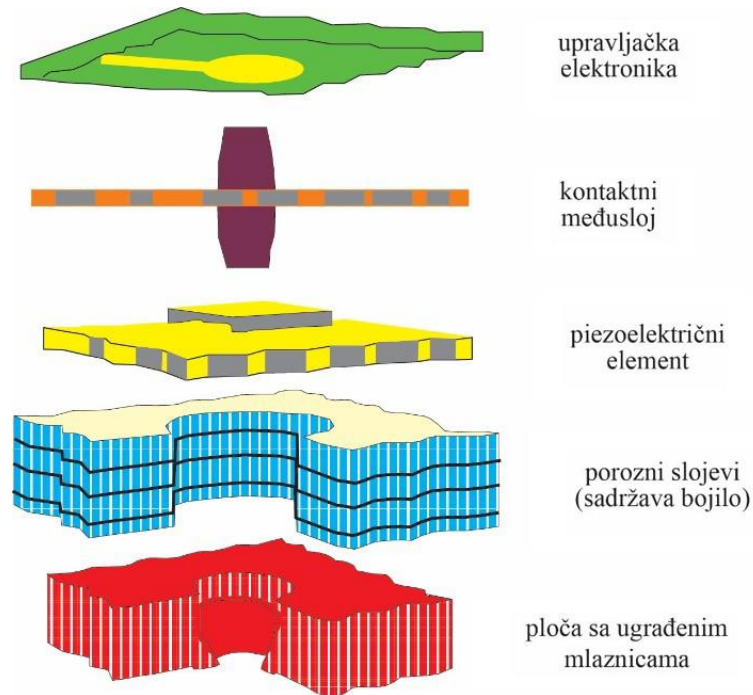
nuti razdvajanja. Površinska napetost boje obično dovodi do spajanja kapljica u jednu veću. Ovaj proces se može poboljšati tako što će kapljice svaki put brže izbacivati, a za to je potrebno postići podešavanje pobuđenih impulsa. Sve ispisne glave koje moduliraju veličinu kapi, primaju impulse pobude koji pokreću niz pritisnih valova. Svaki put kada negativna strana pritisnog vala započne, tada dolazi do kapanja.

MEMS je skraćena engleskog izraza za Micro Electro Mechanical System što znači da se on sastoji od kombinacije mehaničkih i električnih struktura u mikrometerskoj veličini (1-100 μm) ugrađenih na istoj elektroničkoj komponenti. Elektromehaničke komponente mikro sistema obično se kreću od 20 do 1000 μm . Kombinacija nanomaterijala s nanometričnim strukturnim dimenzijama dovela je do stvaranja pojma NEMS (Nano Electro Mechanical System).

MEMS ispisna jedinica (modul) se obično sastoji od aktivatora, električnog sučelja koji povezuje mikroprocesor, samog mikroprocesora i sučelja za konekciju s dovodom boje. Površina, odnosno volumen kapi, tako se sad povezuje s novim parametrima učinaka (elektrostatički, kapilarni učinci), te oni sada prevladavaju nad toplinskim i mehaničkim učincima. Najveći napredak u konstrukciji nije bio postignut minimaliziranjem, već istodobnom proizvodnjom tisuća identičnih pojedinačnih dijelova na jednoj silikonskoj pločici (u ponovljivoj procesnoj proizvodnji). Uz niže troškove proizvodnje, minimaliziranje i veću pouzdanost, MEMS tehnologija tako je prvi put omogućila brojna tehnička rješenja. [18]

Povijest MEMS-a započela je 1947. godine izumom tranzistora. Međutim značajne iskorake napravila je 1960. godine (do osnivanja industrije poluvodiča). Integrirane elektroničke komponente uglavnom su izrađene postupkom litografije, šrafiranjem i razvijanje tankih poluvodljivih filmova. Vremenom su postupci obrade nadopunjeni tehnikama obrade i uklanjanjem mikro-strugotina, tehnikama pocinčavanja, mikro-spajanjem, taljenjem pod pritiskom ali i primijenjenim metodama oblaganja i napanjanja parom. Najčešće korišteni materijali su: silicij, silicijev oksid, silicijev nitrit, staklo, različiti metali, ITO (indijum kositar oksid), SU8 (fotoosjetljiva epoksidna smola) i poliamid. Radni procesi također su vrlo složeni. Za jedan izrađeni sloj u fotolitografskom procesu je potrebno najmanje šest postupaka. Masovna proizvodnja, prednosti minimalizacije i serijske obrade ipak su dale dobre rezultate.

To je vidljivo upotrebom u Inkjetu (za nanošenje šablona i ostalih slojeva pri proizvodnji MEMS glava). Glavni proizvođači takvih Inkjet pisača su: Brother, Canon, Epson, FujiFilm Dimatix, Kodak, Kyocera, Lexmark, Panasonic, Ricoh i Silverbrook. Prikaz tipičnih MEMS Inkjet glava prikazan je na slici 23.



Slika 23 Prikaz presjeka MEMS Inkjet glave

(Izvor: <http://tisak.grf.unizg.hr/pages/digitalni-tisak.php>)

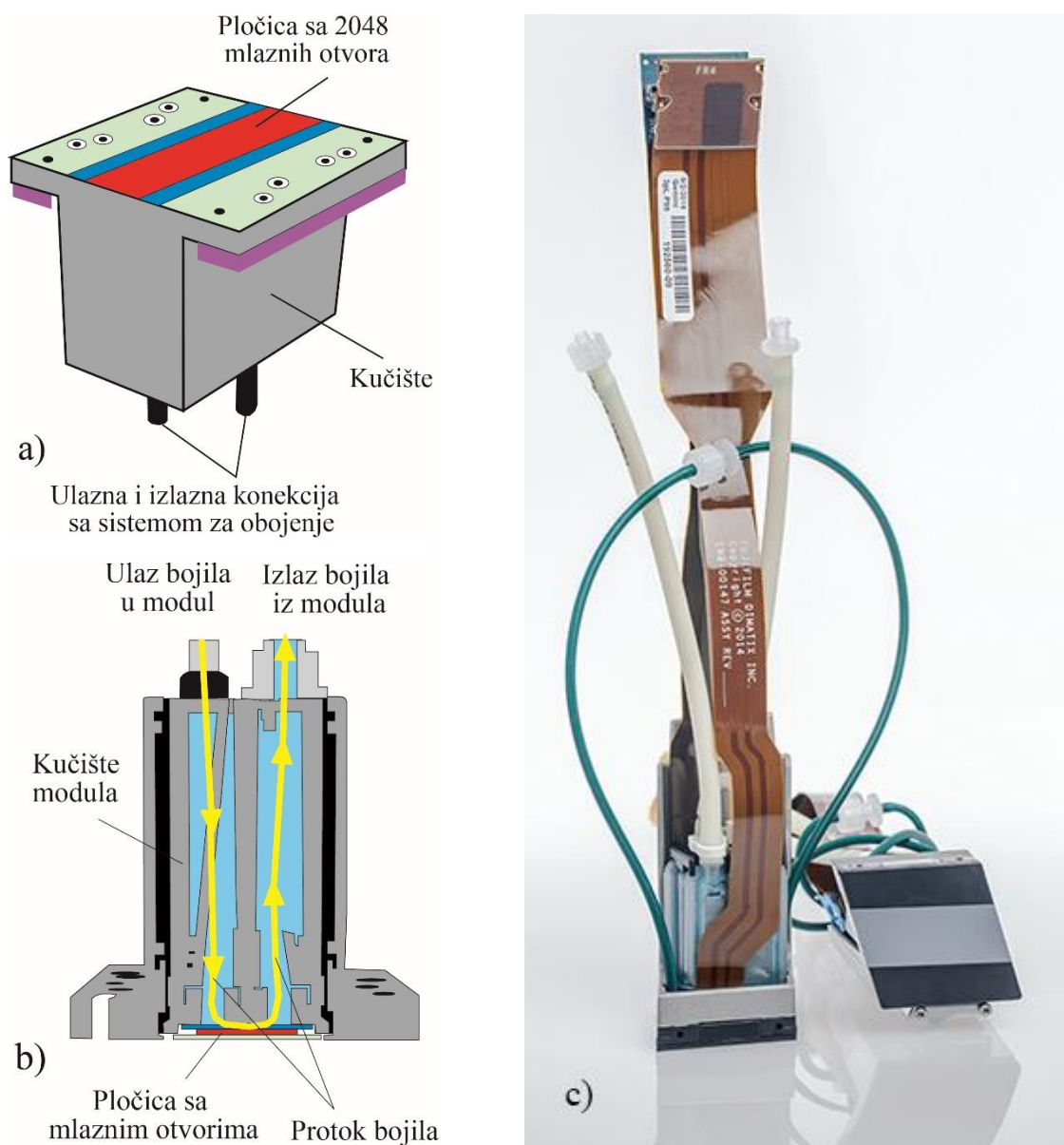
Tehnologija MEMS već se dugo koristi za jednostavniju upotrebu Inkjet glava. Razlog tome je smanjenje troškova i povećanje pouzdanosti i bolja realizacija gustoće mlaznica. MEMS tehnologija tako se koristi za sva tri principa rada za Inkjet-a: kontinuirani, termalni i piezoelektrični inkjet. Piezoelektrične glave za ispis danas proizvode tvrtke: Dimatix, Epson, HP, Xaar i Kyocera i uglavnom se koriste za industrijske i grafičke strojeve. Kao i materijali koji se koriste u industriji poluvodiča, piezoelektrične glave za tisak podrazumijevaju nanošenje, obradu i spajanje piezoelektrične OCT keramike (OCT= olovo cirkon titan). Uspoređujući ih s glavama za kućnu i uredsku upotrebu u slučaju piezoelektričnih glava za tisak za industrijsku upotrebu, jedinični broj izrađenih komada svake godine je veći. Samim time njihova uporaba vrijednosti i kvalitete raste. Prednost poluvodičke tehnologije za Inkjet glave leži u vrhunskoj mehaničkoj preciznosti i sposobnosti poboljšanja kvalitete slike.

Samim time dolazi do poboljšanja u novim područjima primjene poput proizvodnje električnih komponenata s Inkjet sustavom za dovod provodljive boje. Na takozvanim hibridnim ispisnim glavama (npr. Dimatix Q-klase glave za ispis) moguće je ostvariti visoku mehaničku preciznost, nižu toplinski osjetljivost i veću registracijsku gustoću mlaznica. Tvrtka Durst je pazila na tehnički razvoj Inkjet glava i prenijela prednosti ove tehnologije konačnim kupcima svojih strojeva. [19]

2.2.5. Samba G3L ispisna glava

Tehnologija ispisnih glava modela Samba G3L ostvaruje izvrsnu kvalitetu, brzinu i jednostavnost korištenja potrebnog za promjenjivu širinu ispisa. Ona se temelji na vrhunskom silikonskom mikro-elektro-mehaničkom sustavu proizvodnje (Si-MEMS) Samba G3L glava za ispis.

Fujifilm Dimatix i dalje nastavlja s nadogradnjom Samba G3L ispisne glave osiguravajući izvrsnu točnost pozicioniranja, jednolikost formiranih kapljica iz dovodnih kanala, visoku razlučivost, visoku frekvenciju i visoku produktivnost. Sa svojih 2048 mlaznica koje se mogu individualno aktivirati, Samba G3L glava za ispis ima izvornu rezoluciju od 1200 dpi i izvornu kapljicu boje od 2,4 pikolitara (pl), pružajući visoku kvalitetu tiska široke palete bojila, uključujući UV boje i vodene boje. Shematski izgled jednog modula Samba G3L glave prikazan je na slici 24.



Slika 24 Samba G3L ispisna glava a) shematski prikaz vršnog djela b) shematski prikaz protoka boje c) izvorna fotografija

(Izvor: https://www.fujifilmusa.com/products/industrial_inkjet_printheads/print-products/printheads/high-performance/samba_g3l/img/index/pic_01.jpg)

Za Samba G3L tehnologiju karakteristična je jednostavnost konekcije. Sa širinom ispisne glave od 43 mm (1,7 inča) može se lako složiti u liniju ispisa bilo koje širine, što je čini idealnim izborom za primjenu raznih grafičkih proizvoda (poput visoko kvalitetnih reklama, naljepnica, ambalaže i tekstila). Jedinstveni oblik paralelograma s pločastim Samba mlaznicama omogućuje pojednostavljeno multipliciranje glave pisača, što rezultira maksimalnom rezolucijom od 1200 dpi.

Kroz kontinuiranu recirkulaciju boje, koja se izvodi neposredno iza mlaznica i nekoliko inovacija koje uključuju specijaliziranu geometriju ploča mlaznica i kućišta, omogućena je upotrebom većine tekućina. Uz opciju RediJet-a dozvoljen je puni proizvodni potencijal Samba G3L pisača. Samim tim je omogućeno da se glave za tisak brzo i lako ispune bojom, što rezultira bržim tiskom, minimalnim otpadom boje i većom pouzdanošću rada mlaznica.

Fujifilm Dimatix-a kroz opciju VersaDrop omogućava kontrolu višestrukih formiranih kapljica u binarnom načinu rada i omogućava ispisa sivih tonova iz samo jedne glave pisača, bez gubitka u produktivnosti. U binarnom načinu rada, Samba G3L glava je dizajnirana tako da izbacuje veličine kapi od 2,4 i 13,2 piktolitra, a može podržavati različite razine sivoće boje (definirano od strane korisnika pomoću specijalno razvijene upravljačke elektronike). [20]

Tablica 1 Specifikacije Samba G3L ispisne glave

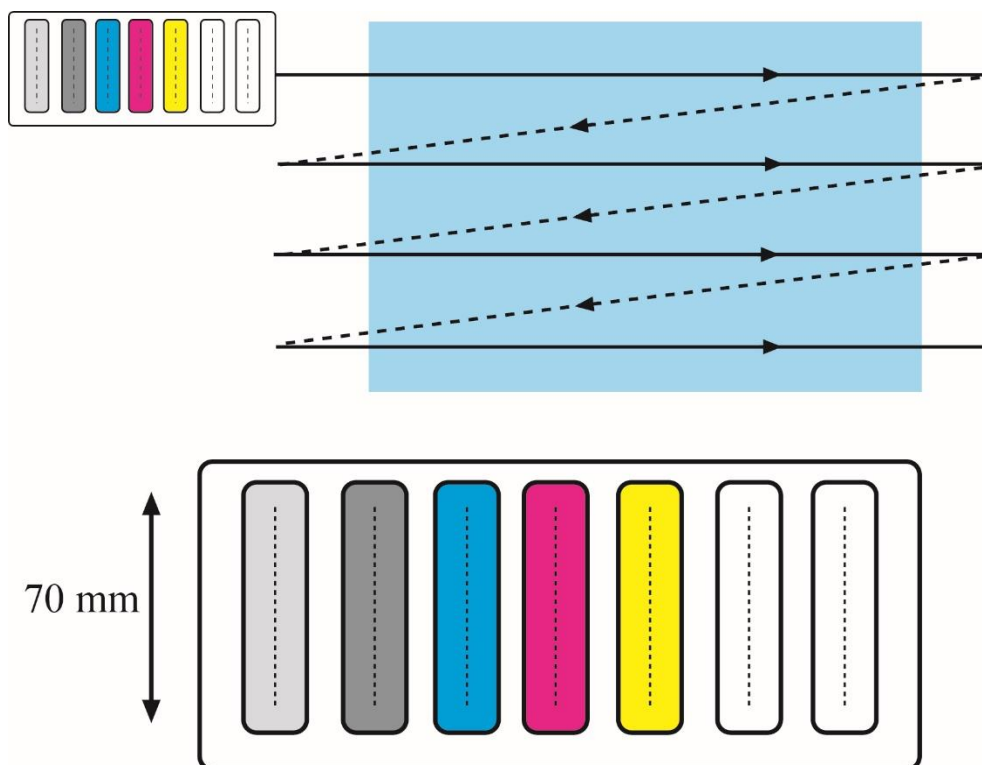
Tehničke specifikacije ispisne glave - Samba G3L	
Broj mlaznica po modulu	2048
Širina ispisa	43 mm po glavi ispisa
Rezolucija	1200 dpi / 600 dpi u suvišnom načinu rada
Izvorna veličina kapi / najveća veličina kapi	2,4 pl do 13,2 pl
Frekvencija kapanja	Do 100 kHz
Područje radne temperature Inkjet-a boja	60 ° C
Nominalna viskoznost tekućine	2 do 10 cPs (preporučuje se 3 do 7 cPs)
Kompatibilne tekućine	UV-boje, organska otapala, vodene otopine, lateks
Tehnologija ploče za mlaznice	Silikonski MEMS / premaz koji ne korodira
Ugrađeni senzor temperature	uključen
OEM nepromjenjiva memorija	uključen

2.2.6. Durst Tau 330 RSC

Inkjet strojevi koji tiskaju iz role međusobno se razlikuju po širini zone otiskivanja. Samim time postoje strojevi koji tiskaju usku rolu od 10 do 350 mm (narrow web), te strojevi široke role od 500 do 1600 mm (wide web).

