

Utjecaj postavki Ink-jet jedinice za lakiranje na realizaciju metalik efekata

Pintar, Matko

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:216:777071>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

Matko Pintar

**Utjecaj postavki Ink-jet jedinice za
lakiranje na realizaciju metalik efekata**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Matko Pintar

Utjecaj postavki Ink-jet jedinice za lakiranje na realizaciju metalik efekata

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Matko Pintar

Zagreb, 2020.

SAŽETAK

U grafičkoj tehnologiji digitalni tisak svojom cijenom i efikasnošću pokušava sustići konvencionalne tiskarske tehnike. Inkjet tehnika danas je jedna od vodećih tehnika digitalnog tiska, ponajprije zbog kvalitete otisaka i brzine tiska. Otiscima ostvarenim u digitalnim tehnikama dodatnu vrijednost daju mogućnost personalizacije i različiti postupci doradivanja. Jedan od cijenom dostupnih efekata je reprodukcija metalik tonova koja se primjenjuje za potrebe visoko kvalitetnih aplikacija. Moguća realizacija takvog specijalnog efekata temelji se na parcijalnom lakiranju pomoću Inkjet glava te naknadnog termalnog nanašanja metalik folije. Takvi postupci se danas mogu izvoditi na hibridnim strojevima koji prvo nanašaju UV sušeci lak da bi se nakon toga ostvarilo nanašanje (vezivanje) metalik folije.

U ovom radu testirat će se efekt prihvaćanja laka i folije nanašanjem laka direktno na mat tiskarsku podlogu (karton za umjetnički tisak, gramature 300 g/m²). Korištena metalik folija bila je Murata Gold. Za potrebe eksperimenta korišten je tiskarski stroj MGI JET Varnish 3DS s ugrađenih 5 Konica Minolta Inkjet glava tipa KM1024iLHE-30 s dvije UV sušecne lampe. Njihovim djelovanjem ispitat će se kako različita količina nanesenog UV sušecnog laka utječe na adheziju metalik folije te kako produkcijska brzina tiskarskog stroja JET Varnish 3Ds utječe na istu. Tijekom eksperimenta softverski je mijenjan je nanos UV laka u modifikaciju 6 karakterističnih debljina (21 μm, 29 μm, 36 μm, 43 μm, 51 μm te 58 μm) uz konstantnu temperaturu transfera folije od 105 °C. Dodatno je ispitan i utjecaj brzine kretanja tiskovne podloge (0,300 m/s; 0,240 m/s; 0,159 m/s) uz konstantni nanos UV laka. Ostvoreni otisci analizirani su metodom slikovne analize u programu ImageJ. Programom OriginPro izračunate su ostvarene devijacije, te su kreirani karakteristični grafički prikazi. Cilj rada je analizirati kvalitetu otisaka nastalih nanašanjem metalnih transfer folija, odnosno odrediti kvalitetu vektorskih ilustracija, točkastih i linijskih elemenata. MGI JET Varnish 3DS najbolje reproducira sve elemente pri nanosu laka od 21 μm i brzini otiskivanja od 0,240 m/s. nema potrebe za većim nanosima laka jer neće dati bolji efekt. izuzetak su motivi sa velikom površinskom pokrivenošću.

Ključne riječi: tisak folijom, UV lak, slikovna analiza, Konica Minolta ispisne glave KM1024iLHE

ABSTRACT

In graphic technology digital printing with its price and efficiency tries catch up with conventional printing techniques. Inkjet technique today is one of the most used techniques of digital printing, primarily due to the quality of prints and production speed. The possibilities of personalization and various finishing procedures add value of digital prints. One of the available reproduction effects is metallic tones applied for high quality purposes. The possible realization of such a special effect of partial varnishing uses Inkjet heads and subsequent thermal transfer application of metallic foil. Such processes today can be performed by hybrid machines that first had a UV drying varnish to then achieve the application (bonding) of the metallic foil.

In this paper, the effect of accepting varnish and foil by applying varnish directly on a matte printing substrate (cardboard for artistic printing, grain 300 g / m²) will be tested. The metallic foil used was Murata Gold. For the purposes of experimentation, the MGI JET Varnish 3DS printing machine with a built-in 5 Konica Minolta Inkjet head type KM1024iLHE-30 with two UV drying lamps is used. The amount of UV drying varnish applied, affecting the adhesion of the metallic foil and how the production speed of the JET Varnish 3Ds printing machine affects it will be tested. During the experimental, the UV application was changed to modify 6 characteristic thicknesses (21 µm, 29 µm, 36 µm, 43 µm, 51 µm and 58 µm) with a constant foil transfer temperature of 105° C. Additional testing and the influence of the speed of movement of printing media (0,300 m/s; 0,240 m/s; 0,159 m/s) with constant application of UV varnish. The realized prints were analyzed by the method of image analysis in the ImageJ program. The OriginPro program calculated realized deviations, which created characteristic graphic representations. The aim of this paper was to analyze the quality of prints created by applying metal transfer foils, by determining the quality of vector illustrations, dotted and line elements. The MGI JET Varnish 3DS best reproduces all elements at a 21 µm varnish application and a print speed of 0.240 m / s. There is no need for larger coats of varnish because it will not give a better effect. The exception is motifs with large surface coverage.

Key words: folio printing, UV varnish, image analysis, Konica Minolta printheads KM1024iLHE

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Povijesni razvoj Inkjet tiska	2
2.2. Inkjet tehnologija otiskivanja.....	4
2.3. Piezoelektrični Inkjet	8
2.3.1. Piezoelektrični element	10
2.3.2. Piezoelektrični Inkjet na principu smicanja	11
2.4. Inkjet ispisne glave koje rade na principu smicanja.....	13
2.5. Boje i lakovi za Inkjet	21
2.5.1. UV boje i UV lakovi	21
2.5.2. Izvori UV svjetla koji se koriste za sušenje kod UV Inkjeta.....	23
2.6. Tiskarski stroj MGI JET Varnish 3DS.....	27
2.6.1. Jedinica za ulaganje.....	29
2.6.2. AIS Smart Scanner	31
2.6.3. Jedinica za nanos laka i sušenje	32
2.6.4. Jedinica za nanašanje folije.....	33
3. EKSPERIMENTALNI DIO	35
3.1. Opis eksperimenta.....	35
3.2. Korišteni tiskarski strojevi i mjerni uređaji.....	37
3.2.1. Konica Minolta AccurioPrint C3070L.....	37
3.2.2. JET Varnish 3DS.....	38
3.2.3. X-Rite Elcometer 407 Statistical Glossmeter.....	40
3.2.4. Skener CanoScan LiDE 700F	41
3.3. Korišteni materijali	42
3.3.1. Papir UPM Silk	42
3.3.3. Brzosušević UV Lak P/N 10143S.....	43
3.4. Korištene metode	44
4. REZULTATI I DISKUSIJA	46
4.1. Profil sjaja korištenih materijala (eksperiment 1)	46
4.2. Analiza linijskih uzoraka.....	48
4.2.1. Analiza linijskih uzoraka ovisno o promjeni debljine nanosa laka (eksperiment 2) .	48
4.2.2. Analiza linijskih uzoraka ovisno o promjeni brzine nanosa laka (Eksperiment 3) ...	70
4.3. Analiza 4 površine s okruglim tiskovnim elementima.....	79

4.4. Analiza testa rezolucije	92
5. ZAKLJUČAK.....	97
6. LITERATURA	101
7. PRILOZI	103
POPIS SLIKA	103
POPIS TABLICA	107

1. UVOD

Tehnike digitalnog tiska postale su svakodnevica, odnosno primjena različitih NIP tehnologija daju korisniku veću vrijednost proizvoda. Korisnici digitalnog tiska pokušavaju osigurati vrlo kvalitetne proizvode uz što veću ekonomičnost u tisku malih naklada. Kako bi se povećala konačna vrijednost proizvoda, proizvođači digitalnih strojeva ulažu ekstremne napore prilikom razvoja novih tehnologija i njihovom mogućnosti prilikom otiskivanja i oplemenjivanja.

Inkjet tehnologija ispisa najzastupljenija je u domeni digitalnog tiska, odnosno ima najširu primjenu, te mogućnost proizvodnje malih i velikih naklada. Inkjet tehnologija je i dalje u razvoju, te se pokušavaju razviti dodatni alati za podizanje kvalitete proizvoda kao što su: lakiranje, folio tisak... Spektar dostupnosti Inkjet uređaja je vrlo širok, počevši od kućne upotrebe pa do ozbiljne grafičke proizvodnje.

Inkjet tehnika tisak ima mogućnost ostvarivanja otiska na gotovo svim tiskovnim podlogama. Inkjet u grafičkoj proizvodnji koristi se u gotovo svim područjima, kao što su komercijalni tisak (tisak računa, ulaznica; knjiga, brošura, novina...), dekorativni tisak za tisak znakova, keramike ili tapeta, tisak ambalaže, točnije etiketa, s ciljem razvoja u smjeru tiska valovite ljepenke, kartona i staklenih boca. Mogućnost korištenja Inkjet tehnologije u industrijskom tisku sve je veća. On se koristi za 3D tisak i tisak kodova za označavanje, senzora, plastičnih kartica, ali se razvija i mogućnost tiska elektroničkih komponenti. Kako postoji mogućnost tiska na različite materijale, također se razvija tisak na tekstilne podloge (tisak majci, kravata, dizajnerskih tkanina itd.).

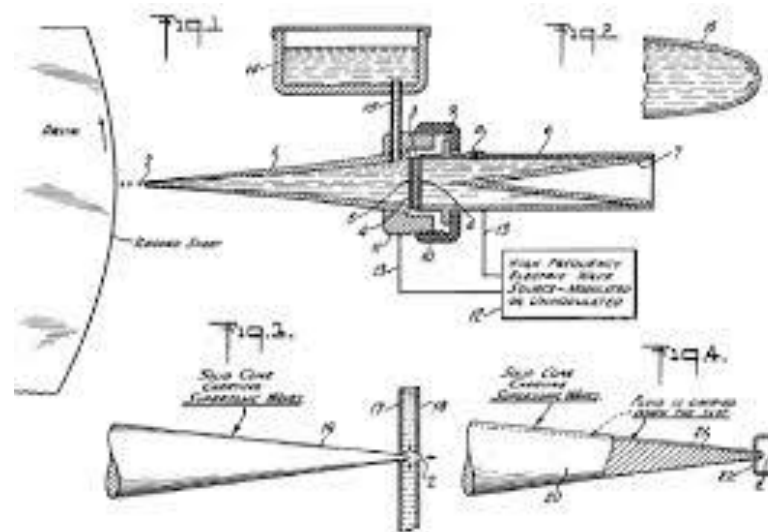
Zbog trenutnog sušenja procesom polimerizacije, odnosno djelovanje UV i LED sušača, Inkjet tehnologijom moguće je stvoriti trodimenzionalni otisak. Stvaranjem trodimenzionalnog otisaka ostvaruje se mogućnost teksturiranja, imitacije konvencionalnih klišeja za folio tisak pa čak i reprodukciju Brailleovog pisma. Naše istraživanje je provedeno s ciljem daljnjeg razvoja i razumijevanja mogućnosti Inkjet tehnike tiska.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijesni razvoj Inkjet tiska

Ideja razvoja Inkjet tehnologije temelji se na kontinuiranom istjecanju mlaza tekućine kroz kružni otvor koji je prvi opisao belgijski fizičar J. A. F. Plateau. Detaljni način razbijanja mlaza tekućine u sitne kapljice prvi je izveo Lord Rayleigh (1878.), čime je omogućio konačni razvoj Inkjeta. Prvi komercijalni patent na temelju Rayleighovog opisa dogodio se 1951., kada je Rune Elmqvist u tvrtki Siemens patentirao Minograf (prvi Inkjet uređaj za izradu medijskih kartica za pohranu analognih naponskih signala). [1]

Pred kraj 1940-ih Clarence Hansell iz SAD-a izumio je uređaj koji generira kapljice na zahtjev, odnosno samo onda kada je potrebno. Na slici 1 prikazana je originalna shema promjene piezoelektričnog materijala (pretvaranje električne energije u mehaničku energiju). Kada se signal aktivira, mlaznica ispunjena tekućom bojom se stisne te ispušta tekuću boju. [1]



Slika 1 Konstrukcija prvog piezoelektričnog Inkjeta

(Izvor: Svanholm, E. (2007.), *Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing*, Faculty of Technology and Science Chemical Engineering, Karlstad)

Početak 1960.-ih godina Richard Sweet sa Sveučilišta Stanford ispitivao je razbijanje mlaza tekućine u kapljice. Primjenom elektromagnetskih valova na otvor mlaznice ostvario je razbijanje mlaza na kapljice, ali i uspješno određivanje veličine i međusobnog

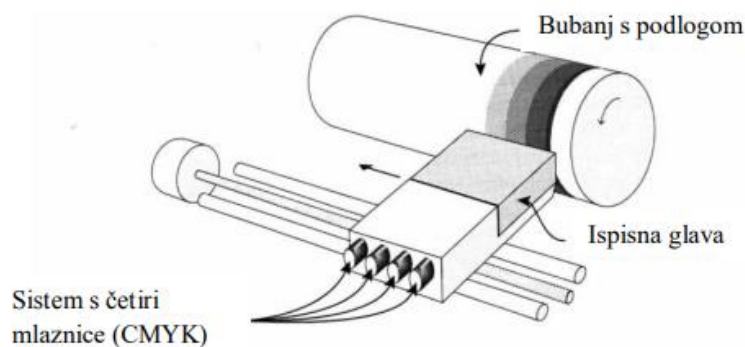
razmaka između kapljica. Prolaskom kapljica kroz električno polje, nenabijene kapljice dolaze na tiskovnu podlogu, a nabijene kapljice se skreću u spremnik. Ta spoznaja dovela je do konstrukcije prvog visokoproduktivnog kontinuiranog Inkjeta. [2]

Tvrtka *Applicon*, je 1977. predstavila prvi Inkjet stroj u boji. No, nastavku razvoja Inkjeta doprinio je izum računala. Informatička tvrtka *IBM* 80-ih godina pokrenula je razvoj izravnog ispisivanja podataka iz računala, što je ujedno bio prvi komercijalni Inkjet uređaj. [1] Daljnjim razvojem informatičke tehnologije (digitalni fotoaparati, skener, ...) dolazi do integracije s Inkjetom što rezultira s velikom komercijalnom prodavajom.

Jednostavna arhitektura ispisnih Inkjet glava dovela je do jeftinije proizvodnje Inkjet uređaja. Godine 1984. tvrtka *Helwett Packard* prva je lansirala jeftinije ispisne uređaje, s jednokratnom ispisnom glavom. Povećanjem kvalitete ispisa, te smanjivanjem troškova izrade Inkjet tehnika počela je zamjenjivati veliko formatni sitotisak, te specijalizirani tampon tisak. Do danas svi proizvođači rade na poboljšavanju tehnologije ispisa, tiskovnih podloga i bojila, što dovodi do veće produktivnosti i rezolucije ispisa. [2]

2.2. Inkjet tehnologija otiskivanja

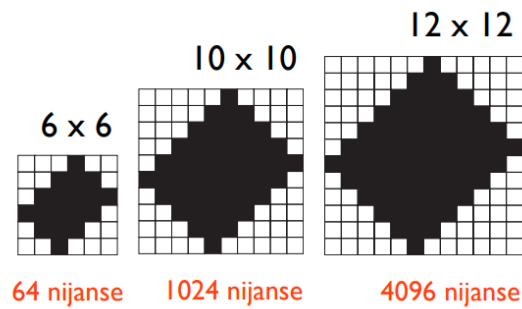
Glavna karakteristika svih Inkjet tehnika otiskivanja je formiranje kapljica tekućine (najčešće boje) veličine nekoliko pikolitara. Inkjet je otiskivanje gdje ispisna glava formira i ispušta kapljice boje na tiskovnu podlogu bez dodira s podlogom. Ispisna glava tako horizontalno skenira stranicu, pomičući se pomoću elektromotora lijevo-desno, dok drugi elektromotor rotira valjak na kojem se nalazi tiskovna podloga. Kada je otisak gotov, tiskovna podloga izlazi u izlagaču ladicu, a u stroj ulazi novi papir. Kako bi se proces otiskivanja ubrzao, ispisna glava otiskuje više redova piksela u isto vrijeme. [3]



Slika 2 Princip rada Inkjet stroja

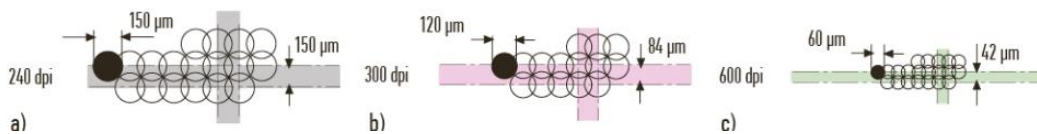
(Izvor: Yang, L. (2003.), *Ink-paper interaction. A study in Ink-jet color reproduction*, Department of Science and Technology Linköping University, Norrköping)

Inkjet tehniku definiraju dvije karakteristike, frekvencija rastriranja i rezolucija ispisivanja. Frekvencija rastriranja nam govori o brzini formiranja najmanjih otisnutih tiskovnih elemenata (rasterskih točaka, linija) po jedinici duljine. Za digitalni tisak karakteristično je digitalno rastriranje, gdje se osim na vrijednost linijature može utjecati i na realizaciju same rasterske ćelije. Digitalni tiskovni elementi bit će stvoreni pomoću matrica različitih veličina. Najmanja matrica tako sadrži 2x2 piksela (4 nijanse sive), a trenutno najveća 12x12 piksela (4096 nijansi sive). Ako rasterske ćelije sadržavaju veći broj piksela, tada se može postići veći broj sivih nijansi unutar jednog reproduciranog rasterskog elementa, te tako poboljšati kvalitetu reprodukcije višetonskih slika (fotografsko otiskivanje). [2]



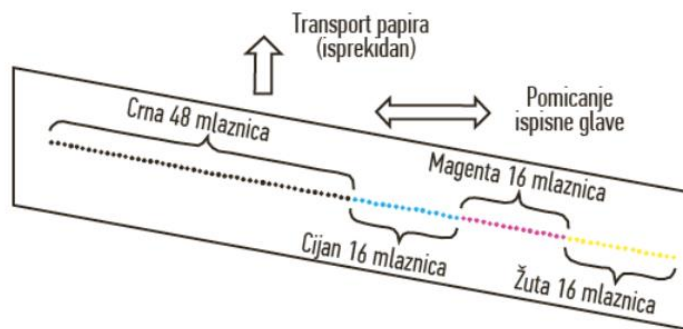
Slika 3 Primjer digitalnih rastriranih ćelija za 50% rastersko područje: a) matrica 6x6, b) matrica 10x10, c) matrica 12x12 (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.)

Rezolucija je definirana brojem tiskovnih elemenata (točkica, piksela) po jedinici duljine koje se mogu reproducirati na monitoru ili tiskovnoj podlozi. Što znači da će veća vrijednost rezolucije dovesti i do većeg broja reproduciranih detalja. Na slici 4 prikazano je kolika se veličina najmanjeg rasterskog elementa formira pri 3 standardne rezolucije [2]



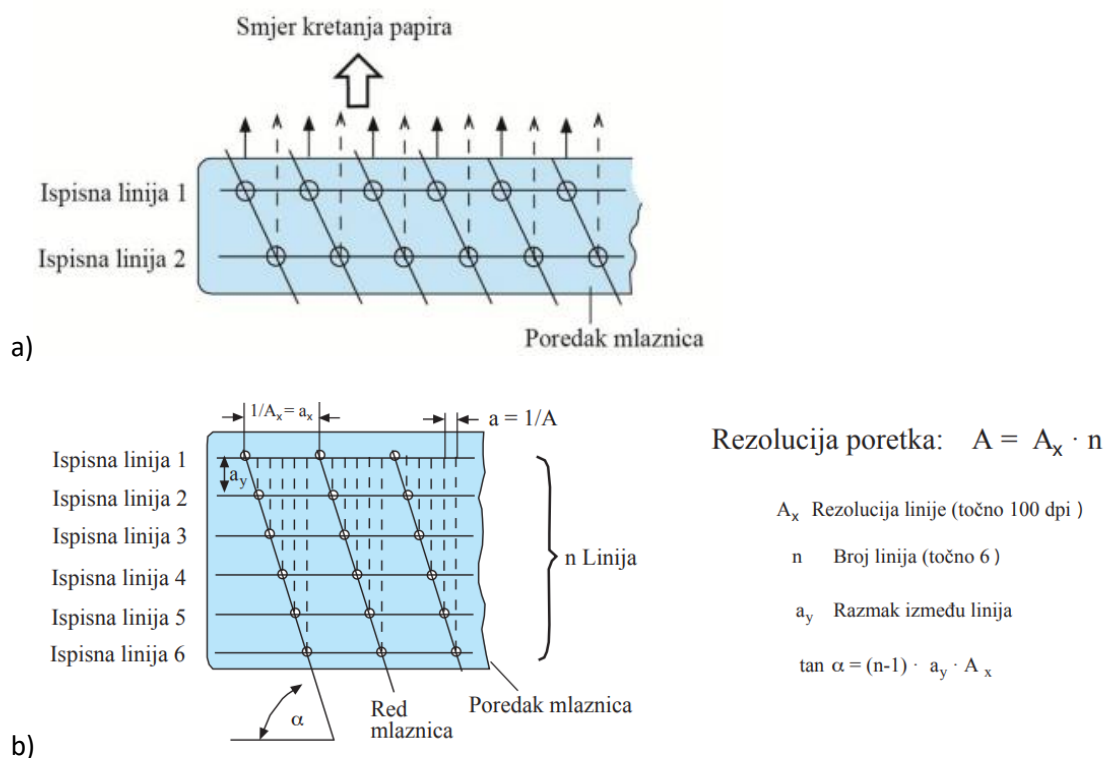
Slika 4 Utjecaj rezolucije na kvalitetu reprodukcije tiskovnih elemenata: a) niska rezolucija (240dpi), b) srednja rezolucija (300dpi), c) visoka rezolucija (600dpi) (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.)

Prilikom tiska formata papira A4 (210x297 mm), Inkjet stroj će pri rezoluciji od 300 dpi tako formirati 2475 kapljica po širini jednog reda stranice. Kod Inkjet strojeva u boji unutar jedne ispisne glave nalaze se mlaznice s više različitih boja, te se tako u jednom prolazu ispisne glave mogu otiskivati tri procesne boje (cijan, magenta, žuta) te zasebna crna. Kod uredskog printera (slika 5) svaka ispisna glava ima 96 mlaznica (16 mlaznica za žutu, 16 mlaznica za magentu, 16 mlaznica za cijan i 48 mlaznica za crnu). Razmak između mlaznica obično iznosi 500 µm čime se postiže ciljanu rezolucija od 300 dpi. Također, razvojem preciznijih Inkjet glava, moguće je formirati manji razmak između rasterskih elemenata. Moguće je formirati manji razmak između rasterskih elemenata (84 µm), što se postiže rotiranjem reda mlaznica za kut od 9,6°, kao što je prikazano na slici 6a.



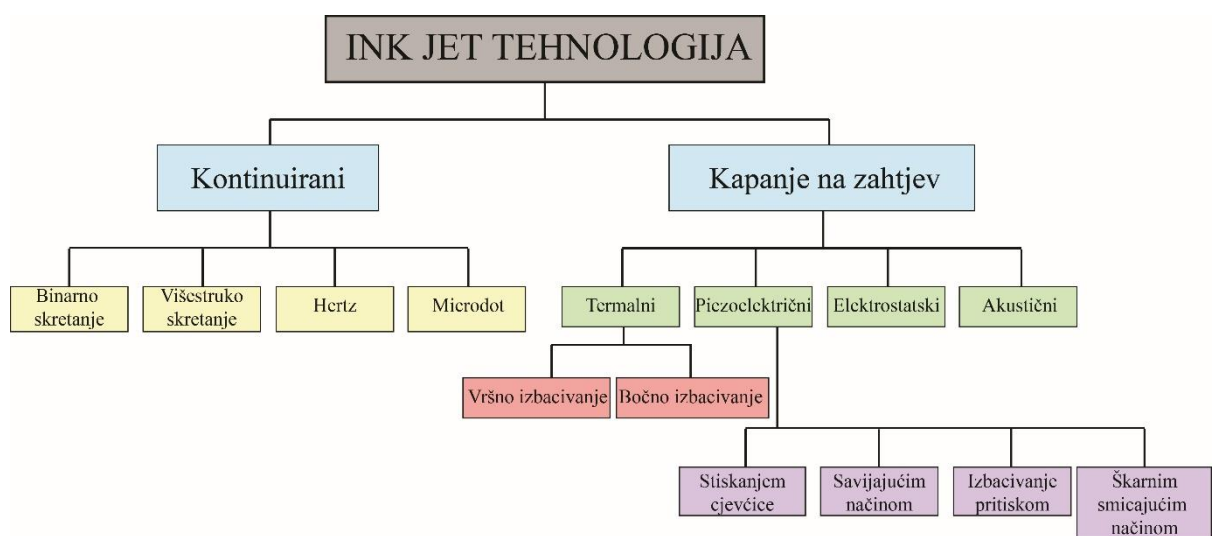
Slika 5 Segment generiranja jednog reda ispisne glave (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.)

Pojedinačna ispisna linija može postići rezoluciju samo od 240 dpi. U slučaju da ispisna linija ima nižu rezoluciju, ugrađuje se više ispisnih linija (broj otvora), pri čemu je moguće koristiti i 1024 mlaznica. Viša rezolucija tako se postiže rasporedom mlaznica pod kutem $9,6^\circ$ jedan iza drugoga. Tako će rezolucija od 600 dpi značiti da ispisna glava ima 6 ispisnih linija, po 100 dpi. (slika 6, b)) [2]



Slika 6 a) Rotacija mlaznica; b) Raspored otvora mlaznica rezolucije od 600 dpi (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.)

Ovisno o načinu generiranja kapljica Inkjet se dijeli u dvije osnovne skupine, kontinuirani Inkjet i Inkjet s formiranjem kapljica na zahtjev. Kontinuirani Inkjet može raditi na četiri principa generiranja kapljastog medija: binarnim skretanjem kapljica boje, višestrukim skretanjem kapljica boje, Hertzovim principom i principom mikrodot. Češće korišteni Inkjet koji radi na principu kapanja na zahtjev. Zbog toga se može pronaći i u više varijanti. To su: termalni Inkjet, piezo Inkjet, elektrostatski Inkjet i akustični Inkjet. Svi sistemi za Inkjet uglavnom koriste tekuće boje. Međutim, piezo Inkjet i elektrostatski Inkjet mogu koristiti i gušće (taljive) boje što im omogućava sušenje skrućivanjem. [2] Opći prikaz postojećih Inkjet tehnologija prikazan je na slici 7.

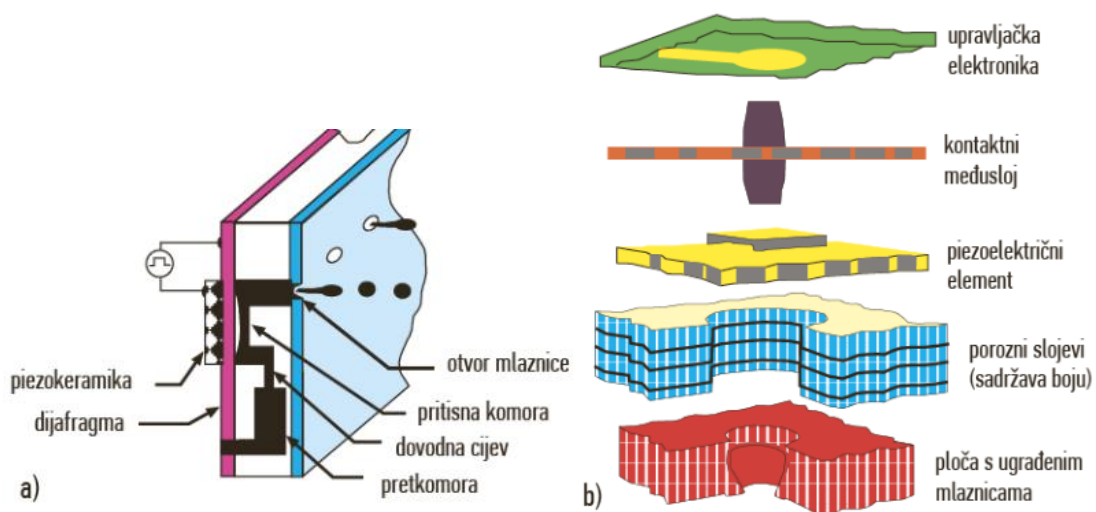


Slika 7 Prikaz podjele Inkjet tehnologija

2.3. Piezoelektrični Inkjet

Piezoelektrični Inkjet je vrsta Inkjeta s formiranjem kapljica na zahtjev, koji može koristiti sve tipove Inkjet boja bez obzira na otapala koja su dodana u boju. Kapljica je formirana promjenom volumena u komori s bojilom, uslijed deformacije piezoelektričnog elementa koji je izložen djelovanju električnog napona. Prestankom djelovanja napona piezo element se vraća u prvotni položaj, te zbog stvaranja podtlaka izvodi izbacivanje kapljica. [4]

Glavne karakteristike piezoelektričnog Inkjeta su: promjer kapljice od 30 μm , brzina, odnosno frekvencija kapanja od 10 do 45 Hz, te volumen kapljica od 2 do 14 pl. [5] Za formiranje kapljica, potrebna je višeslojna piezoelektrična glava koja sadrži sljedeće dijelove: piezoelektrični element debljine oko 20 μm , dijafragma debljine 3 μm napravljenu od cirkona, pretkomore, dovodne cijevi i pritisne mikrokomoru s vršnim mlaznim otvorom (slika 8, a). No, za potrebe veće produktivnosti takva glava se može i modificirati, pa tako sadržavati: upravljački sklop, kontaktni međusloj, piezoelektrični element, porozni slojevi (sadržava boju) i završnu ploču s ugrađenim mlaznicama (slika 8, b). [2]



Slika 8 Prikaz piezoelektrične ispisne glave za Inkjet: a) osnovni dijelovi; b) prikaz po slojevima (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

Prilikom izrade ispisne glave, najvažnija je konstrukcija poroznog sloja i ploče s mlaznicama. Porozni sloj građen je tako da nekoliko nekorozivnih pločica budu spojene pri visokoj temperaturi. Njihova debljina obično se kreće oko 6 μm . Prilikom spajanja pločica nanosi se zlatni sloj, kako bi se pločice hermetički brtvile, odnosno kako ne bi

došlo do istjecanja boje. Osim zlata pločice se mogu spajati i niklom i epoksi spojevima. Završna pločica s mlaznicama načinjena je od nikla. Kako takva pločica sadrži mnogo otvora, izrađuje se galvanskim nanošenjem nikla ili laserskom ablacijom poliamidne površine. Samim time promjer i debljina izrađene mlaznica utječu na volumen, brzinu kretanja i smjer putanje kapljica. Stoga se otvori na mlaznicama izrađuju mikrobušenjem, mikropritiskanjem ili elektroneutraliziranjem.

