

Unaprjeđenje kvalitete elektrofotografskoga tiska oplemenjivanjem tiskovne podloge i varijacijom snage korone

Morić, Marko

Doctoral thesis / Doktorski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:834221>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-09**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Marko Morić

**UNAPRJEĐENJE KVALITETE
ELEKTROFOTOGRAFSKOGA TISKA
OPLEMENJIVANJEM TISKOVNE PODLOGE I
VARIJACIJOM SNAGE KORONE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

Faculty of Graphic Arts

Marko Morić

**IMPROVING ELECTROPHOTOGRAPHIC PRINT
QUALITY BY PRE-TREATMENT OF PRINTING
SUBSTRATES AND CORONA POWER VARIATIONS**

DOCTORAL DISSERTATION

Zagreb, 2019.



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Marko Morić

**UNAPRJEĐENJE KVALITETE
ELEKTROFOTOGRAFSKOGA TISKA
OPLEMENJIVANJEM TISKOVNE PODLOGE I
VARIJACIJOM SNAGE KORONE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Igor Majnarić

Zagreb, 2019.



University of Zagreb

Faculty of Graphic Arts

Marko Morić

**IMPROVING ELECTROPHOTOGRAPHIC PRINT
QUALITY BY PRE-TREATMENT OF PRINTING
SUBSTRATES AND CORONA POWER VARIATIONS**

Supervisor: Assoc. prof. Igor Majnarić, PhD

Zagreb, 2019.

UDK BROJ: 655.3.024:681.6-3:772.93

Imenovano Povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada:

1. izv. prof. dr. sc. Damir Modrić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. izv. prof. dr. sc. Mario Barišić, Sveučilište Sjever, vanjski član

Imenovano Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada:

1. izv. prof. dr. sc. Damir Modrić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član
3. izv. prof. dr. sc. Mario Barišić, Sveučilište Sjever, vanjski član
4. izv. prof. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenski član
5. doc. dr. sc. Krunoslav Hajdek, Sveučilište Sjever, zamjenski vanjski član

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Majnarić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

Datum obrane doktorskoga rada: 1. listopada 2019.

Mjesto obrane doktorskoga rada: Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada donijelo je sljedeću odluku:

„Obranio s ocjenom summa cum laude (*s najvećom pohvalom*) jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

INFORMACIJE O MENTORU:

Dr. sc. Igor Majnarić dipl. ing. rođen je u Rijeci 21. srpnja 1971. godine. 1990. godine upisao je Višu grafičku školu nakon koje nastavlja studij na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer tehničko-tehnološki, na kojem je diplomirao 1998. godine. Magistrirao je 19. travnja 2004. u području tehničkih znanosti, polje grafička tehnologija. Mentor magistarskog rada pod naslovom „Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge” bio je dr. sc. Stanislav Bolanča, red. prof. Pod vodstvom istog mentora na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu izradio je doktorsku disertaciju pod naslovom: „Studija indirektno elektrofotografije”, i istu uspješno obranio 20. travnja 2007. godine. Izbor u zvanje izvanrednog profesora na Katedri za tiskarske procese ostvario je 5. veljače 2018, a izbor za znanstvenog suradnika 27. ožujka 2012. Od 1. siječnja 2015. do 30. rujna 2016. obnavlja funkciju Prodekana za nastavu Grafičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, dok trenutno obavlja dužnost voditelja katedre za Tiskarske procese na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Kao rezultat znanstvenih istraživanja do sada je objavio ukupno 71 znanstveni rad: 13 znanstvenih radova koji se citiraju u CC i SCI bazama podataka, 4 znanstvena rada u sekundarnim bazama podataka i 55 radova na međunarodnim i domaćim konferencijama. Također je objavio 23 stručna rada (6 poglavlja u knjizi, 7 stručnih članaka u časopisima, 10 radova na međunarodnim i domaćim konferencijama). Autor je i sveučilišnog i udžbenika *Osnove digitalnog tiska*.

Na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu nositelj je nastave sljedećih kolegija: Male tiskarske tehnike (6. semestar, preddiplomski studij), Digitalni tisak (1. semestar, diplomski studij), Mjeriteljstvo u tisku (3. semestar, diplomski studij), Upravljanje kvalitetom (1. semestar, poslijediplomski studija). Također nositelj je kolegija Suvremeni digitalni tisak (4. semestar, poslijediplomski studij) koji se izvodi na doktorskom studiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Do sada je doc. dr. sc. Igor Majnarić sudjelovao u nizu stručnih edukacija te ovladava vještinama rada s brojnim tiskarskim tehnologijama (proizvođači: HP Indigo, Xerox, Heidelberg, Canona, Epson, Roland i Kodaka). U stručnu aktivnost pristupnika može se ubrojiti i njegova aktivnost u Hrvatskom zavodu za norme, pri čemu je trenutni predsjednik tehničkog odbora TO 130 (Grafička tehnologija) i član tehničkog odbora TO 6 (Papir, karton i pulpe). Od 2009. obnaša funkciju ADE-a (*Apple Distinguished Educator*) s ciljem implementacije Apple računala u edukaciji studenata na visokoškolskim ustanovama.

ZAHVALA

Izrazito mi je zadovoljstvo bilo zajedno surađivati na ovom doktoratu sa svojim mentorom izv. prof. dr. sc. Igorom Majnarićem te mu se zahvaljujem prije svega na velikoj pomoći kao i uloženom trudu i vremenu pri izradi ovog rada te podršci, savjetima, idejama i povjerenju.

Zahvaljujem se i rektoru Sveučilišta Sjever prof. dr.sc. Marinu Milkoviću prije svega što je još 2011. imao viziju i usmjerio me prema ovom cilju te mi otvorio put.

Također se zahvaljujem g. Ratku Habusu što mi je omogućio vrijeme i resurse svoje tvrtke kako bi napravio sve potrebne probne otiske kao podlogu za početak rada na doktoratu.

I na kraju, zahvaljujem se svojoj obitelji i svim prijateljima koji su na određeni način bili involvirani u ovaj doktorat bilo da su pitali u kojoj je fazi bilo da su imali vremena i strpljenja slušati kada bih znao o njemu pričati.

SAŽETAK

Za visokokvalitetni višebojni otisak na elektrofotografskom tiskarskom stroju treba pripremiti i podlogu na koju se otiskuje. Da bi se tekuće elektrofotografsko bojilo optimalno vezalo na podlogu, treba oplemenjivanjem postići optimalnu površinsku napetost. To se postiže korona tretmanom ili premazivanjem tekućinom za oplemenjivanje. U okviru disertacije provede će se istraživanje i redefiniranje utjecaja snage korone i debljine nanosa tekućine za oplemenjivanje na kvalitetu višebojne reprodukcije. U tiskarskom procesu to podrazumijeva utvrđivanje razlika u volumenu obojenja, strukturi karakterističnih tiskovnih elemenata, amplitudno moduliranom rastriranju i povećanju broja višebojnih separacija. Na osnovi rezultata odredit će se optimalne višetonske vrijednosti reproduciranih tonova (Lab i prirast RTV-a) kojima će se ostvariti bolja kvaliteta digitalnih otisaka i redefinirati trenutni industrijski standard za digitalni tisak.

Rezultati pokazuju da, u odnosu na idealni PSD otisak, minimalne devijacije primarnih boja iznose: $\Delta E_{C(1g/m2_{0W})} = 1,49$; $\Delta E_{M(0g/m2_{450W})} = 2,21$; $\Delta E_{Y(0,5g/m2_{0W})} = 1,85$; $\Delta E_{K(0g/m2_{0W})} = 2,79$. Korona tretman neće značajno utjecati na kolornu promjenu procesnih boja ($\Delta E_Y = 0,01$; $\Delta E_K = 0,55$). Pri tom otisci nastali pretiskivanjem ostvaruju značajnije kolorne promjene, ali još uvijek ispod vizualne granice ($\Delta E_{max.} = 0,88$). Nanosom same tekućine za regulaciju površinske napetosti (prajmer) ostvarene devijacije primarnih boja ostaju niske ($\Delta E_C = 0,02$; $\Delta E_K = 0,61$), pri čemu i sekundarne boje ostaju gotovo nepromijenjene ($\Delta E_{max.} = 0,29$).

KLJUČNE RIJEČI

HP Indigo, ElectroInk, FOGRA 51, korona tretman, premazivanje tekućinom za oplemenjivanje, površinska napetost, tiskovna podloga

ABSTRACT

Today, for the needs of modern packaging, digital printing technology has been increasingly used, with the main representatives of Electro photography and Inkjet. Their share in the total value in the graphics industry is 20 %. High-quality multicolor printing in electrophotographic printing requires an additional preparation of the printing substrate to which special colors are printed. In order for the liquid electrophotographic ink to be optimally adhered to the substrate, it is necessary to achieve the ideal substrate surface tension with additional enrichment. To ensure the desired bonding of the ink to the printing substrate, the corona treatment and coating with the liquid for regulating the surface tension are applied. The corona treatment generates surface modification that is manifested in micro roughness resulting in better ink binding. In the case of printing substrates whose surface is uneven, preparatory coating should be applied to improve the surface layer properties.

Within the scope of thesis, the research and redefining of the influence of the corona power and the thickness of the applied of surface tension regulation fluids on the quality of multicolor reproduction has been carried out. The HP Indigo WS 6800 electrophotographic printing machine equipped with a Vetaphone corona unit and a 5-cylinder Michelman primer unit, was used in the experiment. As a printing substrate is used a certified art paper Condat 90 g / m² intended for the realization of high-quality prints.

The methods used to detect changes in prints are nondestructive and are based on colorimetry and spectrophotometry. These methods allow to determine the differences in the color gamut, the structure of the characteristic screening elements, the amplitude-modulated screening and the increase in the number of multicolored separations, in the printing process itself. Based on the obtained results, the optimal color tones values (Lab and dot gain) with which the higher quality of digital prints is achieved have been determined, leading to the redefinition of the current industry standard for digital printing.

Three basic hypotheses have been put in the dissertation. The first hypothesis selectively examines the variation effect of corona power on multi-color reproduction of the HP Indigo printing machine, while the second hypothesis examines the thickness influence of applied fluid for regulation of surface tension on the required print quality. The third hypothesis is most comprehensive and gives a general analysis of the defined sample experiment and correlates them to the existing standard for the graphics industry (ISO 12647-8).

The results show that in comparison to the ideal PSD imprint, minimal deviations of the primary colors are: $\Delta E_{C(1g/m^2_{0W})} = 1,49$; $\Delta E_{M(0g/m^2_{450W})} = 2,21$; $\Delta E_{Y(0,5g/m^2_{0W})} = 1,85$; $\Delta E_{K(0g/m^2_{0W})} = 2,79$. Corona treatment will not significantly effect on colour changes of process colors ($\Delta E_Y = 0,01$; $\Delta E_K = 0,55$). In the case of these imprints created by overprint, significant color changes are achieved, but still below the visual boundary ($\Delta E_{max.} = 0,88$). By applying the same surface tension regulation fluid (primer), the resulting primary color deviations remain low ($\Delta E_C = 0,02$; $\Delta E_K = 0,61$), with the secondary colors remaining almost unchanged ($\Delta E_{max.} = 0,29$).

The obtained results visually do not show any significant color change for the glossy coated substrate. However, bringing them in correlation with other printing parameters (photoreceptor illumination, photoreceptor developing, toner fixation ...) can contribute to the stability of electro photographic press with liquid toner (ElectroInk), which ensures reproduction consistency in areas with different tonal coverage. The type of pigment in ElectroInk dyes and the treatment of printing substrate have different impacts on the realization of the required color results and the resulting tone changes. Cyan ElectroInk color will be the most stable (the slightest color change), while the black ElectroInk color will be significantly more unstable (color changes are visible to the human eye).

KEY WORDS

HP Indigo, ElectroInk, FOGRA 51, corona treatment, priming, regulation fluid, surface tension, printing substrate

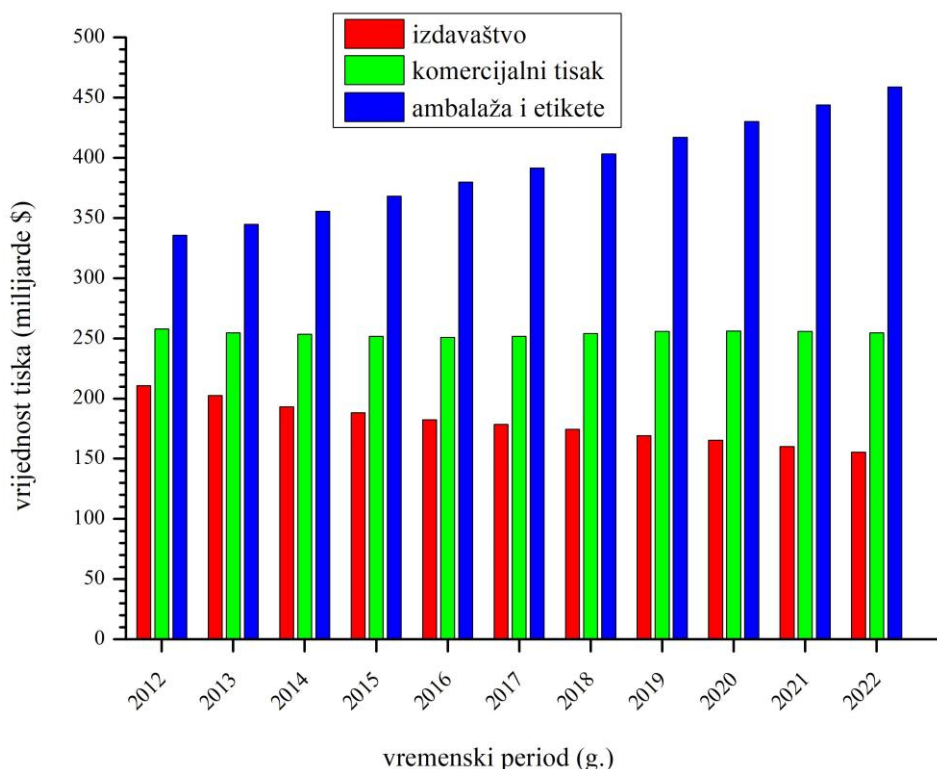
SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| ZAHVALA | 7 |
| SAŽETAK | 8 |
| KLJUČNE RIJEČI | 8 |
| ABSTRACT | 9 |
| KEY WORDS | 10 |
| SADRŽAJ | 11 |
| 1. UVOD | 13 |
| 2. TEORIJSKI DIO | 17 |
| 2.1. DIGITALNI KOLORNI OFSET | 17 |
| 2.1.1. <i>HP Indigo WS 6800 (III. generacija HP Indigo strojeva)</i> | 17 |
| 2.1.1.1. <i>Faza 1 – nabijanje PIP-a valjkom za nabijanje</i> | 19 |
| 2.1.1.2. <i>Faza 2 – osvjetljavanje ROS laserskom glavom</i> | 20 |
| 2.1.1.3. <i>Faza 3 – razvijanje</i> | 22 |
| 2.1.1.4. <i>Faza 4 – prvi transfer</i> | 24 |
| 2.1.1.5. <i>Faza 5 – drugi transfer ElectroInk bojila</i> | 26 |
| 2.1.1.6. <i>Faza 6 – čišćenje</i> | 27 |
| 2.2. EFEKT DJELOVANJA KORONE | 29 |
| 2.2.1. <i>Konstrukcija i princip rada korona uređaja</i> | 31 |
| 2.2.2. <i>Određivanje efekta djelovanja korona tretmana</i> | 35 |
| 2.3. PREMAZIVANJE TISKOVNIH PODLOGA..... | 41 |
| 2.3.1. <i>Premazivanje žičanom šipkom</i> | 41 |
| 2.3.2. <i>Premazivanje nanašanjem kroz usku pukotinu (ekstrudiranje)</i> | 44 |
| 2.3.3. <i>Premazivanje poroznim cilindrom</i> | 47 |
| 2.3.4. <i>Premazivanje sitotiskarskom premaznom jedinicom</i> | 50 |
| 2.3.5. <i>Premazivanje konvencionalnim tiskovnim jedinicama</i> | 53 |
| 2.3.6. <i>Fleksografski tisak kao metoda za premazivanje</i> | 54 |
| 2.3.7. <i>Plošni (ofsetni) tisak kao metoda premazivanja</i> | 58 |
| 2.3.8. <i>Inkjet tehnika premazivanja</i> | 60 |
| 2.3.8.1. <i>Kontinuirani Inkjet</i> | 61 |
| 2.3.8.2. <i>Inkjet na principu kapanja na zahtjev (Drop on Demand Inkjet)</i> | 63 |
| 2.3.8.3. <i>Piezo Inkjet princip otiskivanja</i> | 63 |
| 2.3.8.4. <i>Termalni princip otiskivanja Inkjetom</i> | 63 |
| 2.3.9. <i>Premazivanje papira i kartona</i> | 65 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO | 68 |
| 3.1. METODOLOGIJA RADA | 68 |

| | |
|--|------------|
| 3.2. STROJEVI, UREĐAJI I MATERIJALI..... | 72 |
| 3.2.1. HP Indigo WS 6800..... | 72 |
| 3.2.2. In-line jedinica za oplemenjivanje tiskovne podloge..... | 73 |
| 3.2.3. Tiskovna podloga..... | 75 |
| 3.2.4. Primer - Michem® In-Line Primer 030..... | 76 |
| 3.2.5. Spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact..... | 76 |
| 3.2.6. Spektrofotometar X-Rite DTP 41..... | 77 |
| 3.2.7. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS..... | 78 |
| 4. REZULTATI I DISKUSIJA | 80 |
| 4.1. REZULTATI ANALIZIRANE TISKOVNE PODLOGE PRIJE TISKA..... | 80 |
| 4.1.1. FTIR analiza tiskovne podloge..... | 80 |
| 4.1.2. Analiza površinske napetosti tiskovne podloge..... | 82 |
| 4.2. REZULTATI REPRODUCIRANIH OTISAKA..... | 84 |
| 4.3. REZULTATI UTJECAJA VARIJACIJOM SNAGA KORONE..... | 87 |
| 4.4. REZULTATI UTJECAJA VARIJACIJOM NANOSA PRAJNERA..... | 103 |
| 4.5. REZULTATI KOLORNIH PROMJENA EKSPERIMENTALNIH OTISAKA U ODNOSU NA STANDARD..... | 120 |
| 5. ZAKLJUČAK | 139 |
| 5.1. HIPOTEZA 1 – VARIJACIJA SNAGE KORONE..... | 139 |
| 5.2. HIPOTEZA 2 – VARIJACIJA NANOSA TEKUĆINE ZA REGULACIJU POVRŠINSKE NAPETOSTI | 141 |
| 5.3. HIPOTEZA 3 – INTERAKCIJA VARIJACIJA S OBZIROM NA FOGRA STANDARD..... | 142 |
| 6. LITERATURA..... | 145 |
| 7. PRILOZI..... | 154 |
| 7.1. POPIS SLIKA..... | 154 |
| 7.2. POPIS TABLICA..... | 158 |
| 7.3. POPIS KRATICA..... | 159 |
| 8. ŽIVOTOPIS | 161 |
| 9. OBJAVLJENI RADOVI..... | 164 |

1. UVOD

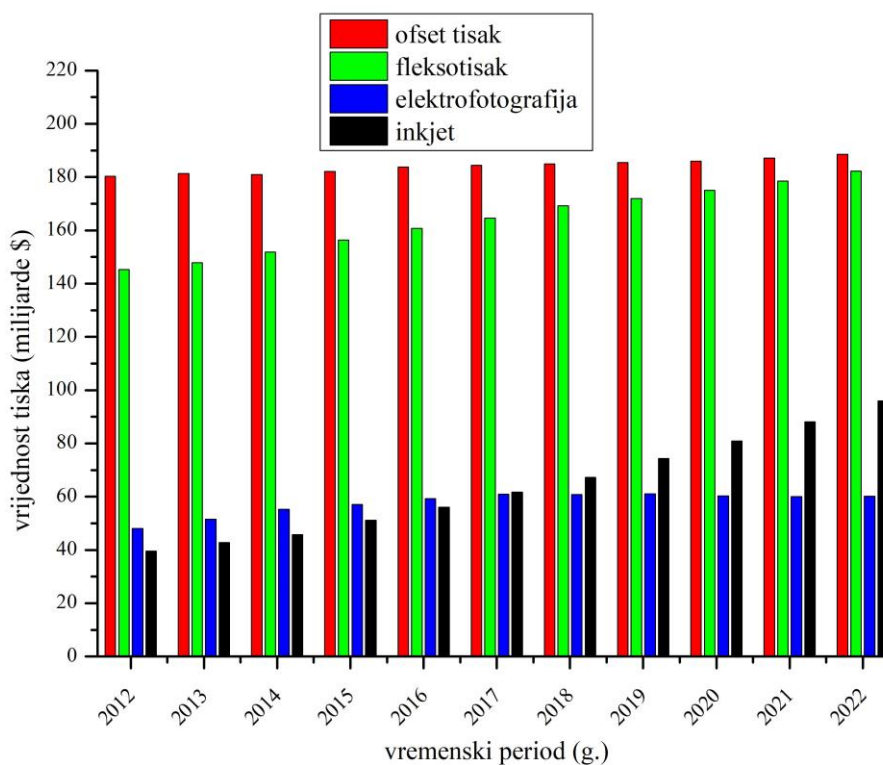
Grafički proizvodi mogu se podijeliti u tri glavne skupine koje imaju različite trendove uspona i padova. Prvoj skupini pripada izdavaštvo koje se bavi proizvodnjom novina, magazina, knjiga itd. Gledajući trendove u posljednjih 10 godina, kod ove je skupine primijećen veliki pad u novčanim vrijednostima (gotovo 25 %), kao i u broju ostvarenih otisaka. Drugoj skupini pripada komercijalni tisak koji u istom razdoblju ima kontinuitet u tisku (pad 1 %). Tu pripadaju proizvodi kao što su plakati, promotivni materijali, računi, beskonačni obrasci itd. Treću skupinu grafičkih proizvoda, koja je u najvećoj ekspanziji, čine kartonska i fleksibilna ambalaža te tisak višebojnih etiketa i samoljepivih naljepnica. Upravo ta treća skupina ostvaruje rast u novčanoj vrijednosti od 25 %. Razlog tomu je drugačija funkcionalnost s obzirom na elektronsku i IT industriju, odnosno funkciju mehaničke zaštite te ju nije moguće zamijeniti [1]. Slika 1. prikazuje projekciju prihoda za izdavaštvo, komercijalni tisak, ambalažu i etikete.



Slika 1. Projekcija prihoda grafičke industrije u razdoblju od 2012. do 2022. (izvor: Smithers Pira)

Posljednjih 20-ak godina grafička industrija doživjela je velike promjene. Iako još uvijek dominiraju klasične tehnologije otiskivanja (plošni/ofsetni i fleksotisak) zbog kvalitete i brzine, uočavaju se novi trendovi ispisa NIP (*Non Impact Printing*) tehnologijama [2].

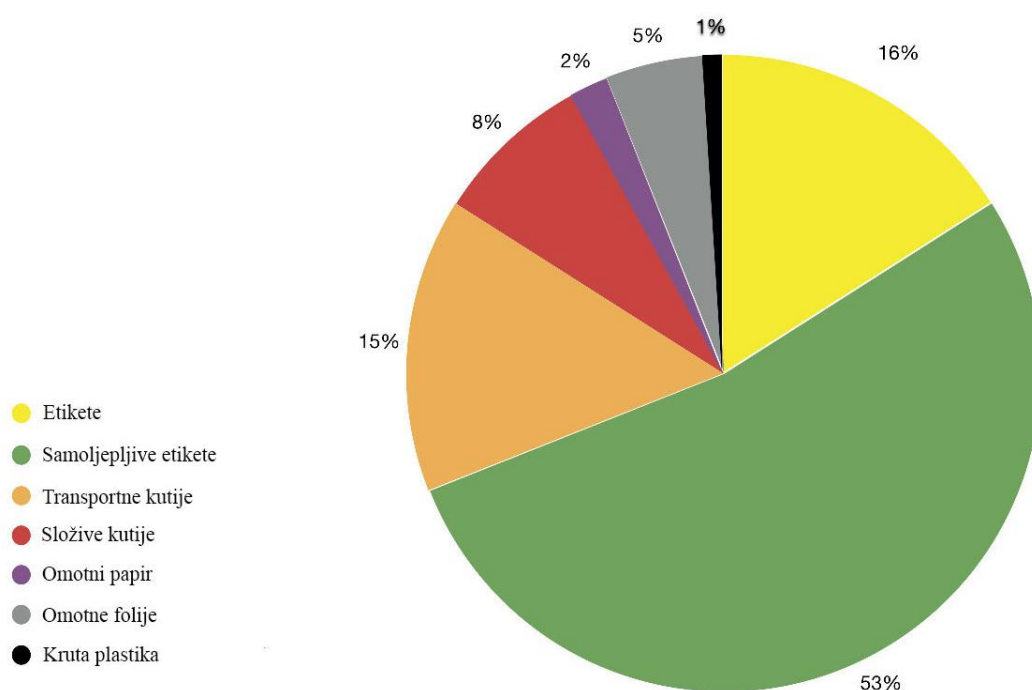
Naklade su se počele smanjivati, iako prihodi od tiska iz godine u godinu rastu, zahtijeva se ubrzanje izrade proizvoda, kao i proizvodnja različitog individualiziranog sadržaja. Zbog toga su digitalne tiskarske tehnologije danas sve više tražene. Smanjenje naklada negativno je utjecalo na dio proizvodnje konvencionalnim tehnikama tiska, dok se predstavnici digitalnih tehnika tiska, kao što je plošni (Inkjet) tisak i elektrofotografija, sve više primjenjuju [3]. Ukoliko se pogleda zastupljenost te dvije digitalne tehnike u usporedbi s ofset i fleksotiskom, može se uočiti da u razdoblju od posljednjih deset godina digitalne tehnike tiska kontinuirano rastu (slika 2.), što je vidljivo i u Fespa izvještaju od 2015. godine [4]. Prema podacima koje je projicirala Smithers Pira, vodeća tvrtka za istraživanje kretanja tržišta grafičke industrije u svijetu, tintni (ofsetni) ispis je u razdoblju od 2012. do 2022. godine ostao stabilna tehnika umnažanja s neznatnim rastom od 4,6 %. Fleksotisak u istom razdoblju ima rast od 25,5 %, što je razlog povećane potrebe za ambalažom u području istoka (Kina i Indija).



Slika 2. Prikaz udjela otisnutih proizvoda u četiri dominantne tehnike tiska (izvor: Smithers Pira)

Elektrofotografija kao trenutno najprimjenjivija digitalna tehnika ostvaruje konstantni rast u iznosu od 25,3 % s naznakom laganog pada nakon 2017. g. Procjena neovisnih agencija najviše prognozira rast tehnici Inkjeta (oko 143,4 %) za isto razdoblje. Razlog tomu očituje se u velikim investicijama vodećih globalnih kompanija koje razvijaju

ovaj beskontaktni način otiskivanja. Najveći rast Inkjet tehnike tiska očekuje se u razdoblju od 2018. do 2022. godine (tendencija rasta od oko 30 %) [5]. Trenutno najveća prednost primjene digitalnog tiska vidljiva je u proizvodnji etiketa i samoljepivih naljepnica. Odlikuje se brzinom izrade prve kopije, kao i brzim prelaskom s posla na posao (ostvaruje se u svega nekoliko minuta zbog nepostojanja tradicionalnih tiskovnih formi). To je osobito zamijećeno pri otiskivanju na istoj tiskovnoj podlozi kada se tiska bez zaustavljanja stroja uz stvaranje minimalne makulature. To omogućuje jednostavniju organizaciju proizvodnje u digitalnom tisku, mogućnost izrade kolornih grafičkih proizvoda unutar jednog dana, jednostavniju korekciju i ovjeru probnog otiska. Tehnike digitalnog tiska tako imaju primat u mogućnosti otiskivanja ekstremno malih naklada (od 2 do 100 kopija) što je temelj *print on demand* tiska.



Slika 3. Postotni udio proizvodnje ambalažnih proizvoda ostvarenih tehnikama digitalnog tiska (izvor: Smithers Pira)

U kategoriji ambalažne industrije digitalni je tisak svoju najveću primjenu ostvario u tisku etiketa i samoljepivih naljepnica. Trenutno to iznosi 69 % tržišta digitalnog tiska. Ostali digitalno otisnuti proizvodi još uvijek su u razvoju te se očekuje da njihov udio neće biti veći od 31 % (slika 3.). Kao što je vidljivo iz prikaza, započela je digitalna era tiska u grafičkoj

industriji. Budućnost digitalnog tiska pozitivna je i optimistična jer korist, osim tiskara, ostvaruju i naručitelji usluga koji u svakom trenutku mogu pratiti proizvodnju.

Elektrofotografija kao tehnika umnožavanja, iako neće ostvariti značajne promjene u brzini, i dalje će polako rasti zbog SOHO primjene (*Small Office Home Operation*). Veće kapacitete ostvarit će tehnologija tintnog (Inkjet) ispisa što će imati za posljedicu zamjenu plošnog (ofset) tiska u području malih naklada, kao i fleksotiska u području tiska etiketa. Zbog pada cijene Inkjet strojeva i opreme trenutno se isplati investirati u digitalni princip otiskivanja pri čemu se tiskarama predlaže zadržavanje već postojećih konvencionalnih tehnika tiska (za veće naklade) [6]. Zamijećeni su trendovi razvoja novih grafičkih proizvoda kao što su personalizirane razglednice, *fotobook-ovi*, tiska promo računa itd., a koje je nemoguće proizvesti bez primjene digitalnih tehnika tiska. Studije pokazuju da su 2017. godine tvrtke u tiskarskoj industriji u svijetu uložile 40 % svojih sredstava u nabavku digitalnih strojeva i opreme što dovoljno govori o trendu rasta digitalnog tiska. Do 2022. godine predviđa se povećanje zastupljenosti na tržištu od gotovo 20 %.

Suvremena ambalažna industrija temeljena na digitalnom tisku zahtijeva proširenje sadržaja postojećih tehnologija otiskivanja. To se postiže primjenom novih materijala i metoda rastriranja (oblik i veličina rasterskog elementa) prije obrade tiskovnih podloga.

Težište i cilj ovog istraživanja je definiranje utjecaja oplemenjivanja tiskovne podloge metodom korona tretmana i nanosom tekućine za reguliranje površinske napetosti tiskovne podloge te optimizacija parametara pojedinog tretmana i njihova interakcija.

Samim time nameće se problematika određivanja optimalne vrijednosti snage korone kod problematičnih tiskovnih podloga i tekućeg elektrofotografskog bojila te se postavlja hipoteza da će se ostvariti povećanje nanosa bojila i volumena obojenja digitalne višebojne reprodukcije u odnosu na industrijski standard za digitalni tisak.

Nadalje, dodatnim tretmanom tiskovne podloge s tekućinama za smanjenje površinske napetosti tiskovne podloge očekuje se kvalitetnija reprodukcija što se postiže optimizacijom vrijednosti debljine nanosa tekućine za regulaciju površinske napetosti. Time se očekuje da će doći do povećanja volumena obojenja digitalne višebojne reprodukcije (višebojni gamut).

Dodatno se nameće potreba za ispitivanjem interakcije prethodna dva definirana parametra i njenog utjecaja na kvalitetu reprodukcije. Tako će se optimizacijom površinskog oplemenjivanja tiskovne podloge, regulacijom snage korone, amplitudno moduliranim rastriranjem i CMYK otiskivanjem postići značajno povećanje kvalitete digitalne višebojne reprodukcije s tekućim elektrofotografskim bojilom.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Digitalni kolorni ofset

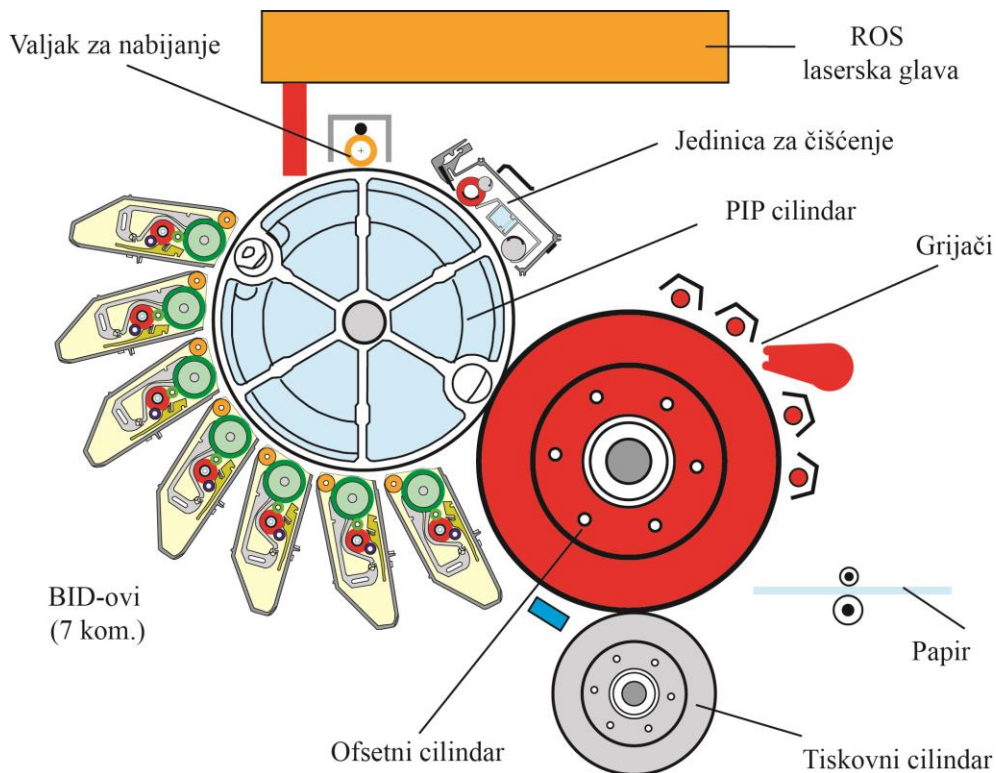
Elektrofotografija kao način digitalnog otiskivanja, primjenjuje specijalna bojila koja se još nazivaju toneri. Ovisno o njihovu agregatnu stanju razlikuju se praškasti i tekući toneri. HP Indigo tehnologija otiskivanja poznata je pod nazivom digitalni kolorni ofset i primjenjuje specijalno tekuće ElectroInk bojilo. Tvorac ove tehnologije je Benny Landa.

Prva generacija Indigo E-print strojeva formata je A3 + i predstavljena je 1993. godine na sajmu IPEX u Birminghamu [7]. Princip rada povezan je s četiri osnovna izuma koja i danas imaju iznimnu važnost u digitalnom tisku tekućim tonerom [8]. Prvi se izum odnosi na PIP (*Photo Image Plate*) te se još naziva organski fotokonduktor, što je u tisku promjenjiva tiskovna forma. Drugi je patent povezan s tekućom bojom (ElectroInk), dok se treći izum odnosi na vruću ofsetnu gumu (*blanket*) na kojoj se vrši indirektna tehnika otiskivanja [9]. Na temelju istih, konstruirana je satelitska tiskovna jedinica na kojoj je moguće otiskivati više boja (četiri osnovne CMYK, dodatne PANTONE boje, zaštitne boje, bijele, fluorescentne boje i laka) [10].

Izvorna je konstrukcija u proteklih 20 godina doživjela minorne promjene koje se odlikuju u rješavanju stabilnosti tiska i ostvarivanju veće produkcijske brzine. Četiri se generacije razlikuju u konstrukciji i veličini cilindara (temeljnog, ofsetnog i tiskovnog), BID (*Binary Ink Development*) jedinice, jedinice za nabijanje i veličini ROS ispisne glave. Kao i u svakom indirektnom elektrofotografskom stroju, zadržan je princip otiskivanja koji nastaje u šest faza. To su nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje, 1. transfer, 2. transfer i čišćenje. Za visokokvalitetni tisak etiketa najčešće se primjenjuje serija WS 6800 koja uz 7 boja ima mogućnost *in-line* tretiranja tiskovne podloge.

2.1.1. HP Indigo WS 6800 (III. generacija HP Indigo strojeva)

Konstrukcija HP Indigo strojeva III. generacije (slika 4.) prvi je put predstavljena 2008. g. na međunarodnom sajmu Drupa te je poznata pod nazivom „Karmel”. U odnosu na prijašnje konstrukcije zadržana je mogućnost tiska formata A3+ uz produkcijsku brzinu od 60 m/min za tisak jedne kolorne separacije. Radi potreba tržišta ostvarena je i formatom veća konfiguracija strojeva (B2, 700 x 500 mm) [11]. Zbog satelitske strojne konstrukcije moguće je otiskivati i dodatne boje (CMYK + xy PANTONE) [12], [13].



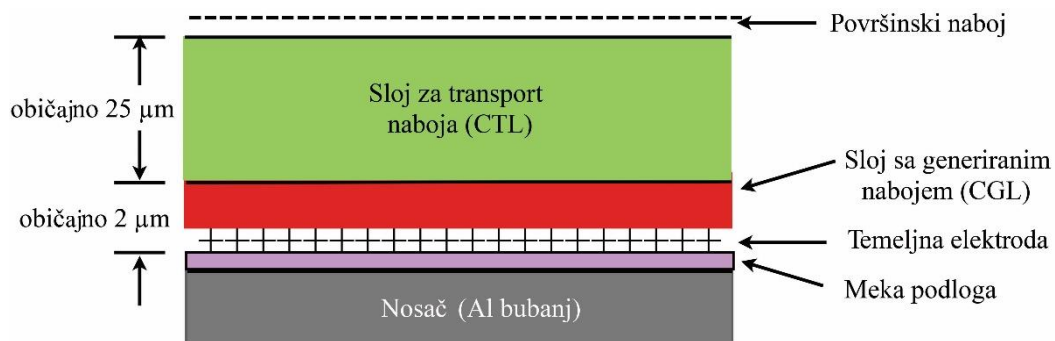
Slika 4. Prikaz tiskovne jedinice III. generacije HP indigo strojeva

Kod ove generacije strojeva postoji mogućnost i *in-line* skeniranja kojim se provodi automatska kontrola otiska (kontrola reprodukcije) bazirana na principu slikovne analize. Za generiranje jednog otiska stroj treba biti opremljen sljedećim tiskovnim jedinicama [14]:

1. valjak za nabijanje (faza nabijanja PIP-a)
2. osvjetljavanje ROS laserskom glavom (faza osvjetljavanja PIP-a)
3. razvijanje PIP-a (faza nanašanja ElectroInk bojila)
4. prvi transfer (prenašanje ElectroInka na ofsetnu gumu)
5. drugi transfer (prenašanje ElectroInka s gume na tiskovnu podlogu)
6. čišćenje PIP-a (faza pripreme PIP-a za sljedeću kolornu separaciju).

2.1.1.1. Faza 1 – nabijanje PIP-a valjkom za nabijanje

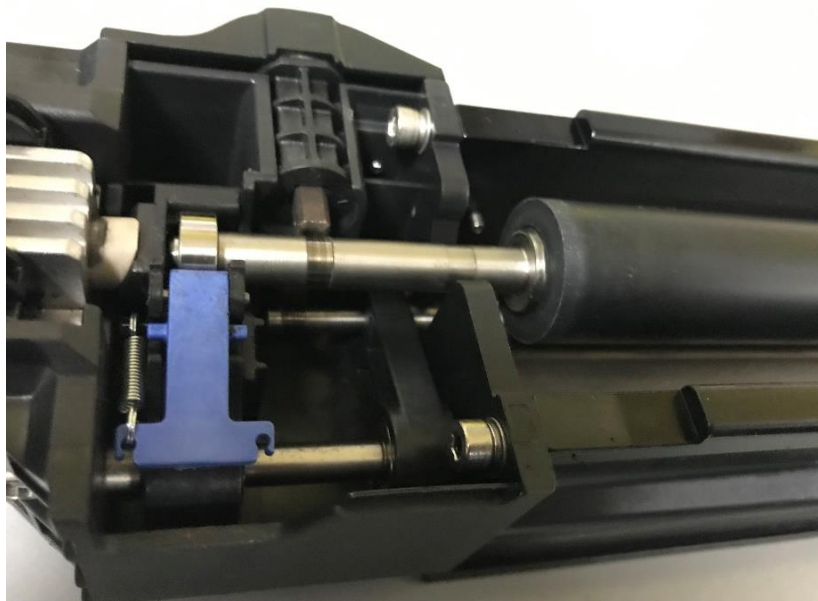
U digitalnom tisku pojam PIP (*Photo Image Plate*) predstavlja specijalni organski fotokonduktor na kojem se generira buduća tiskovna forma (slika 5.). PIP je tanka folija koja se montira na temeljni cilindar koji je građen od čelične jezgre koja je na površini obložena čistim aluminijem [15]. Na istu se montira mekana rastrirana podloga (SoftSub) čija je linijatura oko 120 lin/cm². Time se ostvaruje bolja reprodukcija rasterskih elemenata finoće 175, 180, 196, 210 lpi. Sam PIP čine tri sloja. Prvi je sloj temeljna elektroda (uzemljeni Al), drugi je sloj CGL (*Charge Generation Layer*) koji služi za generiranje naboja, dok treći sloj CTL (*Charge Transport Layer*) služi za migraciju naboja tijekom faze osvjetljavanja. Na temeljnom cilindru HP Indigo stroja na kraju se uvijek formira jedan homogeni površinski negativan naboj koji nastaje uslijed djelovanja valjka za nabijanje.



Slika 5. Shematski prikaz sastava organskog fotokonduktora u tri sloja

Prva je faza u procesu tiska nabijanje PIP-a valjkom za nabijanje kada se ostvaruje negativni naboj na površini temeljnog cilindra (slika 6.). Valjak za nabijanje funkcionira na principu generiranja ioniziranog zraka koji se formira u prostoru između valjka za nabijanje i površine PIP-a. Jezgra valjka za nabijanje direktno je povezana s jedinicom za generiranje naboja CGU (*Charge Generator Unit*) kada se oslobađa inicijalni napon od -7.000 V. Preko valjka za nabijanje oslobađa se velika količina slobodnih elektrona koji se raspršuju u smjeru PIP-a. Oko valjka nalazi se uzemljeno aluminijsko kućište koje uzemljuje višak oslobođenih elektrona i regulira vrijednost formiranog elektrostatskog polja (PIP – valjak za nabijanje). U kontaktnoj zoni elektroni i molekule zraka formirat će ionski sloj negativnog karaktera.

Kako bi negativan naboj ostao na površini temeljnog cilindra (PIP-a), na njemu mora postojati pozitivno nabijena bazna elektroda, uslijed čega se generira elektrostatsko polje koje sprječava da se formirani ioni zraka ne rasprše. Snaga nabijenih iona tako obično iznosi oko -700 V [16].



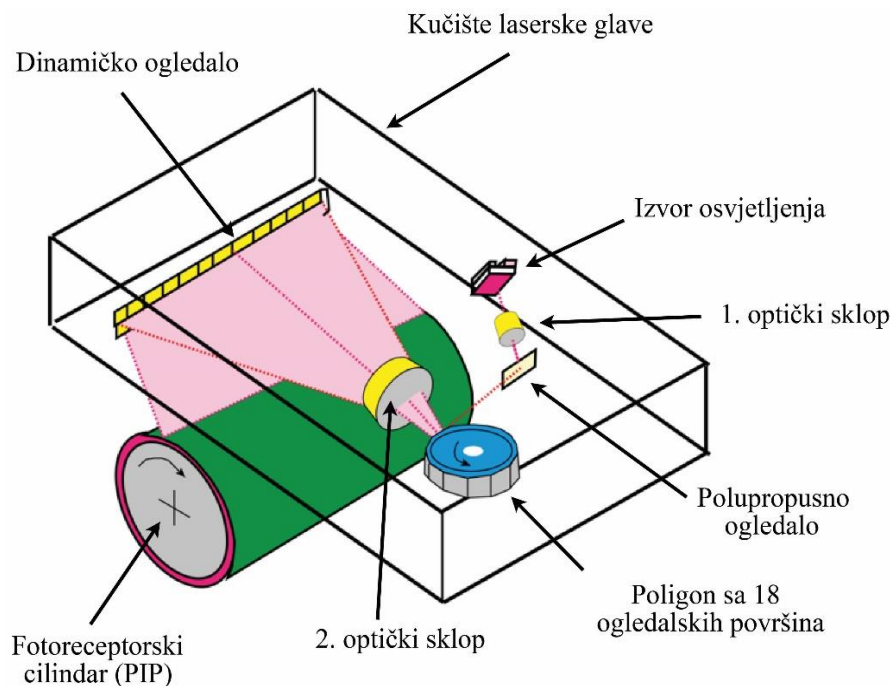
Slika 6. Valjak za nabijanje PIP-a na HP Indigo strojevima

2.1.1.2. Faza 2 – osvjetljavanje ROS laserskom glavom

Da bi se generirala virtualna tiskovna forma, potrebno je izvršiti selektivno osvjetljavanje. Ona se kod HP Indigo strojeva izvodi pomoću ROS (*Raster Optical Scanner*) ispisne glave kada će 12 IR lasera formirati virtualnu sliku (slika 7.) [17].

ROS lasersku glavu čine dva sučelja: elektronski i optički. Elektronsko sučelje čini 12 kanala videoulaza kojima se upravlja pomoću V Corona (videoulaz) i WHIF (*Writing Head InterFace*). Na temelju pristiglih podataka (RIP računala) ostvaruju se kodovi koji aktiviraju svjetlosni izvor. Pri tom je moguće ostvarivati i selektivni intenzitet svake pojedine laserske diode [18]. Dioda generira lasersku zraku valne duljine od 830 nm. Nastale laserske zrake prvo prolaze kroz I. optički sklop koji kompenzira piramidalnu deformaciju (raspršenje zraka svjetlosti 30° po visini i 10° po širini) te nastavljaju putanju do polupropusnog ogledala. Ovdje dolazi do njezina razbijanja i usmjeravanja prema rotirajućem poligonu s osamnaest ogledala (feketa).

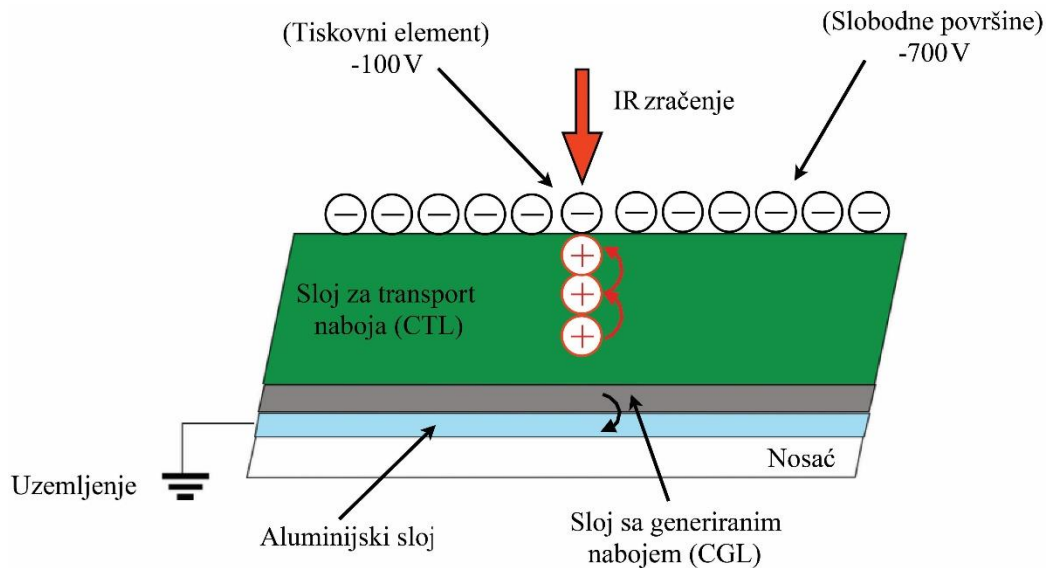
Rotacijom dinamičkog ogledala laserske zrake (16.260 rot/min) reflektiraju se na površinu temeljnog cilindra (PIP-a), pri čemu će jedna rotacija poligonskog ogledala biti ekvivalent širini ispisa (320 mm). Brzina nastajanja takve svjetlosti je velika i iznosi 19 ns [19].



Slika 7. Osvjetljavanje temeljnog cilindra (PIP) pomoću ROS ispisne glave

Da bi se ostvario promjer laserske zrake od $31,25\ \mu\text{m}$, laserske diode moraju biti unutar aluminijskog kućišta. Njihova ležišta obložena su olovom i kositrom stvarajući pritom točan razmak. Da bi se zadržala termalna stabilnost, na aluminijsku podlogu naparen je bakar koji služi za izvlačenje topline i time sprečava pregrijavanje. Oslobođena će se zraka po horizontalnoj osi raširiti (s $12\ \text{mm}$ na $36\ \text{mm}$), dok će se u vertikalnoj osi suziti (sa širine od $2\ \text{mm}$ na $100\ \mu\text{m}$) [17].

Nakon poligonskog ogledala zraka prolazi kroz II. optički sklop koji se sastoji od pet velikih $f\Phi$ leća. Tijekom prolaska laserske svjetlosti slika se proširuje i prenosi na širinu cijelog temeljnog cilindra pomoću dinamičkog ogledala. Početak oslikavanja kontrolira S.O.S. (*Split Optic Sensor*) senzor koji ujedno omogućava pozicioniranje i kalibraciju otiska. Pri tom je moguća regulacija horizontalne linije skeniranja od $125\ \mu\text{m}$ (grublja varijanta razlučivosti), dok se po vertikalnoj osi može generirati razlučivost od $66\ \mu\text{m}$ [20]. Kako bi se definirali tiskovni elementi, potrebno je površinu temeljnog cilindra neutralizirati (s naboja od $-700\ \text{V}$ na naboj od $-100\ \text{V}$). To se izvodi osvjetljavanjem laserskim zrakama, pri čemu će negativni naboj migrirati u smjeru aluminijske podloge. Maksimalnim intenzitetom ROS lasera, moguće je generirati potencijal na PIP-u od $-100\ \text{V}$. Regulacijom izlazne snage laserske glave ostvaruje se mogućnost nijansiranja napona po svakom rasterskom elementu, što za posljedicu ima različito prihvaćanje ElectroInk bojila (slika 8.).



Slika 8. Prikaz generiranja tiskovnih elemenata i slobodnih površina na PIP-u

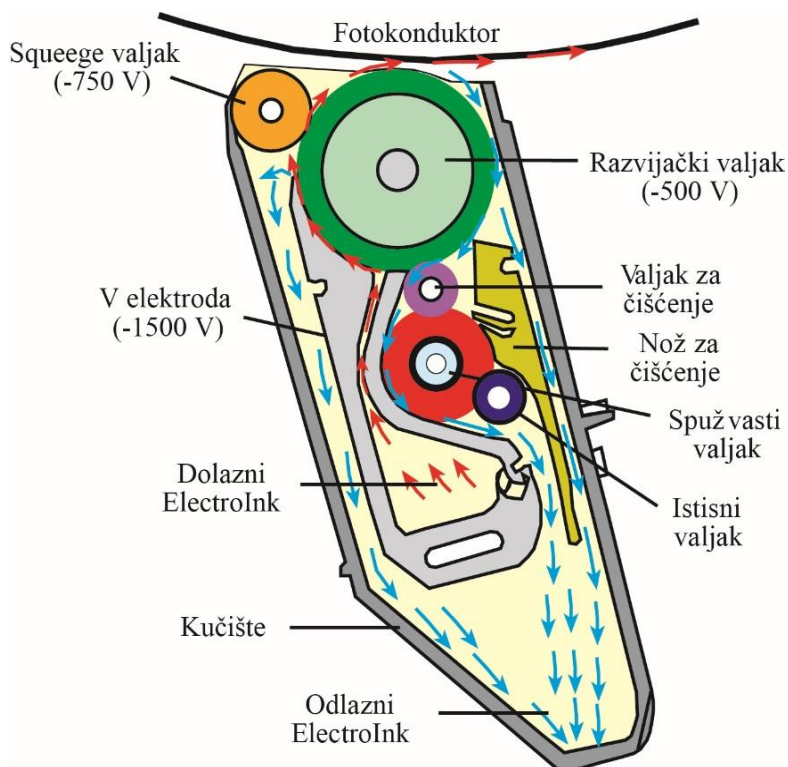
Standardna rezolucija na HP indigo strojevima je 812 x 812 dpi, kada se za generiranje jednog rasterskog elementa upotrebljava superpiksel veličine 6 x 6 dpi (moguće 36 nijansi sivoće). Uz nadogradnju programske opcije HDI (*High Definition Image*), rezolucija ispisa povećava se na 2400 x 2400 dpi-a s najvećom linijaturom ispisa od 250 x 250 lpi [21].

2.1.1.3. Faza 3 – razvijanje

Nakon generiranja latentne tiskovne forme na površini temeljnog cilindra (PIP-a) potrebno je nanijeti ElectroInk bojilo. Taj se postupak još naziva i postupak razvijanja. ElectroInk je specijalno tekuće elektrofotografsko bojilo koje, ovisno o obojenju, sadrži sljedeće komponente: hlapivo ulje ISOPAR (90 % – 95 %), pigment (5 % – 8 %) i regulator naboja – *Image Agent* (1 % – 3 %). Priprema takvog bojila izvodi se neposredno prije tiska pri čemu se koriste denzitometri (koji mjere udio suhe tvari u tekućini), a čija vrijednost iznosi 1.70 g/cm³ [22].

Pigment za HP Indigo boje karakterističan je po zvjezdastom obliku (*fluffy* oblik) koji mu omogućava dobro i kvalitetno povezivanje u veće granule. ElectroInk čestice pigmenta nisu 100 % obojene jer u sebi sadrže i transparentni polimer koji će se pri višim temperaturama polimerizirati [23]. Kako u boji postoji *Image Agent* (polarne visokomolekularne čestice), one će se svojim dugim molekularnim lancem uvijek povezati sa svojim negativnim polom za česticu pigmenta. Kada se takva čestica pigmenta izloži snažnom negativnom elektrostatskom polju, doći će do cijepanja molekula *Image Agent* te

čestica pigmenta postaje negativno nabijena. Zbog toga ona ima tendenciju selektivnog kretanja u smjeru pozitivno nabijenog naboja [24]. Zbog tekućeg tonera provođenje postupka razvijanja najkompliciranija je faza otiskivanja u elektrofotografiji. Razlog tomu je što se na latentnu tiskovnu formu nanosi bojilo formirajući pritom vidljivu obojenu tonersku sliku. Nekada se razvijanje izvodilo u tri faze (razvijački bubanj, povratni valjci, *squeegee* valjak), a današnji strojevi imaju BID-ove. Ovisno o konfiguraciji HP Indigo strojevi mogu imati od minimalno 4 BID-a (CMYK) do maksimalno 7 BID-ova (CMYK + XYZ) [16].

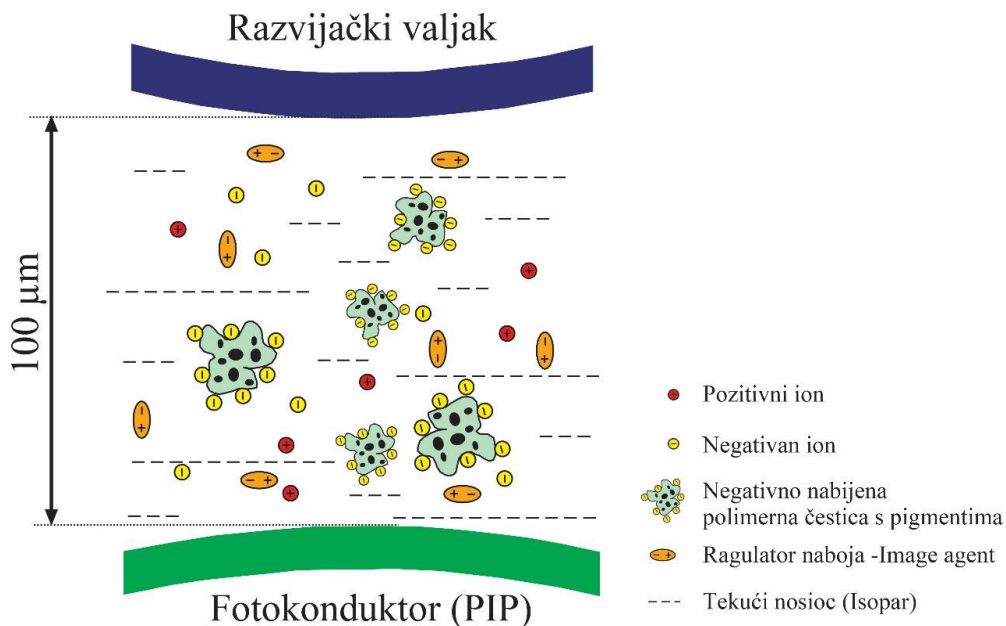


Slika 9. Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje

Sve BID jedinice selektivno su pokretljive te se u trenutku razvijanja površini PIP-a približava samo ona koja se otiskuje i po završetku kolorne separacije vraća u početnu poziciju. Svaka BID jedinica prvo izvlači bojilo iz spremnika V elektrodom (-1500 V) i dovodi ga do valjka za razvijanje (-500 V) [25]. Na taj se način generira razlika u potencijalu od 400 V što stvara novo elektrostatsko polje. S obzirom na to da pigmenti u svom sastavu imaju čestice *Image Agents* (negativnih karakteristika), boja će se kretati u smjeru manje negativnog napona ostvarujući pritom dobro prihvaćanje bojila na površini PIP-a (ima pozitivnije nabijenu površinu u odnosu na razvijači valjak). Time se ostvaruje jednolično nanašanje ElectroInka u debljini od oko $13\text{ }\mu\text{m}$ pri čemu se udio pigmenta u bojilu kreće oko 13% .

Djelovanjem *squeegee* valjka smanjuje se količina mineralnog ulja na valjku za razvijanje, uslijed čega raste i koncentracija pigmenata. Po završetku procesa razvijanja na valjku za razvijanje udio pigmenata iznosi 24 %. U zoni između valjka za razvijanje i PIP-a dolazi do selektivnog prihvaćanja ElectroInka na tiskovne elemente formirajući tonersku sliku nanosa od 6 μm [18].

Po završetku transfera, preostali se ElectroInk čisti s površine valjka za razvijanje. Faza čišćenja valjka za razvijanje provodi se pomoću valjka za čišćenje koji je pod permanentnim naponom od -250 V uz konstantno vlaženje mineralnim uljem (naneseno mekanim spužvastim valjkom). Djelovanjem mineralnog ulja ostvarit će se otapanje čestica ElectroInka koje je tada moguće ukloniti poliuretanskim nožem (raketom) i vratiti u spremnik za bojilo [18]. Zbog različito jakog elektrostatskog polja koje je nastalo između PIP cilindra i valjka za razvijanje, ostvarit će se i različiti nanos ElectroInk bojila. Pri tom će manji negativni napon na valjku za razvijanje imati za posljedicu smanjenje nanosa boje na otisku (slika 10.).