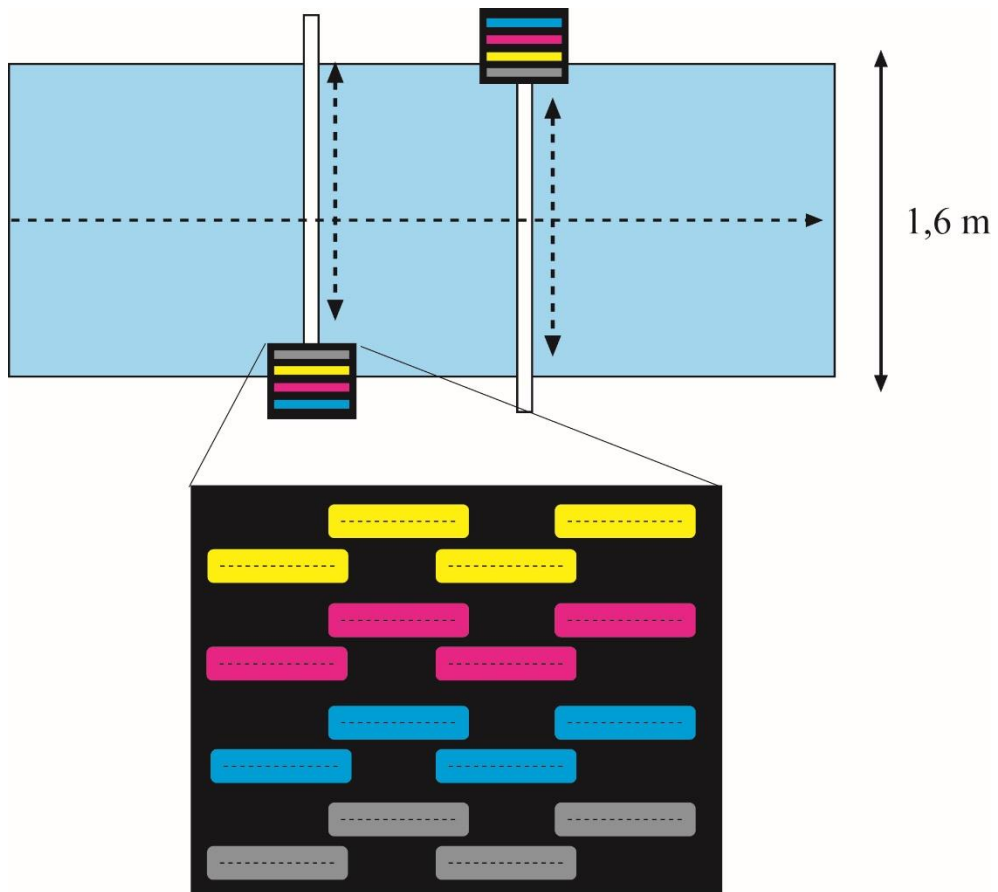
Osim širine role razlike se očitavaju i u načinu nastajanja otiska odnosno u načinu kretanja ispisne glave. Tako se kod niske produkcije (brzine) koristi skenirajući način otiskivanja, dok se kod produktivnijih Inkjet mašina koristi modularna konstrukcija Inkjet glava.

Kod niskoproduktivnih narrow mašina koje rade principom skenirajuće ispisne glave sadržava samo jedan modul za procesne i spotne boje, te otisak nastaje kretanjem takvog segmenta lijevo-desno uz kontinuirani pomak tiskovne podloge. Širina takvog modula za industrijski tisak obično iznosi 70 mm (slika 25).



Slika 25 Skenirajući princip ispisnih glava

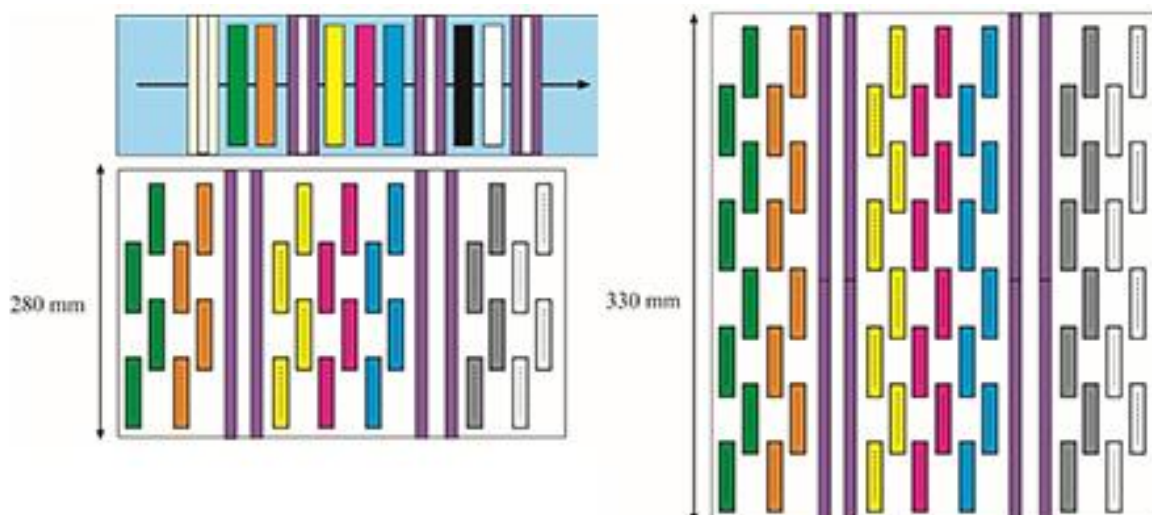
Da bi se ovim načinom ostvarilo visokoproduktivno otiskivanje osim povećanja u širini ispisa (1,6 m) ispisna glava ima veći broj modula iste boje. Obično takve glave imaju 4 modula (CMYK) čime se širina ispisa povećava i do 4 puta (slika 26).



Slika 26 Modularna konstrukcija Inkjet glava

Za visokoproduktivno otiskivanje Inkjet moduli moraju mirovati te se tijekom otiskivanja pomiče samo tiskovna podloga. Kod narrow web Inkjet strojeva se koriste dvije širine otiskivanja (280 mm i 330 mm). Tako će se kod širine od 280 mm koristiti 4 glave ili 5 glava poredanih u dva reda uz dodatne spotne boje (bijela, zelena, crvena). Sa većom širinom role raste i broj modula. Tako će kod širine od 330 mm biti ugrađeno 8 modula (rasporedom 4x2) uz dodatak dodatnih boja.

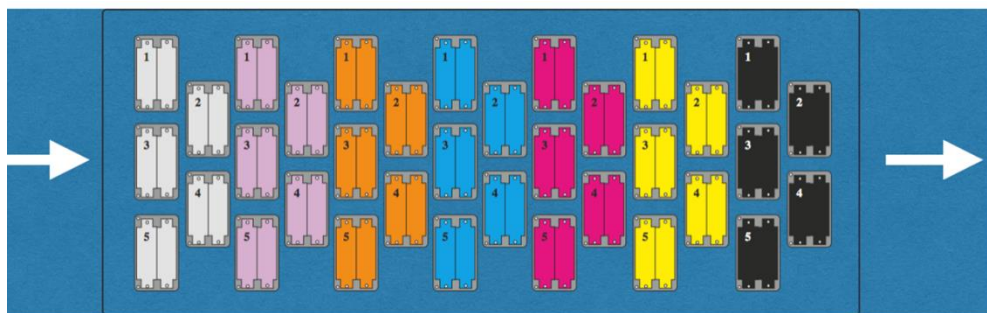
Ukoliko se koristi UV sušuća boja u ispisnim glavama ugrađuju se i UV izvori. Samim time ostvaruje se trenutno sušenje otisaka. Ova koncepcija otvorena je i za dodatna unapređivanja pa samim time i primjena kod wide weba. Pritom je moguće ostvariti i širine ispisa i do 1050 mm. Dalje povećanje za sad nije moguće jer se multipliciranjem povećava broj mlaznica koje je nemoguće kvalitetno upravljati u kraćem vremenskom periodu (slika 27).



Slika 27 Shematski prikaz Inket glava za širine podoga 280 mm i 330 mm

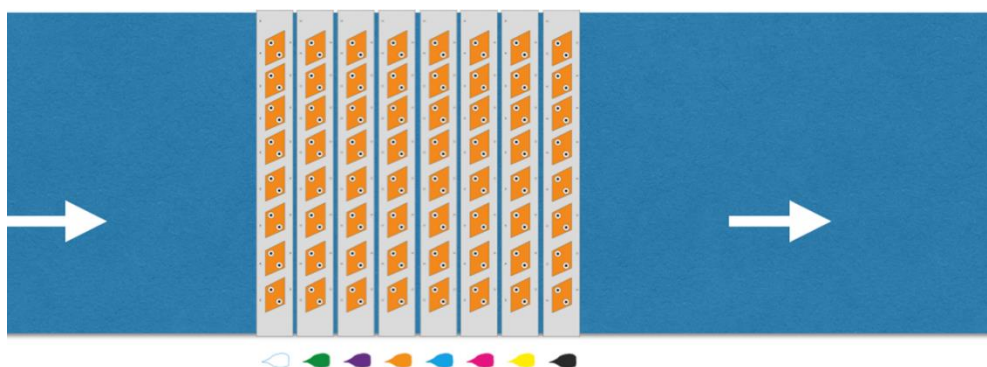
Jedan od vodećih svjetskih proizvođača Inket strojeva je Austrijska tvrtka Durst. Na Labelexpo 2017. godine predstavljen je Durst Tau 330 RSC digitalni printer UV Inket specijaliziran za ispis naljepnica. Opremljen s 8 boja (CMYK+W+OVG) pomoću kojih se postiže izvanredna kvaliteta ispisa, te postiže i do 95% simulacija PANTONE boja. Durst Tau 330 RSC otiskivanje vrši na podloge do 330 milimetara širine, pri maksimalnoj brzini od 80 metara u minuti, uz rezoluciju ispisa 1,200 x 1,200 dpi. Tome su zaslužne ispisne glave Dimatix Samba G3L koje se nalaze u stroju Durst Tau 330 RSC. U odnosu na staru generaciju Durst Tau mašina osim tipa Inket glava, izvršena je modifikacija u rasporedu glava unutar ispisne jedinice. Tako će raspored modula 3+2 biti zamijenjen sa jednim modulom. Drugim riječima u maksimalnoj konfiguraciji stare mašine imali su 35 modula, dok nova mašina ima samo 8 modula. Dimatix Samba G3L su piezoelektrične Inket ispisne glave koje koriste MEMS (Micro Electro Mechanical System) tehnologiju.

Kod Durstovih Tau strojeva možemo pronaći dvije koncepcije: stara s Polaris glavama i nova sa Samba G3L glavama. Tako će se kod stare generacije Tau strojeva nalaziti ukupno 35 modula (5x7) s redoslijedom W, V, O, C, M, Y, K. Kod svake boje tako postoji 5 modula složenih u formaciju 3x2 (slika 28).



Slika 28 Shematski prikaz složenih Polaris glava u stroju Durst Tau

Nova generacija Tau mašina sadržava samo 8 (paralelno) poredanih modula gdje svaki sadrži 8 Samba glava. Takvim rasporedom omogućeno je otiskivanje 8 boja gdje su uz standardni CMYK dodatno otiskuju boje: zelena, ljubičasta i narančasta. Samim time njihovim miješanjem moguće je otisnuti 95% PANTONE kataloga (slika 29).



Slika 29 Shematski prikaz složenih Samba G3L glave u stroju Durst Tau

Današnje Tau mašine osim velike produkcije 78 m/min imaju i mogućnost postizanja visoke kvalitete otiska. Ona se odlikuje u rezoluciji 1200x1200 dpi što omogućuje realizaciju veličine pixela dimenzije 0,021x0,021 mm. Da bi se to ostvarilo i ostale strojne komponente moraju biti besprijekorno povezane. Tako osim Inkjet tiskarske jedinice (Samba Inkjet poredanih glava) Tau strojevi sadržavaju: sistem za odmatanje role, jedinicu za čišćenje role, sistem za vođenje role, korona jedinice, jedinica za ubacivanje role, ploče za ispitivanje otiska, jedinica za sušenje (hlađenje), jedinica za namatanje role.



Slika 30 Osnovne komponente stroja Durst Tau 330 RSC

(Izvor: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRfBrhL4BIXz_CCPP2HjX2pPAFMt1s9BDJgwx&usqp=CAU)

tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRfBrhL4BIXz_CCPP2HjX2pPAFMt1s9BDJgwx&usqp=CAU)

Tiskovna jedinica Samba glave tako je pri tisku odmaknuta 1 mm od tiskovne podloge nanašajući boju redosljedom: bijela, zelena, ljubičasta, narančasta, cijan, magenta, žuta, crna. Da bi se ostvario trenutno suhi otisak nakon svake druge boje ugrađen je UV sušeći modul (4 komada). Nakon bijele, nakon zelene, ljubičaste i narančaste, nakon cijana i magente i nakon žute i crne. [21]



Slika 31 Tiskovna jedinica na stroju Durst Tau 330 RSC

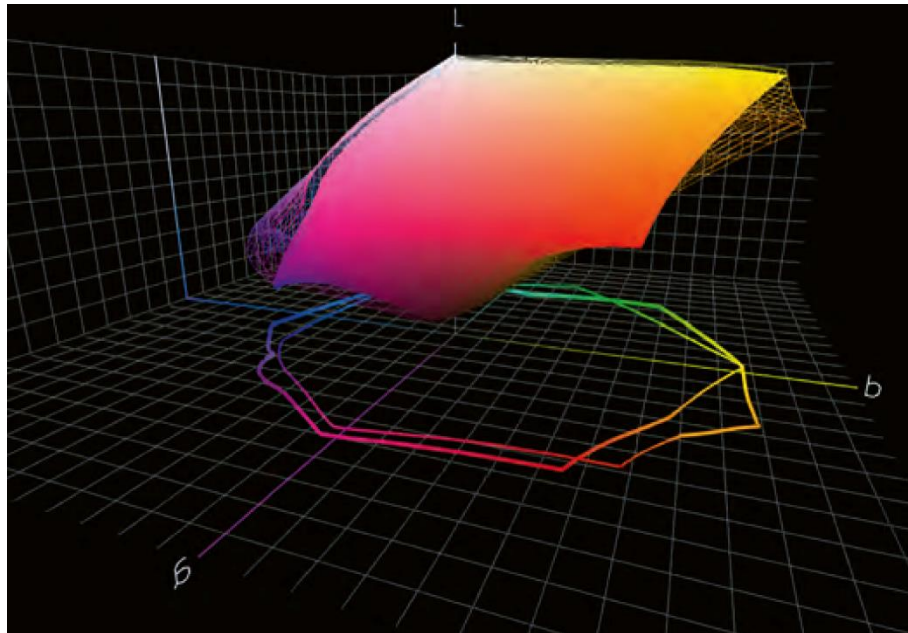
2.2.7. Boje za Durst Tau 330 RSC

U skladu s Durstovim standardima kvalitete, visoke produktivnosti i zaštite okoliša, kupcima se nude različiti sastavi UV boja. Maksimalna kvaliteta ispisa, produljenje rada ispisnih glava i produktivnost uz minimalnu potrošnju boje rezultat je kontinuiranog i sustavnog razvoja UV sušućih boja i ispisnih glava. Durstov osnovni razvojni pristup je ekskluzivno partnerstvo s vodećim svjetskim tvrtkama za proizvodnju Inkjet boja, uključujući internu primjenu i različite testove na postojanost. To onda osigurava maksimalnu stabilnost sustava. Svi sastavi boja kontinuirano se nadziru u najstrožim laboratorijskim uvjetima kako bi se korisnicima pružio optimalni učinak. Stoga se za Durst Tau boju uočava: veliki paleta mogućih boja, visoka stabilnost sustava, široka raznolikost primjene, visoka pigmentacija, mala potrošnja boje, te dodatne procesne boje.

S pokretanjem proizvodnje Tau 330 RSC serije, predstavljen je novi set Tau RSC UV boja. Tijekom razvoja fokus je bio na izvrsnim karakteristikama protoka i visokoj oštini otisnutog ruba. Sa 7 procesnih boja (cijan, magenta, žutoj, crnoj, narančastoj, ljubičastoj, zelenoj i bijeloj) moguće je dostići i do 95% PANTONE ljestvice. Spremnik takve boje je velik i iznosi 5 litara. Tau RSC UV boje imaju dobru svjetlosnu stabilnost i otpornost na kemijske utjecaje. Dobra svjetlostalnost očituje se primjenom Blue Wool testa gdje CMYK i ljubičasta imaju ocjenu 8, zelena 7-8 i narančasta 6-7.

Sve korištene sirovine su u skladu sa REACH standardom. Boje gotovo da ne sadrže opasne tvari (SVHC manji od 0,1%). Tau RSC UV boje ne sadrže hlapljive organske spojeve (VOC) što se zahtijeva od EU definicije Direktive Vijeća 1999/13 / EC. Bisfenol A (BPA) i benzofenon se namjerno ne dodaju boji, te boja ne sadrži lateks. Učinkovitost nanašanja, kao i čitljivost i izdržljivost otiska, ocjenjuju se prema normi UL 969 nakon izlaganja otisnutih naljepnica različitim temperaturama, UV svjetlu, vodi, trljanju i struganju. Zajedno s proizvođačem materijala za etikete (Avery Dennison), Durst je dobio UL priznanja za Tau RSC boje za rad s nekoliko vrsti samoljepljivih materijala. Tau RSC boje tako imaju dobru otpornost na n-heksan, metilirane pare i benzin. Prema istraživanju UL 969, takvi uzorci otisaka izloženi su

10 dana na temperaturi od 150°C i 180°C. Strojevi za umjetno starenje koriste se za simulaciju utjecaja sunčeve svjetlosti i kiše na naljepnice. Tau RSC UV boje nude visoku otpornost kako bi se osigurala ispravna čitljivost. Raspon obojenja Tau RSC boja prikazan je na slici 32. [21]



Slika 32 Gamut Tau RSC UV boja CMYK i CMYK0VG

(Izvor: <https://encrypted>

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRcYbslR5KrUwxPY0Bk8TzACAPTAtmaseyarQ&usqp=CAU](https://encrypted))

2.2.8. Durst Tau 330 RSC sušenje

Najvažniji parametri za boje koje upotrebljava Inkjet tiskarski strojevi su gustoća, viskoznost i površinska napetost. Na Inkjet strojevima s piezoelektričnom glavom za ispis, masa i brzina proizvodnje kapljice direktno ovise o tim parametrima. Gustoća i površinska napetost pomalo variraju s promjenom temperature. Viskozitet svih tekućina, a samim tim i boje, smanjuje se kako temperatura raste. Viskoznost boje tako određuje koliko će boje dospjeti u ispisnu glavu. Loša viskoznost tako sprječava točno izbacivanje kapljica. Spomenuta varijacija mase i brzine kapljica stoga se odvija ovisno o temperaturi boje. Variranjem mase kapljice, debljina ispisanog sloja boje se mijenja, a samim time i otisnute rasterske točkice boje.