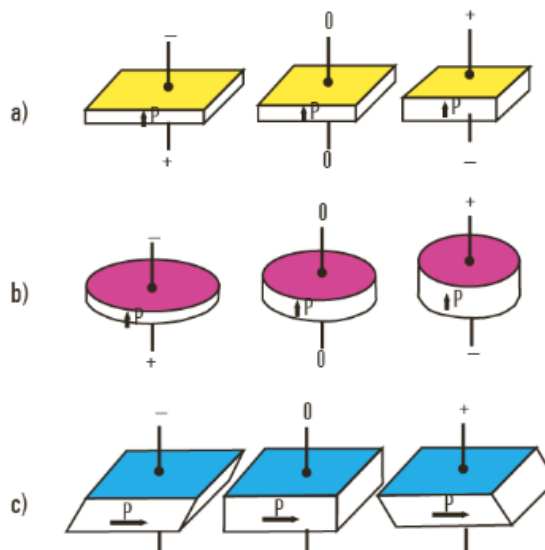
Pri piezoelektričnom otiskivanju dotok boje mora biti konstantan i bez prisutnosti zraka. Zbog toga se boja iz spremnika ulijeva u pretkomoru iz koje se cjevčicama distribuira u mikro komoru. Kao što je već spomenuto, kapljice nastaju deformacijom piezoelektričnih materijala. Potisni val, odnosno podtlak, mora biti dovoljno jak da bi se svladala površinska napetost na otvoru mlaznice. Zbog toga se na otvoru mlaznice, u jednom trenutku, stvara kapljični meniskus, gdje je meniskus je fizikalna pojava početka stvaranja kapljice koja još nije u potpunosti formirana. Za formiranje kapljice u potpunosti, tlak koji utječe na formiranje kapljice mora dovoljno dugo trajati. [2]

2.3.1. Piezoelektrični element

Postoje dvije skupine piezoelektričnih materijala. Prvu skupinu čine prirodni materijali, kod kojih se piezoelektrični efekt postiže zbog njihove kristalne strukture. Kvarc je najbolji predstavnik prirodnih piezoelektričnih elemenata. Druga skupina piezoelektričnih materijala je umjetnog podrijetla, te su zbog toga kemijski inertni i čvršći. Materijali koji spadaju u drugu skupinu su polikristalne keramike. Piezoelektrični element sastoji se od piezoelektričnog materijala s barem dvije elektrode u kontaktu s piezoelektričnim materijalom. [5]

Piezoelektrični element se bez djelovanja električnog polja, ponaša kao izolator. Međutim, djelovanjem električnog polja počinje se ponašati kao dipol (sustav dvaju polova iste jakosti, ali suprotnog polariteta) [6]. Dovođenjem naboja na površinu piezoelektričnog elementa dolazi do njegovog širenja ili stezanja, ovisno o stvorenom polaritetu na piezo elementu.

Deformacije piezo elemenata mogu biti različite. Stoga, u piezoelektričnom Inkjetu razlikujemo tri načina formiranja kapljica: deformacija po širini i dužini (savijanjem piezo elementa), kružnom deformacijom (guranjem piezoelementa) i škarnom deformacijom (smicanjem piezo elementa). (slika 9) [2]

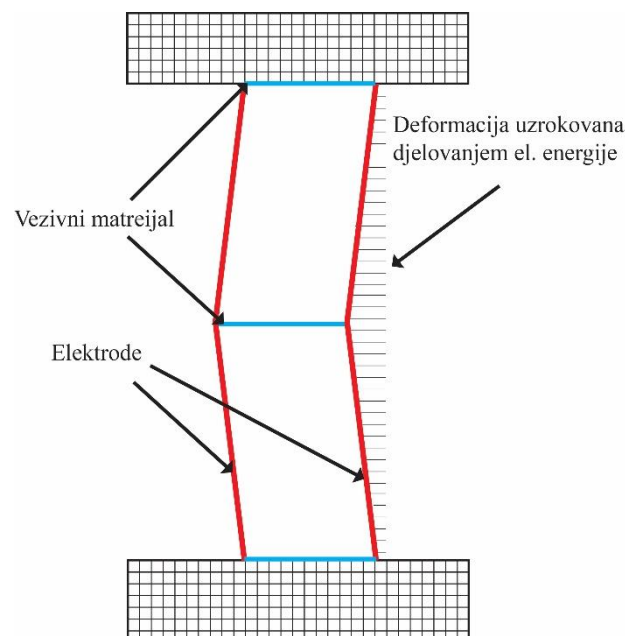


Slika 9 Prikaz deformacija piezokeramičkih pločica: a) deformacija po širini i dužini; b) kružna deformacija (bočna); c) smicajuća deformacija (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

U piezoelektričnom Inkjetu upotrebljavaju se kristali koji imaju veliku elastičnost. Takvi elementi mogu biti: pojedinačni kristali (kvarc, litijski niobat, litijski tantalid, amonijev dihidrogen-sulfat, Rochellova sol...), superiorne piezoelektrične legure (Pb-Zn-Ni, Pb-Mg-Ni) i piezoelektrične keramike (barijev titanat, olovni titanat, olovni-lantij-titanid...). Za sve ove materijale karakteristična je njihova pravilna kristalna struktura u kojoj su molekule vezane ionskim i Coulombovim silama. [7]

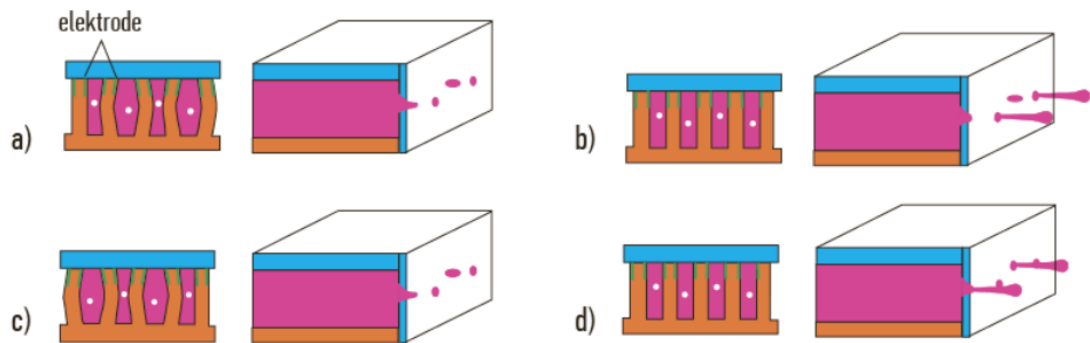
2.3.2. Piezoelektrični Inkjet na principu smicanja

Kako bi došlo do deformacije piezo elementa, između elektroda se mora uspostaviti električno polje koje će omogućiti horizontalnu polarizaciju piezo elementa. Kod ispisnih glava koje rade na principu smicanja na piezo element mora djelovati okomito električno polje. Tijekom smicanja piezo element će se u potpunosti deformirati i tako formirati i izbaciti kapljicu boje. Aktivacijske elektrode postaju sastavni dio bočne stijenke mikrokomore i uzrokuju međusobno djelovanje boje i elektroda. Zbog toga je korištenje ovakvih ispisnih glava ograničeno. [2]



Slika 10 Prikaz deformacije uzrokovane djelovanjem električne energije

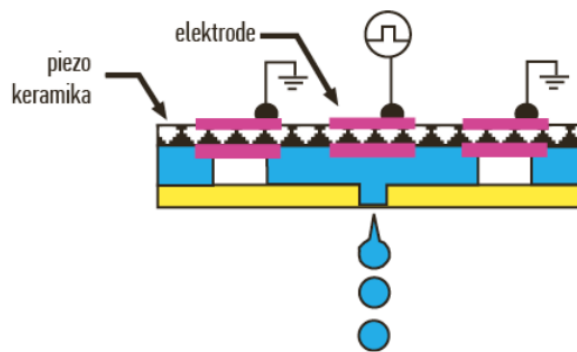
Postoji i specijalni tip glave koje rade na principu smicanja (škarni piezoelektrični Inkjet). Radi se o visokoproduktivnim glavama u kojima se piezoelektrični element može pomicati u dva smjera. Prvo ostvaruje pritisak na neparnim mlaznicama (element se pomiče u parnim komorama), nakon čega dolazi do djelovanja u suprotnom smjeru. Pritom se pritisak prenosi na susjedne komore, što dovodi do ispuštanja boje kroz parne mlaznice. Karakteristika takvog načina je visoka produktivnost, koja zahtjeva veći broj mlaznica. [2]



Slika 11 Piezoelektrični Inkjet sa škarnim kretanjem mikrokomore: a) aktivacija parnih mlaznica; b) početno stanje; c) aktivacija neparnih mlaznica; d) početno stanje (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

2.4. Inkjet ispisne glave koje rade na principu smicanja

Najnovija poboljšanja tehnologije Inkjet pisača omogućuju visoku kvalitetu ispisa i velike brzine. Međutim, za industrijski ispis s velikim brzinama, potreban je razvoj višekanalnih ispisnih glava visoke energetske učinkovitosti. Da bi se povećala brzina ispisa Inkjet pisača, potrebno je povećati brzinu izbacivanja boje kroz mlaznice ispisne glave, no treba povećati i broj ispisnih glava. Za povećanje broja kanala potrebno je promijeniti strukturu ispisnih glava u proizvodnju, te je također važno poboljšati pogonsku učinkovitost kako bi se smanjila energija potrebna za izbacivanje kapljica. Pritom se posebna pažnja mora usredotočiti na stabilnost izbacivanja kapljica uzrokovanih porastom temperature ispisne glave tijekom tiskanja. Piezo Inkjet glava koja radi na principu smicanja je glava koju pokreće smicanje piezoelektričnog materijala generirano primjenom električnog polja u smjeru okomitom na smjer polarizacije tog materijala. [2]

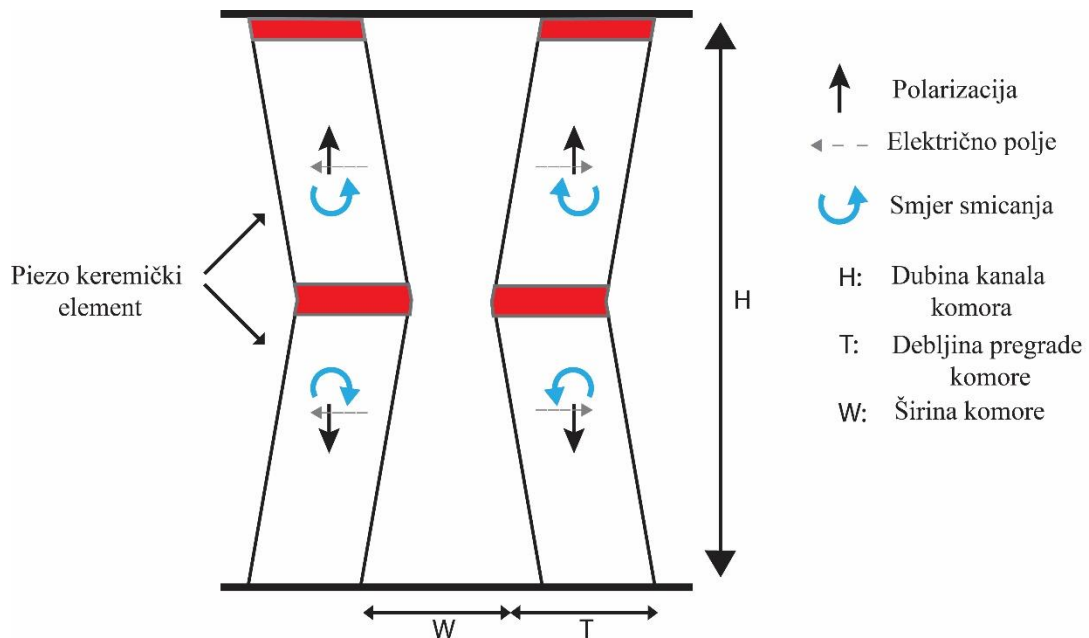


Slika 12 Piezoelektrični Inkjet na principu smicanja (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

Struktura Inkjet ispisne glave i pogonska energija

Mehaničkim djelovanjem na površinu piezokeramičkog materijala (olovni cirkonat-titanat), formiraju se žljebovi, koji predstavljaju kanale i pregrade kanala (koji čine komoru). Na gornjoj površini materijala smještena je pokrivena ploča, a na prednjoj površini smještena je ploča s otvorima mlaznice, dok je u kanalima smještena Inkjet boja. Kada se električno polje aplicira u pravcu okomitom na smjer polarizacije piezo elementa, pregrade kanala se deformiraju i boja u kanalu je pod pritiskom. Promjenom napona, stvara se tlak u komori između kanala i otvora mlaznice, koji omogućuje otpuštanje

kapljica. Rezonancija se pritom polako prigušuje. Nakon toga se povećava napon kako bi se povećao volumen komore, te se stvara negativni tlak. Kada negativni tlak dosegne vrhunac (pola razdoblja nakon pozitivnog tlaka), napon se primjenjuje u smjeru u kojem se volumen komore smanjuje. Tada se pojačava pozitivni tlak za izbacivanje kapljica. [8]



Slika 13 Prikaz polarizacija piezo keramičkog elementa (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., *Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head*)

Za veću brzinu i kvalitetu ispisa, potrebno je poboljšati tlačnu rezonanciju u komori. Veću brzinu i kvalitetu ispisa moguće je ostvariti zbog toga što je volumen kapljica obrnuto proporcionalan rezonanciji. To pokazuje sljedeći izraz:

$$V_d = \pi r^2 \times v / (2 \times f) \quad [1]$$

gdje je: V_d volumen kapljice; r polumjer kapljice; v brzina kapljice ispuštene kroz mlaznicu; f frekvencija

Kako se povećava broj komora i rezonancija (zbog poboljšanja brzine i kvalitete ispisa) generirana toplina se također povećava. Dio topline (toplina stvorena kretanjem pregrada komora i toplina stvorena zbog otpora elektroda) uzorkuje rast temperature boje. Zbog kontakta pregrade i boje, boja se zagrijava u kratkom roku što uzrokuje promjene u volumenu i brzine kapljica ispuštenih iz mlaznica. To dovodi do pada kvalitete ispisa.

Ukoliko se dogodi nenadani porast temperature, dolazi do ne kontroliranog ispuštanja boje. Povećanje temperature može se izraziti pomoću sljedećeg izaraza:

$$W_a = (1/2) \times C \times V^2 \times A \times f_d \times N \quad [2]$$

gdje je: W_a ukupna toplina; C elektrostatski kapacitet pregrade komore; V pogonski napon; f_d pogonska frekvencija; A valni koeficijent; N broj kanala.

Efikasnost ispisne glave

Pomak pregrade komore može se prikazati kao podtlak stvorenom u komori. Omjer usklađenosti deformacije pregrade i boje u komori tako se naziva omjer usklađenosti (k_{cr}). Omjer usklađenosti pokazuje omjer promjene volumena nastao deformacijom pregrade pomoću razlike tlakova između kanala i promjene volumena boje. Tlak (P) može se izračunati sljedećim izrazom:

$$P = 2 \times (\Delta x/W) \times B \times V/(1 + \lambda \times k_{cr}) \quad [3]$$

gdje je: λ konstanta određena pogonom sustava; Δx srednja vrijednost pomaka pregrade; V napon; W širina komore; B ukupni volumen boje; k_{cr} omjer usklađenosti korištene piezo keramike.

Brzina širenja vala tlaka u kanala mijenja se promjenom omjera usklađenosti. Razlog tome je promjena volumena boje uzorkovana deformacijom pregrade. Brzina širenja tlačnog vala definirana je sljedećim izrazom:

$$C_0 = (B/\rho)^{1/2}/(1 + \lambda \times k_{cr})^{1/2} \quad [4]$$

gdje je ρ gustoća boje.

Rezonancija se izračunava pomoću izraza:

$$f = C_0(1 + \alpha)/4L \quad [5]$$

gdje je L duljina komore; α faktor oblika.

Budući da je stvoreni tlak proporcionalno djeluje na pomak pregrade, potrebno je povećavati napon po jedinici deformacije. Odnos između deformacije i elastične energije definiran je sljedećim izrazom:

$$E = (1/2) \times B \times (x/W)^2 \times L \times H \times W \quad [6]$$

u kojem je: E elastična energija boje; x prosječni pomak (deformacija) pregrade; L duljina komore; W širina komore; H dubina komore.

Nadalje, samim time odnos između tlaka i energije izražen je sljedećom relacijom:

$$E = (1/2) \times P^2 \times L \times H \times W/B \quad [7]$$

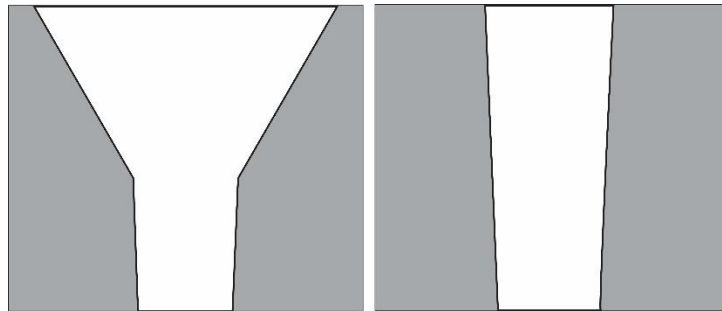
Ako je komora plitka (čak i kada je njezina širina povećana) omjer usklađenosti boje i deformacije pregrade neznatno se povećava, tako da osjetljivost pregrade ne ovisi o padu napona. Kada se dubina kanala povećava, omjer usklađenosti se brzo povećava. Međutim, osjetljivost na pad napona dramatično se smanjuje uslijed povećanja širine kanala. Kada se dubina kanala komore smanji (čak i kada je osjetljivost na napon visoka), elastična energija pomičnog elementa se smanjuje jer je smanjena površina kanala komore. [8]

Dizajn pregrade i kanala komore mora biti izveden tako da učinkovitost pretvorbe električne energije u mehaničku energiju kapljice bude povećana. Elektrostatički kapacitet je proporcionalan duljini i dubini kanala komore, a obrnuto proporcionalan debljini pregrade. Nadalje, optimalni oblik presjeka tako se mijenja ovisno o karakteristikama piezoelektričnog materijala (piezoelektrična konstanta, relativna dielektrična konstanta, elastična konstanta), karakteristikama boje ili ljepljivom sloju. Rezonanca komore tako najviše ovisi o duljini komore. [8]

Oblik mlaznice

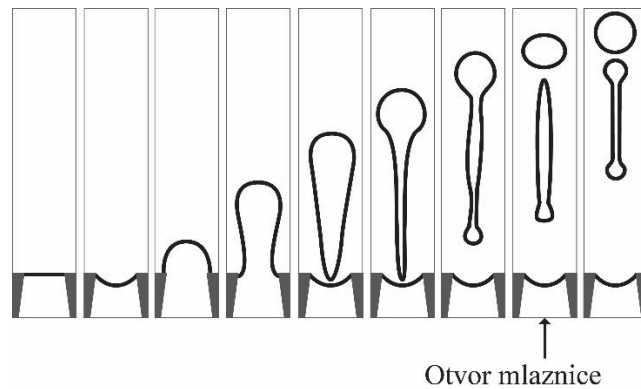
Smanjivanjem promjera mlaznice, smanjuje se i volumen kapljice. Međutim, viskozna otpornost same mlaznice se povećava, što dovodi do velikog gubitka energije. Razlog tome je što viskoznost boje ima veći utjecaj na brzinu kapljice od površine presjeka mlaznice komore. U slučaju visoke viskoznosti boje, te uslijed smanjenja otpora mlaznice, dolazi i do velike brzine ispuštanja kapljica. [8]

Stožasti oblik mlaznice ima veliki utjecaj na otpor otvora mlaznica (posebno u slučaju kada je promjer mlaznice manji). Kako bi se dodatno smanjio otpor mlaznice, potrebno je smanjenje duljine mlaznice, krutosti pokrovne ploče mlaznica i tlaka u kanalu komore. Ovim postupcima povećava se fluktuacija mlaza boje, odnosno kapljica. Kut stožastog presjeka se ne smije mijenjati, jer direktno utječe na smjer kretanja kapljice. Viskozna otpornost mlaznica tako direktno utječe na mogućnost dotoka nove boje u mlaznicu nakon izbacivanja kapljice. Zbog svih tih postupaka oblik mlaznice uvelike utječe na smjer i brzinu kapljice, te se oblik mlaznice pažljivo dizajnira. [8]



Slika 14 Presječni prikaz oblika mlaznica (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head)

Kako bi se smanjio gubitak energije i osigurala stabilna putanja kapljice, mlaznica u obliku stožastog lijevka pokazala je dobre karakteristike. Ovaj tip mlaznice omogućuje veće brzine kapljice jer ima manji kut stošca na dnu takvog oblika. Ispisna glava radi na principu tri ciklička izbacivanja „3-cycle firing“, kojim se boja izbacuje svakim trećim kanalom, odnosno mlaznicom. Deformacije pregrada za cijelu glavu se odvijaju u 3 ciklusa, jer se pregrade zapravo deformiraju i u susjednim kanalima ali u suprotnom smjeru. Energija potrebna za izbacivanje kapljice tako iznosi $0,45 \mu\text{J}$. [8]



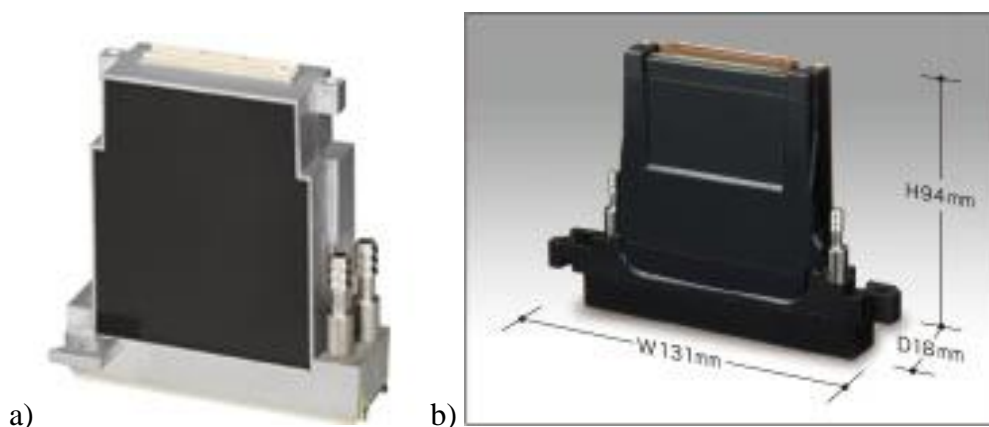
Slika 15 Proces stvaranja kapljice (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head)

Za početak smicanja pregrada u komorama se koristi električna energija, koja je uglavnom utrošena na pokretanje, dok se ostatak električne energije pretvara u mehaničku energiju strujanja boje. Stvaranje ovakve energije uzrokuje deformacija pregrada. Energija potrebna za izbacivanje kapljica tako sadrži i energiju za oblikovanje kapljica i kinetičku energiju za izbacivanje kapljica. Za protok boje u komori tako se troši znatna količina energije (čak i nakon izbacivanja kapljice), što traje dok se boja ne umiri. Elastična (mehanička) energija boje, u svakom kanalu komore iznosi 6 nJ, koja je znatno manja od početne električne energije od 0,45 μ J. Površinska energija kapljice iznosi 0,08 nJ, dok kinetička energija iznosi 0,22 nJ. [8]

Konica Minolta ispisne glave

Proizvođač elektronske opreme Konica Minolta u svojoj ponudi ima 2 serije piezo Inkjet ispisnih glava. To su KM512 i KM1024. Serija KM512 ima pet modela ispisnih glava (KM512LNX, KN512LHX, KM512MNX, KM512MHX, KM512LNX-35), s mogućnošću formiranja kapljica volumena 42 pl, 14pl, 35 pl, te višetonske reprodukcije od 2, 4 i 8 nijansi sive boje. Ispisne glave KM 512 sadrži 512 mlaznica, koje imaju mogućnost ispisa rezolucije od 360 dpi (dvije ispisne linije od 180 dpi). Maksimalna frekvencija ispisa iznosi 7.6 kHz, 12.8 kHz i 10 kHz. Širina površine koja je moguće otisnuti iznosi 36.1 mm. Prikaz Konica Minolta ispisnih glava prikazan je na slici 16. Svi modeli ispisne glave mogu koristiti boje na bazi ulja, otapala i UV sušecije boje. Ispisne glave serije KM512 najčešće se koriste u svrhu ispisa visoke brzine u jednom prolazu. U jednom ispisnom nosaču tako se nalazi 8 modula (32 mm) poredanih u dva reda (ukupne

širine oko 10 mm) s međusobnim preklapanjem na jednom dijelu, kao što je prikazano na slici 17 a). [8, 9]



Slika 16 Ispisne glave Konica Minolta: a) KM 512 b) KM 1024

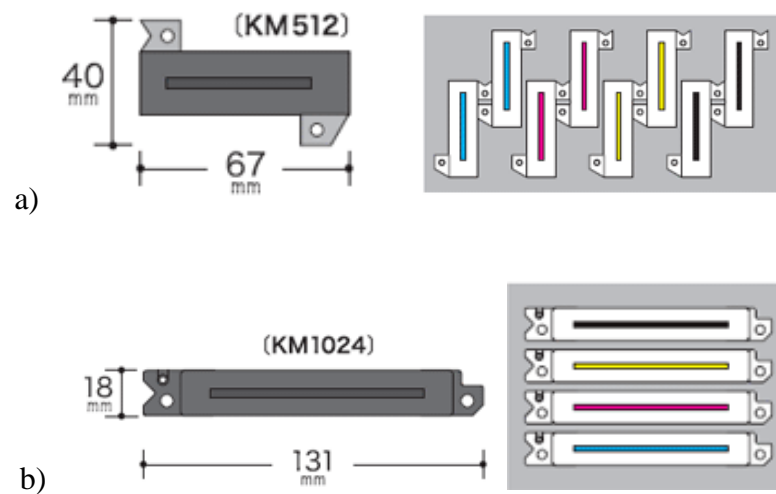
(Izvor: <https://www.konicaminolta.com/Inkjet/Inkjethead/512/spec.html>)

Na platformi Konica Minolta glave KM 512 napravljena je kvalitetnija ispisna glava KM 1024. Seriju KM1024 čine dva modela ispisnih glava, standardni model KM1024 i poboljšani model KM1024i. Na tržištu postoji pet različitih varijanti standardnog modela KM1024 (KM1024 SHB, KM1024 MNB, KM1024 MHB, KM1024 LNB, KM1024 LHB) koji se sastoje od 1024 mlaznice (složene u 2 linije od 512 mlaznica) gustoće kapanja 360 dpi. Ispisne glave imaju mogućnost reprodukcije višetonskog otiska s 8 nijansi sive boje što omogućuje kvalitetniji ispis. Maksimalna širina ispisa koje je moguće postići iznosi 72 mm. Ovisno o modelu, veličina formiranih kapljica iznosi 6 pl, 14 pl, 42 pl, pri čemu se mijenja i frekvencija kapanja (30 kHz, 12.8 kHz, 6.7 kHz, 7.6 kHz). Ispisne glave mogu se montirati vrlo blizu, što dovodi do poboljšanja registra i veće kvalitete ispisa. Na slici 17 b) prikazan je nosač ispisnih glava, na kojem su 4 paralelno poredane ispisne glave koje ostvaruju zonu otiskivanja 72x131 mm. [9, 10]

U usporedbi s modelom KM1024, model KM1024iLHE ima neovisni pogonski sustav koji omogućuje istodobno korištenje svih 1024 mlaznica. Velika gustoća mlaznica, s 4 linije od 256 mlaznica omogućava visoku preciznost i povećanje kvalitete ispisa. Drugo unaprjeđenje očituje se u 3 puta većoj frekvenciji (45 kHz), koja omogućava visoke brzine produkcije u jednom prolazu. KM1024i glave također imaju mogućnosti

cirkulacije boje, što omogućuje korištenje boja sklonih taloženju. U ovaj model ugrađen je i grijač koji omogućava stabilnu kontrolu temperature boja koje se koriste u sustavu. [11]

Oba modela, mogu koristiti boju na bazi ulja, otapala i UV sušćih boja. Osim komercijalnog tiska, ove ispisne glave imaju veliku važnost i u industrijskom tisku. KM ispisnim glavama omogućeno je nanošenje materijala kao što su LCD displeji i tiskani elektronski sklopovi. [8, 11, 12]



Slika 17 Usporedba i konstrukcija nosača ispisnih glava: a) KM512; b) KM1024 (Izvor: https://www.konicaminolta.com/Inkjet/Inkjethead/1024/img/index_pict001.gif)

2.5. Boje i lakovi za Inkjet

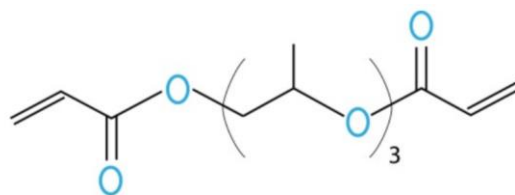
Inkjet tisak jako ovisi o fizikalno-kemijskim svojstvima bojila i lakova koje se koristi. Kemizam i formulacija lakova određuju kvalitetu otiska, karakteristike formiranih kapljica i pouzdanost tiskarskog procesa. Svi lakovi za Inkjet moraju sadržavati dvije komponente: fotoinicijatore i monomernu osnovu (određuje reološka svojstva).