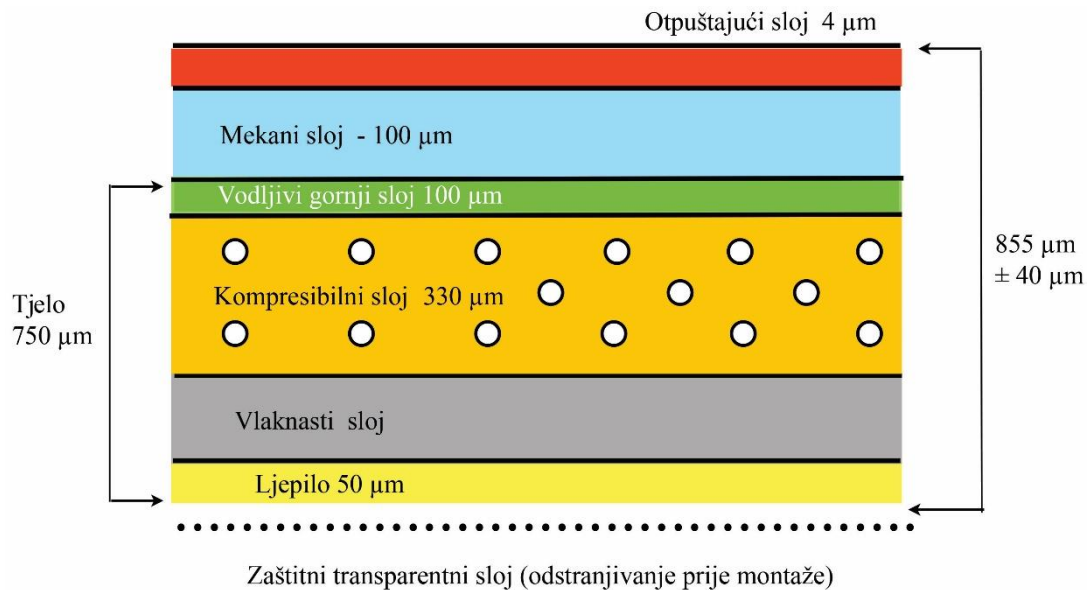


Slika 10. Trenutak prije nabijanja ElectroInk bojila na fotoreceptor

2.1.1.4. Faza 4 – prvi transfer

Da bi se omogućio daljnji transfer ElectroInk bojila (na ofsetni cilindar), potrebno je obrisati prethodno generiran napon na PIP-u. Za brisanje je najpogodnija svjetlost valne duljine od 505 nm oslobođena djelovanjem LED svjetlosnih izvora [26].

Ofsetna guma (*blanket*) za HP Indigo strojeve montira se na površinu ofsetnog cilindra. Da bi se postigao 100-postotni transfer, ova ofsetna guma mora biti provodljiva. Ofsetna se guma zbog toga sastoji od 6 slojeva: ljepljivi sloj (zaštićen folijom koja se skida prije montaže), vlaknasti sloj (270 μm), kompresibilni sloj (330 μm), vodljivi sloj (100 μm), mekani sloj (100 μm), otpuštajući sloj (4 μm). Indigo ofsetna gumena navlaka sastoji se od više slojeva (slika 11.). Vijek trajanja ovakve ofsetne gumene navlake nije dug te se u idealnim scenarijima ostvaruje do 100.000 otisaka [9].



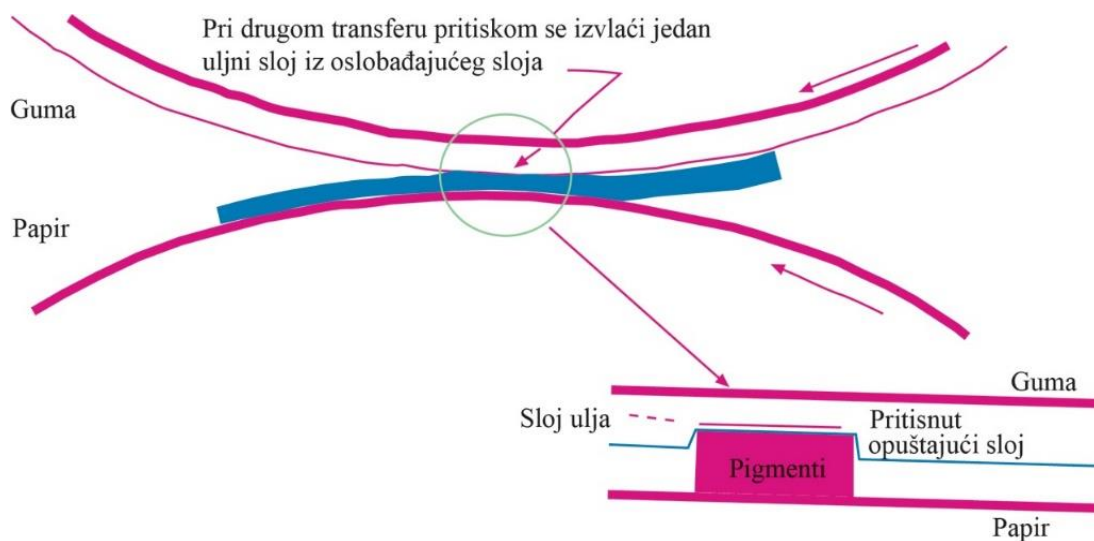
Slika 11. Struktura HP indigo ofsetne gumene navlake

Kako bi se ostvario 100-postotni transfer ElectroInk bojila, površina ofsetnog cilindra mora biti pozitivno nabijena (+500 V). Negativno nabijeno ElectroInk bojilo tako prelazi na površinu ofsetnog cilindra u tekućem agregatnom stanju. Ofsetni cilindar kod ove tehnologije ima i funkciju fuziranja bojila. Zbog toga se u centru ofsetnog cilindra nalazi halogena lampa koja vrši zagrijavanje u rasponu od 120 °C do 160 °C. Time će se na površini ofsetnog cilindra ostvariti prosječna temperatura od oko 100 °C [27]. S obzirom na to da je kod ove konstrukcije HP Indigo WS 6800 stroja ofsetni cilindar istog promjera kao i temeljni (povećan dvostruko u odnosu na prijašnje serije), osim unutarnjih grijača, dodana su i četiri vanjska grijača kako se ne bi izgubilo na brzini rada stroja. Uslijed tako velike temperature nanoseno tekuće bojilo mijenja svoj viskozitet te iz tekućeg stanja prelazi u pastozno stanje. Ovu transformaciju omogućava ISPOPAR (tekući nositelj čestica pigmenta) koji u potpunosti isparava. Uslijed zagrijavanja dolazi i do polimerizacije pigmenta (umrežavanja u veću agregaciju) što dovodi do brze promjene agregatnog stanja.

Temperatura ofsetne gume podešava se ovisno o tiskovnoj podlozi na koju se vrši otiskivanje. Tako će se za termonestabilne podloge upotrijebiti niže temperature, a za karton i papir više temperature ofsetne gumene navlake [28].

2.1.1.5. Faza 5 – drugi transfer ElectroInk bojila

Kako HP Indigo stroj radi na principu indirektnog tiska, pastoznu je boju potrebno prenijeti s ofsetne gume na tiskovnu podlogu. Za uspješnost provođenja ove faze potrebno je u prostor između ofsetnog i tiskovnog cilindra dovesti napetu papirnu rolu i primijeniti odgovarajući tlak. U kontaktnoj zoni vrši se transfer koji će zbog zagrijavanja boje ostvariti selektivnu sedimentaciju pigmentata (slika 12.). Uslijed pritiska tiskovnog cilindra na ofsetnoj gumi formiraju se novonastala dva različito gusta sloja (lakši sloj mineralnog ulja i teži sloj pigmentata). Tijekom transfera na papir prenosi se samo gušći obojeni sloj, dok lakši (lako hlapivo ulje) ostaje na gumi, što rezultira 100-postotnim transferom obojenih pigmentata [29].



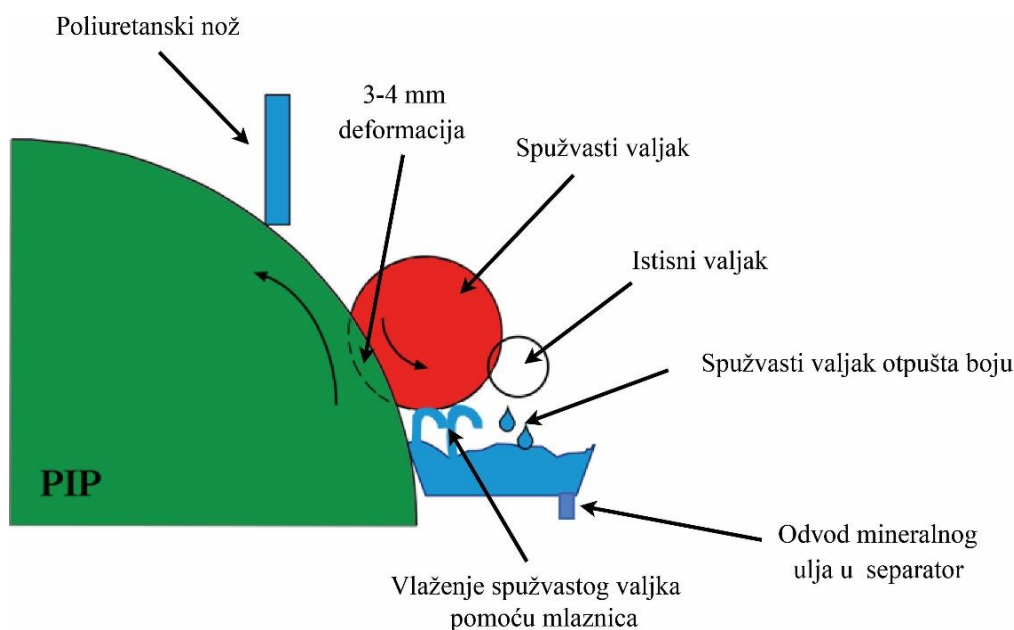
Slika 12. Shematski prikaz II. transfera otiskivanja u HP Indigo strojevima

Da bi se izvršilo otiskivanje nove separacije, površina ofsetne gume mora biti čista i suha. Zbog toga se ofsetni cilindar tretira vrućim zrakom (*Air knife*) kako bi se ostatci mineralnog ulja uklonili (isparili). Kako je riječ o satelitskoj konstrukciji stroja, redosljed nanašanja ElectroInk bojila točno je definiran. Da ne bi došlo do neželjenih površinskih neujednačenosti (engl. *motling*), separacije se nanašaju od najsvjetlije prema najtamnijim (Y, M, C, K). To znači da je prva separacija uvijek žuta.

Zbog toga strojevi koji tiskaju iz role, moraju pomicati rolu unatrag kako bi se izvršilo kolorno otiskivanje. Aktivacijom opcije *one shot* sve se separacije otiskuju na ofsetnu gumu i odjednom transferiraju na tiskovnu podlogu [30].

2.1.1.6. Faza 6 – čišćenje

Kako bi se pripremila tiskovna jedinica za otiskivanje nove kolorne separacije (magenta, cijana i crne), potrebno je provesti završno čišćenje temeljnog cilindra (PIP-a). Jedinica za čišćenje sadrži tri dijela: spužvasti valjak, istisni valjak, poliuretanski nož. Čišćenje se odvija na način da se prethodno navlaženi spužvasti valjak s donje strane šprica mineralnim uljem te takav utisne u strukturu temeljnog cilindra (PIP-a). Pri tom dolazi do mehaničkog kontakta te nastala deformacija spužvastog valjka iznosi od 3 do 4 mm. Slijedom toga dolazi do otopljenja ostataka ElectroInk bojila na površini PIP-a. Kako bi se ostvarilo jednolično nanašanje mineralnog ulja (ISOPARA), istisni valjak cijelo vrijeme cijedi spužvasti.



Slika 13. Prikaz čišćenja temeljnog cilindra (PIP-a) na HP Indigo strojevima

Na kraju faze čišćenja, sva se kontaminirana smjesa (mineralno ulje i tekući toner) vraća u separator na pročišćavanje [18]. Kako bi površina PIP-a u potpunosti bila suha, upotrebljava se meki poliuretanski nož koji uklanja mineralno ulje s površine temeljnog cilindra (PIP-a).

Problematika otiskivanja novim generacijama digitalnih tiskarskih tehnologija izrazito je aktualna te je obrađena i analizirana kvalitetna i ekonomska isplativost [31]. Da bi se ona ispitala, primjenjuju se standardne testne forme (IT8.7-4), ali i specijalne koje sadrže mikroelemente [32]. Najnoviju proceduru za praćenje višebrojne reprodukcije izdala je *German printing association* te za *fine art paper* vrijedi FOGRA 51 [33]. Za američko tržište tiskanih medija primjenjuje se G7 metoda [30].

Za ostvarivanje velikog kolornog gamuta potrebno je primijeniti Hexachrome tisak pri čemu će se dodatkom narančaste i zelene postići viša kolorna kvaliteta [34]. U tom slučaju potrebno je primijeniti stohastički raster čiji algoritmi omogućavaju smanjenje šuma [35].

2.2. Efekt djelovanja korone

Terminologija koja se odnosi na električna pražnjenja nastala pod atmosferskim tlakom nije jedinstvena. Sam proces koji se upotrebljava pri modifikaciji vršnih slojeva polimera naziva se korona izboj. Ovaj postupak prvi je put primijenjen 1960. godine pri čemu se oplemenio površinski sloj polietilenske folije. Zbog primjene dielektrične tiskovne podloge i izvođenja tretmana na samo jednoj koroni, prikladniji bi naziv bio „dielektrično barijerno pražnjenje izmjeničnom strujom pri standardnom atmosferskom tlaku” [36].

Zbog jednostavnosti primjene (mogućnost *in-line* postupka) i niskih troškova proizvodnje, korona tretman trenutno je najčešće upotrebljavana industrijska površinska obrada za poliolefinske materijale (folije, ploče, kompozitne materijale i 3D proizvode). To znači da se uspješno tretiraju materijali kao što su elastomeri (PIB = poliisobutilen i EFR = etilen propilenska guma) kao i sintetički termoplastični materijali (PVC = polivinilklorid, PC = polikarbonat, PE = polietilen, PP = polipropilen, PMP = polimetilpentan) [37].

Zadatak je korona tretmana promjena svojstava polimera iz hidrofobnih u hidrofilne. Pritom tip i količina funkcionalnih skupina na površini određuju različiti kontaktni kut i različito prihvaćanje tekućina. Samim time, moguća je primjena i u funkciji čišćenja Al površina, ali i u modifikaciji papirne i kartonske površine. Ukratko, danas se korona tretman izvodi kako bi se izvršila uspješnija:

- oksidacija vršne površine i ostvarivanje polarnih skupina na istoj
- čišćenja površine materijala i povećanja hrapavosti (modifikacija površinske strukture materijala)
- prihvatljivost tretirane površine bez mijenjanja mehaničkih svojstava materijala
- priprema polimera za proces polimerizacije (iniciranje polimerizacijskog procesa)
- testiranja materijala postupkom ubrzanog starenja
- sterilizacija i dezinfekcija pakiranja medicinskih materijala djelovanjem ozona
- čišćenja od otpadnih plinova [38].

Postupkom korona tretmana ostvarit će se kemijska reakcija oksidacije koja će imati za posljedicu ostvarivanje dobre adhezije tiskarskih bojila i lakova na tiskovne podloge. Takvim tretmanom u tankom površinskom sloju ostvarit će se varijacija kemijskog sastava, reorientacija polarne molekularne strukture, povećanja površinske energije, modifikacija kristalne morfologije i promjena površinske topografije, što u nekim slučajevima (laminirana ambalaža) oslabljuje veze unutar graničnih slojeva.

Proces oksidacije karakterizira oslobađanje kisika i stvaranje ozona i slobodnih radikala kisika [39]. Ako se na površini ostvari kontakt oksidansa i slobodnih radikala, stvaraju se nove oksidirajuće skupine kao što su hidroksilna, karboksilna, karbonilna i esterska. Kod najčešćih tiskovnih podloga (papir i polietilen) detektirani su spojevi koji sadrže karboksilnu kiselinsku skupinu, estere, etere i alkohol koji su ujedno i površinske aktivne tvari koji pospješuju sposobnosti kvašenja. To direktno dovodi do poboljšanja adhezije tiskarskog bojila na tiskovnu podlogu, koja uključuje postupak umrežavanja na površinskom sloju. Dodatno se ostvaruje i povećavanje kohezivne čvrstoće tiskovne podloge (uklanjanjem frakcija s niskomolekularnom masom), promjenom površinske morfologije tiskovne podloge i povećanjem površinske mikrohrapavosti [40].

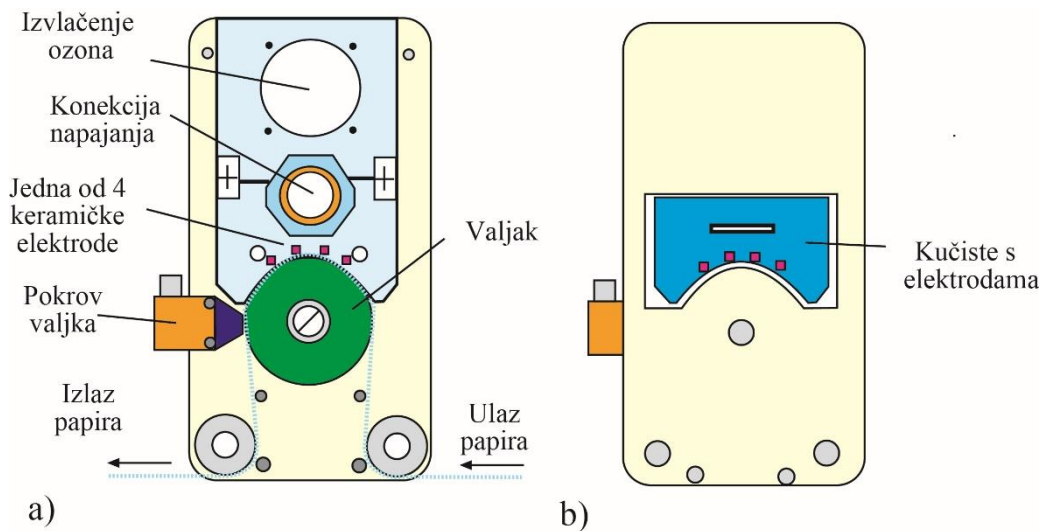
Korona tretman, nažalost, ima i nedostataka koji se manifestiraju uslijed pretjeranog djelovanja korone. Pritom se na površinskom sloju polimera smanjuju međumolekularni lanci pa se oksidirani materijali niske molekularne mase slabo vežu za tiskovnu podlogu. Mnoga istraživanja koja analiziraju svojstva koronom tretiranih materijala potvrdila su nestabilnost takvih tiskovnih podloga (tijekom određenog vremenskog razdoblja na površini zamjećuje se gubitak ostvarenih svojstava). Na takvim se podlogama tijekom starenja na zraku smanjuje koncentracija kisika što ima za posljedicu funkcionalnost skupine (nestaju s površine i raspršuju se unutar tiskovne podloge) [41].

Korona tretman primjenjuje se i pri kvalitetnom otiskivanju tehnikom elektrofotografskog digitalnog tiska. Pritom koronom povećana električna i dielektrična svojstva papira imaju presudnu važnost za kvalitetu otiska. Električna i dielektrična svojstva papira tako ovise o izboru celuloznih vlakana i punila ugrađenih u papir. Vodljivost i dielektrična svojstva papira također ovise i o temperaturi koja se dodatno oslobađa tijekom procesa fuziranja, što se mora uzeti u obzir. To može biti izuzetno važno pri obostranom tisku kada vršna i podložna strana imaju različitu temperaturu, površinsku hrapavost i ostvarenu površinsku energiju. Takve podloge, nažalost, ne mogu dati ujednačene otiske i reproducirane tonske vrijednosti [42].

2.2.1 Konstrukcija i princip rada korona uređaja

Za potrebe grafičke industrije, uređaji za tretiranje tiskovnih podloga koji primjenjuju princip korona izboja nazivaju se još i korona aktivatorima. Ovisno o primijenjenoj geometriji koronske žice i polarnosti aktiviranih elektroda, koronski uređaj može biti unipolaran i bipolarn (koriste se oba ionska pola). Unipolarne korone tako mogu biti pozitivne, negativne ili Trichel pulsne negativne korone čije je ostvareno područje ionizacije aktivirane elektrode vrlo uska tretirana zona.

Jednu od često upotrebljivanih aktivatorskih korona proizvodi danska tvrtka Vetaphone. Uspješno se primjenjuje samo kod strojeva koji tiskaju iz role [43]. Jedna takva jedinica sastoji se od valjaka za vođenje papirne role koji uz pomoć pozadinske elektrode (u obliku cilindra) i kontaktnog izlaznog valjka osiguravaju zadovoljavajuću napetost. U centralnom dijelu smještena je konekcija za distribuciju visokog napona koja aktivira četiri keramičke elektrode koje su smještene u specijalno prilagođenom kućištu. Na taj način osigurana je točna udaljenost od tiskovne podloge. Kako se tijekom procesa nabijanja oslobađa štetni ozon, iznad korona smješten je uređaj za izvlačenje ozona iz sistema (slika 14.).



Slika 14. Vetaphone korone upotrijebljene u HP Indigo stroju: a) stražnja strana, b) prednja strana

Da bi se ostvarila visoka frekvencija tijekom korona tretmana, potrebno je Vetaphone Corona Plus, uređaj s četiri elektrode i četiri uzemljene elektrode, napajati točno definiranim naponom.

Razlog tomu velike su brzine otiskivanja (0,8 m/s) uz zadržavanje velikih formata oplemenjivanja tiskovnih podloga. Stoga korona jedinica sadržava i odgovarajući transformator za regulaciju visoke frekvencije (slika 15.). Da bi se stvorila razlika u potencijalu te djelomično naponsko pražnjenje, u području oko elektroda tlak zraka mora biti oko jedne atmosfere. Samo takvi atmosferski uvjeti mogu rezultirati procesom ionizacije. Važna je karakteristika korona izboja konstrukcija korone i pozicija tankih žica elektroda. Kako njihovo napajanje električnom energijom može biti unipolarno ili bipolarno, dominacija iona ovisi o polarnosti korone (pozitivnim ionima u pozitivnoj koroni i negativnim ionima u negativnoj koroni). Struktura izboja dobivenih u pozitivnim i negativnim procesima različita je, tj. dužina zone tretiranja povećava se s vrijednošću primijenjenog napona. Za ostvarivanje veće efikasnosti, uzemljena elektroda presvučena je većim brojem različitih slojeva. Tako na elektrodi postoje poliesterski sloj, keramički sloj, sloj od silikonske gume i epoksi premaz. Za dodatno učvršćivanje njezine površine, u sastav se dodaje i poliesterska smola te staklena vlakna [44].

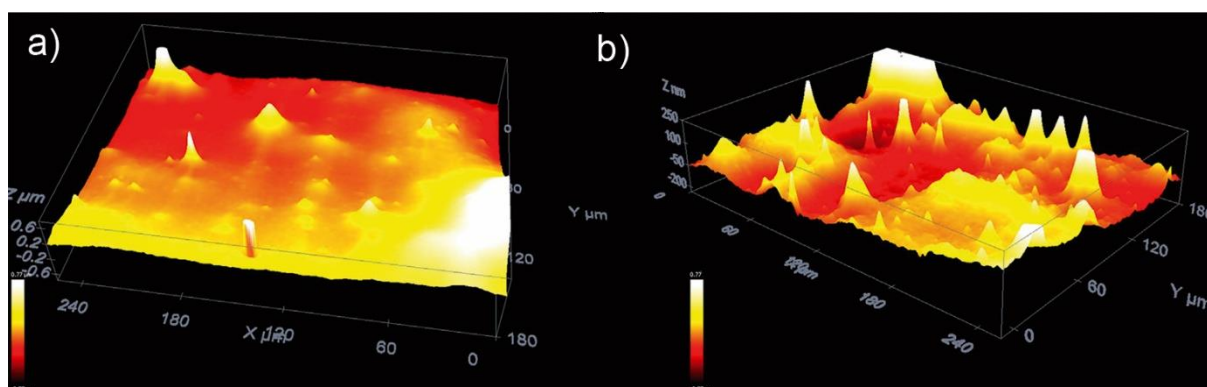


Slika 15. Vetaphone korona ugrađena u tiskarski stroj HP Indigo WS 6800

Da bi se na tiskovnoj podlozi ostvarila odgovarajuća površinska energija, ista se mora bombardirati elektronima unutar prostora dvaju elektroda. Tijekom tretmana kinetička energija oslobođenih elektrona mora biti izrazito velika te će generiranjem elektromagnetskog polja nastati vrijednosti oko 10 eV. Samo ako tako oslobođeni elektroni pogode tiskovnu podlogu, ostvarit će modifikaciju površinskog sloja i smanjenja polimernog

lanca. To znači da se mora zadovoljiti preduvjet, odnosno energija elektrona mora biti veća od energije molekularne veze tiskovne podloge. Brzina izmjena elektromagnetskog polja između elektroda uzrokovat će vibraciju atoma što će rezultirati ionizacijom i disocijacijom okolne atmosfere. Ipak, kinetička energija čestica, atoma i iona plinova u plazmi stvorenoj tijekom ispuštanja korona mnogo je niža u odnosu na kinetičku energiju oslobođenih elektrona (od 10^{-2} do 10^{-4} puta manja) [45].

Kinetička energija elektrona u plazmi obično je veća od energije osnovnih veza u polimernim lancima tiskovne podloge. Tako će sudar oslobođenih elektrona s polimernim lancem dovesti do njezina prekida i promjene svojstava gornjeg sloja polimera. Razbijanje površinskih veza rezultirat će nastajanjem radikala koji iniciraju daljnje kemijske reakcije, kao što su oksidacija i degradacija. Učinak promjena tretirane i netretirane polimerne tiskovne podloge vidljiv je na slici 16. [37].



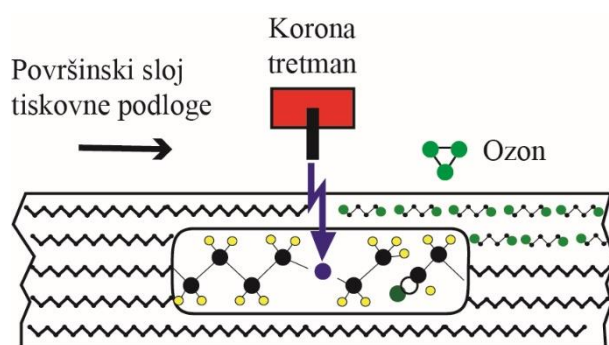
Slika 16. Topografija površine polimernog sloja: a) prije tretiranja koronom, b) nakon tretiranja koronom (Joanna Izdebska, *Printing on Polymers*, poglavlje *Corona tretament*)

Kemijski gledano tijekom korona pražnjenja pojavljuju se ozon, atomi kisika i radikali bez kisika. Ponekad može nastati i plazma niske temperature koja se sastoji od ioniziranog zraka koji ima podjednaku količinu elektrona, iona, neutralnih atoma i čestica različitih plinova (kisika, dušika) i fotona elektromagnetskog zračenja [46].

Rezultat korona tretmana temelji se na fizikalno-kemijskom procesu hrapavljenja uslijed kemijske modifikacije površine. Mikrohrapavljenje uzrokuje ablaciju i čišćenje površine uklanjanjem organski polutanskih tvari uslijed korištenja relativno niske koncentracije ionizirane plazme, stoga ovom postupku bolje odgovara naziv kemijsko hrapavljenje, umjesto fizičko hrapavljenje.

Korona tretman značajan je u slučaju uklanjanja amorfnih i niskomolekularnih supstanci (slabih organskih i anorganskih spojeva) čime se poboljšavaju svojstva vezivanja premaza i boja. Pritom je proces ablacije važan u uklanjanju površinski slabije vezanih elemenata uz povećanje vrijednosti hrapavosti. Oslobođeni elektroni tako se gube da bi se čestice O_2 i H_2O pretvorile u negativne ione O^- i OH^- . Takvi ioni kasnije djeluju s pozitivnim ionima stvarajući nove neutralne vrste. Tijekom tretiranja koronom, gdje u atmosferi postoji vodena para, aktivni sastojci su O , OH , O_2 , O_3 , HO_2 , H_2O_2 , N i NO_x [47].

Ozon koji nastaje tijekom pražnjenja, uzrokuje oštećenja (pukotine ili rezove) površine buduće tiskovne podloge. Pritom nastajanje ozona ovisi o polarnosti korona pražnjenja, relativnoj vlažnosti zraka i sadržaju plinova u atmosferi. Negativni princip koronske aktivacije rezultira većom količinom novonastalog ozona nego u slučaju pozitivnog. Ostvarena veličina mikrohrapavosti gornjeg sloja polimera nije jednoznačno određena te može biti u rasponu od 0,5 do 10 nm [48]. Kako udari elektrona razbijaju kemijske veze (C-C i C-H), u prekinutom polimernom lancu nastaju slobodni radikali. Takvi radikali mogu sudjelovati u novim kombinacijama, nezasićenom bombardiranju ili umrežavanju (slika 17.). Oni, između ostalog, reagiraju s kisikom, ozonom, česticama vode, hidroksilnim skupinama, čime nastaju nepolarni spojevi na površini materijala [49]. Glavne skupine koje se pritom pojavljuju su ketoni, aldehidi, hidroksili i karboksilne skupine. U konačnici dovodi do hidrofilizacije, poboljšanja adhezije, prionjivosti ili pogodnosti da se premažu novim slojevima. Konačni rezultat poboljšanje je čvrstoće veze na površini takvog materijala [50].



Slika 17. Shematski prikaz promjena u vršnom sloju tretiranog materijala – razbijanje kemijskih veza u polimernom lancu

Učinkovitost korona tretmana ovisi o specifičnosti materijala koji će se upotrebljavati u proizvodnji. Kako različiti materijali imaju različite karakteristike i različite količine aditiva, postupak korona tretmana bit će drugačije podešen.

Iz dosadašnjeg pregleda literature ne postoje točno definirane granice glede materijala koji se smiju tretirati koronom. Međutim, potrebno je podešavanje intenziteta tretiranja korona tretmana. Razina tretiranja može se izračunati pomoću formule:

$$P = T \times S \times V \times M \quad (1)$$

gdje je P – potrebna ukupna snaga (W), T – broj stranica koje treba tretirati (jednostrano/obostrano), S – brzina proizvodne linije (m/min), V – širina role (m), M – faktor karakterističan za materijal (W/m²/min). Nastalu korona plazmu moguće je izraziti u obliku zračenja jedne zrake (mikropromjeri) ili kao energiju zračenja koja djeluje po centimetru kvadratnom [51].

2.2.2. Određivanje efekta djelovanja korona tretmana

Oslobođeni ozon nastao tijekom električnog pražnjenja omogućit će ostvarivanje novih karbonilnih skupina s većom površinskom energijom, što je direktni rezultat poboljšanja kemijske povezanosti površinskih molekula tiskovne podloge (polimera) i nanesenog bojila (tekućine). Ova površinska obrada neće promijeniti vizualni izgled materijala jer se mijenja samo vrh molekularnog lanca, što odgovara promjeni u debljini oko 0,00001 μm. Stoga se za učinkovitost djelovanja korone ne mogu upotrebljavati skupi mikroskopi sila AFM (*Atomic Force Microscope*) i profilometri za mjerenje površinske hrapavosti, već metode koje precizno kontroliraju modifikacije gornjeg sloja [52].

Takve metode bazirane su:

- na mjerenju slobodne površinske energije podloge određivanjem kontaktnih kutova između podloge i na nju nanesene točno definirane tekućine
- na mjerenju gustoće gornjeg sloja filma nastalog pri pražnjenju.

Određivanje slobodne površinske energije zasniva se na mjerenju površinske napetosti (σ). Ona se može definirati kao sila kojom bi se trebalo djelovati na površinske molekule tekućine da bi se izjednačila sa silom međudjelovanja molekule u njezinoj unutrašnjosti. Ova fizikalna veličina tako izražava potrebnu vrijednost uloženog rada, odnosno energije da bi se prevladale kohezijske sile na površini tekućine [53]. Zato se slobodna površinska energija može definirati i kao sila F_{pn} koja djeluje okomito na rub tekućine duljine l , tangencijalno s površinom tekućine.

$$\sigma = F_{pn} / l \text{ [N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2)$$

Ovisno o tipu granične površine razlikuju se površinska napetost i međupovršinska napetost.

Pojam površinske napetosti upotrebljava se za pojavu na graničnoj površini tekućina-plin, dok se pojam međupovršinske napetosti odnosi na efekt koji je karakterističan za kontakt dviju tekućina ili tekućine i krute podloge [54].

Zbog različite elektronegativnosti atoma (nejednakog broja protona i elektrona) moguće je ostvarivanje molekula s različito izraženom polarnosti. Samim time različite tekućine ostvaruju različite površinske napetosti (tablica 1).

Tablica 1. Vrijednosti površinske napetosti nekih čistih tekućina pri temperaturi od 20 °C

| Tekućine: | (Nm ⁻¹) | Tekućine: | (Nm ⁻¹) |
|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| izopentan | 13,72 | etiljodid | 29,90 |
| nikalkarbonil | 14,60 | benzol | 28,86 |
| dietiletar | 17,10 | ugljiktetraklorid | 26,66 |
| n-heksan | 18,43 | metilenjodid | 50,76 |
| etilmerkaptan | 21,82 | ugljikdisulfid | 32,33 |
| etilbromid | 24,16 | destilirana voda | 72,75 |
| dijodometan | 50,80 | etilen glikol | 48,30 |

Za određivanje površinske napetosti krutih materijala koriste se tri karakteristične tekućine. To su destilirana voda, dijodometan i etilen glikol. Alternativne metode temelje se na nanošenju indikatorskih tekućina čiji se trag na podlozi uspoređuje s predefiniranim etanolom.

Kada se kapljica tekućine nanese na površinu čvrstog tijela, njezin oblik ovisi o relativnom odnosu triju međufaznih površinskih napetosti: γ_{pt} tekućina – podloga, γ_{tz} tekućina – zrak, γ_{pz} podloga – zrak. U trojnoj točki djeluju tri sile pa je konačni oblik kapi rezultat njihove ravnoteže koja se može prikazati Youngovom jednadžbom [41].

$$\gamma_{pz} = \gamma_{pt} + \gamma_{tz} \cdot \cos\Theta \quad (3)$$

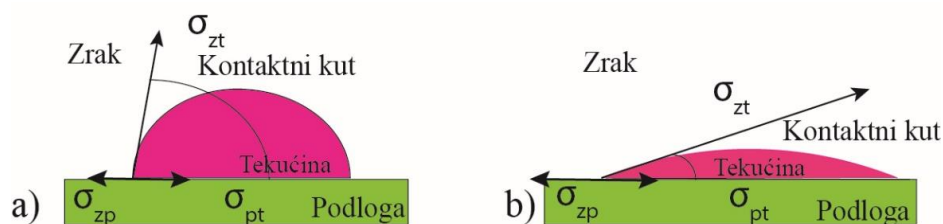
Pomoću Youngove jednadžbe i mjerenjem kontaktnog kuta tekućine poznate površinske napetosti može se izračunati površinska napetost čvrste površine, odnosno poznavanjem površinske napetosti podloge može se izračunati površinska napetost tekućine. Za izračun površinske napetosti podloge σ_p upotrebljava se izraz:

$$\sigma_p = \gamma_{pt} + \sigma_t \cdot \cos\Theta \quad (4)$$

gdje je: γ_{pt} – međufazna napetost između podloge i tekućine, σ_t – površinska napetost tekućine, Θ – kontaktni kut.

Kut koji zatvara tangenta povučena na rub kapi iz trojne točke (točka u kojoj su u kontaktu sve tri faze čvrsto, tekuće i plinovito) i površina čvrstog tijela naziva se kontaktni

kut (slika 18.). Kontaktni kut moguće je izmjeriti uređajem Goniometar koji po izvedbi može biti analogan i upravljani računalom i preciznom videokamerom [55] [56].



Slika 18. Kontaktni kutovi površina: a) s niskom površinskom energijom (31 mN/m), b) s visokom površinskom energijom (42 mN/m)

Na temelju izmjerenog kontaktnog kuta mogu se izračunati površinske napetosti koje se izražavaju u jedinicama mN/m ili dyne/cm gdje je 1 mN/m = 1 dyne/cm. Ovisno o tome kakve se tiskovne podloge mjere primjenjuju se četiri američka standarda:

- ASTM D 618: Praktični standard za testiranje konditorske plastike i električkog plastičnog materijala
- ASTM D 2578: Test metode močenja polietilenskih i polipropilenskih filmova
- ASTM D 724-94: Test metode za močenje papira (metoda kontaktnog kuta)
- ASTM D 5946-96: Test metoda koronom tretiranih polimernih filmova (metoda kontaktnog kuta).

Na temelju gore navedenih normi moguće je napraviti konverziju izmjerenih kutova u površinsku napetost koja vrijedi za nanašanje destilirane vode na koronom tretiranu tiskovnu podlogu [57]. Pritom se upotrebljava sljedeća konverzijska tablica 2. [58].

Tablica 2. Konverzija kontaktnog kuta u vrijednosti površinske napetosti (destilirana voda)

| Kontakt kut (°) | Površinska napetost mN/m | Kontakt kut (°) | Površinska napetost mN/m | Kontakt kut (°) | Površinska napetost mN/m | Kontakt kut (°) | Površinska napetost mN/m |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 41 | 62 | 56 | 54 | 71 | 45 | 86 | 35 |
| 42 | 62 | 57 | 54 | 72 | 44 | 87 | 34 |
| 43 | 61 | 58 | 53 | 73 | 44 | 88 | 33 |
| 44 | 61 | 59 | 53 | 74 | 43 | 89 | 33 |
| 45 | 60 | 60 | 52 | 75 | 42 | 90 | 32 |
| 46 | 60 | 61 | 51 | 76 | 42 | 91 | 31 |
| 47 | 59 | 62 | 51 | 77 | 41 | 92 | 31 |
| 48 | 59 | 63 | 50 | 78 | 40 | 93 | 30 |
| 49 | 58 | 64 | 50 | 79 | 40 | 94 | 29 |
| 50 | 58 | 65 | 49 | 80 | 39 | 95 | 29 |
| 51 | 57 | 66 | 48 | 81 | 38 | 96 | 28 |
| 52 | 57 | 67 | 48 | 82 | 38 | 97 | 27 |
| 53 | 56 | 68 | 47 | 83 | 37 | 98 | 26 |
| 54 | 56 | 69 | 46 | 84 | 36 | 99 | 26 |
| 55 | 55 | 70 | 46 | 85 | 35 | 100 | 25 |

Ovisno o izmjerenoj površinskoj napetosti ostvarenoj nakon tretiranja koronom, tiskovne podloge mogu se kategorizirati u četiri kategorije (tablica 3.)

Tablica 3. Kategorije podloga nakon izvršenog korona tretmana

| Kategorije korona tretmana | Opis | Kontaktни kut | Površinska napetost |
|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------------|
| Kategorija 1 | marginalno ili netretirano | > 90° | ispod 34 mN/m |
| Kategorija 2 | nisko tretirano | od 85° do 90° | od 34 do 36 mN/m |
| Kategorija 3 | srednje tretirano | od 78° do 84° | od 37 do 39 mN/m |
| Kategorija 4 | jako tretirano | < 71° | od 40 do 43 mN/m |

Tijekom tretiranja koronom, razina energije koja se prenosi u aktivni supstrat je promjenjiva. ostvarena površinska energija s vremenom se smanjuje te je potrebno da se korona tretman na materijalima ponovni neposredno prije upotrebe.

Posebno je to potrebno odraditi na materijalima s niskom površinskom napetošću, kao što je PP (polipropilen 29 mN/m) PE-LD (polietilen s niskom gustoćom 31 mN/m), PE-HD (polietilen s visokom gustoćom 32 mN/m) i Bioorjetirani polipropilen BOPP (32 nN/m).

Takav materijal, osim što sadrži veću vrijednost glatkoće, posjeduje izraženu tendenciju pada površinske napetosti što u konačnici ima za posljedicu veliko proklizavanje tijekom procesa tiska. Takvi materijali teže se tretiraju jer posjeduju dodatke sredstva za sprečavanje klizanja. Njihovim starenjem i djelovanjem viših temperatura ostvaruje se njihova migracija u površinski sloj. Udjelom sredstava za proklizavanje veći mod 1.200 ppm materijal može biti pogodan za tisak maksimalno 24 sata nakon tretmana. Rad autora B. Mesića tako pokazuje da u laboratorijskim uvjetima testiranja na IGT uređaju nepremazane površine imaju veći kontaktни kut koji se s vremenom više raspršuje u tiskovnu podlogu. Atmosferske prilike utječu na korona tretman, ali na uvjete u tisku (*motling*, optička gustoća obojenja, prirast RTV-a) ne utječe značajnije ako je tiskovna podloga LDPE [57]. To je posebno izraženo prilikom varijacije temperature kod papira za elektrofotografiju. [42]. Da bi se ostvarilo zadovoljavajuće otiskivanje i mikroperforacija, moraju se upotrijebiti sistemi s niskom temperaturom djelovanja koronarnog pražnjenja koji može ostvariti povećanje površinske energije do 50 mN/m. To je važan preduvjet za primjenu najčešće upotrebljvanih bojila i lakova za tisak fleksibilne ambalaže koje suše isparavanjem. Takva tekuća bojila moraju imati veću površinski napetost od površine na koju se tiska i njen raspon kreće od 40 do 56 mN/m. Tako će bojila ovisno o sastavu imati sljedeće površinske napetosti: 40 – 41

mN/m (na bazi lako hlapivih otapala), 46 – 48 mN/m (bojila na bazi vode). Za primjenu boja na bazi vode obavezno je upotrijebiti plazma korona tretman.

Laminirane i naknadno premazane lakovima papirne tiskovne podloge posjeduju površinske energije 44 – 54 mN/m (lakovi regulaciju sjaja) i 46 – 56 mN/m (tekuća laminacija za zaštitu površine). Premazi na bazi polipropilena (PP), polietilena niske gustoće (LDPE) i Lateks disperzija korona tretmanom ostvarit će povećanje površinske energije, ali i veliku površinsku neujednačenost. Samim time i otisci s dominacijom punih polja vizualno su loši (površina ne ostaje glatka, nego je hrapava).

U znanstvenim istraživanjima primjena korona tretmana vrlo je aktualna za tiskare koje žele postići standardizirane otiske. Posebno je to naglašeno pri otiskivanju na papirne i polimerne podloge koje su svoju primjenu našle u ambalažnoj industriji [59].

Znanstvenicima su trenutno najzanimljiviji upravo LDPE i PP koji se s više ili manje uspješnosti mogu otiskivati i u digitalnim tehnologijama tiska. U radovima autora M. Tuominen i dr., B. Mesić i dr. i J. Lahti i dr., analizirana su svojstva uvjeta u tisku (*motling*, optička gustoća obojenja, prirast RTV-a) na različito tretiranim papirima (koronom, plamenom, argonom i helijem). Najveće će se oscilacije ostvariti tretiranjem plamenom, a najmanje helijem. Također veći efekt izražen je na LDPE-u u odnosu na PP [60]. Za tehniku fleksotiska slično je pokazala studija autora B. Mesića, gdje se na polietilenu i kartonu tretmanom korone poboljšava adhezija bojila [61]. Studija autorice J. Lahti, povezana s uvjetima u tisku kod elektrofotografskog tiska, pokazuje poboljšanje adhezije bojila na premazanim kartonima na kojima se primjenjuje korona tretman [62].

Korona tretman interesantan je i u proizvodnji kartona oplemenjenih LDPE-om pomoću ekstrudijske jedinice. Time se u fleksotisku ostvaruju bolja barijerska svojstva kartona, ali i tisak bez penetracije bojila u tiskovnu podlogu. To je od izuzetnog značaja kod proizvodnje prehrambene ambalaže. Tek nakon razdoblja od osam mjeseci, kontakti se kut dvostruko povećava, ali ne dostiže početnu vrijednost netretirane podloge. Tako koronom tretirana tiskovna podloga neće značajnije utjecati na uvjete u tisku. Promjena u kvaliteti očituje se samo u svojstvu otiranja gdje će se magentne separacije više otirati u odnosu na cijan [63].

Kod otiskivanja na premazanim papirima namijenjenim za tisak flekso vodenim bojama, često se primjenjuju polimeri sa stiren butadien premazom. U radu autora T. Schumana i dr., ispitivana je kvaliteta jednostrano i obostrano premazanog kartona s dodatkom parafina (poboljšanje barijerne karakteristike prehrambene ambalaže).

Povećanje snage korone i duljine trajanja korona tretmana dat će veću stabilnost i držati površinsku napetost do pet dana. Tretiranje koronom vrijednosti sjaja tiskovne podloge padaju, kao i karakteristike otisaka. Kod crnih i cijan otisaka, vrijednost i gustoća obojenja padaju čime dolazi do promjene u prirastu RTV-a za 2 %. Dodatkom parafinskog voska otisak ne postaje kvalitetniji, ali se povećavaju barijerska svojstva. Pri tom treba primijeniti što manje snage napona korone [64].

Modifikacija površinske energije na papir za umjetnički tisak uz primjenu UV sušivih boja pokazuje pojačanu tendenciju ostvarivanja mikročupanja te ostvarivanje veće gustoće obojenja. Time je spriječena apsorpcija pigmenata u premaz papira [37].

2.3. Premazivanje tiskovnih podloga

Da bi se ostvarila ujednačena i točno definirana površinska svojstva, potrebno je izvršiti tretiranje površine određenim supstancama. Najčešće su to akrilni polimeri, vinil eter polimeri, poli stiren butadien, poliesteri, alkidne smole, fenolne smole, vulkanizirani termoplastični elastomeri, oleofinski termoplastični elastomeri, EVOH (etil vinil alkohol kopolimer) smole, polivinil klorid, polivinil acetatne smole, poliamidi, nitroceluloza, ulja, voskovi [65]. Njihovim nanašanjem ostvaruje se mogućnost ostvarivanja boljih mehaničkih svojstava materijala, kao i njihova dugotrajna uporaba.

Ovisno o agregatnom stanju tekućina za oplemenjivanje tiskovne podloge, brzini proizvodnje i debljini nanosa, primjenjuju se i različite metode premazivanja – premazivanje izvršeno izljevanjem, direktnim uranjanjem materijala u premaz, nanašanje kroz usku pukotinu (ekstrudiranje), nanašanje komornim rakelima, nanošenje Mayerovom šipkom. Svi ovi postupci bazirani su na principu jednoličnog nanašanja sa 100-postotnom pokrivenošću površine. Razlike između ovih tehnika očituju se u proizvodnoj produktivnosti koja može varirati od 50 do 1.500 m/min [66]. Da bi se ostvarile takve proizvodne brzine, presudnu ulogu ima viskozitet tekućine za premazivanje čija vrijednost može varirati od 10 do 20.000 mPa.s. Tako će samo idealne tekućine (za koje vrijede Newtonovi zakoni) ostvariti maksimalnu produktivnost premazivanja. Ostvarene debljine premazivanja mogu biti različite, te ovisno o tehnikama premazivanja iznose od 3 do 300 g/m² [67].

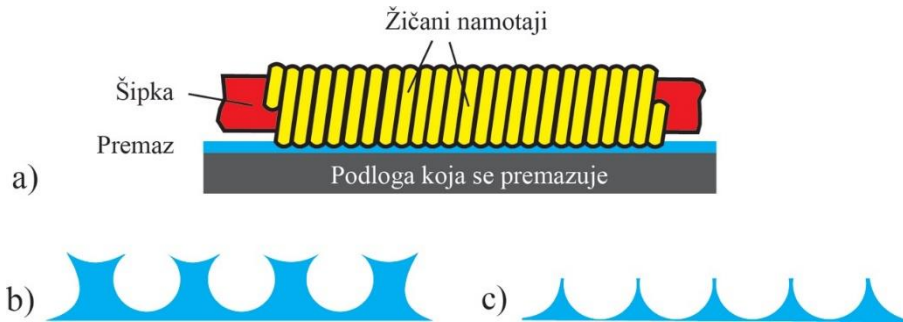
Kao tehnike premazivanja mogu se primijeniti i standardne tehnike otiskivanja kao što su bakrotisak, fleksotisak, plošni (ofsetni) tisak i beskontaktni tintni (Inkjet) ispis. Prednost ovakvih tehnologija premazivanja očituje se u visokoj produktivnosti uz mogućnost parcijalnog nanašanja premaza (uslijed korištenja klasičnih tiskovnih formi).

2.3.1. Premazivanje žičanom šipkom

Prva metoda za kontrolirano nanašanje tekućina na fleksibilne materijale temelji se na primjeni žičane šipke. Ona danas ima najveću primjenu u proizvodnji etiketa i fleksibilne ambalaže. Današnje žičane šipke izrađene su namatanjem žice u spiralu od poliranog nehrđajućeg čelika čime se ostvaruju i različite debljine premaza. Da bi se spriječila moguća korozija i produljio vijek trajanja šipke, žica se može presvući i slojem kroma.

Na tržištu trenutno postoji 90 različitih debljina čeličnih žica čiji promjer varira od 0,06 mm do 2,28 mm. Time se ostvaruju i rasponi mokrog premaza od minimalne debljine 6,4 μm do 228,6 μm. Da bi se osigurao odgovarajući kontakt, žičane šipke smještene su u

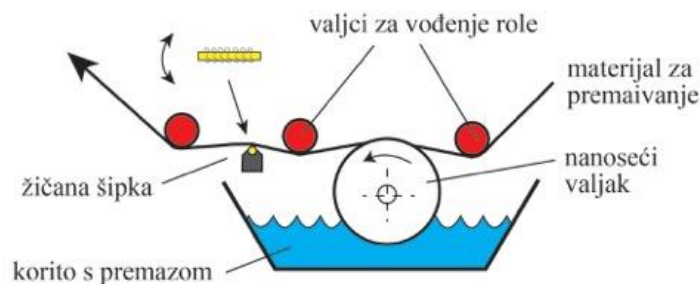
odgovarajuće pravokutne nosače. Na slici 19. prikazan je presjek žičane šipke za premazivanje te struktura oslojene površine [68].



Slika 19. Konstrukcija šipke za premazivanje: a) presjek šipke, b) ostvareni veliki premaz, c) standardni premaz

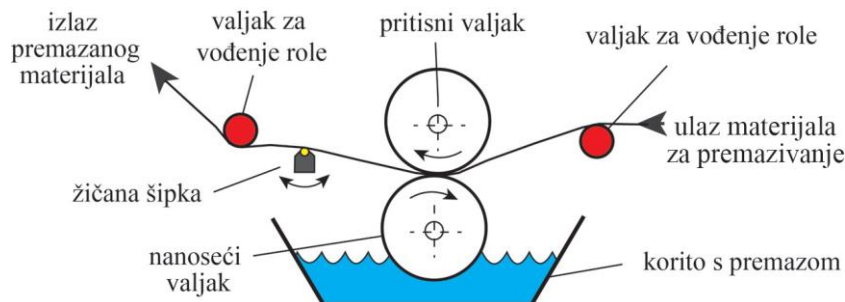
Profil površine ostvarene ovakvim premazivanjem nije u potpunosti ravan te slijedi strukturu razmaka između žičanih namotaja. Tako će rjeđe namotana šipka ostvariti veći premaz (slika 19.b), dok će gušće namotana šipka (standardni premaz) ostvariti manji nanos tekućine (slika 19.c). Pri izračunu ostvarenog premaza tehnikom povlačenja žičane šipke obično se definira omjer 1 : 10. To znači da promjer 0,06 mm ostvaruje nanos od 0,006 mm [69].

Današnji strojevi za premazivanje mogu biti laboratorijski (ručno premazivanje malih dimenzija) i industrijski (upotrebljavaju se šipke sa šire namotanim žicama kako bi se ostvarile velike brzine premazivanja). Ručni postupak uvelike ovisi o ljudskom faktoru, tj. varijacija nanosa ovisi o primijenjenom pritisku šipke, kutu dodira i brzini kretanja šipke. Tipična jedinica za industrijsko premazivanje sastoji se od velikog valjka za nanašanje koji je uronjen u posudu s premazom. Njegovom rotacijom i direktnim kontaktom s rolom za premazivanje ostvaruje se neujednačeni nanos premaza. Fina regulacija premaza i ostvarivanje željene debljine nanosa ostvaruje se naknadnim djelovanjem žičane šipke (slika 20.). Dodatnu regulaciju moguće je ostvariti i zakretanjem žičane šipke koja se izvodi u suprotnom smjeru od kretanja materijala. Pri tom se primjenjuje kut od 15° za veliki nanos i 25° za mali nanos. Po završetku nanašanja ostatci neprenesene tekućine (višak premaza), vraćaju se u spremnik djelovanjem gravitacije [65].



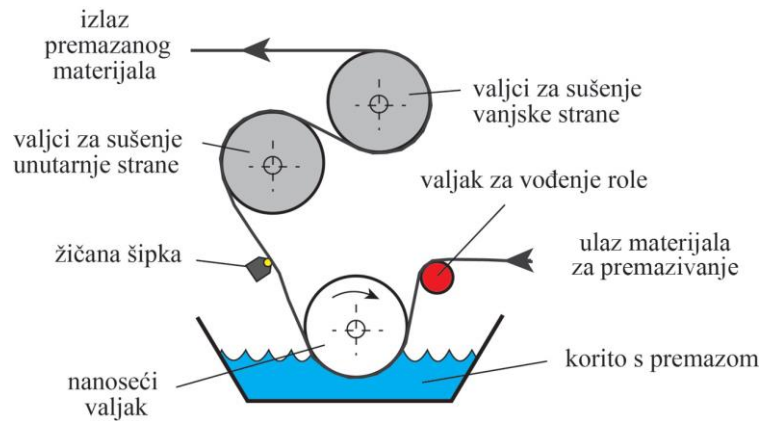
Slika 20. Metoda premazivanja valjkom i žičanom šipkom za regulaciju nanosa

Pri nanašanju viskoznijih tekućina, potrebno je ostvariti veći pritisak tijekom nanašanja. Takav pritisak ostvaruje se djelovanjem pritisknog valjka koji je identičnog promjera kao i valjak za nanašanje. Na kraju procesa žičana šipka upotrebljava se za ostvarivanje točne količine premaza (slika 21.)



Slika 21. Metoda premazivanja s dva valjka i žičanom šipkom za regulaciju nanosa

Za ostvarivanje najvećih nanosa primjenjuje se metoda umakanja. Pri tom će tiskovna podloga ući u korito s premazom kako bi se ostvarila ekstremno velika količina premaza. Konačni nanos ostvaruje se malim namotajima žičane šipke nakon čega je potrebno sušenje. Princip sušenja izvodi se zagrijanim valjcima (kalenderi) koji će s obje strane izvršiti fiksiranje premaza (slika 22.). Za osiguranje kvalitete premazivanja na kraju linije moguće je ugraditi odgovarajuće mjerne uređaje koji rade na principu mjerenja debljine (μm) [70].

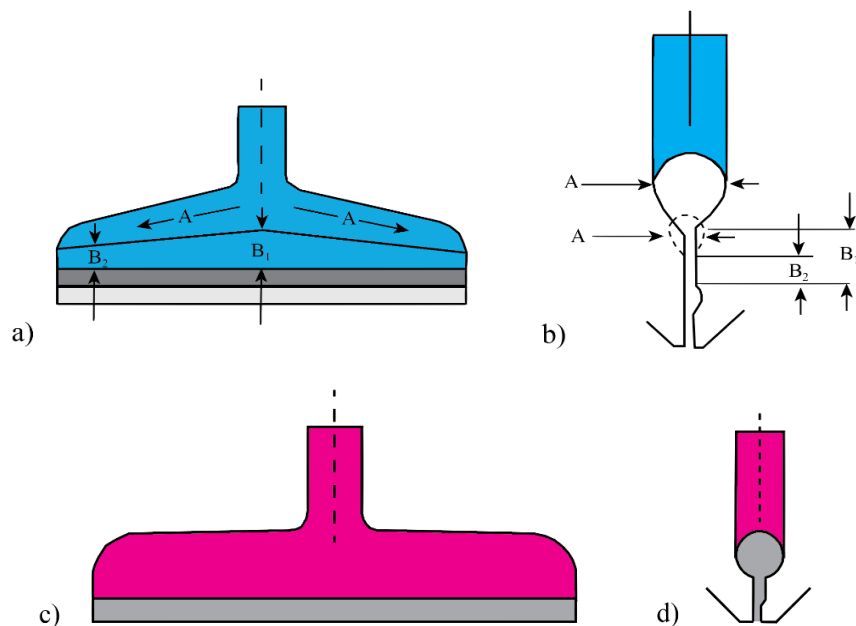


Slika 22. Metoda premazivanja umakanjem u korito i žičanom šipkom za regulaciju nanosa

2.3.2. Premazivanje nanašanjem kroz usku pukotinu (ekstrudiranje)

Sistem nanašanja kroz usku pukotinu može biti realiziran na strojevima različitog dizajna, pri čemu se ostvaruju različite brzine premazivanja i različiti nanosi premaza. Osnovu sistema čini uski kanal čija širina odgovara širini tiskovne podloge. Tako će mlaznica za premazivanje biti fiksna dok će se pomicati samo tiskovna podloga [71]. Dotok premaza osiguran je konekcijom spremnika fleksibilnim cijevima koje uz pomoć kompresora distribuiraju točno određeni volumen premaza. Pukotina će obično biti veća u centralnom dijelu (B_1) i manja u rubnim dijelovima (B_2). Da bi zone bile jednako opskrbljene tekućinama većeg viskoziteta (ostvarivanje točne brzine strujanja fluida), unutar mlaznice nalazi se razdjelnik (A) koji je veće širine u dodiru s dotokom, a manje u dodiru s tiskarskom podlogom (specifičnog konusnog oblika). Samim time, nanos premaza ovisit će o veličini otvora pukotine, tj. veća će pukotina ostvariti veći sloj premaza. Kod viskoznijih tekućina potrebna je primjena većeg tlaka u kompresorima kako bi se osigurala ujednačena distribucija nanosa. Najčešća konstrukcija primijenjena u industriji oblik je vješalice s uskom mlaznicom (slika 23.ab) [72].

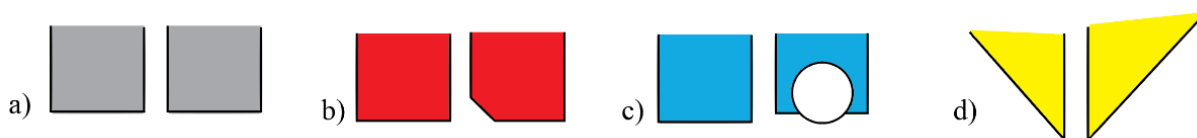
Druga često upotrebljavana konstrukcija u premazivanju naziva se „T” oblik. Takav naziv nastao je zbog specifičnog oblika razdjelnika koji nema kompenzaciju u zoni nanašanja (sva površina jednake je širine). Samim time, protok fluida tijekom nanašanja lagano stagnira (smanjuje se), što ne daje ravnomjerni premaz, čime nastaje i varijacija u debljini (slika 23.cd)



Slika 23. Konstrukcijski prikaz mlaznice za premazivanje: a) nacrt mlaznice u obliku vješalice, b) bokocrt mlaznice u obliku vješalice, c) nacrt mlaznice u „T” obliku, d) bokocrt mlaznice u „T” obliku

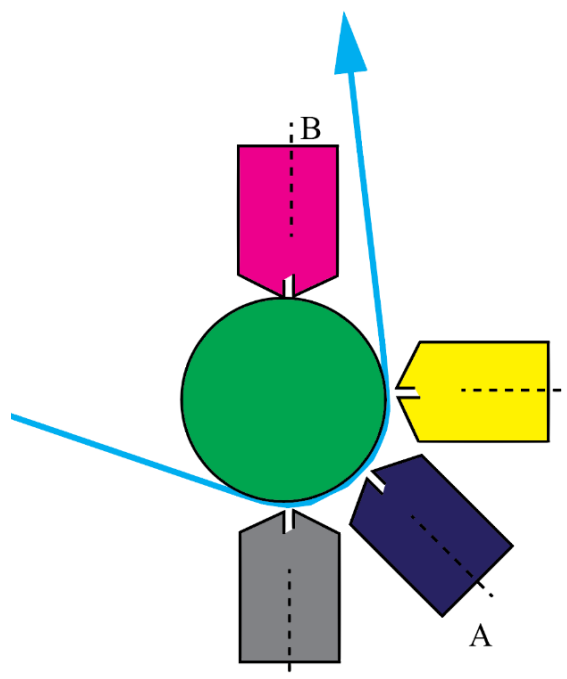
Na vrh mlaznice obično se ugrađuje fleksibilni nastavak (engl. *lip*) koji dodatno distribuira premaz na tiskovnu podlogu. Ovisno o željenom nanosu, moguća je varijacija u izvedbi vršnog dijela. Djelomično tu deformaciju može kompenzirati kompresor koji pri tom mora biti složenog dizajna s omogućenom većom regulacijom zraka. Za precizno ostvarene debljine i profile premaza, mogu se primijeniti četiri konstrukcije (slika 24.):

- s ravnim rubnim vrhom (duga zona špricanja)
- s ravnim rubnim vrhom (srednja zona špricanja)
- na vršnom rubu (srednja zona špricanja šipkom)
- vršni rub ostvaren oštrim nožem (kratka zona špricanja).