Odstupanja razlike u obojenju od $\Delta E=1$ još se vizualno ne primjećuje. Zbog toga temperatura boje treba biti stabilizirana u rasponu od $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Budući da brzina pada ovisi o viskoznosti, samim tim promjenom temperature, kapljice boje neće padati na definiranu poziciju na tiskovnoj podlozi. Za tu svrhu možete se koristiti sustav za regulaciju topline kojim upravlja mikroročunalo. Najjednostavniji način je taj da se boja i glave pisača spuste na temperaturu nešto nižu od one u prostoriji za tisak. Pri temperaturi iznad 40°C neke boje se više ne mogu koristiti u glavama Inkjet strojeva, te se u tom slučaju boju i glave za ispis moraju zagrijavati ili hladiti. Grijaći elementi i temperaturni senzori sustava toplinske regulacije moraju imati optimalan toplinski kontakt s ispisnim glavama, a koeficijenti toplinske provodljivosti korištenih materijala moraju biti što veći. Modularne Durst quadro glave za ispis zbog toga su izrađene od posebne aluminijske legure, dok je kućište rađeno od grafita.

LED tehnologiju izumio je Oleg Dimirovich Losev dvadesetih godina prošlog stoljeća u Rusiji. U SAD je ista predstavljena kao praktična električna komponenta tek 1962. Prvo je bilo dostupno samo kao crveno ili zeleno LED svijetlo. Složeniji plavi LED izumio je Shuij Nakamura u Nichia Corporation primjenjivši indij-galijev nitrid. Prve UV-LED izvore su također razvili u tvrtki Nichia koristeći aluminij nitrid, aluminij-galij nitrid i aluminij-galij-indijum nitrid. Njihova je učinkovitost bila dugo vremena ograničena, pa je došlo do njihove primjene tek kada se riješio problem stvrdnjavanje ljepila kao i njihova sterilizacija. U posljednje vrijeme njihova se učinkovitost uvelike poboljšala, a također je došlo i do varijacije valne duljine. LED izvori počeli su se upotrebljavati kao elementi za sušenje, te se danas uglavnom koristi u procesu ispisa UV otisnutog elemenata. Unatoč tome, LED-ovi kao uređaji za sušenje boje u procesu tiska nisu više "egzotika" i kao takvi interesantni su za buduća ispitivanja.

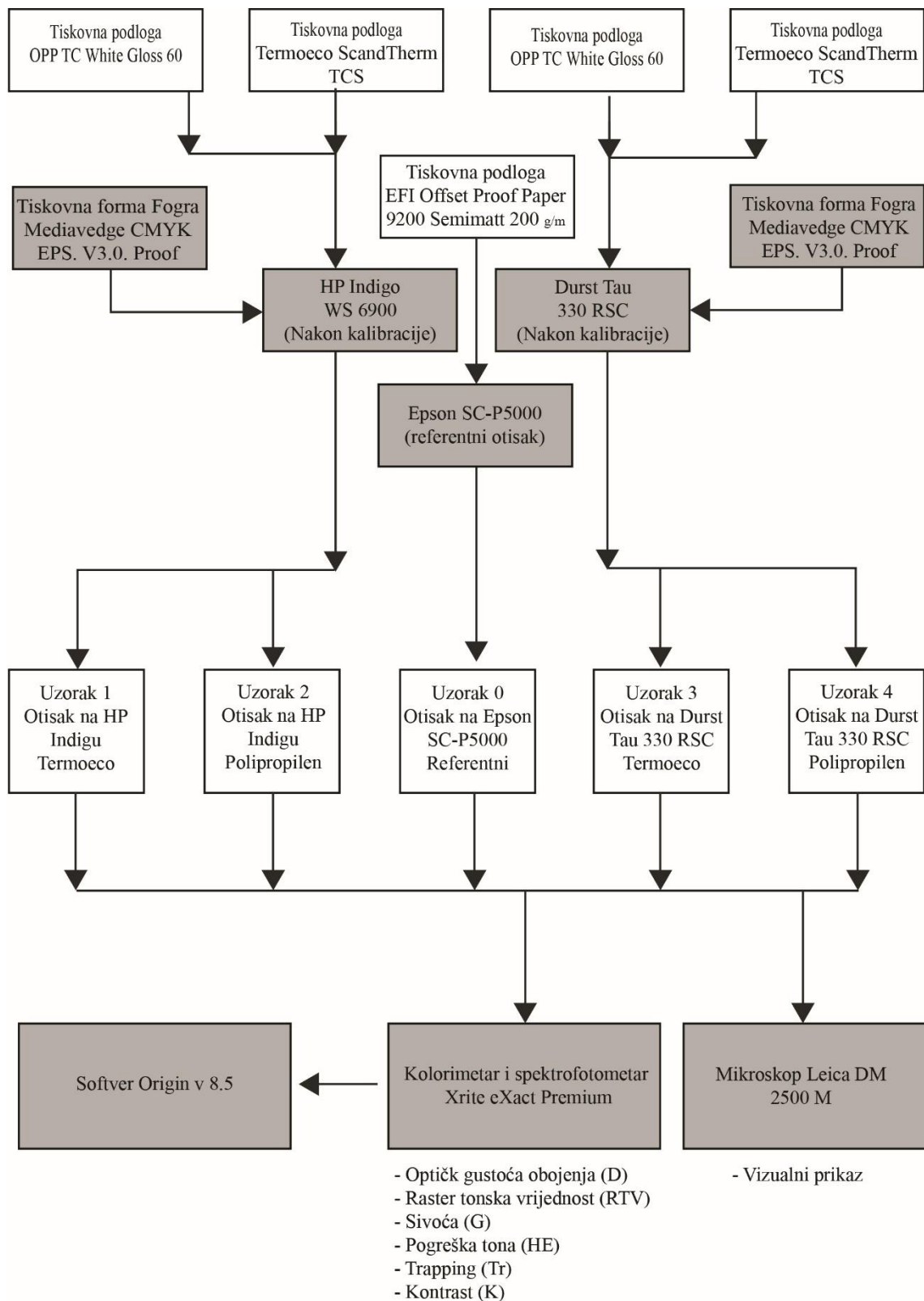
U odnosu na tradicionalno UV sušenje sa LED tehnologijom, cijena troškova i učinkovitosti još je upitna. Na FESPA-i je bilo nekih proizvođača koji su prikazali strojeve velikog formata s LED tehnologijom UV-sušenja. Međutim oni su izuzetno spori i moraju koristiti posebnu boju (polimerizacija boje pomoću fotoinicijatora mora se prilagoditi duljini LED vala - od 385 nm). Kvaliteta sušenja, posebno kod većih nanosa boje ili reflektirajućih materijala, daleko je ispod referentnih vrijednosti tradicionalnog UV sušenja živinim žaruljama.

Zbog niske učinkovitosti, visokih troškova i potrebe korištenja specijalnih boja trenutno je UV LED tehnologija alternativa samo inkjet strojevima manjeg volumena. Za takvu vrstu strojeva, produktivnost i veći troškovi boje nisu najvažniji faktori. Za inkjet strojeve velikog formata koji se koriste u industriji, (digitalne tiskare ili offset tiskare), UV LED tehnologija danas ne predstavlja alternativu. Ali mogla bi postati zanimljiva tehnologija ako se riješe: troškovi ugradnje UV LED izvora, stupanj učinkovitosti povećati na 18-25%, ostvari kombinirani izvori (kombinacije LED-ova s različitim valnim duljinama) i LED-ovi s vrlo niskom valnom duljinom oko (210 / 250 nm), te dostupnost više boje (kao standardna, a ne kao specijalna boja). [16] Na temelju današnjeg stanja, to je se upravo dogodilo.

3. EKSPERIMENTALNI RAD

3.1. Metodologija rada

Za potrebe ovoga diplomskog rada primijenjena je tiskovna forma Fogra Mediavedge CMYK EPS. V3.0. proof koja sadržava 72 točno definirana polja. Ona su raspoređena u 3 reda. Tiskovna forma je u PDF obliku poslana na dva tiskarska stroja HP Indigo WS 6900 (prethodno kalibriran) i UV-inkjet Durst Tau 330 RSC (prethodno kalibriran). Na oba dvije mašine tiskane su dvije tiskovne podloge. Prva je polipropilen Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 i tiskovna samoljepiva podloga Termoeco ScandTherm TCS. Osim otiskivanja sa dva samoljepljiva materijala izvršeno je početno probno otiskivanje sa printerom Epson SC-P5000 čime je definiran referentni otisak po Fogri 39. Za potrebe probnog otiskivanja korištena je specijalna tiskovna podloga EFI Offset proofpaper 9200 koji spada u kategoriju semimatt papira. Na temelju ove tri mašine napravljeno je ukupno pet uzoraka, uzorak 0 (na EFI Offset proofpaper 9200 podlozi), uzorak 1 (otisak na HP Indigo WS 6900 na tiskovnoj podlozi termoeco), uzorak 2 (otisak na HP Indigo WS 6900 na tiskovnoj podlozi polipropilenu), uzorak 3 (otisak na Durst Tau 330 RSC tiskovna podloga termoeco) i uzorak 4 (otisak na Durst Tau 330 RSC). Dobivene otiske izmjerili smo spektrofotometrom i kolorimetrom Xrite eXact verzije advance gdje smo izmjerili optičku gustoću obojenja, raster tonsku vrijednost, pogrešku tona, sivoću, trapping i kontrast. Sve izmjerene brojčane vrijednosti su obrađene u softveru OriginePro verziji 8.5 dok se za vizualnu procjenu nastalih kolornih razlika upotrebljavao mikroskop Leica DM 2500 M. Shematski prikaz izvršenog eksperimenta dan je na slici 33.



Slika 33 Shematski prikaz plana eksperimentalnog rada

3.2. Korišteni strojevi i uređaji

3.2.1. HP Indigo WS 6900

HP Indigo WS 6900 je visokokvalitetni digitalni stroj. HP Indigo WS 6900 koristi elektrofotografsku tehnologiju sa tekućim tonerom za postizanje kvalitetnih otisaka. Otisak se stvara indirektnim tiskom preko vruće ofsetne gume. Tiskovna jedinica HP Indigo WS 6900 je građena u obliku satelita i koristi ROS lasersku glavu. Tiskarski stroj HP Indigo WS 6900 koristi se za tisak samoljepljivih materijale koji se tiskaju iz role. Tiskanje se izvodi iz role te se otisnuti materijal namata u rolu (roll-roll). Na tablici 2 prikazane su tehničke karakteristike stroja HP Indigo WS 6900. [22]

Tablica 2 Specifikacije HP Indigo WS 6900

Tehničke specifikacije stroja - HP INDIGO WS 6800	
Brzina ispisa	30 m/min za 4/0 ili 40 m/min u višem modu produktivnosti 60 m/min za tisak 1/0 ili 2/0
Rezolucija slike	812 dpi; 2438 x 2438 dpi HDI (High Definition Imaging)
Linijatura otiska	175, 180, 196, 210 lpi
Maksimalan format slike	320 x 980 mm
Debljina materijala	40 do 380 µm
Standardne boje	cijan, magenta, žuta i crna
HP IndiChrome otiskivanje korištenjem 6 boja	cijan, magenta, žuta, crna, PANTONE narančasta i PANTONE ljubičasta
HP IndiChrome Plus otiskivanje korištenjem 7 boja	cijan, magenta, žuta, crna, PANTONE narančasta, ljubičasta i zelena
In-line jedinica za nanos primera	nanošenja premaza u debljini nanosa od 0,5 g/m ² , 1 g/m ² .
Konfiguracija	Dvostruki mod (tisak i dorada), in-line kontrola kvalitete otiska, automatska kalibracija (instalirana bijela ili srebrna)



Slika 34 Elektrofotografski stroj HP Indigo WS 6900

(Izvor: <https://www8.hp.com/us/en/commercial-printers/indigo-presses/6900.html>)

3.2.2. Durst Tau 330 RSC

Durst Tau 330 RSC predstavlja tehnologiju digitalnog tiska te koristi UV-Inkjet tehnologiju s pigmentim bojilom. Stroj koristi UV sušeću boju i Inkjet glave Fuji Dimatrix Samba. Stroj je namijenjene za tisak etiketa i samoljepljivih materijala te radi principom roll to roll (rola u rolu). Na tablici 3 prikazane su tehničke karakteristike stroja Durst Tau 330 RSC. [21]



Slika 35 UV-inkjet stroj Durst Tau 330 RSC

(Izvor: <https://www.durst-group.com/segment/label>)

Tablica 3 Specifikacije Durst Tau 330 RSC

Tehničke specifikacije stroja - Durst Tau 330 RSC	
Brzina ispisa	High speed mode (CMYK OVG): 80m/min CMYK OVG +W : 52m/min High speed white print mode: 80m/min
Rezolucija slike	1,200 x 1,200 dpi; uz kapljice veličine = 2 pl)
Širina tiskovne podloge	165 – 350 mm
Maksimalna širina otisnute slike	330 mm
Debljina materijala	20 – 500 µm
Standardne UV inkjet boje	cijan, magenta, žuta i crna
Dodatna opcija UV inkjet boje	narančasta, ljubičasta, zelena, bijela
Tiskovne podloge	Premazane i nepremazane tiskovne podloge bijeli i transparent film, PP, PE, PVC, PET, BOPP, aluminijaska folija
UV sušenje	Dodatni valjak za hlađenje, opcija komora sa inertnim plinom za smanjenje neugodnih mirisa.
Dodaci u konfiguracija	Corona tretman, čišćenje role, insetter, 100% video kontrola za podatkovni ispis

3.2.3. Epson SC-P5000

Epson SC-P5000 uređaj koji se najčešće u grafičkoj proizvodnji koristi za probne otiske. Međutim na ovakvom pisaču je još moguće reproducirati fotografije i likovna umjetnička dijela. Otisak na Epson SC-P5000 postiže do 99 % točnosti PANTONE boja s punim nanosom. Osim cijan, magente, žute i crne (CMYK) boje ima i dodatne boje. To su: narančasta, ljubičasta, zelena i bijela te svijetla cijan, svijetla magenta svijetla crna i svijetlo svijetla crna. Minimalna veličina papira koja se koristi za printer Epson SC-P5000 je A4 (210x297 mm), dok je maksimalna A2+ (420x594 mm). Na tablici 4 prikazane su tehničke karakteristike printera Epson SC-P5000. [23]

Tablica 4 Specifikacije Epson SC-P5000

Tehničke specifikacije stroja - Epson SC-P5000	
Rezolucija slike	2.880 x 1.440 dpi
Širina tiskovne podloge	203 – 432 mm
Maksimalna otisak od ruba	3 mm (gore), 3 mm (desno), 15 mm (dolje), 3 mm (lijevo)
Debljina materijala	0,08 mm - 1,5 mm
Standardne boje	cijan, magenta, žuta, crna, svijetla cijan, svijetla magenta, svijetla crna, svijetlo svjetla crna, narančasta, zelena, bijela
Formati papira	A2, A2+, A3+, A3, A4, Dopis, 17 " (43,2 cm), Korisnički definirano
Konfiguracija mlaznica	360 Mlaznice za crnu boju, 360 Mlaznice po boji
Dodaci u konfiguracija	Automatsko uvlačenje papira, automatski rezač, ispis bez ruba, ladica za Fine Art papir, ručni obostrani ispis, papir u rolama, držač za deblje medije
Minimalna veličina kapljica	3,5 pl, S tehnologijom kapljica promjenjive veličine



Slika 36 Printer Epson SC-P5000

(Izvor: https://usporedi.hr/Repository/News/106416/epson-scp5000-je-novi-fotoprinter-za-umjetnike3_736x460.png)

3.2.4. X-Rite eXact advance

X-Rite eXact služi za spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja na širokom rasponu različitih materijala. U ovom eksperimentalnom radu korišten je za denzitometrijsko mjerenje samoljepljivih otisnutih uzoraka. Osim kolorimetrskih vrijednosti uz pomoć advance softvera, uređajem je moguće izmjeriti i denzitometrijska mjerenja: optičku gustoću obojenja (D), raster tonsku vrijednost (RTV), pogreška tona (HE), sivoću (G), trapping (T) i kontrast (K). Na tablici 5 prikazan su tehničke karakteristike spektrofotometra X-Rite eXact advance. [24]

Tablica 5 Specifikacije X-Rite eXact advance

Tehničke specifikacije uređaja - X-Rite eXact advance	
Raspon valnih duljina	400-700 nm
Raspon mjerenja	0 – 200 % Reflektancija
Brzina mjerenja	2 s
Optička razlučivost	10 nm
Geometrija	45°/0°
Standardni promatrač	2°/10°
Mjerna površina	Ø1.5, Ø2, Ø4 i Ø6 mm
Standard	ISO 13655:2009



Slika 37 Mjerni uređaj X-Rite eXact advance

(Izvor: https://www.xrite.com/-/media/global-product-images/e/exact/exact_01.png)

3.2.5. Mikroskop Leica DM 2500

Mikroskop Leica DM 2500 se koristi za uvećano prikazivanje otisaka. on ima mogućnosti odabira upadnog i prolaznog osvjetljenja. Omogućava montiranje digitalne kamere na među optiku što daje mogućnost vizualnog prikaza otiska. Mikroskopom je moguće tako prikazati uvećanja od 25x, 100x, 200x i 400x. Na tablici 6 prikazane su tehničke karakteristike mikroskopa Leica DM 2500. [25]

Tablica 6 Specifikacije mikroskop Leica DM 2500

Tehničke specifikacije uređaja - Mikroskop Leica DM 2500	
Objektivi	2.5X, 10X, 20X i 40X.
Objektivni nosač	6-struki i 7-struko
Osvjetljenje	12V / 100W halogena žarulja
Kontrastne metode	BF, DF, PH, POL, DIC
Fokusiranje	Fokusiranje s 2 stupnja prijenosa (grubo / fino s 1 µm mikrometra s gornjim stopom fokusa), 3-stupanjsko fokusiranje (grubo) (zaustavljanje fokusiranja), (srednje), fino sa 1 i 4 µm mikro metarskom skalom, Grubi fokus podesiva visina podloge.