Budući da je lak za Inkjet male viskoznosti, najzastupljenija komponenta je osnova. Zadaća osnove je da omogući formiranje kapljica bojila, te dobro prihvaćanje laka za tiskovnu podlogu. Zbog različitih tiskovnih podloga koje se koriste, primjenjuju se i različite osnove lakova (na bazi vode, otapala, ulja, mikroemulzije...). Takvi lakovi suše na različite načine, pa se tako primjenjuje i nekoliko mehanizama sušenja: penetracijom (lak na bazi vode), isparavanjem (lak na bazi lako hlapljivih otapala), promjenom faze (iz tekućeg u kruto stanje) ili gel i kemijskom reakcijom (UV boje). Lakovi koji se suše penetracijom i isparavanjem ne nanose se u velikim nanosima te služe kao primer tekućine koja će imati funkciju boljeg prihvaćanja drugog bojila ili materijala (smanjuje površinsku napetost). [2]

2.5.1. UV boje i UV lakovi

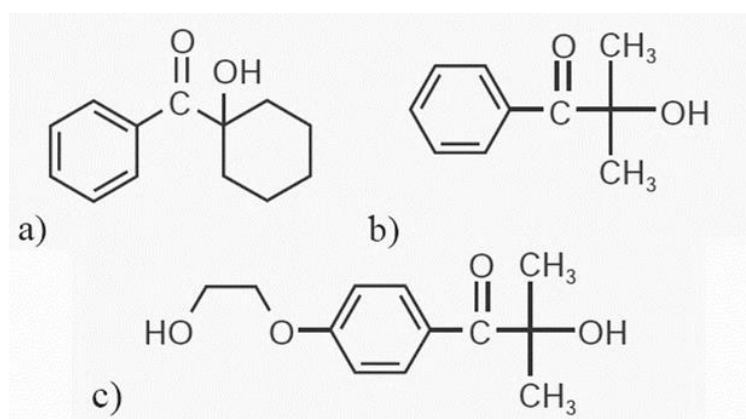
UV boje i lakovi za Inkjet suše trenutno, nakon što su izložene ultraljubičastim (UV) zrakama. To omogućuje velike količine nanosa bez većih oscilacija u debljini otisnute površine. Takve boje ne prodiru u tiskovnu podlogu već se suše na samoj površini. Kako bi se postigao kvalitetan otisak i sušenje potrebno je paziti na formulaciju UV boja i njihovu kompatibilnost s izvorima UV zračenja. Samim time bi se postiglo trenutno sušenje i spriječilo razlijevanje laka.

UV boje i lakovi koji suše polimerizacijom, će kemijskom reakcijom ostvariti povezivanje monomera kovalentnim vezama u lance polimera. Kako bi se polimerizacija dogodila, sastav UV boje i laka mora biti slijedeći: udio pigmenata kao nositelja obojenja (15-20%), prepolimera (20-35%), monomera i oligomera koji imaju funkciju veziva (10-25%), fotoinicijatora koji započinju proces polimerizacije (5-10%), te udio dodataka (1-5%). U sastavu UV boja i laka uvijek postoje akrilni monomeri tipa TPGDA (tripropilen glikol diakrilat). [2]



Slika 18 Kemijska struktura TPGDA spojeva

Jedni od najvažnijih sastojaka UV boja i lakova su fotoinicijatori. Oni imaju zadaću apsorbiranja UV svjetlosti, formiraju ravnotežu između površinskog (osušenog) sloja boje i optimalne brzine stroja. Pritom ne smiju reagirati s pigmentima ili oksidirati. [2] Fotoinicijatori su tvari koje reagiraju u UV području spektra (250-420 nm) te svojom reakcijom pokreću, odnosno ubrzavaju proces fotopolimerizacije. Fotoinicijatori koji se koriste u UV lakovima spadaju u razred α -hidroksiketona. Najčešće korišteni fotoinicijatori su: 1-hidroksi-cikloheksil-fenil-ke-ton (bijeli kristalni prah koji reagira na valnim duljinama od: 246 nm, 280 nm, 333 nm, te mu je temperaturom taljenja od 45° do 49°C), 2-hidroksi-2-metil-1-fenil-1-propanon (prozirno, žuta tekućina, te reagira na valnim duljinama od: 245 nm, 280nm i 331 nm), te 2-hidroksi-1-[4-(2-hidroksi etoksi)fenil]-2-metil-1-propanon (bijeli prah, temperature taljenja između 86° i 90°C, koji reagira pod utjecajem valne duljine od 276 nm). [12]



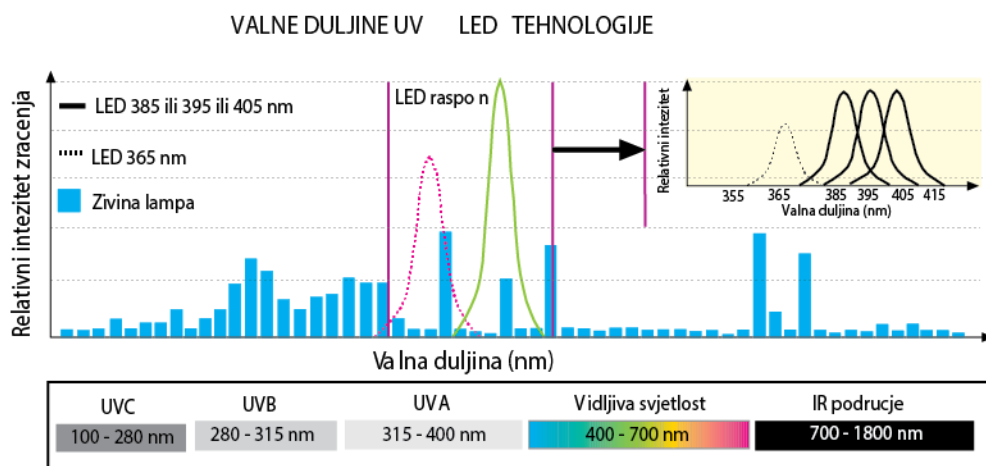
Slika 19 Kemijska struktura najčešćih fotoinicijatora; a) 1-hidroksi-cikloheksil-fenil-ke-ton; b) 2-hidroksi-2-metil-1-fenil-1-propanon); c) 2-hidroksi-1-[4-(2-hidroksi etoksi)fenil]-2-metil-1-propanon (Izvor: Katalog fotoinicijatora Ciba Speciality Chemicals)

UV sušeci lak u grafičkoj industriji se koristi zbog estetskih razloga, ali i kako bi se zaštitili proizvod od trošenja i otiranja. Razvoj tehnologije UV lakiranja povećao je korištenje laka u svrhu podizanja veće kvalitete proizvoda. Moguće je simulirati određene mirise, postići reljefni otisak na površini.

Kao i UV boje, tako i lakovi suše trenutno pod utjecajem UV elektromagnetskog zračenja. UV lak sastoji se od tekućih smola ili veziva (monomera i oligomera), fotoinicijatora i aditiva. Razlika između UV boja i lakova je izostanak nositelja obojenja kod lakova koji je nadomješten s dodatnim udjelom veziva. Mehanizam sušenja jednak je kao kod UV boja, tj. procesom polimerizacije. Sjajnost laka, odnosno jedinice sjaja pojedinog materijala mjeri se pomoću uređaja za mjerenje glossmetar. Sjaj se mjeri pod kutovima od 20° (za jako sjajne površine), 60° (srednje sjajne površine) i 85° (matt površine). [14]

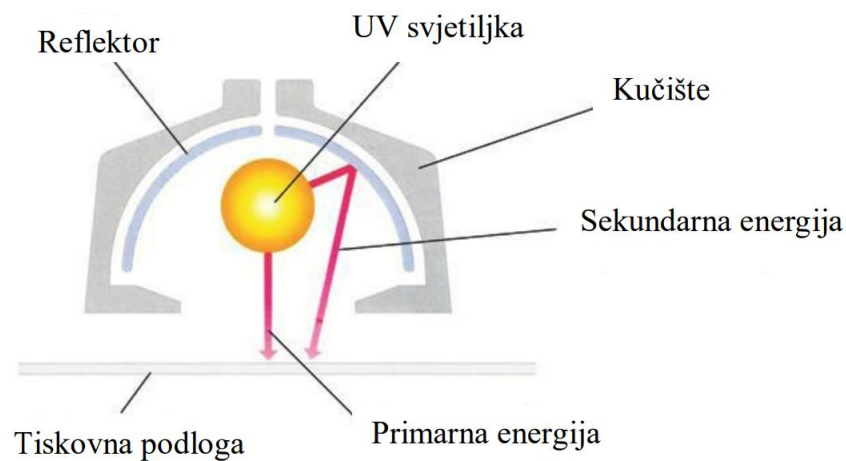
2.5.2. Izvori UV svjetla koji se koriste za sušenje kod UV Inkjeta

Bez izvora UV zračenja, odnosno djelovanja odgovarajućeg elektromagnetskog zračenja, proces polimerizacije ne bi mogao započeti. Najboljim se pokazalo elektromagnetsko zračenja valnih duljina između 200 nm i 380 nm, koje je dodatno podijeljeno na: UV područje A (315 nm-380 nm), UV područje B (280 nm-315 nm) i UV područje C (200 nm-280 nm). Na slici 20 prikazane su spektralne karakteristike UV izvora koje se koriste u grafičkoj industriji.



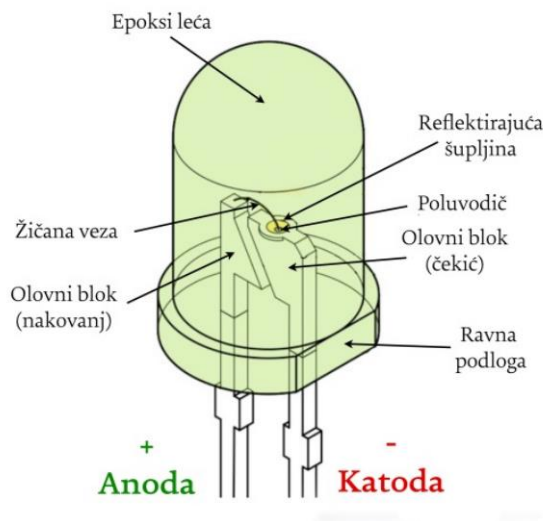
Slika 20 Prikaz UV elektromagnetskog zračenja

Svjetlosni izvori koji imaju najveću emisiju elektromagnetskog UV zračenja su živine žarulje. Zbog toga se ona i najčešće koriste u UV strojevima za Inkjet. Živina žarulja zahtijeva visoku snagu zračenja ($P=20-240 \text{ W/cm}^2$), pri čemu se ostvaruje emisija u UV području C. Nedostatak takve žarulje je što je štetna za ljudsko zdravlje te u kontaktu s kisikom stvara ozon. [2] Na slici 21 prikazana je živina žarulja, koja je smještena unutar kućišta. Žarulja na tiskovnu podlogu direktno emitira primarnu energiju, dok se sekundarna energija odbija od reflektor te nakon toga dolazi do tiskovne podloge.

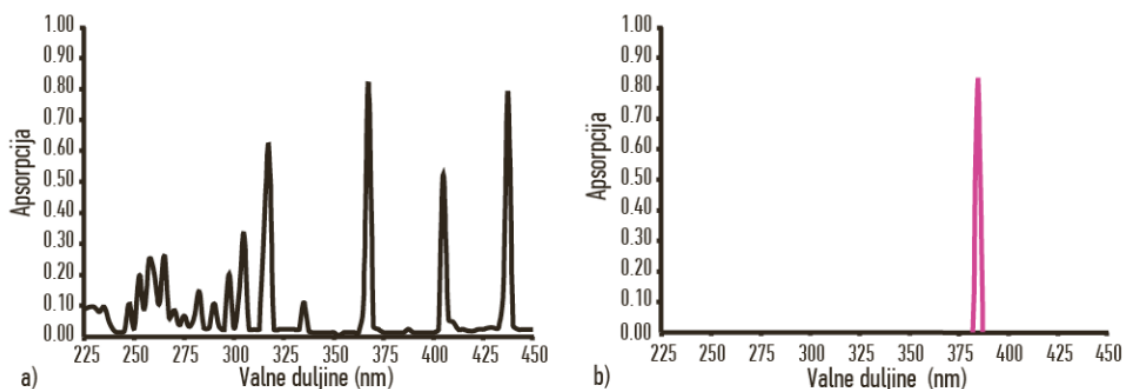


Slika 21 Poprečni presjek UV jedinice za sušenje

Danas se sve više koriste energetske slabije i ekološki prihvatljivije LED lampe. (slika 22) Njihov intenzitet energije zračenja iznosi 3 W/cm^2 . Izvori zračenja su poluvodički koji mogu biti na bazi borovog nitrida, aluminijskog nitrida, aluminijsko-galijevog nitrida, ... Svjetleća dioda ili LED je poluvodički elektronički element koji pretvara električni signal u optički (svjetlost). Propusno polarizirana svjetleća dioda emitira elektromagnetsko zračenje na način spontane emisije uzrokovane rekombinacijom nosilaca električnoga naboja (elektroluminiscencija). Elektroni prelazeći iz vodljivog u valentni pojas, oslobađaju energiju, koja se dijelom očituje kao toplina, a dijelom kao zračenje. Boja emitiranog svjetla ovisi o poluvodiču, kao i o primjesama u njemu (varira od infracrvenog preko vidljivog do ultraljubičastog dijela spektra). Spektar takvog ultraljubičastog zračenja ima samo jednu, dominantnu, valnu duljinu, koja se obično nalazi u manje štetnom UV području A. [2] (slika 23)

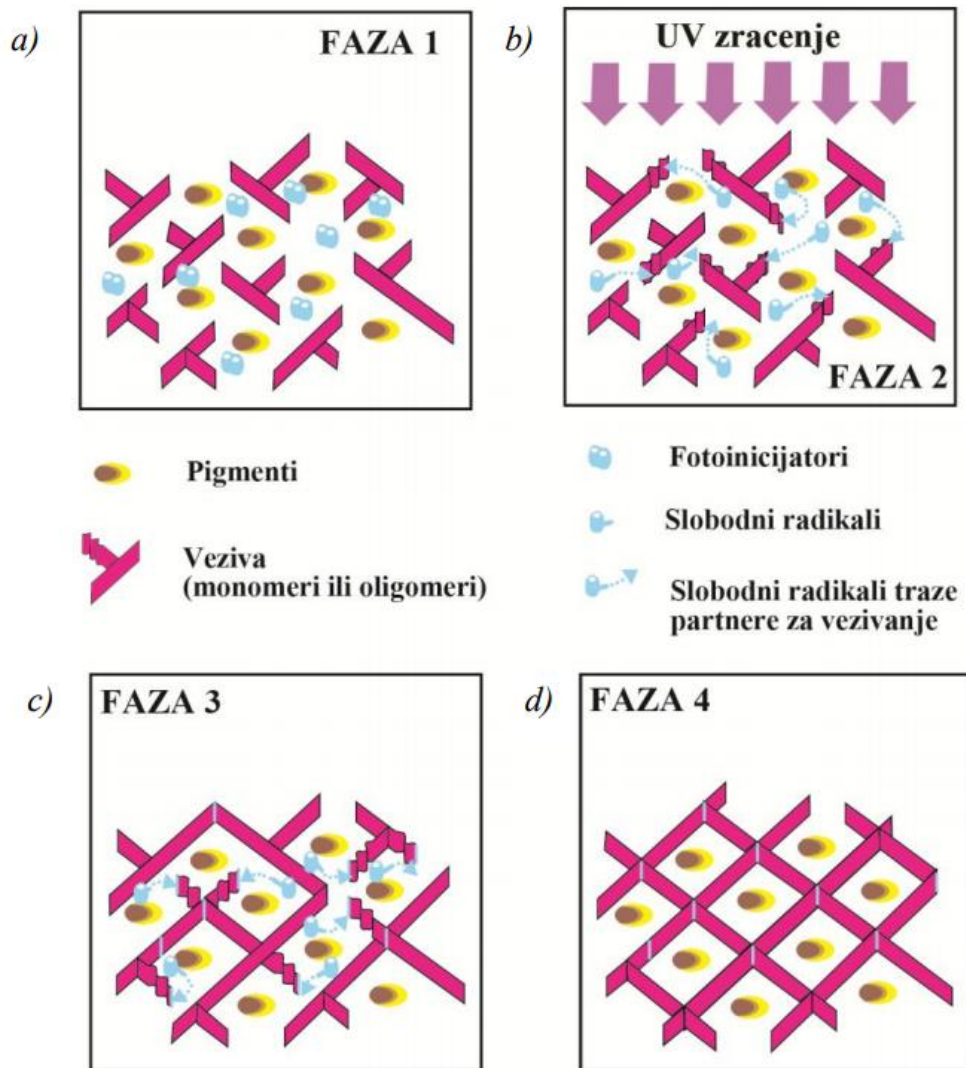


Slika 22 LED izvor elektromagnetskog zračenja



Slika 23 Razlika između spektra dva izvora svjetlosnog UV zračenja: a) živina žarulja; b) LED UV žarulja (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

Kako bi se lak osušio, otisak se izlaže visokoenergijskom svjetlosnom izvoru. Proces sušenja zove se polimerizacija i vrši se u 4 faze. (slika 24) Proces započinje oslobađanjem svjetlosti iz UV LED lampe, te osvjetljavanjem sloja nanosene boje. Pritom će se fotoinicijatori iz boje aktivirati i formirati dva tipa slobodnih radikala: radikale koji pronalaze partnere i radikale koji ne pronalaze partnere. Slobodni radikali fotoinicijatora koji su pronašli mikromolekulu amin akrilata započet će polimerizaciju (boja, odnosno lak se počinje stvrdnjavati). Čestice pigmenta ostaju zatvorene u takvoj strukturi i fiksirane za tiskovnu podlogu. [2]



Slika 24 Proces polimerizacije UV Inkjet bojila- a) sastav bojila prije sušenja, b) izlaganje bojila UV svjetlosti, c) povezivanje fotoinicijatora sa slobodnim radikalima, d) završetak procesa polimerizacije (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

2.6. Tiskarski stroj MGI JET Varnish 3DS

JET Varnish 3DS je tiskarski stroj za reljefno ili tradicionalno UV parcijalno lakiranje namijenjen za tisak naklada u rasponu od jednog do više tisuća otisaka. Samim time je tiskarima omogućeno izvođenje usluge tiska s dodanom vrijednošću. Proizvođač ovog stroja za digitalno parcijalno UV lakiranje je francuska tvrtka MGI koja je već 30 godina proizvodi digitalne tiskarske strojeve za specijalne zahtjeve. JET Varnish 3D daje digitalnom UV lakiranju novu dimenziju, s povećanom produktivnošću za parcijalno UV lakiranje i nevjerojatne 3D reljefne efekte, te mogućnost stvaranja dodatnih efekata foliotiskom, oplemenjivanjem otisaka metalik folijama. [15]

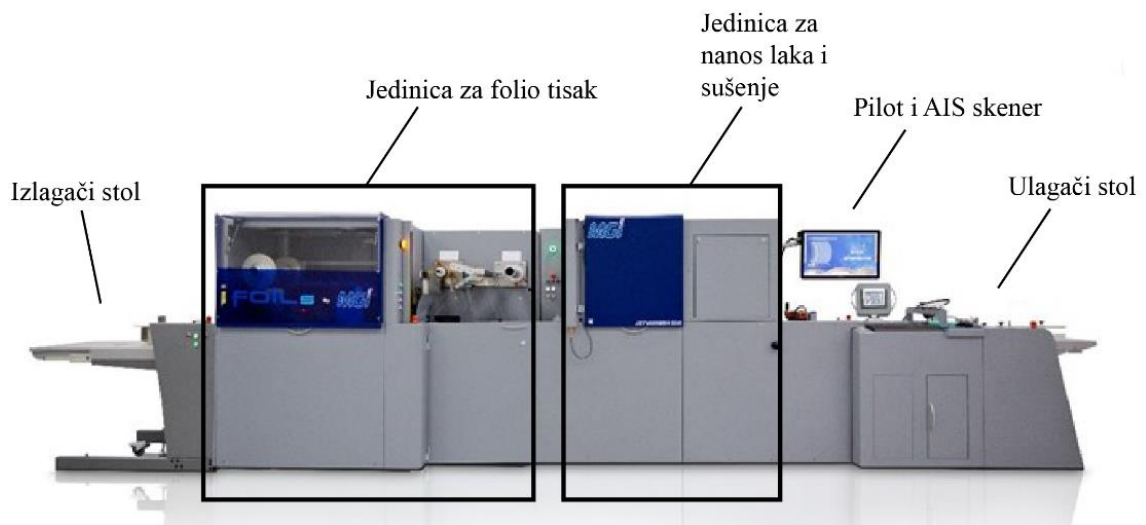
MGI je prvi put predstavio JET Varnish na sajmu Drupa 2008. Njega karakterizira velika baza instaliranih strojeva u grafičkoj industriji. Model JET Varnish uspješno je primijenjen u svim grafičkim sektorima, od tiska ambalaže, komercijalnog tiska (ofsetne i digitalne tiskare), tvrtke za doradu, sitotiskara i izdavačkih kuća. Najčešći poslovi su vezani za ambalažu, tisak naslovnica knjiga, brošure, posjetnice, pozivnice... Ovaj digitalni tiskarski stroj omogućuje tako korištenje svih tih funkcija u varijabilnom formatu, tj. svaki sljedeći otisak može se po želji razlikovati od prethodnog bez izmjena tiskovne forme (klišeja, ploče ili sita).

Tiskarski stroj ima mogućnost proizvesti probne UV otiske ili 3D efekte u roku nekoliko minuta, a ako su potrebne izmjene, to je moguće učiniti u nekoliko minuta. MGI integrirani softverski paket tako uključuje SpotVarnish editor koji omogućuje operateru da odmah uredi i prilagodi pripremu i eliminira gubljenje vremena na vraćanje posla u grafičku pripremu. Mogućnost parcijalnog lakiranja u tisku varijabilnih podataka (putem RIP-a) čini JET Varnish 3DS idealnim za personalizirane marketinške kampanje. MGI AIS sustav kamera osigurava preciznu registraciju i na prethodno otisnutim arcima.

Koristeći i do 100% varijabilne podatke, samim time omogućava potpuno parcijalno UV lakiranje na jednotonskim ilustracijama, tekstovima, bar kodovima. Trenutno JET Varnish 3DS je jedinstven tiskarski stroj koji se može naći na tržištu strojeva koji digitalnim tehnologijama mogu ostvariti dodanu vrijednost. [16]

Konstrukcija JET Varnish 3DS stroja

JET Varnish 3DS je tiskarski stroje dualne konstrukcije koji može izvoditi samostalno lakiranje u različitim debljinama nanosa laka. Međutim može biti i kao stroj za nanašanje metalizirane folije koja će se prihvaćati na mjestima prethodno oslojenim UV lakom. JET Varnish 3DS sastoji se od sljedećih cjelina: ulagačkog stola, konzole za upravljanje strojem, AIS skenera, tiskovne jedinice, odnosno jedinice za nanosa laka i sušenja, jedinice za folio tisak (iFoil S) i izlagačkog stola. Konstrukcija JET Varnish 3DS tiskarskog stroja prikazana je na slici 25.



Slika 25 Konstrukcija JET Varnish 3DS-a (Izvor: [https://www.konicaminolta.eu/getmedia/31987dc8-d933-40a3-b988-fd53c0421f6e/MGI-JET Varnish-3DS-iFoil-S-Datasheet.pdf.aspx](https://www.konicaminolta.eu/getmedia/31987dc8-d933-40a3-b988-fd53c0421f6e/MGI-JET-Varnish-3DS-iFoil-S-Datasheet.pdf.aspx))

JET Varnish 3DS temelji se na Inkjetu koji radi na principu kapanja na zahtjev, koji je pomoću piezo električnih ispisnih glava KM1024iLHE proizvođača Konica Minolta izvodi nanos UV sušecćeg laka. Debljina nanosa laka može varirati, ovisno o brzini tiska i tiskovnom materijalu koji se koristi. Na laminiranim materijalima debljina nanosa laka može se kretati u rasponu od 21 μm do 232 μm , dok se na premazanim papirima debljina kreće od 21 μm do 116 μm . Tehnologija JET Varnish 3DS-a može funkcionirati samo na kvalitetnijim premazanim materijalima, jer se kod nepremazanih može dogoditi gubitak informacija. Debljina tih materijala mora biti između 150 μm i 450 μm , te gramature između 135 i 450 g/m^2 . Zbog velikog raspona debljine tiskovnih podloga, ispisne glave mogu se podizati ili spuštati pomoću vlastitih elektromotora. Format tiskovnih podloga

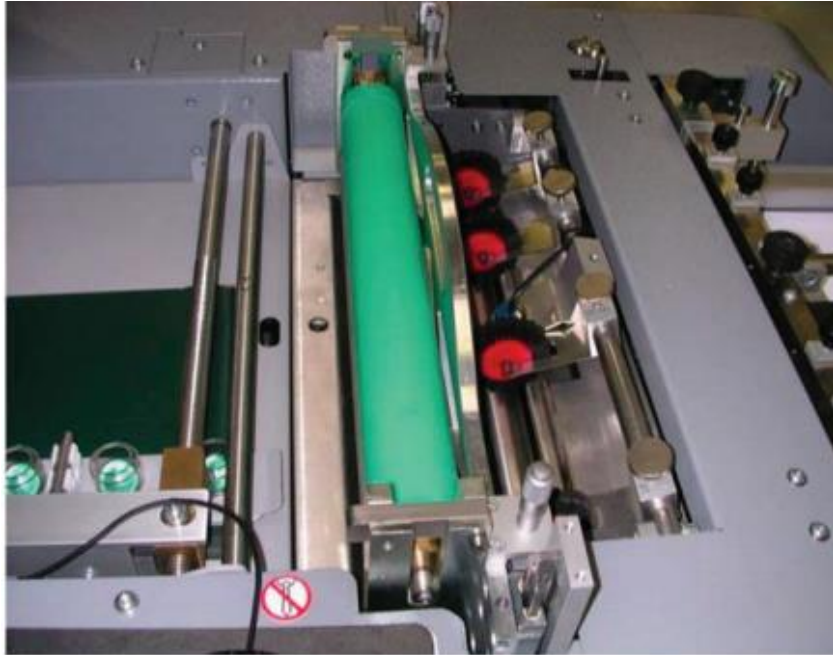
na kojima je moguće ostvariti otisak kreću se u rasponu od 21x29,7 cm do 36,4 do 102 cm, dok širina ispisa iznosi 35,3 cm. [17]

Koristeći specijalno konstruiran AIS SmartScanner za registraciju svakog araka, te njegovog preciznog pozicioniranja, signalne marke nisu potrebne. Tisak, odnosno nanos laka omogućuje se pomoću 5 ispisnih glava serije KM1024iLHE. Sušenje UV laka odvija se trenutno, pomoću dvije LED lampe smještene u liniji, odmah iza ispisnih glava.