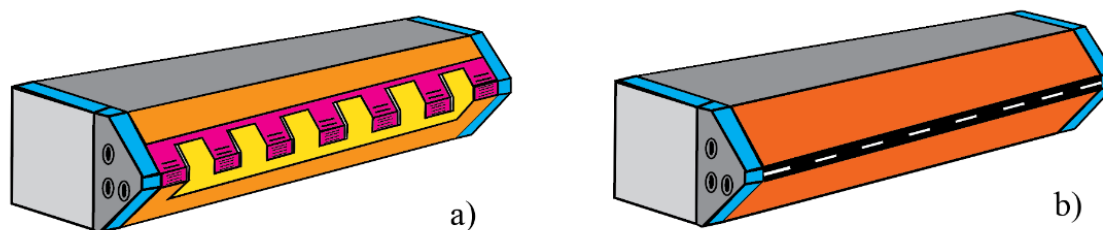
Slika 24. Profili na „T” obliku jedinice za premazivanje: a) s ravnim rubnim vrhom (duga zona špricanja), b) s ravnim rubnim vrhom (srednja zona špricanja), c) na vršnom rubu (srednja zona špricanja šipkom), d) vršni rub ostvaren oštrim nožem (kratka zona špricanja)

Tijekom premazivanja jedinice za premazivanje u direktnom su kontaktu s tiskarskom podlogom i pritisnim cilindrom. Kako je riječ o satelitskoj konstrukciji, moguće je izvršiti veći broj premazivanja u jednom ciklusu. Takvi strojevi onda posjeduju od jedne do četiri jedinice za premazivanje (slika 25.). Ovisno o kutu kontakta moguće je pronaći četiri pozicije. To su pozicije 12 sati (B), 3 sata, 4 ili 5 sati (A) i 6 sati. Kut kontakta ovisi o profilu vrha, o razmaku između vrhova, tvrdoći i promjeru pritisnog valjka i površinskoj napetosti tiskovne podloge. Trenutno najčešće upotrebljavana pozicija je kod 4 ili 5 sati zbog lakše pristupačnosti operatera te lakšeg uklanjanja dovodne cijevi povezane na kompresorsku pumpu [73].



Slika 25. Satelitska konstrukcija jedinice za premazivanje

Ovakvi sustavi mogu izvoditi i parcijalno premazivanje po zonama. Tako će ovisno o dužini mlaznica nastati šire ili uže premazane zone. Ovakvi sistemi obično se upotrebljavaju pri premazivanju metaliziranih folija koje moraju biti premazane ljepilima ili pjenama kako bi se ostvario ljepljivi spoj. Trenutno su u uporabi dvije konstrukcije: a) vršna površina izrađena u obliku grablji, b) površina selektivno blokirana vršnom pločom (slika 26.) [74].

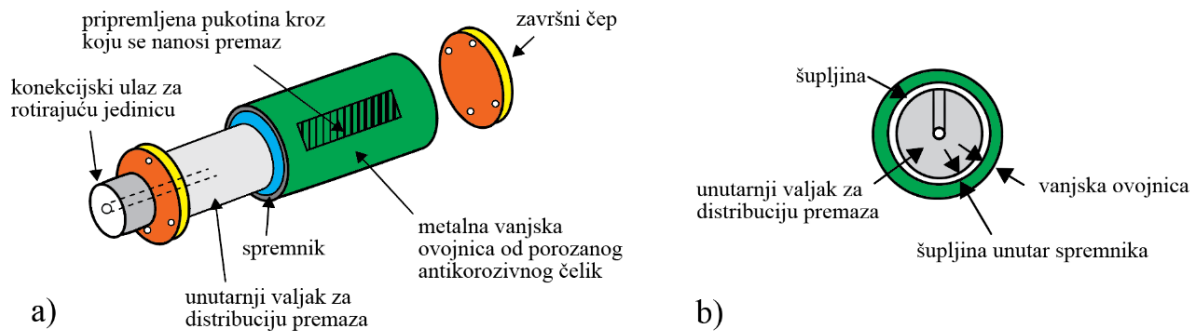


Slika 26. Shematski prikaz jedinice za parcijalno premazivanje: a) konstrukcija u obliku grablji, b) konstrukcija s polupropusnom vršnom pločom

2.3.3. Premazivanje poroznim cilindrom

Tehnika premazivanja poroznim cilindrom trenutno se primjenjuje za ostvarivanje silikonskih premaza na polimernim tiskovnim materijalima. Kako se silikonske tekućine viskoziteta od 500 do 1.000 mPa·s teško nanašaju na podloge, potrebno je prethodno izvršiti tretiranje koronom (UV zračenjem) ili bombardiranjem površine elektronima (X zračenjem). Brzina premazivanja će direktno ovisiti o jedinici za predobradu, a kreće se u rasponu od 30 m/min za UV tretiranje do 200 m/min za X zračenje [75].

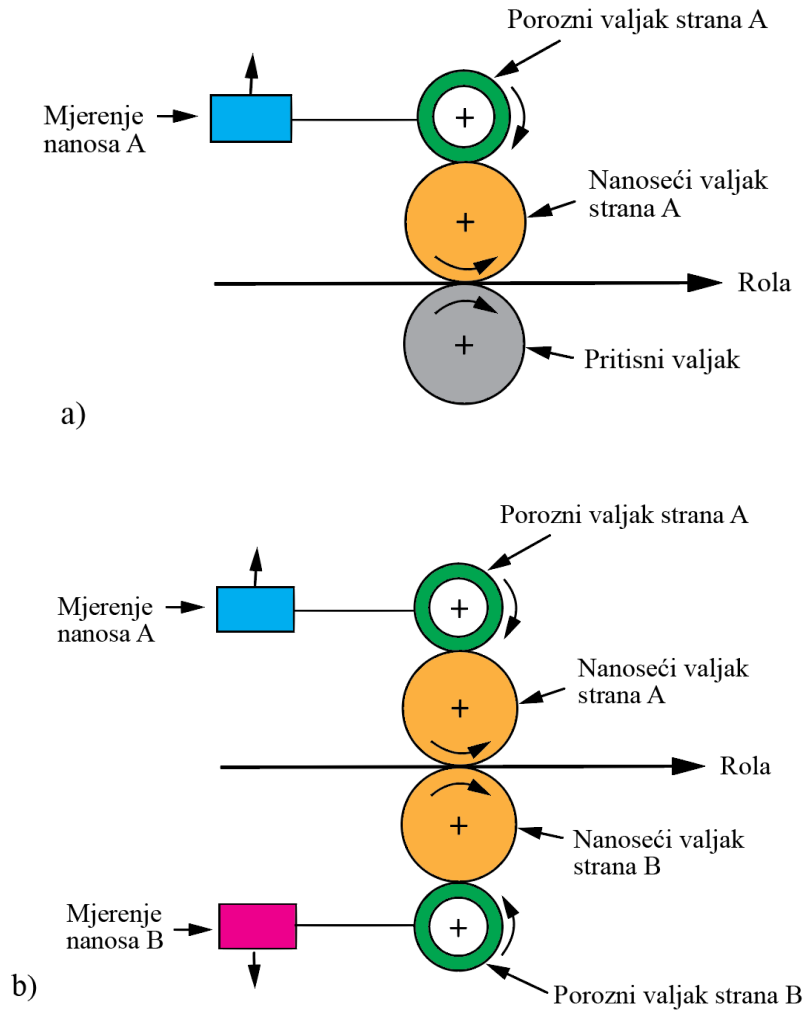
Jedinica za premazivanje kompleksno je građena. Sastoji se od jednog centralnog valjka koji služi za distribuciju tekućine za premazivanje. Centralni valjak s jedne strane posjeduje konekciju za rotirajuću jedinicu, dok se s druge strane nalazi završni čep. Vanjska površina građena je od poroznog, antikorozivnog čelika koji sadrži odgovarajući uzorak čiji će se motiv prenijeti na tiskovnu podlogu. Tako će se tekućina za premazivanje nalaziti samo u šupljini između vanjske ovojnice i centralnog dijela valjka te nanašati pod utjecajem gravitacije na prijenosni cilindar (slika 27.). Ovisno o veličini uzorka (šupljine) moguće je ostvariti premazivanje jednog segmenta (premaže se u cijelosti samo jedna uska rola) ili više segmenata (premaže se velika rola s više povezanih jedinica za premazivanje). Pri tom je moguće razlikovati premazivanja u negativu ili pozitivu.



Slika 27. Centralni valjak za premazivanje: a) shematski prikaz valjka, b) presjek valjka

Metoda nanašanja poroznim valjkom može se izvesti na strojevima koji mogu posjedovati dvije vrste premaznih jedinica. To su jednostrana i obostrana jedinica za premazivanje. Da bi se ostvarilo ujednačeno jednostrano nanašanje (s definiranim sjajem), porozni valjak mora prenijeti takav premaz na jedan zagrijani nanoseći valjak (slika 28.a). Njegova površina presvučena je gumenom navlakom koja je u direktnom kontaktu s tiskovnom podlogom. Da bi se ostvario željeni nanos, ispod tiskovne podloge (role) mora biti smješten pritisni valjak koji svojom silom izvodi konačni premaz od 1,3 do 1,6 g/m² [76].

Obostrana jedinica za premazivanje gotovo je ista konstrukciji jednostrane. Razlika se očituje u pritisnom valjku koji je zamijenjen nanosnim valjkom donje jedinice za premazivanje. Tako se nanašanje izvodi istovremeno s obje strane tiskovne podloge (role) (slika 28.b). Da bi se ostvarili ujednačeni nanosi, jedinice za nanašanje moraju biti opremljene optičkim sensorima koji mjere nanos premaza na oba porozna valjka. Tako će senzor A mjeriti nanos s gornje strane tiskovne podloge, dok će s donje strane tiskovne podloge nanos mjeriti senzor B.



Slika 28. Shematski prikaz jedinice za premazivanje na principu pukotine: a) jednostrano premazivanje, b) obostrano premazivanje

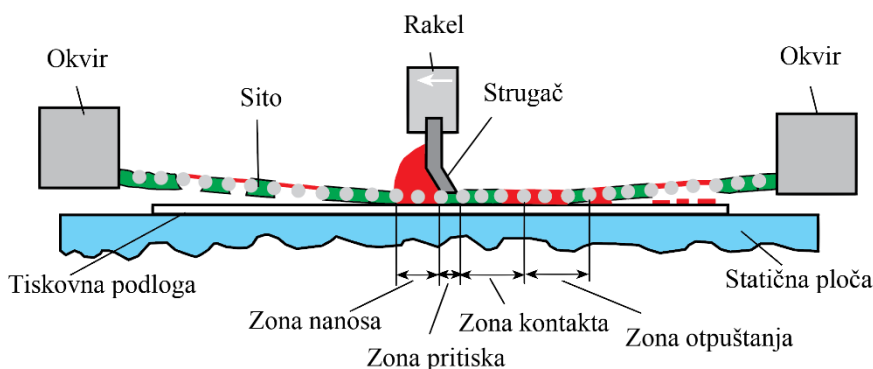
Brzina premazivanja ovakvih sistema ovisi o viskozitetu tekućine za premazivanje. Samim time viskoznije ili gušće tekućine smanjit će radnu brzinu strojnog nanašanja te će bilo kakva promjena viskoznosti tijekom premazivanja rezultirati redukcijom konačnog nanosa premaza. Zbog toga klimatski uvjeti u proizvodnim pogonima gdje se izvodi premazivanje moraju biti standardni i konstantni [77].

2.3.4. Premazivanje sitotiskarskom premaznom jedinicom

Za potrebe premazivanja moguće je upotrijebiti i konvencionalne tehnike otiskivanja. Najčešće su u uporabi one koje omogućavaju visoku produkciju, tj. velike brzine otiskivanja u kontroliranim nanosima. Predstavnici takvih tehnika su sitotisak, fleksotisak, bakrotisak i litografski ofset. Razlike između navedenih tehnika očituju se u viskoznosti tekućine za premazivanje te tiskovnoj formi (masteru) koji može premazivati segmentno (parcijalno) ili po čitavoj površini [78].

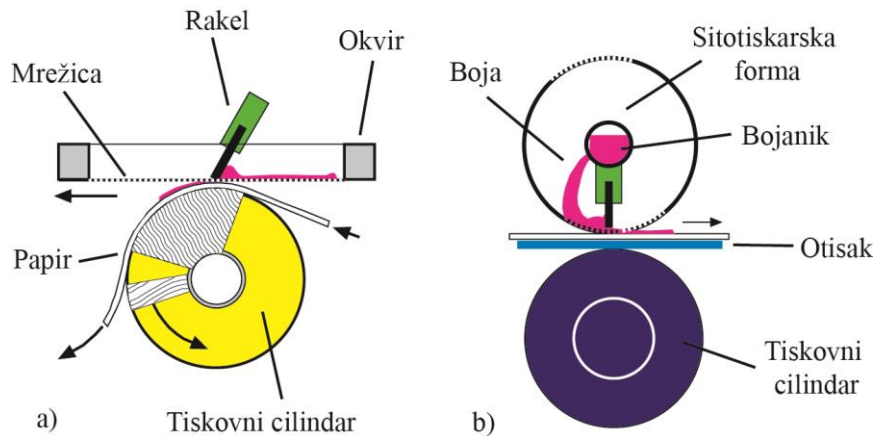
Sitotisak je industrijski najprimjenjivanija tiskarska tehnika koja se uz grafičku industriju uspješno upotrebljava u proizvodnji tekstila, elektroničkih uređaja, staklene ambalaže, proizvodnji keramike i tisku na automobilske dijelove. Tiskovna forma za sitotisak (master) tekstilna je mrežica (PET i PE) koja je napeta s jedne strane metalnog okvira građenog od aluminijskog okvira. Da bi se otisnula točno definirana dimenzija, u centralnom dijelu sita nalazi se šablona koju čine propusni dijelovi tkanine (tiskovni elementi) i nepropusni elementi tkanine (slobodne površine). Zbog fleksibilnosti tkanine (mastera) moguće je otiskivati na različite oblike gotovih proizvoda.

Prilikom otiskivanja, sito se nalazi nekoliko milimetara udaljeno od tiskovne podloge te otisak nastaje protiskivanjem bojila gumenim ili sintetskim rakelom. Ovisno o gustoći mrežice i sili pritiska rakela mogu se postići različiti nanosi premaza (od 1 do 30 μm). Da bi se to ostvarilo, pri *flatbed* sitotisku (najčešća konstrukcija strojeva) moraju se formirati četiri karakteristične zone: zona nanosa, zona pritiska, zona kontakta i zona otpuštanja (slika 29.) [79].



Slika 29. Shematski prikaz principa rada *flatbed* sitotiskarskog stroja

Osim *flatbed* konstrukcije koja se primjenjuje za tisak ravnih i debelih podloga, u tehnici sitotiska postoji mogućnost otiskivanja tankih fleksibilnih podloga. Pri tom se pri premazivanju upotrebljavaju drugačije konstrukcije strojeva koji rade na principu rotacijskog tiska (slika 30.a).

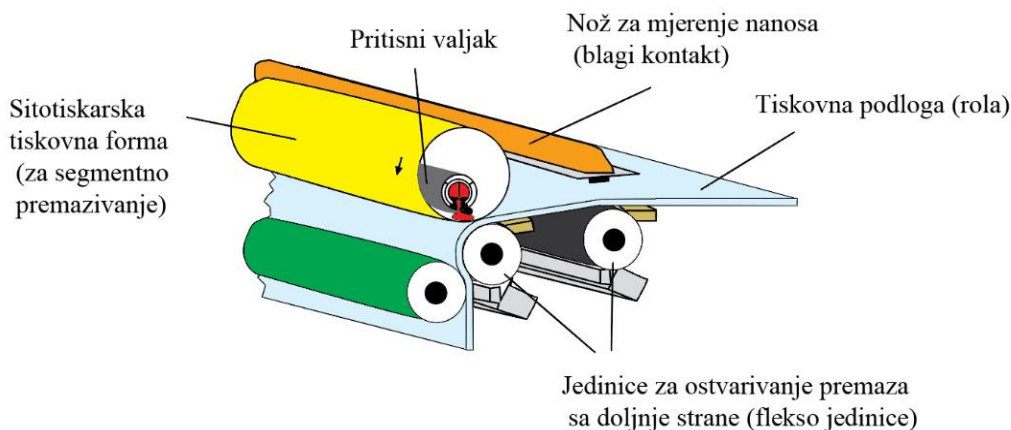


Slika 30. Shematski prikaz rada roto sitotiskarskih strojeva: a) sitotiskarski cilindar, b) sitotiskarska rotacija

Sitotiskarski cilindar konstrukcija je namijenjena za tisak na arke velikog formata. Pri tom se tijekom otiskivanja osim rotacije cilindra provodi i translacija okvira s tiskovnom formom (slika 30b.). Umjesto ravne površine u ovoj konstrukciji primjenjuje se cilindar koji na sebi drži tiskovnu podlogu. Da bi se ostvario kontakt, unutar cilindra nalazi se kompresor koji vakuumom fiksira tiskovnu podlogu. Tako će se ostvariti precizan i kontroliran otisak koji može biti u jednom ili više nanosa (višebojni strojevi za premazivanje) [80].

Sitotiskarske rotacije namijenjene su za otiskivanje tiskovnih podloga u roli. Takav sistem upotrebljava rotacijsku sitotiskarsku formu (mrežica je napeta na cilindar). Unutar cilindra smještena je jedinica za obojenje, koju čine bojanik i fiksni rakel. Otisak nastaje prolaskom role između sitotiskarskog temeljnog cilindra i tiskovnog cilindra koji svojim rotacijama protiskuju bojilo direktno na tiskovnu podlogu. Takvom konstrukcijom ostvaruju se preduvjeti otiskivanja velikom brzinom što je iskorišteno za otiskivanje etiketa i samoljepivog promocijskog materijala.

Za premazivanje laminiranih polimernih materijala, sitotiskarsku rotacijsku jedinicu moguće je kombinirati s fleksojedinicom za premazivanje. Time je ostvaren preduvjet hibridnog premazivanja. Kod njega će se prvo sitotiskarskom jedinicom formirati segmentni premaz na gornju stranu podloge (veći nanos), dok će se na donju stranu formirati jednolični premaz flekso tiskovnom jedinicom. Konačan nanos boja mjeri se mehanički, tj. mjerenjem udaljenosti noža u odnosu na tiskovnu podlogu (slika 31.).



Slika 31. Shematski prikaz rada hibridnog premazivanja (sitotisak i fleksotisak)

Ovakvom tehnikom premazivanja mogu se nanášati tekućine različitog viskoziteta. Preduvjet tome je gustoća tkanja mrežice koja može iznositi od 30 do 200 niti/cm. Pri tom će se niska gustoća niti upotrijebiti za pastozne tekućine (velikog viskoziteta), dok će se za likvidne tekućine (niskog viskoziteta) upotrijebiti mrežice visoke gustoće tkanja [81].

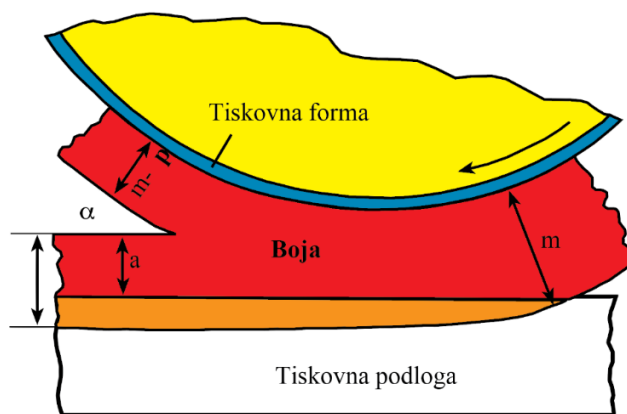
Zbog velikog raspona mogućnosti otiskivanja na tiskovne podloge (drvo, tekstil, staklo, keramika, guma, plastika, koža, juta, karton i papir), mehanizmi sušenja premaza mogu biti različiti. Tako se mogu primijeniti sve vrste kemijskog sušenja: oksidacijom polimernog vezivanja, sušenjem UV zračenjem, sušenjem X zračenjem, polimerizacijom otvrđivača i reakcijom uzrokovane djelovanjem vlage i topline. Za neupojne tiskovne podloge karakteristično je fizikalno sušenje koje se može provoditi isparavanjem tekuće komponente premaza iz tiskovne podloge, penetracijom veziva iz premaza u tiskovnu podlogu i skrućivanjem premaza uslijed naglog hlađenja [82].

2.3.5. Premazivanje konvencionalnim tiskovnim jedinicama

Zbog svojih velikih brzina premazivanja i zbog ostvarivanja ujednačenih premaza, često se u industriji upotrebljavaju prilagođene tiskovne jedinice fleksotiska, plošnog (ofsetnog) tiska, bakrotiska, *letterseta* i knjigotiska. Da bi se one mogle primijeniti, premazi su većeg viskoziteta. To ima za posljedicu primjenu valjaka i cilindara tijekom procesa prenašanja premaza na tiskovnu podlogu. Efikasnost takvog transfera nije velika jer ovisi o svojstvima tiskovne podloge, površinskoj napetosti i viskozitetu premaza, pritiskom u dodirnim zonama i brzinom premazivanja. Transfer premaza u tiskovnim jedinicama tako je definiran Walker-Fetzkovom formulom:

$$p = (1 - e^{-(am)^x}) \left\{ w_0 \left(1 - e^{-\frac{m}{w_0}} \right) + \alpha \left[m - m_0 \left(1 - e^{-\frac{m}{w_0}} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

pri čemu je: m – nanos premaza na tiskovnoj formi (g/m^2), p – sloj premaza prenesen na tiskovnu podlogu (g/m^2), a – faktor zamućenja otiska (m^2/g), w_0 – teoretski maksimum količine prihvaćenog premaza (g/m^2), α – faktor razdvajanja premaza bez dimenzija ($\alpha = p/m = 0,5$), x – iskustveni faktor karakterističan za tiskarsku tehnologiju premazivanja. Tako će za zadovoljavajući omjer prijenosa premaza ν ostvaren tiskovnom jedinicom morati biti veći od 0,5 (veći od 50 %) [1].



Slika 32. Transfer premaza na tiskovnu podlogu u zoni kontakta

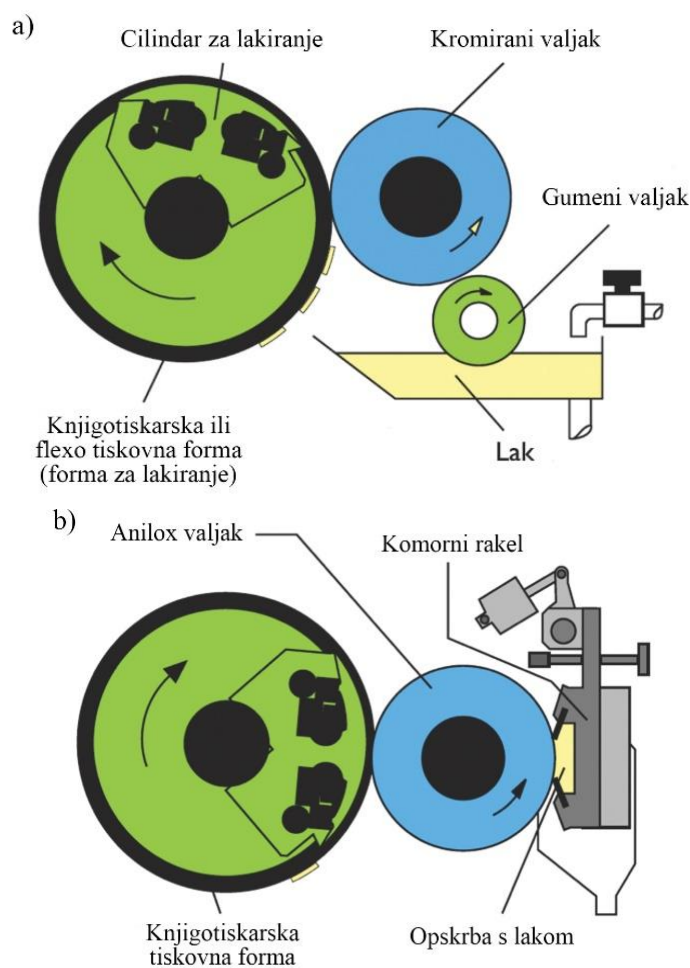
Dodatnu oscilaciju tijekom premazivanja generiraju i valjci za transfer premaza (slika 32.). Tako neki tiskarski sustavi mogu sadržavati i do nekoliko desetaka valjaka. U njihovoj kontaktnoj zoni dolazi do određenih redukcija što rezultira neidealnim nanosom premaza na tiskovnu formu. Stupanj uspješnosti nanosa premaza na tiskovnu formu η definira se izrazom:

$$\eta = S_{max} - S_{min} / S_{sred} \cdot 100\% \quad (6)$$

gdje je: S_{max} – maksimalna debljina premaza na tiskovnoj formi (prije transfera), S_{min} – maksimalna debljina premaza na tiskovnoj formi (nakon transfera), S_{sred} – prosječna debljina premaza na cijeloj tiskovnoj formi (aritmetička sredina). Stupanj uspješnosti transfera nizak je kod tehnika indirektnog premazivanja. Pri tom će se nakon premazivanja tiskovne forme ostvariti međutransfer na ofsetnu gumu s koje se ostvaruje konačan nanos na tiskovne podloge [83].

2.3.6. Fleksografski tisak kao metoda za premazivanje

Da bi se primijenila fleksografska tehnologija za premazivanje, potrebno je primijeniti fleksibilne tiskovne forme. One se sastoje od polimernog osnovnog nosećeg sloja i selektivno osvijetljenog reljefnog sloja (600 – 6.000 μm). Takve forme fiksiraju se na temeljni cilindar koji je u kontaktu s jedinicom za nanašanje boje i pritisknim cilindrom. Ovisno o željenom nanosu premaza, možemo razlikovati jedinicu za nanašanje valjcima i jedinicu za nanašanje pomoću komornog sistema (slika 33.).



Slika 33. Metode nanašanja likvidnog bojila: a) nanošenim valjkom, b) anilox valjkom

Kod sistema nanašanja valjcima, tekućina za premazivanje nalazi se u koritu te se gumiranim valjkom nanaša na kromirani valjak. Tako će se brzinom okretanja gumenog valjka ostvariti veća ili manja količina premaza. Mnogo preciznija metoda izvodi se direktnim premazivanjem pomoću anilox valjka. Anilox valjak fino je graviran i građen od keramike ili čelika presvučenog tankim slojem kroma. Njegova površina sastoji se od mikroćelija čiji broj varira od 250 do 1.200 po inču. Promjer takvih ćelija kreće se od 97 do 16 μm . Rezultat toga je da površina anilox valjka ima zapreminu ćelija od 2 do 24 cm^3/m^2 , dok se odnos ćelije anilox valjka i rastera kreće u omjeru od 1 : 3 do 1 : 4,5. Da bi premaz bio zadržan samo u vakuolama anilox valjka, unutar komore s lakom nalaze se dva rakela (za doziranje i za nanos) koji čiste slobodne površine. Tako će se za premazivanje u punom nanosu (puni ton) primijeniti niska linijatura polimernog klišeja (60 linija/cm), veća zapreminina na anilox valjku (16 do 18 cm^3/m^2) i odnos ćelija raster u odnosu 1 : 3. Dodatni utjecaj na nanos ostvaruje kut i oblik anilox valjka.

Za proizvodnju ambalaže primijenit će se sačasti oblik čašice pod kutom od 60°, za tisak manjih površina kvadratični oblik pod kutom od 45° i za premazivanje većih površina pod kutom od 30° (slika 34.) [84].

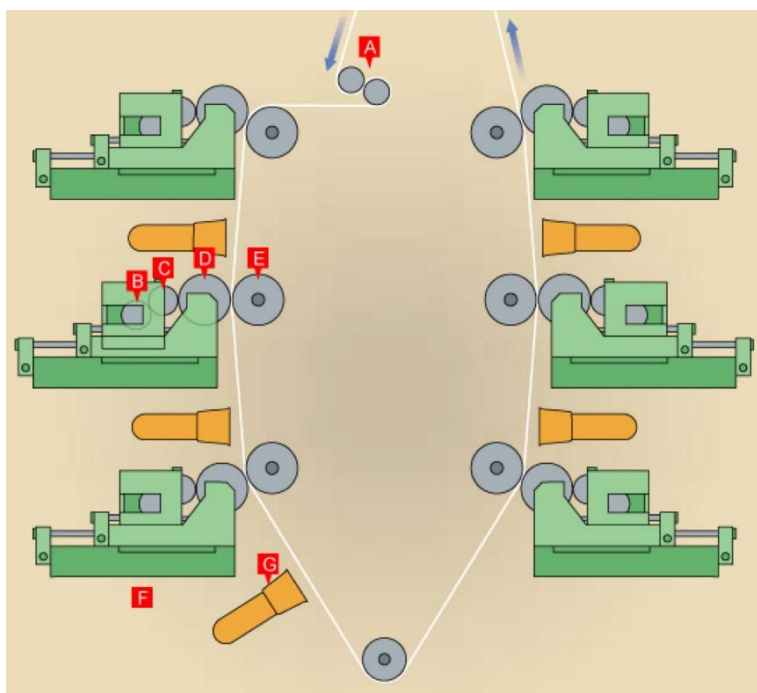


Slika 34. Struktura ćelija na anilox valjku: a) kut od 60°, b) kut od 45°, c) kut od 30°

Fleksografskom tiskovnom jedinicom ostvarit će se različit nanos premaza koji može varirati između 0,8 i 2,5 μm . Boje na bazi otapala (alkohol i voda) ostvarit će nanose od 0,8 do 1 μm . Pri tom će premaz nakon sušenja imati 20 % – 30 % udjela suhe tvari [85]. Takvi premazi obično sadrže 40 % – 60 % vodenog ili alkoholnog otapala, 15 % – 25 % veziva, 10 % – 25 % pigmenata i 5 % – 10 % aditiva [86]. Količinskim udjelom otapala regulira se viskoznost premaza koja se kreće u granicama između 0,05 i 0,5 Pa*s. Premazi na bazi alkoholnog otapala primjenjuju se na neupojnim aluminijskim i polimernim folijama. Sušenje takvih premaza vrši se isparavanjem i hlapljenjem otapala koje se ubrzava izlaganjem svježih otisnutih otisaka povišenoj temperaturi. Premazi s vodenim otapalom primjenjuju se na upojne tiskarske podloge hrapavije površine (papirnate vrećice, etikete i kartonska ambalaža) [87].

Za ostvarivanje većih nanosa premaza (od 1,5 do 2,5 μm) primjenjuju se UV sušeće tekućine za premazivanje. One se sastoje 55 % – 80 % veziva, 10 % – 20 % pigmenata, 5 % – 15% fotoinicijatora i 5 % – 10% aditiva. Izlaganjem premaza UV zračenju dolazi do momentalnog sušenja, tj. osvijetljeni fotoinicijatori započinju polimerizaciju što rezultira skrućivanjem. Takvim se premazima postižu visoko kvalitetni otisci sa 100-postotnim nanosom koji posjeduju dobra mehanička i kemijska svojstva. Zbog toga su svoju primjenu pronašli u proizvodnji fleksibilne ambalaže, aluminijskih folija, višeslojnih kompozitnih materijala i jednoslojnih folija.

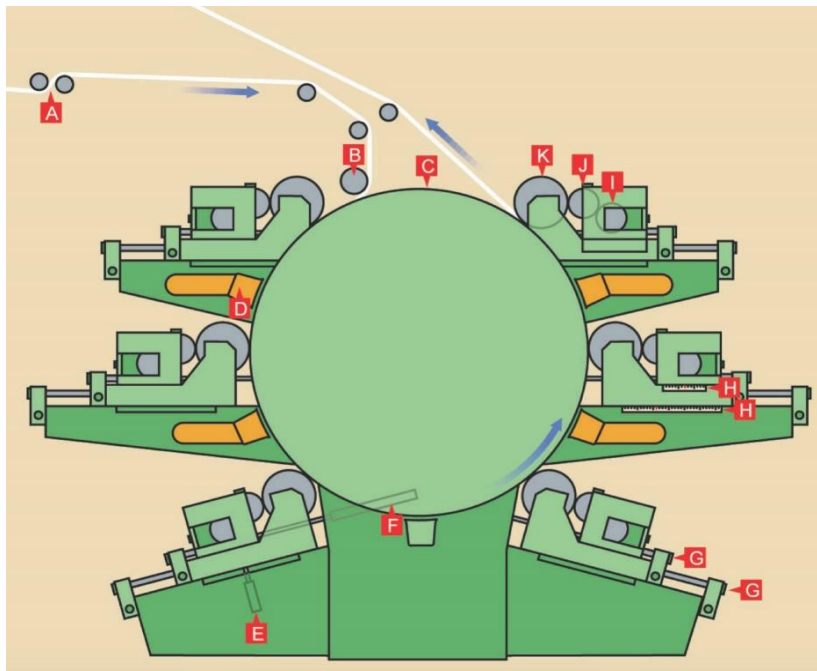
Ovisno o industrijskoj primjeni, fleksografske tiskovne jedinice mogu biti ugrađene u 3 konfiguracije: vertikalni raspored cilindara (*stack* konfiguracija), sistem s jednim centralnim tiskovnim cilindrom (CIC konfiguracija – *Central impression cylinder*) i sistem s horizontalnim rasporedom cilindara (*tandem – in-line* konfiguracija). Fleksostrojevi koji upotrebljavaju vertikalni raspored cilindara sadrže od jedan do osam premaznih jedinica (F) (slika 35.). Najčešća konfiguracija sadrži šest premaznih jedinica.



Slika 35. Fleksostroj za premazivanje s vertikalnom konstrukcijom tiskovnih jedinica

Pri tom će se tiskovna podloga (A) moći oslojavati jednostrano (u šest slojeva) ili obostrano (svaka strana po tri sloja). Svaku tiskovnu jedinicu čine temeljni cilindar (D) i tiskovni cilindar (E) čiji su promjeri identični.

Tekućina za premazivanje nanaša se pomoću valjka za doziranje (B) i kromiranog valjka (C). Prije eventualnog okretanja role, tretiranu podlogu potrebno je osušiti. Pri tom se primjenjuje specijalno konstruirana jedinica s distribucijom toplog zraka (G). Strojevi s centralnim tiskovnim cilindrom omogućavaju premazivanje od dva do deset slojeva premaza (slika 36.).

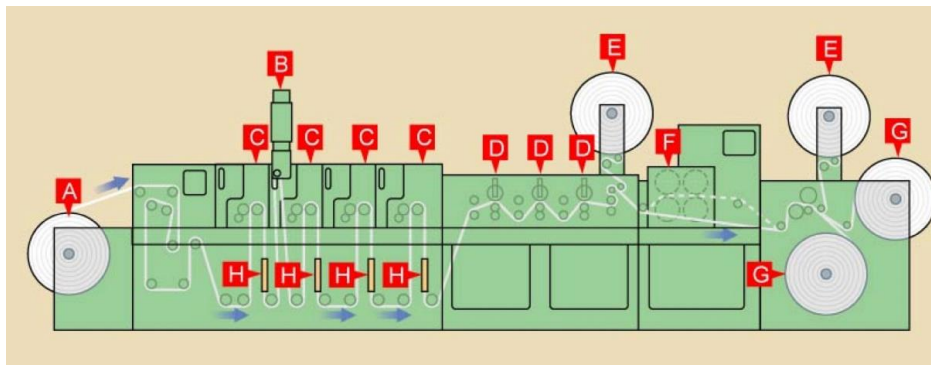


Slika 36. Fleksostroj za premazivanje s centralnim tiskovnim cilindrom

Da bi se to postiglo, oko velikog tiskovnog cilindra (C) raspoređene su tiskovne jedinice. Tiskovna podloga se sa sistemom za vođenje role (A) i (B) tako dovodi u direktni kontakt sa centralnim cilindrom što omogućava precizan registar. Nanašanje premaza izvodi se pritiskivanjem temeljnog cilindra (K) koji je prethodno premazan od strane dva valjka za premazivanje: a) dozirajući (I), b) kromirani valjak (J). Kako bi se ostvario što veći nanos premazivanja i velika preciznost registra, nakon svakog nanašanja obvezno se provodi sušenje unutarnjim sušačem (D) te fina regulacija registra (G) ostvarena hidrauličnim pomakom brtvi (E i F). Za ostvarivanje ponovljivosti u premazivanju, uz premaznu jedinicu ugrađen je indikator pritiska koji precizno detektira i regulira zonu kontakta (H).

In-line konfiguracija najčešće se primjenjuje u grafičkoj industriji za potrebe proizvodnje kartonske i višeslojne ambalaže gdje je moguće premazivanje na različitim vrstama materijala. Tako će se uz mogućnost jednostranog i obostranog premazivanja izvoditi i dodatne doradne operacije izrezivanja (D) i kaširanja (F) uz automatska izbacivanja nepotrebnih ostataka (E). Takvi fleksostrojevi su najčešće do širine 35 cm (narrow web) pri čemu će uske role (A) prolaziti kroz četiri tiskovne jedinice (C) između kojih su smještene

sušare (H). Da bi se izvršilo obostrano premazivanje između prve i druge premazne jedinice obično se smješta okretač role (B). Konačni proizvodi tako mogu biti kontinuirano namotani na jednu rolu ili segmentno na više njih (G) (slika 37.).



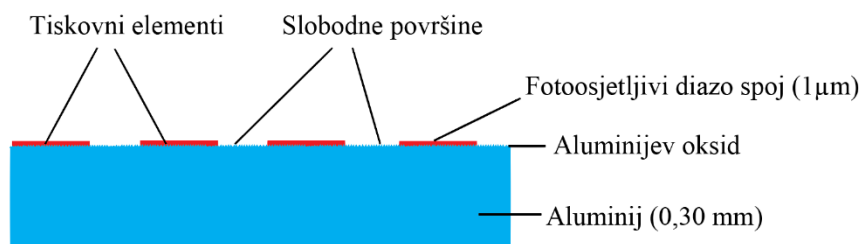
Slika 37. Fleksostroj za premazivanje s horizontalnom konstrukcijom

Kod svih navedenih konstrukcija, deformacije rasterskih elemenata ovise o ostvarenoj pritisnoj sili između temeljnog i tiskovnog cilindra. U odnosu na ostale tehnike konvencionalnog premazivanja, za postizanje optimalnog nanosa potreban je manji pritisak (1,5 MPa) ako se radi s tvrdim polimernim formama [88].

2.3.7. Plošni (ofsetni) tisak kao metoda premazivanja

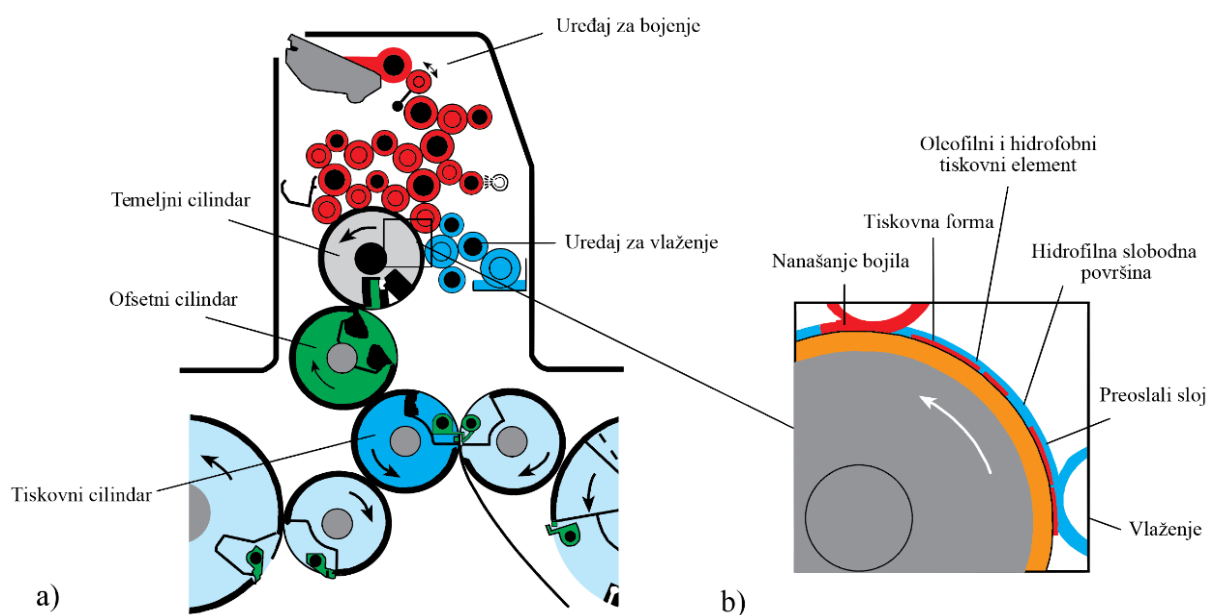
Premazivanje na principu ofsetnih tiskovnih jedinica temelji se na indirektnom načinu otiskivanja, gdje se premaz s tiskovne forme (mastera) prenaša na prijenosni medij (ofsetna guma) s koje se daljnjim transferom ostvaruje konačni nanos premaza na tiskovnoj podlozi. Ofsetni tisak temelji se na litografskim tiskovnim formama koje imaju tiskovne elemente (fotoosjetljivi diazo spoj) i slobodne površine (ohrapavljene anodnom oksidacijom Al_2O_3) u istoj ravnini (slika 38.).

Princip otiskivanja temelji se na različitom kvašenju tiskovne forme dvjema različito gustim tekućinama. Tako se na tiskovnu formu valjcima prvo nanosi voda koja se selektivno prihvaća (hidrofilnost na Al_2O_3 i hidrofobnost na diazo kopirnom sloju). Nakon toga izvodi se drugo kvašenje masnim bojilom, uslijed čega dolazi do selektivnog prihvaćanja bojila (oleofilnost na diazo kopirnom sloju i oleofobnost na prethodno navlaženom Al_2O_3) [55].



Slika 38. Presjek tiskovne forme za ofsetni tisak

Da bi se ostvario otisak u točnim proporcijama, indirektna tiskovna jedinica mora sadržavati tri cilindra identičnih promjera (temeljni, ofsetni i tiskovni). Tlak u kontaktnoj zoni između cilindara tako iznosi od 2,5 do 3 MPa. Kako se u litografiji upotrebljavaju viskozne tekućine za premazivanje, one sadrže veće udjele smola i ulja. Uređaji za visokokvalitetno premazivanje sadrže veći broj gumenih i *realsun* valjaka koji su nazive dobili prema funkciji. To su duktor, heber, prijenosni, razribavajući i nanoseći valjci (slika 39.). Za ostvarivanje jednoličnog nanosa s točnom tonskom vrijednošću, tekućina za vlaženje u kontaktu s bojom mora stvoriti stabilnu emulziju. Takvu otopinu za vlaženje čini voda tvrdoće ne veće od 8 do 12 dH obogaćena puferima za stabilizaciju pH vrijednosti i sredstvima za smanjenje površinske napetosti. Za nanašanje tekućine za vlaženje također se primjenjuju i valjci. Neki valjci zbog polarnosti vode imaju kromirane površine (razribavajući valjak i duktor) [89].



Slika 39. Tiskovna jedinica za ofsetni tisak: a) konstrukcija s tri cilindra, b) zona nanašanja tekućine za vlaženje i bojila

Ovisno o sastavu premaza, ofsetnom tiskovnom jedinicom moguće je izvršiti dva načina premazivanja. Tako se za premaze na bazi vode može primijeniti jedinica za vlaženje (tiskovna forma sadržava samo slobodne površine) te premaze na bazi ugljikovodika (tiskovna forma sadržava samo diazo spoj).

Ostvarene premaze na tiskovnoj podlozi dobivene u ofsetnoj tehnici tiska karakterizira tanak sloj premaza debljine od 0,5 do 1,5 μm . Mehanizam sušenja premaza provodi se postupkom oksipolimerizacije vršnog sloja te hlapljenjem i penetracijom tekućih komponenata premaza u tiskovnu podlogu. Zbog interakcije polarne vode i višemasnih molekula premaza, tijekom nanašanja dolazi do njihove emulgacije, što ima za posljedicu redukciju gustoće ostvarenog premaza [2].

Premazi koji će se nanijeti ovim načinom premazivanja najčešće su guste ljepljive paste dinamičkog koeficijenta viskoznosti $\eta = 40 - 80 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Zbog toga se u njezinu sastavu, osim mogućih pigmentata (obojeni premazi), još nalaze otapala, veziva i dodatci. Za ostvarivanje odgovarajućih reoloških svojstava, veziva po kemijskom sastavu najčešće su kolofonske smole (20 % – 50 %), alkidne smole (0 % – 20 %), biljna ulja (0 % – 30 %), mineralna ulja (20 % – 40 %).

U svrhu poboljšavanja karakteristika izvođenja premaza, ponekad se mogu dodavati supstance koje pospješuju proces sušenja (kobalt i mangan), voskove za povećavanje mehaničke otpornosti ostvarenog premaza te agense za sprečavanje preranog sušenja tekućine za premazivanje. Da bi se ostvarila veća produktivnost, ovakvi premazi mogu sadržavati i odgovarajuće fotoinicijatore. Njihovim dodatkom ostvaruje se trenutno sušenje zahvaljujući niskofrekventnoj energiji (UV zračenje) koje će započeti polimerizaciju i umrežavanje monomernih komponenata ostvarenih premazom [90].

2.3.8. Inkjet tehnika premazivanja

Osim konvencionalnih tehnika tiska koje karakterizira nepromjenjivi master (tiskovna forma), moguće je primijeniti i suvremene NIP tehnike premazivanja. Trenutno najčešće upotrebljavana tehnika digitalnog otiskivanja je Inkjet. Osnovna je karakteristika ove tehnologije premaz niskog dinamičkog viskoziteta (η) koji se kreće od 1 do 30 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. Premaz nastaje direktnim špricanjem likvidnog premaza (kapljica veličine nekoliko pikolitara) kroz uske mlaznice na tiskovnu podlogu. Da bi se to špricanje ostvarilo u vremenskom razdoblju od nekoliko mikrosekundi, potrebno je primijeniti tekućine s visokom površinskom energijom, visokom disipacijom i visokom kinetičkom energijom ostvarenom prilikom otiskivanja [91].

Za određivanje sposobnosti primjene tekućeg premaza za postupak Inkjeta potrebno je odrediti Weberov ili Ohnesorgov broj koji se bazira na definiciji omjera energije površinske napetosti tekućine i njezine kinetičke energije na otpor mlaznica. Weberov broj može se definirati izrazom:

$$We = \rho \cdot D \cdot v^2 / \sigma \quad [7]$$

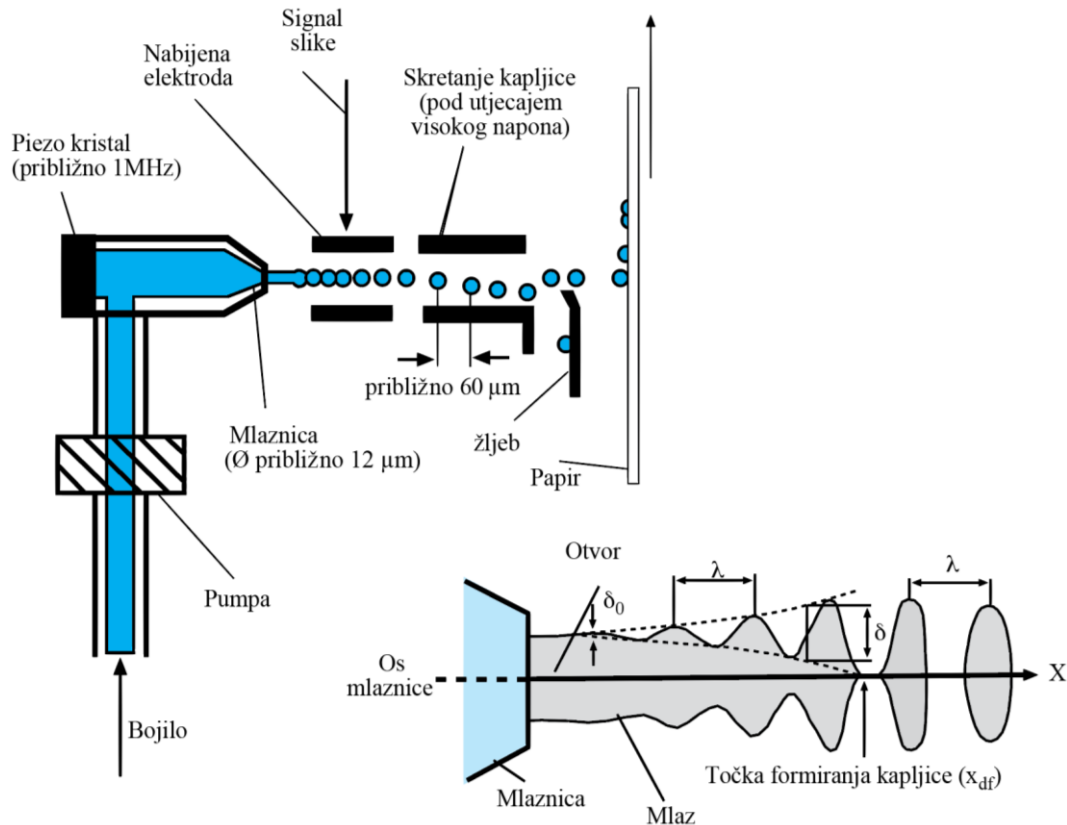
pri čemu je: ρ – gustoća tekućine, D – promjer okruglog otvora mlaznice, v – brzina tekućine i σ – površinska napetost tekućine. Tako će vrijednosti ispod $We < 12$ ostvariti mogućnost primjene tekućih premaza koji se ponašaju po Newtonovim zakonima (Newtonove tekućine). Takve tekućine ne mogu se pretvarati u kapljice, već prilikom špricanja ostaju u mlazu. Za likvidne premaze koji ne pripadaju kategoriji Newtonovih tekućina, primjenjuje se Ohnesorgov broj koji je dan izrazom:

$$On = \frac{\eta}{\sqrt{\rho \cdot D \cdot \sigma}} \quad [8]$$

pri čemu je: η – viskozitet tekućine, ρ – gustoća tekućine, D – promjer okruglog otvora mlaznice i σ – površinska napetost tekućine. Ovisno o ostvarenim vrijednostima Weberova i Ohnesorgova broja, moguće je razlikovati tri mehanizma špricanja: Rayleighov način prekidanja mlaza, kontroliranim kapanjem na zahtjev i generiranjem fino raspršenih kapljica. Sukladno tome razlikuju se i dvije tehnologije Inkjet strojeva za premazivanje: kontinuirani Inkjet printeri i Inkjet printri koji formiraju kapljice na zahtjev [3].

2.3.8.1 Kontinuirani Inkjet

Kontinuirani Inkjet dobio je naziv po tome što tekućina za premazivanje neprekidno cirkulira kroz mlaznice, pri čemu premaz nastaje gađanjem tiskovne podloge sitnim kapljicama boje (slika 40.).



Slika 40. Prikaz principa rada mlaznice kontinuiranog Inkjeta

Kako se radi o vrlo brzom i dinamičkom procesu (40 m/s), tekućina za premazivanje mora biti brzosušea. U procesu premazivanja, dio fluida usmjerava se prema tiskovnoj podlozi dok se ostatak preusmjerava u povratni odvod nakon čega se vraća natrag u spremnik. Proces premazivanja započinje pumpanjem tekućine za premazivanje u mikro mlaznu komoru koja sadrži piezo oscilator koji je smješten u samom centru. Njegovom aktivacijom započinje kretanje u frekvenciji od 1 MHz čime se stvara jedan kontinuirani mlaz sačinjen od niza kapljica. Tako će se trenutak formiranja kapljice x_{df} na osi kretanja kapljice x ostvariti uslijed frekvencijske pobude λ uz točno definirani početak razvlačenja mlaza δ_0 i maksimalnu amplitudu razvlačenja mlaza δ . Prolaskom tekućine za premazivanje kroz mlaznicu promjera 12 μm ostvaruju se kapljice volumena oko 4 pl što odgovara ostvarenom promjeru fluida od 20 μm . Nastale kapljice elektronički se nabijaju odmah nakon njihova odvajanja od mlaznice. Pri tom na njih djeluje negativno selektivno nabijena elektroda [92]. Tako će sve nabijene kapljice završiti u odvodnom kanalu, dok će sve nenabijene kapljice premeza nastaviti putanju u smjeru tiskovne podloge.

Na temelju takve konstrukcije mlaznice nastaju vrlo skupi i precizni premazi visoke kvalitete (nanos manji od 0,5 μm) koji se upotrebljavaju za potrebe premazivanja u malim serijama uz mogućnost personalizacije ambalaže na specijalno pripremljenim tiskovnim podlogama. Zbog sušenja koji se izvodi isparavanjem i adsorpcijom, gubitak tekuće komponente je velik te je udio suhe tvari na osušenom premazu manji od 5 % [93].

2.3.8.2. Inkjet na principu kapanja na zahtjev (*Drop on Demand Inkjet*)

Osim konstrukcije kontinuiranih Inkjet pisaača, postoje i konstrukcije u kojima se kroz male otvore mlaznica izbacuju kapljice tekućine za premazivanje kada je to potrebno. Takve tehnologije još se nazivaju i sistemi kapanja na zahtjev koje u svojoj konstrukciji sadržavaju veći broj poredanih mlaznica. Time se ostvaruje mogućnost premazivanja većih tiskovnih površina uz veliku produkcijsku brzinu. Ovisno o primijenjenim aktivatorima koji su izravno spojeni s računalom, razlikuju se dvije tehnologije kapanja na zahtjev: termalna i piezo Inkjet tehnologija [94]

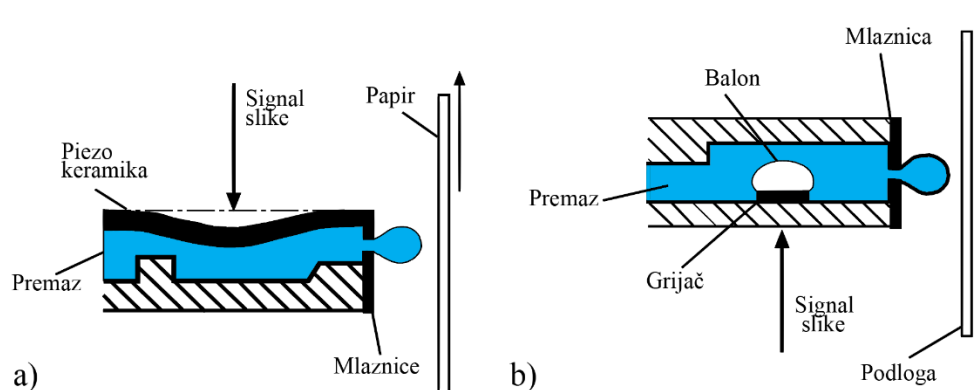
2.3.8.3. Piezo Inkjet princip otiskivanja

Piezo Inkjet tehnologija formira kapljicu tekućine za premazivanje deformacijom mlazne komore. Djelovanje elektronskog signala na piezo električni kristal, izazvat će selektivnu promjenu volumena unutar mlazne komore. Njegovim smanjenjem povećava se pritisak koji rezultira izbacivanjem tekućine za premazivanje kroz usku mlaznicu (slika 41.a). Ovisno o proizvođačima takve opreme razlikuju se sistemi sa stiskajućom deformacijom dovodne cjevčice, savijajućim i smicajućim načinom kretanja piezo kristala u mikrokomori [95]. Za potrebe uspješnog premazivanja u piezo Inkjet tehnici, tekućina za premazivanje mora imati nizak dinamički koeficijent viskoznosti (η) od 5 do 20 mPa·s. Frekvencijom titraja piezo kristala (od 10 do 20 kHz) formirat će se kapljice volumena od 2 do 80 pl čiji se promjeri kreću od 16 do 53 μm . Kako je riječ o hladnom postupku otiskivanja, ovu metodu premazivanja moguće je primijeniti za sve tipove Inkjet boja, premaza i tiskovnih podloga. Konačno ostvaren nanos je malen i iznosi oko 0,5 μm . Dodatno, postoji i mogućnost upotrebe piezo Inkjet tehnologije za ostvarivanje UV sušućih premaza koji će zbog svoje niske brzine sušenja omogućiti generiranje i većih debljina nanosa premaza (od 10 do 20 μm).

2.3.8.4. Termalni princip otiskivanja Inkjetom

Uz Piezo princip otiskivanja, paralelno je razvijena tehnologija termalnog Inkjeta te je ona također jedna od zastupljenijih tehnologija premazivanja u konekciji s računalom.

Razlog je tomu jednostavna konstrukcija ispisne glave koja sadrži mikrokomore s ugrađenim grijačem koji je neposredno montiran uz ispisnu mlaznicu.



Slika 41. Prikaz principa Inkjet tiska na principu kapanja na zahtjev: a) piezo Inkjet, b) termalni Inkjet

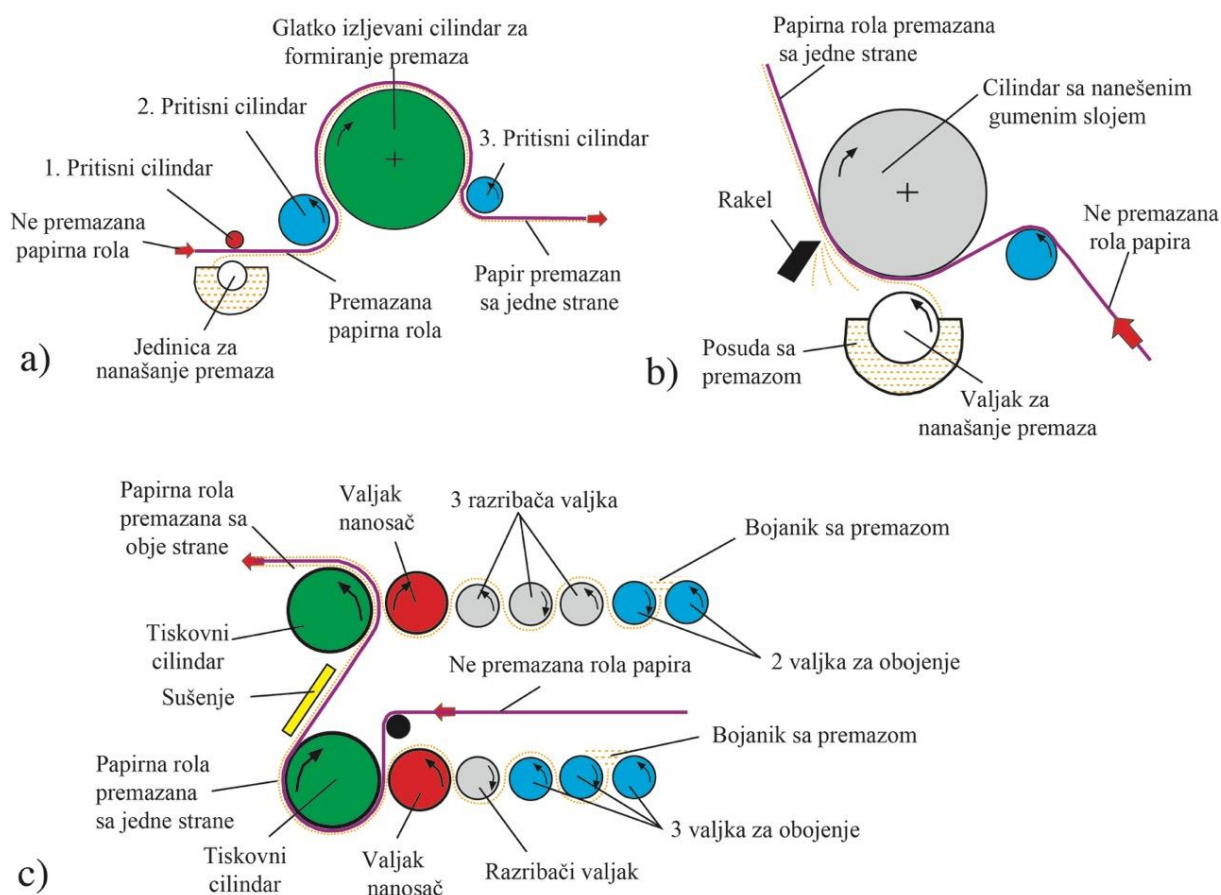
Ovisno o njegovu položaju, razlikuje se sistem s vršnim okidanjem (grijač i otvor su u istoj razini termalne glave) i sistem s bočnim okidanjem (grijač i otvor nisu u istoj razini, već se grijač nalazi na dnu komore) [96].