Slika 38 Mjerni uređaj mikroskop Leica DM 2500

(Izvor:https://www.technologynetworks.com/images/videos/News%20Images/ADMET/Leica_DM2500_LED_300.png)

3.3. Korištene tiskovne podloge

3.3.1. Termoeco ScandTherm TCS

ScandTherm TCS je kemijsko-termički bezdrvni etiketni papir s termo osjetljivim slojem koji postaje crn kada se zagrijava. Gornji premaz štiti površinu naljepnice i termički ispisane slike od onečišćenja kao što su vlaga, ulje, masti i plastifikatori iz filmova. ScandTherm TCS može se tiskati bojama na bazi vode, UV boja i lakovima dizajniran za izravnu upotrebu sa toplinskim printerima. Ovaj termički papir ima standardnu osjetljivost, što ga čini pogodnim za brze ispise i do 200 mm u sekundi što ovisi o postavkama pisača. ScandTherm TCS termoeco naljepnice koriste višenamjensko trajno ljepilo opće upotrebe SSP 50AF, koje je tako formulirano da ima širok raspon podloga na koje može prianjati. Može se koristiti na materijalima kao što je karton A4 i na materijalima niske površinske energije kao što polietilen. Minimalna temperatura primjene je -5 °C, te se uspješno drži na temperaturi od -40 do 70 °C. Na tablici 7 prikazane su tehničke karakteristike papira Termoeco ScandTherm TCS. [26]

Tablica 7 Specifikacije Termoeco ScandTherm TCS

Tehničke specifikacije tiskovne podloge -Termoeco ScandTherm TCS	
Gramatura	76 ± 5 g/m ² ISO 536
Debljina	82 ± 8 μm ISO 534
Ljepilo	SSP 50AF
Debljina podložnog sloja	54 ± 4 μm ISO 534
Podložni sloj transparentnost	50 % ISO 2469

3.3.2. Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

OPP TC WHITE GLOSS 60 je bijela samoljepljivih materijala sa sjajnim površinski premazom na bazi polipropilenskog filma. Potpuno se može reciklirati zajedno s kompatibilnim plastičnim proizvodima poput polietilenskih ili polipropilenskih boca. Polipropilenski film mu omogućava otpornost na vremenske utjecaje i većinu kemijskih sredstava. Top Coating osigurava izvrsne rezultate ispisa na svim konvencionalnim tehnikama tiska. Visoka otpornost na UV zrake i visoka prozirnost čini ovaj materijal idealnim za naljepnice bez tiska. Odobren je za neizravne kontakte s hranom i odgovara UNI-EN 71/3 normama za sigurnost igračaka. Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 koristi PF2 ljepilo koje ima dobru adheziju na nepolarnim površinama i visoku otpornost na UV zrake. Minimalna temperatura primjene je 10 °C, te uspješno drži na temperaturi od -10 do 100 °C. Na tablici 8 prikazane su tehničke karakteristike papira Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60. [27]

Tablica 8 Specifikacije Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

Tehničke specifikacije tiskovne podloge - OPP TC WHITE GLOSS 60	
Gramatura	45 g/m ² ISO 536
Debljina	60 μm ISO 534
Ljepilo	PF2 = Akrilno ljepilo u vodenoj emulziji
Debljina podložnog sloja	56 μm ISO 534 (CB62)
Podložni sloj transparentnost	51 % ISO 2469

3.3.3. EFI Offset proofpaper 9200 semimatt

To je papir posebno razvijen za izvedbu probnog otiska za ofsetni tisak. EFI Offset proof paper 9200 semimatt je premazan matt premazom s jedne strane zbog čega je pogodan za jednostrani ispis. Sadrži jako nisku količinu optičkih bijelila što garantira visoku stabilnost upravljanja bojama. Ima mogućnost prihvaćanja vrlo široke palete boja sa brzim sušenjem. Izgledom podsjeća na papir za ofsetni tisak. Na tablici 9 prikazane su tehničke karakteristike papira EFI Offset proof paper 9200 semimatt. [28]

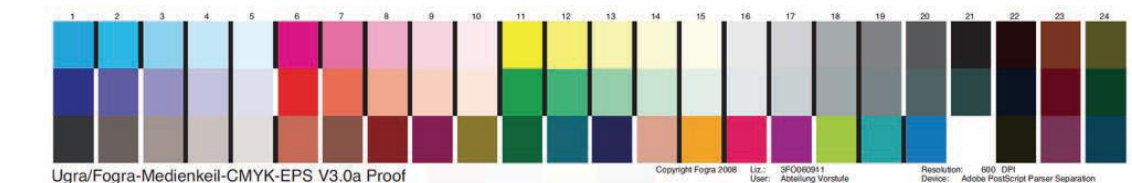
Tablica 9 Specifikacije EFI Offset proofpaper 9200 semimatt

Tehničke specifikacije tiskovne podloge - EFI Offset proof paper 9200 semimatt	
Gramatura	200g/m ²
Format tiskovne podloge	DIN A3+ (33X48,3 cm)
Debljina	230 μm
Neprozirnost	97%
Skladištenje	15 - 30 °C (40 - 60% RV)

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Krivulje reprodukcije

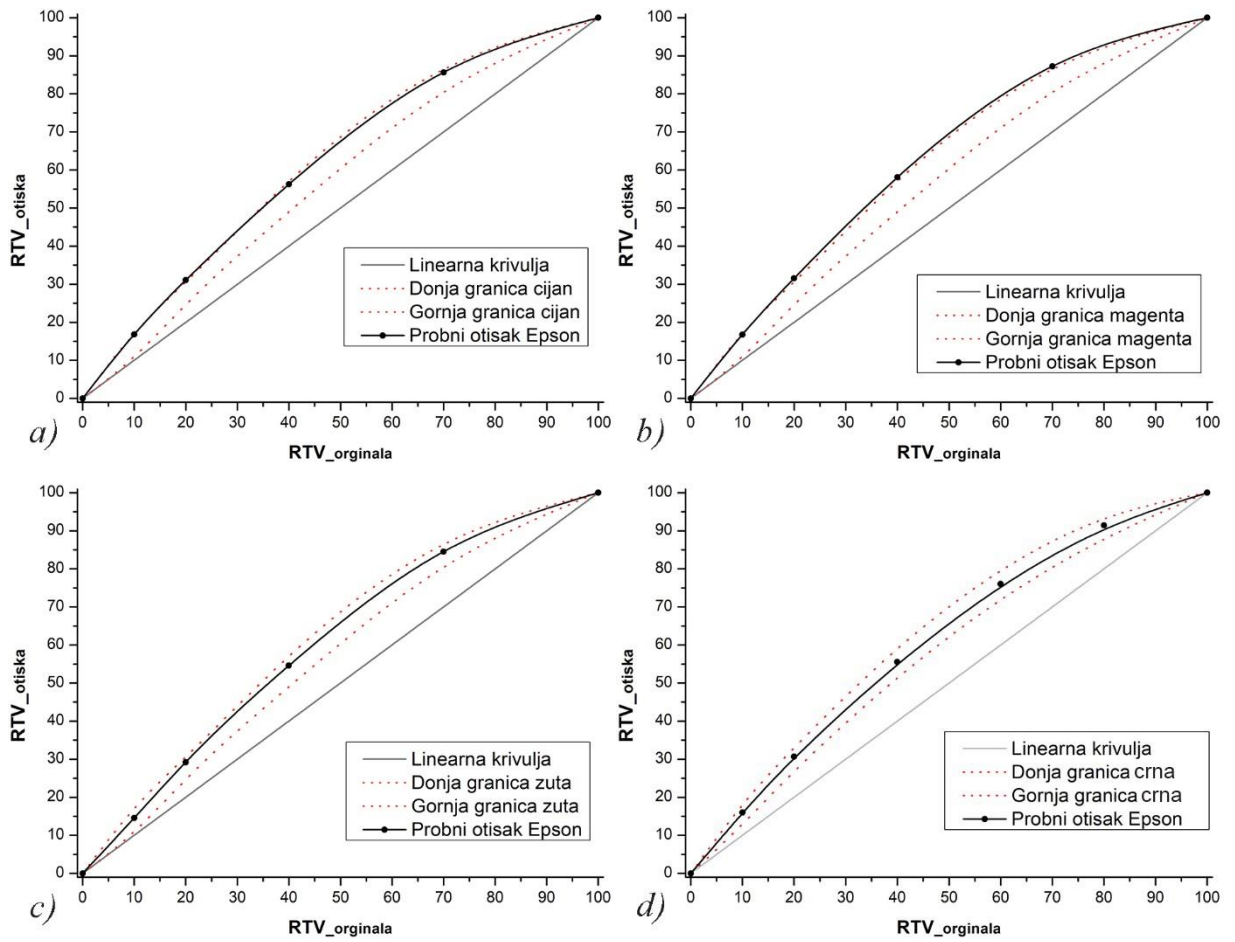
Da bi se usporedili otisci nastali s različitim tehnologijama otiskivanja potrebno je napraviti kolorimetrijska i denzitometrijska mjerenja punih tonova i površina s različitim tonskom pokrivenošću. Za potrebe probnog otiskivanja obično se primjenjuje Fogra Mediavedge CMYK EPS. V3.0. proof koji sadrži 72 točno definirana polja. U prvom redu definirana su polja procesnih boja (puni ton, 10% RTV, 20% RTV, 40% RTV, 70% RTV), te puni ton crne, 10% RTV, 20% RTV, 40% RTV, 60% RTV, 80% RTV crne). U drugom redu nalaze se RGB spotne boje (u punom tonu i u rasteru), te akromatske sive nastale iz CMY boja. U posljednjem trećem redu definirane su karakteristične tercijalne i sekundarne nijanse samo u punom tonu.



Slika 39 Klin Fogra Mediavedge

(Izvor: <https://www.tavija.si/izdelava-preiskusnih-otisov-z-inkjet-tiskalnikom>)

Svi eksperimentalni otisci su otisnuti i mjereni po preporukama Fogra 39 koje zahtijevaju postavku mjernih uvjeta M0, bijelu podloga, linijaturom rastera 60-80 linija po centimetru, ukupnu pokrivenost površine bojom 330% i primijenjeni profil ISO coated V2. U skladu sa Fogra 39 definirane su tolerancije vezane za dobar otisak. Pritom za CMY se definira idealna krivulja A dok se za crnu primjenjuje krivulja B. Dozvoljene tolerancije krivulje reprodukcije definirana su za tri područja: 0-30% RTV +/- 3%, 35-65% RTV +/- 4%, 70-95% RTV +/- 3%. Krivulje reprodukcije probnog otiska ostvarene na Epson SC-P5000 prikazane su na slici 40.



Slika 40 Grafovi krivulje reprodukcije probnog otiska ostvarene na Epson SC-P5000: a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija

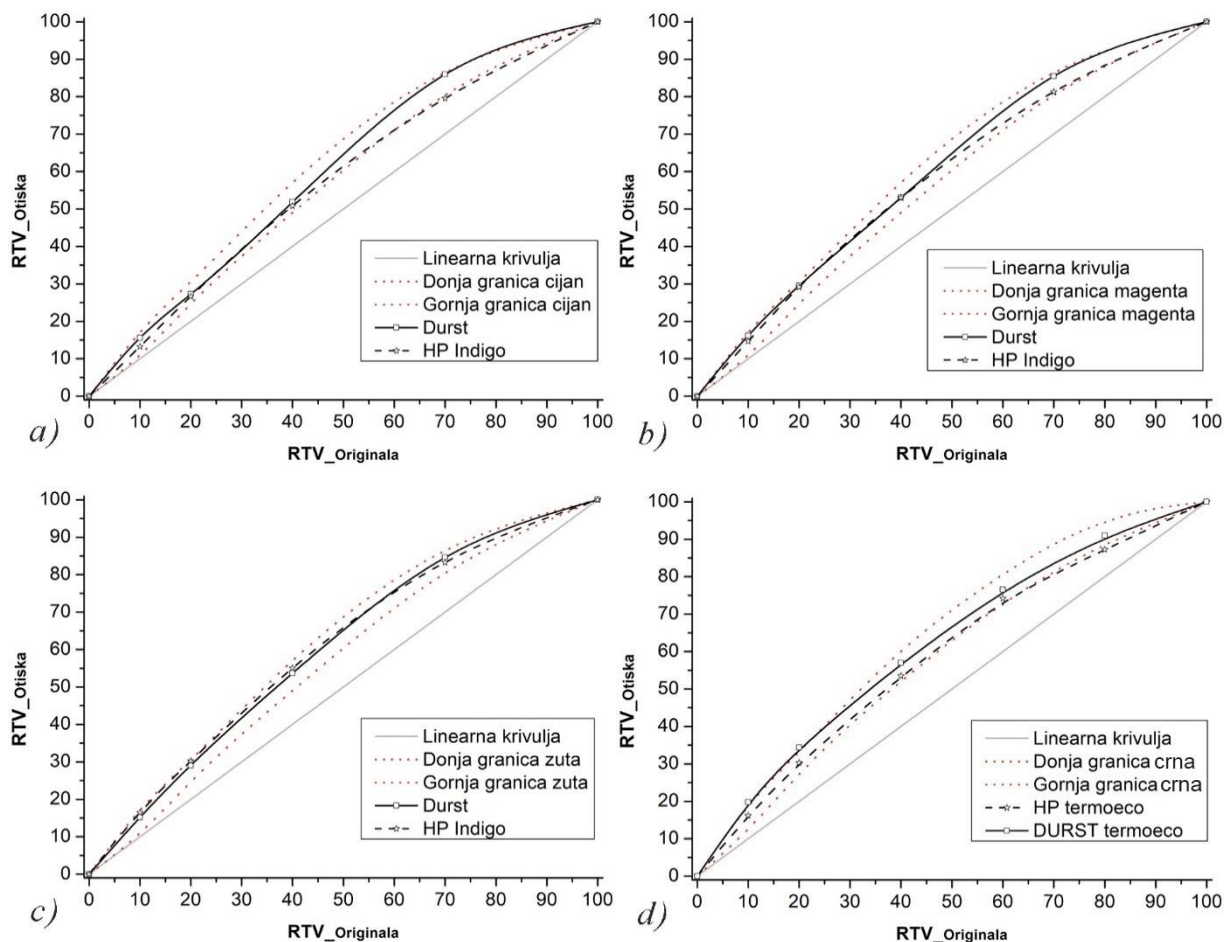
Cijan separacija Epson SC-P5000 probnog otiska prati gornju granicu tolerancije s tim da 40% i 70% RTV imaju smanjene raster tonske vrijednosti za $\Delta RTV_{40\%} = 0,77$ i $\Delta RTV_{70\%} = 1,1$. Niske tonske vrijednosti (10% i 20% RTV) na probnom otisku imaju minorna i ne zamjetna odstupanja i prate u potpunosti gornju granicu tolerancije. Samim time može se konstatirati da su cijan probni otisci korektno napravljene i mogu poslužiti za ugovorno probno otiskivanje (contract proof).

Magenta krivulja reprodukcije Epson SC-P5000 probni otisak odstupa od maksimuma te ostvaruje nešto više tonske vrijednosti. To odstupanje iznosi $\Delta RTV_{20\%} = 0,93$; $\Delta RTV_{40\%} = 1,07$; $\Delta RTV_{70\%} = 0,83$. To čini otisak nešto lošije kvalitete. Samim time magentne nijanse i crvene nijanse ne daju mogućnost točnog ostvarivanja te realizacije točne reprodukcije.

Žuta kolorna separacija se nalazi unutar dozvoljene tolerancije. Za sva analizirana područja može se očekivati besprijekornu reprodukciju žutih i narančastih nijansi. Pritom sva područja imaju smanjenje raster tonske vrijednost u odnosu na maksimalno dozvoljenu toleranciju $\Delta RTV_{10\%}=2,43$; $\Delta RTV_{20\%}=1,4$; $\Delta RTV_{40\%}=2,43$; $\Delta RTV_{70\%}=1,9$.

Crna kolorna separacija je također idealna te ide po sredini točno definiranog područja odstupanja. Pri tome svjetlija tonska područja 10% i 20% i najtamnija više osciliraju u odnosu na srednja $\Delta RTV_{10\%}=2,63$; $\Delta RTV_{20\%}=2,53$; $\Delta RTV_{40\%}=4,47$; $\Delta RTV_{60\%}=4,6$; $\Delta RTV_{80\%}=3,1$.

Na temelju izmjerenih krivulja reprodukcija dolazimo do zaključka da je probni otisak korektno reproduciran te na temelju njega možemo vršiti vizualnu procjenu otisaka. U ovom diplomskom radu testirane su dvije trenutno najproduktivnija digitalna tiskarska stroja (HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC) za proizvodnju etiketa. Na slici 41 i 42 prikazane su rezultati slikovne analize i denzitometrijska mjerenja na tiskovnoj podlozi Termoeco.