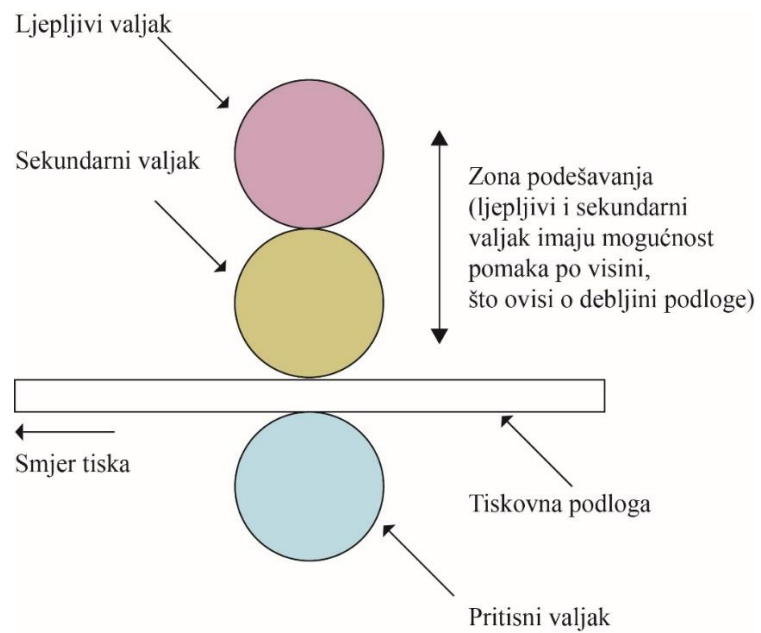
Nakon jedinice za nanosa laka i LED lampi za sušenje smještena je jedinica za nanos folije (iFoilS). Tisak folije osmišljen je tako da se izbacе fizičke tiskovne forme (klišeji), odnosno da reljefni tisak ostvaren debljim nanosom laka imitira klišeje. Debljina mogućih tiskovnih podloga ista je kao i na jedinici za nanos laka, dok je duljina folije oko 2000 m. Maksimalni format nanosa folije je 32 x 102 cm, kontroliran u 6 zona. Minimalna temperatura zagrijavanja folije je 90° C, dok je maksimalna 190°C. Nakon nanosa laka i procesa transfera folije arci izlaze na izlagači stol. [17]

2.6.1. Jedinica za ulaganje

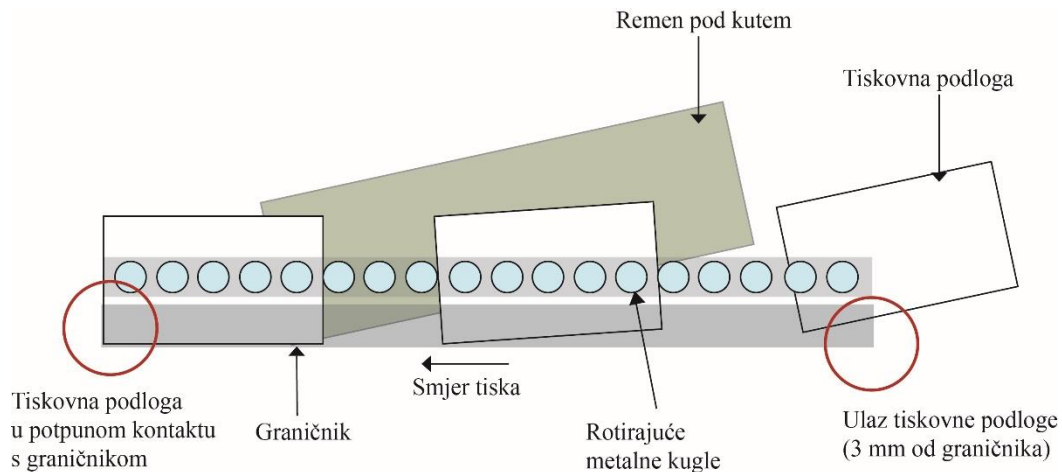
Jedinica za ulaganje preuzeta je s ofsetnih tiskarskih strojeva. Ona se sastoji od ulagačkog stola na čijem su kraju smješteni valjci za čišćenje tiskovne podloge. Jedinicu za čišćenje čine 3 valjka: ljepljivi valjak, sekundarni valjak (koji je u kontaktu s podlogom) i pritisni valjak. Nakon valjaka za čišćenje nalazi se transportni remen za podešavanje uložnog kuta, odnosno pravilnog ulaganja tiskovnih podloga. Na bočnoj strani jedinice za ulaganje nalazi se graničnik, koji služi za mehaničko poravnavanje tiskovne podloge. Poravnavanje se provodi pomoću bočnog remena koji svojim kutem gura tiskovnu podlogu prema graničniku i poravnava ga. Da ne bi došlo do gužvanja tanjih tiskovnih podloga sistem koristi rotirajuće metalne kuglice koje svojom masom pridržavaju rub papira na transportnom mostu. Kako je za dobar konačni rezultat važna podloga bez prašine, jedinica za čišćenje mora besprijekorno čistiti ulaganu tiskovnu podlogu. Princip rada valjaka za čišćenje prikazan je na slici 27 dok je jedinica za podešavanje registra prikazana na slici 28. [17]



Slika 26 Valjci za čišćenje tiskovne podloge



Slika 27 Shematski prikaz valjaka za čišćenje (Izvor: Konica Minolta – Operator training JET Varnish 3DSManual)



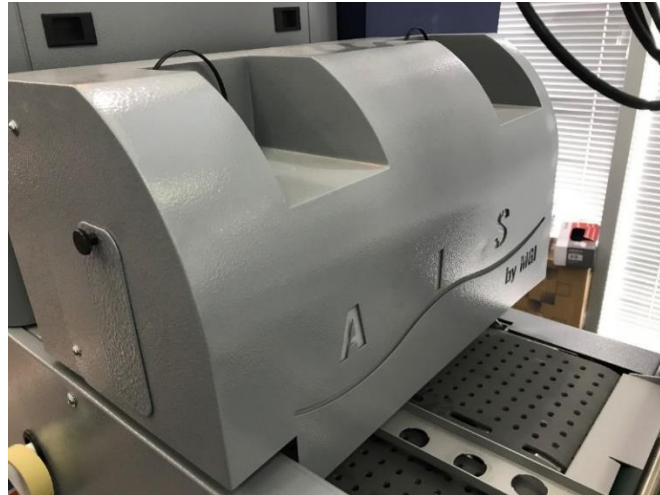
Slika 28 Poravnavanje tiskovne podloge (Izvor: Konica Minolta – Operator training JET Varnish 3DSManual)

2.6.2. AIS Smart Scanner

AIS Smart Scanner je uređaj temeljen se na umjetnoj inteligenciji, te nudi praćenje registracije otisaka bez dodira. Skeniranjem cijele stranice i analizom svakog pojedinog otiska koji se unosi kroz sustav, te ga prilagođava i izmjenjuje s Inkjet glavama KM1024iLHE u stvarnom vremenu. Samim time izvodi kompenzacije i ispravljanja bilo kakve anomalije na otisnutom arku. Svaka piezo kapljica i nanos laka automatski se izračunavaju i distribuiraju na temelju jedinstvenih fizičkih karakteristika svakog otisnutog arka i izvorne datoteke (PDF Plustiff format maske). AIS sustav tako koristi kompjuterski vođenu opremu za stvaranje automatske registracije otisnutih lakova i metalizirane folije. On je potpuno kompatibilan s poslovima obrade varijabilnih podataka (VDF). Koristeći algoritme ispisa slike i Inkjet sinkronizacijske algoritme AIS sustav radi s više od 5000 milijardi operacija u sekundi bez intervencije operatera ili smanjenja brzine rada. Pritom unosi ispravke i prilagođavanja za sve nedostatke otisaka nastalih ofsetom, fleksom ili digitalnim tiskom. Također je moguća primjena i u svim daljnjim postupcima laminiranja.

Nakon tiska u postupcima dorade moraju se uzeti u obzir moguće varijacije koje su uključene pri usklađivanju otisnutih araka s datotekama generiranih za ispis (posebno onih koji rade principom digitalnog tiska). AIS Smart Scanner rješava ovaj problem, uključujući: smanjenje više od 80% vremena rada operatera kojeg on utroši na praćenje

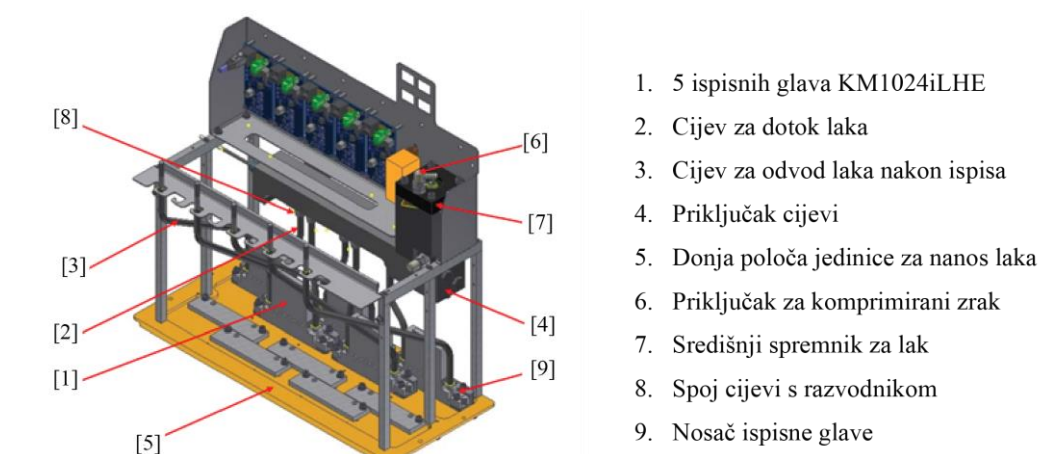
procesa registracije. To dovodi do smanjenja makulature, brže prilagodbe tijekom rada s automatskim postupkom skeniranja i promjene registracije. U konačnici, to dovodi do stvaranja niskih operativnih troškova i veće produktivnosti. [18]



Slika 29 AIS Smart Scanner

2.6.3. Jedinica za nanos laka i sušenje

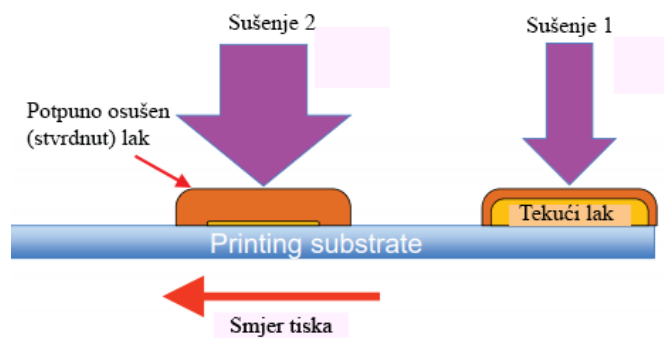
Nakon što je svaki arak skeniran, isti ulazi u jedinicu za nanos laka i sušenje. Nanos laka ostvaruje se pomoću 5 piezo električnih ispisnih glava (KM1024iLHE) smještenih u 2 reda (3+2). Prilikom rada tako dolazi i do 4 preklapanja djelovanja ispisnih glava. Ta zona preklapanja iznosi oko 3 mm. Da bi se ostvarila veća produktivnost, u stroj je moguće opremiti i s dodatnih 5 ispisnih glava čime se produkcijska brzina povećava za dvostruko. Osnovni dijelovi jedinice za nanos laka prikazani su na slici 30.



1. 5 ispisnih glava KM1024iLHE
2. Cijev za dotok laka
3. Cijev za odvod laka nakon ispisa
4. Priključak cijevi
5. Donja poloča jedinice za nanos laka
6. Priključak za komprimirani zrak
7. Središnji spremnik za lak
8. Spoj cijevi s razvodnikom
9. Nosač ispisne glave

Slika 30 Nanos laka s ispisnim glavama KM1024iLHE

Nakon nanosa laka odvija se sušenje laka s dva modula od 15 LED lampi, snage 12W. Pod djelovanjem svjetlosti fotoinicijatori koji su u sastavu laka pokreću proces polimerizacije, odnosno dolazi do trenutnog skrućivanja laka. Kako su LED lampe manje štetne od UV lampi, cijela tehnologija i proces rada JET Varnish 3DS stroja je ekološki prihvatljivija. Kako postoje dva modula LED lampi, tako se i sušenje se odvija u dvije faze. U prvoj fazi sušenja dolazi do stvaranja površinskog filma, dok u drugoj fazi dolazi do potpune polimerizacije laka.



Slika 31 Faze sušenja laka



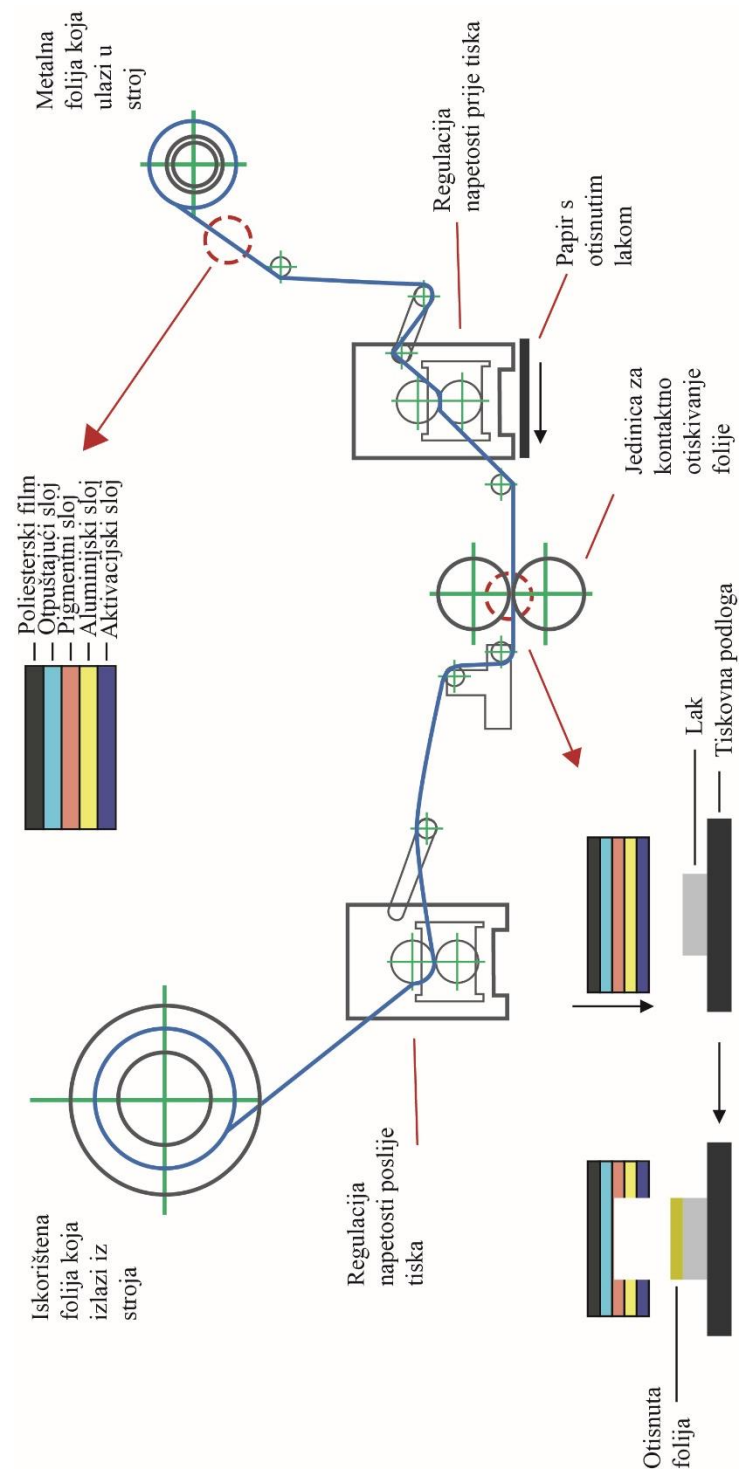
Slika 32 Izgled modula sastavljenog od 15 LED lampi

2.6.4. Jedinica za nanašanje folije

Klasični princip foliotisaka temelji se na prijenosu višeslojne folije ugrijanom tiskovnom formom (klišej). Tada se djelovanjem tlaka i temperature, sloj folije razdvaja, odnosno prihvaća na podlogu, na mjestima gdje je klišej ispupčen.

Ovdje se tisak folije odvija neposredno nakon sušenja laka (koji zamjenjuje klišej). Selektivno prihvaćanje folije izvršit će se samo na mjestima na kojima se prethodno nanosi lak. Prijenos folije ostvaruje se zagrijavanjem metalizirane folije u rasponu od 90°

do 190°. Pritom se ostvaruje pritisak koji je izveden djelovanjem valjka. Na slici 33 prikazan je način nanošenja folije.



Slika 33 Shematski prikaz foliotiska koji koristi JET Varnish 3DS

3. EKSPERIMENTALNI DIO

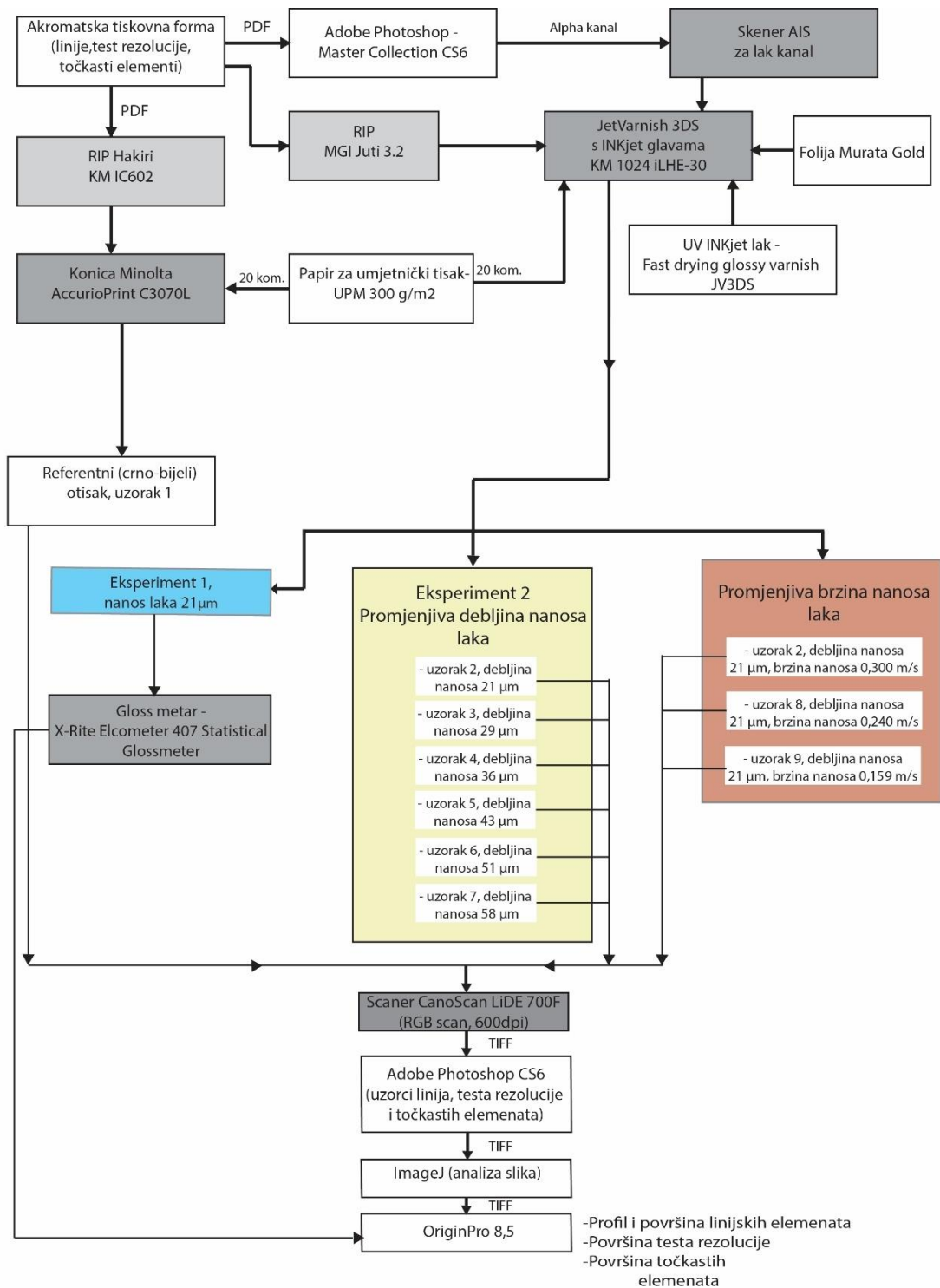
3.1. Opis eksperimenta

Prije provedbe eksperimenta u Adobeovom programu Illustrator generirana je akromatska tiskovna forma koja sadrži linijske elemente (debljine 1,4 mm, 1 mm, 0,6 mm, 0,3 mm), tipografske elemente (tekst u pozitivu i negativu), strip za test rezolucije, te rastrirane površine (promjer rasterskih elementa 0,75 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,1 mm). Nakon toga, se iz vektorski definiranog dokumenta stvara PDF koji je stavljen u RIP (raster image processor) Hakiri KM IC602 kako bi se otisnuo referentni, crno-bijeli otisak. Pritom je korišten elektrofotografski stroj, japanskog proizvođača Konica Minolta Accurio Print C3070L i crni toner Simitri. Za potrebe eksperimenta korišten je karton za umjetnički tisak, UPM gloss 300g/m². Eksperimentalni otisci otisnuti su na stroju JET Varnish 3DS s Inkjet ispisnim glavama KM 1024 iLHE-30. Otisnuti su različiti nanosi laka (od 21 µm do 58 µm) koristeći UV Inkjet brzосуšeći lak (Fast drying glossy varnish JV3DS), uz naknadno nanašanje metalizirane folije Murata Gold. Za kontrolu nanos laka koristio se RIP MGI Juti 3.2, dok se za kontrolu pozicije otiska lak kanala koristio AIS skener s definiranih 180 pozicija provjere. Lak kanal za kontrolu pozicioniranja laka napravljen je pomoću alpha kanala u programu Adobe Photoshop CS6.

Za potrebe istraživanja dobiveno je ukupno 10 uzoraka koji su podijeljeni u 3 eksperimentalne cijeline. U prvom eksperimentu izmjeren je sjaj laka, folije i podloge (papir za umjetnički tisak). Drugi dio istraživanja čine 6 uzoraka u kojima se mijenjala debljina nanosa laka prije prihvaćanja folije, dok se kod trećeg dijela istraživanja mijenjala brzina stroja odnosno brzina nanosa laka prije prihvaćanja folije uz konstantni nanos laka.

Nakon stvaranja uzoraka, uzorci su skenirani u skeneru CanoScan LiDE 700F (RGB slika, 600 dpi) gdje su nastale slike u formatu TIFF (za slikovnu analizu). Sve slike su rezane u programu Adobe Photoshop. Tako su tako definirani točni uzorci (linije, rasterski elementi i test rezolucije) koji su nakon toga obrađeni u programu ImageJ za analizu slika. Kompjuterski program je izračunao debljinu metalnih linija, profile linija, površinu testa rezolucije i površinu rasterskih elemenata. Nakon analize i dobivanja rezultata, isti su obrađeni u programu OriginPro 8,5, pomoću kojeg su stvoreni grafikoni

profila i površina linijskih elemenata, površina testa rezolucije, te površina točkastih (rasterskih) elemenata. Na slici 34 prikazan je hodogram izvršenog eksperimenta.



Slika 34 Kronološki dijagram eksperimenta

3.2. Korišteni tiskarski strojevi i mjerni uređaji

3.2.1. Konica Minolta AccurioPrint C3070L

AccurioPrint C3070L je tiskarski stroj proizvođača Konica Minolta koji spada u digitalnu kategoriju tiskarske tehnologije koja radi na principu praškaste elektrofotografije. Namijenjen je višebojnom ali i crno-bijelom otiskivanju na tiskovne podloge do debljine od 350 g/m², s brzinom otiskivanja od 71 str/min. Tehničke karakteristike stroja prikazane su tablici 1. [19]

Tablica 1 Tehničke karakteristike tiskarskog stroja Konica Minolta AccurioPrint C3070L

Naziv stroja	AccurioPrint C3070L
Proizvođač	Konica Minolta
Produkcijaska brzina	36-71 str/min
Rezolucija ispisa	1200x3600 dpi
Podržane tiskovne podloge	62-350 g/m ²
Toner	Simitri
Maksimalni format tiskovne podloge	330x762 mm
Dodatna oprema	3 vakumske ulagače ladice Finisher s klamericom Ovlaživač araka papira



Slika 35 Tiskarski stroj Konica Minolta AccurioPrint C3070L

(Izvor: <https://sestar.irb.hr/images/instrumenti/photos/864.jpg>)

3.2.2. JET Varnish 3DS

JET Varnish 3DS je tiskarski stroj proizvođača MGI koji spada u digitalnu kategoriju tiskarske tehnologije koja radi na principu Inkjet tehnologija. Koristi brzosušeći UV lak koji se nanosi pomoću 5 ink-jet glava. Glave za ispis nanašaju lak na zahtjev („*drop on demand*“) te mogu nanijeti lak po cijeloj površini ili parcijalno. Kontrolirani nanos varira od 15 do 116 μm . Također, pomoću varijacije nanosa laka, može se stvoriti 3D efekt. Nakon nanosa laka, izvodi se prihvaćanje metalik folije na nanoseni lak. Tiskarski stroj koristi KM1024iLHE-30 Inkjet glavu za ispis, odnosno 5 glava smještenih u kombinaciji (3+2). Ispisne glave mogu stvoriti kapljice različitih volumena. To su : 6, 14 i 30 pl. Tehničke karakteristike stroja prikazane su tablici 2. [17]

Tablica 2 Tehničke karakteristike tiskarskog stroja MGI JET Varnish3DS

Naziv stroja	JET Varnish 3DS
Proizvođač	MGI
Produkcijska brzina	3000 araka/h – nanosa 30 μm 900 araka/h – nanosa 100 μm
Maksimalna širina nanosa laka	355 mm
Maksimalna format tiskovne podloge	364x1020 mm
Spremnik UV laka	10 litara
Mehanizam ulagačkog stola	Linijski put papira Sapnice za raspuhivanje papira Promjenjivi vakumski remen
Tehnologija sušenja	UV LED sušenje
Skener za detekciju otiska	AIS skener
Tehnologija ispisnih glava	Samostalni kanal, piezo električna tehnologija na zahtjev
Broj otvora	1024 (256 x 4 reda)
Rezolucija ispisa	360 dpi
Širina ispisa glave	72,12 mm
Brzina kapanja	6 m/s
Dimenzije (D x Š x V)	2,09 x 1,24 x 1,80 metara



Slika 36 Tiskarski stroj JET Varnish 3DS (Izvor: [https://cdn.presscity.com/3565/800/x800_mgi-JET Varnish-437835.jpg](https://cdn.presscity.com/3565/800/x800_mgi-JET_Varnish-437835.jpg))



Slika 37 Ispisna glava KM1024iLHE-30 (Izvor: <https://www.industrialij.com/products/km-printheads/km1024i/>)

3.2.3. X-Rite Elcometer 407 Statistical Glossmeter

Elcometer 407 služi mjerenje sjaja podloge, otiska, lakirane površine ili same podloge. Omogućuje tri kuta mjerenja: 20° (jako sjajne površine), 60° (srednje sjajne površine) i 85° (mat površine). Točnost uređaja je 0.1 GU (Gloss units). Mjerni uređaj ima mogućnost memoriranja do 200 mjerenja po kutu. Uz ovaj uređaj je dostavljena i kalibracijska keramička pločica koja osigurava internu kalibraciju. Tehničke karakteristike mjernog uređaja prikazane su tablici 3. [14]

Tablica 3 Tehničke karakteristike mjernog uređaja X-Rite Elcometer 407

Naziv mjernog uređaja	X-Rite Elcometer 407 Statistical Glossmeter
Proizvođač	X-rite
Kut mjerenja	20°, 60°, 85°
Automatska statistička obrada	Minimum, maksimum i standardna devijacija
Standardi	AS/NZS 1580.602.2, ASTM C 584, ASTM D 1455, ASTM D 2457, ASTM D 4039, ASTM D 523, DIN 67530, ECCA T2, EN 12373-11, EN 13523-2, ISO 2813, ISO 7668, JIS K 5600-4-7, JIS Z 8741, TAPPI T 653



Slika 38 Mjerni uređaj X-Rite Elcometer 407 Statistical Glossmeter (Izvor: https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)

3.2.4. Skener CanoScan LiDE 700F

Skener je uređaj za digitalizaciju slika, ilustracija, teksta, filmova i fotografija. Skener proizvođača Canon ima mogućnost skeniranja filma u visokoj rezoluciji do 9600 dpi, te reflektivno skeniranje u rezoluciji 4800x4800 dpi. Arhitektura skenera je *flat bed*. Uređaj ima mogućnost automatskog uklanjanja prašine i ogrebotina te način za automatsko skeniranje. Tehničke karakteristike skenera prikazane su tablici 4. [20]

Tablica 4 Tehničke karakteristike skenera CanoScan LiDE 700F

Naziv mjernog uređaja	CanoScan LiDE 700F
Proizvođač	Canon
Maksimalna rezolucija skeniranja	9600x9600 dpi – za film 4800x4800 dpi – za slike i dokumente
Maksimalni format dokumenta	A4 (210x297 mm)
Brzina skeniranja	12 sekundi – A4 format
Software	MP Navigator EX
Dimenzije	292x409x44 mm



Slika 39 Skener CanoScan LiDE 700f kotičten za digitalizaciju uzoraka (Izvor: https://www.canon.hr/media/CanoScan_LiDE_700F_Default_tcm143-929838.jpg)

3.3. Korišteni materijali

3.3.1. Papir UPM Silk

Papir je materijal koji se proizvodi od biljnih celuloznih vlaknaca, ali se za proizvodnju mogu koristiti vlakanca od mineralnog ili sintetskog porijekla. Za poboljšanje fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških svojstava papiru se, u proizvodnji, dodaju keljiva, punila i bojila. Papir je namijenjen za visoko kvalitetno otiskivanje. U eksperimentalnom dijelu koristio se premazani papir za umjetnički tisak UPM silk 300g/m², a oznaka papira po međunarodnoj nomenklaturi je WFC. Tehničke specifikacije papira prikazane su u tablici 5.