Za definiranje jedne kapljice kronološki se moraju ostvariti tri faze: djelovanje električnog impulsa koji dolazi iz računala, stvaranje visoke temperature unutar mikrokomore i promjena agregatnog stanja (pritiska) tekućine za premazivanje. Nakon oslobađanja impulsa iz računala, dolazi do aktivacije mikrogrijača uz oslobađanje toplinske energije (u razdoblju od 3 μ s postiže se temperatura oko 300 °C). To rezultira stvaranjem mjehurića ispunjenih plinom što je karakteristično za premaze na bazi vode. Posljedica takva rasta mehaničko je istiskivanje premaza kroz mlaznicu te formiranje jednog kapljičnog meniskusa čija je veličina proporcionalna volumenu buduće kapljice. Nakon prestanka djelovanja toplote, površina grijača se hladi čime započinje finalna faza propadanja mjehurića. Nestajanjem mjehurića dolazi do oslobađanja kapljice koja se započinje kretati u smjeru tiskovne podloge (slika 41b.).

Premazi koji se mogu nanositi termalnom Inkjet tehnologijom imaju nisku viskoznost, od 1 do 5 mPa·s. Oslobođene su kapljice vrlo sitne i njihov raspon se kreće od 2 do 30 pl. U odnosu na piezo Inkjet, frekvencija kapanja je manja (od 5 do 8 kHz), što se kompenzira ugradnjom većeg broja mlaznica unutar ispisne glave. Konačno ostvaren nanos premaza manji je od 0,5 μ m jer se nakon sušenja isparavanjem ostvaruje udio suhe tvari na osušenom premazu od 3 % do 5 %. Za ostvarivanje kvalitetnih premaza sugerira se primjena specijalno prilagođenih podloga čija je površinska apsorpcija mala [97].

2.3.9. Premazivanje papira i kartona

U grafičkoj industriji najčešća tiskovna podloga je papir i karton. Njihova međusobna razlika očituje se u gramaturi i mogućim premazima. Da bi se ostvarila visoka kvaliteta kolorne slike, površina podloge mora biti premazana disperzijama za bolje prihvaćanje tiskarskog bojila. Najčešći premazi su na bazi silicij dioksida, titan dioksida, gline i kalcij karbonata. Premazivanje papira i kartona može se izvoditi metodama: premazivanje rakelom, glatkim lijevanim cilindrom, obostranim premazivanjem valjcima. Na slici 42. prikazane se najčešće metode premazivanja papirne tiskovne podloge.



Slika 42. Shematski prikaz metoda premazivanja papira korištenih u grafičkoj industriji: a) glatkim lijevanim cilindrom, b) premazivanje rakelom, c) obostrano premazivanje valjcima

Najkvalitetniji jednostrano premazani papiri ostvaruju se metodom premazivanja glatkim lijevanim cilindrom (*cast coated*), čija površina daje ujednačen i visoki sjaj. Da bi se to postiglo, jedinica za nanašanje premaza mora, valjkom na sitovu stranu, nanijeti premaz koji se zaglađuje velikim *cast coated* cilindrom.

Njegova površina može biti različito obrađena, čime se ostvaruje sjajni, polusjajni i mat premaz. Kontakt podloge i cilindra ostvaruju dva pritiska valjka čija se brzina sinkronizira s rotacijom *cast coated* cilindra [98].

Za potrebe ostvarivanja cijenom povoljnijeg jednostranog premazivanja, primjenjuje se sistem s rakelskom regulacijom. Pri takvu premazivanju prvo se ostvaruje veći premaz nabacivanjem (beskontaktnim lopatastim valjkom) da bi se konačan nanos ostvario mehaničkim podešavanjem rakela koji skida višak premaza i ostvaruje definiranu debljinu (gramaturu podloge).

Za potrebe obostranog tiska, primjenjuje se metoda nanašanja valjcima čime se s dvije jedinice za nanašanje ostvaruje ujednačeni premaz s pustene i sitove strane. Tako će se tiskovna podloga sa sitove strane nanašati pomoću pet valjaka (jednog nanosača, jednog razribača i tri valjka za obojenje). Nakon toga slijedi sušenje te nanašanje na pustenu stranu. Takvu jedinicu čini šest valjaka (jedan nanosač, tri razribača i dva valjka za obojenje), čime se ostvaruje ujednačeniji nanos na tiskovnu podlogu [99].

U znanstvenim radovima koji se bave problematikom oplemenjivanja tiskovne podloge, najviše se upotrebljava metoda ekstrudiranja, Inkjeta i nanašanja anilox valjcima. Karakteristične tekućine koje se nanašaju su polivinildin klorid, biaksial, orijentirani polipropilen i tereftalat. Njima se, za potrebe proizvodnje ambalaže, smanjuje cijena proizvodnje, pospješuju barijerna svojstva površine, ostvaruje bolja mogućnost prihvaćanja tiskarskih bojila, povećava optička karakteristika tiskovne podloge i povećavaju mehanička svojstva otisnutih proizvoda (manje otiranje).

Kao jedan od učestalih barijernih premaza primjenjuje se BOPET (Bi aksijalni Orijetirani Poletilen Tereftalat) i to za ambalažu koja sadrži plinove i tekućine. Ovisno o željenim svojstvima, ona se laminira različitim materijalima. Tako se kod netransparentne ambalaže obično nalazi u kombinaciji sa slojevima PET-a, AlO_x i SiO_x , dok se kod transparentne ambalaže kombiniran s PVDC-om (Polivinildin Klorid). Za njihovo dobro laminiranje primjenjuju se poliuretanski slojevi. Gotovi otisnuti proizvodi hermetički su zatvoreni što, osim barijerne propusnosti, ne dozvoljava mehanička oštećenja [100]. Primjena istih može biti i kod neotisnute kartonske ambalaže namijenjene za konzumaciju svježe pripremljenih (toplih) namirnica ili hrane. Barijerni će filmovi u kombinaciji s PE-om i PET-om biti otporni na visoke temperature te omogućiti formiranje izlivanjem u kalupima [101].

Za poboljšavanje vezivanja bojila na tiskovnu podlogu Inkjet tehnologija otiskivanja pokazala se vrlo učinkovitom. Na taj se način, osim jednoličnog premazivanja, može izvoditi i parcijalno. Tijekom takvog prajmiranja Inkjet glave prvo nanašaju optimajzer koji će smanjiti površinsku napetost prije dolaska tekućeg bojila. Time će kvaliteta reprodukcije u svim procesnim bojama biti bolja [102].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Metodologija rada

Da bi se u digitalnom tisku ostvarila dodatna vrijednost otiska, višebojna slika (motiv) mora biti pripremljena u što većoj ispisnoj linijaturi. Dodatni postupak povećanja kvalitete ostvaren je mogućnošću nanosa većeg broja primarnih boja koje se prethodno moraju točno pozicionirati na tiskovnoj podlozi. Takve visoke reproduksijske zahtjeve ne osigurava elektrofotografska konstrukcija s praškastim tonerom, već elektrofotografska tehnologija koja primjenjuje tekuće ElectroInk bojilo i satelitsku konstrukciju stroja [27]. Nadalje, za kvalitetu višebojne reprodukcije spomenutom tehnologijom vrlo važnu ulogu ima i oplemenjivanje tiskovne podloge.

Za eksperimentalno otiskivanje upotrijebljen je sedmerobojni HP Indigo WS 6800 tiskarski stroj kojim se ostvaruje mogućnosti varijacije linijature pri ispisivanju i otiskivanju sedam različitih višebojnih separacija. To je omogućeno primjenom specijalnih RIP-ova. Radi bolje adhezije boje, HP Indigo WS 6800 posjeduje integriranu jedinicu za nanašanje *in-line primera* i koronu za regulaciju površinske napetosti materijala [21].

Za ispitivanje je upotrijebljena standardna tiskovna forma „FOGRA Image Quality” koja služi za PSD (*Proces Standard Digital*) standardizaciju kvalitete otiskivanja [103], [104]. Takva tiskovna forma sadrži 24 stranice A3+ formata s točno definiranim mjernim poljima iz koje se dobivaju podatci o općem stanju kvalitete reproduciranog otiska [59]. Ista se koristi i za provjeru i kalibraciju ostalih elektrofotografskih tiskarskih strojeva. Kako bi se izvršilo otiskivanje, PDF tiskovna forma provučena je kroz RIP ESCO HPE ProLiant ML350 uz primjenu standardne kalibracijske krivulje LUT 0.5 [105]. Ovakav RIP prilagođen je HP Indigo strojevima čime je osigurana visoka produktivnost uz mogućnost varijacije parametara otiskivanja. Naši eksperimentalni uzorci otisnuti su samo standardnim CMYK bojama u linijaturi (70 lin/cm), iako postoji mogućnost reprodukcije bez akromatske separacije, kao i nastajanje višebojnog otiska (CMYK uz dodatnu zelenu i ljubičasto plavu separaciju). Osim prosječne rezolucije za višebojno otiskivanje (180 lpi) postoji i mogućnost viših rezolucija (196 lpi i 210 lpi) koja se primjenjuje kod fotoaplikacija [106].

Da bi se što bolje uočio utjecaj rezolucije, kao tiskovna podloga upotrijebljen je papir visoke kvalitete (90 g/m² gloss premazani papir za umjetnički tisak, tvorničkog naziva „Condat digital gloss RL”). Takav papir sadržava: 50 % djevičanske celuloze, 40 % kalcijeva karbonata, 4,5 % vode i 5,5 % lateksa i keljiva [107].

Za stvaranje ponovljive višebojne reprodukcije presudan je kontrolirani nanos bojila. On zavisi direktno o tipu upotrijebljene tiskovne podloge, odnosno o njihovoj površinskoj energiji. Zbog toga je potrebno površinske energije ujednačiti. To je osobito važno za hrapavije papire, metalizirane podloge i neupojne polimerne materijale. U papirnim tiskovnim podlogama namijenjenim za digitalni tisak zbog toga se izvodi dodatno predoplemenjivanje s ciljem stvaranja egzaktno površinske napetosti [108]. U našem eksperimentu upotrijebljena je jedinica za dodatno oslojavanje (*in-line* jedinica za nanošenje tekućine za reguliranje površinske napetosti s gumenim valjkom promjera 74 mm) i jedinica za korona tretman koja je konstrukcijom prilagođena HP Indigu serije WS 6800 (Vetaphone korona tretman) [50]. Upotrijebljeno sredstvo za regulaciju površinske napetosti preporučeno je od strane proizvođača stroja. To je tekućina za oplemenjivanje Michem® In-Line Primer 030 proizvođača Michelman [109].

Eksperimentalno otiskivanje (slika 43.) izvodilo se na tri različito tretirane podloge: a) netretirana površina (bez prajmera), b) površina tretirana tekućinom za reguliranje površinske napetosti u nanosu od 0,5 g/m² (46 ok/min) i c) površina tretirana tekućinom za reguliranje površinske napetosti u nanosu od 1 g/m² (96 ok/min) [110].

Prije oslojavanja izvršeno je korona tretiranje (različitom snagom korone). Pri tom su upotrijebljene tri eksperimentalne snage nabijanja: 0 W (otisci nastali bez djelovanja korona izboja), 450 W (srednja snaga nabijanja) i 950 W (velika snaga nabijanja).

Eksperiment je započeo preliminarnim ispitivanjem upotrijebljene tiskovne podloge (definiranje mehaničkih i optičkih svojstava) te određivanjem ključnih čimbenika koji mogu utjecati na kvalitetu višebojne reprodukcije (FTIR identifikacija funkcionalnih skupina prisutnih u molekulama na površini tiskovne podloge) [111]. Nakon toga izvršen je proces oplemenjivanja tiskovne podloge tekućinom za reguliranje površinske napetosti i korona tretmanom kako je prethodno određeno. Površinska svojstva tako tretirane površine analizirane su odmah nakon postupka oplemenjivanja primjenom Dyne testa indikatorske tekućine (po standardnu ASTM D-2578).

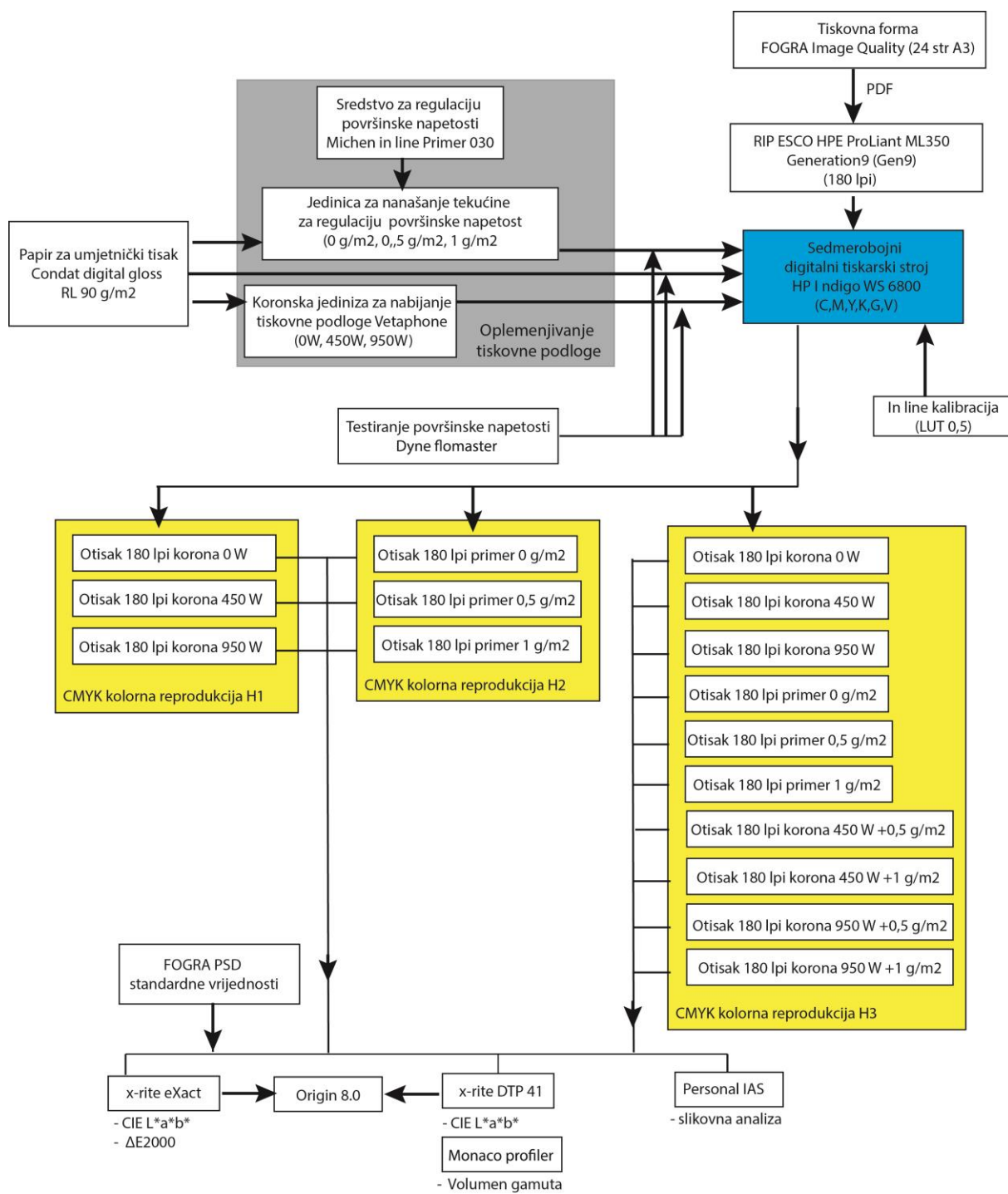
Pri tom je upotrijebljeno 6 tinktura (od 44, 42, 40, 38, 36 i 34 DYN/cm) koje su se aplicirale štapićima s pamučnim vrhom. Vremensko razdoblje od trenutka oplemenjivanja do mjerenja iznosilo je 1 – 2 min. Za točnost rezultata potrebno je upotrijebiti točnu tinkturu, koja formira kapljice unutar dvije sekunde. Započinje se tinkturom od (38 mN/m). Ako se kapljice ne pojave unutar dvije sekunde, tada se primjenjuje viša indikatorska tekućina, odnosno ako se kapljice pojave u razdoblju manjem od dvije sekunde, tada se koristi manja indikatorska tekućina [112].

Neposredno prije eksperimentalnog kolornog otiskivanja napravljena je i kalibracija stroja uz primjenu HP Indigo korekcijske krivulje 0,5 čime su otisci postali usporedivi s otiscima za klasičan ofset (PSO FOGRA 51).

Usljedilo je eksperimentalno otiskivanje FOGRA PSD testne forme u devet varijacija s nakladom od tri kopije. Pritom su se izmjenjivale varijable i to – tri djelovanja korona tretmana i tri različita nanosa tekućine za reguliranje površinske napetosti.

Da bi se ustanovila kvaliteta višebojne reprodukcije, umjesto denzitometrije, odrađena je kolorimetrijska i spektrofotometrijska metoda te slikovna vizualna analiza otisaka. Pritom su upotrijebljeni kolorimetar i spektrofotometar 4 generacije X-rite eXact premium verzije te spektrofotometar za izradu kolornih gamuta X-rite DTP 41 Autoscan koji se koristi softverom za izradu ICC profila Monaco Profiler [113]. Za slikovnu vizualnu analizu upotrijebljen je uređaj Personal IAS. Dobiveni CIE L*a*b* i CIE LAB ΔE rezultati uspoređeni su međusobno, ali i s vrijednostima trenutnog standarda za grafičku industriju ISO 12647-8, što će dovesti do novih spoznaja u unapređivanju procesa digitalnog tiska tekućim elektrofotografskim bojilom i mogućeg ujednačavanja ispisa klasičnim tehnologijama tiska (standardne boje) [114].

Sva ova istraživanja dodatno će razjasniti interakciju između papira, tekućine za reguliranje površinske napetosti i rezultata korona tretmana, što će dati nove preporuke ključnih parametara tiska pri primjeni četverbojnog tiska na HP Indigo elektrofotografskim strojevima.



Slika 43. Shema eksperimenta rada

3.2. Strojevi, uređaji i materijali

3.2.1. HP Indigo WS 6800

HP Indigo WS 6800 digitalni je sedmerbojni elektrofotografski tiskarski stroj (slika 44.). Upravo je ta tehnologija digitalnog tiska, kao i tekuće ElectroInk bojilo kojim se tiska, zaslužna za postizanje visokokvalitetnog višebojnog tiska. Tisak se odvija iz role pa se ta tehnika još naziva i *narrow web* koja se primarno upotrebljava za tisak etiketa u ambalažnoj industriji. Pored standardnih četverbojnih višebojnih separacija (CMYK) ovaj stroj može tiskati i šesterbojne separacije HP IndiChrome (CMYKOV), kao i sedmerbojne separacije HP IndiChrome Plus (CMYKOVG) [21].

Za povećanje gamuta otiska moguće je upotrijebiti višebojne separacije sa šest i sedam boja. Za ostvarivanje bolje adhezije ElectroInk bojila kao i bolji transfer na otisak, stroj je opremljen *in-line* jedinicom za premazivanje tiskovne podloge. HP Indigo serije WS 6800 odlikuje brzina tiska od 30 m/min (za četverbojni tisak), odnosno brzina tiska 60 m/min (za jednu ili dvije kolorne separacije). Standardna rezolucija ispisa iznosi 812 dpi, dok se za tisak visoke kvalitete upotrebljava (HDI = *High Definition Image*) rezolucija od 2438 x 2438 dpi. Dodatna mogućnost korištenje je promjenjive linijature koja se kreće od 175 lpi do 210 lpi. Maksimalna dimenzija role za ispis je 340 mm, dok je maksimalna površina pod tiskom dimenzija 320 x 980 mm. Stroj ima mogućnost samo jednostranog otiskivanja [115].



Slika 44. Stroj HP Indigo WS 6800

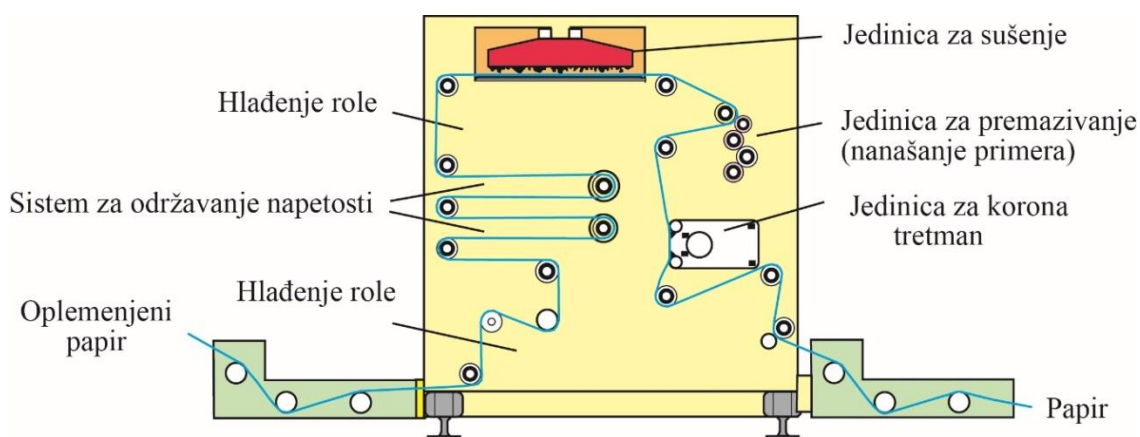
Tehničke karakteristike HP Indigo stroja prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Tehničke specifikacije stroja HP Indigo WS 6800

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

3.2.2. In-line jedinica za oplemenjivanje tiskovne podloge

In-line jedinica koja se upotrebljava kod HP Indigo strojeva serije WS 6800 sastoji se od dva osnovna dijela. Prvo se provodi nabijanje tiskovne podloge koronom, nakon čega slijedi nanašanje tekućine za reguliranje površinske napetosti (prajmer). Jedinica za oplemenjivanje tiskovne podloge služi za nanašanje točno određene tekućine koje će utjecati na površinsku napetost tiskovne podloge pa samim time i na prihvaćanje ElectroInk bojila [110]. Na slici 45. prikazana je konstrukcija jedinice za prajmiranje na HP Indigo tiskarskim strojevima.



Slika 45. Prikaz jedinice za oplemenjivanje tiskovne podloge

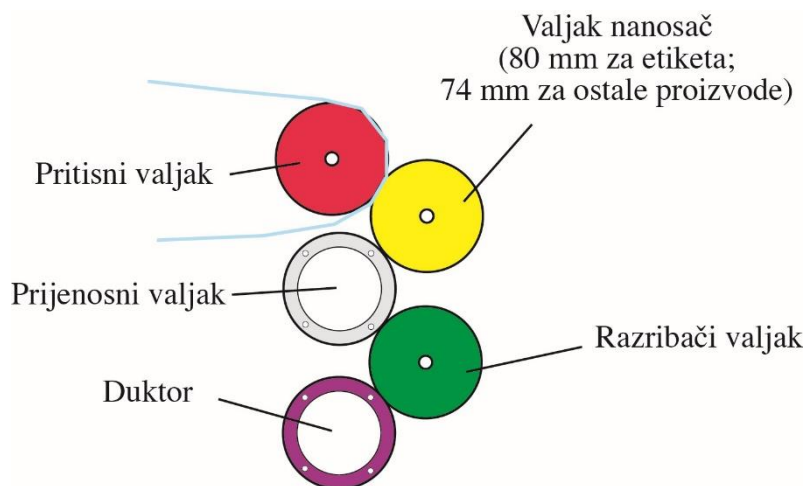
Jedinica za oplemenjivanje tiskovne podloge radi na način da se rola s tiskovnom podlogom odmotava i prolazi kroz korona jedinicu. Pritom se vrši nabijanje površine tiskovne podloge ioniziranim zrakom s ciljem stvaranja mikrostrukture (hrapavosti) koja će pospješiti prihvat bojila na tiskovnu podlogu. Snaga djelovanja korone ovisi o podlozi na kojoj se vrši otiskivanje i uglavnom se upotrebljava za tisak na polimerne materijale, a može biti od 0 do 1200 W. Upotrijebljena korona je Vetaphone VE1A-A(C4)410 čije su tehničke karakteristike prikazane u tablici 5.

Tablica 5. Tehničke karakteristike Vetaphone korone

| Tehničke karakteristike korone – Vetaphone VE1A-A(C4)410 | |
|--|--|
| Brzina nabijanja | 30 m/min za četverbojne otiske 40 m/min u višem modu produktivnosti 60 m/min za tisak jedne ili dvije boje |
| Dužina tretiranja | 350 mm |
| Širina valjka za tretiranje | 410 mm |
| Širina kućišta | 455 mm |
| Min. prostor manipulacije | 890 mm |
| Mogućnost tretiranja | jedna strana |
| Broj primijenjenih elektroda | 4 (keramičke) |
| Pokrov valjka | nehrđajući čelik |
| Promjer valjka | ø100 mm |
| Tip konstrukcije | montiran na konzoli ili direktno na temelj |

Nakon toga rola s tiskovnom podlogom ulazi u centralnu jedinicu za premazivanje koja sadrži pet valjaka. Pri tom dolazi do ujednačenog nanašanja prajmera na površinu tiskovne podloge. Količina nanosa premaza ovisi o promjeru valjka za nanašanje prajmera, tj.

promjerom nanosećeg valjka od 74 mm postiže se nanos od 0,5 g/m², dok se promjerom valjka od 84 mm ostvaruje nanos od 1 g/m². Kako bi se prajmer osušio, rola s tiskovnom podlogom mora proći kroz tunel za sušenje toplim zrakom nakon čega dolazi na valjke za hlađenje. Takva oplemenjena tiskovna podloga na kraju jedinice za oplemenjivanje ulazi u tiskovnu jedinicu u HP Indigo gdje se vrši otiskivanje na prethodno nanoseni prajmer.



Slika 46. Shema valjaka na jedinici za prajmiranje

Jedinica za prajmiranje, osim valjka nanosača, sadržava pritisni valjak, prijenosni valjak, razribači valjak i valjak duktora (slika 46.). Valjak duktora služi za nanašanje prajmera iz bojanika, razribači valjak razribava prajmer po čitavoj površini otiskivanja, a prijenosni valjak ih povezuje. Najviši pritisni valjak kontrolirano pritišće rolu s tiskovnom podlogom uz valjak nanosač kako bi se formirao kvalitetni premaz prajmera na tiskovnu podlogu. Upravo takvom konstrukcijom osigurana je ujednačenost tretiranja i nastajanje otisaka bez vidljivih defekata.

3.2.3. Tiskovna podloga

Kao tiskovna podloga u ovom istraživanju upotrijebljen je papir Condat digital gloss RL, gramature 90 g/m² koji je obostrano premazan te pripada skupini sjajnih papira za umjetnički tisak, a njegove karakteristike prikazane su u tablici 6. U sastavu premaza papira nalaze se: celuloza 50 %, keljivo 5,5 %, punilo 40 % i voda 4,5 %. Papir je namijenjen za tisak na HP Indigo strojevima, iako se može upotrijebiti i na ostalim digitalnim strojevima, osim kod visokoproduktivnog Inkjeta. Dostupan je u različitim formatima, gramaturi i debljini, a namijenjen je za tisak knjiga, brošura, časopisa, kataloga [107].

Tablica 6. Osnovne karakteristika papira – Condat digital gloss RL

| Karakteristike papira - Condat digital gloss RL | | | | |
|---|----------------|------------|-------------|-----------------------|
| Svojstvo | Jedinica mjere | Vrijednost | Tolerancija | Standard |
| Gramatura | g/m | 90 | ±4 % | ISO 536 / TAPPI T410 |
| Debljina | µm | 70 | ±4 % | ISO 534 / TAPPI T411 |
| Opacitet | % | 89.0 | -2.0 | ISO 2471 / TAPPI T519 |
| Bjelina D65/10° | % | 118.7 | ±3 | ISO 11475 |
| Sjaj papira | % | 70 | ±5 | ISO 8254 / TAPPI T480 |
| Glatkoća po Bekk | s | 1400 | ±30 % | ISO 5627 / TAPPI T475 |
| Relativna vlažnost | % | 40 | ±7 | TAPPI T502 |

3.2.4. Primer - Michem® In-Line Primer 030

Michem® In-Line Primer 030 specijalna je supstanca proizvedena za *in-line* premazivanje tiskovnih podloga za HP Indigo strojeve, serije WS 6800. Takav prajmer pospješuje adheziju ElectroInk bojila te omogućuje bolji transfer boje na tiskovnu podlogu koja ima nisku površinsku energiju [109]. Njegove karakteristike prikazane su u tablici 7.

Tablica 7. Karakteristika prajmera – Michem® In-Line Primer 030

| Michem® In-Line Primer 030 | |
|----------------------------|-------------------------|
| Karakteristika | Vrijednost |
| Izgled | Bijela tekućina |
| pH | 8.0 - 10.0 |
| Viskozitet (cps) | < 100 |
| Broj nanašanja | 1 |
| Brzina nanašanja | 60 ok/min |
| Proizvođač | USA , Belgija, Singapur |

3.2.5. Spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact

Za mjerenja višebojne reprodukcije, upotrijebljen je spektrofotometar X-rite eXact, koji se upotrebljava za određivanje spektrofotometrijskih i denzitometrijskih vrijednosti (slika 47.). Uređaj može izvršiti mjerenja zasebnih polja kao i definiranih klinova (stripova) za dobivanje većeg broj podataka unutar jednog mjerenja. Upravljanje uređajem provodi se preko ekrana koji je osjetljiv na dodir te se na njemu iščitavaju svi rezultati provedenih mjerenja.

eXact služi za analizu jednobojnih i višebojnih tiskovnih elemenata, kao i kontrolu kvalitete tiska u procesu rada. Prenosivi X-rite eXact spektrofotometar karakterizira brzina mjerenja otisnutih uzoraka koja je manja od 1 sekunde, uz mogućnost spremanja i automatskog

prebacivanja izračunate vrijednosti na računalo uporabom programa eXact Manager. Osnovne karakteristike uređaja prikazane su u tablici 8.

Tablica 8. Osnovne funkcionalnosti mjernog uređaja X-Rite eXact

| Tehničke specifikacije mjernog uređaja - X-Rite eXact | |
|---|-------------------------|
| Brzina mjerenja | < 1 sec |
| Raspon valnih duljina | 400 – 700 nm |
| Raspon mjerenja | 0 – 200 % reflektancija |
| Optička razlučivost | 10 nm |
| Geometrija | 45°/0° |
| Standardni promatrač | 2°/10 |
| Mjerna površina | Ø1.5, Ø2, Ø4 i Ø6 m |
| Standard | ISO 13655:2009 |
| USB | USB 2 |
| Mjerni uvjeti | M0, M1, M2, M3 |
| Mjerenje valnih duljina | 400 nm to 700 nm |



Slika 47. Spektrofotometar X-Rite eXact

Za mjerenje u skladu s FOGRA standardom dostupni su izvori svjetla tipa A (plinom punjeni volfram) te UV LED izvor uz uvjete mjerenja M0 (nepolarizirano, bez filtera, uključen UV), M1 mjerenje uz svjetlo (D50), M2 (s filterom koji isključuje UV), odnosno M3 (polarizirajući filter). Upotrijebljeni uređaj pripada seriji *advanced*.

3.2.6. Spektrofotometar X-Rite DTP 41

X-Rite DTP 41 spektrofotometrijski je i kolorimetrijski uređaj koji funkcionira u spoju s računalom i računalnim aplikacijama ColorShop X i Monaco Profiler Platinum, a čije su osnovne tehničke karakteristike prikazane u tablici 9. Dobiveni rezultati mogu biti u

sljedećem obliku: optička gustoća obojenja, L^* , a^* , b^* , c^* , H^* , x , y , Y , sivoće pogreške tona, spektralne refleksije u vidljivom dijelu spektra i rastertonske vrijednosti obojenja. Uređaj se zbog svoje brzine i točnosti upotrebljava za izradu ICC profila koji se izrađuju pomoću programa Monaco Profiler Platinum. Vizualni prikaz generiranih gamuta moguć je uz primjenu programa Gamut viewer [116].

Tablica 9. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-Rite DTP 41

| Tehničke karakteristike spektrofotometra X-Rite DTP 41 | |
|--|--|
| Točnost | < 0,1 ΔE max., < 0,5 prosjek |
| Spektralni senzor | DRS tehnologija, 24 točke strojno |
| Spektralni opseg mjerenja | 400 – 700 nm |
| Ponovljivost | 0,2 ΔE max \pm 0,01 D max |
| Brzina mjerenja | 0,25 s po polju |
| Interno instrumentsko slaganje | 0,3 ΔE |
| Mjerna geometrija | 45 % / 0° ANSI i ISO standard |
| Izlaz | 31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T, I, A, M i E) |
| Dimenzija / masa | 8,8 x 18,4 x 11,4 cm / 890 g |
| Izvor svjetlosti | A, C, D50, D55, D65, D75, F2, F7, F11, F12 |
| Kut promatranja CIE | 2°, 10° |
| Mjerni zaslon | 1,8 x 2,5 cm |

3.2.7. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS

Za detaljniju analizu uzoraka upotrijebio se uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS (slika 48.). Uređaj je prenosiv i u potpunosti nezavisan. Ugrađeni operativni sustav, brze performanse i punjiva baterija omogućuju nesmetan rad bilo gdje. Uz uređaj dolazi posebna olovka kako bi se moglo upravljati raznim operacijama i mjerenjima preko zaslona na dodir. Ovaj mjerni instrument dimenzija je džepnog računala te ima vlastiti izvor svjetla kao i digitalni mikroskop kako bi slikovna analiza bila što preciznija. Iako mu je namjena usmjerena analizi Inkjet otisaka, može se upotrijebiti i za ispitivanje kvalitete ofsetnih otisaka i tiskovnih formi. Značajke ovog mjernog instrumenta mogu se podijeliti u 6 odvojenih jedinica. Vrste mjerenja koje se mogu provoditi: analiza kvalitete točke, analiza kvalitete linije (ISO-13660), kvaliteta površine (ISO-13660), reprodukcija tona, analiza deformacija slike i kvalitete reprodukcije teksta [117].



Slika 48. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS

Kako bi se napravila analiza otiska, potrebno je snimiti željeni dio uzorka koji se želi ispitati i to u području interesa (ROI). Detaljno ispitivanje kvalitete točke provodi se mjerenjem promjera, opsega, površine i cirkularnosti same točke. Za slikovnu analizu linije mjere se vrijednosti širine linije, gustoće linija, zamrljanost, nazubljenost rubova, kontrast te puni ton. Tehničke karakteristike uređaja prikazane su u tablici 10.

Koristeći precizne senzore i izračun rezultata koji zadovoljava standarde kvalitete, za ispitivanje kvalitete površine može se izmjeriti reflektancija, vizualna i kolorimetrijska gustoća obojenja (tip T, tip A, DIN), kolorno obojenje (HCL, $L^*a^*b^*$), odnosno ravnomjernost otiska kao što su zrnatost te *mottling*.

Tablica 10. Tehničke specifikacije uređaja za slikovnu analizu Personal IAS

| Tehničke karakteristike Uređaj za slikovnu analizu Personal IAS | |
|---|------------------------------|
| Detektor Optička | CCD |
| Razlučivost | 5 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ |
| Geometrija mjerenja | 45°/0° |
| Minimalna veličina točke | 10 μm |
| Mjerena površina | promjer 2,4 x 2,4 mm |
| Brzina mjerenja | 6 s |
| Standard | ISO 13660 |

4. REZULTATI I DISKUSIJA

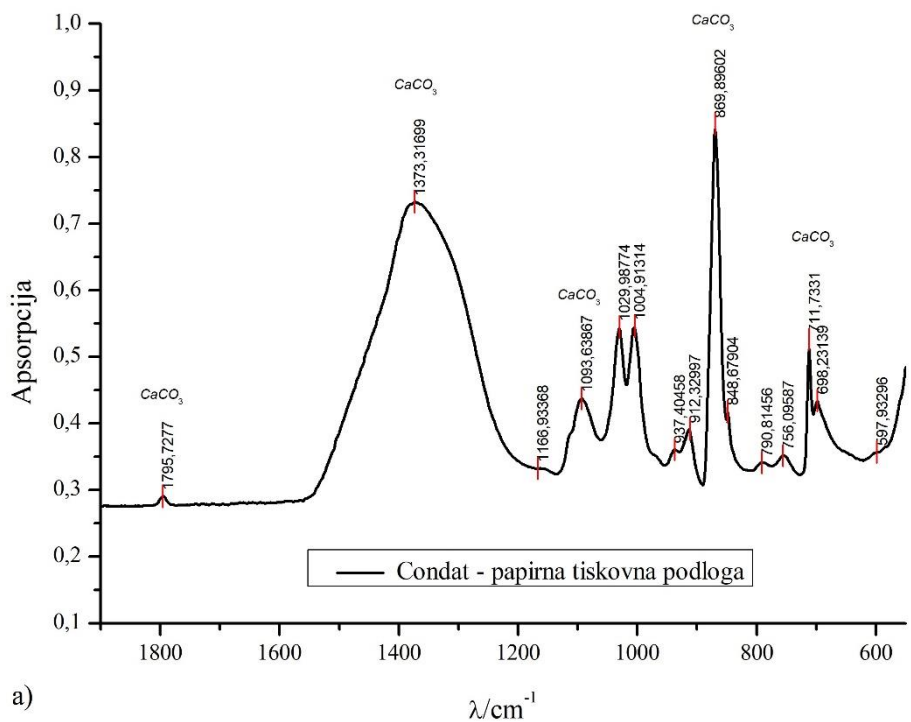
4.1. Rezultati analizirane tiskovne podloge prije tiska

4.1.1. FTIR analiza tiskovne podloge

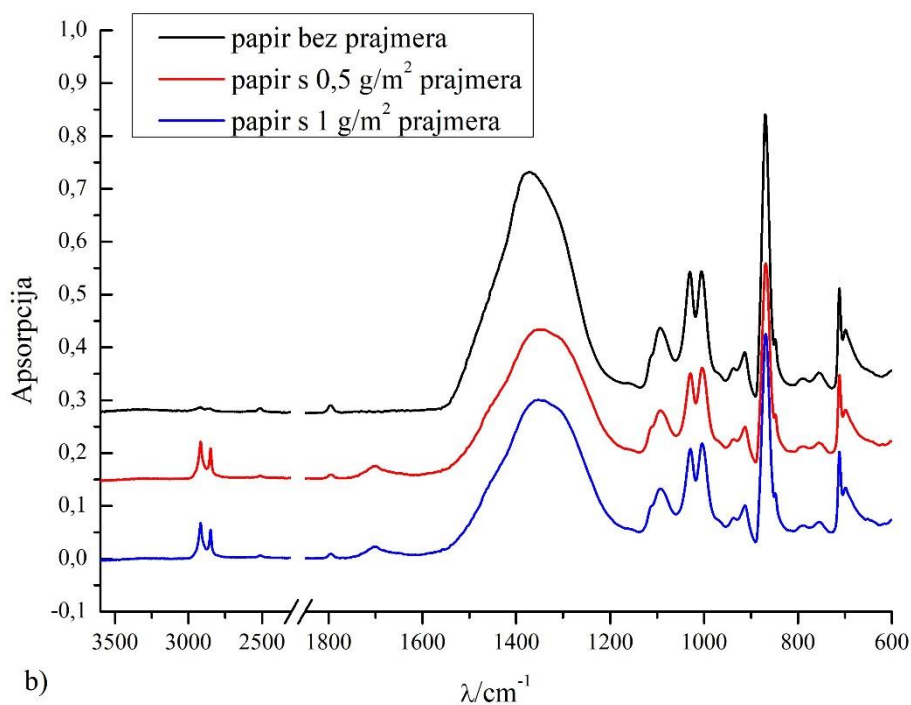
FTIR (*Fourier transform infrared spectroscopy*) spektroskopija je kojom se identificiraju sastavnice uzorka analizom apsorpcijskih ili emisijskih spektara infracrvenoga zračenja, odnosno metoda služi za identifikaciju funkcionalnih skupina prisutnih u molekuli u području od $0,25$ do 2 cm^{-1} [118].

Karakteristika oplemenjene tiskovne podloge najbolje je vidljiva iz FTIR spektra koji pokazuje apsorpcije po valnim duljinama od 600 do 1.900 cm^{-1} . Iz takvih spektralnih krivulja moguće je detektirati prisutne funkcionalne skupine pripremljene tiskovne podloge. Za mjerenje oplemenjenih uzoraka upotrijebljen je spektrometar Irapaffinity-21 koji radi u ATR modu s upadnim kutom od 45° te s ZnSe prizmom indeksa loma 2.4. Za svaki uzorak napravljeno je 15 mjerenja s rezolucijom od 4 cm^{-1} , u rasponu spektra od 500 do 4000 cm^{-1} . Na slici 49. prikazani su FTIR spektri tiskovne podloge (slika 49.a) i FTIR spektri s nanosom prajmera od $0,5\text{ g/m}^2$ i 1 g/m^2 (slika 49b.).

Uzorci ne pokazuju karakteristične vrpce vezane za celulozu zbog visokog udjela vapnenca i ostalih punila. CaCO_3 dominantan je u sva tri uzorka s karakterističnim vrpcama na 1796 , 1373 , 1093 , 870 , 712 i 698 cm^{-1} . U uzorcima 2 i 3 ističu se dvije vrpce na 2920 i 2850 cm^{-1} koje se uglavnom pripisuju kalcijevom stearatu ($\text{C}_{36}\text{H}_{70}\text{CaO}_4$) koji se upotrebljava u kombinaciji sa škrobom i urea-formaldehidom kao punilo u proizvodnji papira i kartona.



a)



b)

Slika 49. Prikaz FTIR-ova izmjerenih uređajem „Shimadzu IRAffinity-1” na papiru za umjetnički tisak Condat: a) prije oplemenjivanja, b) nakon oplemenjivanja prajmerom (0,5 g/m² i 1 g/m²)

Kaolin je najčešće upotrebljavano punilo u papirnoj industriji, ponajviše zbog ključne uloge u povećanju opaciteta i bjeline, ali istovremeno i zbog poboljšanja apsorpcije bojila te se jasno ističe s vrhovima na 1029 cm^{-1} , 1005 cm^{-1} , 790 cm^{-1} , 756 cm^{-1} u svim uzorcima. Nanosom prajmera Michem® In-Line Primer 030, FTIR spektri se značajno ne mijenjaju te karakteristične vrpce ostaju, ali sa smanjenom vrijednošću apsorpcije. Pri tom se pojavljuje manji pik u području od 3.000 cm^{-1} (što je karakteristično samo za uporabu prajmera).

4.1.2. Analiza površinske napetosti tiskovne podloge

Osim FTIR spektara, karakterizacija površine moguća je i određivanjem površinske napetosti. Zbog specifičnosti testiranja u eksperimentu je primijenjen DYNE test s indikatorskim tekućinama od 34 do 44 mN/m (DYNE/cm). Ova je metoda odabrana zbog preciznosti mjerenja uzoraka koje je izvršeno neposredno nakon izlaska tiskovne podloge iz stroja. Za ovu je metodu vrlo važna temperatura prostorije i relativna vlažnost zraka. U tablicama 11. i 12. prikazani su rezultati DYNE testa i klimatski uvjeti u prostoriji u kojoj je vršeno testiranje.

Tablica 11. Izmjerene temperature i relativne vlažnosti zraka

| Uzorak | Temperatura °C | RVZ % |
|------------------------------------|----------------|-------|
| Papir korona 0 W | 24,2 | 49 |
| Papir korona 450 W | 25,1 | 53 |
| Papir korona 950 W | 25,3 | 53 |
| 1 g/m ² prajmer 0 W | 24,9 | 52 |
| 1 g/m ² prajmer 450 W | 25 | 52 |
| 1 g/m ² prajmer 950 W | 24,9 | 52 |
| 0,5 g/m ² prajmer 0 W | 24,7 | 51 |
| 0,5 g/m ² prajmer 450 W | 24,8 | 51 |
| 0,5 g/m ² prajmer 950 W | 24,8 | 51 |
| min | 24,2 | 49 |
| max | 25,3 | 53 |
| average | 24,9 | 51,5 |

Tablica 12. Izmjerene površinske napetosti metodom DYNE po normi ASTM D-2578

| Mjer. pozicija | Papir 0 W | Papir 450 W | Papir 950 W | 1 g/m2 prajmer 0 W | 1 g/m2 prajmer 450 W | 1 g/m2 prajmer 950 W | 0.5 g/m2 prajmer 0 W | 0.5 g/m2 prajmer 450 W | 0.5 g/m2 prajmer 950 W |
|----------------|----------------|-------------|-------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | mN/m (DYNE/cm) | | | | | | | | |
| 1 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 2 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 3 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 4 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 5 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 6 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| 7 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |
| sred. | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 42 | 34 | 38 | 44 |

4.2. Rezultati reproduciranih otisaka

Da bi se vrednovala kvaliteta otisnutih otisaka, potrebno je u fazi podešavanja otisnuti elemente za određivanje RTV-a i punih tonova. Metode pogodne za vrednovanje kolorne reprodukcije su kolorimetrija i spektrofotometrija. Otiskivanjem 378 strogo definiranih polja moguće je kreirati specifični ICC (*International Color Consortium*) profil koji se vizualno prikazuje u obliku 3D gamuta (opseg kolorne reprodukcije).

U tablici 13. prikazane su vrijednosti ostvarenih gamuta uslijed eksperimentalne varijacije snage korone i premazivanja prajmerom za regulaciju površinske napetosti.

Tablica 13. Vrijednosti gamuta za CMYK

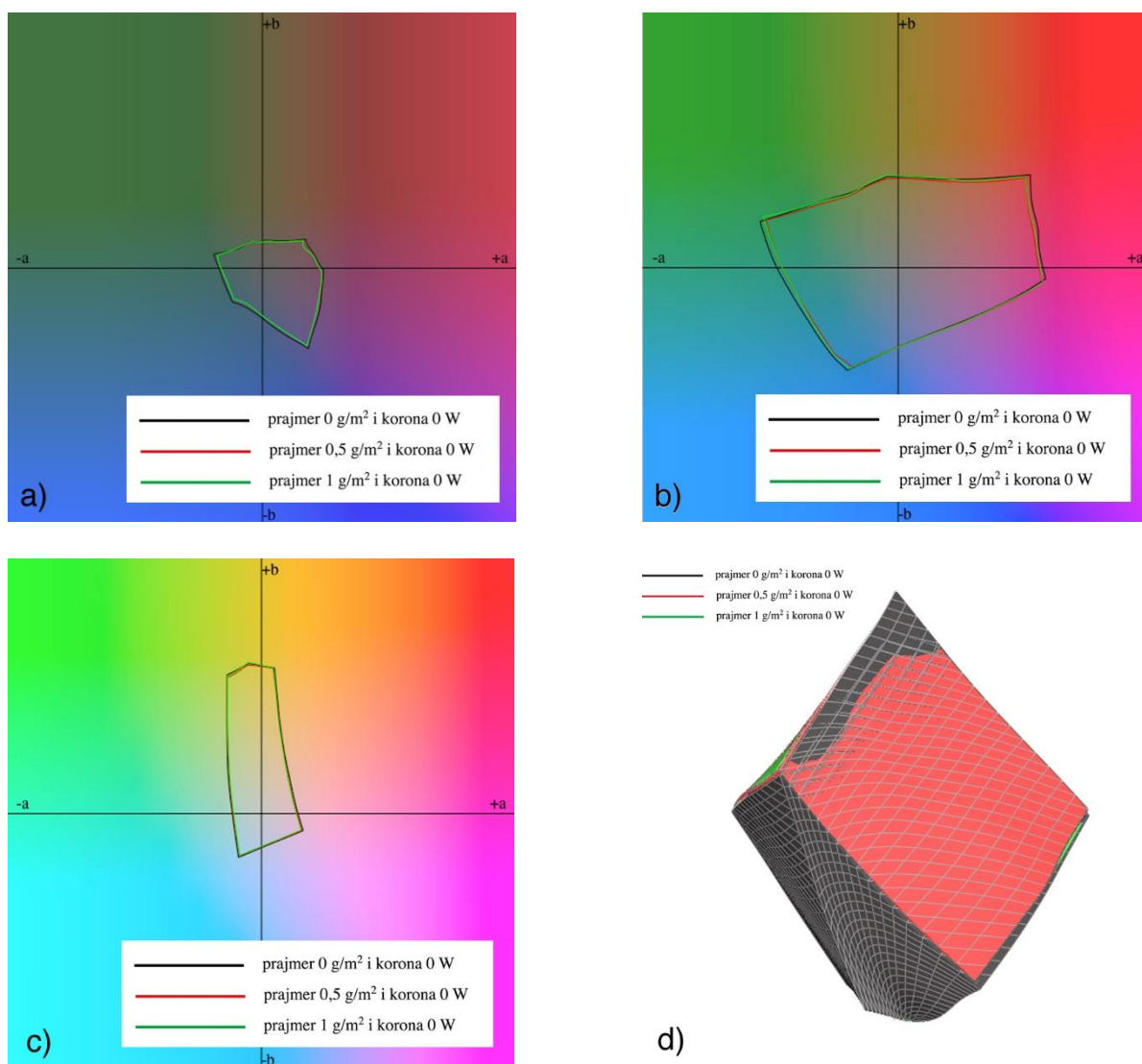
| Volumeni gamuta – CMYK | | | | | |
|--|---------|--|---------|--|---------|
| prajmer 0 g/m ² korona 0 W | 704,863 | prajmer 0,5 g/m ² korona 0 W | 691,431 | prajmer 1 g/m ² korona 0 W | 696,739 |
| prajmer 0 g/m ² korona 450 W | 735,263 | prajmer 0,5 g/m ² korona 450 W | 707,134 | prajmer 1 g/m ² korona 450 W | 720,729 |
| prajmer 0 g/m ² korona 950 W | 728,961 | prajmer 0,5 g/m ² korona 950 W | 714,206 | prajmer 1 g/m ² korona 950 W | 711,211 |

Najveći kolorni gamut, a samim time i najširi raspon obojenja, ostvaren je CMYK otiskivanjem bez nanosa prajmera snagom korone od 450 W, dok je najmanji ostvaren kod CMYK otiskivanja nanosom prajmera 0,5 g/m² i bez snage korone.

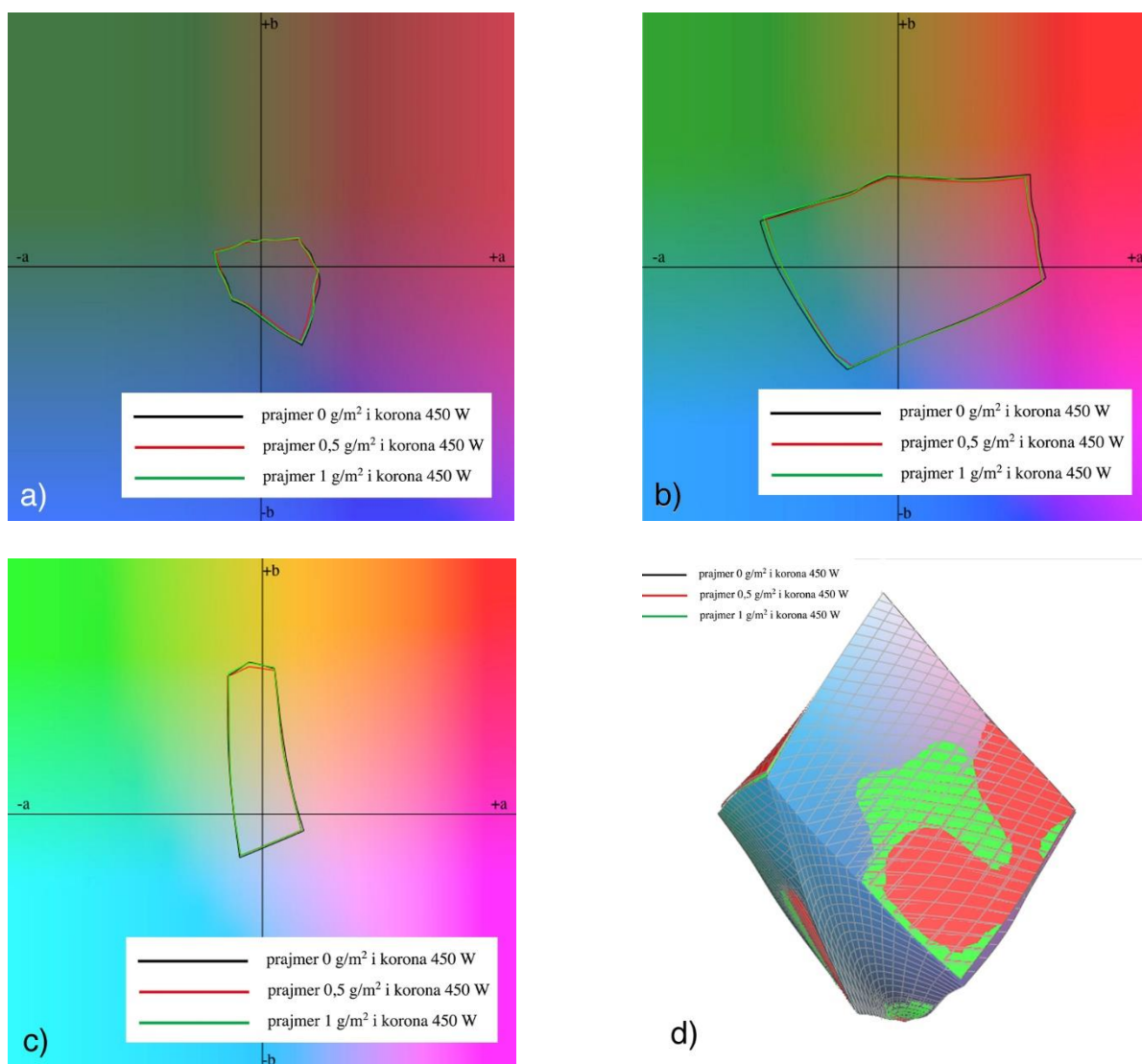
Varijacijom snage korone u rasponu od 0 W do 950 W na papiru bez prajmera ostvarene su promjene u gamutu od $\Delta V_{0W-450W} = 30,400$ gamutnih jedinica; $\Delta V_{0W-950W} = 24,098$ gamutnih jedinica. Povećanjem snaga korone povećavaju se i vrijednosti volumena gamuta.

Nanašanjem tekućine za oplemenjivanje tiskovne podloge od 0,5 g/m² i povećanjem snage korone ostvaruju se minorna povećanja vrijednosti volumena gamuta. U ovom slučaju varijacijom snage korone u rasponu od 0 W do 950 W ostvarene su promjene u gamutu od $\Delta V_{0W-450W} = 15,703$ gamutnih jedinica; $\Delta V_{0W-950W} = 22,775$ gamutnih jedinica.

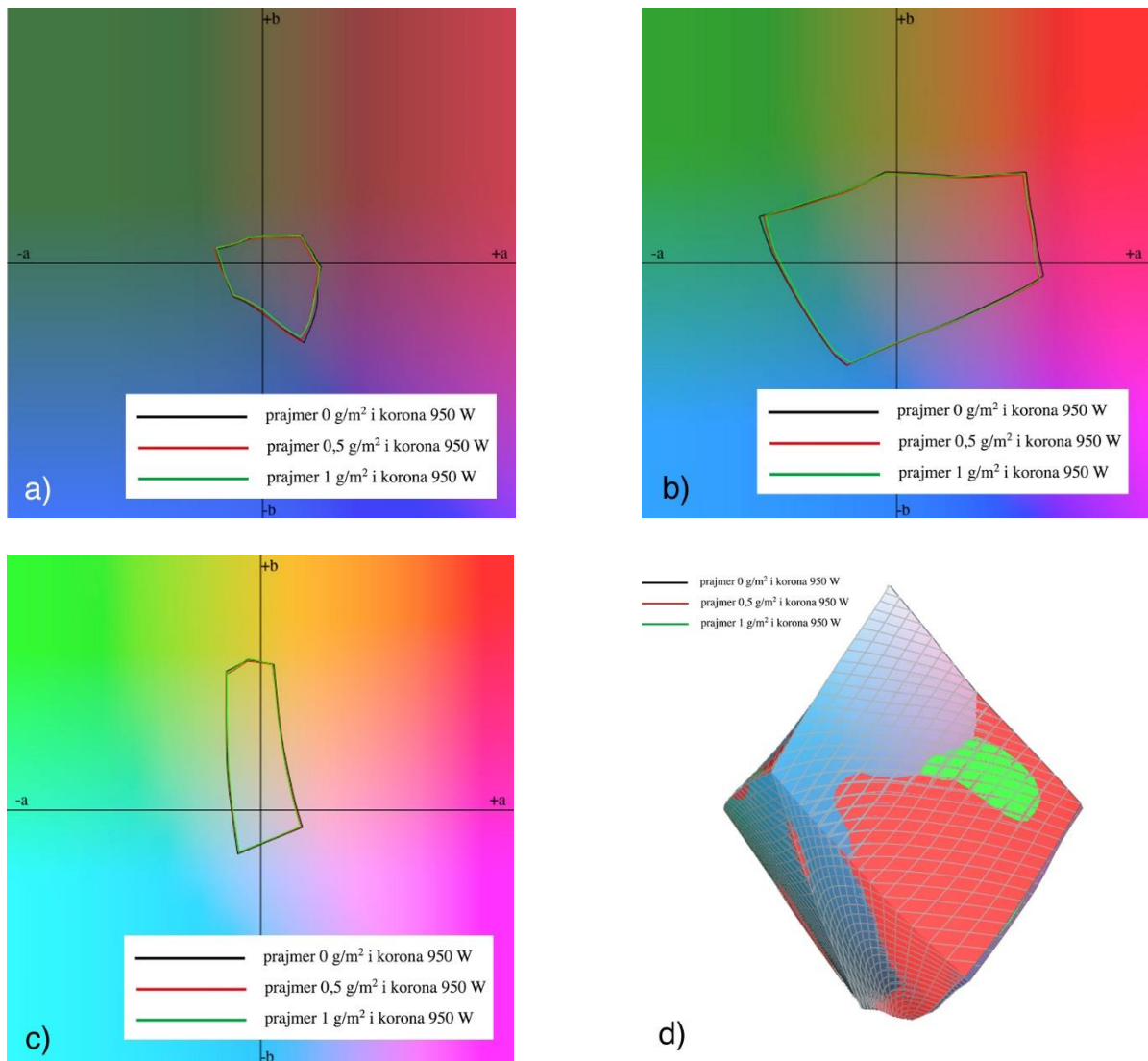
Varijacijom snage korone u rasponu od 0 W do 950 W na tiskovnoj podlozi na koju je nanosen prajmer u količini od 1 g/m² ostvarene su promjene u gamutu od $\Delta V_{0W-450W} = 23,990$ gamutnih jedinica; $\Delta V_{0W-950W} = 14,472$ gamutnih jedinica. Tako nastali otisci osjetljiviji su ako se tretiraju koronom napona od 450 W (veći kolorni gamut), od onih tretiranih koronom napona od 950 W (manji kolorni gamut).