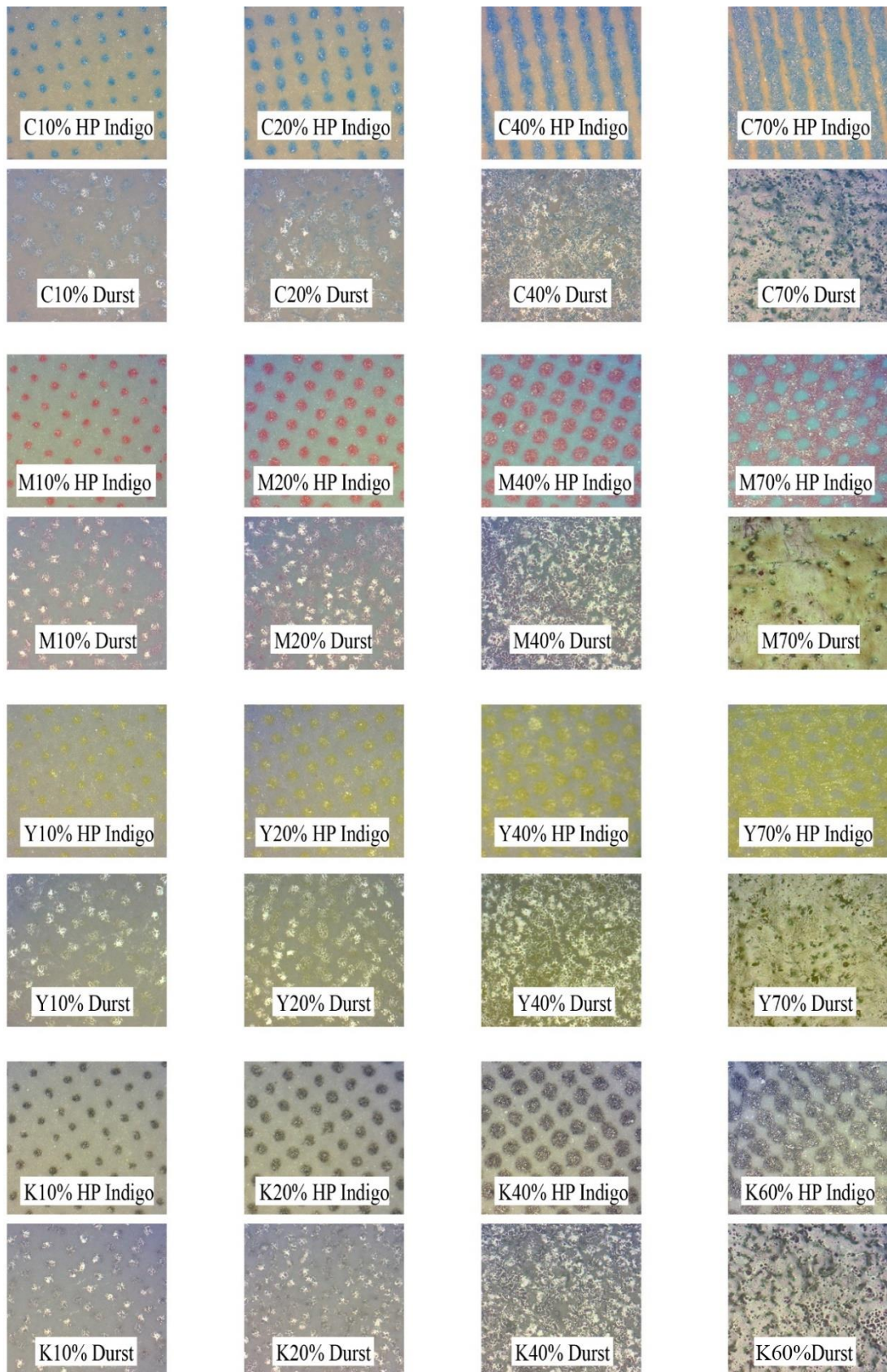
Slika 41 Grafovi krivulje reprodukcije HP Indigo i Durst Tau na Termoeco ScandTherm TCS : a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija

U odnosu na probni otisak eksperimentalni otisci na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC i HP Indigo WS 6900 manje variraju te mjerena raster tonska vrijednost ostaje u granicama dozvoljenog standarda. Ta činjenica vrijedi za tiskovnu podlogu sa dye osjetljivim premazom. UV Injekt Durst Tau 330 RSC tako ostvaruje nešto više raster tonske vrijednosti u odnosu na HP Indigo WS 6900. Za cijan realizirana separacija Durst Tau 330 RSC ima strmiju krivulju reprodukcije i daje tamnije tonske vrijednosti na otisku. To je vidljivo iz ostvarenih sljedećih tonskih razlika: $\Delta RTV_{10\%}=2,34$; $\Delta RTV_{20\%}=0,56$; $\Delta RTV_{40\%}=1,03$; $\Delta RTV_{70\%}=6,36$. Samim time razlike u krivuljama reprodukcije očituju se najviše u višim tonskim podacima gdje je i najvidljivija razlika u načinu nastajanja rasterskih površina.

Za magenta separaciju Durst Tau 330 RSC i HP Indigo WS 6900 nemaju razlike u području 20% i 40% RTV. Međutim u srednjim i višim tonskim područjima Durst Tau 330 RSC prati gornju krivulju reprodukcije te ima puno jače reproducirane tonove u odnosu na HP Indigo WS 6900 ($\Delta RTV_{10\%}=1,50$; $\Delta RTV_{20\%}=0,37$; $\Delta RTV_{40\%}=0,03$; $\Delta RTV_{70\%}=4,2$). Samim time da bi se to izjednačilo potrebno je u tim područjima smanjiti nanos Inkjet glavama.

Žute separacije gotovo su savršeno realizirane. Kod žute separacije HP Indigo WS 6900 ima višu raster tonsku vrijednost do područja od 50% RTV, a u tamnijim područjima Durst Tau 330 RSC ima veću raster tonsku vrijednost ($\Delta RTV_{10\%}=1,3$; $\Delta RTV_{20\%}=1,16$; $\Delta RTV_{40\%}=1,36$; $\Delta RTV_{70\%}=1,3$).

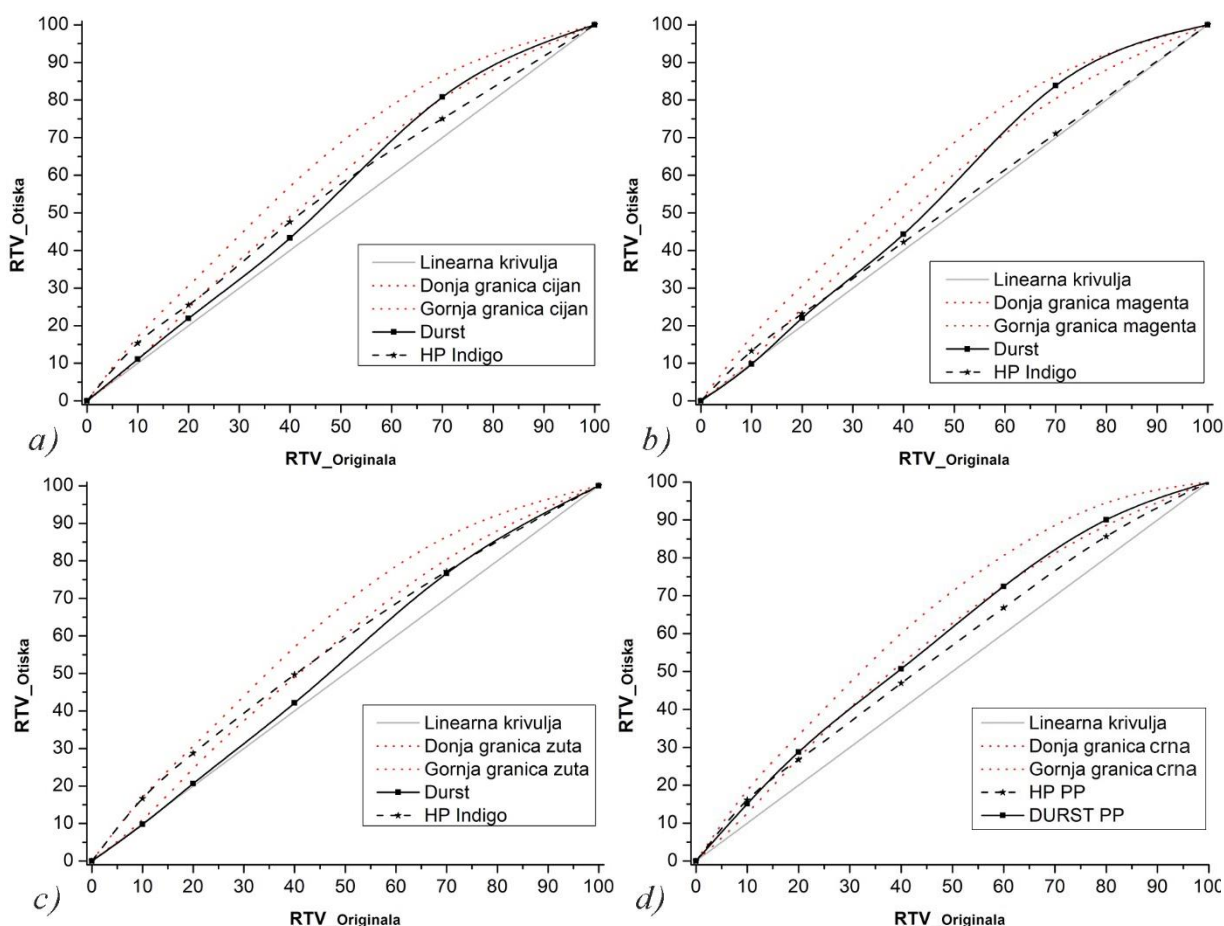
Crna separacija Durst Tau 330 RSC ima gotovo idealnu krivulju. Od 40% RTV pa naviše prati gornju granicu tolerancije krivulje. HP Indigo WS 6900 u svijetlim dijelovima tako ima idealnu krivulju do 50% RTV te nakon toga ta vrijednost pada ispod donje granice krivulje tolerancije ($\Delta RTV_{10\%}=3,57$; $\Delta RTV_{20\%}=4,07$; $\Delta RTV_{40\%}=3,46$; $\Delta RTV_{60\%}=2,3$; $\Delta RTV_{80\%}=3,67$). Stoga će se crna krivulja reprodukcije ovih strojeva značajno razlikovat te će biti obavezna linerizacija sustava. Sve ove razlike moguće je vidjeti i vizualno ako ih povećamo 25x. Na slici 42 prikazani su segmenti eksperimentalno otisnutih uzoraka za CMYK procesne boje.



Slika 42 Uvećani prikaz CMYK otiska nastalih na tiskovnom stroju HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi Termoeco ScandTherm TCS.

Na Termoeocom ScandTherm TCS materijalu okom vidljivi rasterski elementi dobiveni su samo kod HP Indigo (magenta i crna separacija). Ostale separacije su slabije vidljive. Razlog tome je primjena primer tekućine tijekom otiskivanja. Karakteristika Termoeoco ScandTherm TCS tiskovne podloge je i povećana njezina hrapavost. Samim time realizirani tiskovni elementi su nešto manjeg kontrasta. Posebice je to vidljivo kod cijana i žute. Zbog svoje velike upojnosti Durst Inkjet kapljice boje (tiskovni elementi) upijeni su u podlogu te se njihova struktura slabo uočava. Takva anomalija je kod Dursta za sve kolorne separacije.

Osim papirnih etiketa sve češće se upotrebljava polimerne materijale za koje vrijedi pravilo teže suše boju. Materijal za etikete koji se često koriste u ambalaži je polipropilen. Na slici 43 prikazane su krivulje reprodukcije na tiskovnoj podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 otisnuto na Inkjet i elektrofotgrafskom stroj.



Slika 43 Grafovi krivulje reprodukcije HP Indigo i Durst Tau na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 : a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija

Na tiskovnoj podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 otisnutoj na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 vidljivo je da sve separacije boja na tamnijim raster tonskim područjima idu ispod donje granice tolerancije standarda. Međutim svi svjetliji tonovi (10% i 20% RTV) se nalaze unutar granica dozvoljene tolerancije standarda. U odnosu na HP Indigo WS 6900 za cijan i magenta separacije Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 bilježe dosta niže raster tonske vrijednosti. Time se prati donja granica dozvoljene tolerancije standarda. Međutim za tamnija područja ostvaruju se krivulje u granicama dozvoljenog standarda.

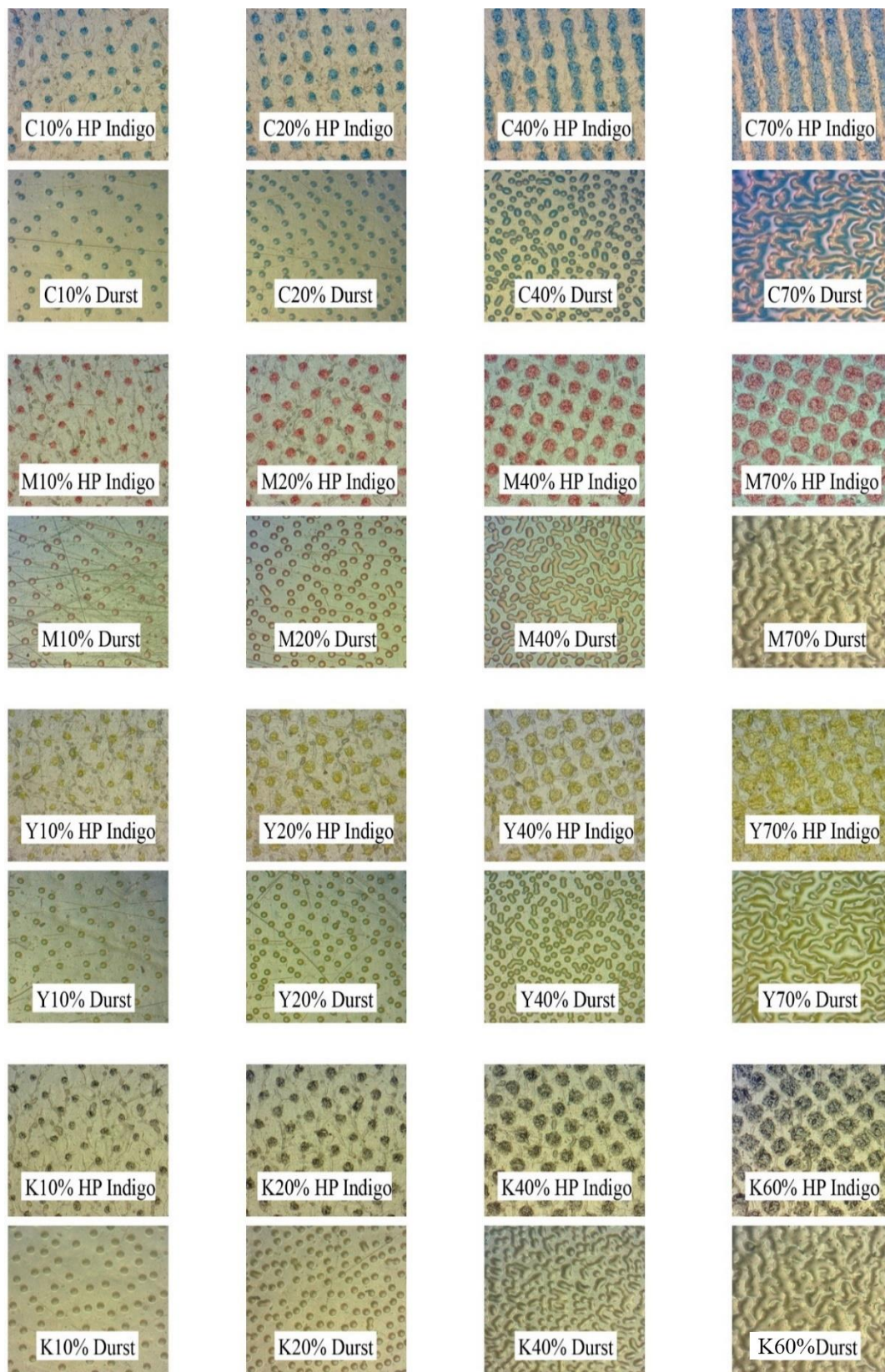
Za cijan separaciju HP Indigo WS 6900 ima veću raster tonsku vrijednost do područja od 50% RTV. Međutim u tamnijim područjima Durst Tau 330 RSC ima izraženu veću raster tonsku vrijednost i ta krivulja reprodukcije ulazi u dozvoljeni standard krivulje reprodukcije ($\Delta RTV_{10\%}=4,26$; $\Delta RTV_{20\%}=3,54$; $\Delta RTV_{40\%}=4,3$; $\Delta RTV_{70\%}=11,74$).

Separacije magente na oba dva tiskarska stroja idu ispod granice dozvoljene standardne tolerancije krivulje reprodukcije. Izuzetak je 10% RTV za HP Indigo WS 6900 i 70% RTV za tiskarski stroj Durst Tau 330 RSC. Tada otisak prelazi u granice krivulje reprodukcije ($\Delta RTV_{10\%}=3,56$; $\Delta RTV_{20\%}=1,14$; $\Delta RTV_{40\%}=2,13$; $\Delta RTV_{70\%}=12,73$). Time je vidljivo da prve dvije separacije (CM) imaju rapidno veća kolorna odstupanja u području od 70% RTV-a. Razlog tome može biti postupak nanašanja primera koji je prisutan prilikom otiskivanja na HP Indigo stroju.

Durst žuta separacija na svim područjima mjerenog RTV-a ima niže raster tonske vrijednosti u odnosu na donju granicu dozvoljene tolerancije standarda i otiska realiziranih na konkurentnom HP Indigo WS 6900. Tako žuta separacija na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 se mijenja za gotova sva mjerenja te se nalazi u granicama tolerancije krivulje reprodukcije. Samim time ima veću raster tonsku vrijednost od otiska na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC ($\Delta RTV_{10\%}=6,92$; $\Delta RTV_{20\%}=8,1$; $\Delta RTV_{40\%}=7,54$; $\Delta RTV_{70\%}=0,53$). Iz ovakvih rezultata nameće se potreba korekcija samo nižih tonskih vrijednosti.

Durst crna separacija je zadovoljavajuća te prati donju granicu dozvoljene tolerancije standardne krivulje reprodukcije. Za sva mjerena crne polja otisnuta na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC vidljivo je da ona dobro prati donju granicu tolerancije krivulje reprodukcije. Za razliku od HP Indigo WS 6900 koji na svim mjerenim poljima prati vrijednost donje granice krivulje reprodukcije. Izuzetak je RTV polje od 10% koje se nalazi točno na sredini dozvoljene tolerancije standardne krivulje reprodukcije ($\Delta RTV_{10\%}=1$; $\Delta RTV_{20\%}=2$; $\Delta RTV_{40\%}=3,8$; $\Delta RTV_{60\%}=5,63$; $\Delta RTV_{80\%}=4,4$).

Ovako velike oscilacije u krivuljama reprodukcije vidljive su i na uvećanim uzorcima koji su prikazani na slici 44.



Slika 44 Uvećani prikaz CMYK otiska nastalih na tiskovnom stroju HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi polipropilen Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

Iz uvećanih segmenata otiska vidljivo je da HP cijan posjeduje specijalni tip amplitudnog rastriranja gdje se sa povećanjem RTV povećava veličina rasterskih točkica. U višim tonskim površinama dolazi i do njihovog spajanja te formiranja linijskih uzoraka. Durst otiske karakterizira FM rastriranje gdje se broj kapljica (rasterskih točkica) povećava sa površinskom pokrivenošću. Stoga su djelovanjem UV LED lampi formiraju pravilni točkasti elementi finog geometrijskog oblika. U srednjim i višim tonskim područjima takve kapljice se povezuju u veće aglomerate čime se gubi kružnost. Ista anomalija se vidi i kod MYK boja.