Tablica 5 Tehničke karakteristike papira UPM silk 300g/m²

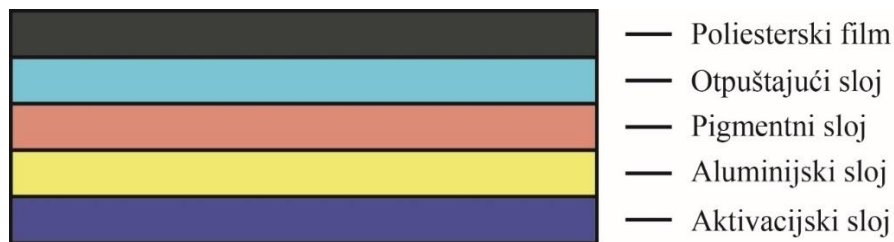
Parametri	Standard	Vrijednost
Gramatura papira	ISO 536	300 g/m ²
Debljina papira	ISO 534	282 μm
Specifični volumen	ISO 534	0,94 cm ³ /g
CIE bijelina	ISO 11475	121%
Svjetlina	ISO2470-2	99%
Hrapavost PPS	ISO 8791-4	1,8 μm
Neprozirnost	ISO 2471	99%
Relativna vlažnost	TAPPI 502	50%
pH vrijednost	ISO 6588	>7

3.3.2. Zlatna folija Murata

Metalizirana folija je tanka i glatka rola napravljena od različitih materijala. Kroz povijest se osnovni metalni sloj izrađivao od metala zlata, srebra, bakra, aluminijskog i kositra, dok se danas upotrebljavaju folije koje sadrže i polimerne materijala (celuloznog acetata, poli(vinil-klorida), polietilena i sl.). Takva folija se uglavnom koristi za otiskivanje na ambalažu, zaštitu raznih predmeta, u kućanstvu (za čuvanje hrane) i sl. Uglavnom nastaju postupkom izvlačenja vakuumom.

U eksperimentu je korištena metalna folija zlatnog metalik sjaja koja je pogodna za prijenos toplinom na tiskovnu podlogu. Napravljena je od pet slojeva. Temeljni sloj folije

je jeftini poliesterski film na koji je nanesen otpuštajući sloj, koji određuje mogućnost kopiranja i sposobnost rezanja folije. Sljedeći sloj je pigmentni sloj koji ima funkciju zaštite od mehaničkih oštećenja, te i daje obojenje foliji. Sljedeći metalni sloj čini čisti aluminijski sloj je neprozirni sloj čija je debljina od 0,02 do 0,05 μm . Promjenom debljine sloja mijenja i cijena folije. Posljednji, aktivacijski sloj se aktivira pod utjecajem temperature. Pritom se mijenja njegova ljepljivost kako bi se cijela folija mogla kvalitetno prihvatiti za podlogu. Na slici 40 prikazan je presjek folije korišten u eksperimentu.

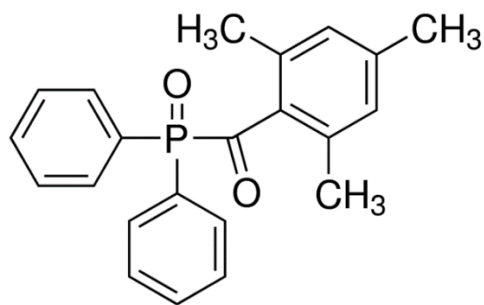


Slika 40 Presjek folije korištene u eksperimentu

3.3.3. Brzosušajući UV Lak P/N 10143S

UV lakovi su otopina ili disperzija veziva, otapala i punila. Nakon sušenja na tiskovnoj podlozi tvore ravnomjeran prozirni film. Najvažniji sastojak lakova je vezivo, koje povezuje sve sastojke međusobno ali i s površinom nekog drugog materijala. Veziva mogu biti organske tvari, uglavnom polimeri (prirodne ili sintetske smole), sušiva ulja, voskovi i sl. Otapala služe za otapanje veziva i postizanje prikladne viskoznosti lakova.

U eksperimentu je korišten brzosušajući UV lak, proizvođača *MGI Digital Graphic Technology*. Lak se po kemijskom sastavu sastoji od akrilnih monomera i polimera, fotoinicijatora te raznih dodataka. Glavni sastojak tako čini polimer Difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfin oksid ($(\text{CH}_3)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{COP}(\text{O})(\text{C}_6\text{H}_5)_2$). Njegova struktura prikazana je na slici 41.



Slika 41 Strukturna molekula Difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfin oksida (izvor)

Lak dolazi u tekućem agregatnom stanju, i svijetlo žute je boje. Temperatura taljenja laka je iznad 100°C, te se ne preporuča se da lak izlaže temperaturi višoj od 40°C. Također se ne preporuča izlaganje direktnom toplinskom i sunčevom zračenju.

3.4. Korištene metode

Za analizu skeniranih uzoraka i dobivanje tabličnih rezultata korišten je program *ImageJ*. Korišten program ima mogućnost analize slika, razdvajanja fotografija i skeniranih uzoraka na osnovne kanale boja ili akromatskih kanala, zasićenja baziranih na regulaciji svjetline. Samim time moguće je izvršiti definiranje profila linija, mjerenje površine označenog polja ili elemenata u samom polju. Prije samog početka mjerenja i analize potrebno je odrediti mjernu skalu. Za određivanje površine mjerna skala definirana je u milimetrima [mm], a za profile linija definirana je skala u mikrometrima [μm]. Program također ima mogućnost automatizacije analize pomoću *Macros* naredbi koje snimaju korake i koriste iste za svaki sljedeći uzorak. Pri ispitivanju korištene su četiri *Macros* naredbe čiji su programi sljedeći:

Macros program korišteni za analizu horizontalnih linija:

```
run("HSB Stack");
run("Stack to Images");
selectWindow("Saturation");
close();
selectWindow("Hue");
close();
makeRectangle(9, 6, 456, 574);
makeRectangle(7, 0, 458, 580);
run("Plot Profile");
run("Select All");
```

Macros program korišteni za analizu okomitih linija:

```
run("HSB Stack");
run("Stack to Images");
selectWindow("Saturation");
close();
selectWindow("Hue");
close();
makeRectangle(9, 6, 456, 574);
makeRectangle(7, 0, 458, 650);
run("Plot Profile");
run("Select All");
```

Macros program korišteni za mjerenje površine testa rezolucije:

```
setOption("BlackBackground", false);
run("Make Binary");
run("Analyze Particles...", "display clear
summarize");
close();
```

Macros program korišteni za analizu točkastih elemenata:

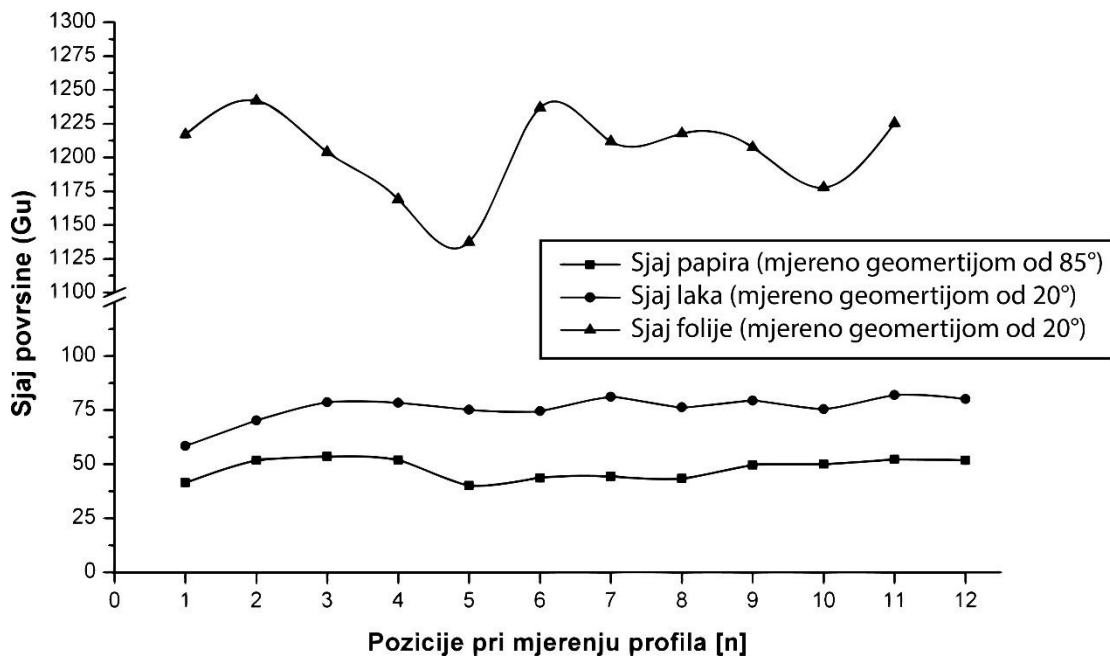
```
run("HSB Stack");
run("Stack to Images");
selectWindow("Saturation");
close();
selectWindow("Hue");
close();
setOption("BlackBackground", false);
run("Make Binary");
run("Analyze Particles...", "display clear
summarize");
close();
```

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Profil sjaja korištenih materijala (eksperiment 1)

Sjaj je vizualna pojava karakteristična za visoko reflektirajuće tiskarske podloge. Za numeričko određivanje sjaja koriste se uređaji *glossmetri*, koji mjere spektralnu refleksiju s tiskovne podloge. Za potrebe istraživanja korišten je tri-kanalni uređaj koji je namijenjen mjerenju *matt*, *semimatt* i sjajnih podloga. Prilikom mjerenje referentni kut je 60° i on se koristi kada je izmjerena vrijednost sjaja u rasponu od 10 do 70 gloss jedinica. Ukoliko izmjerena površina ima vrijednost manju od 10 tada se primjenjuje geometrija kuta mjerenja od 85° , te je time određena *matt* podloga. Ako se pri mjerenju sjaja površine izmjeri vrijednost viša od 70° gloss jedinica tada se koristi kut od 20° , što određuje visoko glatku, odnosno sjajnu površinu. Na slici 42 prikazani su profili sjaja materijala korištenih u eksperimentu (papir, UV sušeci lak i zlatna metalik folija).

Profil sjaja semi matt kartona (izmjeren pod kutem od 85°), nanesenog laka (izmjeren pod kutem od 20°) te zlatne metalne folije (izmjeren pod kutem od 20°) napravljen je mjerenjem vrijednosti sjaja svakog materijala na 12 pozicija, uz statističko ponavljanje od 8 puta. Nakon mjerenja je izračunata srednja vrijednost svake od 12 pozicija te uvrštena u tablicu iz koje je napravljen grafikon prikazan na slici 42.



Slika 42 Profili sjaja materijala korištenih u eksperimentu

Analizom grafikona može se uočiti da najmanji sjaj ima karton sa srednjom vrijednošću $S_{\text{sred}}=47,8$ GU. Na površini papira izmjerene vrijednosti sjaja variraju između minimalnog iznosa sjaja koji iznosi $S_{\text{min}}=40,1$ GU (pozicija 5) i maksimalnog iznosa sjaja koji iznosi $S_{\text{max}}=53,6$ GU (pozicija 3). Samim time ostvarena je promjena vrijednosti sjaja papira $\Delta S=13,5$ GU, što nam govori da je površina vrlo neujednačena i različito sjajna (hrapava).

Debljinom nanosa laka direktno se utječe na prihvaćanje metalik folije. Pri tome će veća debljina folije omogućiti i bolju adheziju folije. Također, ujednačenost laka presudna je za homogenost prihvaćanja folije. Daljnjom analizom uočava se da nanoseni lak debljine $21 \mu\text{m}$ ima veći sjaj od papira. Srednja vrijednost sjaja lakirane površine iznosi $S_{\text{sred}}=75,8$ GU, a vrijednosti variraju između minimalnog iznosa sjaja od $S_{\text{min}}=58,4$ GU (pozicija 1) i maksimalnog iznosa sjaja od $S_{\text{max}}=82,0$ GU (pozicija 11). Promjena vrijednosti sjaja laka iznosi $\Delta S=23,6$ GU. Takvim postupkom lakiranja nije došlo do ujednačavanja površine te tehnika Inkjeta daje neujednačene nanose u zonama preklapanja ispisnih glava.

Metalna površina ostvaruje vrlo visoke vrijednosti sjaja koje se kreću iznad 1000 jedinica sjaja. Pri tome se očekuje i veća devijacija iznosa sjaja. Najveći sjaj ima metalik folija Murata Gold, sa srednjom vrijednosti od $S_{\text{sred}}=1198,0$ GU, minimalnog iznosa sjaja od $S_{\text{min}}=1137,6$ GU (pozicija 4) te maksimalnog iznosa sjaja od $S_{\text{max}}=1236,7$ GU (pozicija 5). Promjena ostvarenog sjaja folije iznosi $\Delta S=99,1$ GU. Iako je devijacija sjaja velika, vizualno ona nije vidljiva, ali ipak sugerira o kvaliteti prihvaćanja folije koja nije savršeno izvedena.

4.2. Analiza linijskih uzoraka

4.2.1. Analiza linijskih uzoraka ovisno o promjeni debljine nanosa laka (eksperiment 2)

Grafički proizvodi koji se koriste za potrebe prijenosa informacija mogu sadržavati različite elemente a to su: linije (akromatske ilustracije, tablice...), tipografske elemente (u pozitivu i negativu), te fotografije. Za potrebe ovog istraživanja analizirane su različite debljine linija koje su definirane u programu Illustrator i prebačene u univerzalni PDF format.

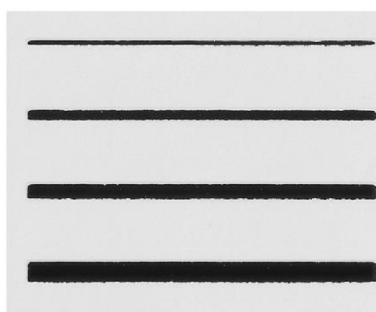
Korištene su 4 grupe linijskih uzorka točno definiranih širina: $d_1=1,40$ mm, $d_2=1$ mm, $d_3=0,6$ mm i $d_4=0,3$ mm. Na slikama (od 45 do 56), prikazani su profili eksperimentalnih linija u nanosu od $21\ \mu\text{m}$ do $58\ \mu\text{m}$ koji su uspoređivani s profilima referentnih linija koje su otisnute na stroju Konica Minolta AccurioPrint C3070L. Pri analizi, u programu ImageJ, obrađeno je područje širine 20 mm. Debljine svi linija su mjerene i analizirane na stabilnom dijelu linije pri sivoći od 50%.

Analizom crnih horizontalnih linija referentnog Konica Minolta otiska može se uočiti karakteristična pojava da su rubni dijelovi veće sivoće ($G_{R1}=91,53\%$, $G_{R2}=89,57\%$, $G_{R3}=90,40\%$, $G_{R4}=88\%$) u odnosu na srednji dio linija ($G_{S1}=85\%$, $G_{S2}=84,98\%$, $G_{S3}=84,34\%$, $G_{S4}=82,72\%$), te se također može uočiti da će smanjivanjem debljine linije ostvariti i veće smanjenje rubne sivoće.

Analizom crnih okomitih linija referentnog otiska također se može uočiti karakteristična pojava i da su rubni dijelovi veće sivoće ($G_{R1}=75,70\%$, $G_{R2}=76,17\%$, $G_{R3}=76,24\%$, $G_{R4}=70,93\%$) u odnosu na srednji dio linija ($G_{S1}=74,20\%$, $G_{S2}=74,07\%$, $G_{S3}=73,70\%$, $G_{S4}=65,61\%$). Međutim ovdje ne dolazi do znatnog smanjivanja sivoće osim kod linije 4. Maksimalni iznos sivoće okomitih linija tako je manji u odnosu na horizontalne linije. Samim time vidljivo je da smjer tiska (orijentacija linija) utječe na kvalitetu reprodukcije linija, odnosno laserska glava i nanos tonova različito se manifestiraju na kvalitetu realizacije linija. Preciznije linije ostvaruju se prilikom tiska horizontalnih linija. Na slikama 43 i 44 prikazane uvećane su horizontalne i okomite linije uzoraka.



Referentni uzorak



Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



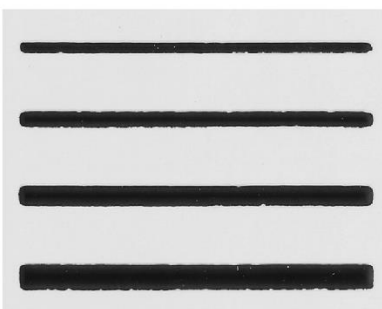
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



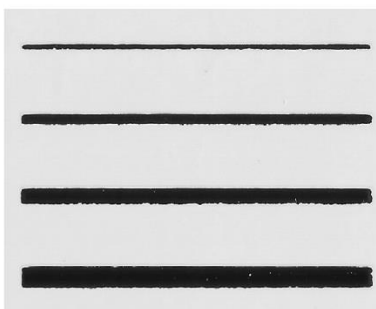
Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



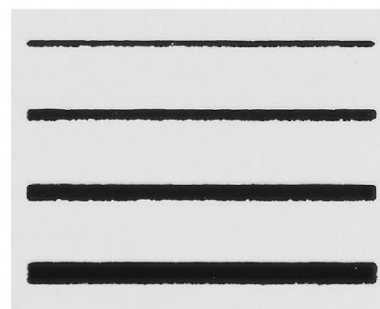
Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)

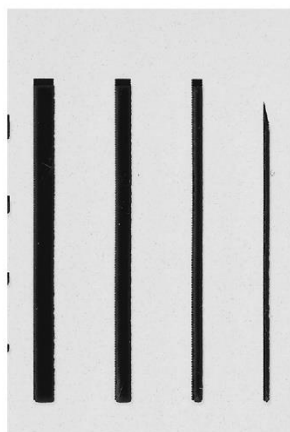


Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)

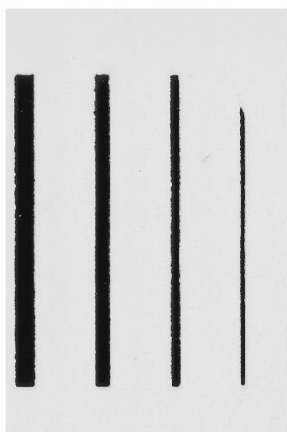


Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

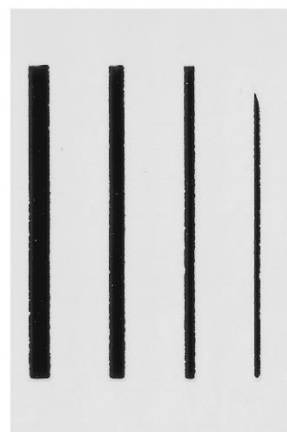
Slika 43 Skenirane i uvećane horizontalne linije eksperimentalnih uzoraka



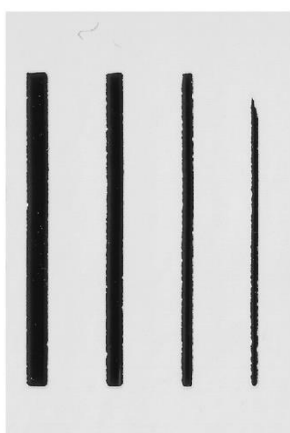
Referentni uzorak



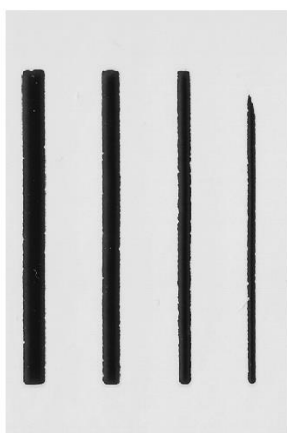
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



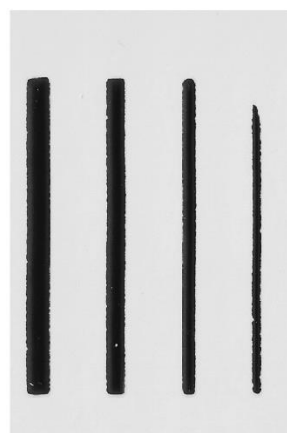
Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



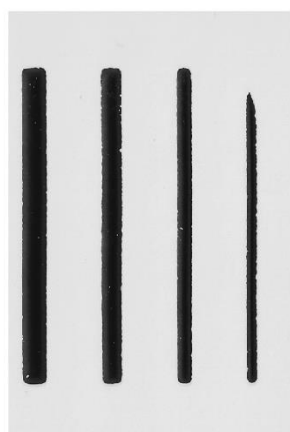
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)



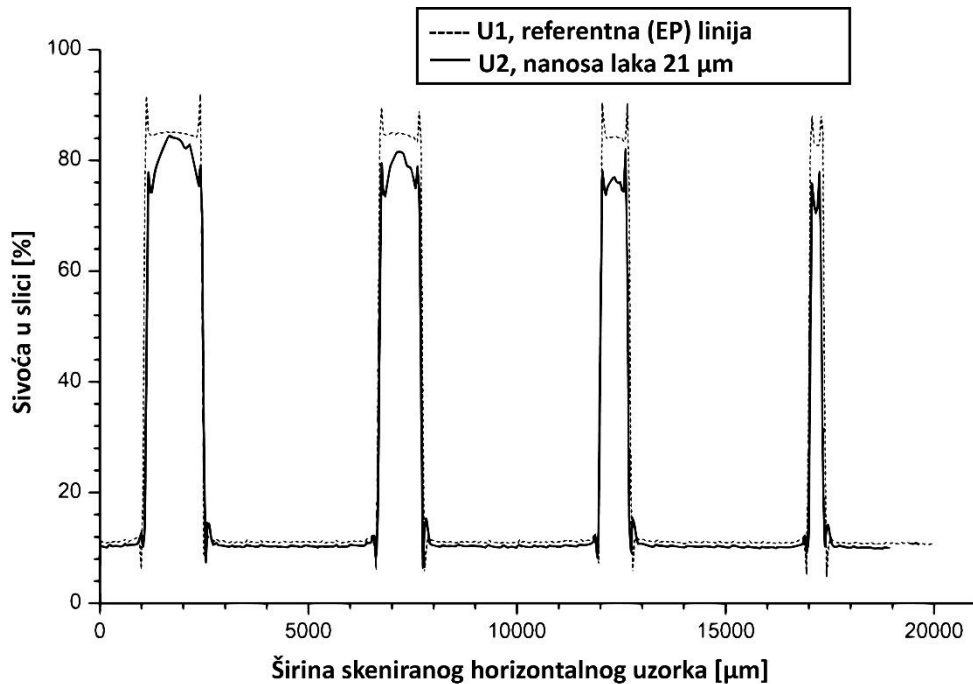
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 44 Skenirane i uvećane okomite linije eksperimentalnih uzoraka

Promjena debljine linija i profil horizontalne linije (uzorak 2), ostvarene s nanosom debljine 21 μm , brzine otiskivanja 0,300 m/s prikazani su na slici 45 i u tablici 6.



Slika 45 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 2

Tablica 6 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 2

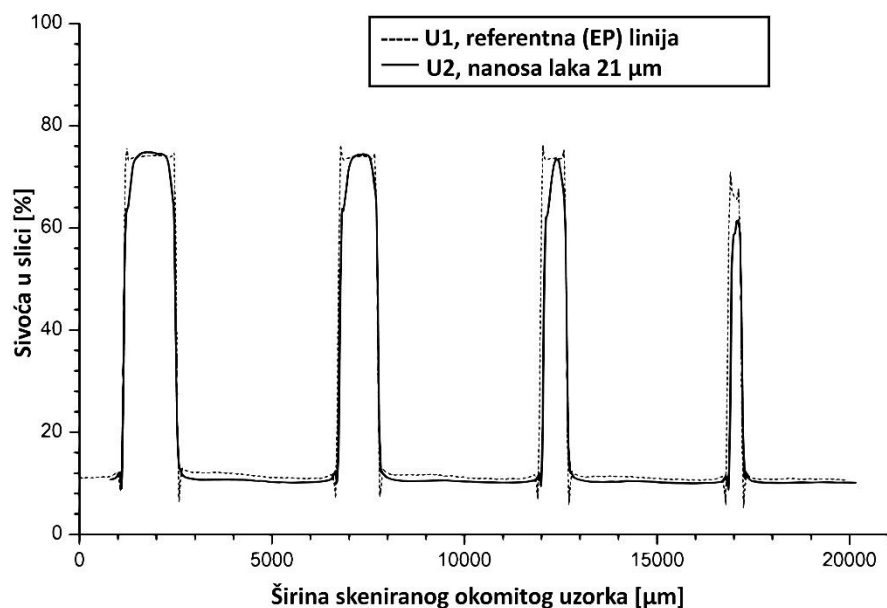
	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 2 (nanos 21 μm)	1329,34 μm	950,81 μm	624,68 μm	252,08 μm	3156,91 μm
Promjena debljine	53,18 μm	84,87 μm	67,69 μm	88,89 μm	294,63 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					73,65 μm

Pri analizi horizontalnih linija (uzorak 2), nastala nanosom laka debljine 21 μm , brzinom otiskivanja od 0,300 m/s te prihvaćanjem metalik folije, koji se uspoređuje s referentom linijom može se uočiti da se ukupna debljina svih linija uzorka smanjuje za $\Delta d_{\text{uk}}=294,63$ μm .

Profili linija uzorka 2 su neujednačeni. Kod debljih linija (linija 1 i linija 2) sivoća je najveća na sredini otisnute linije, dok su rubovi nešto slabijeg intenziteta. Kod tanjih linija

(linija 3 i linija 4), sivoća je izraženija na rubnim dijelovima otiska, a srednji dijelovi otiska su manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija uzorka 2 dobivaju se razlike od: $\Delta G_1=0,75\%$, $\Delta G_2=3,45\%$, $\Delta G_3=8,39\%$, $\Delta G_4=12,30\%$. Takvi iznosi dovode do zaključka da metalna folija prihvaćena na lak smanjuje mogućnost reproduciranja sivih tonova. Smanjenjem debljine linija mogućnost reprodukcije sivoće pada, što znači da dolazi i do pada informacija refleksije sa zlatne folije.

Promjena debljine linija i profil okomite linije (uzorak 2), ostvarene s nanosom debljine 21 μm , brzine otiskivanja 0,300 m/s prikazani su na slici 46 i u tablici 7.



Slika 46 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2

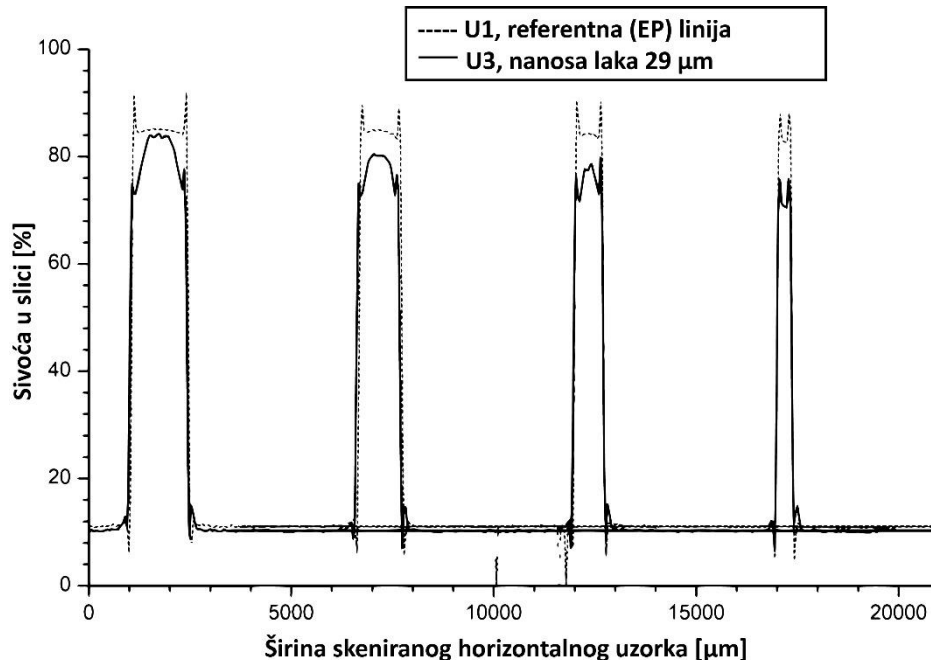
Tablica 7 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 2 (nanos 21 μm)	1259,65 μm	971,75 μm	568,61 μm	244,51 μm	3044,52 μm
Promjena debljine	66,36 μm	30,09 μm	90,15 μm	29,73 μm	156,87 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					54,08 μm

Pri analizi uzorka 2 okomitih linija (nanosa laka debljine 21 μm i brzinom otiskivanja od 0,300 m/s, te prihvaćanjem metalik folije) koji se uspoređuje s referentom linijom, može se uočiti da se debljina linija uzoraka smanjuje. Izuzetak su najtanje linije. Samim time je vidljivo da nanos laka nije dobar i da Konica Minolta glava ne uspijeva realizirati tako finu liniju. Smanjenje ukupne debljine sve 4 linije uzorka iznosi $\Delta d_{\text{uk}}=156,87 \mu\text{m}$.

Profili okomitih linija uzorka 2 su pravilni, te ne postoje veća odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti uzorka 2 primjećuje se da zlatna folija prihvaćena na lak u gotovo istim iznosima sivoće kao i referentni uzorak. Izuzetak je najtanja linija gdje je sivoća pala $\Delta G_4=4,18\%$. Uočena je i veća reprodukcija nanosa u rubnoj zoni linija. Tako će početak linije biti nešto slabije reproduciran. Usporedbom horizontalnih i okomitih linija primijećeno je da će okomita distribucija linija dati bolju i kvalitetniju zlatnu liniju te da je pomak glave stroja precizniji od pomaka papira.

Promjena debljine linija i profil horizontalne linije uzorka 3 (ostvarene s nanosom debljine 29 μm) prikazani su na slici 47 i u tablici 8.