Slika 50. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije bez djelovanja korone i devijacijom prajmera: a) presjek $L = 20$, b) presjek $L = 50$, c) $L = 80$, d) 3D prikaz



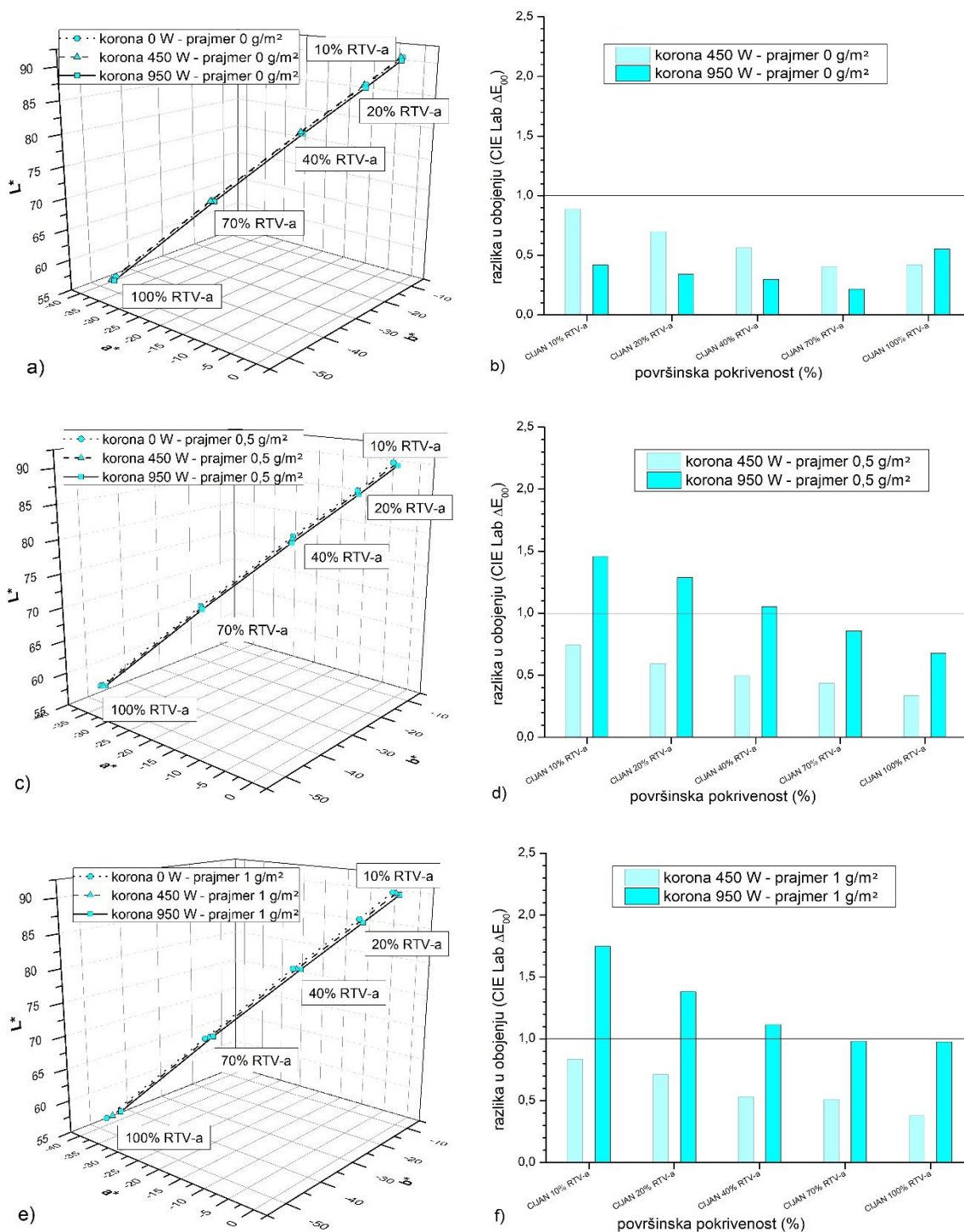
Slika 51. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije nastale koronom snage 450 W i devijacijom prajmera: a) presjek $L = 20$, b) presjek $L = 50$, c) $L = 80$, d) 3D prikaz



Slika 52. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije nastale koronom snage 950 W i devijacijom prajmera: a) presjek L = 20, b) presjek L = 50, c) L = 80, d) 3D prikaz

4.3. Rezultati utjecaja varijacijom snaga korone

Primjenom korone neposredno prije elektrofotografskog tiska ostvaruje se modificirana površina tiskovne podloge koja bi trebala osigurati bolju prihvatljivost ElectroInk bojila. Stvaranjem pozitivno nabijenog naboja na površini, ostvaruje se određena mikrohrapavost koja omogućava ostvarivanje drugačijih raster tonskih vrijednosti (RTV) kao i reprodukciju primarnih i sekundarnih boja. Na slikama 53, 54, 55 i 56 prikazane su kolorne promjene u primarnim (cijan, magenta, žuta i crna).



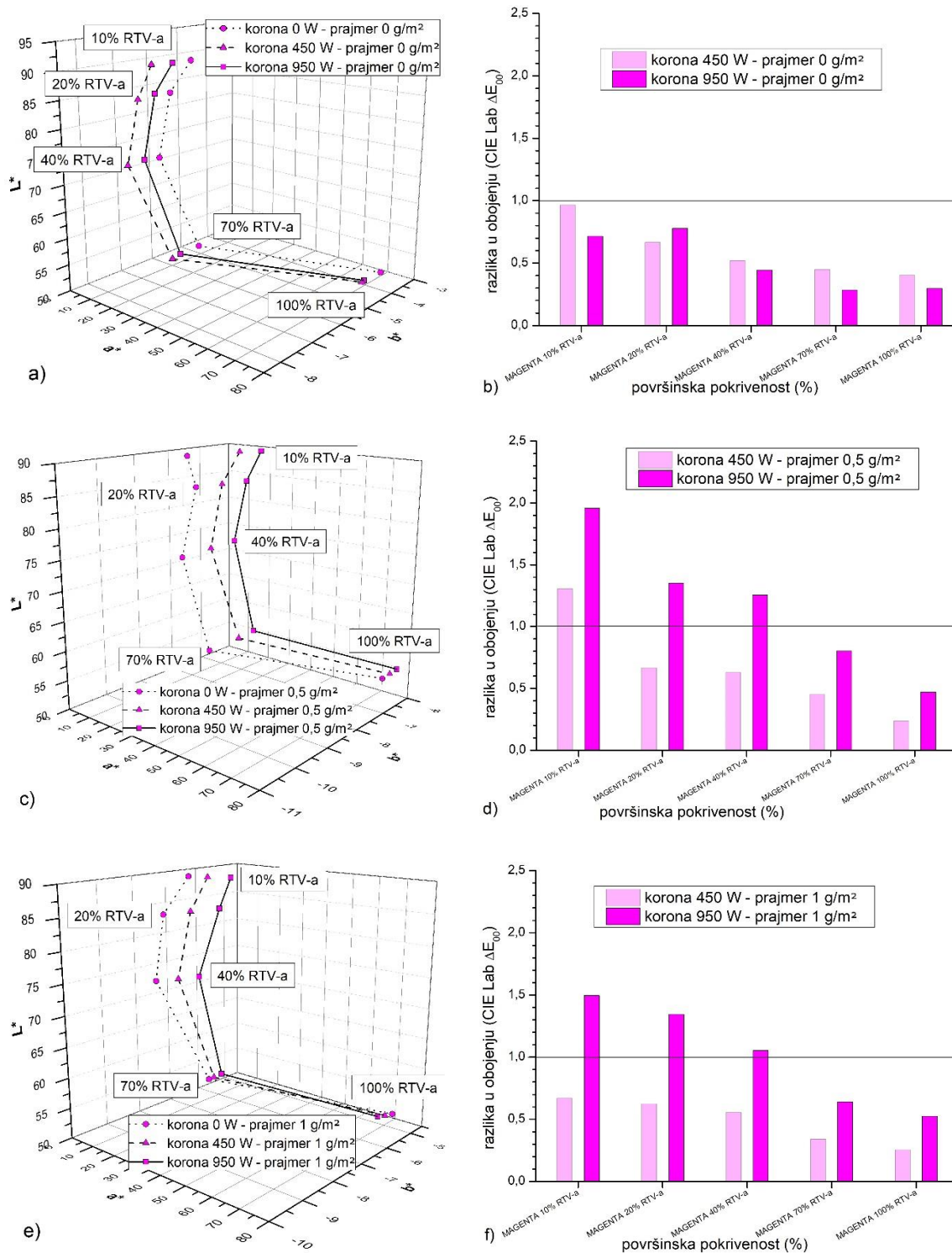
Slika 53. Cijan otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab $0,5 \text{ g/m}^2$ prajmera; d) ΔE $0,5 \text{ g/m}^2$ prajmera; e) Lab 1 g/m^2 prajmera; f) ΔE 1 g/m^2 prajmera

Na čistom papiru za umjetnički tisk (Condat 90 g/m^2) aktivacijom snage korone od 450 W i 950 W neće se ostvariti vidljiva kolorna promjena. Krivulje reprodukcije ostale su

potpuno linearne, a ispitana područja od 10 %, 20 %, 40 %, 70 % i 100 % RTV-a ne prelaze kolornu razliku $\Delta E = 1$. Tako nastale kolorne promjene nisu vidljive ljudskom oku. Kolorimetrijskom metodom mjerenja zamijećena je tendencija da površine s manjom pokrivenošću (svijetli tonovi) ostvaruju veće kolorne promjene, dok se povećanjem raster tonske vrijednosti ta promjena smanjuje. Ona su izraženija primjenom korone od 450 W.

In-line nanašanje prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ imat će za posljedicu ostvarivanje vidljivih kolornih promjena ($\Delta E > 1$). Ta promjena ostvarena je samo pri aktivaciji snage korone 950 W te vrijedi za površinsku pokrivenost od 10 %, 20 % i 40 % RTV-a ($\Delta E_{C10\%_0,5g/m^2} = 1,46$). Povećanjem RTV-a smanjuje se kolorna razlika koja kod punog tona iznosi $\Delta E_{C100\%_0,5g/m^2} = 0,68$. Prosječna devijacija cijan tonova iznosi $\Delta E_{SR_950W} = 1,07$. Snaga korone od 450 W ostvaruje manje kolorne promjene koje nisu vidljive ljudsko oku ($\Delta E < 1$). One su najviše izražene kod 10 % RTV-a ($\Delta E_{C10\%_0,5g/m^2} = 0,74$) dok je najmanja kod punog tona ($\Delta E_{C100\%_0,5g/m^2} = 0,34$). Srednja devijacija cijelog cijan otiska iznosi $\Delta E_{SR_450W} = 0,52$. Iz tog je vidljiva linearna pravilnost odnosa razlike u obojenju i površinske pokrivenosti. Primjenom istih snaga korona uz ostvarivanje većeg nanosa prajmera (1 g/m^2) nastavit će se trendovi kolornih promjena cijan ElectroInk boje. To znači da će se na površinama s manjom pokrivenosti ostvariti veća kolorna promjena. Primjenom napona korone od 450 W ostvarit će se prosječna kolorna promjena u iznosu od $\Delta E_{SR_450W} = 0,59$. Pri tom je maksimum kod 10 % RTV-a ($\Delta E_{C10\%_1g/m^2} = 0,84$), a minimum na punom tonu ($\Delta E_{C100\%_1g/m^2} = 0,38$). Kao i kod nanosa prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ snaga korone od 950 W ostvarit će veće kolorne promjene cijan ElectroInk otisaka. Maksimalni kolorna promjena tako iznosi ($\Delta E_{C10\%_1g/m^2} = 1,75$), dok je minimalna vrijednost ista za puni i 3/4 ton RTV-a ($\Delta E_{C100\%_C70\%_1g/m^2} = 0,98$). Srednja devijacija tako ostvarenog otiska iznosi $\Delta E_{SR_950W} = 1,24$ što je vidljiva kolorna promjena.

Iz 3D prikaza vidljivo je da svi cijan eksperimentalni otisci imaju karakterističnu linearnu krivulju reprodukcije koja minimalno odstupa promjenom snage korone od 0 W, 450 W i 950 W. Nanosom prajmera devijacija tona ističe se manje po svjetlini (L^*), a više po kromatičnosti (a^* i b^* koordinata). Povećanjem snage korone cijan otisci tako postaju sve manje zasićeniji, čime ostvarena kolorna reprodukcija postaje nešto lošija. Standardne cijan otiske (bez prajmera) se ne preporučuju tretirati koronom jer se ne ostvaruju benefiti vidljivi u kvaliteti otiska.



Slika 54. Magenta otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab 0,5 g/m² prajmera; d) ΔE 0,5 g/m² prajmera; e) Lab 1 g/m² prajmera; f) ΔE 1 g/m² prajmera

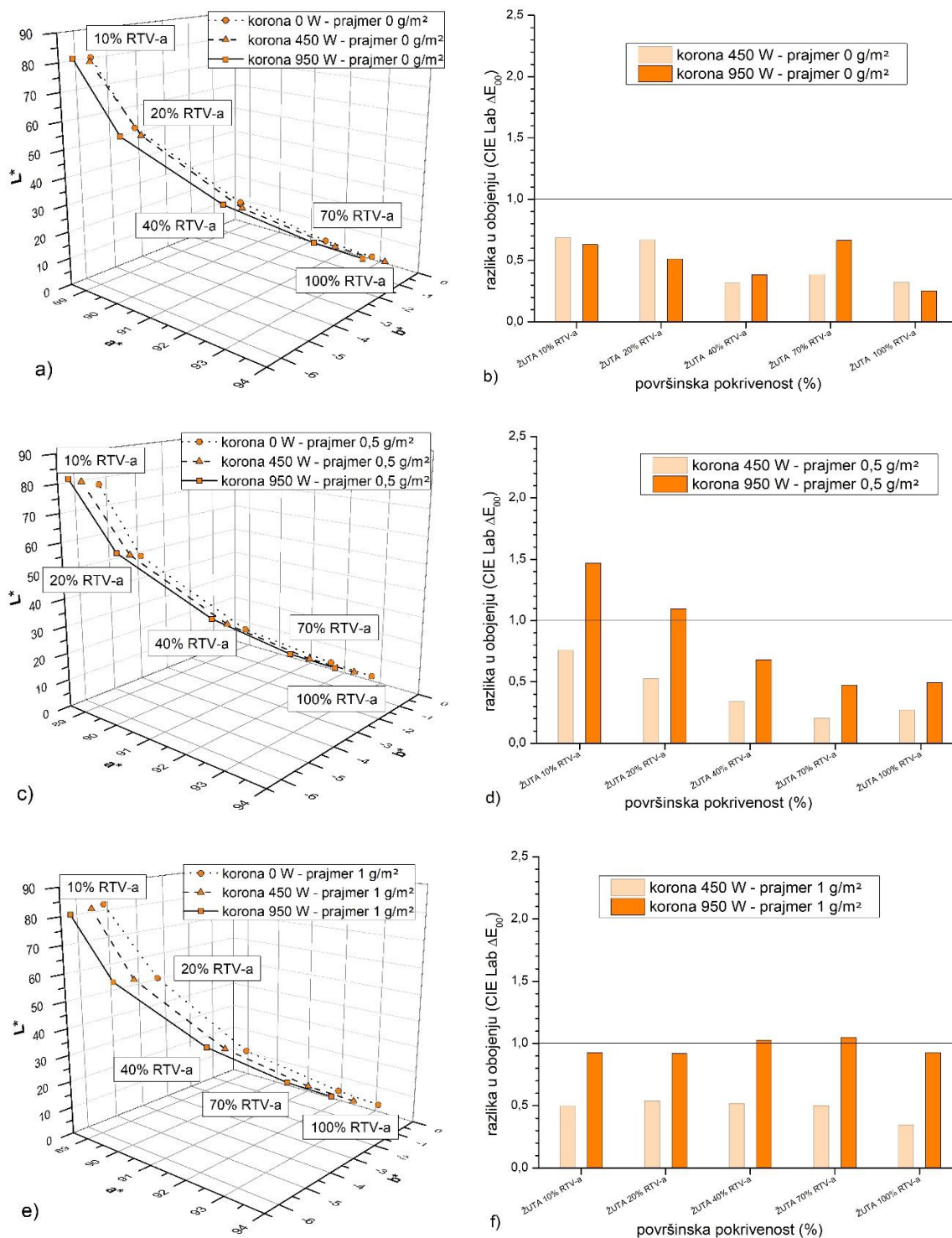
Djelovanjem snage korone od 450 W i 950 W na papiru bez nanosa prajmera, također nije zamijećena vidljiva kolorna promjena. Ispitana područja RTV-a ne prelaze vizualnu kolornu razliku te je ona ispod jedan. Kao i kod cijan otisaka nastala kolorna razlika uočena je u svijetlim tonskim vrijednostima koja se više ističe kod snage korone od 450 W ($\Delta E_{C10\%_M10\%} = 0,07$).

Eksperimentalnim nanosom prajmera u iznosu od $0,5 \text{ g/m}^2$ imat će iste posljedice kao i kod cijan ElectroInk bojila, tj. kolorna promjena magente veća je od jedan za površinsku pokrivenost od 10 %, 20 % i 40 %. Ona je izraženija s jačom aktivacijom snage korone (950 W) te iznosi $\Delta E_{M10\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,96$; $\Delta E_{M20\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,35$; $\Delta E_{M40\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,25$. Pri istoj snazi korone puni ton magente ostvaruje minornu kolornu promjenu koja iznosi $\Delta E_{M100\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,47$.

Prosječna devijacija magenta tonova iznosi $\Delta E_{SR_950W} = 1,17$, što je značajno više od otisaka nastalih snagom korone od 450 W ($\Delta E_{SR_450W} = 0,68$). Snagom korone od 450 W također je izazvana kolorna promjena koja je kod 10 % RTV-a najveća ($\Delta E_{M10\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,31$) dok je najmanja kod punog tona ($\Delta E_{M100\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,24$). Ovdje je također zamijećena linearna pravilnost odnosa razlike u obojenju tona magente i različite površinske pokrivenosti.

Primjenom najvećeg nanosa prajmera od 1 g/m^2 neće se ostvariti značajne kolorne promjene. Međutim, eksperimentalni otisci ostvaruju nešto manje vrijednosti ΔE . Primjenom napona korone od 450 W ostvaruje se prosječna kolorna promjena u iznosu od $\Delta E_{SR_450W} = 0,49$, pri tom je maksimum zadržan kod 10 % RTV-a ($\Delta E_{M10\%_1\text{g/m}^2} = 0,67$), dok je minimum na punom tonu ($\Delta E_{M100\%_1\text{g/m}^2} = 0,25$). Kao i s nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ snaga korone od 950 W dat će veće ΔE . Maksimum tako iznosi $\Delta E_{M10\%_1\text{g/m}^2} = 1,50$, dok je minimum $\Delta E_{M100\%_1\text{g/m}^2} = 0,52$. Srednja vrijednost mjernih tonova magenta tonova iznosi graničnih $\Delta E_{SR_950W} = 1,01$.

Svi magenta eksperimentalni otisci imaju specifičnu krivulju reprodukcije koja se do 70 % RTV-a mijenja po svjetlini nakon čega naglo skreće prema koordinati (a^*). Nanosom prajmera i aktivacijom dvije snage korone, devijacije magentnih tonova manje su izražene po svjetlini. Povećanjem snage korone čisti magenta otisci tako postaju različiti pri čemu će snaga korone od 450 W dati najveću zasićenost, dok će snaga korone (950 W) ostvariti najmanju zasićenost magenta tonova (prevelika snaga korone rezultirat će negativnom tonskom promjenom izraženom nižom kromatičnošću magenta otisaka). Postupkom prajmiranja, kao i djelovanjem korona, narušava se papirna struktura čime otisak postaje kromatski lošiji.



Slika 55. Žuti otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab 0,5 g/m² prajmera; d) ΔE 0,5 g/m² prajmera; e) Lab 1 g/m² prajmera; f) ΔE 1 g/m² prajmera

Koronama snage od 450 W i 950 W i bez utjecaja prajmera, također se neće ostvariti značajnija kolorna promjena. Krivulje reprodukcije ostale su linearne, a ispitana područja

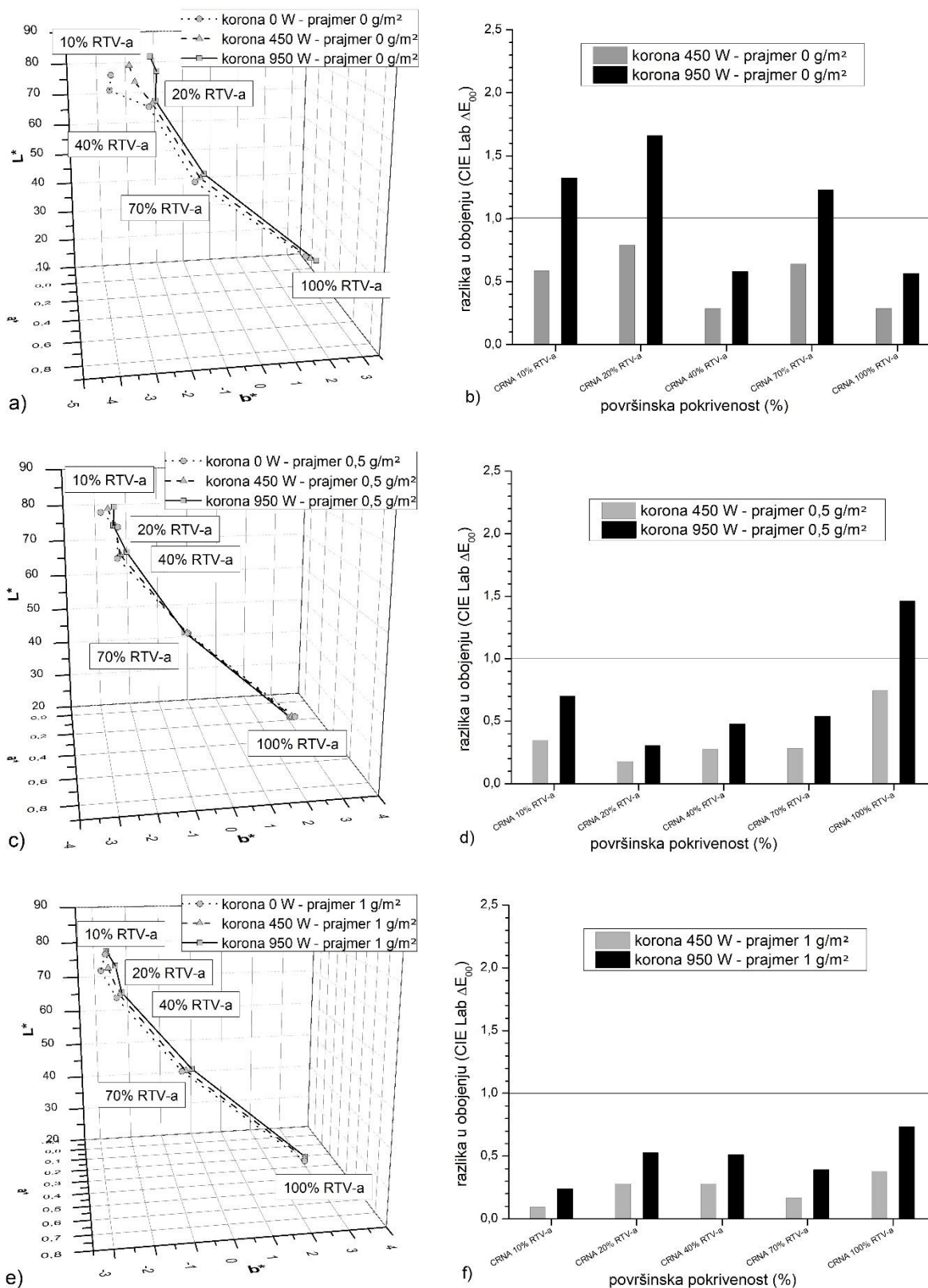
ostvaruju kolornu promjenu ($\Delta E < 0,7$), tako da i kod žutih otisaka nastale kolorne promjene nisu vidljive ljudskom oku. Kolorimetrijskom metodom mjerenja zamijećene su gotovo identične kolorne promjene djelovanjem korona od 450 W i 950 W ($\Delta E_{SR_450W} = 0,48$; ($\Delta E_{SR_950W} = 0,49$).

Prajmer u iznosu $0,5 \text{ g/m}^2$ ostvarit će vidljivu kolornu promjenu $\Delta E > 1$ u područjima od 10 % i 20 % RTV-a. Aktivacijom snage korone od 950 W ostvarit će se najveća kolorna promjena $\Delta E_{Y10\%_0,5g/m^2} = 1,47$. Povećanjem površinske pokrivenosti ona se smanjuje i minimalna je $\Delta E_{Y70\%_0,5g/m^2} = 0,47$. Prosječna devijacija žutih tonova iznosi $\Delta E_{SR_450W} = 0,42$, što je dvostruko manje od otisaka nastalih snagom korone od 950 W ($\Delta E_{SR_950W} = 0,84$). Snaga korone od 450 W ostvaruje puno manje kolorne promjene. Ipak, one su dominantnije kod svijetlih tonskih vrijednosti ($\Delta E_{Y10\%_0,5g/m^2} = 0,76$), a kod tamnih tonova ostvaruju vrijednost u iznosu $\Delta E_{Y70\%_0,5g/m^2} = 0,20$.

Primjenom najvećeg nanosa prajmera od 1 g/m^2 te snagom korone od 950 W otisak je ujednačen kod svih analiziranih površinskih pokrivenosti žutih tonova koje se kreću od $\Delta E = 0,92$ do $\Delta E = 1,05$. Djelovanjem slabije snage korone (450 W) za iste RTV, ostvaruju se kolorne promjene od $\Delta E = 0,35$; do $\Delta E = 0,54$. Srednja devijacija svih žutih tonova tako iznosi $\Delta E_{SR_450W} = 0,48$, što je opet značajno manje od otisaka nastalih snagom korone od 950 W ($\Delta E_{SR_950W} = 0,97$). Kod srednjih tonskih vrijednosti (40 % i 70 % RTV-a), djelovanjem korone od 950 W postižu se maksimalne kolorne promjene koje su veće od $\Delta E > 1$ i iznose $\Delta E_{Y40\%_1g/m^2} = 1,03$; $\Delta E_{Y70\%_1g/m^2} = 1,05$.

Svi žuti eksperimentalni otisci zadržavaju karakterističnu linearnu krivulju reprodukcije za koju je zajedničko da se promjena tona ostvaruje po kromatičnosti (10 %, 20 % i 40 % RTV-a), dok se kod tonova od 70 % i 100 % RTV-a promjena ostvaruje više po svjetlini.

Eksperimentom je pokazano da se otisci u kojima prevladava žuti ton ne trebaju tretirati jer se djelovanjem snaga korona od 450 W i 950 W neće ostvariti bolji rezultati.



Slika 56. Crni otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab 0,5 g/m² prajmera; d) ΔE 0,5 g/m² prajmera; e) Lab 1 g/m² prajmera; f) ΔE 1 g/m² prajmera

Od svih analiziranih procesnih boja, crna će prajmiranjem ostvariti stabilizaciju reprodukcije. Otisci na papiru bez prajmera djelovanjem snage korone od 950 W ostvarit će vizualno najveću kolornu promjenu koja kod 20 % RTV-a iznosi $\Delta E_{K20\%_0g/m^2} = 1,66$, dok najmanju ima puni ton s vrijednošću $\Delta E_{K100\%_0g/m^2} = 0,57$. Samim time crna kolorna separacija jedina ostvaruje kolornu promjenu veću od 1. Prosječna devijacija crnih tonova u ovom slučaju iznosi $\Delta E_{SR_950W} = 1,07$. U slučaju aktivacije snage korone od 450 W situacija se mijenja tako da se vrijednost kolornih promjena crne dvostruko smanjuje ($\Delta E_{SR_450W} = 0,52$). Tako će ekstremne vrijednosti biti kod površinske pokrivenosti od 20 % $\Delta E_{K20\%_0g/m^2} = 0,79$, a minimalne kod pokrivenosti od 40 % ($\Delta E_{K40\%_0g/m^2} = 0,28$).

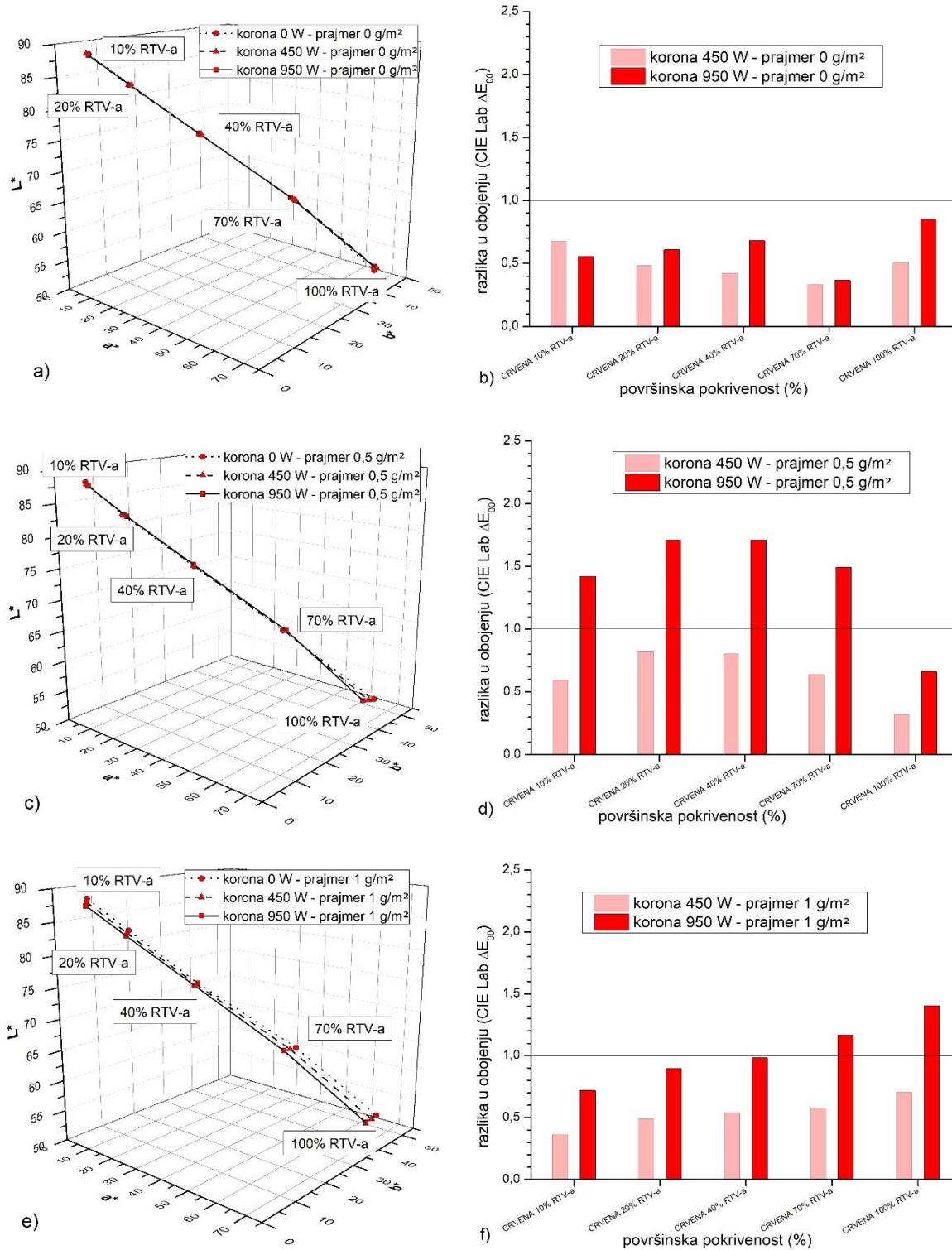
Nanosom prajmera u iznosu od 0,5 g/m² dolazi do značajnije promjene samo kod nanosa punog tona pri snazi korone od 950 W ($\Delta E_{K100\%_0,5g/m^2} = 1,46$). Ostale otisnute površine minimalno osciliraju čime ostvaruju prosječnu kolornu promjenu od $\Delta E_{SR_950W} = 0,70$. Promjenom snage korone na 450 W ostvaruje se također najveća kolorna promjena u punom tonu. Međutim ona ne prelazi vrijednost $\Delta E > 1$ ($\Delta E_{K100\%_0,5g/m^2} = 0,74$). Sukladno tome, prosječna devijacija crne iznosi $\Delta E_{SR_450W} = 0,37$.

Najvećim nanosom prajmera od 1 g/m² eksperimentalni otisci ostvaruju površinu koja će biti najotpornija na djelovanje različitih snaga korona. To je vidljivo u ostvarenim niskim kolornim promjenama crnih tonova $\Delta E_{SR_450W} = 0,24$ i $\Delta E_{SR_950W} = 0,48$.

Crni eksperimentalni otisci imaju pravilnu krivulju reprodukcije koja značajnije varira samo u najsvjetlijim tonskim vrijednostima. Otisci bez prajmera ostvaruju značajnije promjene po osima kromatičnosti (a* i b*) čime se odmiču od osnovne akromatske osi. Tako u svjetlijim tonskim područjima snaga korone od 950 W ostvaruje dvostruko veće kromatske promjene pa samim time otisak postaje više siv.

Otiske u kojima prevladava crni ton najbolje je ne tretirati, a u slučaju nanosa prajmera poželjno je primijeniti snagu korone od 450 W.

Na kolornim otiscima, osim procesnih tonova (CMYK), reproducirani su i sekundarni tonovi (RGB) nastali pretiskivanjem (*overprint*). Tako će crvena nastati otiskivanjem (žuta + magenta, zelena (žuta + cijan) te ljubičastoplava (cijan + magenta). Pri tom je sekvenca nanašanja ElectroInk bojila izrazito važna, te je upotrijebljena standardna konfiguracija Y+M+C+K. Na slikama 57., 58. i 59. prikazane su sekundarne boje (crvena, zelena i ljubičastoplava).



Slika 57. Crveni otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab 0,5 g/m² prajmera; d) ΔE 0,5 g/m² prajmera; e) Lab 1 g/m² prajmera; f) ΔE 1 g/m² prajmera

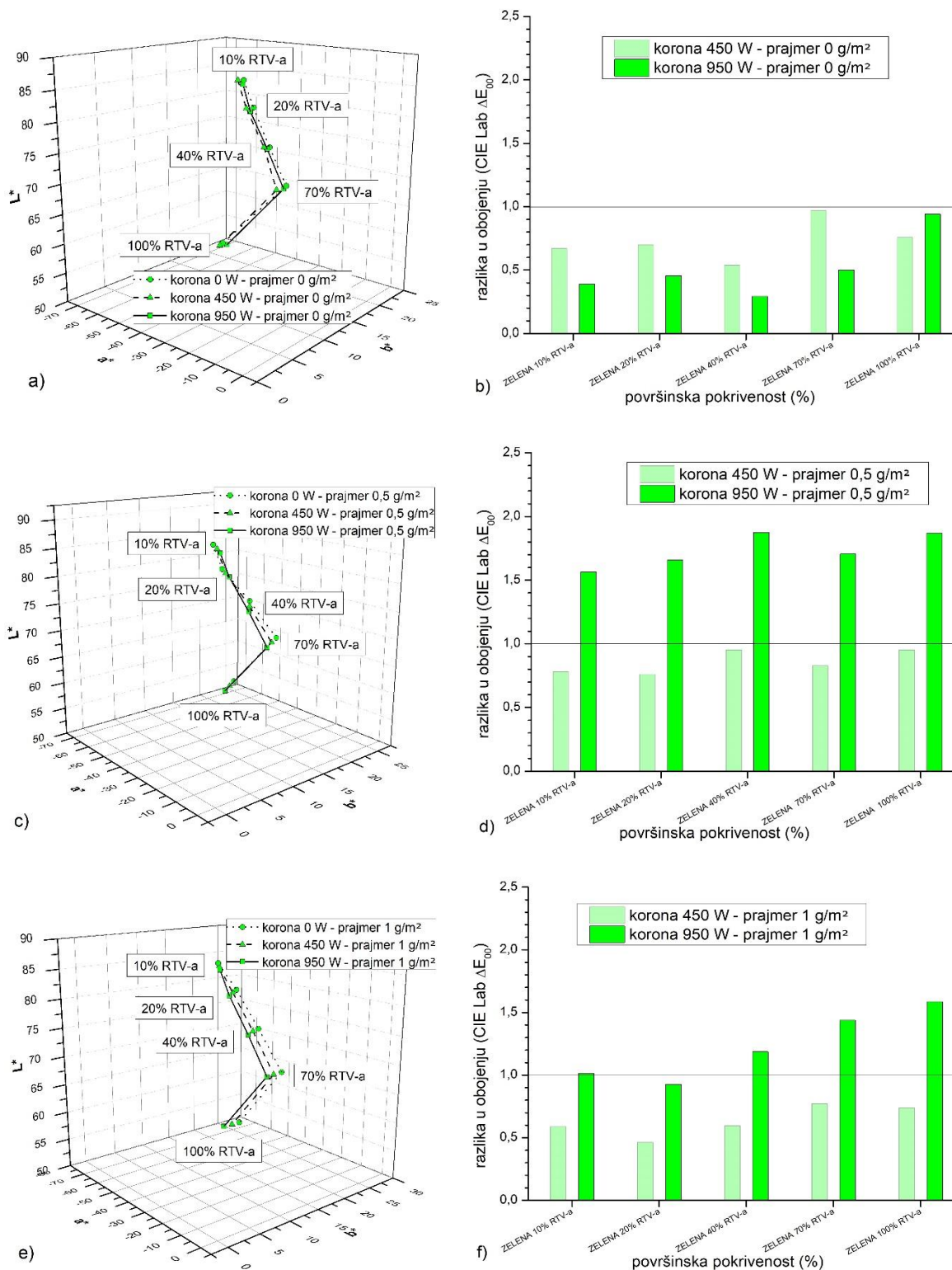
Na svim otisnutim eksperimentalnim crvenim uzorcima zamijećena je linearna pravilnost krivulja reprodukcija koja se idealno ponaša na čistom papiru. Aktivacijom snage korone od 450 W i 950 W neće se ostvariti vidljiva kolorna promjena te sva ispitana područja (10 %, 20 %, 40 %, 70 % i 100 % RTV-a) ne prelaze kolornu razliku $\Delta E = 1$. To znači da prosječna vrijednost odstupanja iznosi $\Delta E_{SR_450W} = 0,48$ i $\Delta E_{SR_950W} = 0,61$.

Eksperimentalnim nanašanjem prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ imat će za posljedicu ostvarivanje vidljivih kolornih promjena samo u rasterskim područjima uz primjenu snage korone od 950 W ($\Delta E_{R10\%-70\%_950W} = 1,59$). To ne vrijedi za puni ton gdje će ista postavka snage korone i nanosa prajmera ostvariti iznos $\Delta E_{R100\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,66$. Smanjenje snage korone za 500 W imat će za posljedicu pad razlika u obojenju crvenih tonova. Tako će najveću kolornu promjenu imati područje od 20 % RTV-a ($\Delta E_{R20\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,82$), dok će najmanju vrijednost imati puni ton ($\Delta E_{R100\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,32$). Time je ostvareno dvostruko smanjenje crvenih tonskih vrijednosti.

Većim nanosom prajmera (1 g/m^2) uz primjenu eksperimentalnih snaga korona doći će do kolornih promjena koje su karakteristične po trendu kretanja rezultata. Tako će se povećanjem RTV-a na otisku, ostvarivati i veća CIE Lab ΔE kolorna promjena.

Primjenom snage korone od 450 W ostvarit će se prosječna kolorna promjena u iznosu od $\Delta E_{SR_450W} = 0,54$. Povećanjem snage korone (950 W) ostvarit će se veće kolorne promjene koje iznose $\Delta E_{SR_950W} = 1,03$ pri čemu je maksimalan vrijednost kod punog tona ($\Delta E_{R100\%_1\text{g/m}^2} = 1,40$), a minimalna kod 10 % RTV-a ($\Delta E_{R10\%_1\text{g/m}^2} = 0,72$).

Iz 3D prikaza vidljivo je da nanosom prajmera vrijednosti crvenih tonova padaju pri čemu se snagom korone od 450 W promjene događaju po svjetlini (L^*), a snagom od 950 W po kromatičnosti (a^* i b^*). Povećanjem snage korone crveni otisci tako postaju sve lošiji, čime ostvarena kolorna reprodukcija postaje neodgovarajuća. Standardne crvene otiske (bez prajmera) se ne preporučuje tretirati koronom jer se ne ostvaruju benefiti vidljivi u kvaliteti crvene reprodukcije.



Slika 58. Zeleni otisci nakon varijacije korone: a) Lab bez prajmera; b) ΔE bez prajmera; c) Lab 0,5 g/m² prajmera; d) ΔE 0,5 g/m² prajmera; e) Lab 1 g/m² prajmera; f) ΔE 1 g/m² prajmera

U odnosu na crvene otiske bez nanosenog prajmera, zeleni otisci imaju u potpunosti drugačiji trend promjena kolornih vrijednosti. To znači da se primjenom snage korone od 450 W povećava kolorna razlika ($\Delta E_{G10\%-70\%_{450W}} = 0,72$). Iste površine otisnute snagom korone od 950 W ostvaruju neprimjetnu kolornu razliku ($\Delta E_{G10\%-70\%_{950W}} = 0,41$). To pravilo ne vrijedi za puni ton. Snaga od 950 W ostvarit će promjenu $\Delta E_{G100\%_{0g/m^2}} = 0,94$, a snaga korone od 450 W $\Delta E_{G100\%_{0g/m^2}} = 0,76$.

Pri nanašanju prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ i primjenom snage korone od 950 W ostvarit će se izrazito vidljive kolorne promjene zelene u svim ispitanim tonovima ($\Delta E_{SR_{950W}} = 1,73$). Ona je ujednačena po svim rastertonskim vrijednostima. Aktivacijom manje snage korone (450 W) doći će do dvostruko manje kolorne razlike koja iznosi nevidljivih $\Delta E_{SR_{450W}} = 0,85$.

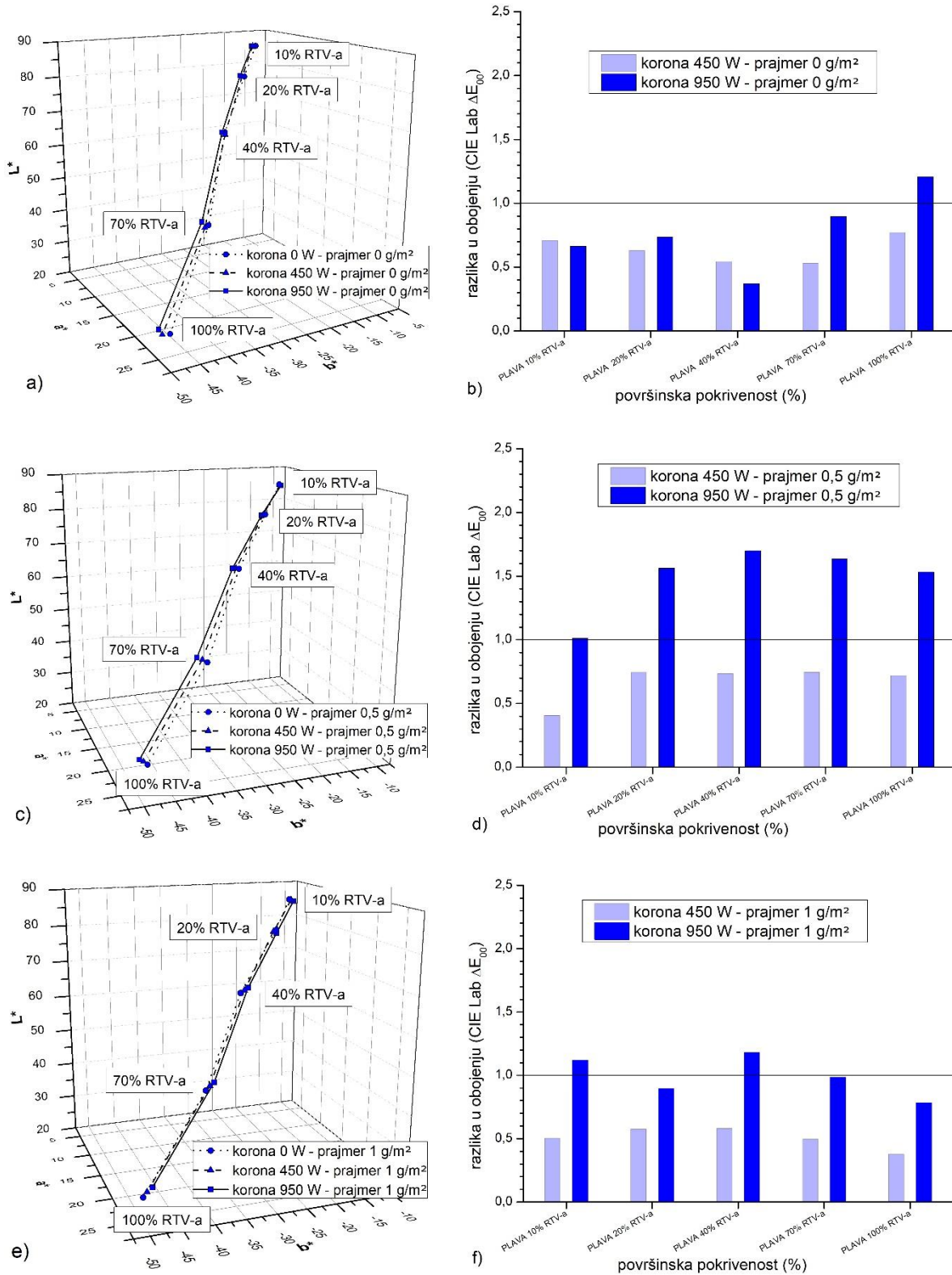
Pri tom se po maksimalnoj vrijednosti ističu dvije površinske pokrivenosti od 40 % i 100 % ($\Delta E_{450W_{0,5g/m^2}} = 0,95$; $\Delta E_{950W_{0,5g/m^2}} = 1,88$).

Eksperimentalnim nanosom prajmera (1 g/m^2) uz primjenu snaga korone (450 W i 950 W) nastat će zeleni otisci koji svojim promjenama slijede crvene. To znači da će se aktivacijom snage od 950 W ostvariti veće kolorne promjene ($\Delta E_{SR_{950W}} = 1,23$). Samim time nastavljen je trend povećanja kolorne vrijednosti s porastom rasterske pokrivenosti. U odnosu na crvene otiske, tri područja zelene malo više odstupaju. To su područja od 10 %, 40 % i 70 % RTV-a.

Manjom snagom korone od 450 W ostvaruje se jedva zamjetna promjena koja iznosi $\Delta E_{SR_{450W}} = 0,63$.

Krivulje reprodukcije zelene karakterističnog su oblika. Njih karakterizira linearnost u rastriranim područjima nakon čega dolazi do naglog skretanje po žutoj (b^*) osi.

Iz 3D prikaza vidljivo je da samo promjenom snage korone (bez nanosa prajmera), kolorne promjene nastaju samo po kromatičnosti uslijed čega ne postoji određena pravilnost. Nanosom prajmera odstupanja postaju izraženija pri čemu najsvjetliji tonovi slike osciliraju po svjetlini dok tamniji osciliraju po kromatičnosti. Najbolji zeleni otisci tako nastaju tiskom bez prajmera, međutim, i nanosom žućkastog prajmera neće se ostvariti značajnije lošiji rezultati zelenih tonova.



Slika 59. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom korone:

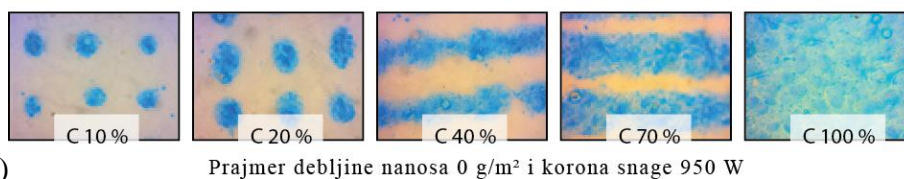
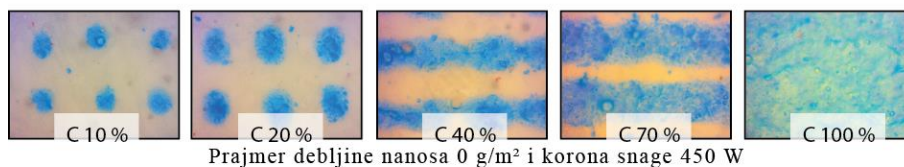
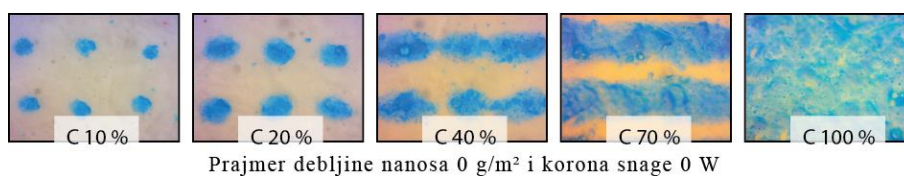
- a) L^*a^*b bez prašjera; b) ΔE bez prašjera; c) L^*a^*b s 0,5 g/m² prašjera;
 d) ΔE s 0,5 g/m² prašjera; e) L^*a^*b s 1 g/m² prašjera; f) ΔE s 1 g/m² prašjera

Kao i u prethodnim slučajevima otisci bez prajmera ostvarit će najmanje kolorne promjene. Za eksperimentalne ljubičastoplave tonove te kolorne promjene iznose: $\Delta E_{SR_450W} = 0,64$ i $\Delta E_{SR_950W} = 0,78$. Najveće odstupanje tako nastaje u punom tonu primjenom snage korone od 950 W i iznosi $\Delta E_{B100\%_0 \text{ g/m}^2} = 1,21$, a najmanje u rasterskom području od 40 % ($\Delta E_{B40\%_0 \text{ g/m}^2} = 0,37$).

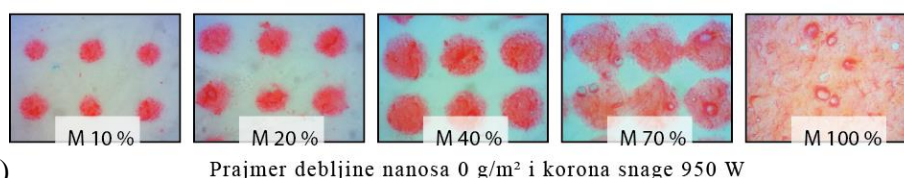
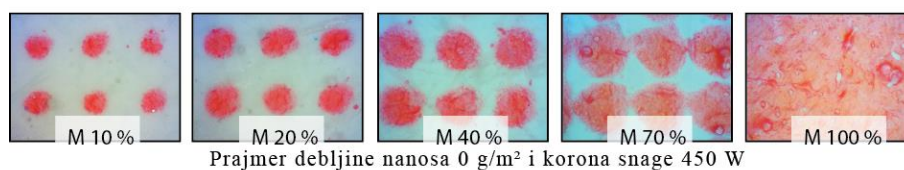
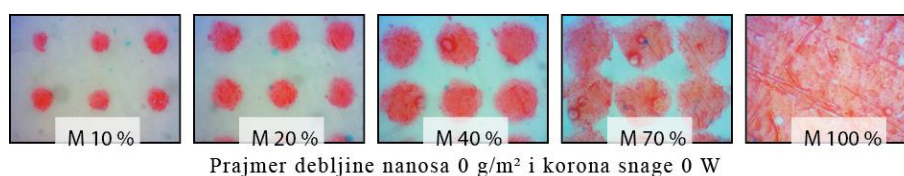
Nanašanjem različitih količina prajmera i primjenom snage korone od 450 W neće se ostvariti značajna kolorna promjena $\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 0,67$; $\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 0,51$. Aktivacijom snage korone od 950 W imat će za posljedicu ostvarivanje vidljivih kolornih promjena samo nanosom prajmera u količini od 0,5 g/m². Pri tom će se ostvariti okom vidljive devijacije plavog tona ($\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 1,49$). Maksimalna vrijednost tako iznosi $\Delta E_{B40\%_0,5 \text{ g/m}^2} = 1,70$, a najmanja $\Delta E_{B10\%_0 \text{ g/m}^2} = 1,01$. Istom snagom korone, ali većim nanosom prajmera ostvarit će se prosječna kolorna promjena plave ($\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 0,99$). Okom vidljive promjene ($\Delta E > 1$) nastaju na 10 % i 40 % RTV-a.

Iz Lab dijagrama vidljiva je linearna zavisnost krivulja reprodukcija ljubičastoplavih tonova koja je oblikom najstrmija kod otiska bez nanosa prajmera. Takvi otisci će varijacijom snage korone ostvariti izraženije promjene samo u višim tonskim vrijednostima. Nanašanjem prajmera u količini od 0,5 g/m² ostvarene su najveće devijacije krivulja reprodukcije koje se vrijednošću ističu u području od 40 % do 100 % RTV-a. Takve promjene izraženije su u kromatičnosti pri čemu je zamijećen pomak samo u smjeru koordinate a* (crvena).

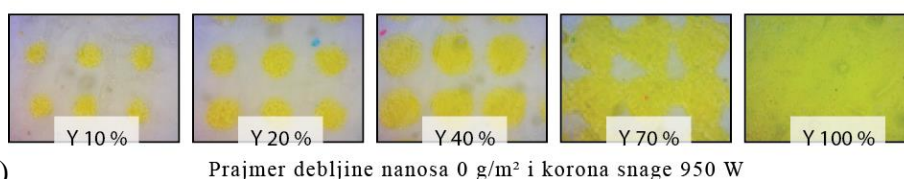
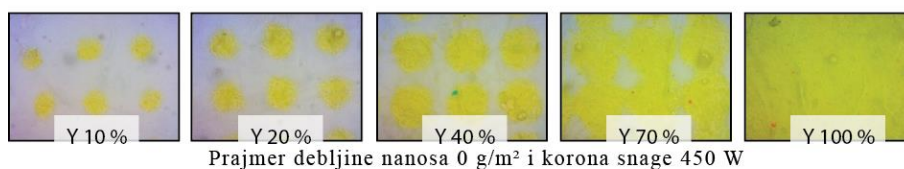
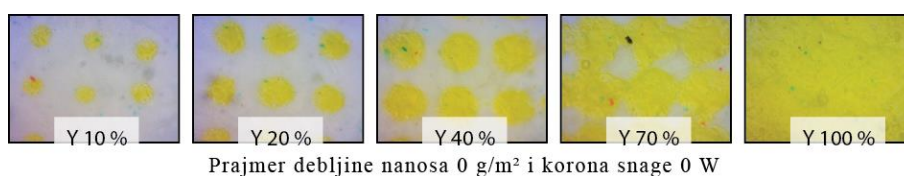
Da bi se ΔE ostvarene promjene akromatskih tonova vizualno predočile, eksperimentalni otisci su digitalizirani i povećani 60 puta (slika 60).



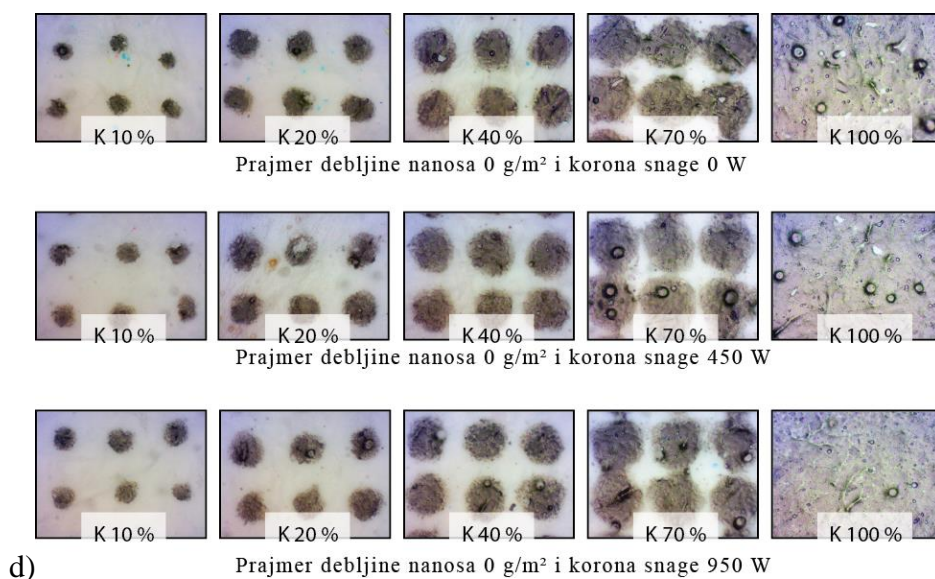
a)



b)



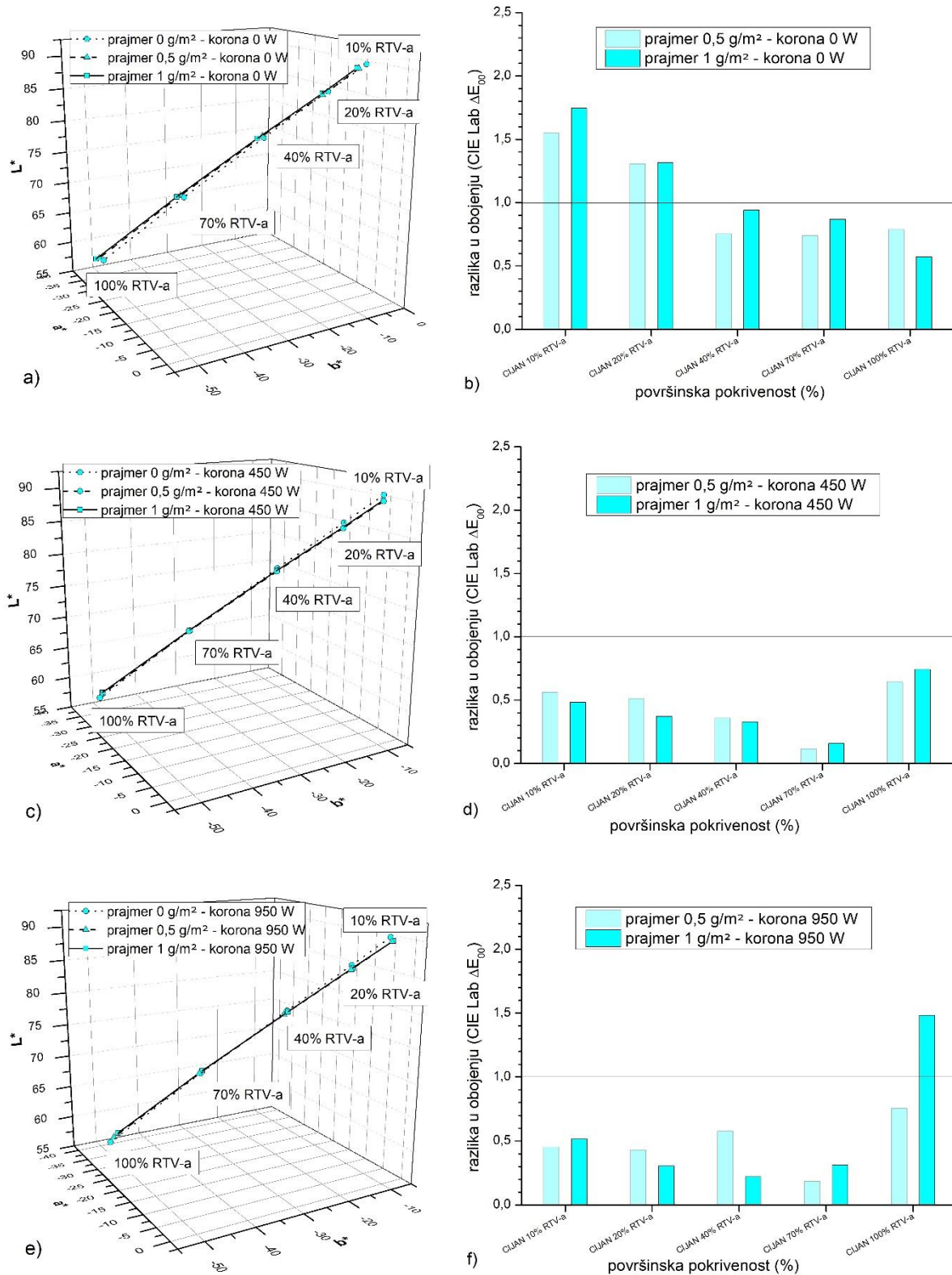
c)



Slika 60. Uvećani HP Indigo otisci bez prajmera uz napone korone (0 W, 450 W i 950 W): a) cijan, b) magenta, c) žuta, d) crna

4.4. Rezultati utjecaja varijacijom nanosa prajmera

Pri tisku na zahtjevne tiskovne podloge (koje su karakteristične po maloj površinskoj upojnosti) potrebno je izvršiti oplemenjivanje tekućinama kojima se regulira površinska napetost. Time se ostvaruje bolje vezivanje ElectroInk bojila, ali i optička svojstva tiskovne podloge. Na slikama 61., 62., 63. i 64. prikazane su kolorne promjene za procesne boje (cijan, magenta, žuta i crna).