4.2. Relativni tiskarski kontrast

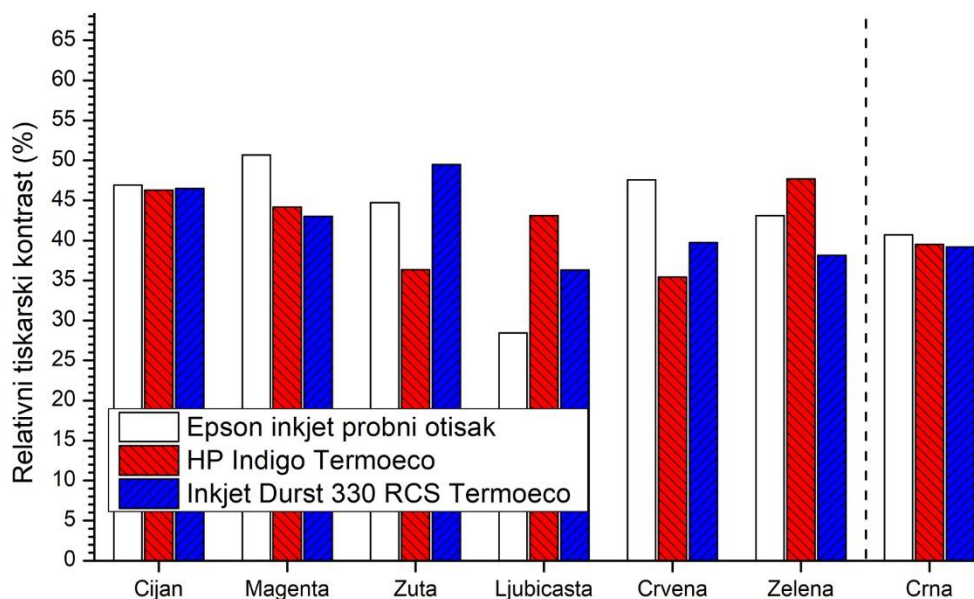
Kao alternativa praćenju raser tonske vrijednosti ponekad se izračunava relativni tiskarski kontrast K_{rcl} (%). On je posebno osjetljiv u tročetvrtinskom tonu, što je iskorišteno za kvalitetniju rezoluciju rastera i punog tona. Izračunava se formulom:

$$K_{rcl} (\%) = \frac{D_{70\% RTV}}{D_{100\% RTV}} \times 100 \quad [4]$$

gdje je $D_{70\% RTV}$ tri četvrtinsko polje punog tona, a $D_{100\% RTV}$ predstavlja puni ton otiska.

Otisku bi uvijek trebali biti što je moguće više kontrastani. To znači da puni tonovi moraju imati visoku gustoću obojenja, dok bi otisnuti raster trebao biti što otvoreniji. Pri povećanju nanosa boje (s čime je povezan i porast gustoće boje rasterske točkice), kontrast će biti jači. Takav postupak ima smisla samo do određene granice, nakon čega rasterske točkice postaju veće, a time i popunjenije. Tako se smanjuje udio bjeline papira, a kontrast slabi. Ako se u tijeku tiska kontrast smanjuje unatoč kontrastnoj gustoći punog tona, to može biti znak da treba oprati gumene podloge. Pri ispravnoj gustoći punog tona mogu se uz pomoć vrijednosti kontrast procjenjivat i drugi faktori koji utječu na konačni rezultat tiska. To su: pritisak cilindara i zone kontakta ofsetne gume i podloge ispod nje, tekućina za vlaženje, tiskarske boje i dodaci.

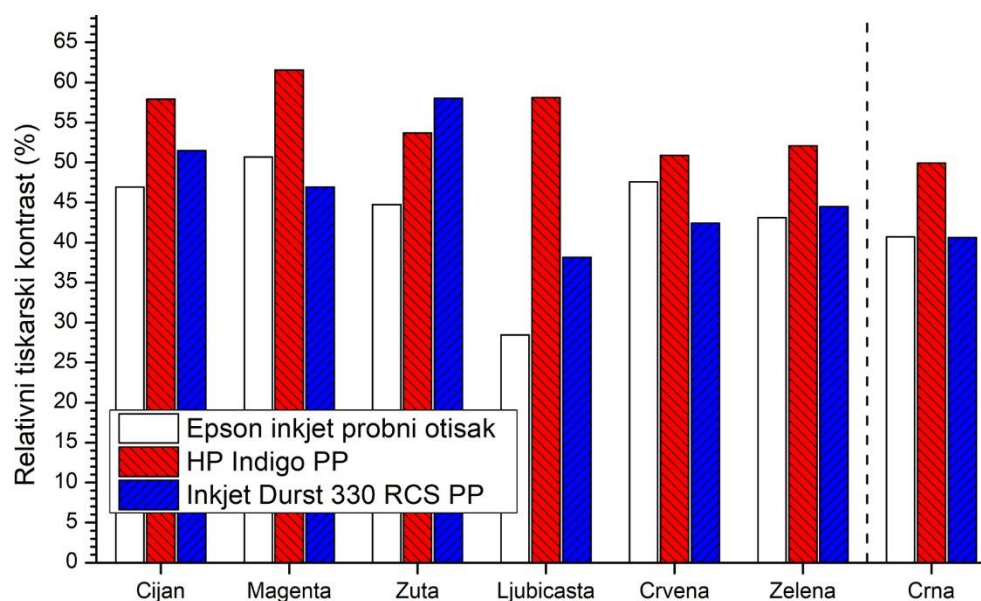
Ako nam na raspolaganju nije mjerni instrument s direktnim pokazivačem vrijednosti kontrasta, relativni tiskarski kontrast može se izračunati ili izraziti uz pomoć FOGRA-klina. S obzirom da relativni tiskarski kontrast za razliku od povećanja tonske vrijednosti u velikoj mjeri ovisi o aktualnoj gustoće punog tona, neprikladan je kao standardizirana varijabla. Stoga se njegov značaj osjetno smanjio u posljednje vrijeme. Na slici 45 prikazani su rezultati izmjereneog kontrasta na strojevima HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC za sve CMYKRGB boje. [29]



Slika 45 Relativni tiskarski kontrast za tiskovnu podlogu Termoecco ScandTherm TCS

Na grafikonu slike 45 dani su prikazi relativnog tiskarskog kontrasta referentnog uzorka napravljenog na printeru Epson SC-P5000. Stoga takva vrijednost bi trebala biti idealna i maksimalna. Otisci napravljeni na tiskovnoj podlozi Termoecco ScandTherm TCS koji su otisnuti sa tiskovnim strojem HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC su realni i nastali su u normalnim proizvodnim uvjetima (ne u laboratoriju). Za potrebe dobivanja relativnog tiskarskog kontrasta mjerena su polja punog tona za separacije cijana, magente, žute, ljubičaste, crvene, zelene i crne, te rasterskog polja od 70% RTV. Jedini izuzetak je crna separacija gdje je se koristilo polje od 80% RTV. Rezultati pokazuju da HP Indigo WS 6900 ima bolji kontrast u odnosu na Durst Tau 330 RSC. Uspoređujući dobivene rezultate dva sistema bazirana na denzitometrijskim mjerenjima relativnog tiskarskog kontrasta zamjećene su sljedeće činjenice u kojim je HP Indigo WS 6900 bolji: magenta ($\Delta K_{rcl} = 1,17\%$),

ljubičasta ($\Delta K_{rci}= 6,77\%$), zelena ($\Delta K_{rci}= 9,53\%$) i crna ($\Delta K_{rci}= 0,30\%$). Međutim za separacije cijana ($\Delta K_{rci}= 0,2\%$), žute ($\Delta K_{rci}= 13,1\%$) i crvene ($\Delta K_{rci}= 4,3\%$) izmjeren bolji kontrast je ostvaren na tiskovnom stroju Durst Tau 330 RSC. Za tiskovnu podlogu Termoeco ScandTherm TCS kod HP Indigo WS 6900 zelena separacija ima najveći kontrast ($K_{rci}= 47,7$), dok crvena separacija ima najlošiji kontrast ($K_{rci}= 35,43\%$). Tiskarski stroj Durst Tau RSC tako najbolji kontrast ima za žutu separaciju ($K_{rci}= 49,47\%$), a za ljubičast separaciju najmanji kontrast ($K_{rci}= 36,33\%$). Promjenom tiskovne podloge vrijednost relativnog kontrasta se rapidno mjenja. Na slici 46 dani su rezultati relativnog tiskarskog kontrasta za tiskovnu podlogu OPP TC white gloss 60.



Slika 46 Relativni tiskarski kontrast za tiskovnu podlogu OPP TC white gloss 60

Relativni tiskarski kontrast ostvaren na tiskovnoj podlozi OPP TC white gloss 60 ima veće razlike u odnosu na relativni tiskarski kontrast izmjeren za tiskovnu podlogu Termoeco ScandTherm TCS. U odnosu na otiske napravljene na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC, kod otiska koji je otisnut na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 kontrast je veći za sve separacije boja osim žute separacije. Razlika za sve ispitane separacije između ta dva stroja tako iznosi: cijan ($\Delta K_{rci}= 6,4\%$), magenta ($\Delta K_{rci}= 14,6\%$), žuta ($\Delta K_{rci}= 4,36\%$), ljubičasta ($\Delta K_{rci}= 19,03\%$), crvena ($\Delta K_{rci}= 8,47\%$), zelena ($\Delta K_{rci}= 7,57\%$) i crna ($\Delta K_{rci}= 9,3\%$). Na tiskovnoj podlozi OPP TC white gloss 60 HP Indigo WS 6900 tako ima najbolji kontrast za magenta separaciju ($\Delta K_{rci}= 61,53\%$), a

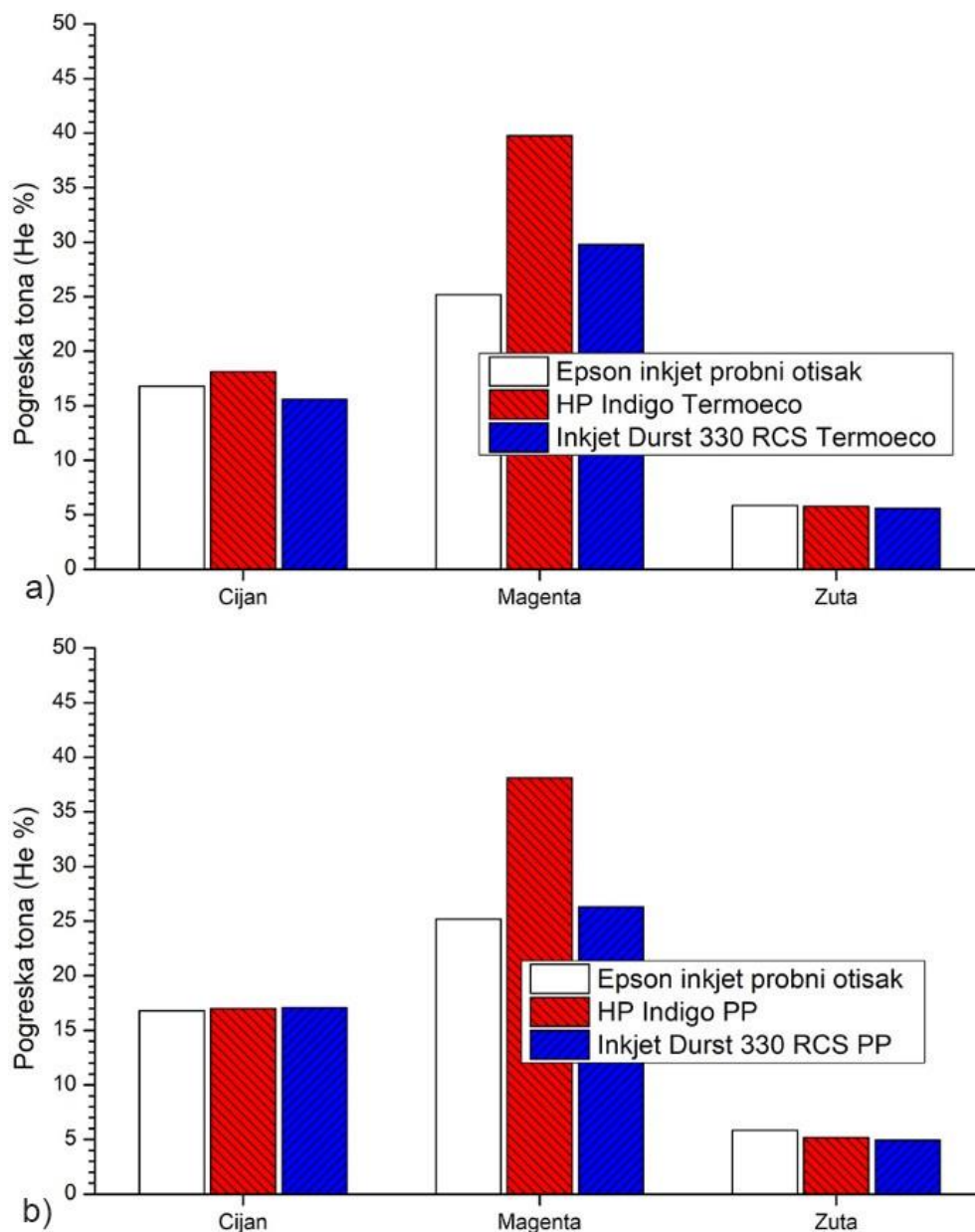
najlošiji kontrast za crvenu separaciju ($\Delta K_{rci}= 50,30\%$). Najbolji kontrast na tiskovnom stroju Durst Tau RSC ostvaren je za žutu separaciju ($\Delta K_{rci}= 58,03\%$), a najlošiji kontrast za ljubičastu separaciju ($\Delta K_{rci}= 38,17\%$).

4.3. Pogreška tona

Mjerenje i kontrola boje i razine njenog onečišćenja tijekom tiska je vrlo važan parametar te je često i primarni korak pri analizi tiskara i postizanju dosljedne boje na tisku. Pomoću denzitometra i izračunavanjem pogreške tona i sivoće možemo otkriti količinu onečišćenja koja vrijede samo za procesne boje (cijan, magenta i žuta). Greška tona izračunava se kako bi se izmjerila i kontrolirala moguća onečišćenja prisutnih u CMY tiskarskim bojama. Pogreška tona se izračunava pomoću formule:

$$HE(\%) = \frac{D_m - D_{min}}{D_{max} - D_{min}} \times 100\% \quad [5]$$

gdje je D_{min} najmanja izmjerena denzitometrijska vrijednost od 3 kanala, a D_{max} najviša izmjerena denzitometrijska vrijednost od 3 kanala, te D_m srednja izmjerena denzitometrijska vrijednost od 3 kanala. Budući da nije ekonomski izvedivo proizvesti čiste tiskarske boje, moramo prihvatiti određenu količinu onečišćenja u procesnim bojama. Standardni denzitometar tako ima četiri filtera koja se koriste za mjerenje gustoće četiri procesne boje; (crna, cijan, magenta i žuta). Stavljanjem jednog od tih filtera između reflektirajuće površine (boje i papira) i sabirne optike, denzitometar može točno mjeriti određenu separaciju. Kako su sve boje izrađena u različitim omjerima cijan, magenta i žuta, mjerenjem boje kroz svaki pojedinačni filter može se dobiti profil boje koji ilustrira količinu svake boje u jednoj nijansi boje. Analiza pogreške tona procesnih boja (CMY) otisnutih na tiskarskim strojevima HP Indigo WS 6900, Durst Tau 330 RSC i printeru Epson SC-P5000 za probno otiskivanje prikazana je na slici 47. [29]



Slika 47 Pogreška tona CMY separacija za tiskovne podloge: a) Termoecco ScandTherm TCS b) Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

Na tiskarskoj podlozi Termoecco ScandTherm TCS cijan separacija ostvaruje ujednačenu pogrešku tona za sve tri testirane mašine. Vrijednostima pogreške tona ističe se otisak na HP Indigo WS 6900 gdje je $HE_{HP_Indigo}=18,13\%$ i Durst Tau 330 RSC $HE_{Durst_Tau}=15,6\%$. To znači da cijan tekuće elektrofotografsko bojilo i Inkjet Durst boja nije ista te ima pogrešku tona $\Delta HE=2,53\%$. Cijan Inkjet za probno otiskivanje Epson SC-P5000 također posjeduje značajnu grešku u tonu koja iznosi $HE_{Epson}=16,80\%$. Razlog tome je korištenje i svijetlog cijana koji se koristi za realizaciju cijan tonova.

Kao i kod klasičnih tehnika tiska magenta tiskarska bojila posjeduju najveću pogrešku tona. Ta pogreška se očituje u nijansi koja skreće u crveno područje. Elektroink magentna boja ima veliku pogrešku u tonu $HE_{HP_Indigo}=39,77\%$, dok UV boja Inkjet boja za Durst Tau 330 RSC ima manju pogrešku tona $HE_{Durst_Tau}=29,8\%$. Samim time može se uočiti oscilacije u otisnutim magentnim tonovima $\Delta HE=9,97\%$. Inkjet boja za probno otiskivanje je u ovom eksperimentu najkvalitetnija te posjeduje nisku pogrešku tona $HE_{Epson}=25,17\%$. Samim tim za očekivati je da će pri kalibraciji produkcijskih strojeva imati veće oscilacije magentnog tona. Na žalost zbog toga se u praksi mogu očekivati značajnija odstupanja u kolorimetrijskim mjerenjima.

Kod podloge Termoeco ScandTherm TCS žuta procesna boja je zbog specifičnosti pigmenata najkvalitetnija, te ne postoji značajnija razlika između tri tiskarska stroja. Njihova pogreška tona je gotovo identična: $HE_{HP_Indigo}=5,77\%$; $HE_{Durst_Tau}=5,6\%$; $HE_{Epson}=5,87\%$.

Promjenom tiskarske podloge (Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60) nije uočena značajnija razlika u pogrešci tona. U odnosu na Termoeco ScandTherm TCS podlogu ostala je ujednačena. Posebice je to vidljivo kod cijan separacije gdje je razlika između tri tiskarska stroja gotovo jednaka te iznosi: $HE_{HP_Indigo}=17\%$; $HE_{Durst_Tau}=17,07\%$; $HE_{Epson}=16,8\%$.