Slika 47 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 3

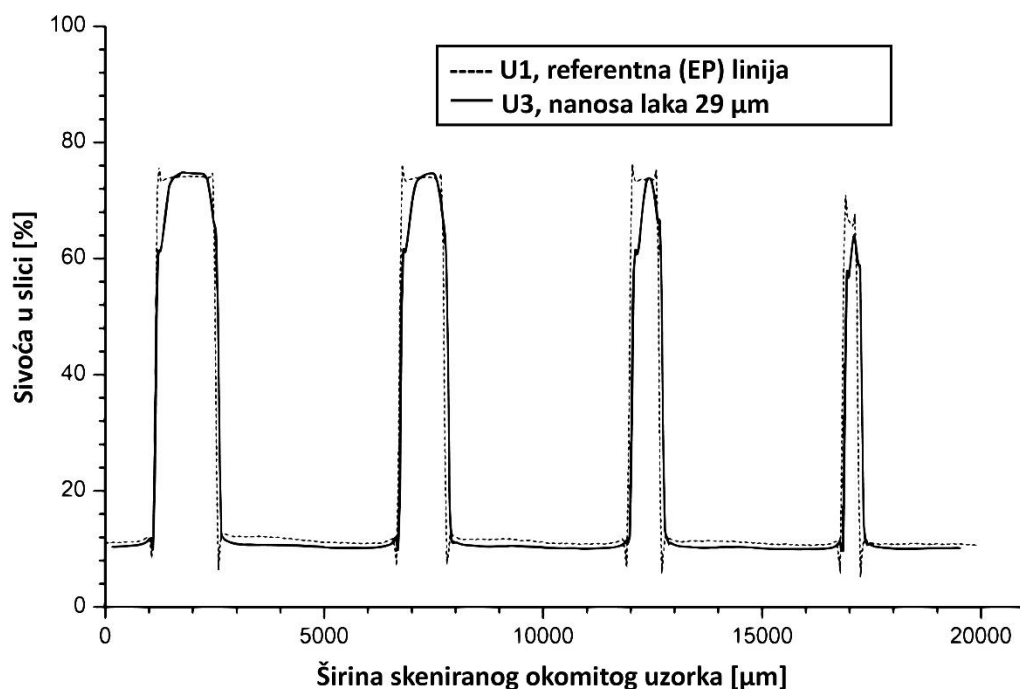
Tablica 8 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 3

	Debljina linija na otisku [μm]				
	1	2	3	4	Ukupno
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 3 (nanosa 29 μm)	1390,01 μm	1058,24 μm	718,79 μm	343,02 μm	3510,06 μm
Promjena debljine	7,49 μm	22,56 μm	26,42 μm	2,05 μm	58,52 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					14,63 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 3, koji se uspoređuje s referentom EP linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava $\Delta d_{uk}=58,52 \mu\text{m}$.

Profili horizontalnih linija uzorka 3 su vrlo neujednačeni. Tako će kod debljih linija (linija 1 i linija 2) sivoća je najveća pri sredini otiska linije, dok su rubovi slabijeg intenziteta. Kod tanjih linija (linija 3 i linija 4), sivoća je izraženija na rubnim dijelovima otiska, a srednji dijelovi otiska su manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija uzorka 3 dobiva se razlika kod svih linija, odnosno iznosi sivoće uzorka manji su od vrijednosti sivoće referentnog: $\Delta G_1=0,86\%$, $\Delta G_2=4,57\%$, $\Delta G_3=5,73\%$, $\Delta G_4=13,16\%$. Takvi iznosi dovode do zaključka da zlatna folija prihvaćena na lak smanjuje mogućnost reproduciranja sivih tonova. Smanjenjem debljine linija mogućnost reprodukcije sivoće pada. Povećanjem nanosa laka za 8 μm rezultirat će tako boljim otiskom čija prosječna odstupanja debljine sada iznose $\Delta d_{sr}=14,63 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil okomitih linija (uzorak 3), ostvarene s nanosom debljine 29 μm , prikazani su na slici 48 i u tablici 9.



Slika 48 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 3

Tablica 9 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 3

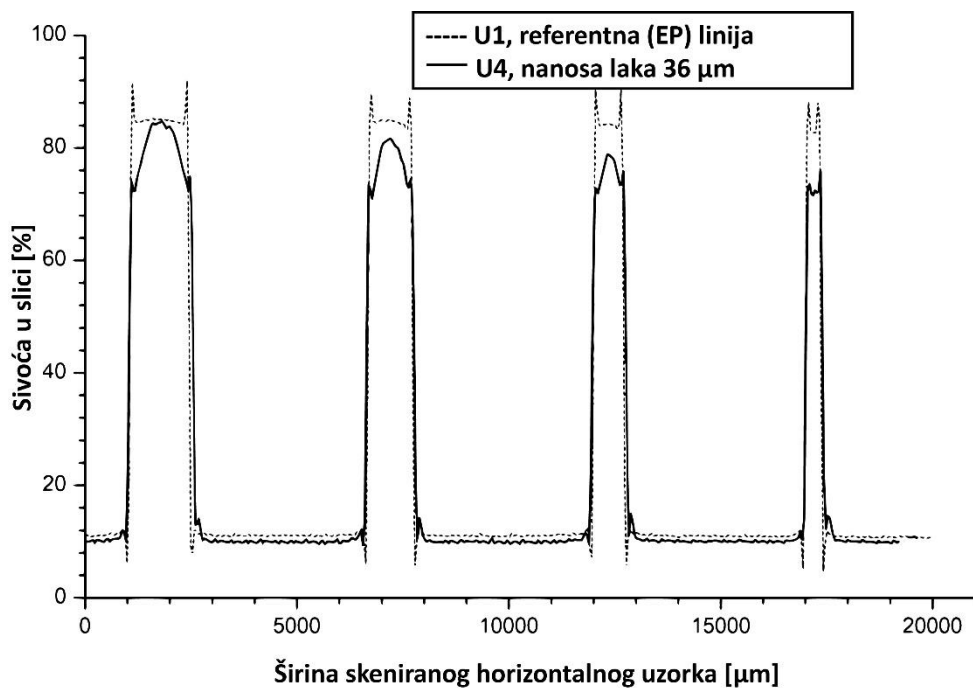
	Debljina linija na otisku [µm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 µm	1001,84 µm	658,76 µm	214,78 µm	3201,39 µm
Uzorak 3 (nanosa 29 µm)	1401,88 µm	1042,9 µm	661,28 µm	336,67 µm	3442,73 µm
Promjena debljine	75,87 µm	41,06 µm	2,52 µm	121,89 µm	241,34 µm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					60,33 µm

Pri analizi okomitih linija uzorka 3, s nanosom laka debljine 29 µm, može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{uk}=241,34 \mu\text{m}$.

Profili okomitih linija uzorka 3 su pravilni, te ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. To znači da su maksimalni iznosi sivoće ostvareni na području sredine uzorka. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija uzorka 3 dolazi do izraženijeg odstupanja samo kod linije 4. Ta anomalija je ista kao i kod uzorka 2, dok su iznosi ostvarene sivoće kod ostalih linija

uzorka veće od referentnog uzorka ($\Delta G_1=0,52\%$, $\Delta G_2=0,64\%$, $\Delta G_3=0,13\%$, $\Delta G_4=2,13\%$). To dovodi do zaključka da je reprodukcija sivoće okomitih linija uzorka 4 gotovo identična referentnom uzorku, odnosno bolja od uzorka 2. Povećanjem nanosa laka za 8 μm rezultat će debljim otiskom čija prosječna odstupanja sada iznose $\Delta d_{sr}=60,33 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil horizontalne linije nastalih nanosom laka debljine 36 μm (uzorak 4), prikazani su na slici 49 i u tablici 10.



Slika 49 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 4

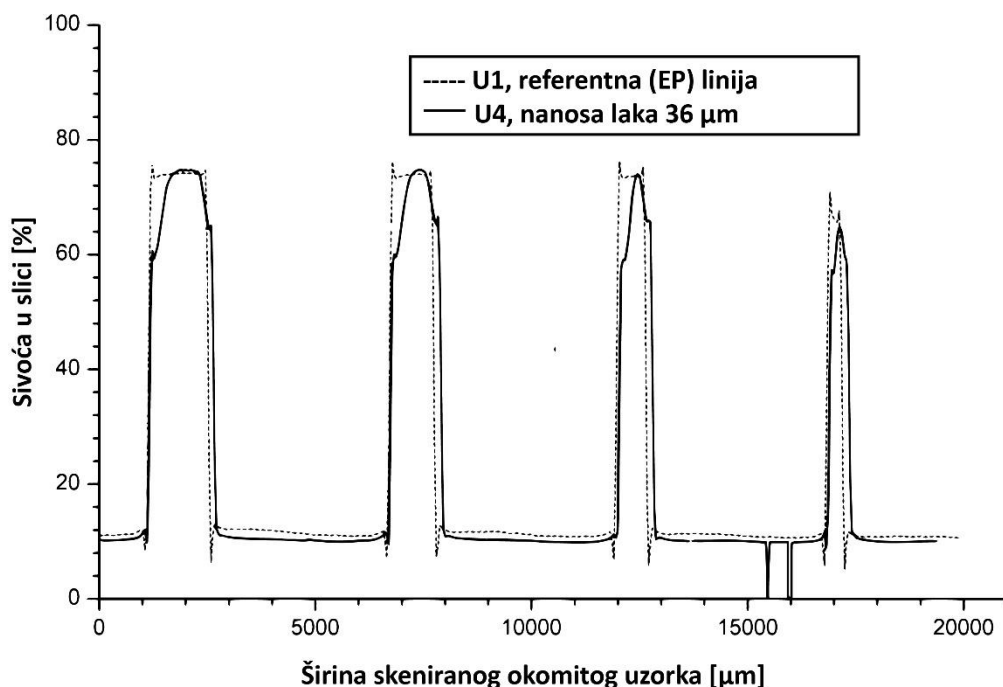
Tablica 10 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 4

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 4 (nanosa 36 μm)	1493,82 μm	1109,32 μm	779,51 μm	388,7 μm	3771,35 μm
Promjena debljine	111,3 μm	73,64 μm	87,14 μm	47,73 μm	319,81 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					79,95 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 4, s nanosom laka debljine 36 μm , te nanosom metalik folije, može se uočiti da se debljina linija uzoraka očekivano povećavati kod svih linija. Ukupna debljina svih analiziranih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{\text{uk}}=319,81 \mu\text{m}$.

Profili horizontalnih linija na uzorku 4 su neujednačeni. To je vidljivo kod debljih linija (linija 1, linija 2 i linija 3) gdje je sivoća najveća na sredini otisnutih linija, dok su rubovi porozniji i slabijeg intenziteta. Kod najtanje linije (linija 4), sivoća je izraženija na rubnim dijelovima otiska, dok su srednji dijelovi otiska manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih folijom (uzorak 4) dobivena je sljedeća devijacija sivoće: $\Delta G_1=0,91\%$, $\Delta G_2=3,43\%$, $\Delta G_3=5,37\%$, $\Delta G_4=10,31\%$. Smanjenjem debljine linija mogućnost reprodukcije sivoće lagano pada, no reprodukcija je nešto bolja nego kod uzorka 3. Povećanjem nanosa laka za 15 μm , očekivano se povećava i srednja vrijednost promjene debljine koja sada iznosi $\Delta d_{\text{sr}}=79,95 \mu\text{m}$.

Promjena okomitih debljine linija i profil okomitih linije (uzorak 4), ostvarene s nanosom debljine 36 μm , prikazani su u na slici 50 i u tablici 11.



Slika 50 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 4

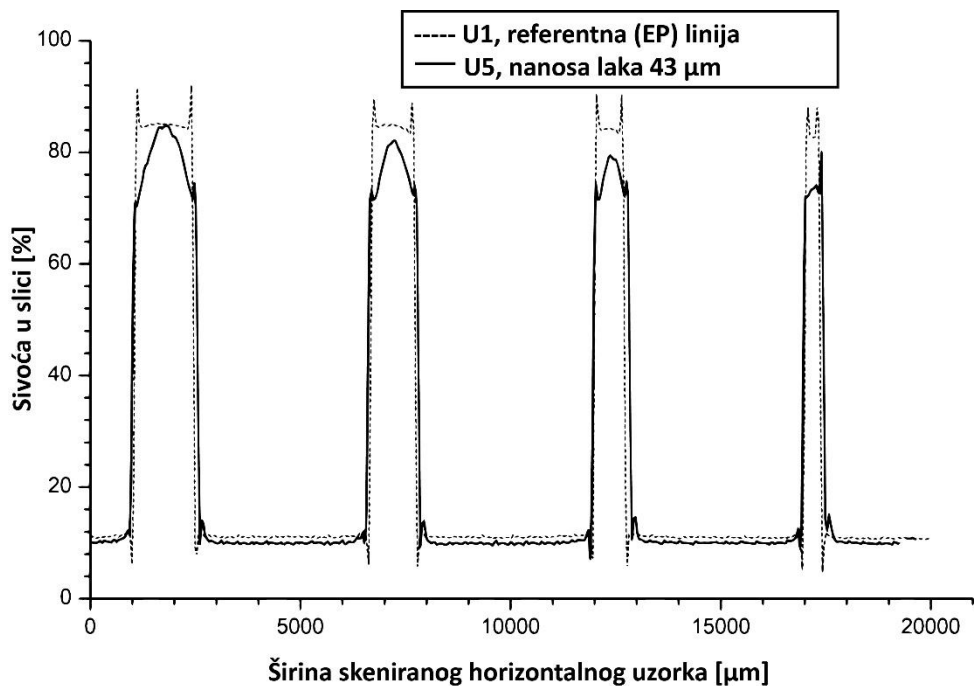
Tablica 11 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 4

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 4 (nanosa 36 μm)	1442,58 μm	1121,09 μm	718,13 μm	400,46 μm	3682,26 μm
Promjena debljine	116,57 μm	119,25 μm	59,37 μm	185,68 μm	480,87 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					120,21 μm

Pri komparativnoj analizi okomitih linija uzorka 4, s nanosom laka debljine 36 μm , te naknadnim prihvaćanjem metalik folije, s referentnim otiskom može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{uk}=480,87 \mu\text{m}$.

Profili linija uzorka 4 su pravilni, i ne postoje veća odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. To znači da su maksimalni iznosi sivoće na području sredine otiska. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih folijom uzorka 4 do izraženijeg odstupanja dolazi samo kod linije 4. Jednaka anomalija uočava se i kod uzorka 2 i 3, pri čemu su iznosi sivoće neznatno veći od referentnog uzorka ($\Delta G_1=0,61\%$, $\Delta G_2=0,79\%$, $\Delta G_3=0,35\%$, $\Delta G_4=1,51\%$). To dovodi do zaključka da je reprodukcija sivoće okomitih linija uzorka 4 također gotovo identična referentnom uzorku. Srednja vrijednost promjene debljine linija s povećanjem nanosa od 15 μm tako iznosi $\Delta d_{sr}=120,21 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil horizontalne linije (uzorak 5), ostvarene s nanosom debljine 43 μm , prikazani su na slici 51 i u tablici 12.



Slika 51 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 5

Tablica 12 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 5

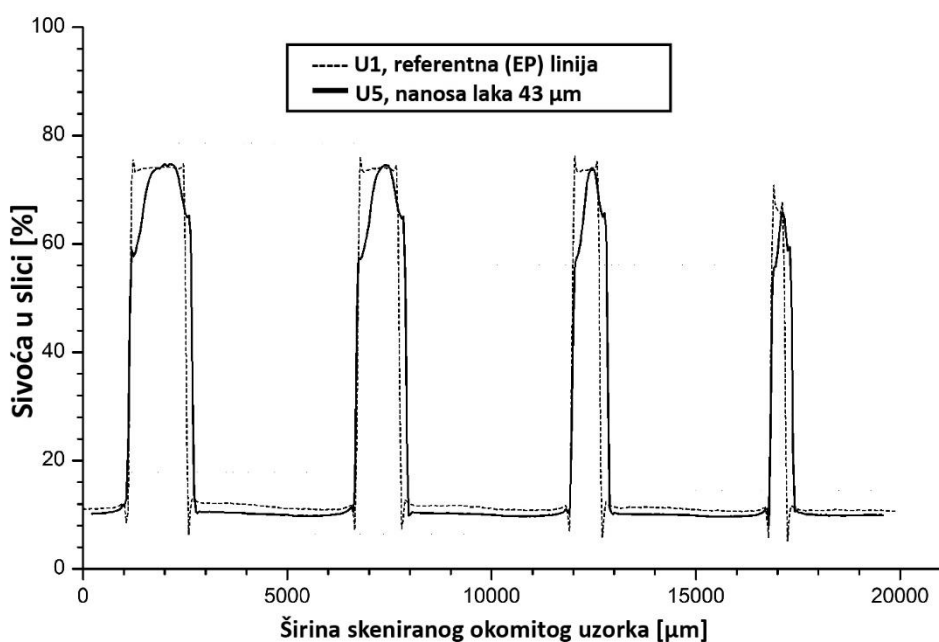
	Debljina linija na otisku [µm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 µm	1035,68 µm	692,37 µm	340,97 µm	3451,54 µm
Uzorak 5 (nanosa 43 µm)	1535,52 µm	1188,84 µm	856,19 µm	477,21 µm	4057,76 µm
Promjena debljine	153 µm	153,16 µm	163,82 µm	136,24 µm	606,22 µm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					151,55 µm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 5, te njegovom usporedbom s referentom linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih linija. Ukupna debljina svih analiziranih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{uk}=606,22$ µm.

Profili linija uzorka 5 su neujednačeni. Kod debljih linija (linija 1, linija 2 i linija 3) sivoća je najveća pri sredini otisnute linije, dok su rubovi slabijeg intenziteta. Kod najtanje linije (linija 4), sivoća je izraženija na desnom rubnom dijelu otiska, a srednji dijelovi otiska su manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti otisnutih linija uzorka 5 dobiva se razlika gdje je sivoća linije 1 uzorka

približna je sivoći linije 1 referentnog uzorka. Drugim rječima iznosi sivoće uzoraka manji su od vrijednosti sivoće referentnog: $\Delta G_1=0,46\%$, $\Delta G_2=2,88\%$, $\Delta G_3=4,88\%$, $\Delta G_4=8,55\%$. Iz toga se može zaključiti da uzorak 5 ima bolju reprodukciju od referentnog uzorka. Srednja vrijednost promjene debljine linija s povećanjem nanosa od 22 μm tako iznosi $\Delta d_{sr}=151,55 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil okomitih linija (uzorak 5), ostvarene s nanosom debljine 43 μm , prikazani su na slici 52 i u tablici 13.



Slika 52 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 5

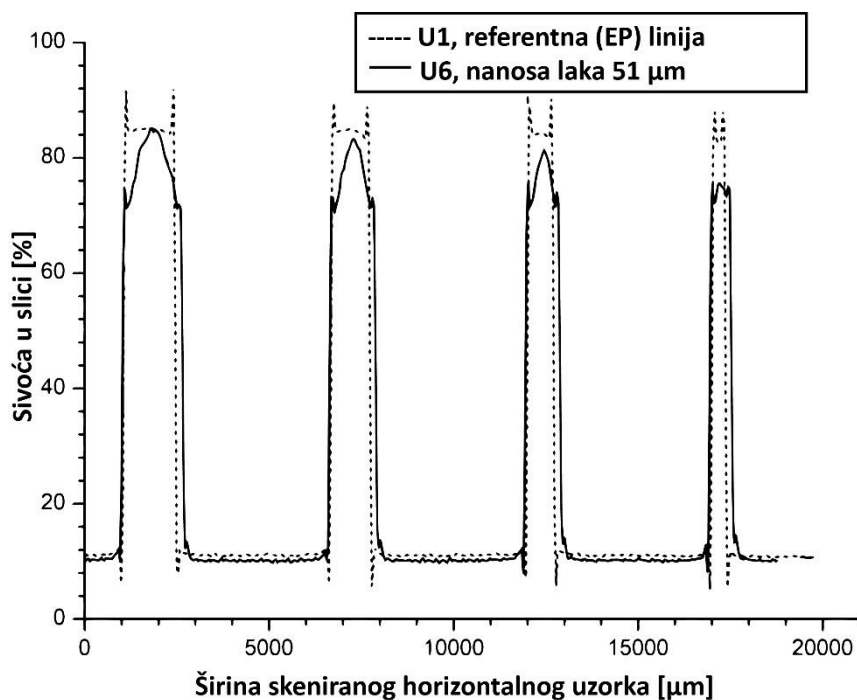
Tablica 13 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 5

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 5 (nanosa 43 μm)	1495,97 μm	1183,99 μm	811,25 μm	471,12 μm	3962,33 μm
Promjena debljine	169,96 μm	182,15 μm	152,49 μm	256,34 μm	760,94 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					190,24 μm

Pri analizi okomitih linija uzorka 5, može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih analiziranih linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{uk}=760,94 \mu\text{m}$.

Profili linija uzorka 5 su potpuno pravilni, ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija, što znači da su maksimalni iznosi sivoće na području sredine linijskog elementa. Usporedbom srednje vrijednosti linija referentnog otiska i srednje vrijednosti linija otisnutih linija uzorka 5 ne dolazi do većih odstupanja ($\Delta G_1=0,41\%$, $\Delta G_2=0,52\%$, $\Delta G_3=0,24\%$, $\Delta G_4=0,44\%$). To dovodi do zaključka da je reprodukcija sivoće okomitih linija uzorka 5 gotovo identična referentnom uzorku. Srednja vrijednost promjene debljine linija s povećanjem nanosa od $22 \mu\text{m}$ pritom iznosi $\Delta d_{sr}=190,23 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil horizontalne linije (uzorak 6), ostvarene s nanosom debljine $51 \mu\text{m}$, prikazani su na slici 53 i u tablici 14.



Slika 53 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 6

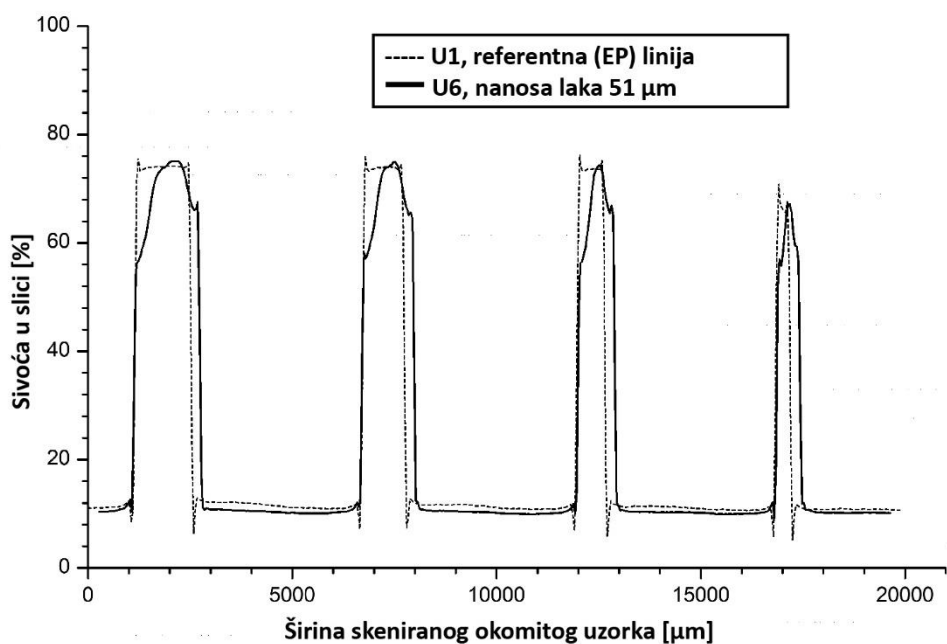
Tablica 14 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 6

	Debljina linija na otisku [μm]				
	1	2	3	4	Ukupno
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 6 (nanosa 51 μm)	1608,15 μm	1222,07 μm	919,04 μm	566,49 μm	4315,75 μm
Promjena debljine	225,63 μm	186,39 μm	226,67 μm	225,52 μm	864,21 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					216,05 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 6, koji se uspoređuje s referentom linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka očekivano povećava kod svih linija. U odnosu na referentni uzorak ukupna debljina svih linija se povećava za $\Delta d_{uk}=864,21 \mu\text{m}$.

Profili horizontalnih linija uzorka 6 su ujednačeni, odnosno sredina linijskog elementa ima veći iznos sivoće od rubnih dijelova. Kod najtanje linije (linija 4), sivoća sredine i rubnih dijelova je gotovo jednaka. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih linija uzorka 6 dolazi do smanjenja razlike sivoće uzorka u odnosu na prethodne uzorke. Kod linija 1 razlika je zanemariva, no ostale su i dalje očigledne $\Delta G_1=0,04\%$, $\Delta G_2=1,70\%$, $\Delta G_3=2,96\%$, $\Delta G_4=7,19\%$. Rezultati ovog dijela istraživanja potvrđuju da se većim nanosom laka ostvaruje bolja mogućnost reproduciranja sivoće. Srednja vrijednost promjene debljine linija s dodatnim povećanjem nanosa (od 30 μm) iznosi $\Delta d_{sr}=216,05 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil okomite linije (uzorak 6), ostvarene s nanosom debljine 51 μm , prikazani su na slici 54 i u tablici 15.



Slika 54 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 6

Tablica 15 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 6

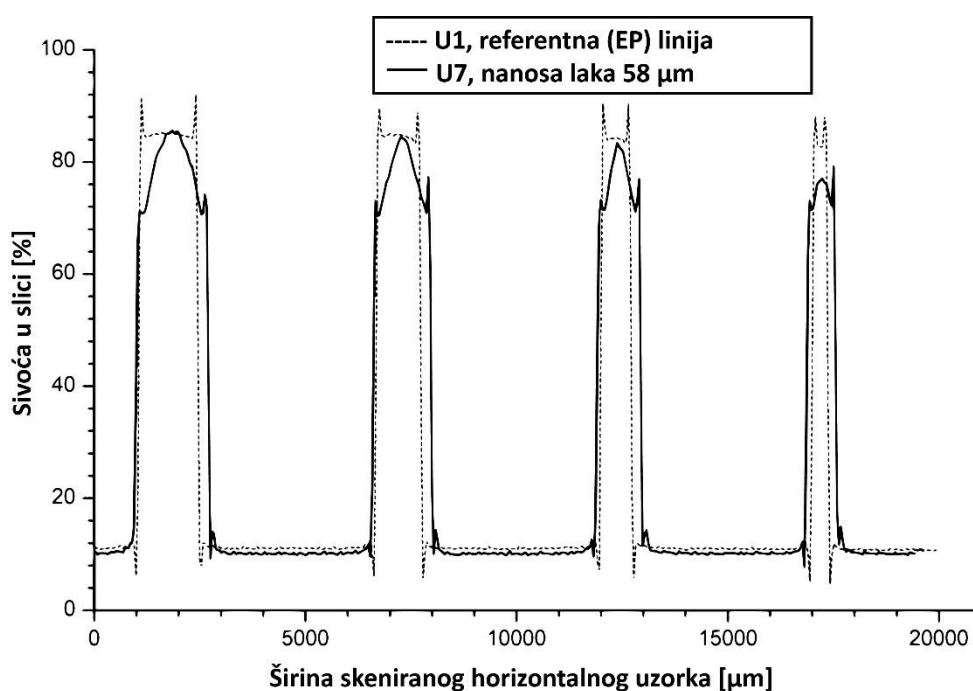
	Debljina linija na otisku [µm]				
	1	2	3	4	Ukupno
Referenti uzorak, U1	1326,01 µm	1001,84 µm	658,76 µm	214,78 µm	3201,39 µm
Uzorak 6 (nanosa 51 µm)	1663,21 µm	1226,72 µm	849,89	521,99	4261,81
Promjena debljine	337,2 µm	224,88 µm	191,13 µm	307,21 µm	1060,42 µm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					265,11 µm

Pri analizi okomitih linija uzorka 6, s nanosom laka debljine 51 µm, te naknadni prihvaćanjem metalik folije, te njegove usporedbe s referentom linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka znatno povećava kod svih linija. Ukupna debljina sve 4 linije se povećava za $\Delta d_{uk}=1060,42 \mu\text{m}$ u odnosu na referentni uzorak.

Profili okomitih linija uzorka 6 su pravilni, te ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. To znači da su maksimalni iznosi sivoće na području sredine okomitog tiskovnog elementa. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutog uzorka 6 ne dolazi do većih odstupanja ($\Delta G_1=0,79\%$,

$\Delta G_2=0,89\%$, $\Delta G_3=0,69\%$, $\Delta G_4=0,78\%$). Naime, mogućnost reprodukcije u sivom tonu raste, te je u tom pogledu mogućnost reprodukcije uzorka 6 bolja nego referentnog uzorka. Srednja vrijednost promjene debljine linija s povećanjem nanosa od $30\ \mu\text{m}$ iznosi $\Delta d_{sr}=265,11\ \mu\text{m}$.

Na kraju je izvršeno nanošenje UV laka u debljini od $58\ \mu\text{m}$. Promjena horizontalne linije debljine linija i profil (uzorak 7), ostvarene s nanosom debljine $58\ \mu\text{m}$, prikazani su na slici 55 i u tablici 16.