Slika 61. Kolorne promjene cijan otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:
 a) L^*a^*b 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L^*a^*b sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) L^*a^*b sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

Krivulje reprodukcije nastale nanosom različite količine prajmera u potpunosti drugačije ostvaruju kolorne promjene (ΔE) što vrijedi za sve ispitane eksperimentalne uzorke (trend kolornih promjena nije identičan kao kod hipoteze 1). To znači da će se vidljive kolorne promjene ostvariti prajmiranjem tiskovne podloge (papira) bez primjene korona tretmana (korona = 0 W). Kod cijan eksperimentalnih otisaka zadržana je linearnost krivulje reprodukcije koja s promjenom nanosa tekućine za regulaciju površinske napetosti minimalno varira. Aktivacijom korone i upotrebom jedinice za nanos prajmera ostvarit će se značajnije kolorne promjene samo u punom tonu.

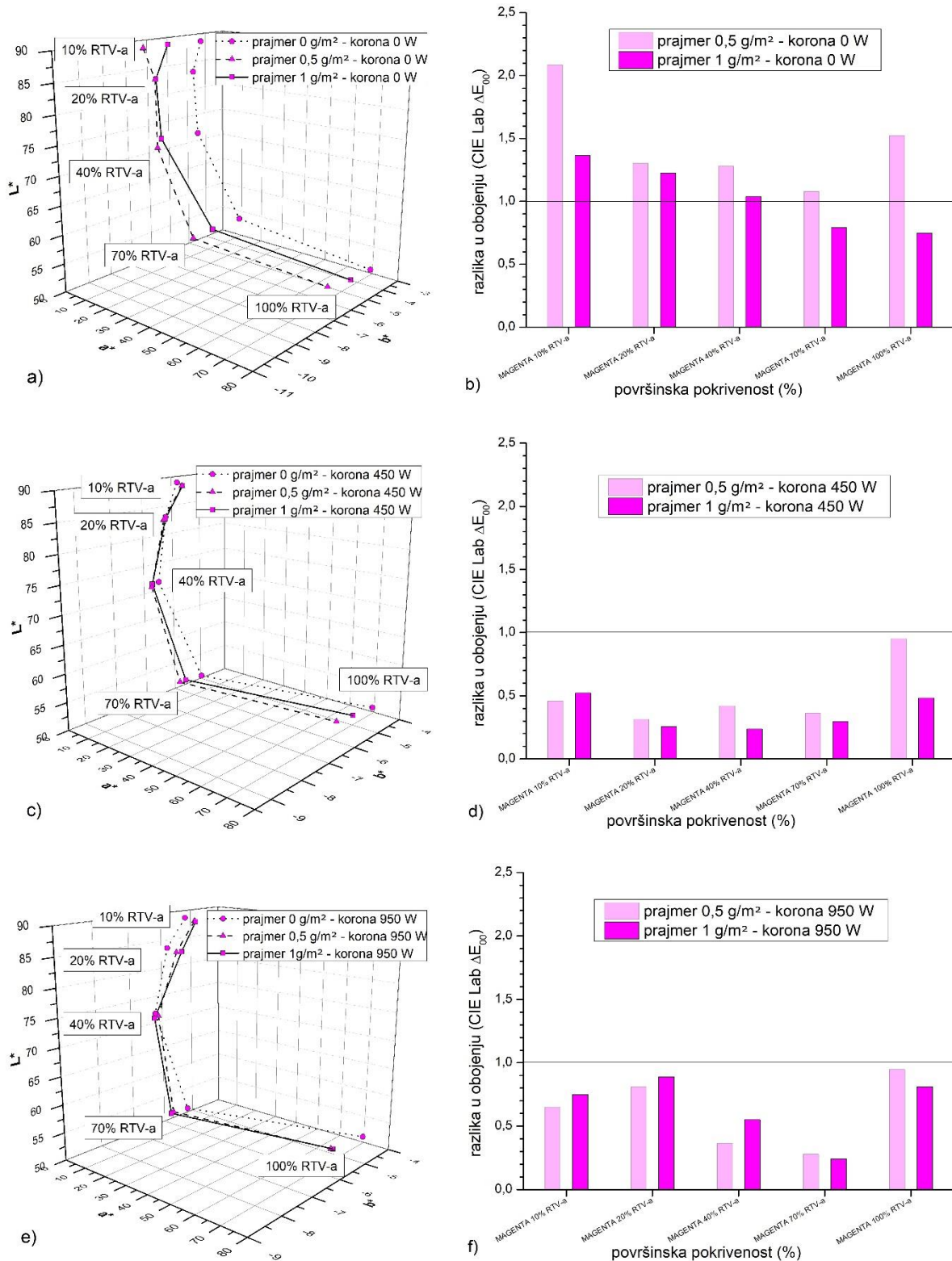
Na netretiranom papiru bez aktivacije napona korone tako će se veće kolorne promjene ostvariti nanosom prajmera od 1 g/m^2 ($\Delta E_{\text{SR}_0\text{W}} = 1,09$). Pri tom će najmanja analizirana površinska pokrivenost ostvariti veću kolornu promjenu od punog tona ($\Delta E_{\text{C}10\%_0\text{W}} = 1,75$; $\Delta E_{\text{C}100\%_0\text{W}} = 0,57$). Otisci s manjom količinom prajmera ($0,5 \text{ g/m}^2$) ostvaruju manje kolorne promjene $\Delta E_{\text{SR}_0\text{W}} = 1,03$. One su također izražene u svjetlijim područjima ($\Delta E_{\text{C}10\%_0\text{W}} = 1,55$), da bi se s povećanjem površinske pokrivenosti devijacije tonova ustabilile ($\Delta E_{\text{C}100\%_70\%_40\%_0\text{W}} = 0,76$).

Aktivacijom korone (450 W) neće se ostvariti vidljive kolorne promjene ($\Delta E < 1$). Pri tom će prajmer od $0,5 \text{ g/m}^2$ dati neznatno veću kolornu promjenu od otisaka prajmerom 1 g/m^2 ($\Delta E_{\text{SR}_0,5\text{g/m}^2} = 0,44$; $\Delta E_{\text{SR}_1\text{g/m}^2} = 0,42$). Najmanjom vrijednošću ističe se područje 70 % RTV-a ($\Delta E_{\text{C}70\%_450\text{W}} = 0,12$; $\Delta E_{\text{C}70\%_950\text{W}} = 0,16$), a najvećom puni ton ($\Delta E_{\text{C}100\%_450\text{W}} = 0,64$; $\Delta E_{\text{C}100\%_950\text{W}} = 0,74$).

Primjenom veće snage korone rezultati cijan kolornih promjena neće se dogoditi. Djelovanje korone snage od 950 W na površinu oplemenjenu prajmerom od $0,5 \text{ g/m}^2$, rezultirat će prosječnom kolornom promjenom od $\Delta E_{\text{SR}_0,5\text{g/m}^2} = 0,48$. U scenariju u kojemu je površina oplemenjena prajmerom od 1 g/m^2 , prosječna promjena cijan tona iznosi $\Delta E_{\text{SR}_1\text{g/m}^2} = 0,57$. Maksimalno odstupanje ostvarit će uzorci punim tonom. Okom vidljivo odstupanje ostvarit će se nanosom maksimalne količine prajmera i koronom od 950 W ($\Delta E_{\text{C}100\%_950\text{W}} = 1,48$), što ne vrijedi i za otisak koronom od 450 W ($\Delta E_{\text{C}100\%_450\text{W}} = 0,76$).

Nanosom prajmera od 1 g/m^2 ostvarena je devijacija cijan tona koje su izražene više po kromatičnosti (a^* i b^* koordinata), a manje po svjetlini (L^*). Smanjenjem količine prajmera cijan otisci postaju nestabilniji što znači da su u svijetlim područjima promjene izraženije po kromatičnosti, a u višim tonovima (od 40 % do 100 % RTV-a) po svjetlini.

Da bi se ostvario najzasićeniji cijan otisak (kolorno najkvalitetniji), potrebno je nanijeti prajmer u količini od 1 g/m^2 uz snagu korone od 0 W.



Slika 62. Kolorne promjene magenta otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:

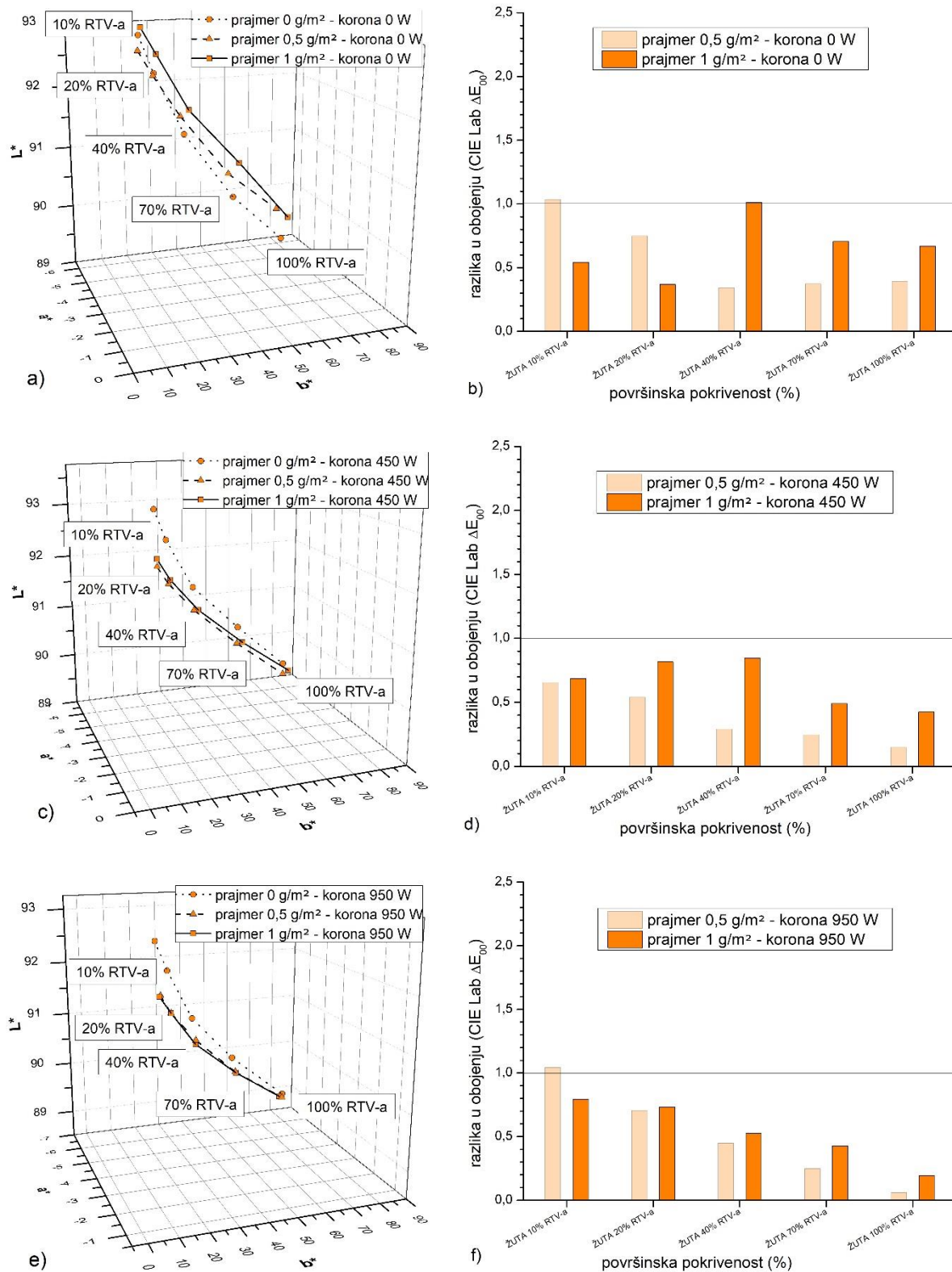
- a) L^*a^*b 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L^*a^*b sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) L^*a^*b sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

Otiskivanjem magenta ElectroInk bojiлом ostvaruju se izraženije kolorne promjene u slučaju prethodno izvršenog prajmiranja. Bez aktivacije korone i nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ na svim mjernim poljima ostvaruju se okom vidljive kolorne razlike ($\Delta E_{SR_0W} = 1,45$). Tako se s vrijednostima ističu dva područja: 10 % RTV-a ($\Delta E_{M10\%_0W} = 2,09$) i 70 % RTV-a ($\Delta E_{M10\%_0W} = 1,08$). Dodatnim povećanjem prajmera otisak se postaje stabilniji i ostvaruje prosječnu kolornu promjenu od $\Delta E_{SR_0W} = 1,03$. Na takvim otiscima veća površinska pokrivenost ostvaruje manju kolornu promjenu ($\Delta E_{M100\%_M70\%_0W} = 0,76$), a najmanja najveću ($\Delta E_{M10\%_0W} = 1,36$).

Djelovanjem snage korone (450 W) ne dolazi do vidljivih kolornih promjena i vrijednosti su $\Delta E < 0,5$. Jedina je iznimka puni ton prethodno prajmiran nanosom od $0,5 \text{ g/m}^2$ pri čemu kolorna promjena iznosi $\Delta E_{M100\%_450W} = 0,95$. To znači da aktivacija korone snage 450 W i nanosa prajmera neće utjecati na značajnije magentne kolorne promjene.

Aktivacijom najveće testirane snage korone (950 W) imat će zamijećenu kolornu promjenu. Ona će biti najizraženija u područjima 10 %, 20 % i 100 % RTV-a (svijetli dijelovi magentne slike neće se mijenjati). Većim nanosom prajmera (1 g/m^2) tako se više razlikuju niže rastertonske vrijednosti $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,73$, dok će tamniji tonovi biti izraženiji nanosom manjeg prajmera ($\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,53$). Izračunom kolorne promjene ΔE i aktivacijom snage korone od 950 W ostvaruju se oscilacije u rasponu od $\Delta E_{M70\%_950W} = 0,24$.

Nanašanjem tekućine za oplemenjivanje tiskovne podloge, magenta eksperimentalni otisci zadržat će specifičnu krivulju reprodukcije koja se do 70 % RTV-a mijenja po svjetlini nakon čega naglo skreće prema koordinati (a^*). Međutim, prajmiranje bez prethodno aktivirane korone ostvaruje najveće kolorne promjene koje su izražene po osima kromatičnosti. Djelovanje korone značajno utječe na proces prajmiranja i kasnijeg otiskivanja magentnog ElectroInka. Najbolja reprodukcija punog tona ostvarit će se u scenarijima: a) bez korone i nanosom prajmera i iznosu od 1 g/m^2 , b) bez prajmera i aktivacijom korone od 450 W. Povećanjem nanosa prajmera magenta otisci postaju bolji te ostvaruju maksimalnu kolornu zasićenost primjenom snage korone od 450 W.



Slika 63. Kolorne promjene žutih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:

- a) L^*a^*b 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L^*a^*b sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) L^*a^*b sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

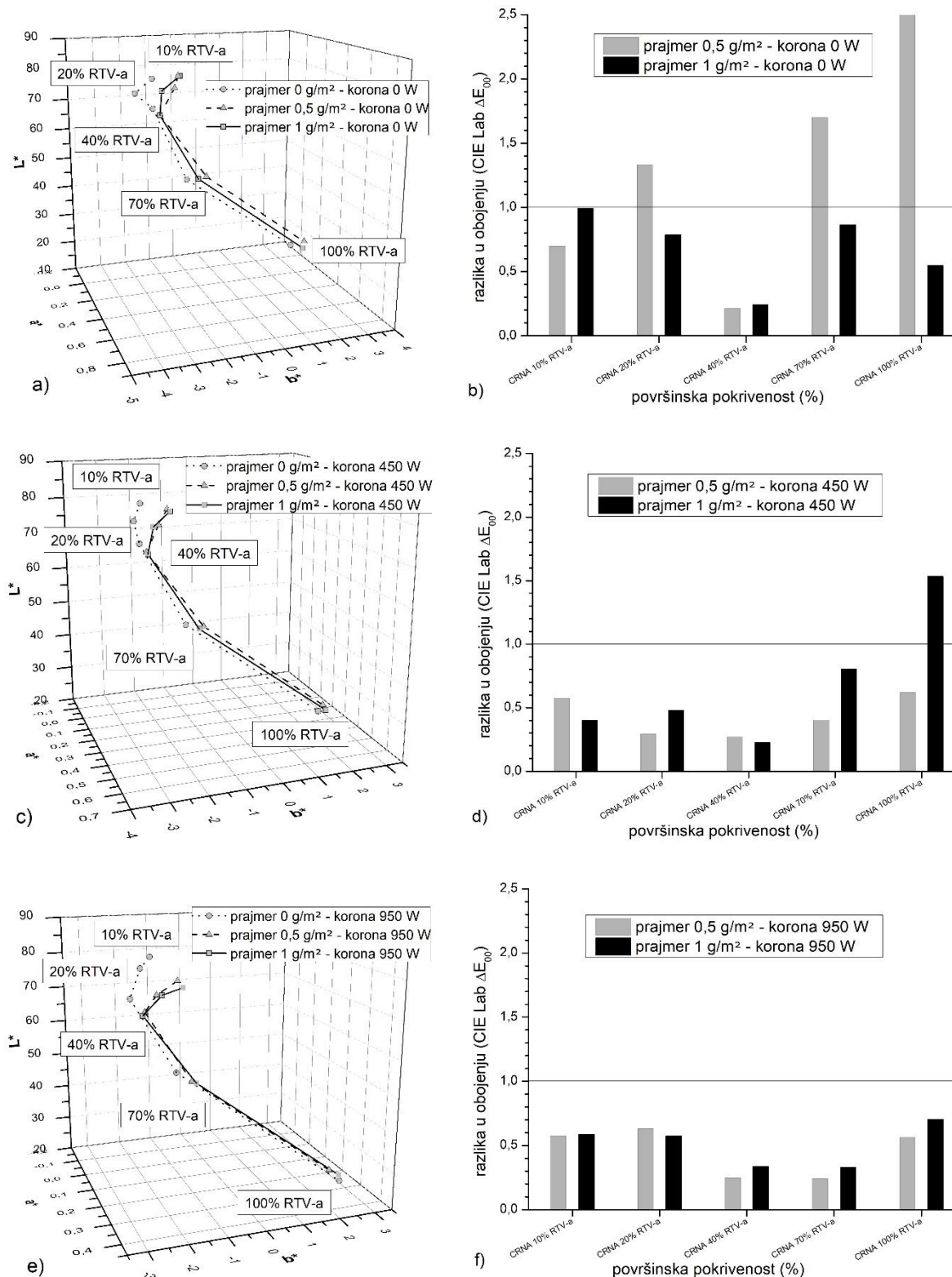
Od svih analiziranih kolornih separacija žutih tonova, postupkom prajmiranja, pokazala je najmanje kolorno odstupanje i maksimalnu ujednačenost tonova unutar krivulje reprodukcije. Takvi otisci bez obzira na primijenjenu snagu korone neće ostvariti veće kolorne promjene od $\Delta E > 1$.

Eksperimentalnim nanosom prajmera u iznosu od $0,5 \text{ g/m}^2$ i bez primjene korone ostvarit će se prosječna kolorna promjena $\Delta E_{SR_0W} = 0,58$. Većim nanosom prajmera (1 g/m^2) dolazi do blagog porasta prosječnih žutih kolornih devijacija koje iznose $\Delta E_{SR_0W} = 0,66$. U dobivenim rezultatima karakterističan je trend ostvarenih tonskih promjena gdje će manja količina prajmera ostvariti veća odstupanja u svjetlijim dijelovima slike, dok će veća količina prajmera ostvariti veća odstupanja u tamnijim dijelovima slike.

Odabirom snage korone od 450 W imat će za posljedicu veće kolorne promjene kod otisaka prajmiranih nanosom od 1 g/m^2 ($\Delta E_{SR_450W} = 0,65$). To je gotovo dvostruko veće odstupanje u odnosu na žute otiske prajmirane nanosom od $0,5 \text{ g/m}^2$ ($\Delta E_{SR_450W} = 0,38$).

Dodatnim povećanjem snage korone (950 W) imat će za posljedicu linearno smanjenje razlike u obojenju ΔE povećanjem pokrivenosti otisnute tiskovne podloge. To je više izraženije pri nanosu prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$. Tako će maksimum iznositi $\Delta E_{Y10\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,04$, a minimum $\Delta E_{Y100\%_0,5\text{g/m}^2} = 0,06$. Nanosom prajmera u iznosu od 1 g/m^2 ne dolazi do značajnije promjene u trendu žutog odstupanja gdje za oba prajmera srednja vrijednost iznosi $\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 0,50$ odnosno $\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 0,53$.

Samo prajmirani žuti otisci (krivulja Lab bez aktivirane korone) ostvaruju karakterističnu promjenu koja se očituje u rapidnom rastu kromatičnosti u području viših tonskih vrijednosti. Pri tom je najizraženija varijabla (+b*). Tako će se najbolji otisak realizirati nanosom od 1 g/m^2 . Dodatnom aktivacijom korone otisci će se ujednačiti te snaga korone od 950 W u potpunosti kompenzira nanos prajmera. Takvi otisci će imati manju svjetlinu i povećanu kromatičnost u odnosu na otiske bez korone. Kolorno najkvalitetniji žuti otisak tako nastaje prajmiranjem u iznosu od 1 g/m^2 i neaktivacijom korone. Razlog tomu je kemijski sastav prajmera koji nije bezbojan, nego je lagane žute boje. To je ujedno i razlog kretanja takvih rezultata.



Slika 64. Kolorne promjene crnih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:
 a) L^*a^*b 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L^*a^*b sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) L^*a^*b sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

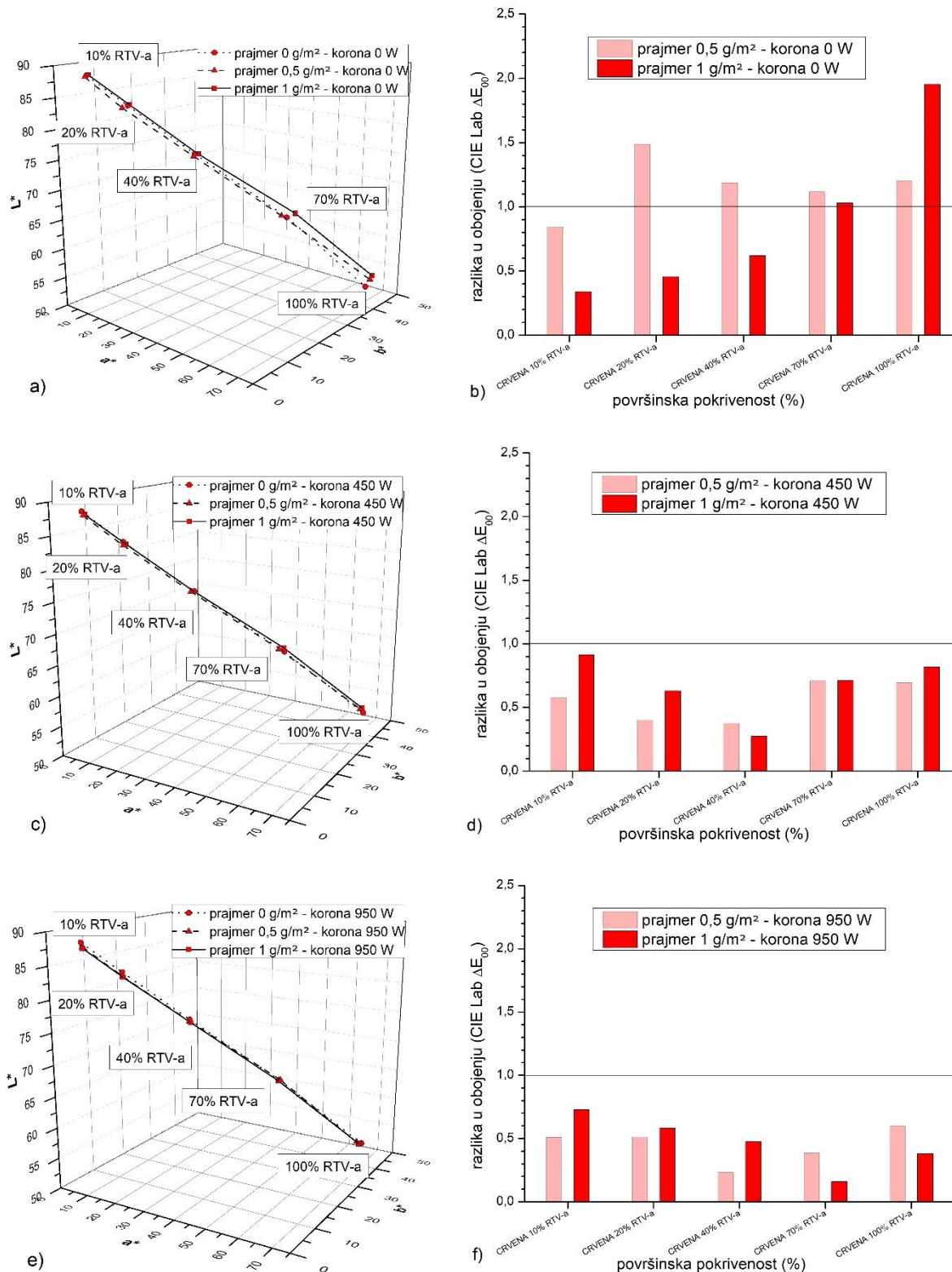
U odnosu na crne otiske nastale varijacijom snage korone (hipoteza 1), crni otisci oplemenjeni prajmerom ostvarit će veća odstupanja samo u slučaju bez aktivacije korone (0 W). Takvi otisci će imati veću devijaciju u područjima 20 %, 70 % i punog tona primjenom nanosa prajmera od 0,5 g/m² ($\Delta E_{K20\%_0,5g/m^2} = 1,33$; $\Delta E_{K70\%_0,5g/m^2} = 1,70$; $\Delta E_{K100\%_0,5g/m^2} = 2,55$). To je ujedno i najveća oscilacija punog tona u cijelom eksperimentu. Promatrajući sva analizirana područja srednja devijacija $\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 1,30$. Veća količina prajmera (1 g/m²) ostvaruje okom nevidljive kolorne promjene koje iznose $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,69$. Jedina iznimka u kretanju rezultata zamijećena je u području od 40 % RTV-a. Bez obzira na količinu prajmera ostvaruje se minorna kolorna promjena od $\Delta E_{K40\%} = 0,22$.

Primjenom napona korone od 450 W ostvarit će se neujednačene devijacije analiziranih tonova. Tako će svijetla tonska područja bez obzira na nanos prajmera ostati nepromijenjena ($\Delta E_{K10\%-40\%_0,5g/m^2} = 0,38$; $\Delta E_{K10\%-40\%_1g/m^2} = 0,37$). Značajnije kolorne promjene bit će samo izražene u višim tonskim područjima uz nanos prajmera od 1 g/m² ($\Delta E_{K70\%_1g/m^2} = 0,80$; $\Delta E_{K100\%_1g/m^2} = 1,53$). Za ista tonska područja primjenom manje količine prajmera ostvarit će se jedva primjetna kolorna promjena ($\Delta E_{K70\%_0,5g/m^2} = 0,40$; $\Delta E_{K100\%_0,5g/m^2} = 0,62$).

Najujednačeniji crni otisci ostvarit će se primjenom snage korone od 950 W. Tako će se nanosom prajmera od 0,5 g/m² ostvariti prosječna devijacija tonova od $\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 0,45$, dok će se većim nanosom prajmera (1 g/m²) ostvariti devijacija od $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,51$. Od reproduciranih tonova svojom minimalnom vrijednošću ističu se područja od 40 % i 70 % RTV-a. Ovdje su ostvarene varijacije ($\Delta E_{K40\%-70\%_0,5g/m^2} = 0,29$; $\Delta E_{K40\%-70\%_1g/m^2} = 0,29$).

Iz crnih Lab krivulja reprodukcije zamijećeno je da se nanosom prajmera ostvaruju veće promjene po osi kromatičnosti, dok na tamnijim akromatskim područjima promjene nastaju po osi svjetline. Takvo kretanje rezultata uvjetovano je porastom žutosti prajmiranog otiska. Na temelju dobivenih crnih koordinata najmanja vrijednost (najbliža akromatskoj osi) ostvarena je bez nanašanja prajmera i bez aktivacije snage korone, što predstavlja i najbolji crni otisak.

Otisci realizirani 200-postotnim nanosom boje zadržali su karakterističan oblik Lab krivulja reprodukcije. Na slikama 65., 66. i 67. prikazane su devijacije reprodukcija sekundarnih boja (crvena, zelena i ljubičasto plava) uz varijaciju nanosa prajmera.



Slika 65. Kolorne promjene crvenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:

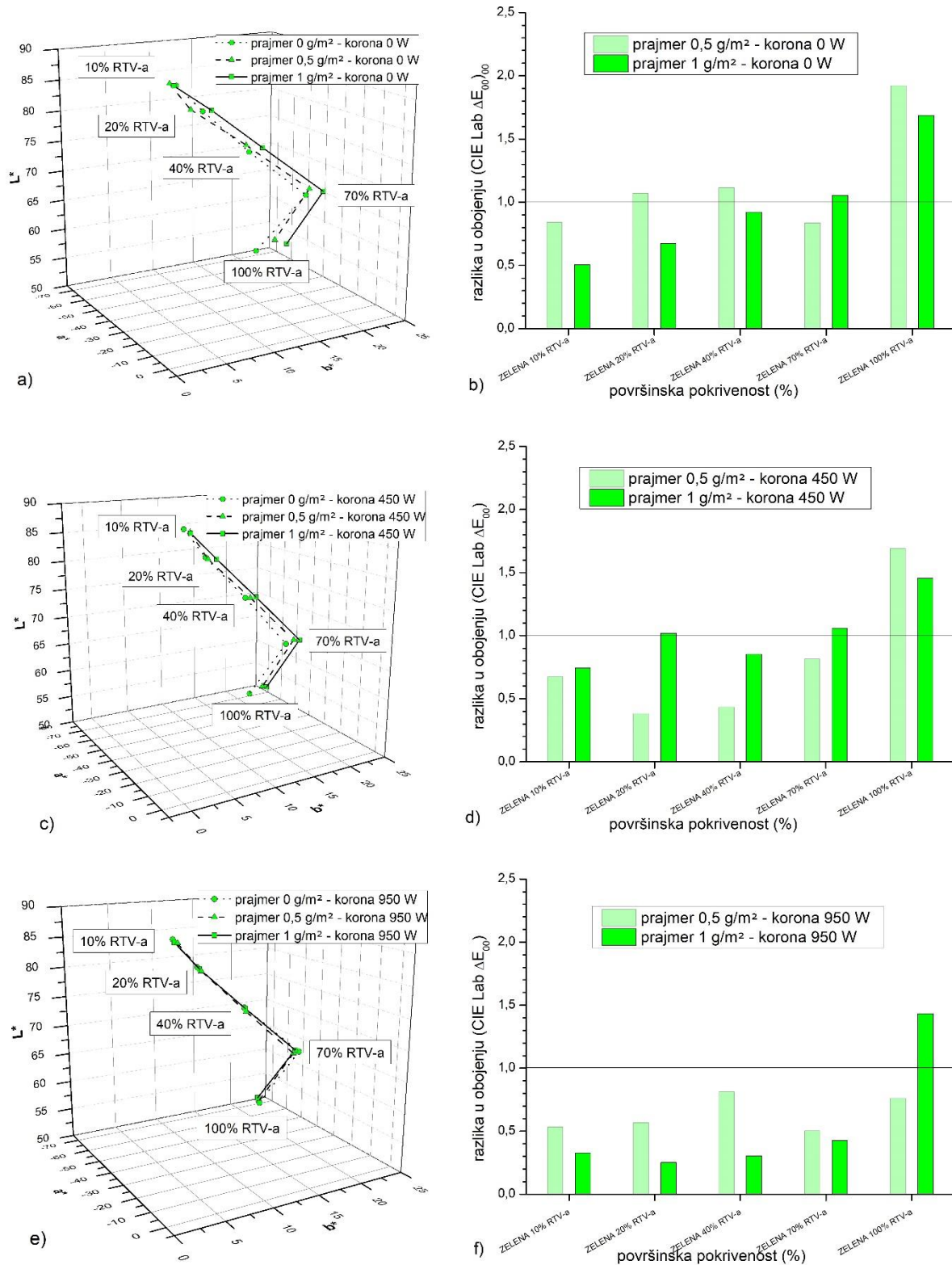
- a) L*a*b* 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L*a*b* sa 450 W korone, d) ΔE sa 450 W korone, e) L*a*b* sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

Na crvenim otiscima bez aktiviranja korone i nanašanjem različitih količina prajmera ostvarit će se veća kolorna odstupanja. Tako će nanos prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ imati za posljedicu prosječnu devijaciju tona od $\Delta E_{SR_0W} = 1,17$, dok će nanosom prajmera od 1 g/m^2 ostvariti odstupanje od $\Delta E_{SR_0W} = 0,88$. Manjim nanosom prajmera ostvarit će se najveća i najmanja kolorna promjena u svijetlim tonskim područjima ($\Delta E_{R20\%_0,5g/m^2} = 1,49$; $\Delta E_{R10\%_0,5g/m^2} = 0,80$). Obilniji nanos prajmera (1 g/m^2) ostvaruje logaritamsko povećanje razlike obojenja (ΔE) koje iznosi $\Delta E_{R10\%_1g/m^2} = 0,34$; $\Delta E_{R100\%_1g/m^2} = 1,95$.

Primjenom snage korone od 450 W i nanosom dvije eksperimentalne količine prajmera neće se ostvariti vidljive kolorne razlike $\Delta E < 1$. Ipak većim nanosom prajmera (1 g/m^2) ostvarit će se nešto veća promjena crvenih tonova $\Delta E_{SR_450W} = 0,67$ u odnosu na manji nanos ($\Delta E_{SR_450W} = 0,55$). Svojom najnižom vrijednošću ponovo ističe se područje od 40% RTV-a gdje crveni otisci ostvaruju kolornu promjenu ($\Delta E_{R40\%_0,5g/m^2} = 0,37$; $\Delta E_{R40\%_1g/m^2} = 0,27$).

Aktivacijom najveće snage korone (950 W) neće se zabilježiti značajnije kolorne promjene ($\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 0,45$; $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,47$). Iako su te razlike gotovo identične, veća količina prajmera ostvarit će veću kolornu promjenu u svjetlijim tonskim područjima (od 10% do 40% RTV-a), a manja količina dovest će do veće kolorne promjene u tamnijim tonskim područjima (od 70% do 100% RTV-a).

Iz 3D prikaza vidljivo je da promjenom snage korone i nanosa prajmera krivulje reprodukcije zadržavaju svoju linearnost. Veće odstupanje zabilježeno je u slučaju neprimjene snage korone. Pri manjem nanosu prajmera glavnina oscilacija definira se po strukturi, dok će se kod najveće količine prajmera promjena u svjetlini ostvariti samo kod punog tona. Povećanjem nanosa prajmera crveni otisci tako postaju sve lošiji, čime ostvarena kolorna reprodukcija postaje nešto lošija. Standardne se crvene otiske (bez korone) ne preporučuje prajmirati jer se ne ostvaruju poboljšanja vidljiva u kvaliteti reprodukcije crvenog tona.



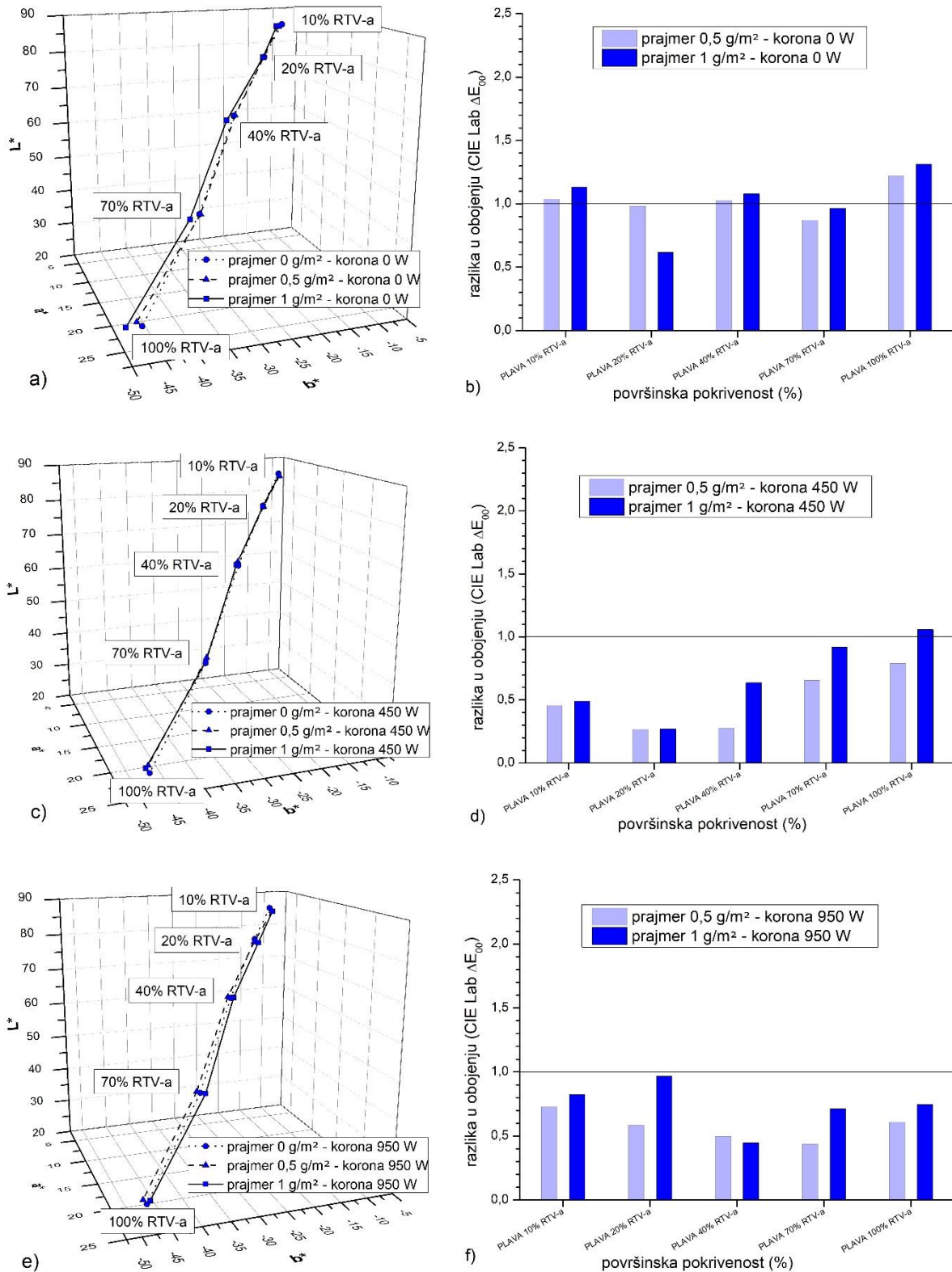
Slika 66. Kolorne promjene zelenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:
 a) $L^*a^*b^*$ 0 W korone, b) ΔE 0 W korone; c) $L^*a^*b^*$ sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) $L^*a^*b^*$ sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

Zeleni otisci nastali nanosom različite količine prajmera pokazuju vrlo slične rezultate kao i crveni. To znači da se nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ i snagom korone od 0 W ostvaruje prosječna kolorna promjena $\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 1,16$. Rastrirana područja otisnuta su vrlo ujednačeno, dok puni ton ostvaruje maksimalnu kolornu promjenu $\Delta E_{G100\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,92$. Većim nanosom prajmera ostvarit će se manje kolorne promjene $\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 0,97$. Pri tom se uočava trend kontinuiranog rasta zelenog kolornog tona počevši od 10% RTV-a ($\Delta E_{G10\%_1\text{g/m}^2} = 0,51$) do punog tona ($\Delta E_{G100\%_1\text{g/m}^2} = 1,69$).

Aktivacijom snage korone od 450 W doći će do neznatnih razlika u zelenom obojenju. Pri tom će nanos prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ ostvariti prosječnu kolornu promjenu od $\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 0,80$, dok će nanos od 1 g/m^2 dovesti do prosječne kolorne promjene od $\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 1,03$. To znači da će set s većom količinom prajmera ostvariti veće devijacije zelenog tona, što nije slučaj za puni ton. Maksimalne vrijednosti punog tona dijametralno su suprotne te se manjom količinom prajmera ostvaruje veća kolorna promjena ($\Delta E_{G100\%_0,5\text{g/m}^2} = 1,69$; $\Delta E_{G100\%_1\text{g/m}^2} = 1,46$).

Primjenom maksimalne snage korone od 950 W , ostvaruje se najmanja kolorna promjena te samim time i najstabilniji otisak. Nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ ostvaruje se prosječna kolorna promjena od $\Delta E_{SR_0,5\text{g/m}^2} = 0,64$, dok nanosom od 1 g/m^2 ta promjena iznosi $\Delta E_{SR_1\text{g/m}^2} = 0,55$. Razlika između takvih otisaka očituje se samo u trendu kretanja rezultata, pri čemu samo otisci većim prajmerom imaju malu devijaciju u rastriranim površinama ($\Delta E_{G10\%-70\%_1\text{g/m}^2} = 0,33$) i veliko odstupanje u punom tonu ($\Delta E_{G100\%_1\text{g/m}^2} = 1,43$).

Nanosom eksperimentalnih količina prajmera Lab krivulje reprodukcije zelene zadržale su karakterističan oblik. To znači da linearnost kretanja rezultata vrijedi za rastrirana područja nakon čega dolazi do naglog skretanja po žutoj (b^*) osi. Nanosom manje količine prajmera, nastale kolorne promjene izraženije su po svjetlini (od 40% do 100% RTV-a). Nanosom veće količine prajmera devijacija se u potpunosti mijenja i događa se samo u kromatičnosti. Najviše Lab vrijednosti zelenih tonova tako nastaju tiskom bez aktivacije korone i nanosom prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$.



Slika 67. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera:
 a) L^*a^*b 0 W korone, b) ΔE 0 W korone, c) L^*a^*b sa 450 W korone,
 d) ΔE sa 450 W korone, e) L^*a^*b sa 950 W korone, f) ΔE sa 950 W korone

Plavi prajmiorani otisci nastali bez aktiviranja snage korone ostvaruju zanemarive kolorne promjene ($\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 1,03$; $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 1,02$). Jedina zamijećena devijacija je u području 20 % RTV-a gdje manja količina prajmera daje veću kolornu promjenu ($\Delta E_{B20\%_0,5-1g/m^2} = 0,36$).

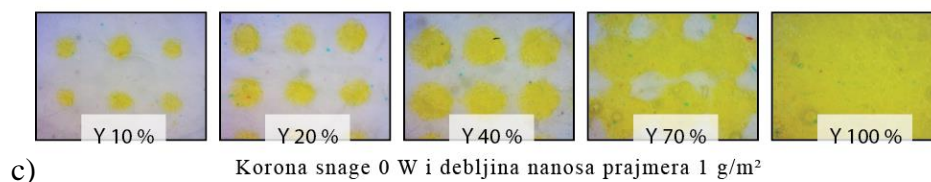
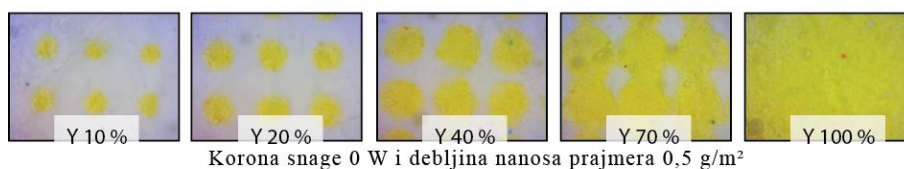
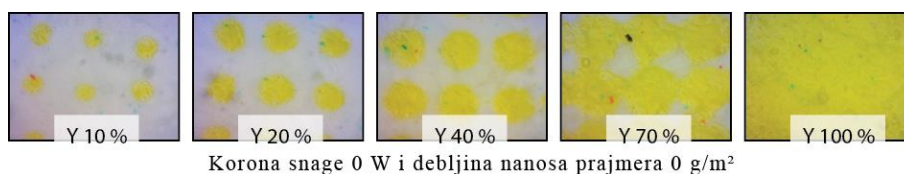
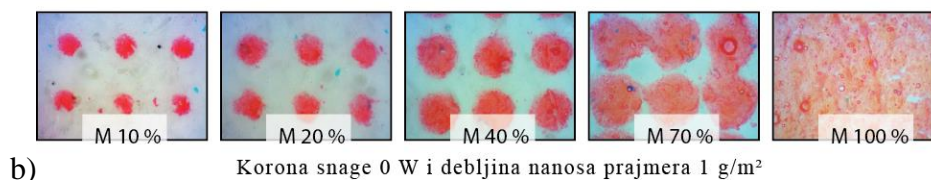
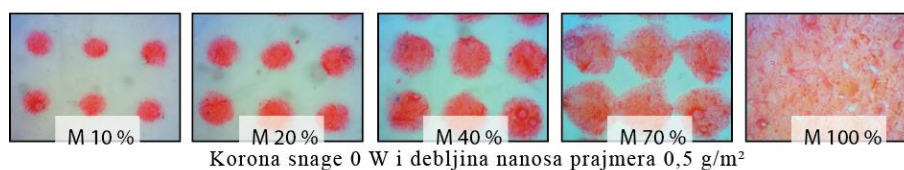
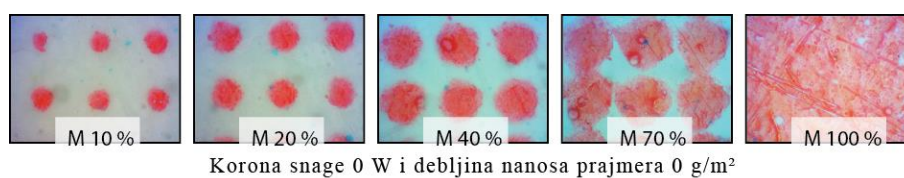
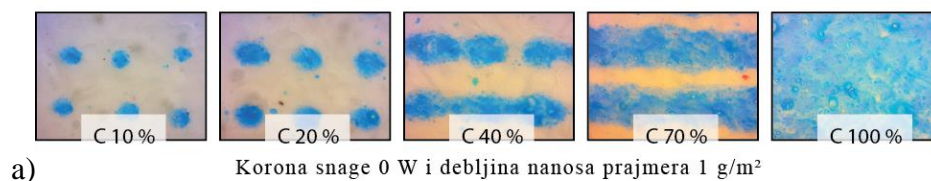
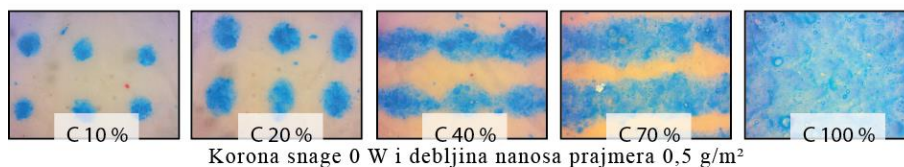
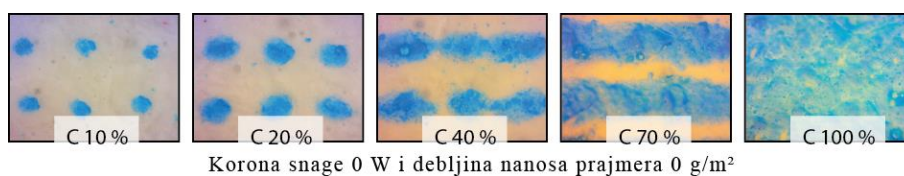
Primjenom snage korone od 450 W i nanosom dvije eksperimentalne količine prajmera ostvarit će se manje odstupanje u kretanju rezultata ($\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 0,49$; $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,67$).

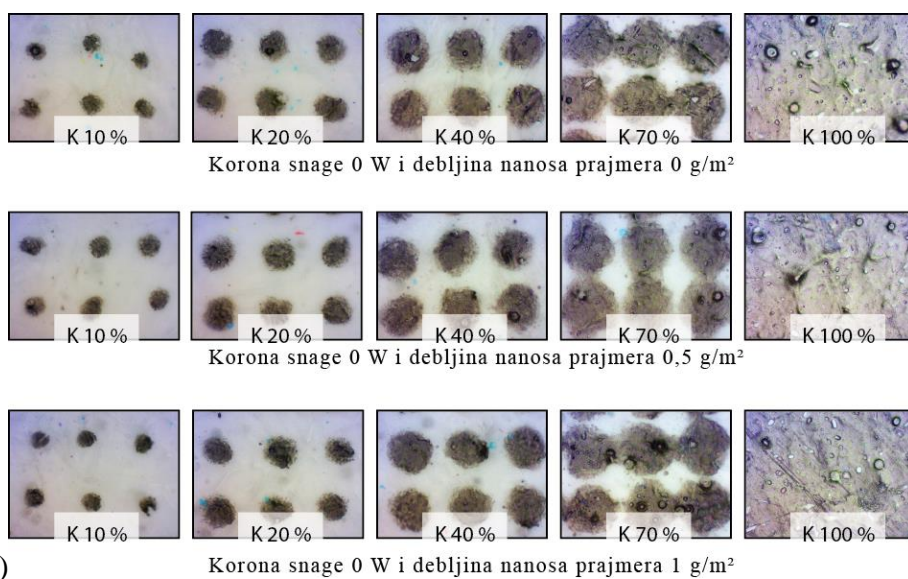
Tako će 1 g/m² nanosa prajmera rezultirati većom devijacijom plavih tonova koja je najizraženija u punom tonu ($\Delta E_{B100\%_1g/m^2} = 1,06$), dok je potpuno neznatna samo u području od 20 % RTV-a ($\Delta E_{B20\%_1g/m^2} = 0,27$).

Kao i kod prethodnih spotnih boja, aktivacija najveće snage korone (950 W) neće dati značajnije kolorne promjene ($\Delta E_{SR_0,5g/m^2} = 0,57$; $\Delta E_{SR_1g/m^2} = 0,74$). Veća količina prajmera ostvaruje i veće kolorne promjene plavog tona. U odnosu na otisak manjom snagom korone razlike su zamijećene u svijetlim dijelovima slike (10 % do 20 % RTV-a). Tako će se većim nanosom prajmera ostvariti najveća kolorna razlika od ($\Delta E_{B10\%_1g/m^2} = 0,83$; $\Delta E_{B20\%_1g/m^2} = 0,97$).

Iz 3D prikaza vidljivo je da će plava promjenom snage korone i nanosa prajmera krivulje reprodukcije zadržati svoju tendenciju linearnosti. Takvi otisci će varijacijom nanosa prajmera ostvariti izraženije promjene samo u višim tonskim vrijednostima. Nanašanjem prajmera u količini od 1 g/m² uz snagu korone od 0 W, kolorne promjene nastaju po kromatičnosti. Aktivacijom korona jedinice nastat će gore navedene kolorne promjene koje su zabilježene samo u devijaciji svjetline. Najzasićeniji plavi otisak ostvaruje se uz nanos prajmera od 1 g/m² te uz primjenu snage korone od 0 W.

Da bi se ΔE ostvarene promjene akromatskih tonova vizualno predočile, eksperimentalni otisci su digitalizirani i povećani 60 puta (slika 68).



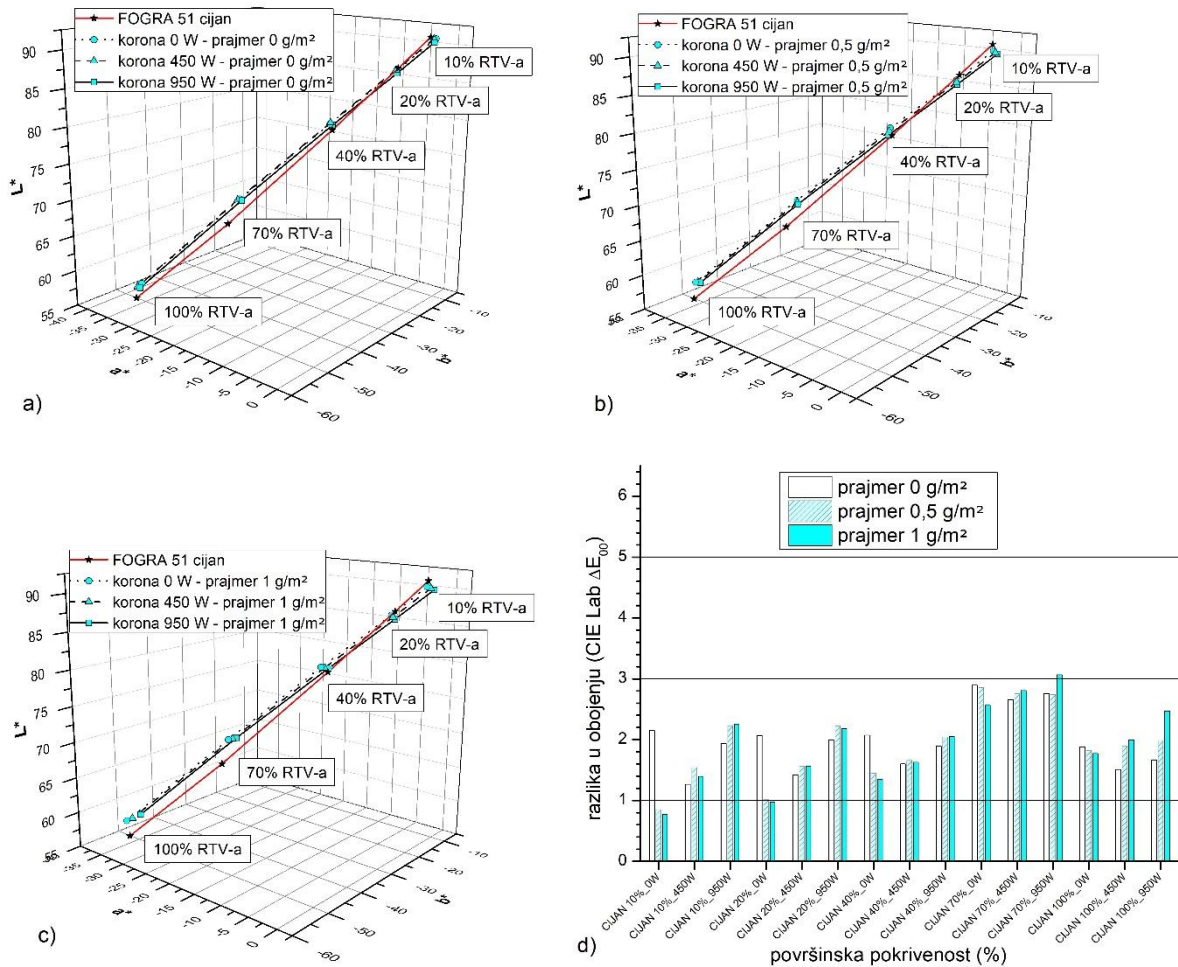


Slika 68. Uvećani HP Indigo otisci bez snage korone uz varijaciju nanosa prajmera (0 g/m², 0,5 g/m² i 1 g/m²): a) cijan, b) magenta, c) žuta, d) crna

4.5. Rezultati kolornih promjena eksperimentalnih otisaka u odnosu na standard

U cilju postizanja ujednačenosti kolornih reprodukcija donesen je standard ISO 12647 koji prepoznaje različite tehnike otiskivanja. U pod verziji 8 definirane su referentne vrijednosti za digitalne tehnike ispisa. Detaljni opis ostvarivanja željenih kolornih vrijednosti specificirani su FOGRA PSD-om koji za papire za umjetnički tisak propisuje vrijednosti FOGRA 51. Da bi se izmjerene kolorne vrijednosti vizualno opisale, CIELab ΔE vrijednosti komparirane su s vrijednostima iz tablice vizualne percepcije. Tako će kolorna promjena $\Delta E < 1$ predstavljati vizualno nevidljive kolorne promjene, ΔE 1 do 3 kolorno područje unutar standarda, ΔE 3 do 5 područje dozvoljene kolorne devijacije i $\Delta E > 5$ nedozvoljeno polje devijacije [2].

Na slikama 69., 70., 71., 72., 73., 74. i 75. prikazane su kolorne promjene za procesne boje (cijan, magenta, žuta i crna) i sekundarne boje (crvena, zelena i plava) u odnosu na tiskarski standard FOGRA 51.