Kod magentne separacije najveću pogrešku tona opet ima HP Indigo WS 6900, ona iznosi $HE_{HP_Indigo}=38,1\%$. Na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 podlozi Durst Tau 330 RSC ima bolji otisak (manju pogrešku tona). Termoeco ScandTherm TCS podloga tako ima pogrešku tona $HE_{Durst_Tau}=26,3\%$.

Na podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 žuta separacija ima manju pogrešku tona za obje testirane tehnologije otiskivanja. Izmjerena pogreška tona tako iznosi: $HE_{HP_Indigo}=5,2\%$ i $HE_{Durst_Tau}=4,97\%$.

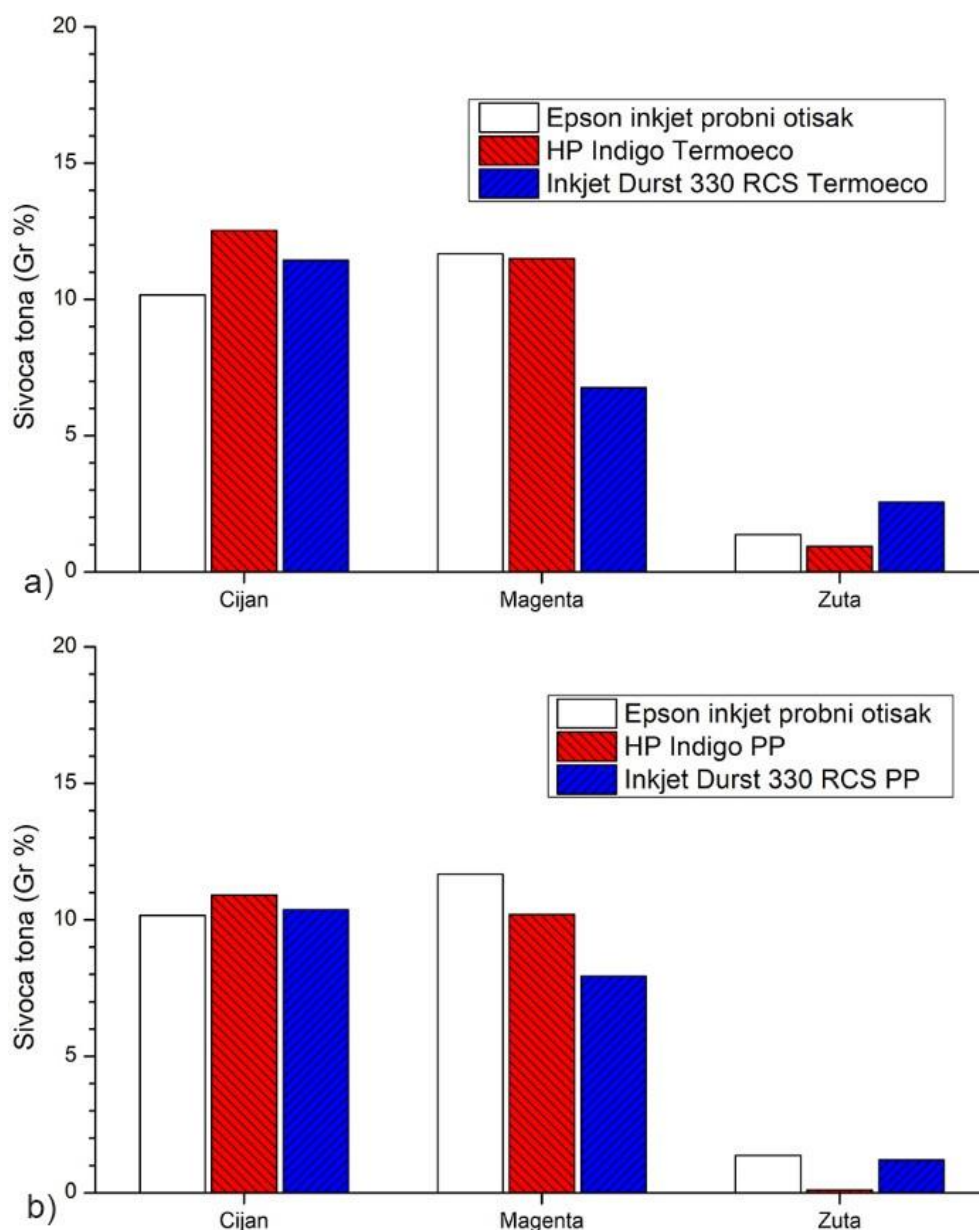
Sveukupno gledano HP Indigo WS 6900 tako ima veću pogrešku tona što znači i lošiji otisak u odnosu na Durst Tau 330 RSC. Posebice je to izraženo u magenta separaciji $\Delta HE=11,8\%$, dok za druge separacije nemaju značajnije razlike. Na žalost zbog toga se u praksi mogu očekivati značajnija odstupanja u kolorimetrijskim mjerenjima.

4.4. Sivoća tona

Kao i kod pogreške tona sivoća tona je svojstvo boje koja ukazuje da boja izgleda prljavo te da ima smanjenje zasićenost ili sjaja tona. Međutim ne mora se nužno vizualno primijetiti na tonu boje ili nijansi. Prilikom određivanja sivoće (grayness), promatra se udio svih procesnih šarenih boja (CMY). Mjeri se uslijed realne refleksije, na isti način kao i pogreška tona. Što je dobivena vrijednost sivoće manja, njihova kromatičnost je veća, čime je ostvarena kvalitetnija reprodukcija. Sivoća tona se izračunava preko formule:

$$GR(\%) = \frac{D_{min}}{D_{max}} \times 100 \quad [6]$$

gdje je D_{min} najmanja denzitometrijska vrijednost od 3 kanala, a D_{max} najviša denzitometrijska vrijednost od 3 kanala. Vrijednost sivoće boja služi kao indikator za određivanje čistoće procesnih boja, te direktno pokazuje sadržaj sivih tonova unutar tiskarskih boja. [29] Sivoća primarnih tonova i analiza otisaka tiskarskih strojeva HP Indigo WS 6900, Durst Tau 330 RSC i printera Epson SC-P5000 za probno otiskivanje prikazana je na slici 48.



Slika 48 Sivoća CMY boja na tiskovnoj podlozi: a)Termoecco ScandTherm TCS
b)Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

Kod sve tri procesne boje otisnute na podlozi Termoecco ScandTherm TCS vidljivo je da žuta ima najmanju sivoću tona, dok cijan i magenta imaju sličnu sivoću tona. Preciznijom analizom cijan otiska, vidljivo je da ova boja ima izmjerenu najveću vrijednost za tiskarski stroj HP Indigo WS 6900 ($GR_{HP_Indigo}=12,53\%$), dok Durst Tau 330 RSC ima sivoću ($GR_{Durst_Tau}=11,43\%$). Samim time vidimo da je otisak HP Indigo WS 6900 lošiji za $\Delta GR=1,1\%$. Idealna boja za probno otiskivanje instalirana je na prineteru Epson SC-P5000 ima sivoću od $GR_{Epson}=10,17\%$.

Kod magente separacije vidljivo je da su otisci na tiskarskim strojevima HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC veće kvalitete u odnosu na boju za probni otisak. Razlog tomu je što se magentni tonovi realiziraju sa dvije magente (standardna magenta i svijetla magenta). Sivoća probnog otiska magenta separacije na printeru Epson SC-P5000 tako iznosi $GR_{Epson}=11,67\%$. Eksperimentalni otisci imaju nešto manju sivoću, te izmjerene vrijednosti iznose: $GR_{HP_Indigo}=11,50\%$; $GR_{Durst_Tau}=6,77\%$. Iz toga se vidi da otisak Durst Tau 330 RSC ima nižu sivoću za $\Delta GR=4,73\%$.

Otisak žute separacije ima najmanju sivoću. To znači da je žuta boja ujedno i najčišća. Najmanju sivoću ima boja koja je korištena na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 ($GR_{HP_Indigo}=0,93\%$), dok Durst Tau 330 RSC ima najveću sivoću boje $GR_{Durst_Tau}=2,57\%$. Samim time boja korištena na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 je bolje kvalitete, te ima manju sivoću za žutu separaciju od $\Delta GR=1,64\%$.

Promjenom tiskarske podloge (Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60) otisak postaje kvalitetniji i bolji za sve tri procesne boje. Ovdje se može vidjeti da se sivoća za cijan separaciju gotovo izjednačila s probnim otiskom printera Epson SC-P5000 ($GR_{HP_Indigo}=10,9\%$; $GR_{Durst_Tau}=10,37\%$). Razlika između dva otiska na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 je gotovo minimalna te iznosi $\Delta GR=0,53\%$. Za razliku od otisaka na tiskovnoj podlozi Termoeco ScandTherm TCS ostvarena razlika iznosi $\Delta GR=4,73\%$.

Kod magente separacija izmjerena sivoća za otisak napravljen na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 i podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 daje bolje rezultate od otiska na podlozi Termoeco ScandTherm TCS ($GR_{HP_Indigo}=10,2\%$). Otisak napravljen na Durst Tau 330 RSC tako ima veću sivoću na podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 ($GR_{Durst_Tau}=7,93\%$). Durst TAU 330 RSC sadržava kvalitetniju boju u odnosu na korištenu boju za HP Indigo WS 6900. takva razlika iznosi $\Delta GR=2,27\%$

Za žutu separaciju HP Indigo WS 6900 gotovo da nema sivoće ($GR_{HP_Indigo}=0,1\%$), a Inkjet Durst TAU 330 RSC ima sivoću od $GR_{Durst_Tau}=1,2\%$. Iz toga se vidi da razlika u sivoći između dvije boje iznosi $\Delta GR=1,1\%$.

Sveukupno gledano možemo vidjeti da cijan separacija otisnuta na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 na podlozi Termoecco ScandTherm TCS ima najveću sivoću $GR_{HP_Indigo}=12,53\%$. Žuta separacija na istom stroju ali drugoj tiskovnoj podlozi (Arconvert OPP TC WHITE GLOSS) ima najmanju sivoću $GR_{HP_Indigo}=0,1\%$. Samim time i tiskarska podloga ima značajan utjecaj na ostvarenu sivoću tonova.

4.5. Prihvatanje boje na boju

Kvaliteta rada tiskarskih strojeva i pisača uvelike ovisi o točnoj realizaciji različitih boja jedne na drugu. Da bi umanjili učinke pogrešnog prihvatanja boje na boju, tiskari su razvili tehniku koja se zove „trapping“. „Trapping“ je metoda testiranja područja na kojima se otiskuju dvije različite boje (200% nanos), tako da točna realizacija tlaka neće uzrokovati neujednačene površine. Što je vrijednost „trapping“ veća to je kvaliteta otiska bolja.

U praksi postoje dvije vrste „trappinga“:

1. prekrivanje u kojem svjetlija nijansa (boja) prekriva tamniju pozadinsku nijansu (boju).
2. prekrivanje u kojoj svjetlija pozadinska nijansa (boja) biva prekrivena sa drugom tamnijom nijansom (bojom).

„Trapping“ je moguće izračunati preko dvije formule, ovisno o tome jeli koristimo dvije ili tri boje prilikom otiskivanja. Formula za izračunavanje „trapping“ prilikom korištenja dvije boje glasi:

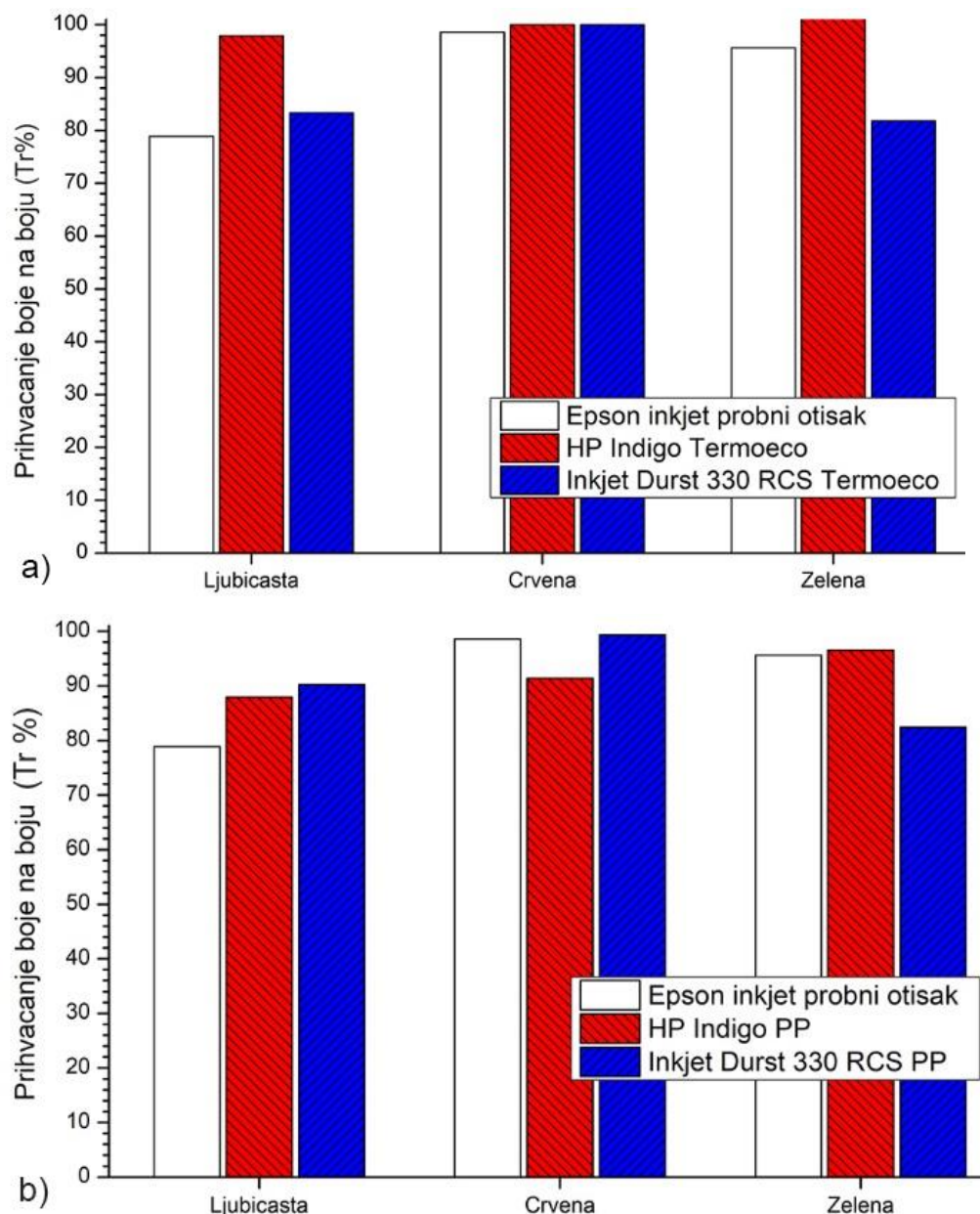
$$FA_{21}[\%] = \frac{D_{1+2} - D_1}{D_2} \times 100\% \quad [7]$$

gdje je D_{1+2} je gustoća boje dvije preklapljene boje, D_1 je gustoća boje koja je prvo otisnuta, D_2 je gustoća boje koja je otisnuta druga po redu. Gustoća boje se mora mjeriti korištenjem filtera druge otisnute boje (D_2). Formula za izračunavanje „trapping“ prilikom korištenja tri boje glasi:

$$FA_{312}[\%] = \frac{D_{1+2+3} - D_{1+2}}{D_3} \times 100\% \quad [8]$$

gdje je D_{1+2+3} je gustoća boje tri preklapljenе boje, D_1 je gustoća boje koja je prvo otisnuta, D_2 je gustoća boje koja je otisnuta druga po redu, a D_3 je gustoća boje koja je otisnuta posljednja. Gustoća boje se mora mjeriti korištenjem filtera treće otisnute boje (D_3). [29]

Analiza prihvaćanja boje na boju („trapping“) na uzorcima otisnutih na tiskarskim strojevima HP Indigo WS 6900, Durst Tau 330 RSC i printeru Epson SC-P5000 za probno otiskivanje prikazana je na slici 49.



Slika 49 Trapping RGB nijansi za dvije tiskovne podloge: a)Termoecco ScandTherm TCS b)Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60

Za ljubičasto-plavu boju najbolje prihvaćanje boje na boju imati će tiskovna podloga Termoeco ScandTherm TCS otisnuta na HP Indigo WS 6900 ($Tr_{HP_Indigo}=97,93\%$). Kako tehnika Inkjet nema klasično otiskivanje boju na boju već se odjednom otiskuju sve separacije (kapljice bojila) vrijednost trapinga nije usporediva sa klasičnim načinom otiskivanja (tandem konstrukcija tiskarskih strojeva). Ipak Durst i Epson otisci se mogu direktno uspoređivati. Zbog prethodno spomenutih osobina Durst Tau 330 RSC otisak ima značajno lošije prihvaćanje boje na boju ($Tr_{Durst_Tau}=83,33\%$). Samim time HP Indigo WS 6900 ima bolji „trapping“ $\Delta Tr=14,6\%$ u odnosu na otisak dok Durst Tau 330 RSC. Printeru Epson SC-P5000 za probno otiskivanje ima najlošiji „trapping“ $Tr_{Epson}=78,87\%$. Razlog tome je nanašanje 7 boja odjednom. Gdje se izvodi rastersko miješanje izazvano nanašanjem sitnih kapljica boje.

Crvena nijansa na podlozi Termoeco ScandTherm TCS ima ostvareno najbolje prihvaćanja boje na boju za sva tri tiskarska stroja. Njihova vrijednost iznosi: $Tr_{HP_Indigo}=100\%$; $Tr_{Durst_Tau}=100\%$; $Tr_{Epson}=98,6\%$. Samim time ona je idealna.