Slika 55 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 7

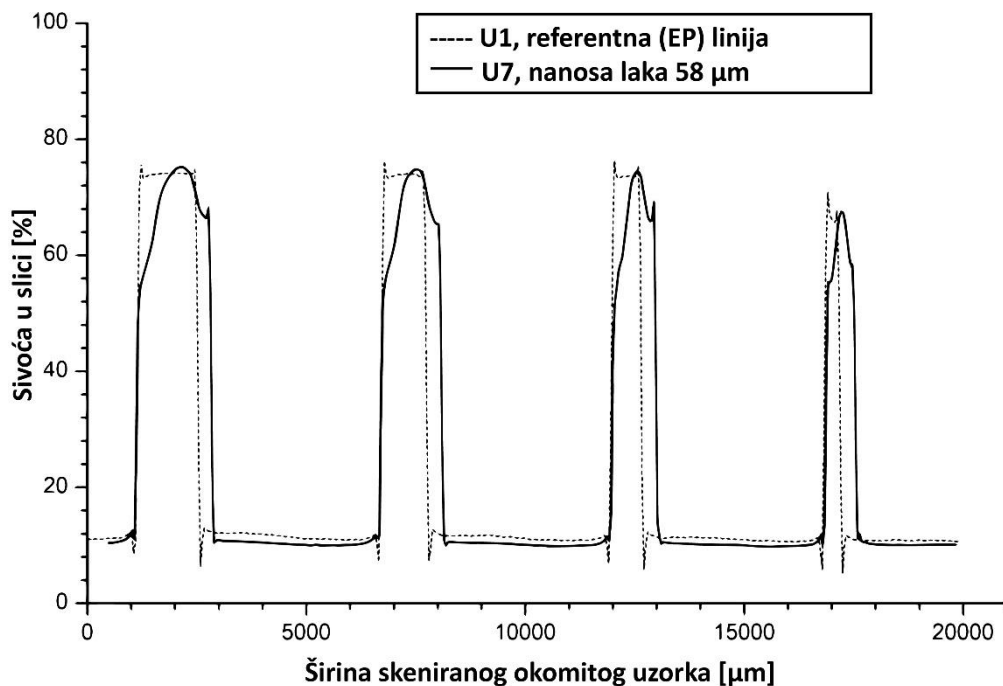
Tablica 16 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 7

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 7 (nanosa $58\ \mu\text{m}$)	1695,81 μm	1252,99 μm	1019,3 μm	670,91 μm	4639,01 μm
Promjena debljine	313,29 μm	217,31 μm	326,93 μm	329,94 μm	1187,47 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					296,87 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 7 (otisnutih s nanosom laka debljine 58 μm), te njegovoj usporedbi s referentom linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka očito povećava kod sve četiri linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava za $\Delta d_{uk}=1187,47 \mu\text{m}$.

Profili linija uzorka 7 su ujednačeni, odnosno sredina otiska ima puno veći iznos sivoće od rubnih dijelova. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih na uzorku 7. Uočeno je da su iznosi sivoće uzorka su vrlo blizu referentnih vrijednosti, dok kod linija 4 devijacija sivoće je puno veća od ostalih linija: $\Delta G_1=0,44\%$, $\Delta G_2=0,54\%$, $\Delta G_3=0,96\%$, $\Delta G_4=5,68\%$. Srednja vrijednost ostvarene promjene debljine linija nastale s direktnim povećanjem nanosa od 37 μm tako iznosi $\Delta d_{sr}=296,87 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil okomitih linija (uzorak 7), ostvarene s nanosom debljine 58 μm , prikazani su na slici 56 i u tablici 17.



Slika 56 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 7

Tablica 17 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 7

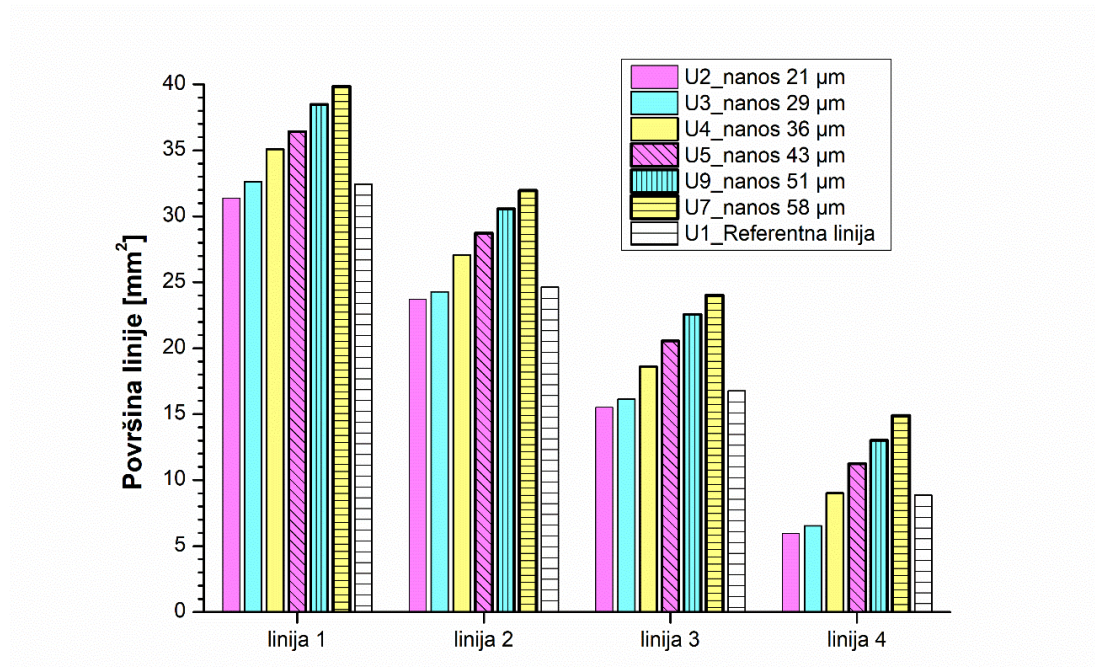
	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 7 (nanosa 58 μm)	1655,16 μm	1329,4 μm	939,43 μm	611,65 μm	4535,64 μm
Promjena debljine	272,64 μm	293,72 μm	247,06 μm	270,68 μm	1084,1 μm
Sr. vrijednost promjene svih debljine linija					271,02 μm

Pri analizi okomitih linija uzorka 7 (nanosom laka debljine 58 μm , te dodatnim nanosom metalik folije), te njegovoj usporedbi s referentom linijom može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava kod svih linija. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se povećava najviše od svih okomitih uzoraka i to za $\Delta d_{\text{uk}}=1084,1 \mu\text{m}$.

Profili linija uzorka 7 izrazito su pravilni, te ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. To znači da su maksimalni iznosi sivoće ostvareni na području sredine linijskog elementa. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih linija uzorka 7 ne dolazi do većih odstupanja ($\Delta G_1=0,92\%$, $\Delta G_2=0,81\%$, $\Delta G_3=0,81\%$, $\Delta G_4=1,31\%$). Međutim, to odstupanje neznatno je veće od uzorka 6. Srednja vrijednost promjene debljine linija nastale s povećanjem nanosa od 37 μm iznosi $\Delta d_{\text{sr}}=271,02 \mu\text{m}$.

Usporedbom vrijednosti sivoće, odnosno devijacija horizontalnih i okomitih linija uzorka, uočava se da je reprodukcija sivoće u slici konstantnija i bliža referentnom uzorku kod okomitih linija uzorka.

Kako bi se analizirao utjecaj svih 6 nanosa laka na efikasnost vezanja folije napravljen je drugi način analize kvalitete linija baziran na izračunu ukupne površine nakon otiskivanja zlatne folije. Na slici 57 i u tablici 18 prikazana je izračunata površina horizontalnih linija.



Slika 57 Grafički prikaz površina horizontalnih linijskih uzoraka

Tablica 18 Površine horizontalnih linijskih uzoraka

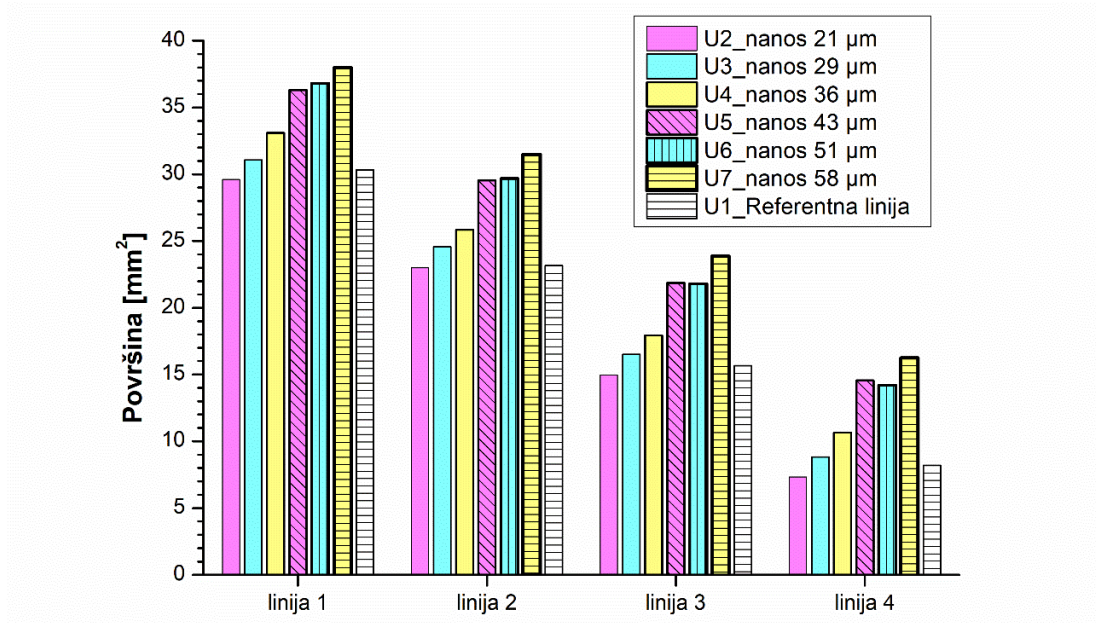
	Površina linija [mm ²]						
	Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
linija 1	31,391	32,629	35,085	36,437	38,489	39,816	32,438
linija 2	23,729	24,280	27,070	28,721	30,572	31,958	24,623
linija 3	15,530	16,132	18,616	20,571	22,563	23,992	16,748
linija 4	5,969	6,527	9,014	11,238	13,016	14,885	8,844
Ukupna površina	76,619	79,568	89,785	96,967	104,64	110,651	82,653
Sr. vrijednost površine	19,15	19,89	22,45	24,24	26,16	27,66	20,66

Analizom površina otisnutih horizontalnih linija uočava se da se povećanjem nanosa laka te prihvaćanjem folije, povećava i površina linija. Površina horizontalne linije 1 uzorka 3 najbliža je referentnoj liniji, odnosno linija se povećala $\Delta P_{\min}=0,191 \text{ mm}^2$. horizontalne linije 2 i 3 uzorka 3 također su najbolje reproducirane, ali su se pritom smanjile za iznose

$\Delta P_{2\min} = 0,343 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{3\min} = 0,616 \text{ mm}^2$. Horizontalna linija 4 najbliža referentnoj kod uzorka 4, razlike površine od $\Delta P_{4\min} = 0,170 \text{ mm}^2$.

Najveća povećanje površine, kao što je i očekivano, dolazi kod svih linija koje su realizirane najvećim nanosom laka (uzorak 7). Tako će se kod svake horizontalne linije svakog uzorka povećanjem nanosa laka za $37 \text{ }\mu\text{m}$ doći i do najveće promjene površine linije: $\Delta P_{1\max} = 8,425 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{2\max} = 8,229 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{3\max} = 8,462 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{4\max} = 8,916 \text{ mm}^2$. Usporedbom ukupnih površina linija svakog uzorka s referentnim uzorkom može se uočiti da se najmanja razlika očituje pri uzorku 3 gdje razlika iznosi $\Delta P_3 = 3,085 \text{ mm}^2$, a najveća kod uzorka 7 gdje razlika iznosi $\Delta P_7 = 27,998 \text{ mm}^2$. Najtočnija ostvarena vrijednost referentnoj liniji ostvarit će se eksperimentalnim tiskom laka debljine $29 \text{ }\mu\text{m}$ (uzorak 3).

Rezultati analize okomitih linija uzoraka prikazani su na slici 58 i u tablici 19.



Slika 58 Grafički prikaz površina okomitih linijskih uzoraka

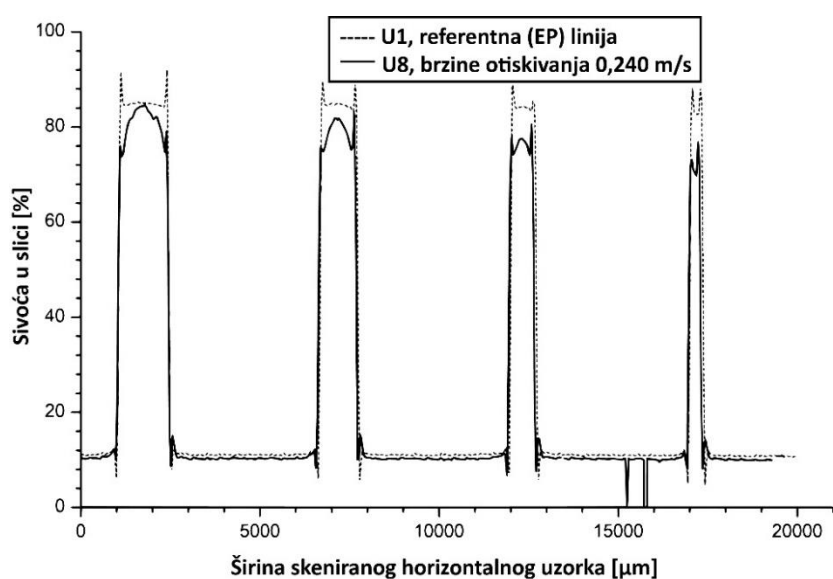
Tablica 19 Površine okomitih linijskih uzoraka

	Površina linija [mm ²]						
	Uzorak 2 (21 μm)	Uzorak 3 (29 μm)	Uzorak 4 (36 μm)	Uzorak 5 (43 μm)	Uzorak 6 (51 μm)	Uzorak 7 (58 μm)	Referenca
linija 1	29,618	31,058	33,098	36,306	36,796	37,966	30,324
linija 2	22,985	24,554	25,848	29,549	29,696	31,479	23,148
linija 3	14,958	16,506	17,942	21,875	21,796	23,868	15,665
linija 4	7,329	8,835	10,647	14,563	14,190	16,236	8,196
Ukupna površina	74,89	80,953	87,535	102,293	102,478	109,549	77,333
Sr. vrijednost površine	18,72	20,23	21,88	25,57	25,61	27,39	19,33

Analizom površina okomitih linija, također se uočava da se povećanjem nanosa laka te prihvaćanjem folije, povećava i površina linija. Također se može se primijetiti da su površine uzoraka 5 i 6 gotovo jednake. Površina okomite linije 1 (uzorka 2) najbliža je referentnoj liniji, odnosno linija se smanjila ($\Delta P_{1\min} = 0,706 \text{ mm}^2$). Okomite linije 2 i 3 uzorka 2 također su najbolje reproducirane, te su također manje površine ($\Delta P_{2\min} = 0,163 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{3\min} = 0,607 \text{ mm}^2$), dok je okomita linija 4 najbliža referentnoj kod uzorka 3 ($\Delta P_{4\min} = 0,639 \text{ mm}^2$). Kao što je i očekivano najveća povećanje površine, dolazi kod svih linija povećanjem nanosa laka za 37 μm. Najveće razlike površina pritom iznose: $\Delta P_{1\max} = 8,348 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{2\max} = 8,494 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{3\max} = 8,91 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{4\max} = 8,907 \text{ mm}^2$. Usporedbom ukupnih površina linija svakog uzorka s referentnim uzorkom može se uočiti da se najmanja razlika očituje pri uzorku 3 gdje razlika iznosi $\Delta P_3 = 3,623 \text{ mm}^2$, a najveća kod uzorka 7 gdje razlika iznosi $\Delta P_7 = 32,216 \text{ mm}^2$. Samim time najbliža ostvarena vrijednost referentnoj liniji ostvarit će se eksperimentalnim tiskom laka debljine 29 μm (uzorak 3).

4.2.2. Analiza linijskih uzoraka ovisno o promjeni brzine nanosa laka (Eksperiment 3)

Osim mogućnosti regulacije nanosa laka, tiskarski stroj MGI JET Varnish 3DS može mijenjati i brzinu tiska (prolaska tiskovnih podloga kroz stroj). U ovom dijelu analizirani su i uzorci s konstantnim nanosom laka ($21 \mu\text{m}$) ali promjenjivom brzinom nanosa. Uzorci 2 i njihovi rezultati isti su za oba dijela eksperimenta jer se producira pri brzini od $0,300 \text{ m/s}$. Dvije dodatne ispitane brzine bit će sporije $0,240 \text{ m/s}$ i $0,159 \text{ m/s}$. Na slici 59 i u tablici 20 prikazani su rezultati otisnute 4 karakteristične horizontalne linije i profili uzorka 8 za brzinu nanosa $0,240 \text{ m/s}$.



Slika 59 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 8

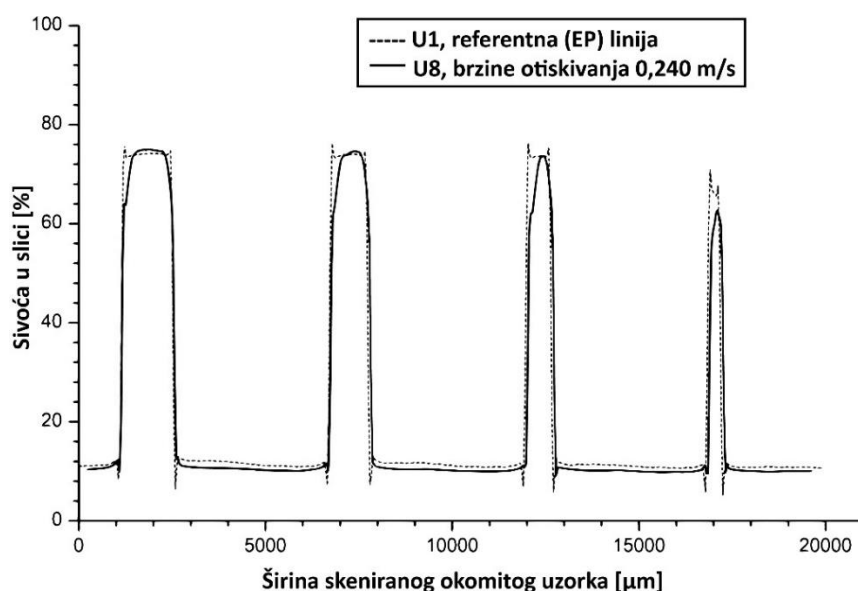
Tablica 20 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 8

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 8 (brzina nanos od $0,240 \text{ m/s}$)	1392,33 μm	1038,92 μm	679,36 μm	310,56 μm	3421,17 μm
Promjena debljine	9,81 μm	3,24 μm	13,01 μm	30,41 μm	30,37 μm
Sr. vrijednost promjene debljine linija					7,59 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 8 (s nanosom laka debljine 21 μm , brzine nanosa laka od 0,240 m/s te naknadnim prihvaćanjem metalik folije), te dodatnom usporedbom s referentom linijom može se uočiti da se kod linije 1 i 2 debljina linija uzoraka povećava, te smanjuje kod linija 3 i 4. Međutim sve te promjene gotovo pa zanemarive. Ukupna debljina svih linija uzorka u odnosu na referentni uzorak se smanjuje za $\Delta d_{\text{uk}}=30,37 \mu\text{m}$.

Profili linija uzorka 8 su neujednačeni. Kod debljih linija (linija 1 i linija 2) sivoća je najveća u sredini otisnute linije, dok su rubovi slabijeg intenziteta. Kod tanjih linija (linija 3 i linija 4), sivoća je izraženija na rubnim dijelovima tiskovnog elementa, a srednji dijelovi otiska su manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih linija uzorka 8 uočava se razlika kod svih linija, odnosno iznosi sivoće uzoraka manje su od vrijednosti sivoće referentnog ($\Delta G_1=0,33\%$, $\Delta G_2=3,06\%$, $\Delta G_3=6,77\%$, $\Delta G_4=11,92\%$). Rezultati pokazuju da će smanjenjem brzine nanosa laka doći do puno manje ukupne promjene debljine linija u odnosu na referentni uzorak, i uzorak 2. Samim time je mogućnost reproduciranja sivih tonova bolja. Srednja vrijednost promjene debljine linija nastale sa smanjenjem brzine za 0,060 m/s iznosi $\Delta d_{\text{sr}}=7,59 \mu\text{m}$.

Promjena debljine linija i profil okomite linije (uzorak 8), debljine nanosa 21 μm , brzine otiskivanja 0,240 m/s prikazani su na slici 60 i u tablici 21.



Slika 60 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2

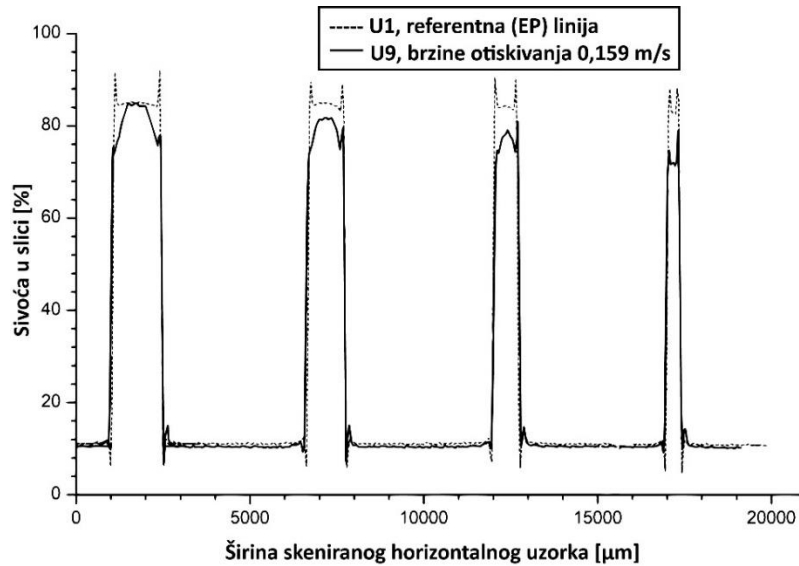
Tablica 21 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 8

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 8 (brzina nanos od 0,240 m/s)	1366,06 μm	1027,5 μm	655,05 μm	314,12 μm	3362,73 μm
Promjena debljine	40,05 μm	25,66 μm	-3,71 μm	99,34 μm	161,34 μm
Sr. vrijednost promjene debljine linija					40,34 μm

Pri analizi okomitih linija uzorka 8 (brzine otiskivanja od 0,240 m/s), uz dodatnu usporedbu s referentom linijom može se uočiti da se debljina svih linija uzoraka povećava. Izuzetak je linija 3. Povećanje ukupne debljine sve 4 linije uzorka iznosi $\Delta d_{uk}=161,34 \mu\text{m}$.

Profili okomitih linija uzorka 8 su pravilni, te ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih linija uzoraka 8 primjećuje se da zlatna folija prihvaćena na lak ima gotovo iste iznose sivoće kao i referentni uzorak. Izuzetak su najtanje linije gdje je razlika sivoće $\Delta G_4=3,34\%$. Ovakvi rezultati pokazuju da smanjenjem brzine nanosa laka dolazi do manjih promjene debljine linija u odnosu na referentni uzorak, te na uzorak 2. Samim time je mogućnost reproduciranja sivih tonova bolja. Srednja vrijednost promjene debljine linija sa smanjenjem za 0,060 m/s iznosi $\Delta d_{sr}=40,34 \mu\text{m}$.

Najmanja brzina nanašanja laka u ovom eksperimentu iznosila je 0,159 m/s. Promjena debljine linija i profil horizontalne linije (uzorak 9), debljine nanosa 21 μm prikazani su na slici 61 i u tablici 22.



Slika 61 Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 9

Tablica 22 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 9

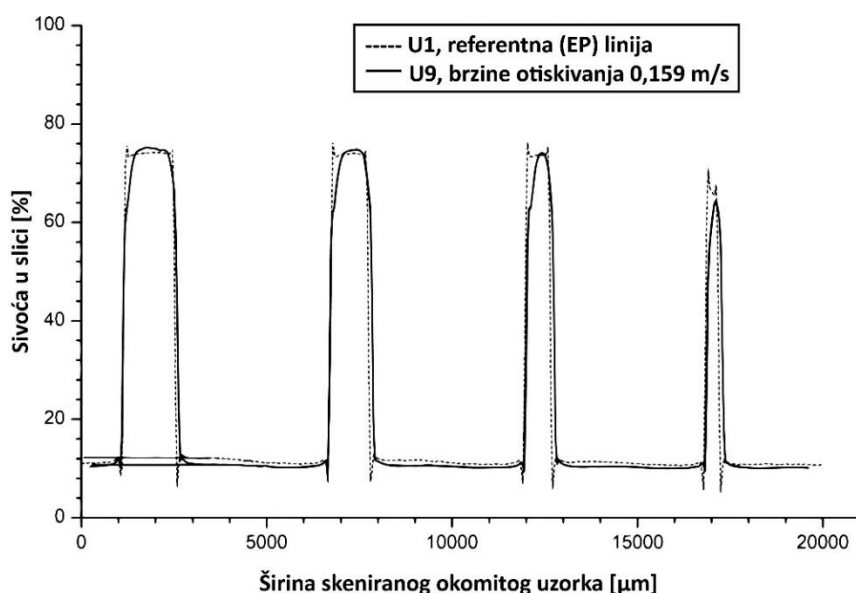
	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1382,52 μm	1035,68 μm	692,37 μm	340,97 μm	3451,54 μm
Uzorak 9 (brzina nanos od 0,159 m/s)	1454,05 μm	1083 μm	725,21 μm	384,39 μm	3646,65 μm
Promjena debljine	71,53 μm	47,32 μm	32,84 μm	43,42 μm	195,11 μm
Sr. vrijednost promjene debljine linija					48,78 μm

Pri analizi horizontalnih linija uzorka 9 (brzine nanosa laka od 0,159 m/s), koji se dodatno uspoređuje s referentnim linijama može se uočiti da se debljina linija uzorka povećava. U odnosu na referentni uzorak ukupna debljina svih linija uzorka se povećava za $\Delta d_{uk}=195,11 \mu\text{m}$.

Profili horizontalnih linija uzorka 9 su neujednačeni. Kod debljih linija (linija 1 i linija 2) sivoća je najveća u sredini otisnute linije, dok su rubovi porozni i slabijeg intenziteta. Kod tanjih linija (linija 3 i linija 4), sivoća je izraženija na rubnim dijelovima otiska, dok su

srednji dijelovi otiska manje sivoće. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija uzorka 9 dobiva se razlika koja je vidljiva kod svih linija. Drugim riječima iznosi sivoće uzoraka manji su od vrijednosti sivoće referentnog uzorka ($\Delta G_1=0,06\%$, $\Delta G_2=3,32\%$, $\Delta G_3=5,81\%$, $\Delta G_4=10,86\%$). Rezultati pokazuju da dodatnim smanjenjem brzine nanosa laka ne dolazi do boljih otisaka, debljina linija se neznatno povećava u odnosu na uzorak 8. Međutim, mogućnost reproduciranja sivih tonova malo je bolja. Srednja vrijednost promjene debljine linija sa smanjenjem za 0,141 m/s iznosi $\Delta d_{sr}=48,78 \mu\text{m}$.

Kako promjena debljine nanosa laka ($21 \mu\text{m}$) i brzine otiskivanja ($0,159 \text{ m/s}$) utječu na realizaciju okomitih linija uzorka 9 prikazano je na slici 62 i u tablici 23.



Slika 62 Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 9

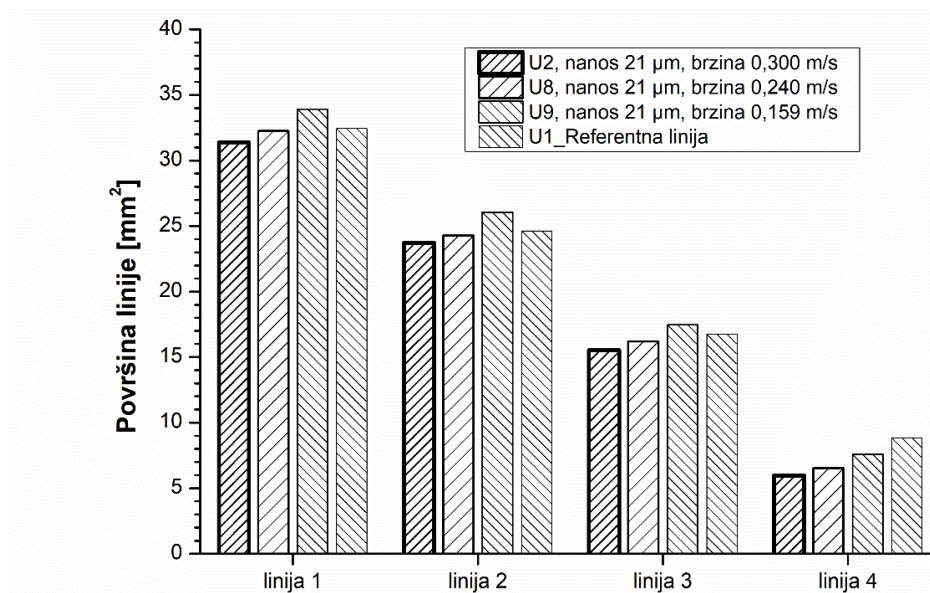
Tablica 23 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 9

	Debljina linija na otisku [μm]				Ukupno
	1	2	3	4	
Referenti uzorak, U1	1326,01 μm	1001,84 μm	658,76 μm	214,78 μm	3201,39 μm
Uzorak 9 (brzina nanos od 0,159 m/s)	1415,05 μm	1104,34 μm	701,95 μm	339,72 μm	3561,06 μm
Promjena debljine	89,04 μm	102,5 μm	43,19 μm	124,94 μm	359,67 μm
Sr. vrijednost promjene debljine linija					89,92 μm

Pri analizi okomitih linija uzorka 9 (brzine otiskivanja od 0,159 m/s), koji se dodatno uspoređuje s referentom linijom, može se uočiti da se debljina linija uzoraka očekivano povećava. Povećanje ukupne debljine, tako za sve 4 linije uzorka iznosi $\Delta d_{uk}=359,67 \mu\text{m}$.