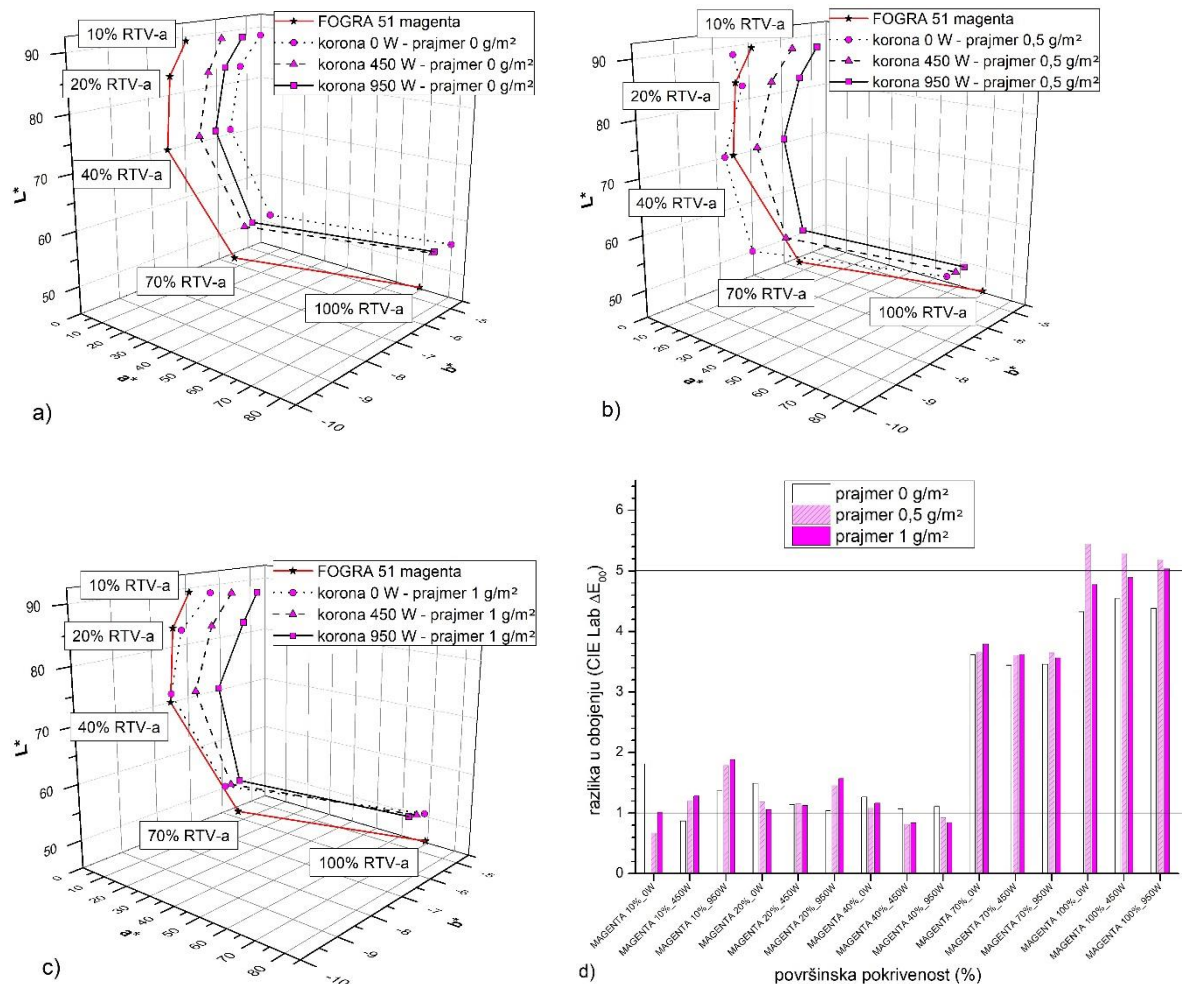


Slika 69. Kolorne promjene cijan otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja

Kao i u slučajevima hipoteza 1 i 2, zadržana je tendencija linearne Lab krivulje reprodukcije, što prati standardu definiranu krivulju po FOGRA-i 51. Odstupanja su jedva vidljiva ljudskim okom i vrijednostima ulaze u područje dozvoljene tolerancije (ΔE 1 do 3). Maksimalnim vrijednostima kolornih promjena ističu se rastrirane površine pokrivenosti od 70 % (3/4 polja u krivulji reprodukcije). Kolornom vrijednošću ističe se uzorak $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 3,07$. Minimalnu kolornu oscilaciju u odnosu na FOGRA standard ima područje od 10 % RTV-a ($\Delta E_{0W_1g/m^2} = 0,77$).

U odnosu na propisani standard, eksperimentalni otisci će tako varijacijom snage korone ostvariti najveće prosječne kolorne promjene koje iznose: $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 2,21$; $\Delta E_{450W_0g/m^2} = 1,69$; $\Delta E_{950W_0g/m^2} = 2,05$. Nanosom prajmera u vrijednosti od 0,5 g/m² dovesti će do stabilizacije otiska i vrijednosti koje su najbliže FOGRA standardu ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 1,60$; $\Delta E_{450W_0,5g/m^2} = 1,88$; $\Delta E_{950W_0,5g/m^2} = 2,24$). Maksimalnim nanosom prajmera (1 g/m²),

ostvarit će se bolji rezultati uz primjenu male snage korone, što ne vrijedi za slučaj napona korone od 950 W ($\Delta E_{0W_1g/m^2} = 1,49$; $\Delta E_{450W_1g/m^2} = 1,88$; $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 2,40$). Cjelokupnim eksperimentalnim promjenama cijan tonova dovodi do prosječne oscilacije od $\Delta E = 0,91$.

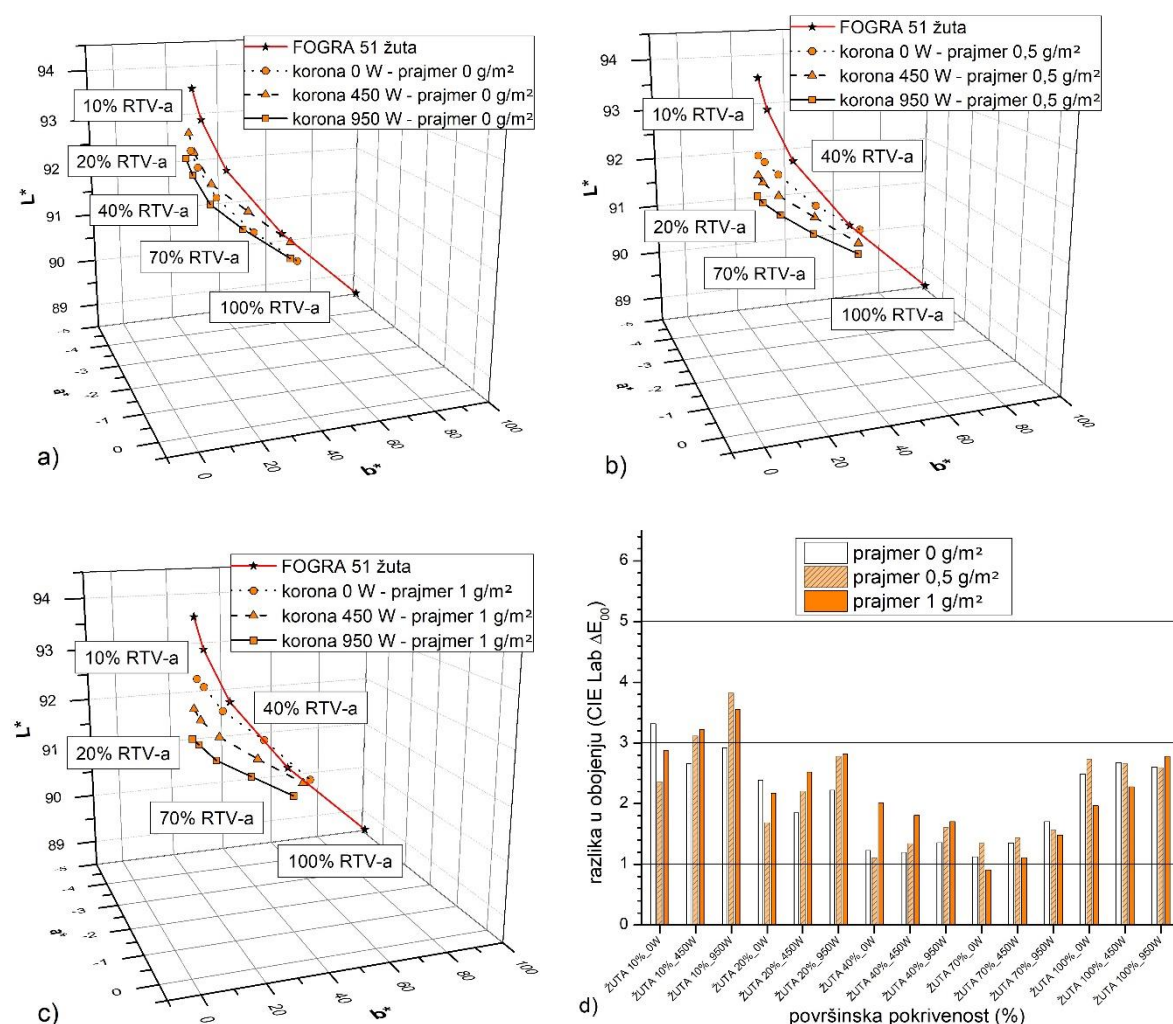


Slika 70. Kolorne promjene magenta otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja

Magenta kolorna separacija mnogo više odstupa u odnosu na FOGRA referentne vrijednosti. To je posebice vidljivo u punom tonu gdje su nastale kolorne razlike veće od $\Delta E = 5$. Maksimalno kolorno odstupanje nastaje u punom tonu magente primjenom prajmera 0,5 g/m² i bez aktivacije korone ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 5,45$). Rastrirane površine s malom pokrivenošću minimalno odstupaju, od kojih se ističe eksperimentalna postavka (10 % RTV-a), nanos prajmera u iznosu 0,5 g/m² te bez napona korone ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 0,67$). Karakteristično ponašanje ima magenta reproducirana u području 70 % RTV-a.

Bez obzira na primijenjene eksperimentalne postavke, kolorna promjena u odnosu na FOGRA referencu iznosi više od $\Delta E > 3$ što predstavlja veliku kolornu devijaciju koja se mora korigirati promjenom LUT krivulje (*Look up Table*).

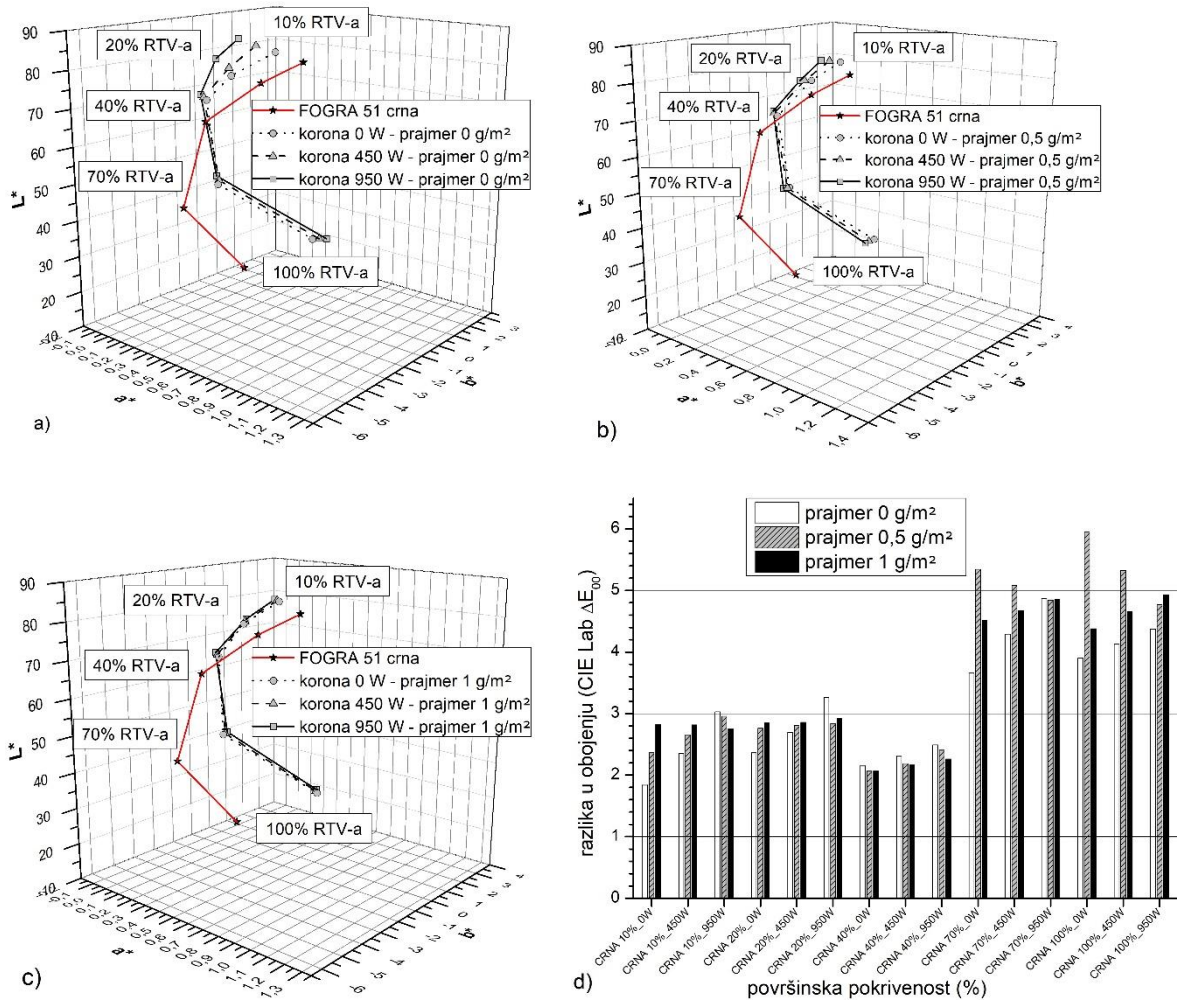
U odnosu na propisani FOGRA standard, eksperimentalni otisci magente bez nanosa prajmera i samom varijacijom snage korone ostvarit će prosječne kolorne promjene koje iznose: $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 2,50$; $\Delta E_{450W_0g/m^2} = 2,21$; $\Delta E_{950W_0g/m^2} = 2,27$. Prethodnim nanašanjem prajmera ($0,5 \text{ g/m}^2$) neće se postići značajne promjene, one iznose: $\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 2,41$; $\Delta E_{450W_0,5g/m^2} = 2,41$; $\Delta E_{950W_0,5g/m^2} = 2,60$. Nanosom prajmera u količini od 1 g/m^2 , također neće ostvariti vidljive kolorne promjene ($\Delta E_{0W_1g/m^2} = 2,36$; $\Delta E_{450W_1g/m^2} = 2,35$; $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 2,58$). To znači da cjelokupnim eksperimentalnim promjenama magenta tonovi prosječno osciliraju u rasponu ne većem od $\Delta E = 0,39$.



Slika 71. Kolorne promjene žutih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja

Zbog nanašanja prajmera koji nije u potpunosti transparentan, žuti otisci će imati najveća odstupanja u odnosu na FOGRA-u kod najsvjetlijih tonova (10 % RTV-a). Ona će nastati primjenom prajmera u iznosu od $0,5 \text{ g/m}^2$ te aktivacijom snage korone od 950 W ($\Delta E_{950W_{0,5g/m^2}} = 3,82$). Povećavanjem RTV-a na žutim otiscima doći će do pada ΔE vrijednosti koja će svoj minimum ostvariti u području 70 % RTV-a uz postavke HP Indigo stroja bez napona korone uz eksperimentalni nanos prajmera od 1 g/m^2 ($\Delta E_{0W_{1g/m^2}} = 0,91$).

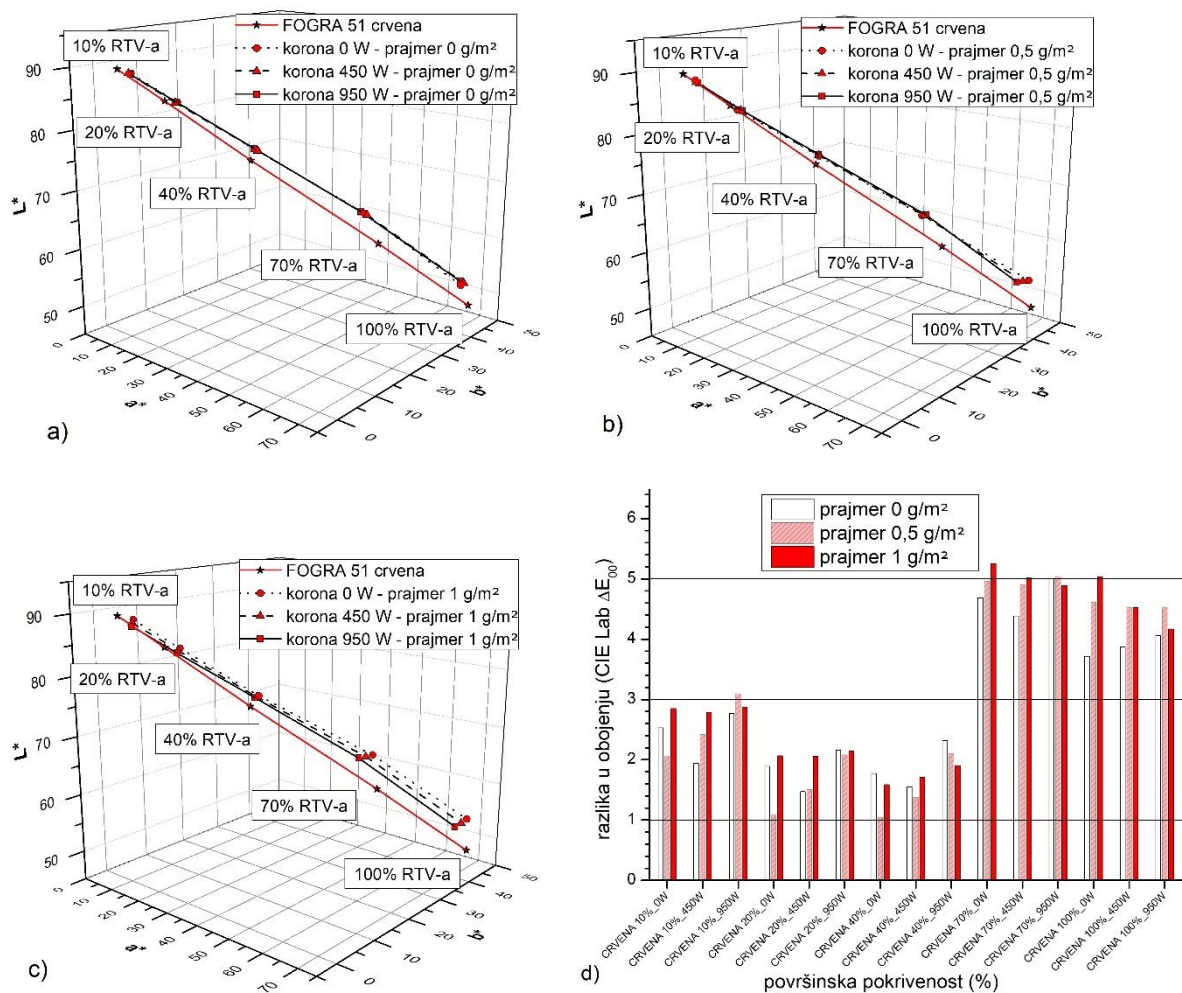
U odnosu na FOGRA 51 referencu, reproducirani žuti tonovi s maksimalnom pokrivenošću ostvaruju kolornu promjenu manju od $\Delta E < 3$, što predstavlja kolornu kvalitetu unutar graničnih vrijednosti. Kako operater ne može selektivno podešavati sve žute tonske vrijednosti, potrebno je odrediti prosječno odstupanje unutar krivulje reprodukcije. Tako u odnosu na propisani FOGRA standard, eksperimentalni otisci žute bez nanosa prajmera i varijacijom snage korone prosječno odstupaju: $\Delta E_{0W_{0g/m^2}} = 2,11$; $\Delta E_{450W_{0g/m^2}} = 1,95$; $\Delta E_{950W_{0g/m^2}} = 2,16$. Ciljanim nanosom prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ ostvaruje manje kolorne vrijednosti manjom snagom korone ($\Delta E_{0W_{0,5g/m^2}} = 1,85$; $\Delta E_{450W_{0,5g/m^2}} = 2,15$) dok aktivacijom snage korone od 950 W ostvaruje veću kolornu promjenu ($\Delta E_{950W_{0,5g/m^2}} = 2,47$). Dodatnim povećanjem nanosa prajmera neće se ostvariti kolorne promjene u odnosu na FOGRA 51 standard ($\Delta E_{0W_{1g/m^2}} = 1,99$; $\Delta E_{450W_{1g/m^2}} = 2,19$; $\Delta E_{950W_{1g/m^2}} = 2,47$). Cjelokupnim eksperimentalnim promjenama žutih tonova dovodi do prosječne oscilacije od $\Delta E = 0,62$.



Slika 72. Kolorne promjene crnih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja

Otisci akromatske crne boje ostvaruju najveće kolorne oscilacije u odnosu na FOGRA standard. One su najizraženije u najtamnijim područjima crne slike (70 % i 100 % RTV-a). Vrijednošću se posebno ističe puni ton otisnut bez djelovanja korone i nanosom prajmera od 0,5 g/m² ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 5,94$). Samim time takvi otisci nisu preporučljivi za uporabu i potrebno ih je obvezno korigirati promjenom napona na crnom BID-u. U odnosu na FOGRA reference, ostale rastrirane površine (10 %, 20 % i 40 % RTV-a) ostvaruju ΔE kolorne promjene u području između ΔE 2 i ΔE 3. Svojom minimalnom među njima ističe se crni otisak ostvaren u području 10 % RTV-a, bez nanosa prajmera i bez nanosa korone $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 1,85$.

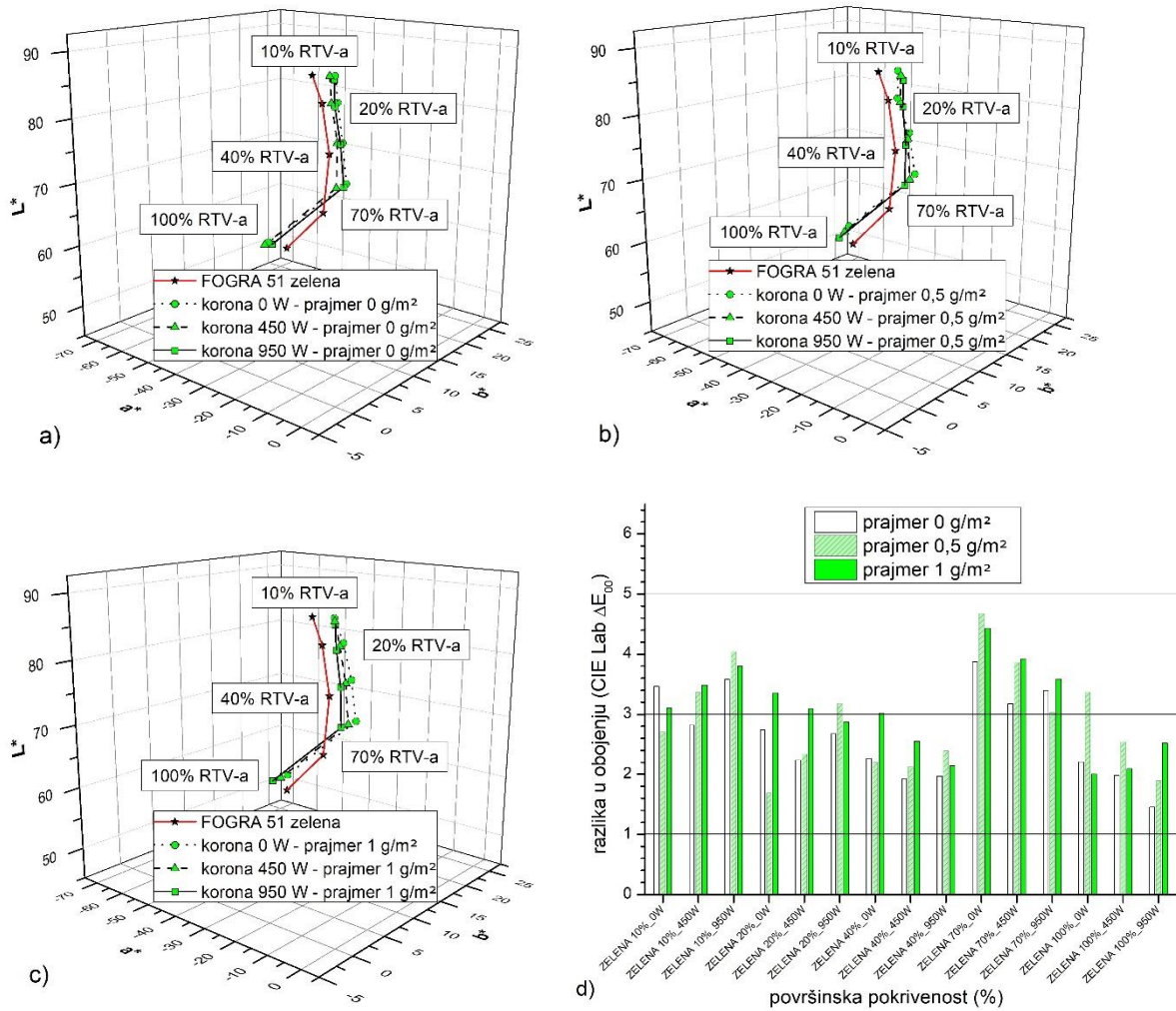
U odnosu na FOGRA-u, eksperimentalni crni otisci bez nanosa prajmera te varijacijom djelovanja snage korone prosječno odstupaju $\Delta E = 0,82$. Takva razlika nastala je samo modifikacijom snage korone i iznosi: $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 2,79$; $\Delta E_{450W_0g/m^2} = 3,16$; $\Delta E_{950W_0g/m^2} = 3,61$. Primjenom prajmera otisci će se stabilizirati. Nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ ostvaruju se najveće kolorne promjen u odnosu na standard koje iznosi: $\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 3,70$; $\Delta E_{450W_0,5g/m^2} = 3,61$; $\Delta E_{950W_0,5g/m^2} = 3,56$. Dodatno povećanje količine prajmera na tiskovnu podlogu imat će učinak neznatnog smanjenja kolorne promjene, što ekonomski nije isplativo ($\Delta E_{0W_1g/m^2} = 3,33$; $\Delta E_{450W_1g/m^2} = 3,43$; $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 3,54$). Cjelokupnim eksperimentalnim promjenama crnih tonova dovodi do prosječne oscilacije od $\Delta E = 0,91$.



Slika 73. Kolorne promjene crvenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$; c) prajmer 1 g/m^2 ; d) ΔE kolorna odstupanja

Kolorna separacija crvenih otisaka ima različita odstupanja u odnosu na FOGRA referentne vrijednosti. Tako je u području od 20 % i 40 % RTV-a odstupanje minorno, nakon čega naglo raste. Područja od 20 % i 40 % daju najmanje vrijednosti odstupanja u odnosu na FOGRA standard i variraju od $\Delta E = 1,05$ do $\Delta E = 2,32$, što je vrijednost najbliža ciljanom standardu. Maksimalne kolorne promjene događaju se u području površine pokrivenosti od 70 % gdje se ističe uzorak $\Delta E_{0W_1g/m^2} = 5,25$.

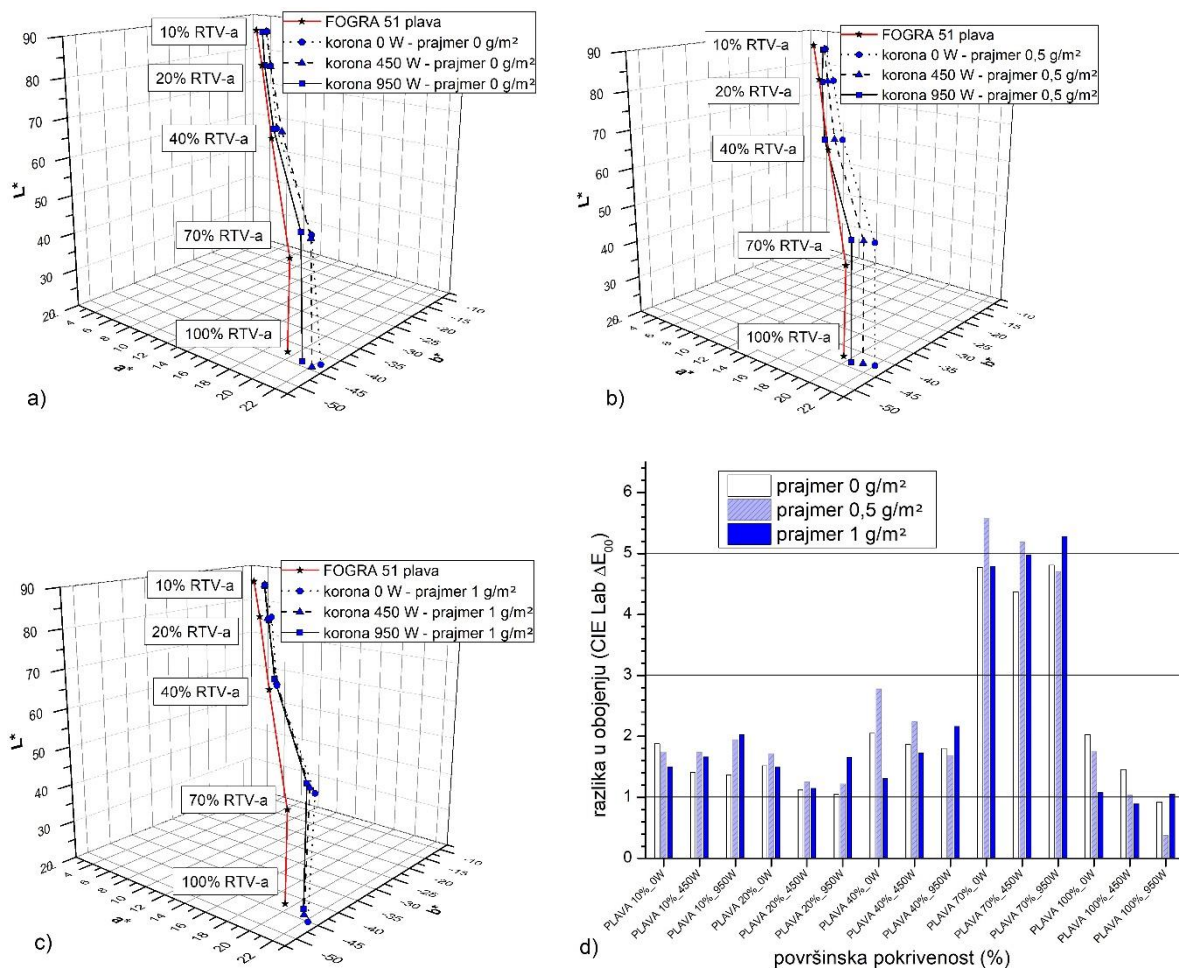
Općenito gledajući, crveni eksperimentalni otisci varijacijom snage korone ostvarit će prosječne kolorne promjene koje iznose: $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 2,92$; $\Delta E_{450W_0g/m^2} = 2,64$; $\Delta E_{950W_0g/m^2} = 3,26$. Nanos prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ neće dovesti do stabilizacije otiska ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 2,75$; $\Delta E_{450W_0,5g/m^2} = 2,94$; $\Delta E_{950W_0,5g/m^2} = 3,37$). Maksimalnim nanosom prajmera (1 g/m^2) ostvarit će se najveće kolorne promjene ($\Delta E_{0W_1g/m^2} = 3,36$; $\Delta E_{450W_1g/m^2} = 3,22$; $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 3,20$). Samim time, cjelokupnim eksperimentalnim promjenama crvenih tonova dovodi do prosječne oscilacije od $\Delta E = 0,73$.



Slika 74. Kolorne promjene zelenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja

Zelena kolorna separacija po svim reproduciranim tonovima mnogo više odstupa u odnosu na FOGRA referentne vrijednosti. To je posebno vidljivo u području od 70 % RTV-a gdje se nastale kolorne razlike kreću između ΔE 3 i 5. Samim time i maksimalno kolorno odstupanje nastaje upravo u tom tonskom području uz primjenu prajmera 0,5 g/m² i neaktivacijom korone (ΔE_{0W_0,5g/m²} = 4,68). Zelene površine s najvećom pokrivenošću (100 % RTV-a) najmanje odstupaju kada se izvrši aktivacija korone snage od 950 W bez prethodnog nanosa prajmera (ΔE_{950W_0g/m²} = 1,45). Karakteristična odstupanja imaju zelena područja od 10 % i 70 % RTV-a gdje se, bez obzira na primijenjene eksperimentalne postavke, ostvaruje kolorna promjena viša od ΔE > 3. To ujedno predstavlja problematičnu kolornu devijaciju koja se može ispraviti tijekom dodatnog pripremnog procesa (djelovanjem na kalibracijski proces).

U odnosu na propisani FOGRA standard zeleni otisci bez nanosa prajmera i varijacijom snage korone imaju prosječne kolorne promjene koje iznose: $\Delta E_{0W_0g/m^2} = 2,45$; $\Delta E_{450W_0g/m^2} = 2,05$; $\Delta E_{950W_0g/m^2} = 1,99$. Kada se primjeni prajmer u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$, neće doći do značajnijih kolornih promjena i otisak ostaje stabilan ($\Delta E_{0W_0,5g/m^2} = 2,71$; $\Delta E_{450W_0,5g/m^2} = 2,29$; $\Delta E_{950W_0,5g/m^2} = 1,99$). Najvećim ostvarenim eksperimentalnim premazom (1 g/m^2) također se neće utjecati na kvalitetu reprodukcije, tj. ostvarit će se kolorne promjene u vrijednosti od: $\Delta E_{0W_1g/m^2} = 2,03$; $\Delta E_{450W_1g/m^2} = 2,08$; $\Delta E_{950W_1g/m^2} = 2,44$. Za cjelokupni eksperiment tako vrijedi da će zeleni tonovi prosječno oscilirati u rasponu ne većem od $\Delta E = 0,72$.



Slika 75. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$; c) prajmer 1 g/m^2 ; d) ΔE kolorna odstupanja

Od svih analiziranih tonova najmanja odstupanja ostvaruje plava. Kao i kod ostalih sekundarnih tonova, zajedničko je da su maksimalne kolorne promjene ostvarene u području od 70 % RTV-a. U odnosu na FOGRA-u, one se kreću u rasponu između $\Delta E = 4$ i $\Delta E = 5$. Slično kao i kod zelenih nijansi, najmanje kolorne vrijednosti ostvarene su pri reprodukciji punog tona. Najveće odstupanje tako nastaju u području od 70 % RTV-a ($\Delta E_{0W_{0,5g/m^2}} = 5,57$) i nastaju u slučaju nanosa prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ i bez aktivacije korone. Najmanje odstupanje 100 % plave ($\Delta E_{950W_{0,5g/m^2}} = 0,38$) tako će se ostvariti uz aktivaciju snage korone od 950 W i nanos prajmera $0,5 \text{ g/m}^2$. U eksperimentu je zamijećena velika oscilacija između $\frac{3}{4}$ tamnih plavih tonova i punog tona, što iznosi više od $\Delta E = 4$.

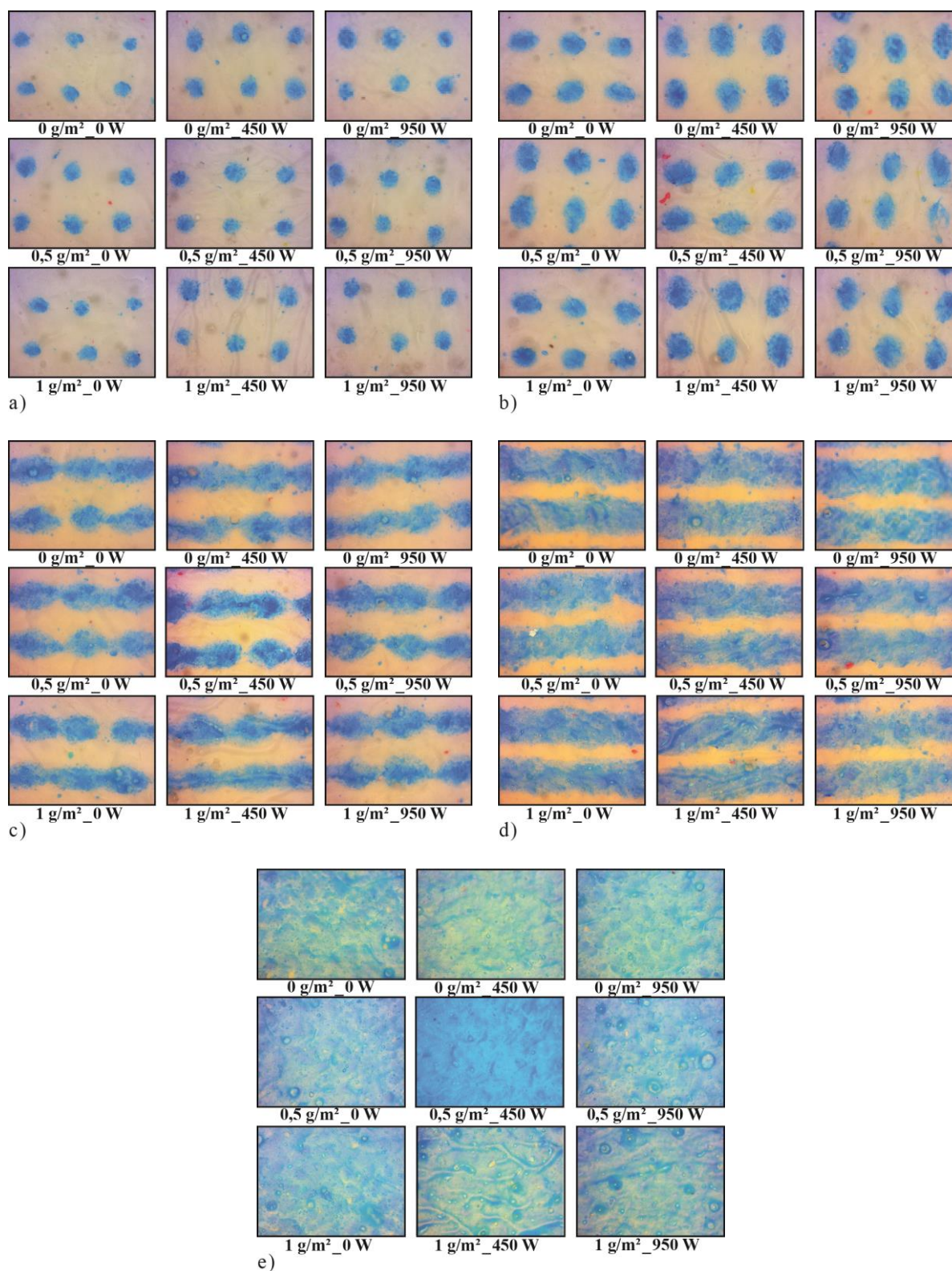
Plavi otisci otisnuti bez nanosa prajmera i varijacijom snage korone prosječno će odstupati: $\Delta E_{0W_{0g/m^2}} = 2,91$; $\Delta E_{450W_{0g/m^2}} = 2,43$; $\Delta E_{950W_{0g/m^2}} = 2,62$. Malim nanosom prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ i aktivacijom korone ostvaruju se slične kolorne promjene ($\Delta E_{0W_{0,5g/m^2}} = 2,93$; $\Delta E_{450W_{0,5g/m^2}} = 2,85$; $\Delta E_{950W_{0,5g/m^2}} = 2,91$). Dodatnim povećanjem nanosa prajmera ostvarit će se ujedno i najveće kolorne promjene u odnosu na FOGRA standard koje iznose: $\Delta E_{0W_{1g/m^2}} = 3,18$; $\Delta E_{450W_{1g/m^2}} = 3,03$; $\Delta E_{950W_{1g/m^2}} = 2,98$.

Cjelokupnim eksperimentalnim postavkama, tonovi plave će 200-postotnim nanosom (cijan + magenta) ostvariti mogućnost regulacije prosječnog obojenja od $\Delta E = 0,75$.

Iako te devijacije nisu vizualno vidljive ipak ih je potrebno uzeti u razmatranje jer u kombinaciji s ostalim parametrima (BID razvijanje, snaga lasera, električna provodljivost ElectroInka, koncentracija pigmenata...) utječu na realizaciju konačnog obojenja. To je ujedno i doprinos ove doktorske disertacije.

Za vizualnu procjenu cijan otisaka napravljeno je povećanje od 60 x. Na slikama 76. prikazane su fotografije površine prekrivene s 10 %, 20 %, 40 %, 70 % i 100 %.

Uzevši u obzir obje hipoteze (devijacija snage korone i debljine nanosa prajmera), na otiscima će se formirati različita veličina i oblik osnovnog rasterskog uzorka koji čini šest točkastih elemenata. Da bi se ΔE ostvarene promjene tonova vizualno predočile, eksperimentalni rasterski uzorci ($2 \times 3 \text{ cm}$) digitalizirani su i povećani 60 puta i prikazani s karakterističnom površinskom pokrivenošću (10 %, 20 %, 40 %, 70 % i 100 % RTV-a). Karakteristične kombinacije varijacija snaga korone, kao i nanosa tekućine za oplemenjivanje tiskovne podloge, prikazane su na slikama 76., 77., 78. i 79.



Slika 76. Uvećani HP Indigo cijan otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone:
a) 10 % RTV-a, b) 20 % RTV-a, c) 40 % RTV-a, d) 70 % RTV-a, e) 100 % RTV-a

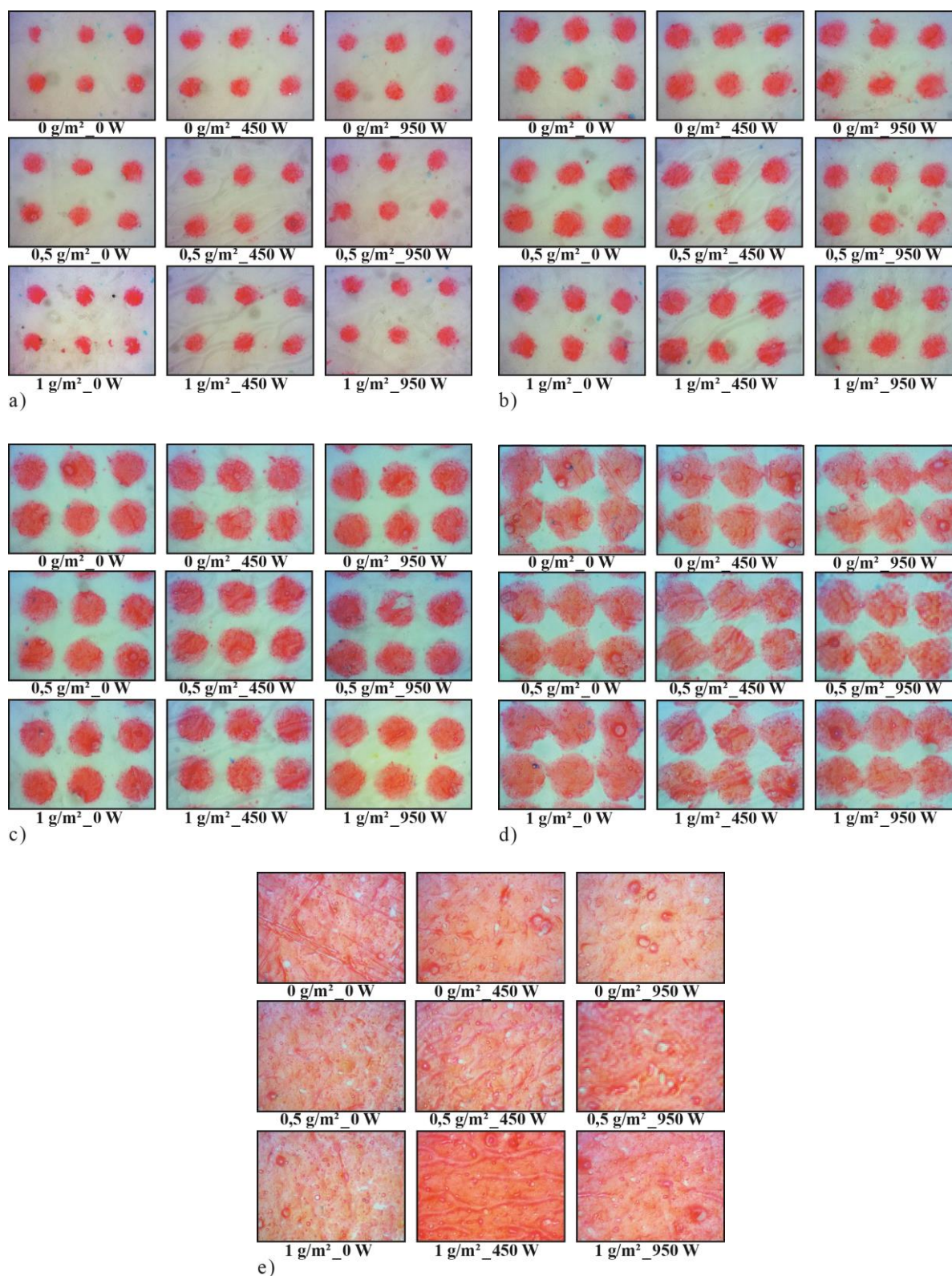
Kod cijan otisaka s najmanjom pokrivenošću (10 % RTV-a) ostvaruju se najmanje veličine i najprecizniji elementi (okruglost), s postavkama korone 0 W i bez nanosa prajmera (0 g/m^2). Najveće deformacije, kao i promjenu geometrijske strukture rasterske rešetke, ostvaruje otisak s postavkama 1 g/m^2 i 450 W, čime se ujedno postiže najveća tonska promjena.

Na površini od 20 % RTV-a tendencija se nastavlja. Pri tom će najmanji elementi nastati s 0 g/m^2 bez napona. Takvi elementi uslijed tiska ostvaruju deformaciju u lateralnom smjeru što je karakteristika ovog HP Indigo stroja. Najveće promjene u obliku i gustoći obojenja također ostvaruju otisci s 1 g/m^2 i 450 W. Pri tom je deformacija više izražena u smjeru tiska.

Srednje tonske vrijednosti (40 % RTV-a) pokazuju tendenciju veće deformacije u lateralnom smjeru (smjer rotacije ROS laserskog izvora). Tako najmanju devijaciju (postoje još uvijek vidljive rasterske točkice) ostvaruju netretirani otisci (0 g/m^2 i 0 W). Djelovanjem eksperimentalnog tretmana veća količina boja zadržava se na otiscima, što rezultira formiranjem, tzv. linijske strukture rastera koja je najuočljivija s postavkom 1 g/m^2 i 950 W.

U tamnim cijan rasterskim područjima (70 % RTV-a) efekti tretiranja ne dolaze do izražaja (svi otisci reproducirani su kao linije koje su više ili manje nazubljene). Kontrastom i debljinom najmanje dominira otisak s 0 g/m^2 i 0 W. Povećanjem nanosa prajmera i snage korone linije se šire pri čemu najmanji razmak (bjelina) nastaje između linija otisaka nanosom prajmera od 1 g/m^2 te snagom korone od 450 W.

Otisnuti puni cijan tonovi su homogeni i njihova površina ovisi o poziciji vlaknaca unutar otisnute površine. Tako će vlakna na površini ostvariti i veći *motling*, koji može biti detektiran vizualnom procjenom i spektrofotometrijskim mjerenjima. Prema intenzitetu obojenja najbolje se pokazao uzorak nanosom prajmera $0,5 \text{ g/m}^2$ uz djelovanje snage korone od 450 W. Općenito gledajući, površinske pokrivenosti svih cijan otisaka dolazi se do zaključka da su tijekom otiskivanja ostvarene veće deformacije rasterskih elemenata. One su direktno uvjetovane primijenjenom većom snagom lasera, kao i većim naponom razvijačeg valjka.



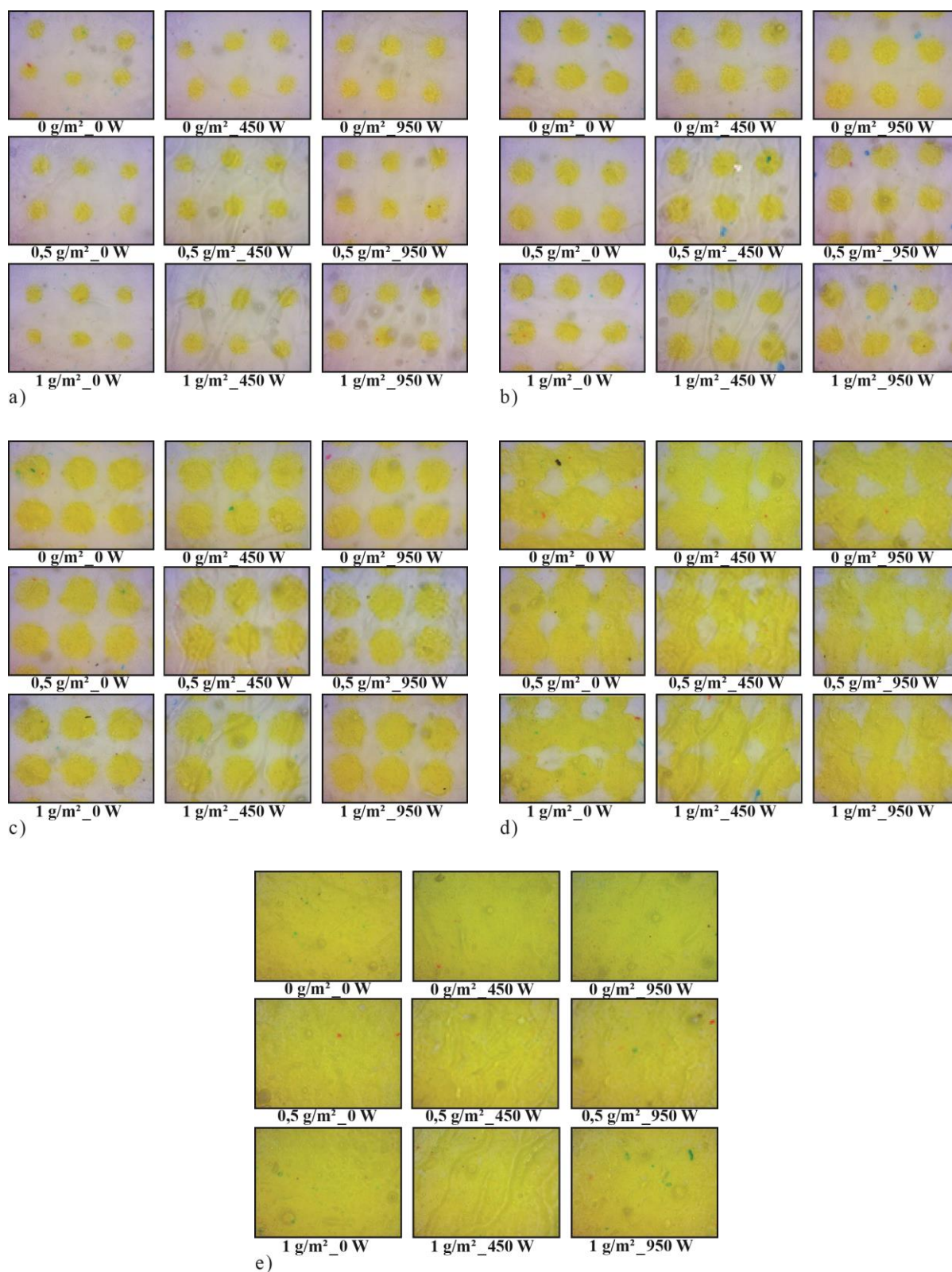
Slika 77. Uvećani HP Indigo magenta otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: a) 10 % RTV-a, b) 20 % RTV-a, c) 40 % RTV-a, d) 70 % RTV-a, e) 100 % RTV-a

U odnosu na cijan otiske, magentni otisnuti uzorci bolje su reproducirani. Time je kalibracijski *set-up* bolje odrađen. U području s 10 % RTV-a najpravilniji magenta otisak ponovo nastaje bez nanosa prajmera i bez djelovanja korone. Tako rastrirana rešetka ima najbolju strukturu reproduciranih točkica i njihovu najveću gustoću obojenja. Eksperimentalnom varijacijom parametara za oplemenjivanje, najveću promjenu ostvarit će postavka 1 g/m² i 450 W.

Na otiscima s 20 % rasterski elementi zadržavaju svoju okruglost i gustoću obojenja. Pri tom izvršene promjene ne utječu značajno na ostvarene rezultate. Srednja tonska područja (40 % RTV-a) ne povezuju se u linijsku strukturu. Najpravilniju rastersku strukturu ima otisak generiran s 0 g/m² i 0 W. Tako će tretmanima struktura rasterske rešetke ostati gotovo nepromijenjena čime se na rubnim dijelovima uočava lagana nazubljenost. Ova je pojava najvidljivija kod otisaka nanosom prajmera od 1 g/m² i naponom korone 950 W.

Rubna nazubljenost posebno je vidljiva kod područja od 70 % RTV-a pri čemu je dominantna u scenariju bez tretmana (dolazi do spajanja nekolicine elemenata). Eksperimentalnim tretmanom postižu se bolji otisci, pri čemu se vizualno ističe postavka 1 g/m² i 950 W.

Karakteristike magenta i cijan punih tonova gotovo su identične. Intenzivnije obojenje tako je postignuto postavkama 1 g/m² i 450 W, što takav otisak čini nešto kontrastnijim. Sve ostale primijenjene eksperimentalne postavke daju vrlo slične vizualne rezultate.



Slika 78. Uvećani HP Indigo žuti otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: a) 10 % RTV-a, b) 20 % RTV-a, c) 40 % RTV-a, d) 70 % RTV-a, e) 100 % RTV-a

HP Indigo žuti otisci najmanje su kontrastni te tako tiskovna podloga značajnije utječe na kolorimetrijske rezultate. Tretmani upotrijebljeni u eksperimentu također utječu na reprodukciju osnovne rasterske rešetke.

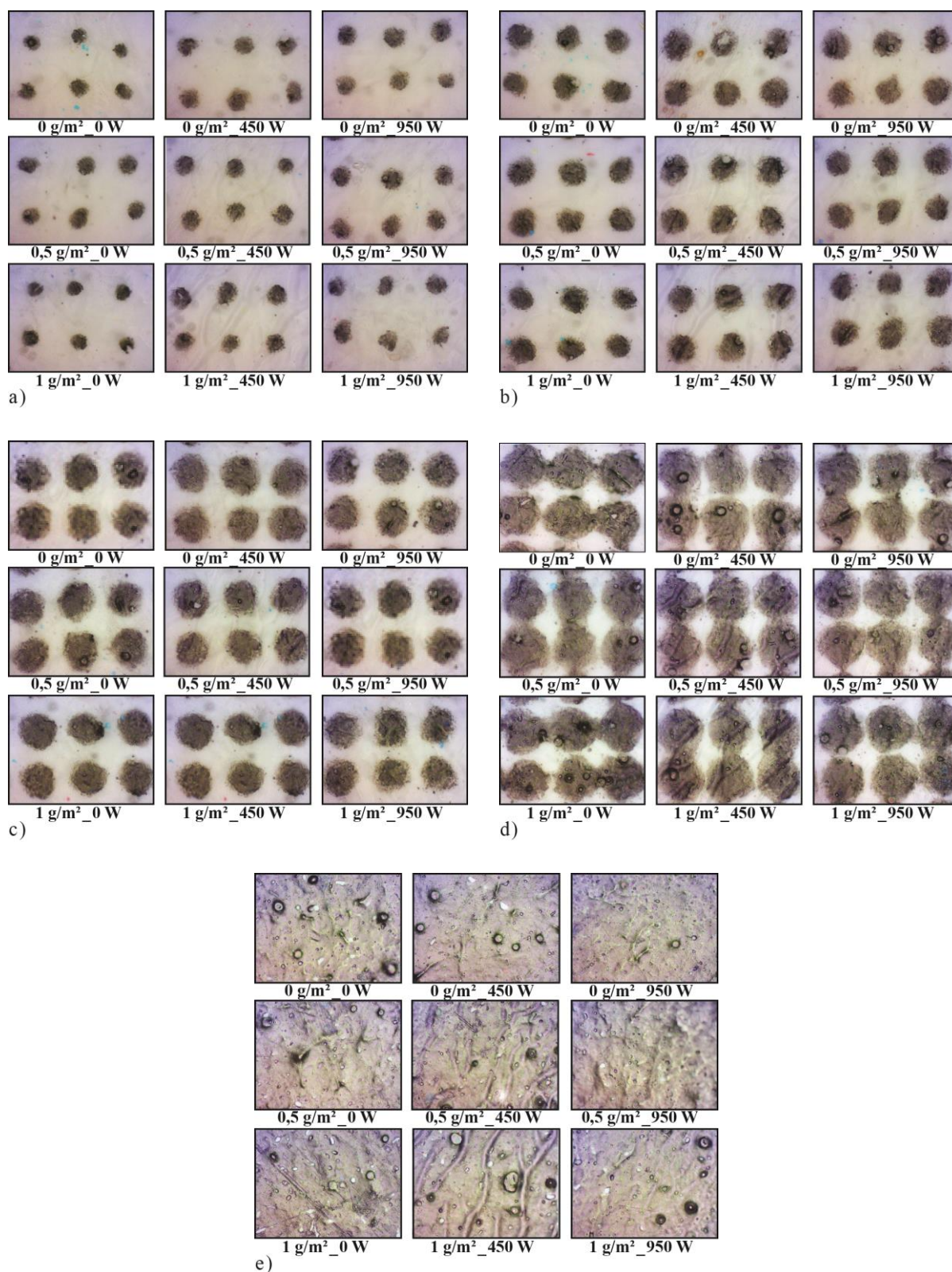
U području od 10 % RTV-a najsitnije i najpravičnije točkice ostvaruje otisak bez oplemenjivanja. Najveći žuti elementi nastat će samo promjenom snage korone (950 W). To se vidi na izraženoj hrapavosti rasterskih točkica.

Žuti otisci s površinskom pokrivenošću od 20 % pokazuju da će prajmiranje dati neznatno bolju reprodukciju. Vizualno najmanje i najpreciznije rasterske točkice tako će nastati s postavkama od 0,5 g/m² i 0 W. Najveći elementi ostvaruju se nanosom 1 g/m² i snagom korone od 450 W.

Kao i kod magente, u srednjim tonskim vrijednostima (40 % RTV-a) rasterski elementi odvojeni su i pravilno reproducirani. Oblikom i veličinom, najmanja rasterska rešetka ostvarit će se bez primjene prajmera i korone. Međutim, najveći nanos prajmera i najveća snaga korone imat će za posljedicu ostvarivanje najvećeg prirasta (najveće tiskovne elemente).

Tamniji žuti rasterski elementi (70 % RTV-a) reproducirani su različitom kvalitetom koja se može analizirati promatranjem veličine otvora unutar rasterske rešetke. Tako će veća i otvorenija bijela površina definirati precizniji otisak. Kao i u ostalim slučajevima, 0 g/m² i 0 W daju najprecizniji otisak. Međutim, povećanjem nanosa prajmera i snage korone ostvaruje se djelomično zatvaranje rasterske rešetke (1 g/m² i 450 W).

Kod svih žutih otisaka homogenost punog tona značajno se ne mijenja. Time se eksperimentalnim postavkama mogu postići veće tonske razlike. Ona se jedino uočava u promjeni površinske strukture koja je nešto hrapavija uslijed aktivacije snage korone od 450 W.



Slika 79. Uvećani HP Indigo crni otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: a) 10 % RTV-a, b) 20 % RTV-a, c) 40 % RTV-a, d) 70 % RTV-a, e) 100 % RTV-a

Crni otisci vizualno su najkontrastniji, a time i najbolji za vizualnu analizu rastrirane rešetke. Na rastriranoj površini od 10 % RTV-a najmanji elementi ostvareni su bez tretiranja. Kružnim oblikom ističe se uzorak naponom korone od 950 W te nanosom prajmera 0,5 g/m². Takvi elementi ujedno su i mikroskopski najuočljiviji.

Djelovanje eksperimentalnih postavki oplemenjivanja daje vidljivije rezultate s pokrivenošću od 20 % RTV-a. Najprecizniji otisak nastaje kao i kod ostalih separacija (bez korekcija korone i bez nanosa prajmera), dok će oblikom i veličinom najveća rasterska rešetka ostvariti nanosom 1 g/m² i primjenom snage korone od 450 W.

Crne srednje tonske vrijednosti također su kvalitetno reproducirane što je vidljivo po nepromijenjenoj rasterskoj rešetki. Najbolji oblik i veličina ostvareni su nanosom prajmera 1 g/m² i snagom korone od 450 W. Međutim, nanos prajmera od 1 g/m² i snaga korone od 950 W utjecat će na rubove otisnutih rasterskih elemenata što rezultira njihovom nazubljenošću.