„Trapping“ za zelenu nijansu kod tiskarskog stroja HP Indigo WS 6900 ima također maksimalnu vrijednost $Tr_{HP_Indigo}=100\%$, a time i bolju kvalitetu zelenog otiska u odnosu na Durst Tau 330 (RSC $Tr_{Durst_Tau}=81,80\%$). Time je ostvarena razlika od $\Delta Tr=21,4\%$. Otisak ostvaren printerom za probno otiskivane Epson SC-P5000 zbog tehnologije otiskivanja nije idealan te iznosi $Tr_{Epson}=95,63\%$.

Promjenom tiskovne podlogu (Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60) dolazi do lošijeg prihvaćenja boje na boju u odnosu na podlogu Termoeco ScandTherm TCS. Ovdje se može vidjeti da „trapping“ kod tiskarskog stroja HP Indigo WS 6900 znatno lošiji te za ljubičastu-plavu nijansu vrijednost iznosi $Tr_{HP_Indigo}=87,97\%$, crvenu nijansu $Tr_{HP_Indigo}=91,40\%$ te zelenu nijansu $Tr_{HP_Indigo}=96,53\%$.

Međutim; tiskovnu podlogu Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 pozitivno utječe na tiskarski stroj Durst Tau 330 RSC te on ostvaruje bolje vrijednosti „trapping“ za sve tri spotne boje. „Trapping“ za ljubičasto-plavu nijansu tako iznosi $Tr_{Durst_Tau}=90,23\%$, crvenu nijansu $Tr_{Durst_Tau}=99,40\%$ te zelenu nijansu $Tr_{Durst_Tau}=82,43\%$.

Inkjet tiskarski stroj Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 tako ostvaruje bolje rezultate u ljubičasto-plavoj nijansi za $\Delta Tr=2,26\%$ u crvenoj nijansi $\Delta Tr=8\%$, dok za zelenu nijansu bolje prihvaćanje boje

na boju ima HP Indigo WS 6900 $\Delta Tr=14,1\%$. Samim time preporuka za Durst strojeve je korištenje polimerne tiskovne podloge, a ne hrapave i neujednačene papirne podloge.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju denzitometrijskog istraživanja digitalno generiranih otisaka u tehnici elektrofotografiji (HP Indigo WS 6900) i Inkjet (Durst Tau 330 RSC) vidljivo je da otisci napravljeni na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC više odgovaraju FOGRA 39 standardu (33 pozitivne ocjene u odnosu na 27 negativnih).

Ovisno o ispitivanoj boji i metodi analize vidljivo je da svaki test ima svoju specifičnost. Tako će krivulje reprodukcije na papiru Termoeco ScanTherm TCS biti bolje na stroju Durst Tau 330 RSC (11 pozitivnih ocjena u odnosu na 6 negativnih).

Izmjerene vrijednosti kontrasta su podjednako dobre za oba dva tiskovna stroja. Tako HP Indigo WS 6900 ima bolji kontrast za separaciju magente i crne, dok Durst Tau 330 RSC ima bolji kontrast za separaciju cijan i žutu.

Pogreška tona je bolja kod otisaka napravljenih na tiskarskom stroju Durst Tau 330 RSC (3 pozitivne ocjene u odnosu na 0 negativnih).

Sivoća je bolja kod tiskarskog stroja Durst Tau 330 RSC (2 pozitivne ocjene u odnosu na 1 negativnu).

Zbog ofsetnog načina otiskivanja ostvareni trapping je znatno bolji kod otisaka napravljenih na tiskarskom stroju HP Indigo WS 6900 koji za gotovo sve tri boje (ljubičasta, crvena, zelena) ima 100% poklapanje boja (3 pozitivne ocjene u odnosu na 0 negativnih).

Promjenom tiskovne podloge (Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60) stanje se mijenja te u odnosu na standard bolje krivulje reprodukcije ostvarenu su na HP Indigo WS 6900 (10 pozitivnih ocjena i 7 negativnih).

Bolja vrijednost kontrasta ostvarena je također na HP Indigo WS 6900 (3 pozitivne ocjene i 1 negativnom).

Ostvarena pogreška tona je bolja kod otisaka napravljenih na HP Indigo WS 6900 (2 pozitivne ocjene i 1 negativnom).

Ostvarena sivoća i trapping imaju slične rezultate, te su bolji otisci napravljeni Durst Tau 330 RSC (2 pozitivne ocjene u odnosu na 1 negativnu).

Tablica 10 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Termoeco ScanTherm TCS tiskovnoj podlozi

	Odstupanje RTV-a u odnosu na standard				Vrijednost kontrasta (60%)	Ostvarena pogreška tona (0%)	Ostvarena sivoća (0%)	Ostvareni trapping (100%)
	10%	20%	40%	70%				
HP Indigo WS 6900 cijan (ljubičasta)	0,77 (+)	0,93 (-)	2,20 (-)	3,83 (-)	-13,70 (-)	18,13 (-)	12,53 (-)	2,07 (+)
Durst Tau 330 RSC cijan (ljubičasta)	-1,57 (-)	0,37 (+)	1,17 (+)	-2,53 (+)	-13,50 (+)	15,6 (+)	11,43 (+)	16,67 (-)
HP Indigo WS 6900 magenta (crvena)	-0,70 (+)	-1,53 (+)	0,03 (-)	2,13 (-)	-15,83 (+)	39,77 (-)	11,50 (-)	0 (+)
Durst Tau 330 RSC magenta (crvena)	-2,20 (-)	-1,90 (-)	0,00 (+)	-2,07 (+)	-17,00 (-)	29,8 (+)	6,77 (+)	0 (+)
HP Indigo WS 6900 žuta (zelena)	-2,47 (-)	-2,63 (-)	-2,03 (-)	0,13 (+)	-23,63 (-)	5,77 (-)	0,93 (+)	0 (+)
Durst Tau 330 RSC žuta (zelena)	-1,17 (+)	-1,47 (+)	-0,67 (+)	-1,17 (-)	-10,53 (+)	5,6 (+)	2,57 (-)	18,2 (-)

Tablica 11 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Termoeco ScanTherm TCS tiskovnoj podlozi za crnu separaciju

	Odstupanje RTV-a u odnosu na standard					Vrijednost kontrasta (60%)
	10%	20%	40%	60%	80%	
HP Indigo WS 6900 crna	0,60 (+)	0,10 (+)	-2,53 (-)	-2,40 (-)	-4,27 (-)	-20,50 (+)
Durst Tau 330 RSC crna	4,17 (-)	4,17 (-)	0,93 (+)	-0,10 (+)	-0,60 (+)	-20,80 (-)

Tablica 12 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 tiskovnoj podlozi

	Odstupanje RTV-a u odnosu na standard				Vrijednost kontrasta (60%)	Ostvarena pogreška tona (0%)	Ostvarena sivoća (0%)	Ostvareni trapping (100%)
	10%	20%	40%	70%				
HP Indigo WS 6900 cijan (ljubičasta)	-1,33 (+)	2,13 (+)	5,40 (+)	8,37 (-)	-2,10 (+)	17,00 (+)	10,90 (-)	12,03 (-)
Durst Tau 330 RSC cijan (ljubičasta)	2,93 (-)	5,67 (-)	9,70 (-)	2,63 (+)	-8,50 (-)	17,07 (-)	10,37 (+)	9,67 (+)
HP Indigo WS 6900 magenta (crvena)	0,73 (+)	4,43 (+)	10,80 (-)	12,33 (-)	+1,53 (+)	26,3 (+)	10,20 (-)	8,6 (-)
Durst Tau 330 RSC magenta (crvena)	4,23 (-)	5,57 (-)	8,67 (+)	-0,40 (+)	-13,07 (-)	38,1 (-)	7,93 (+)	0,6 (+)
HP Indigo WS 6900 žuta (zelena)	-2,63 (+)	-1,13 (+)	3,33 (+)	6,20 (+)	-6,33 (-)	5,20 (-)	0,1 (+)	3,47 (+)
Durst Tau 330 RSC žuta (zelena)	4,23 (-)	6,97 (-)	10,87 (-)	6,73 (-)	-1,97 (+)	4,97 (+)	1,2 (-)	17,57 (-)

Tablica 13 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 tiskovnoj podlozi za crnu separaciju

	Odstupanje RTV-a u odnosu na standard					Vrijednost kontrasta (60%)
	10%	20%	40%	60%	80%	
HP Indigo WS 6900 crna	0,50 (+)	3,47 (-)	9,10 (-)	9,80 (-)	5,87 (-)	-10,07 (+)
Durst Tau 330 RSC crna	0,50 (+)	1,47 (+)	5,30 (+)	4,17 (+)	1,47 (+)	-19,37 (-)

6. LITERATURA

- [1] Kipphan, H. (2001.), *The handbook of print media*, Springer, Berlin
- [2] Majnarić, I. (2004.), *Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*, magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [3] Gazit, A. (1998.), *Imaging Apparatus And Intermediate Transfer Blanket Therefor*.
- [4] *The world of HP Indigo ElectroInks*. 2016. HP Indigo Prospect.
- [5] Mosenson, N. (2014.), *Digital Print Entering B2 Format: Challenges & Solutions*. TAGA 2014. 236–243.
- [6] Majnarić, I; Golubović, K; Bolanča, S; Modrić, D. (2011.), *Voltage Effect on Developing Process and B&W Reproduction*. DAAAM International Scientific Book 2010. Vienna.
- [7] Majnarić, I; Modrić, D; Golubović, K; Bolanča, S. (2010.), *The 4-Beam Laser Diode Array Influence on the Colour Imaging*. DAAAM International Scientific Book 2009. Vienna.
- [8] Majnarić, I; Modrić, D; Golubović, K. (2008.), *Influence of laser power output on the quality of colour imaging*. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium
- [9] *DPP course Writing Head*. HP Indigo. Maastricht.
- [10] *HP Indigo WS6800 Digital Press and packaging production*. Hewlett-Packard Development Company.
- [11] Forgacs, P; Teishev, A. (2013.), *Electro-Rheological Model of HP Indigo ElectroInk*. *J. Imaging Sci. Technol*
- [12] Majnarić I. (2007), *Studija indirektno elektrofotografije*, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

- [13] Majnarić, I; Bolanča, I; Bolanča, Z; Milković, M. (2005.), *Conditions in digital printing of packaging on the print quality*. International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, DPP2005 - Final Program and Proceedings.
- [14] Aqua, T; Salalha, W; Reznik, S; Zussman, E. (2013.), *Experimental and Analytical Study of Dot Gain Between Elastic and Deformable Drums*. Society for Imaging Science and Technology.
- [15] Tomašegović D., (2017.), *Utjecaj visine ispisne glave na reprodukciju crnih tonova u tehnici UV Inkjet-a*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
- [16] Majnarić, I. (2015.), *Osnove digitalnog tiska*. Grafički fakultet Zagreb. Zagreb
- [17] Kitahara, T. (1995.), *Ink Jet Head with Multi-Layer Piezoelectric Actuator*. Recent Progress in Ink-Jet Technologies.
- [18] Ujiie H. (2006.), *Digital printing of textiles*, Woodhead publishing limited, Cambridge, England
- [19] Cahill V. (2016.), *Inkjet printhead characteristic and application requirements*, VCE Solutions
- [20]***https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/PDS00105_SambaPHDK_2_12_15.pdf, 19.05.2020.
- [21]*** https://www.durst-group.com/media/taurscplatform/brochure/Durst_TauRSCPlatform_A4_EN.pdf, 21.05.2020.
- [22]***<https://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/4AA7-2154ENW.pdf> 21.05.2020
- [23]***<https://www.epson.hr/products/printers/large-format-printers/surecolor-sc-p5000-violet-spectro> 21.05.2020

- [24]***<https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>
22.05.2020
- [25]***<https://ctac.mbi.ufl.edu/files/2017/03/DM1000-2000-2500-Manual.pdf>
22.05.2020
- [26]***<https://www.stix-office.de/shop/files/index/download/id/1581580291/>
23.05.2020
- [27]*** <http://en.arconvert.es/products/catalogues/films/opp-tc-white-gloss-60m-pf-1-cb62-912410l296-catalogue-code-ba31/details/?web=1> 23.05.2020
- [28]***<http://www.graphic-reseau.com/PDF/EFI-OffsetProof%20Paper%209200%20Semimatt.pdf> 23.05.2020
- [29] Kumpar. D., (2011.), Definiranje parametara optimalizacije relativnog tiskovnog kontrasta u novinskom tisku, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
- [30] Durst year book (2010.), *Science and Technology*, Durst AEG, Brixen

7. PRILOZI

7.1. Popis slika

Slika 1 Usporedba volumena A4 otisaka između analognog i digitalnog tiska prikazanog u postocima	1
Slika 2 Usporedba ostvarenog prometa između analognog i digitalnog tiska prikazanog u postocima	2
Slika 3 Prikaz volumena A4 otisaka za različite postupke tiska.....	3
Slika 4 Prikaz ostvarenog prometa za različite postupke tiska	4
Slika 5 Osnovni princip elektrofotografskog tiska	6
Slika 6 Shematski prikaz HP Indigo tiskovne jedinice koja vrši otiskivanje u šest faza	7
Slika 7 Prikaz tiskovne jedinice III. generacije HP indigo strojeva.....	8
Slika 8 Shematski prikaz nastajanja naboja skorotromom	9
Slika 9 Charge roller kod stroja HP Indigo WS 6900.....	10
Slika 10 Osvjetljavanje temeljnog cilindra (PIP) pomoću ROS ispisne glave	11
Slika 11 Shematski prikaz putanje svjetlosti kroz drugi optički sklop.....	12
Slika 12 Prikaz generiranja tiskovnih elemenata i slobodnih površina na PIP-u.....	13
Slika 13 Prikaz tekućeg bojila ElectroInk.....	14
Slika 14 Razvijački proces kod stroja HP Indigo WS 6900: a) Pozicija BID-ova u tiskarskoj jedinici b) Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje .	16
Slika 15 Shematski prikaz transfera ElektroInk boje	17
Slika 16 Shematski prikaz drugog transfer otiskivanja u HP Indigo strojevima	18
Slika 17 Primjena Inkjet tehnologija danas.....	20
Slika 18 Broj mlaznica u Inkjet glavi različitih proizvođača	21
Slika 19 Odnos volumena kapljice i rezolucije u industrijskom Inkjetu	22

Slika 20 Odnos volumena kapljice i veličine minimalnog tiskovnog elementa u industrijskom Inkjetu.....	23
Slika 21 Odnos rezolucije i volumena kapljica na konačnom otisku.....	23
Slika 22 Piezoelektrični princip izbacivanja kapljica	26
Slika 23 Prikaz presjeka MEMS Inkjet glave	28
Slika 24 Samba G3L ispisna glava a) shematski prikaz vršnog dijela b)shematski prikaz protoka boje c) izvorna fotografija	30
Slika 25 Skenirajući princip ispisnih glava	32
Slika 26 Modularna konstrukcija Inkjet glava	33
Slika 27 Shematski prikaz Inkjet glava za širine podloga 280 mm i 330 mm	34
Slika 28 Shematski prikaz složenih Polaris glava u stroju Durst Tau	35
Slika 29 Shematski prikaz složenih Samba G3L glava u stroju Durst Tau	35
Slika 30 Osnovne komponente stroja Durst Tau 330 RSC	36
Slika 31 Tiskovna jedinica na stroju Durst Tau 330 RSC	36
Slika 32 Gamut Tau RSC UV boja CMYK i CMYKOVG	38
Slika 33 Shematski prikaz plana eksperimentalnog rada	42
Slika 34 Elektrofotografski stroj HP Indigo WS 6900.....	44
Slika 35 UV-inkjet stroj Durst Tau 330 RSC	44
Slika 36 Printer Epson SC-P5000	46
Slika 37 Mjerni uređaj X-Rite eXact advance	47
Slika 38 Mjerni uređaj mikroskop Leica DM 2500	48
Slika 39 Klin Fogra Mediavedge.....	52
Slika 40 Grafovi krivulje reprodukcije probnog otiska ostvarene na Epson SC-P5000: a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija	53

Slika 41 Grafovi krivulje reprodukcije HP Indigo i Durst Tau na Termoeeco ScandTherm TCS : a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija.....	55
Slika 42 Uvećani prikaz CMYK otiska nastalih na tiskovnom stroju HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi Termoeeco ScandTherm TCS.....	57
Slika 43 Grafovi krivulje reprodukcije HP Indigo i Durst Tau na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 : a) Cijan separacija; b) Magenta separacija; c) Žuta separacija i d) Crna separacija	58
Slika 44 Uvećani prikaz CMYK otiska nastalih na tiskovnom stroju HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC na tiskovnoj podlozi polipropilen Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60	61
Slika 45 Relativni tiskarski kontrast za tiskovnu podlogu Termoeeco ScandTherm TCS	63
Slika 46 Relativni tiskarski kontrast za tiskovnu podlogu OPP TC white gloss 60...	64
Slika 47 Pogreška tona CMY separacija za tiskovne podloge: a)Termoeeco ScandTherm TCS b) Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60	66
Slika 48 Sivoća CMY boja na tiskovnoj podlozi: a)Termoeeco ScandTherm TCS b)Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60	69
Slika 49 Trapping RGB nijansi za dvije tiskovne podloge: a)Termoeeco ScandTherm TCS b)Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60	72
7.2. Popis tablica	
Tablica 1 Specifikacije Samba G3L ispisne glave	31
Tablica 2 Specifikacije HP Indigo WS 6900	43
Tablica 3 Specifikacije Durst Tau 330 RSC.....	45
Tablica 4 Specifikacije Epson SC-P5000.....	46
Tablica 5 Specifikacije X-Rite eXact advance	47
Tablica 6 Specifikacije mikroskop Leica DM 2500	48

Tablica 7 Specifikacije Termoeco ScandTherm TCS	49
Tablica 8 Specifikacije Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60	50
Tablica 9 Specifikacije EFI Offset proofpaper 9200 semimatt.....	51
Tablica 10 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Termoeco ScanTherm TCS tiskovnoj podlozi	76
Tablica 11 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Termoeco ScanTherm TCS tiskovnoj podlozi za crnu separaciju	76
Tablica 12 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 tiskovnoj podlozi.....	77
Tablica 13 Usporedba HP Indigo WS 6900 i Durst Tau 330 RSC tiskarski strojeva u odnosu na standardno na Arconvert OPP TC WHITE GLOSS 60 tiskovnoj podlozi za crnu separaciju.....	77