Akromatski tonovi u području od 70 % RTV-a reproducirani uz eksperimentalne postavke ostvaruju različite rezultate unutar osnovne rasterske rešetke. Iako je zadržana nezavisnost točkica, najprecizniji crni otisak ostvaruje se nanosom prajmera od 1 g/m² i korona tretmanom od 950 W. Smanjenjem nanosa prajmera i snage korone rezultat će mrljanjem osnovne rasterske rešetke. Izgledom i veličinom ističe se postavka 0 g/m² i 950 W.

Kao i u ostalim slučajevima, promjene u homogenom polju minorne su. Najujednačenija crna površina ostvarena je bez nanosa prajmera uz snagu korone od 950 W. Aktivacijom jedinice za prajmiranje ostvaruje se najneujednačeniji uzorak koji se zbog strukture vlaknaca vidi kod otiska s postavkama od 1 g/m² i 450 W.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je definiranje utjecaja oplemenjivanja tiskovne podloge metodom korona tretmana i nanosom tekućine za reguliranje površinske napetosti tiskovne podloge te optimizacija parametara pojedinog tretmana i njihova interakcija. Tako tretirane tiskovne podloge za potrebe cjelovitog reproduksijskog procesa zahtijevaju redefiniranje kvalitativnih svojstava digitalne višebojne reprodukcije (CIE $L^*a^*b^*$, rastertonska vrijednost, neujednačenost otiska) pri otiskivanju s tekućim elektrofotografskim bojilom.

5.1. Hipoteza 1 – varijacija snage korone

Slijedom eksperimentalnih varijacija napona snage korone (450 W i 950 W), a povezano uz svaku boju te uzimajući u obzir koliko je tiskovna podloga oplemenjena tekućinom za reguliranje površinske napetosti (0 g/m², 0,5 g/m² i 1 g/m²), spektrofotometrijskom metodom mjerenja dobile su se razlike u obojenju ovisno o gore navedenim parametrima. Razlike obojenja svake boje definirale su se kroz područja rasterstonskih vrijednosti (10 %, 20 %, 40 %, 70 % i 100 %) kako bi se dobila prosječna kolorna promjena (ΔE_{SR}) za eksperimentalne vrijednosti napona snaga korone. Temeljem kolornih razlika, kako za napon od 450 W, tako i za onaj od 950 W, dolazi se do zaključka koja će snaga napona korone s tekućim elektrofotografskim bojilom povećati nanos i volumen obojenja digitalne višebojne reprodukcije u odnosu na industrijski standard za digitalni tisak.

Razlika između dvije kolorne promjene kod cijan otisaka, s obzirom na varijaciju napona snaga korone (450 W i 950 W) te otiska bez nanosa prajmera (0 g/m²), iznosi $\Delta E_{razlika (450W \text{ i } 950W)} = 0,23$. Kada se na tiskovnu podlogu nanese prajmer u količini od 0,5 g/m², razlika iznosi $\Delta E = 0,55$, dok kod nanosa prajmera od 1 g/m² ista iznosi $\Delta E = 0,65$.

Razlika kod magenta otisaka, s obzirom na varijaciju eksperimentalnih napona snaga korone te otiska bez nanosa prajmera (0 g/m²), iznosi $\Delta E_{razlika (450W \text{ i } 950W)} = 0,10$. Nanosom prajmera od 0,5 g/m² razlika iznosi $\Delta E = 0,51$, dok kod nanosa prajmera od 1 g/m² ista iznosi $\Delta E = 0,52$.

S obzirom na varijaciju napona snaga korone te otiska bez nanosa prajmera, razlika između dvije kolorne promjene žutih otisaka iznosi $\Delta E_{razlika (450W \text{ i } 950W)} = 0,01$. U slučaju nanosa prajmera (0,5 g/m²) ta ista razlika iznosi $\Delta E = 0,42$, dok pri nanosu prajmera (1 g/m²) ona iznosi $\Delta E = 0,49$.

Na crnom otisku bez nanosa prajmera (0 g/m^2), a uzimajući u obzir eksperimentalne varijacije napona snage korone, razlika kolornih promjena iznosi $\Delta E_{\text{razlika (450W i 950W)}} = 0,55$. Nanosom prajmera u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$ ona iznosi $\Delta E = 0,33$, dok kod nanosa prajmera (1 g/m^2) ista iznosi $\Delta E = 0,24$.

Kolorna promjena crvenih otisaka pri varijaciji napona snaga korone (450 W i 950 W) i bez nanosa prajmera iznosi $\Delta E_{\text{razlika (450W i 950W)}} = 0,14$. Nanosom prajmera na tiskovnu podlogu ($0,5 \text{ g/m}^2$) razlika je $\Delta E = 0,82$, dok većim nanosom prajmera (1 g/m^2) razlika postaje manja i iznosi $\Delta E = 0,49$.

Plavi otisci imaju razliku kolorne promjene $\Delta E_{\text{razlika (450W i 950W)}} = 0,13$ u slučaju kada je otisak bez prajmera. Kada se pak na tiskovnu podlogu nanese prajmer u količini od $0,5 \text{ g/m}^2$, razlika se povećava i iznosi $\Delta E = 0,77$, a kod nanosa prajmera od 1 g/m^2 ona iznosi $\Delta E = 0,50$.

Otisci zelenog tona, s obzirom na varijaciju napona snaga korone (450 W i 950 W) te otiska bez nanosa prajmera, imaju kolornu razliku $\Delta E_{\text{razlika (450W i 950W)}} = 0,21$. Nanosom prajmera ($0,5 \text{ g/m}^2$) razlika iznosi $\Delta E = 0,88$, a u slučaju nanosa prajmera od 1 g/m^2 kolorna razlika iznosi $\Delta E = 0,60$.

Tablica 14. Varijacija snage korone

| | cijan | magenta | žuta | crna | crvena | plava | zeleno |
|---|---|---------|------|------|--------|-------|--------|
| | prajmer 0 g/m^2 | | | | | | |
| ΔE (korona 450 W i 950 W) | 0,23 | 0,10 | 0,01 | 0,55 | 0,14 | 0,13 | 0,21 |
| | prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$ | | | | | | |
| ΔE (korona 450 W i 950 W) | 0,55 | 0,51 | 0,42 | 0,33 | 0,82 | 0,77 | 0,88 |
| | prajmer 1 g/m^2 | | | | | | |
| ΔE (korona 450 W i 950 W) | 0,65 | 0,52 | 0,49 | 0,24 | 0,49 | 0,5 | 0,60 |

5.2. Hipoteza 2 – varijacija nanosa tekućine za regulaciju površinske napetosti

S obzirom na varijaciju eksperimentalnih nanosa prajmera ($0,5 \text{ g/m}^2$ i 1 g/m^2) te otisaka bez napona korone (0 W), razlika kolorne promjene cijan otisaka iznosi $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,06$. Aktivacijom snage korone (450 W) razlika iznosi $\Delta E = 0,02$, dok je razlika pri najvećoj snazi korone (950 W) $\Delta E = 0,09$.

Razlika kolorne promjene kod magenta otisaka, s obzirom na varijaciju nanosa prajmera i bez napona korone, iznosi $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,42$. Upotrebom snage korone od 450 W razlika iznosi $\Delta E = 0,14$, a ista za napon (950 W) iznosi $\Delta E = 0,04$.

Na žutom otisku bez djelovanja korone, a uzimajući u obzir eksperimentalne varijacije nanosa prajmera, razlika kolornih promjena iznosi $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,08$. Tretiranjem korone od 450 W razlika iznosi $\Delta E = 0,28$, a pri 950 W razlika je $\Delta E = 0,03$.

Kolorna promjena crnih pri varijacijama nanosa prajmera ($0,5 \text{ g/m}^2$ i 1 g/m^2) i bez aktivacije snage korone, iznosi $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,61$. Razlika od $\Delta E = 0,26$ javlja se pri snazi napona (450 W), dok pri 950 W razlika postaje još manja i iznosi $\Delta E = 0,06$.

Otisci crvenog tona, s obzirom na varijaciju nanosa prajmera i bez uporabe korone (0 W), imaju razliku $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,01$. Djelovanjem snage napona korone (450 W) razlika raste na $\Delta E = 0,19$, a u slučaju aktivacije najveće eksperimentalne korone (950 W) kolorna razlika iznosi $\Delta E = 0,17$.

Kolorna promjena plavih otisaka pri varijaciji nanosa prajmera i bez tretiranja koronom iznosi $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,29$. Aktivacijom snage korone na tiskovnu podlogu (450 W) razlika je $\Delta E = 0,12$, dok pri snazi korone od 950 W razlika je još manja i iznosi $\Delta E = 0,02$.

Zeleni otisci imaju razliku kolorne promjene $\Delta E_{\text{razlika}}(0,5\text{g/m}^2 \text{ i } 1\text{g/m}^2) = 0,19$ u slučaju kada je otisak bez uporabe korone. Kada se pak tiskovnu podlogu tretira koronom od 450 W , razlika iznosi $\Delta E = 0,23$, a pri djelovanju korone od 950 W ona iznosi $\Delta E = 0,09$

Tablica 15. Varijacija nanosa tekućine za regulaciju površinske napetosti

| | cijan | magenta | žuta | crna | crvena | plava | zelena |
|--|---------------------|---------|------|------|--------|-------|--------|
| | korona 0 W | | | | | | |
| ΔE (prajmer 0,5 g/m ² i prajmer 1 g/m ²) | 0,06 | 0,42 | 0,08 | 0,61 | 0,01 | 0,29 | 0,19 |
| | korona 450 W | | | | | | |
| ΔE (prajmer 0,5 g/m ² i prajmer 1 g/m ²) | 0,02 | 0,14 | 0,28 | 0,26 | 0,19 | 0,12 | 0,23 |
| | korona 950 W | | | | | | |
| ΔE (prajmer 0,5 g/m ² i prajmer 1 g/m ²) | 0,09 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,17 | 0,02 | 0,09 |

5.3. Hipoteza 3 – interakcija varijacija s obzirom na FOGRA standard

Prateći ostvarene kolorne razlike između eksperimentalnih uzoraka i FOGRA standarda, zamjećuje se različito odstupanje otisnutih procesnih boja. Pri tom se i sekundarni tonovi nastali pretiskivanjem različito reproduciraju (ne postoji veća pravilnost).

U odnosu na sve kolorne separacije cijan otisak nastao nanosom prajmera od 1 g/m² bez aktivacije snage korone daje ujedno i najmanju kolornu devijaciju $\Delta E = 1,49$, dok će se istim nanosom prajmera (1 g/m²) i uz djelovanje snage korone od 950 W ostvariti najveća cijan kolorna promjena ($\Delta E = 2,40$). Tako je ostvareno moguće podešavanje u prosječnom rasponu od $\Delta E_C = 0,91$.

Magenta otisak svoju najmanju kolornu razliku ($\Delta E = 2,21$) ostvaruje djelovanjem snage korone od 450 W otiskom bez nanosa prajmera, a najveću ($\Delta E = 2,60$) aktivacijom veće snage korone (950 W) uz nanos prajmera od 0,5 g/m². Slijedom navedenih razlika moguća je regulacija kod magenta otisaka od $\Delta E_M = 0,39$.

Kolorna razlika žutih otisaka najmanja je nanosom prajmera od 0,5 g/m² bez aktivacije korone ($\Delta E = 1,85$), dok je najveća kolorna razlika ostvarena djelovanjem snage korone od 950 W uz nanos prajmera od 1 g/m². To iznosi $\Delta E = 2,47$, što u ovom slučaju ostvaruje moguću regulaciju od $\Delta E = 0,62$.

Minimalna kolorna devijacija crne nastaje tijekom tiska bez prajmera i bez djelovanja korone. Ona tako iznosi $\Delta E = 2,79$. Maksimum, odnosno najveća kolorna promjena, iznosi

$\Delta E = 3,70$ i ostvarena je nanosom prajmera od $0,5 \text{ g/m}^2$ bez djelovanja korone. Tako je ostvareno područje regulacije u rasponu od $\Delta E_K = 0,91$.

Crveni će tonovi najmanju kolornu devijaciju imati $\Delta E = 2,64$. Ona je ostvarena pri tisku bez nanosa prajmera i uz aktivaciju snage korone od 450 W . U scenariju u kojemu je nanos prajmera $0,5 \text{ g/m}^2$ i djelovanje snage korone od 950 W , ostvaruje se najveća kolorna razlika koja iznosi $\Delta E = 3,37$. Na taj način moguće je podešavanje crvenih tonova od $\Delta E_R = 0,73$.

Najmanja kolorna razlika kod plavih otisaka iznositi će $\Delta E = 2,43$. Do nje će doći tiskom bez prajmera i aktivacijom snage korone od 450 W . Pri tom će najveća kolorna razlika iznositi $\Delta E = 3,18$ koja se ostvaruje nanosom prajmera u količini od 1 g/m^2 i bez aktivacije korone. Time je omogućeno interno podešavanje plavih tonova od $\Delta E_B = 0,75$.

Kod zelenih nijansi najmanja kolorna razlika iznosi $\Delta E = 1,99$. Ona se ostvaruje u dva slučaja (djelovanjem snage korone od 950 W i varijacijom prajmera od 0 g/m^2 i od $0,5 \text{ g/m}^2$). Najveće odstupanje nastaje bez uporabe prajmera i korone. Razlika zelenih tonova tako iznosi $\Delta E = 2,45$, odnosno moguće zeleno podešavanje ne prelazi vrijednost $\Delta E_G = 0,46$.

Tablica 16. Interakcija varijacija s obzirom na FOGRA standard

| | cijan | magenta | žuta | crna | crvena | plava | zeleni |
|---|-------|---------|------|------|--------|-------|--------|
| prajmer 0 g/m^2 korona 0 W | 2,21 | 2,50 | 2,11 | 2,79 | 2,92 | 2,91 | 2,45 |
| prajmer 0 g/m^2 korona 450 W | 1,69 | 2,21 | 1,95 | 3,16 | 2,64 | 2,43 | 2,05 |
| prajmer 0 g/m^2 korona 950 W | 2,05 | 2,27 | 2,16 | 3,61 | 3,26 | 2,62 | 1,99 |
| prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$ korona 0 W | 1,60 | 2,41 | 1,85 | 3,70 | 2,75 | 2,93 | 2,71 |
| prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$ korona 450 W | 1,88 | 2,41 | 2,15 | 3,61 | 2,94 | 2,85 | 2,29 |
| prajmer $0,5 \text{ g/m}^2$ korona 950 W | 2,24 | 2,60 | 2,47 | 3,56 | 3,37 | 2,91 | 1,99 |
| prajmer 1 g/m^2 korona 0 W | 1,49 | 2,36 | 1,99 | 3,33 | 3,36 | 3,18 | 2,03 |
| prajmer 1 g/m^2 korona 450 W | 1,88 | 2,35 | 2,19 | 3,43 | 3,22 | 3,03 | 2,08 |
| prajmer 1 g/m^2 korona 950 W | 2,40 | 2,58 | 2,47 | 3,54 | 3,20 | 2,98 | 2,44 |

Svaka otisnuta kolorna separacija postignuta s eksperimentalnim postavama je specifična što ovisi o karakteristikama primijenjenog bojila. Time je za svaku kolornu separaciju potrebno napraviti posebne postavke. Međutim, kako se otiskivanje izvodi na satelitskoj tiskovnoj jedinici (CMYK) nameće se potreba za zbirnim postavkama oplemenjivanja tiskovne podloge koja se definira snagom korone 450 W bez nanosa tekućine za reguliranje površinske napetosti tiskovne podloge. Provedeno istraživanje pokazalo je da su postavljeni ciljevi i hipoteze opravdane te u potpunosti dokazane.

Ovom doktorskom disertacijom je dat izvorni znanstveni doprinos koji se očituje u definiranju i unaprjeđenju sustava kvalitete tiska određivanjem utjecaja parametra snage korone na kvalitetu CMYK otisaka, vrednovanju učinkovitosti nanosa tekućine za reguliranje površinske napetosti na zadovoljavajuće prihvatanje ElectroInk bojila na papirnu tiskovnu podlogu, preporukama nove kategorizacije digitalnih kolornih otisaka nastalih otiskivanjem u elektrofotografiji te su preporučene nove kolorimetrijske vrijednosti reprodukcija koja su prethodno oplemenjena korona izbojem i tekućinom za reguliranje površinske napetostite ostvarivanju preduvjeta redefinicije trenutnih industrijskih standarda za digitalni tisak na principu elektrofotografije.

6. LITERATURA

- [1] Kipphan, Helmut. 2001. *Handbook of Print Media*. Springer Berlin Heidelberg. Berlin.
- [2] Zjakić, Igor. 2002. *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb.
- [3] Majnarić, Igor. 2015. *Osnove digitalnog tiska*. Grafički fakultet Zagreb. Zagreb.
- [4] *Fespa print census*. Fespa. 2015. Reigate.
- [5] Smyth, Sean. 2017. *The Future of Global Printing to 2022*. Leatherhead.
- [6] Casatelli, Linda M. 2011. *Digital print technologies for packaging*. IRA International. Surrey.
- [7] Drennan, Bryce W. 1997. *Indigo E-Print 1000+ Graphic Designer's Companion*. Bryce W. Drennan.
- [8] Benzion, Landa i dr. 1988. *Toner for Use in Compositions for Developing Latent Electrostatic Images, Method of Making the Same, and Liquid Composition Using the Improved toner*. 4,794,651.
- [9] Gazit, Alon. 1998. *Imaging Apparatus And Intermediate Transfer Blanket Therefor*. 20 str.
- [10] *The world of HP Indigo ElectroInks*. 2016. HP Indigo Prospect.
- [11] Mosenson, Nir. 2014. *Digital Print Entering B2 Format: Challenges & Solutions*. TAGA 2014. 236–243.
- [12] Howard, Anne. 2012. *Accurately Reproducing Pantone Colors on Digital Presses*. California Polytechnic State University.
- [13] Tagansky, Boaz. 2012. *HP-Indigo Technology and its Application to Photo Printing in International Symposium on Technologies for Digital Photo Fulfillment*. 31–34.
- [14] G. Goldmann. 2004. *The World of Printers*. Océ Printing Systems GmbH. Dusseldorf.
- [15] Miyamoto, Eiichi; Mizuta, Yasufumi; Nakazawa, Toru. 2004. *Design for Charge Transport Property of Positive - Charging - Type Single - Layer OPC Photoreceptor*. International Conference on Digital Printing Technologies. Salt Lake City. 497–500.
- [16] Majnarić, Igor; Golubović, Kristijan; Bolanča, Stanislav; Modrić, Damir. 2011. *Voltage Effect on Developing Process and B&W Reproduction*. DAAAM International Scientific Book 2010. Vienna.

- [17] Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Golubović, Kristijan; Bolanča, Stanislav. 2010. *The 4-Beam Laser Diode Array Influence on the Colour Imaging*. DAAAM International Scientific Book 2009. Vienna. 81–96.
- [18] Majnarić, Igor. 2007. *Studija indirektno elektrofotografije*. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [19] Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Golubović, Kristijan. 2008. *Influence of laser power output on the quality of colour imaging*. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium.
- [20] *DPP course Writing Head*. HP Indigo. Maastricht.
- [21] *HP Indigo WS6800 Digital Press and packaging production*. Hewlett-Packard Development Company.
- [22] Forgacs, Peter; Teishev, Albert. 2013. *Electro-Rheological Model of HP Indigo ElectroInk*. *J. Imaging Sci. Technol.* 56/4. 1–9.
- [23] Majnarić, Igor; Hladnik, Aleš; Muck, Tadeja; Mirković Bolanča, Ivana. 2015. *The influence of ink concentration and layer thickness on yellow colour reproduction in liquid electrophotography toner*. *Tehnički vjesnik*. 22/1.145–150.
- [24] Yaacov, Almog. 1991. *Humidity Tolerant Charge Director Compositions*. 6 str.
- [25] Majnarić, Igor; Bolanča, Zdenka; Bolanča Mirković, Ivana. 2009. *The influence of the developer drum voltage on screen dot formation*. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium.
- [26] Forgacs, Peter. 2013. *Theory of Ink Transfer in HP-Indigo Digital Press Machines*. NIP29: The 29th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital fabrication 2013. 429–433.
- [27] Kahatabi, Rafael; Salalha, Wael; Forgacs, Peter; Yacoub, Naseem; Avramov, Doron. 2012. *H. I. Dielectric Properties Study of Thin Polymer Film Layers Used*. NIP28: The 28th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2012. 287–288.
- [28] Majnarić, Igor; Bolanča, Ivana; Bolanča, Zdenka; Milković, Marin. 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.

- [29] Aqua, Tali; Salalha, Wael; Reznik, Slava; Zussman, Eyal. 2013. *Experimental and Analytical Study of Dot Gain Between Elastic and Deformable Drums*. Society for Imaging Science and Technology. 72–74.
- [30] Rong, Xiaoying. 2008. *G7 Method for Indigo Press Calibration and Proofing*. NIP24: The 24th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2008. 603–606.
- [31] Wang, Yujue. 2016. *The Adoption of Next Generation Digital Printing Technology in Package Printing*. Rochester Institute of Technology.
- [32] Landolt, Kevin. 2007. *Development of test targets for microprinting applications on the Kodak Nexpress 2100, the Hewlett packard Indigo 5000 and the Heidelberg Speedmaster 74*. Rochester Institute of Technology.
- [33] Hoffstadt, Hanno. 2016. *How to Create Characterization Data for a Printing Standard*. TAGA. 12–14.
- [34] Tsigonias, Antonios; Gamprellis, George; Politis, Anastasios; Tsigonias, Marios. 2014. *Hexachrome system modification for a prototype screenprinting*. GRID 2014. 203–210.
- [35] Staelin, Carl i dr.. 2011. *Electro-photographic model based stochastic clustered-dot halftoning with direct binary search*. International Conference on Image Processing 2011. 4. str.
- [36] Niaounakis, Michael. 2015. *Surface Treatment*. Biopolymers: Processing and Products. 303–326.
- [37] Izdebska, Joanna. 2015. *Corona Treatment in Printing on Polymers*. Elsevier. 123–142.
- [38] Brzezinski, Stefan; Zenkiewicz, Marian; Polowinski, Stefan. 2009. *Application of corona discharge to modify the surface layer of polyester textiles*. Polimery. 54/7. 552–558.
- [39] *Hrvatska enciklopedija*. Ur. Ravlić, Slaven. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Zagreb.
- [40] Ovaska, Sami-Seppo; Rinkunas, Ringaudas; Lozovski, Tadeusz; Maldzius, Robertas; Sidaravicius, Jonas. 2016. *Occurrence of Reverse Side Effects in Corona Treatment of Dispersion-coated Paperboard and its Influence on Grease Barrier Properties*. *Occurrence of Reverse Side Effects in Corona Treatment of Dispersion*. The Journal of Applied Packaging Research. 8/3.68–79.

- [41] Pykönen, Maiju. 2010. *Influence of plasma modification on surface properties and offset printability of coated paper*. Åbo Akademi University.
- [42] Maldzius, Robertas; Sirviö, Petri; Sidaravicius, Jonas; Lozovski, Tadeusz; Backfolk, Kaj; Rosenholm, Jarl B. 2010. *Temperature-dependence of electrical and dielectric properties of papers for electrophotography*. Journal of Applied Physics. 107/11.
- [43] F. O. R. Converting. *Corona & Plasma for Converting*.
- [44] Bollstrom, Roger; Tuominen, Mikko; Maattanen, Anni. *Top layer coatability on barrier coatings*. Progress in Organic Coatings. 73/1.26–32.
- [45] Ovaska, Sami-Seppo i dr. 2017. *Corona treatment of filled dual-polymer dispersion coatings: Surface properties and grease resistance*. Polymers & Polymer Composites. 25/4. 257–266.
- [46] Park, Heung Yeol; Kang, Byung Ju; Lee, Dohyungand; Oh, Je Hoon. 2013. *Control of surface wettability for inkjet printing by combining hydrophobic coating and plasma treatment*. Thin Solid Films. 546. 162–166.
- [47] Rocca-Smith, Jeancarlo R. i dr. 2016. *Impact of corona treatment on PLA film properties*. Polymer Degradation and Stability.132.109–116.
- [48] *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. 2011. Ur. Gooch, Jan W.
- [49] Horvath, Gabriel; Skalny, Jan D.; Orszagh, Juraj; Vladoiu, Rodica; Mason, Nigel J. 2010. *Influence of the outer electrode material on ozone generation in corona discharges*. Plasma Chemistry and Plasma Processing . 30/1. 43–53.
- [50] *Corona treatment*. Vetaphone. Dostupno na:
<http://www.vetaphone.com/technology/corona-treatment/>.
- [51] Ovaska, Sami-Seppo i dr. 2014. *A novel method to study the effect of corona treatment on ink wetting and sorption behavior*. International Conference on Digital Printing Technologies. 362–365.
- [52] Popelka, Anton; Novák, Igor; Al-Maadeed, Mariam Ali SA; Ouederni, Mabrouk; Krupa, Igor. 2018. *Effect of corona treatment on adhesion enhancement of LLDPE*. Surface and Coatings Technology. 335/1. 118–125.
- [53] Lu, Xingbin ; Liu, Jinping; Xu, Xiongwen. 2016. *Contact angle measurements of pure refrigerants*. International Journal of Heat and Mass Transfer.102. 877–883.
- [54] Begić Hadžipašić, Anita. 2016. *Fizikalna kemija*. Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Sisak.

- [55] Gojo, Miroslav; Mahović, Sanja. 2013. *Osnove tiskovnih formi*. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [56] Khan, Mohammad Ilyas; Nasef, Mohamed Mahmoud. 2009. *Spreading behaviour of silicone oil and glycerol drops on coated papers*. Leonardo journal of sciences. 14. 18–29.
- [57] Mesić, Behudin; Lestelius, Magnus; Engström, Gunnar. 2006. *Influence of corona treatment decay on print quality in water-borne flexographic printing of low-density polyethylene-coated paperboard*. Packaging Technology and Science. 19/2. 61–70.
- [58] This, S. 1996. *Contact angle of water droplets on corona-treated polymer film surfaces*.
- [59] Kraushaar, Andreas. 2018. *Process Standard Digital Handbook 2018*. Fogra Research Institute for Media Technologies. München.
- [60] Tuominen, Mikko; Lahti, Johanna; Lavonen, Juho; Penttinen, Tapani; J. P. Räsänen, Jari P; Kuusipalo, Jurkka. 2010. *The influence of flame, corona and atmospheric plasma treatments on surface properties and digital print quality of extrusion coated paper*. Journal of Adhesion Science and Technology. 24/3. 471–492.
- [61] Mesić, Behudin; Lestelius, Magnus; Engström, Gunnar; Edholm, Bohlin. 2005. *Printability of PE-coated paperboard with water-borne flexography: Effects of corona treatment and surfactants addition*. Pulp and Paper Canada. 106/11. 36–41.
- [62] Lahti, Johanna; Savolainen, Antti; Räsänen, Jari P; Suominen, Tanja; Huhtinen, Hannu. 2004. *The role of surface modification in digital printing on polymer-coated packaging boards*. Polymer Engineering & Science. 44/11. 2052–2060.
- [63] Tuominen, Mikko; Lahti, Joanna. 2007. *The Effects of Corona and Flame Treatment: Part 1 . PE-LD Coated Packaging Bord. 11th TAPPI European Place Conference*. 15 str.
- [64] Schuman, Thomas; Adolfsson, Britt; Wikström, Magnus; Rigdahl, Mikael. 2005. *Surface treatment and printing properties of dispersion-coated paperboard*. Progress in Organic Coatings. 54/3. 188–197.
- [65] McLeod, Donald M. 2006. *Wire-Wound Rod Coating in Coatings Technology Handbook*. Ur. A. A. Tracton. CRC Press - Taylor & Francis Group. 18.1–18.7. London.
- [66] Bolanča, Stanislav; Matijević, Igor; Golubović, Kristijan. 2015. *Packaging Printing Today*. Acta Graphica 236. 26/4. 27–33.

- [67] Bolanča, Stanislav. 2013. *Tisak ambalaže*. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb.
- [68] Mustacchi, Henry. 2002. *Diazo papers, films and chemical* in *Handbook of Imaging Materials*. Ur. Traction, Arthur A. 129–133. New York.
- [69] D'Aquanni, Peter; Baldwin, Aaron; Bavaro, Vince. 2007. *Medical device including radiopaque polymer coated coil and method therefor*. US 2007/0021811 A1.
- [70] *Hand coater*. 2019. RK PrintCoat Instruments Ltd. Dostupno na: <https://www.rkprint.com/wp-content/uploads/2018/02/New-K-HAND-COATER.pdf>.
- [71] Gregory, Bertram Hubert. 2010. *Extrusion Coating: A process manual*. Trafford Publishing.
- [72] Palfey, Albert J. 1962. *Extruder apparatus*. 3,023,456.
- [73] Lippert, Harry G. 2006. *Slot die coating for low viscosity fluids* in *Coatings Technology Handbook*. Ur. Traction, Arthur A. CRC Press - Taylor & Francis Group. 19.1–19.14. London
- [74] Furrer, Willy. 1992. *Solid feeding of silane crosslinking agents into extruder*.
- [75] Sui, Gang; Zhang, Zuo-Guang ; Chen, Chang-Qi ; Wei-Hong, Zhong. 2003. *Analyses on curing process of electron beam radiation in epoxy resins*. *Materials Chemistry and Physics*. 78/2. 349–357.
- [76] Chino, Naoyoshi; Hiraki, Yasuhito; Sato, Tsunehiko. 1989. *Coating apparatus*. 4,854,262.
- [77] McIntyre, Frederic S. 2006. *Porous roll coater* in *Coatings Technology Handbook*. Ur. Traction, Arthur A., CRC Press - Taylor & Francis Group. London. 21.1. – 21.11.
- [78] Hudoklin, Vida; Apollonio, Zvest. 1978. *Sitotisak*. DDU Universum. Ljubljana.
- [79] Majnarić, Igor. 2004. *Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [80] Riemer, Dietrich E. 1993. *The theoretical fundamentals of the screen printing process*. *Microelectronics International*. 6/1. 8–17.
- [81] Sefar AG. *Priručnik za sitotiskare*. Hrvatska udruga sitotiskara. Zagreb.
- [82] Kumar, Marko. 2008. *Tehnologija grafičnih procesov*. Centar RS za poklično izobražavanje. Ljubljana.
- [83] Walenski, Wolfgang. 1991. *Der offsetdruck eine einfuhrung in theorie una praxis*. DuMont. Koln.
- [84] Cusdin, George. 1999. *Flexography: Principles and Practices*. Foundation of Flexographic Technical Association, Inc. Ronkonkoma.

- [85] K. Meyer; R. Durholz; K. Butterich. 1995. *The Influence of the Anilox Roller on Ink Transfer in Flexoprinting*. DTFA Rep. December.
- [86] Bates, Irena; Zjakić, Igor; Budimir, Ivan. 2014. *Assessment of the print quality parameters impact on the high-quality flexographic print visual experience*. The Imaging Science Journal. 63/2. 103–110.
- [87] Miljković, Petar; Valdec, Dean; Matijević, Mile. 2018. *The Impact of Printing Substrate on Dot Deformation in Flexography*. Tehnički vjesnik. 25/2.
- [88] Hartung, Georg. 1973. *Handbuch fur den flexodrucker*. Fachbuchverlag VEB. Leipzig.
- [89] Walenski, Wolfgang. 1991. *Der Offsetdruck*. DuMont. Koln.
- [90] Bolanča, Stanislav. 2018. *Ofsetni tisak*. Sveučilište Sjever. Varaždin.
- [91] Lee, Eric R. 2003. *Methods of generating monodisperse microdrops*. Microdrop generation. CRC Press LLC. Boca Raton. 31–45.
- [92] Fagerquist, Randy. 1996. *Jet, wave, and droplet velocities for a continuous fluid jet*. The Journal of Imaging Science and Technology. 40/5. 405–411.
- [93] Palm, Lars; Nilsson, Johan. 1997. *An optical method for measuring drop flight stability in a continuous ink jet*. The Journal of Imaging Science and Technology. 41/1. 48–53.
- [94] Nothmann, Gerhard A. 1989. *Nonimpact printing*. Graphic Arts Technical Foundation. Pittsburgh.
- [95] Kitahara, Tsuyoshi. 1995. *Ink Jet Head with Multi-Layer Piezoelectric Actuator*. Recent Progress in Ink-Jet Technologies. 3–6.
- [96] McClelland, Paul H. 1995. *New Directions in Print Head Construction*. Hewlett Packard Inkjet Business Unit, Advanced Research Lab. 123–124.
- [97] Lorenze, Robert V.; Kuhman, Daniel. E. 1994. *Correlation of Misdirected Satellite Drops and Resultant Print Quality Defects with Nozzle Face Geometries in Thermal Ink Jet Printheads*. Recent Progress in Ink-Jet Technologies. 179–182.
- [98] Walenski, Wolfgang. 1994. *Das Papier-Buch*. Verlag Beruf + Schule. Itzehoe.
- [99] Kogler, Werner; Auhom, Werner J. 2006. *Coating of paper and bord in Handbook of paper and bord*. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 332–382.

- [100] Maikap, Akshay N.; Jain, Shikha; Singh, Hari K.; Gupta, Ashish; Behl, Sidharath. 2015. *Effect of primers and surface treatments on the gas barrier, mechanical, optical, printing, and flex-crack properties of the polyvinylidene chloride coated biaxially oriented polyethylene terephthalate films*. *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 31/ 2. 158–185.
- [101] Leminen, Ville. 2017. *Adding a Polymer Film Barrier Layer in the Press Forming Process of Paperboard Trays*. *Journal of Applied Packaging Research*. 9/1. 6–14.
- [102] Majnarić, Igor; Pečanić, Erik; Mirković, Ivana Bolanča; Morić, Marko; Kašiković, Nemanja. 2017. *Komparacija kolornih Inkjet otisaka nastalih s Latex strojevima*. *Međunarodni znanstveni skup Tiskarstvo & Dizajn 2017*. 1–12.
- [103] Ruizhi, Shi; Bing, Sun; Xiao, Zhou; Qiang, Su. 2012. *Tone Reproduction Characteristic of Digital Printing*, NIP28: The 28th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2012. 242–244.
- [104] Rong, Xiaoying; Obispo, San Luis. 2009. *Quality Comparison of HP Indigo to Offset Lithography*. NIP25: Proceedings of 25th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication. 478–481.
- [105] *HPE ProLiant ML350 Generation 9*. Hewlett Packard Enterprise Development LP. Dostupno na:
<https://h20195.www2.hp.com/v2/getdocument.aspx?docname=c04375628>.
- [106] *HP Indigo ElectroInk*. HP Indigo. Dostupno na:
<http://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/4AA7-4166ENW.pdf>.
- [107] *Condat data sheet*. Lecta group. 2018. Dostupno na:
https://cmspro.lecta.com/Digital/LectaProductCertificates/SafetyDataSheet_Condat.pdf.
- [108] *Commercial Substrate Evaluation Report*. HP. Dostupno na:
https://www.papierunion.de/starterkit/servlet/download/papierunion_index/689986/data/HP-Zertifikat_Condat_Digital_Silk_Digitaldruck_HPIndigo_matt_536-data.pdf.
- [109] *Michem ® In-Line Primer 030*. 2018.
- [110] *Operating the Inline Primer*. HP. Dostupno na:
ftp://ftp.hp.com/pub/gsb/Indigo/Industrial/Software/CN-ILP_User_Guide/CA394-11321.pdf.

- [111] Vikman, Katri; Sipi, Katja. 2003. *Applicability of FTIR and Raman spectroscopic methods to the study of paper-ink interactions in digital prints*. The Journal of Imaging Science and Technology. 47/2.139–148.
- [112] ASTM International, “Standard Test Method for Wetting Tension of Polyethylene and Polypropylene Films.”
- [113] X-rite *eXact Spectrophotometer*. 2018. X-rite. Dostupno na:
<https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>.
- [114] *ISO 12647-8: 2012 Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Part 8: Validation print processes working directly from digital data*. 2012. International Organization for Standardization. Dostupno na: <https://www.iso.org/standard/53436.html>.
- [115] *HP Indigo for Food Flexible Packaging*. Dostupno na:
<http://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/4AA4-8153EEW.pdf>.
- [116] *DTP41 SeriesII AutoScan Spectrophotometer*. X-rite global. Dostupno na:
https://xritephoto.com/documents/literature/en/L11-044_DTP41_en.pdf.
- [117] *Personal IAS*. QEA. Dostupno na:
http://www.qea.com/upload/files/products/datasheet_personalias-newaddr.pdf.
- [118] Pavia, Donald L.; Lampman, Gary M.; Kriz, George S.; Vyvyan, James A. 2009. *Introduction to Spectroscopy*. Brooks/Cole.

7. PRILOZI

7.1. Popis slika

| | |
|--|----|
| <i>Slika 1. Projekcija prihoda grafičke industrije u periodu od 2012. do 2022. (izvor: Smithers Pira)</i> | 13 |
| <i>Slika 2. Prikaz udjela otisnutih proizvoda u četiri dominantne tehnike tiska (izvor: Smithers Pira)</i> | 14 |
| <i>Slika 3. Postotni udio proizvodnje ambalažnih proizvoda ostvarenih tehnikama digitalnog tiska (izvor: Smithers Pira)</i> | 15 |
| <i>Slika 4. Prikaz tiskovne jedinice III. generacije HP indigo strojeva</i> | 18 |
| <i>Slika 5. Shematski prikaz sastava organskog fotokonduktora u tri sloja</i> | 19 |
| <i>Slika 6. Valjak za nabijanje PIP-a na HP Indigo strojevima</i> | 20 |
| <i>Slika 7. Osvjetljavanje temeljnog cilindra (PIP) pomoću ROS ispisne glave</i> | 21 |
| <i>Slika 8. Prikaz generiranja tiskovnih elemenata i slobodnih površina na PIP-u</i> | 22 |
| <i>Slika 9. Konstrukcija BID uređaja za nanašanje i razvijanje</i> | 23 |
| <i>Slika 10. Trenutak prije nabijanja ElectroInka na fotoreceptor</i> | 24 |
| <i>Slika 11. Struktura HP indigo ofsetne gumene navlake</i> | 25 |
| <i>Slika 12. Shematski prikaz II. transfera otiskivanja u HP Indigo strojevima</i> | 26 |
| <i>Slika 13. Prikaz čišćenja temeljnog cilindra (PIP-a) na HP Indigo strojevima</i> | 27 |
| <i>Slika 14. Vetaphone korone upotrijebljene u HP Indigo stroju: a) stražnja strana, b) prednja strana</i> | 31 |
| <i>Slika 15. Vetaphone korona ugrađena u tiskarski stroj HP Indigo WS 6800</i> | 32 |
| <i>Slika 16. Topografija površine polimernog sloja: (a) prije tretiranja koronom, (b) nakon tretiranja koronom (Joanna Izdebska, Printing on Polymers, poglavlje Corona tretament)</i> | 33 |
| <i>Slika 17. Shematski prikaz nastalih promjena u vršnom sloju tretiranog materijala - razbijanje kemijskih veza u polimernom lancu</i> | 34 |
| <i>Slika 18. Kontaktni kutovi površina: a) s niskom površinskom energijom (31 mN/m); b) s visokom površinskom energijom (42 mN/m)</i> | 37 |
| <i>Slika 19. Konstrukcija šipke za premazivanje: a) presjek šipke, b) ostvareni veliki premaz, c) standardni premaz</i> | 42 |
| <i>Slika 20. Metoda premazivanja valjkom i žičanom šipkom za regulaciju nanosa</i> | 43 |
| <i>Slika 21. Metoda premazivanja s dva valjka i žičanom šipkom za regulaciju nanosa</i> | 43 |

| | |
|--|----|
| Slika 22. Metoda premazivanja umakanjem u korito i žičanom šipkom za regulaciju nanosa | 44 |
| Slika 23. Konstrukcijski prikaz mlaznice za premazivanje: a) nacrt mlaznice u obliku vješalice, b) bokocrt mlaznice u obliku vješalice, c) nacrt mlaznice u „T” obliku, d) bokocrt mlaznice u „T” obliku. | 45 |
| Slika 24. Profili na „T” obliku jedinice za premazivanje: a) s ravnim rubnim vrhom (duga zona špricanja), b) s ravnim rubnim vrhom (srednja zona špricanja), c) na vršnom rubu (srednja zona špricanja sa šipkom), d) vršni rub ostvaren oštrim nožem (kratka zona špricanja). | 45 |
| Slika 25. Satelitska konstrukcija jedinice za premazivanje | 46 |
| Slika 26. Shematski prikaz jedinice za parcijalno premazivanje: a) konstrukcija u obliku grablji, b) konstrukcija s polupropusnom vršnom pločom. | 47 |
| Slika 27. Centralni valjak za premazivanje: a) shematski prikaz valjka, b) presjek valjka | 48 |
| Slika 28. Shematski prikaz jedinice za premazivanje na principu pukotine: a) jednostrano premazivanje, b) obostrano premazivanje | 49 |
| Slika 29. Shematski prikaz principa rada „flatbad” sitotiskarskog stroja. | 50 |
| Slika 30. Shematski prikaz rada roto sitotiskarskih strojeva: a) sitotiskarski cilindar, b) sitotiskarska rotacija | 51 |
| Slika 31. Shematski prikaz rada hibridnog premazivanja (sitotisak i fleksotisak) | 52 |
| Slika 32. Transfer premaza na tiskovnu podlogu u zoni kontakta | 53 |
| Slika 33. Metode nanašanja likvidnog bojila: a) nanošenim valjkom, b) anilox valjkom | 54 |
| Slika 34. Struktura ćelija na anilox valjku: a) kut od 60°, b) kut od 45°, c) kut od 30° | 55 |
| Slika 35. Fleksostroj za premazivanje s vertikalnom konstrukcijom tiskovnih jedinica | 56 |
| Slika 36. Fleksostroj za premazivanje s centralnim tiskovnim cilindrom | 57 |
| Slika 37. Fleksostroj za premazivanje s horizontalnom konstrukcijom | 58 |
| Slika 38. Presjek tiskovne forme za ofsetni tisak | 59 |
| Slika 39. Tiskovna jedinica za ofsetni tisak: a) konstrukcija s tri cilindra, b) zona nanašanja tekućine za vlaženje i bojila | 59 |
| Slika 40. Prikaz principa rada mlaznice kontinuiranog Inkjet-a | 62 |
| Slika 41. Prikaz principa Inkjet tiska na principu kapanja na zahtjev: a) piezo Inkjet, b) termalni Inkjet | 64 |
| Slika 42. Shematski prikaz metoda premazivanja papira korištenih u grafičkoj industriji: | 65 |
| Slika 43. Shema eksperimenta rada | 71 |
| Slika 44. Stroj HP Indigo WS 6800 | 72 |

| | |
|--|-----|
| Slika 45. Prikaz jedinice za oplemenjivanje tiskovne podloge | 74 |
| Slika 46. Shema valjaka na jedinici za primeriranje | 75 |
| Slika 47. Spektrofotometar X-RITE EXACT | 77 |
| Slika 48. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS | 79 |
| Slika 49. Prikaz FTIR-ova izmjerenih uređajem „Shimadzu IRAffinity-1” na papiru za umjetnički tisak Condat: a) prije oplemenjivanja, b) nakon oplemenjivanja prajmerom (0,5 g/m ² i 1 g/m ²) | 81 |
| Slika 50. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije bez djelovanja korone i devijacijom prajmera: a) presjek L = 20, b) presjek L = 50, c) L = 80, d) 3D prikaz | 85 |
| Slika 51. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije nastale koronom snage 450 W i devijacijom prajmera: a) presjek L = 20, b) presjek L = 50, c) L = 80, d) 3D prikaz | 86 |
| Slika 52. Prikaz gamuta kolorne reprodukcije nastale koronom snage 950 W i devijacijom prajmera: a) presjek L = 20, b) presjek L = 50, c) L = 80, d) 3D prikaz | 87 |
| Slika 53. Kolorne promjene HP Indigo cijan otisaka nastale varijacijom korone: | 88 |
| Slika 54. Kolorne promjene magenta otisaka nastale varijacijom korone: | 90 |
| Slika 55. Kolorne promjene žutih otisaka nastale varijacijom korone: | 92 |
| Slika 56. Kolorne promjene crnih otisaka nastalih varijacijom korone: | 94 |
| Slika 57. Kolorne promjene crvenih otisaka nastale varijacijom korone: | 96 |
| Slika 58. Kolorne promjene zelenih otisaka nastale varijacijom korone: | 98 |
| Slika 59. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom korone: | 100 |
| Slika 60. Uvećani HP Indigo otisci bez prajmera uz napone korone (0 W, 450 W i 950 W): | 103 |
| Slika 61. Kolorne promjene cijan otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 104 |
| Slika 62. Kolorne promjene magenta otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 106 |
| Slika 63. Kolorne promjene žutih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 108 |
| Slika 64. Kolorne promjene crnih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 110 |
| Slika 65. Kolorne promjene crvenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 112 |
| Slika 66. Kolorne promjene zelenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 114 |
| Slika 67. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera: | 116 |
| Slika 68. Uvećani HP Indigo otisci bez snage korone uz varijaciju nanosa prajmera (0 g/m ² , 0,5 g/m ² i 1 g/m ²): a) cijan, b) magenta, c) žuta, d) crna | 119 |
| Slika 69. Kolorne promjene cijan otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m ² ; c) prajmer 1 g/m ² ; d) ΔE kolorna odstupanja | 121 |

- Slika 70. Kolorne promjene magenta otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 122
- Slika 71. Kolorne promjene žutih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 123
- Slika 72. Kolorne promjene crnih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 125
- Slika 73. Kolorne promjene crvenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 126
- Slika 74. Kolorne promjene zelenih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 128
- Slika 75. Kolorne promjene plavih otisaka nastale varijacijom nanosa prajmera i napona korone u usporedbi s FOGRA standardom: a) bez prajmera; b) prajmer 0,5 g/m²; c) prajmer 1 g/m²; d) ΔE kolorna odstupanja _____ 129
- Slika 76. Uvećani HP Indigo cijan otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: 131
- Slika 77. Uvećani HP Indigo magenta otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: 133
- Slika 78. Uvećani HP Indigo žuti otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: _ 135
- Slika 79. Uvećani HP Indigo crni otisci s varijacijama nanosa prajmera i snage korone: _ 137

7.2. Popis tablica

| | |
|---|------------|
| <i>Tablica 1. Vrijednosti površinske napetosti nekih čistih tekućina pri temperaturi od 20 °C..</i> | <i>36</i> |
| <i>Tablica 2. Konverzija kontaktnog kuta u vrijednosti površinske napetosti (destilirana voda)</i> | <i>37</i> |
| <i>Tablica 3. Kategorije podloga nakon izvršenog korona tretmana</i> | <i>38</i> |
| <i>Tablica 4. Tehničke specifikacije stroja HP Indigo WS 6800</i> | <i>73</i> |
| <i>Tablica 5. Tehničke karakteristike Vetaphone korone.....</i> | <i>74</i> |
| <i>Tablica 6. Osnovne karakteristika papira – Condat digital gloss RL</i> | <i>76</i> |
| <i>Tablica 7. Karakteristika prajmera – Michem® In-Line Primer 030</i> | <i>76</i> |
| <i>Tablica 8. Osnovne funkcionalnosti mjernog uređaja X-rite eXact</i> | <i>77</i> |
| <i>Tablica 9. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-Rite DTP 41</i> | <i>78</i> |
| <i>Tablica 10. Tehničke specifikacije uređaja za slikovnu analizu Personal IAS.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Tablica 11. Izmjerene temperature i relativne vlažnosti zraka.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Tablica 12. Izmjerene površinske napetosti metodom DYNE po normi ASTM D-2578.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Tablica 13. Vrijednosti gamuta za CMYK.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Tablica 14. Varijacija snage korone.....</i> | <i>140</i> |
| <i>Tablica 15. Varijacija nanosa tekućine za regulaciju površinske napetosti</i> | <i>142</i> |
| <i>Tablica 16. Interakcija varijacija s obzirom na FOGRA standard</i> | <i>143</i> |

7.3. Popis kratica

| | |
|------------|---|
| AFM | Atomic Force Microscope |
| BID | Binary Ink Development |
| BOPET | Bi aksijalni Orijentirani Poletilen Tereftalat |
| BOPP | Bioorjetirani polipropilen |
| CIC | Central impression cylinder |
| CIE | Commission Internationale d’Eclairage |
| CIELAB | Sustav opisivanja boja |
| CGL | Charge Generation Layer |
| CGU | Charge Generator Unit |
| CMYK | Cyan, Magenta, Yellow, Key color (Black) |
| CTL | Charge Transport Layer |
| DIN | Deutsches institut für normung |
| DRUPA | International Fair Printing and Paper |
| DTP | Desk top publishing |
| ΔE | razlika u obojenju |
| EFR | etilen propilenska guma |
| FOGRA | Forschungsgesellschaft Druck e.V. (Graphic Technology Research Association) |
| FTIR | Fourier transform infrared spectroscopy |
| HCL | Hue chrome light |
| HDI | High Definition Image |
| HP | Hewlett Packard |
| ICC | International Color Consortium |
| ISO | International Organization for Standardization |
| lpi | Lines per Inch |
| LUT | Look Up Table |
| NIP | Non Impact Printing |
| PDF | Portable Document Format |
| PC | polikarbonat |
| PE | polietilen |
| PE-HD | polietilen s visokom gustoćom |

| | |
|--------|------------------------------|
| PE-LD | polietilen s niskom gustoćom |
| PET | poli(etilen-tereftalat) |
| PIB | poliisobutilen |
| PIP | Photo Image Plate |
| PMP | polimetilpentan |
| PP | polipropilen |
| PSD | Process standard digital |
| PSO | Process standard offset |
| PVC | poli(vinil-klorid) |
| PVDC | poli(viniliden-klorid) |
| RAM | Random Access Memory |
| RGB | Red, Green, Blue |
| RIP | Raster Image Processor |
| ROI | Region of interest |
| ROS | Raster Output Scanner |
| RTV | Raster tonska vrijednost |
| S.O.S. | Split Optic Sensor |
| WHIF | Writing Head InterFace |

8. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci:

mr.sc. Marko Morić

Datum i godina rođenja: 01. listopada 1975.

Mjesto rođenja: Zadar, Hrvatska

Narodnost: Hrvat

Obrazovanje:

2018. godine uspješno obranio nacrt (tezu) doktorske disertacije na Grafičkom fakultetu u Zagrebu.

2015. upisuje doktorski studij „Grafičko inženjerstvo i oblikovanje grafičkih proizvoda” na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

2011. godine stječe stupanj magistra znanosti u području tehničkih znanosti, polje grafičke znanosti na Grafičkom fakultetu u Zagrebu.

2000. upisuje poslijediplomski studij „Grafičko inženjerstvo” na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Diplomu diplomiranog inženjera stječe 2000. godine na VII/2 stupnju tehničko-tehnološkom smjeru Grafičkog fakulteta.

Iste godine upisuje Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Nakon osnovne škole, 1990. godine, pohađa prirodoslovno-matematičku gimnaziju „Juraj Baraković” u Zadru koju završava 1994. godine.

Radno iskustvo:

2018.

danas zaposlen na Sveučilištu Sjever u Varaždinu kao viši predavač na predmetima Grafički alati 1, Tiskarske tehnike, Oblikovanje tiskarskog medija, CTP sustavi i Stručna praksa

2018.

danas zaposlen u kumulativi u tvrtki Sato d.o.o. kao savjetnik direktora

2011. – 2018.

uz stalni posao honorarno angažiran prvo kao asistent (do 2013.) na predmetima Tiskarske tehnike, Vizualna psihofizika, Grafički alati 1 i Tiskovne forme, a od 2015. zaposlen u kumulativu kao predavač na predmetu CTP sustavi na Sveučilištu Sjever u Varaždinu

2017. – 2018.

zaposlen u tvrtki Uvez d.o.o. kao član Uprave društva

2004. – 2017.

zaposlen u Agenciji za komercijalnu djelatnost d.o.o.; u početku kao tehnolog, nakon 4 mjeseca rada na poslovima višeg tehnologa, od polovine 2005. obavlja poslove Voditelja proizvodnje, od 2015. do 2017. obavlja poslove Direktora proizvodnje

2004.

8 mjeseci radi u tvrtki Kerschoffset kao kalkulant

2001. – 2003.

uz stalni posao honorarno angažiran kao stručni suradnik na predmetima Digitalni tisak, Grafički programski jezici i Tipografija, na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu

1998. – 2004.

zaposlen u tvrtki FS d.o.o. kao operater s područjem rada u pripremi, digitalnom tisku, doradi i pripremanju projekata i seminara

Poznavanje jezika: služi se engleskim jezikom u pismu i govoru.

Znanja i vještine:

Opća:

organizacija, planiranje, rukovođenje, komunikacija, timski rad

Informatička:

Ključni korisnik pri implementaciji SAP ERP informatičkog sustava u tvrtki AKD d.o.o. i to za cijelu organizacijsku cjelinu Proizvodnje 2005.g.

Za vrijeme i nakon implementacije obučavao krajnje korisnike Odjela Proizvodnje. Ključni korisnik prilikom implementacije programa za izradu kalkulacija i planiranje proizvodnje Admera 2008. g. također u tvrtki AKD d.o.o. Napredno znanje Microsoft Office paketa.

9. OBJAVLJENI RADOVI

Kvalifikacijski radovi

1. Morić, Marko. 2011. *Prilagodba informatičkog sustava specifičnostima grafičke tvrtke*. Magistarski rad. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.

Izvorni znanstveni i pregledni radovi u CC časopisima

1. Majnarić, Igor; Morić, Marko; Modrić, Damir. 2019. *Light stability in cyan and magenta tones using standard and highly chromatic toner particles*. *Coloration Technology*. 1-9. (članak, znanstveni)

Znanstveni radovi u drugim časopisima

1. Lešić, Ana; Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Morić, Marko; Bolanča Mirković, Ivana. 2017. *Light Permanence Wrap Prints Produced with CMYK UV Inkjet Inks*. *Tehnički glasnik*. 11/4. 195–200.

2. Majnarić, Igor; Jakelić, Marija; Morić, Marko; Sviličić, Blaž; Modrić, Damir; Kašiković, Nemanja. 2016. *Postojanost na močenje crnih inkjet otisaka*. *Polytechnic & Design*. 4/3. 266–276.

Kongresno priopćenje (sažetci) u ostalim časopisima

1. Morić, Marko; Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Barišić, Mario; Šarić, Donatela. 2019. *Mogućnost ostvarivanja većih kolornih vrijednosti sekundarnih tonova djelovanjem različitih snaga korone*. *Printing & Design 2019*. Ur. Žiljak Gršić, Jana. 29–29. (predavanje, sažetak, znanstveni)

2. Majnarić, Igor; Tomašegović, Dario; Morić, Marko. 2018. *Utjecaj visine ispisne glave na reprodukciju crnih tonova u tehnicima UV LED Inkjeta*. *Zbornik sažetaka Printing@Design18*. Ur. Žiljak Gršić, Jana. 21–21. (pozvano predavanje, sažetak, znanstveni)

3. Morić, Marko; Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Barišić, Mario. 2018. *Utjecaj napona korone i dodatno premazivanje papira na reprodukciju sekundarnih tonova otisnutih na HP Indigo stroju*. *22nd International conference on printing, design and graphic communication*. Blaž Baromić 2018. Ur. Mikota, Miroslav. Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet. Zagreb. 32–32. (predavanje, sažetak, znanstveni)

4. Majnarić, Igor; Pečanić, Erik; Bolanča Mirković, Ivana; Morić, Marko; Kašiković, Nemanja. 2017. *Komparacija kolornih inkjet otisaka nastalih s Latex strojeivma 2. i 3. generacije*. Printing & Design 2017. Ur. Žiljak Vujić, Jana. 13 str. (predavanje, domaća recenzija, sažetak, stručni)

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom

1. Lešić, Ana; Majnarić, Igor; Modrić, Damir; Morić, Marko; Bolanča Mirković, Ivana. 2017. *Svjetlosna postojanost Wrap otisaka otisnutih sa CMYK Ecosolventnim Inkjet bojama*. Proceedings MATRIB 2017. Ur. Šolić, Sanja; Dolić, Natalija. Sveučilište Sjever. Koprivnica .131–140. (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

2. Majnarić, Igor; Kašiković, Nemanja; Eškinja, Stanko; Morić, Marko. 2016. *Light permanence orange and violet electroink prints*. Proceedings the 8th international symposium GRID 2016. Ur. Pavlović, Živko. University of Novi Sad Faculty of Tehnical Sciences. Novi Sad. 237–243. (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

3. Morić, Marko; Vlašić, Jelena; Čačić, Marko. 2013. *Utjecaj mikro i makro klimatskih uvjeta na ponašanje PVC materijala u procesu izrade kartica procesa*. Proceedings of 17th International Conference on Printing, Design and Graphic Communications 2013. Ur. Mikota, Miroslav. Croatian Society of Graphic Artists. Senj. 224–233. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

4. Morić, Marko; Modrić, Damir; Vlašić, Jelena. 2012. *Utjecaj metodologije implementacije ERP informatičkog sustava za punu funkcionalnost proizvodnog procesa*. Proceedings of 16th International Conference on Printing, Design and Graphic Communications 2012. Ur. Mikota, Miroslav. Croatian Society of Graphic Artists. Senj. 224–233. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

5. Vlašić, Jelena; Milković, Marin; Morić, Marko. 2012. *Utjecaj kalibracijskih krivulja na prirast rastertonskih vrijednosti u tisku*. Proceedings of 16th International Conference on Printing, Design and Graphic Communications 2012. Ur. Mikota, Miroslav. Croatian Society of Graphic Artists. Zagreb. 253–261. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

6. Sviličić, Blaž; Morić, Marko; Nježić, Zoran. 2002. *Nove mogućnosti tiska na ambalaži digitalnim tehnikama*. Package printing proceedings, additional materials. Tectus. Zagreb. (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

7. Sviličić, Blaž; Žiljak, Jana; Žiljak, Ivana; Morić, Marko. 2002. *Microtext design for digital printing techniques*. Proceedings of the 7th International Design Conference. Ur. Marjanović, Dorian. (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

Drugi radovi u zbornicima skupova s recenzijom

1. Majnarić, Igor; Morić, Marko; Sviličić, Blaž; Modrić, Damir; Kašiković, Nemanja. 2016. *Klasično i multicolour otiskivanje Pantone zelenih i Pantone narančastih nijansi*. Proceedings Matrib 2016. Ur. Žmak, Irena, Aleksandrov Fabijanić, Tamara; Čorić, Danko. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju. Zagreb. 199–209. (poster; domaća recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

2. Majnarić, Igor; Bolanča, Stanislav; Morić, Marko; Sviličić, Blaž. 2011. *Kolorimetrijska analiza UV lakirane rigidne vinilne podloge prethodno otisnute u tehnici offsetne elektrofotografije*. Proceedings of Matrib 2011. Ur. Schauerperl, Zdravko; Šolić, Sanja. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju. Zagreb. 256–265. (poster; domaća recenzija, objavljeni rad, stručni)

Sažeci u zbornicima skupova

1. Priselac, Dino; Majnarić, Igor; Morić, Marko. 2018. *Utjecaj primera na kvalitetu crnih otisaka*. Zbornik sažetaka: Matrib 2018 – Materials, Tribology, Recycling. Ur. Šnajdar, Mateja Musa; Sakoman, Matija. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju. Zagreb. 44–44. (poster, sažetak, znanstveni)

2. Gavran, Mijo; Majnarić, Igor; Đaković, Darija; Morić, Marko. 2015. *Otiskivanje metalik bojila u litografskom offsetnom tisku*. Tiskarstvo & Dizajn 2015. Ur. Žiljak Vujić, Jana. 276–276. (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak)