Profili okomitih linija uzorka 9 su pravilni, te ne postoje odstupanja kao kod profila horizontalnih linija. Usporedbom srednjih vrijednosti linija referentnog otiska i srednjih vrijednosti linija otisnutih linija uzoraka 9 primjećuje se da zlatna folija prihvaćena na lak ima bolje iznose sivoće od referentnog uzorka ($\Delta G_1=1,08\%$, $\Delta G_2=0,68\%$, $\Delta G_3=0,52\%$), izuzetak su najtanje linije gdje je ostvareno smanjenje sivoće $\Delta G_4=1,52\%$. Ovakvi rezultati pokazuju da dodatnim smanjenjem brzine nanosa laka dolazi do još većih povećanja debljina linija, te je mogućnost reproduciranja sivih tonova bolja. Srednja vrijednost promjene debljine linija iznosi $\Delta d_{sr}=89,92 \mu\text{m}$. U ovom dijelu eksperimenta također se uočava da je reprodukcija sivoće u slici konstantnija i bliža referentnom uzorku kod okomitih poredanih linija.

Kao i kod analize utjecaja nanosa laka na kvalitetu otisnutih metalik linija i ovdje je ukupna realizirana površina sve 4 linije. Rezultati analize horizontalnih uzoraka nastalim različitim brzinama tiska i konstantnim nanosom laka prikazani su na slici 63 i u tablici 24.



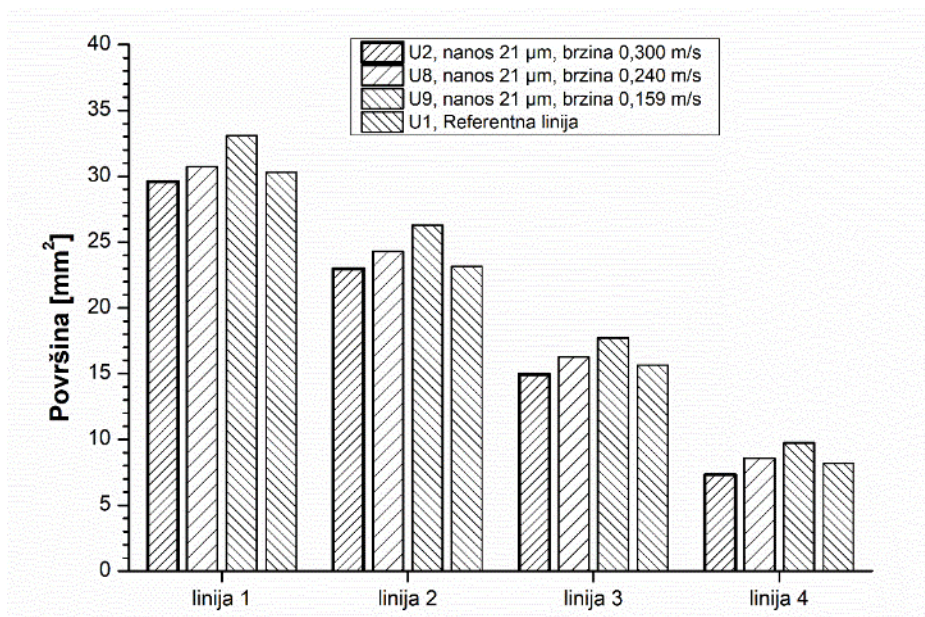
Slika 63 Grafički prikaz površina horizontalnih linijskih uzoraka različitim brzinama nanosa laka

Tablica 24 Površine horizontalnih linijskih uzoraka različitih brzina nanosa laka

	Površina linija [mm ²]			
	Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,240 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,159 m/s)	Referenca
linija 1	31,391	32,252	33,930	32,438
linija 2	23,729	24,282	26,055	24,623
linija 3	15,530	16,193	17,476	16,748
linija 4	5,969	6,531	7,593	8,844
Ukupna površina	76,620	79,258	85,053	82,653
Sr. vrijednost površine	19,16	19,81	21,26	20,66

Analizom otisnutih površina horizontalnih linija, također se uočava da će se smanjenjem brzine nanosa laka povećava i površina otisnutih linija. Međutim, to nije tako izraženo kao kod povećanja debljine nanosa laka. Površina horizontalne linije 1 (uzorka 8) najbliža je referentnoj liniji, odnosno linija se smanjila za iznos od: $\Delta P_{1\min} = 0,187 \text{ mm}^2$. Horizontalne linije 2 i 3, također su najbolje reproducirana, odnosno imaju najmanju promjenu površine $\Delta P_{2\min} = 0,341 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{3\min} = 0,555 \text{ mm}^2$. Međutim horizontalna linija 4 najbliža referentnoj kod uzorka 9 ($\Delta P_{4\min} = 1,252 \text{ mm}^2$). Usporedbom ukupnih površina linija svakog pojedinog uzorka s referentnim uzorkom, može se uočiti da se najmanja razlika očituje kod uzorka 9 (pri brzini od 0,159 m/s) gdje razlika iznosi $\Delta P_9 = 2,4 \text{ mm}^2$. Najveća razlika nastala je kod uzorka 2 (pri brzini od 0,300 m/s) gdje ona iznosi $\Delta P_2 = 6,033 \text{ mm}^2$. Analizom razlike ukupne površine, površina pojedinih linija, te iznosima srednjih vrijednosti površina zaključuje se da je reprodukcija uzorka 9 najbolja.

Rezultati analize okomitih uzoraka nastalih različitim brzinama i konstantnim nanosom laka prikazani su na slici 64 i u tablici 25.



Slika 64 Grafički prikaz površina okomitih linijskih uzoraka različitim brzinama nanosa laka

Tablica 25 Površine okomitih linijskih uzoraka različitim brzinama nanosa laka

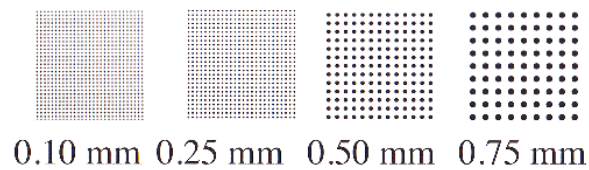
	Površina linija [mm ²]			
	Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,240 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,159 m/s)	Referenca
linija 1	29,618	30,746	33,109	30,324
linija 2	22,985	24,297	26,284	23,148
linija 3	14,958	16,271	17,733	15,665
linija 4	7,329	8,567	9,732	8,196
Ukupna površina	74,890	79,881	86,858	77,333
Sr. vrijednost površine	18,72	19,97	21,71	19,33

Analizom površina okomitih linija, također se uočava da se smanjenjem brzine nanosa laka te naknadnim prihvaćanjem folije, povećava i površina reproduciranih linija. Površina horizontalne linije 1 (uzorka 8) najbliža je referentnoj liniji, odnosno linija se povećala za $\Delta P_{1min} = 0,422 \text{ mm}^2$. Horizontalna linija 2 uzorka 2 najbolje je reproducirana, odnosno ima najmanju promjenu površine (površina se smanjila za $\Delta P_{2min} = 0,163 \text{ mm}^2$), dok su linije 3 i 4 uzorka 8 najbliže referentnim linijama $\Delta P_{3min} = 0,606 \text{ mm}^2$, $\Delta P_{4min} =$

0,371 mm². Usporedbom ukupnih površina linija ova tri uzorka s referentnim uzorkom može se uočiti da se najmanja razlika očituje kod uzorka 2 pri brzini od 0,300 m/s gdje se površina smanjila za $\Delta P_2=2,443$ mm². To u praksi može dovesti do gubitka informacija. Samim time sljedeća najbolja razlika je kod uzorka 8 pri brzini od 0,240 m/s što iznosi $\Delta P_8= 2,584$ mm². Kod uzorka 9 pri brzini od 0,159 m/s gdje razlika je najveća te iznosi $\Delta P=9,525$ mm². Analizom razlike ukupne površine, površina pojedinih linija, te iznosima srednjih vrijednosti površina zaključuje se da je reprodukcija uzorka 8 najbolja. Kod uzorka 2 dolazi do prevelikog smanjenja površina što može dovesti do gubitka informacija.

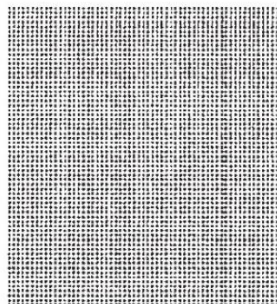
4.3. Analiza 4 površine s okruglim tiskovnim elementima

Uz linijske elemente, na tiskovnoj formi (PDF format), nalaze se i točkasti elementi, različitih i točno definiranih promjera (0,1 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 0,75 mm). Sva 4 polja su površinske pokrivenosti od 25%, ali s varijacijom rasterskih točaka. U ovom dijelu eksperiment prati se povećanje točkastih elemenata s promjenom debljine nanosa laka i promjenom brzine nanosa laka. Referentni uzorak točkastih elemenata prikazan je na slici 65.



Slika 65 Referentni uzorak točkastih elemenata

Uzorci dobiveni nanosom laka i prihvaćanjem folije na stroju JET Varnish3DS analizirani su i uspoređeni su s referentnim uzorkom otisnutim na stroju Konica Minolta AccurioPrint C3070L. Analizirane su površine prihvaćene metalne folije za uzorke različitih debljina nanosa laka te različitih brzina nanosa. Na slikama 66, 69, 72 i 75 prikazani su točkasti elementi (promjera 0,1mm, 0,25 mm, 0,50 mm i 0,75 mm) uzoraka.



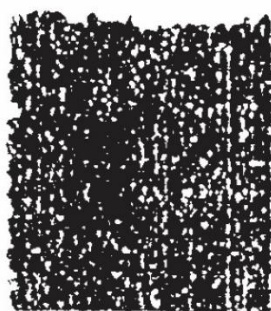
Referentni uzorak



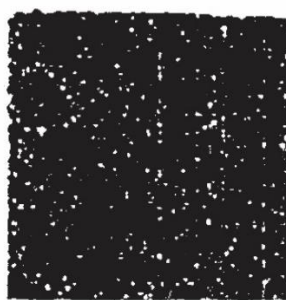
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)



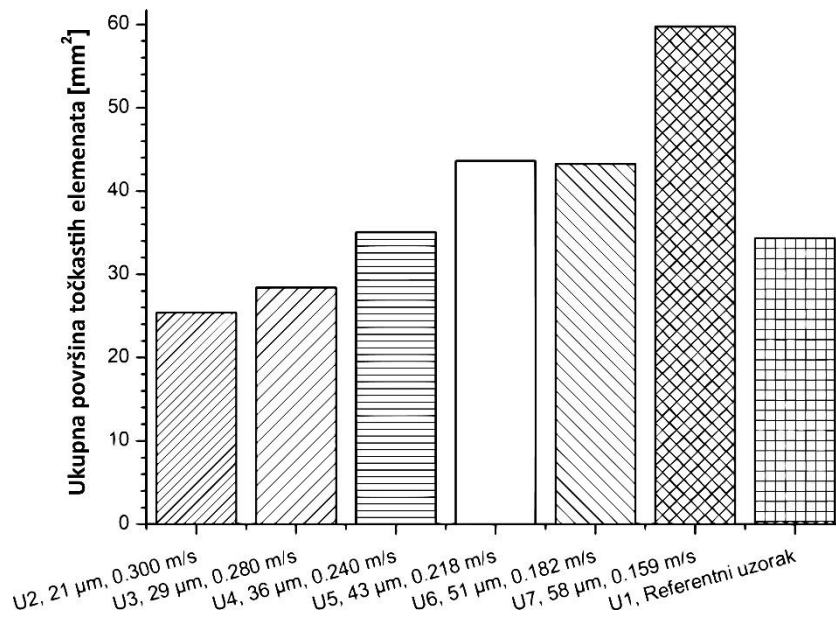
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 66 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,1 mm

Osim linija koje su osnova jednotonskih ilustracija na otiscima se često reproduciraju i u višetonjskim ilustracijama. Osnovni tiskovni element pritom je okrugla točka. Rezultati ostvarene metalizirane površine dobiveni su slikovnom analizom točkastih elemenata promjera 0,1 mm prikazani su na slici 67 i u tablici 26.



Slika 67 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih debljina nanosa laka

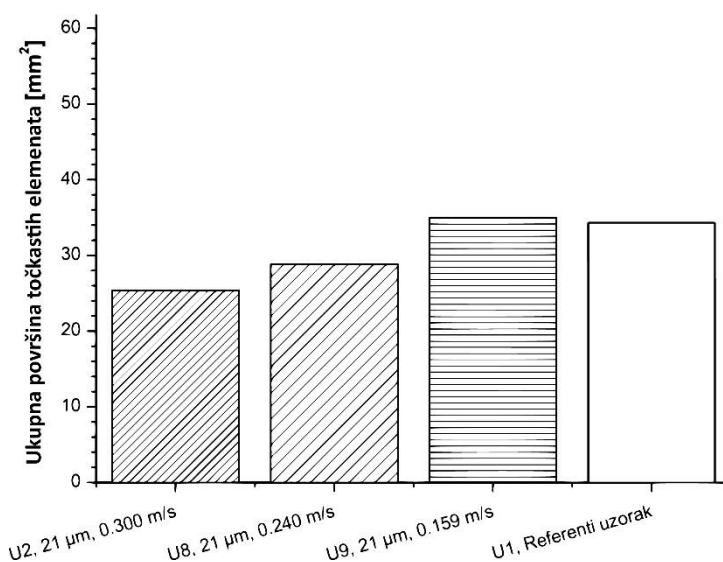
Tablica 26 Površine točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih debljina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]						
Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
25,3765	28,4185	35,0535	43,643	43,247	59,7435	34,318

Analiza površina otisnutih uzoraka točkastih elemenata promjera 0,1 mm realiziranim s različitim debljinama nanosa laka pokazalo se da se povećanjem debljine nanosa povećava i površina prihvaćene metalne folije. U odnosu na referentni uzorak najmanja razlika površine ostvarena je kod uzorka 4 ($\Delta P_{\min}=0,7355 \text{ mm}^2$), dok je najveća razlika ostvarena kod uzorka 7 (uzorka najdebljeg nanosa laka). Površine uzorka 5 i 6 gotovo su jednake. Površine uzorka 2 i 3 manje su od površine referentnog uzorka što znači da su nanosi laka ipak premali, a samim time i lošije prihvaćaju zlatnu foliju i reproduciraju točkaste elemente promjera 0,1 mm. No vizualnom kontrolom jasno se vidi da uzorci nisu dobro reproducirali točkaste elemente te je došlo do premalog prihvaćanja metalne folije

(zbog male količine laka). Razlika između najveće realizirane površine (uzorak 7) i najmanje realizirane površine (uzorak 2) iznosi $\Delta P_{\max}=34,367 \text{ mm}^2$.

Brzina rada tiskarskog stroja također utječe na kvalitetu ostvarenih otisaka. Većim brzinama ostvaruje se i veća vibracija ispisnih glava što se mora uočiti na kvaliteti najsitnijih rasterskih elemenata (rasterskih točkica). Na slici 68 i u tablici 27 prikazane su promjene površina obzirom na brzinu nanosa laka.

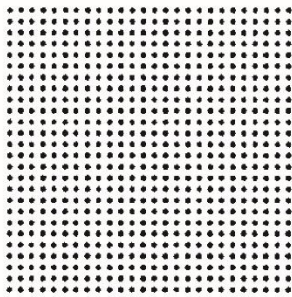


Slika 68 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih brzina nanosa laka

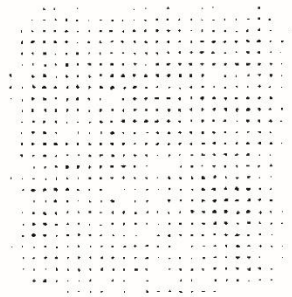
Tablica 27 Površine točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih brzina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]			
Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
25,3765	28,827	34,989	34,318

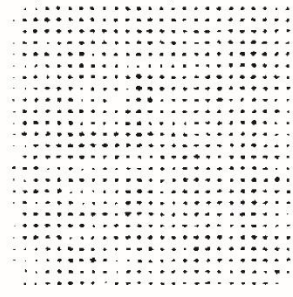
Daljnjom analizom uzoraka (s različitim brzinama nanosa laka), uočeno je da najmanja razlika otisnutih površina nastaje se kod uzorka 9 ($\Delta P_{\min}=0,671 \text{ mm}^2$). Uzorci 2 i 8 imaju manju otisnutu površinu od referentnog uzorka, što dokazuje da brzina nanosa laka istih debljina utječe na kvalitetno raspoređivanje laka po površini te bolje prihvaćanje metalne folije i manji gubitak informacija.



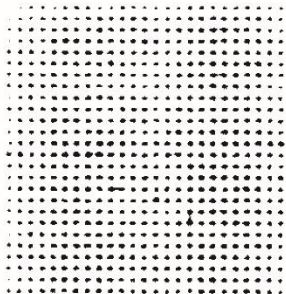
Referentni uzorak



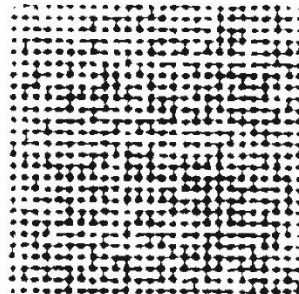
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



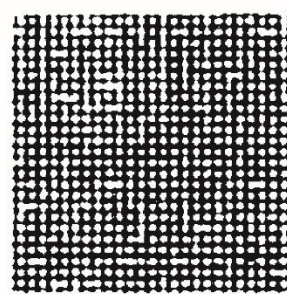
Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



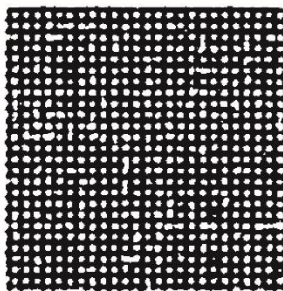
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



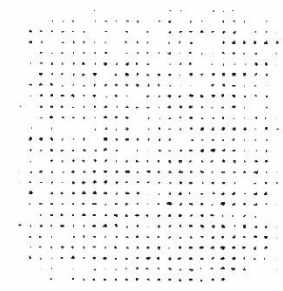
Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



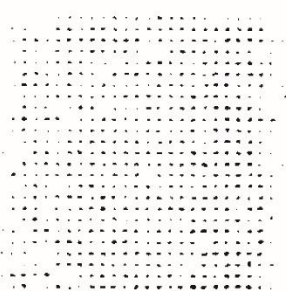
Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)



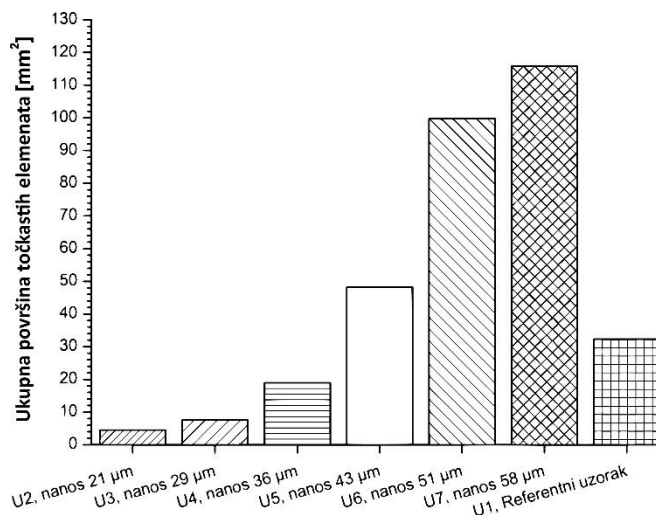
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 69 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,25 mm

Rezultati dobiveni analizom točkastih rasterskih elemenata promjera 0,25 mm s različitim nanosom laka prikazani su na slici 70 i u tablici 28.



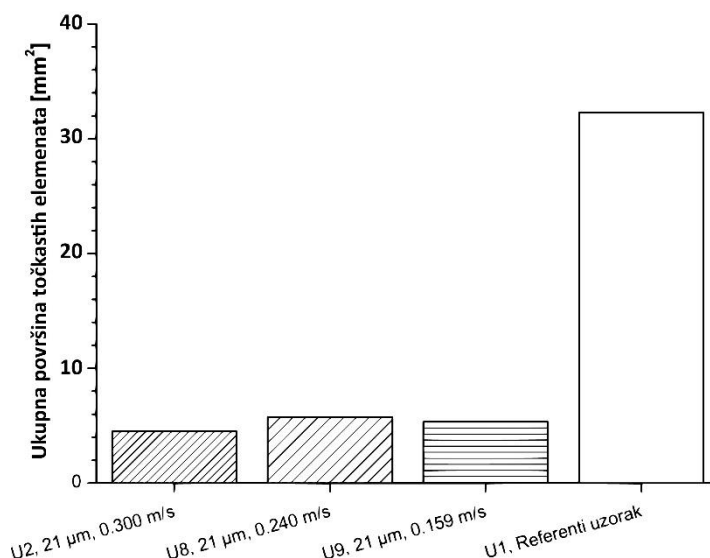
Slika 70 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih debljina nanosa laka

Tablica 28 Površine točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih debljina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]						
Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
4,5115	7,607	18,959	48,2725	99,7815	115,831	34,318

Analizom površina uzoraka točkastih elemenata promjera 0,25 mm ostvareno različitim debljinama nanosa laka pokazuje da se povećanjem debljine nanosa znatno povećava i površina prihvaćene metalne folije. U odnosu na referentni uzorak najveća razlika se uočava kod uzorka 7 ($\Delta P_{\max}=81,513 \text{ mm}^2$, uzorka najdebljeg nanosa laka), dok se najmanja razlika u površini uočava kod uzorka 5 ($\Delta P_{\min}=13,9545 \text{ mm}^2$). Površine uzoraka 2, 3 i 4 manje su od površine referentnog uzorka. To znači da su nanosi laka premali da bi se metalna folija mogla prihvatiti za lak te da bi se reproducirali točkasti elementi promjera 0,25 mm. Kod uzorka ostvarenim većim nanosom laka dolazi do spajanja kapljica laka. Zbog toga je prihvaćanje metalne folije nemoguće precizno odrediti te kvalitetno reproducirati točkaste elemente promjera 0,25 mm.

Na slici 71 i u tablici 29 prikazane su promjene u otisnutim površinama koje su nastale varijacijom proizvodne brzine stroja JET Varnish 3DS.



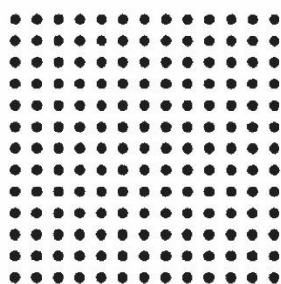
Slika 71 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih brzina nanosa laka

Tablica 29 Površine točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih brzina nanosa laka

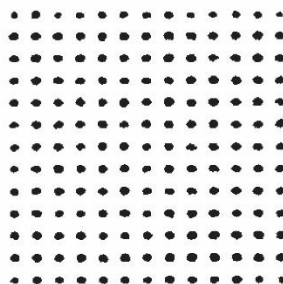
Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]			
Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
4,5115	5,733	5,3445	34,318

Referentni elektrofotografski otisci će bez obzira na brzinu otiskivanja ostvariti će veliki broj (površinu) otisnutih tiskovnih elemenata. U Inkjet lakiranju to nije slučaj te postoji značajnija redukcija u realiziranim elementima.

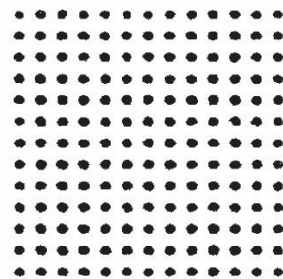
Analizom uzoraka ostvarenih istim nanosom laka ali različite brzine nije moguće dokazati utječe li brzina nanosa laka na bolje prihvaćanje metalne folije jer prihvaćanje metalne folije nije bilo uspješno. Pri takvim eksperimentalnim postavkama za točkaste elemente promjera 0,25 mm dobivaju se rezultati slični kao i kod uzoraka promjera 0,1 mm. Najmanja razlika u površini uočava se kod uzorka 8 ($\Delta P_{\min}=28,585 \text{ mm}^2$), dok je najveća razlika kod uzorka 2 ($\Delta P_{\max}=29,81 \text{ mm}^2$).



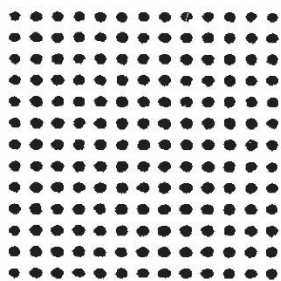
Referentni uzorak



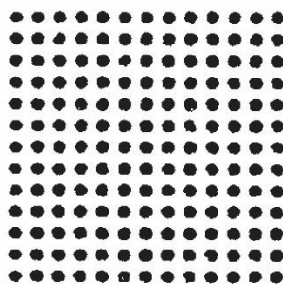
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



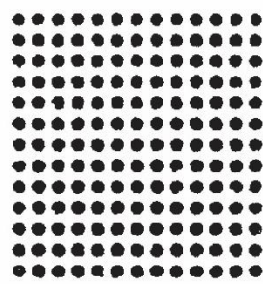
Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



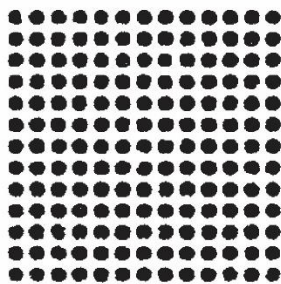
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



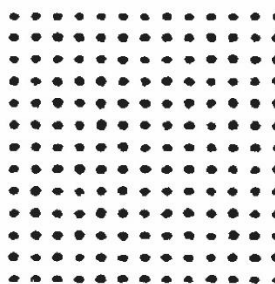
Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



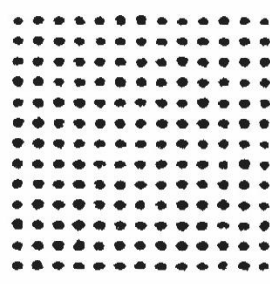
Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)



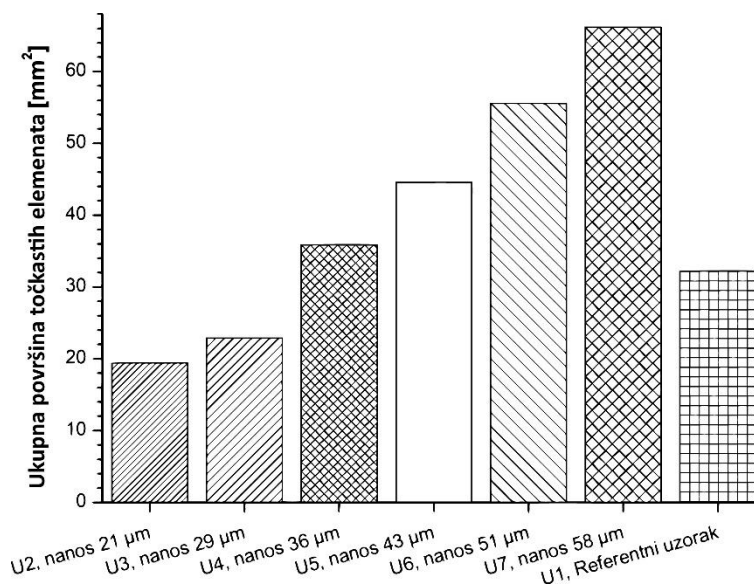
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 72 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,50 mm

Treći po veličini rasterski elementi su promjera 0,5 mm. Rezultati dobiveni analizom točkastih elemenata promjera 0,5 mm s različitim nanosom laka prikazani su na slici 73 i u tablici 30.



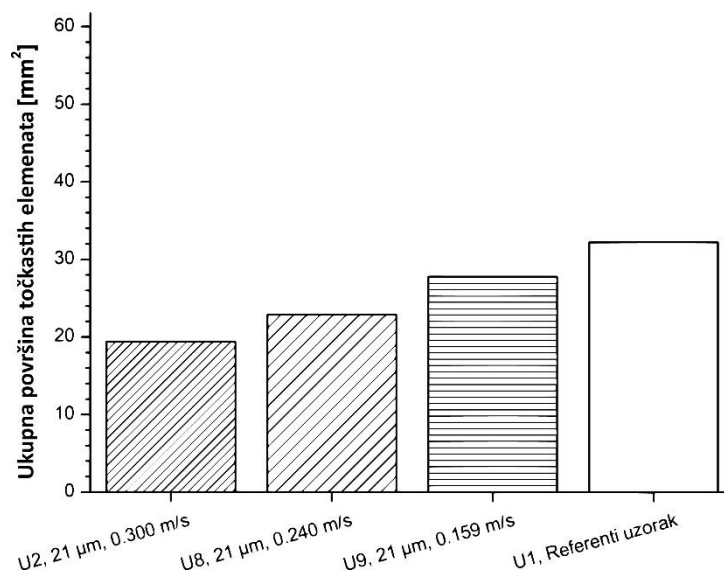
Slika 73 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih debljina nanosa laka

Tablica 30 Površine točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih debljina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]						
Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
19,4005	22,8885	35,859	44,5835	55,58	66,175	34,318

Analizom površina uzoraka točkastih elemenata promjera 0,50 mm ostvarenih s različitim debljinama nanosa laka uočava se da dolazi do povećanja debljine površine s prihvaćenom metalnom folijom. Najmanja razlika u površini ostvaruje se kod uzorka 4 ($\Delta P_{\min}=1,541 \text{ mm}^2$), dok je najveća razlika kod uzorka 7, s najdebljim nanosom laka ($\Delta P_{\max}=31,857 \text{ mm}^2$). Najveća ostvarena devijacija površina uočava se kod uzorka 2 i 7 te iznosi $\Delta P=46,77 \text{ mm}^2$. Površine uzorka 2 i 3 manje su od površine referentnog uzorka što znači da su nanosi laka još uvijek premali da bi se metalna folija mogla prihvatiti za lak te time reproducirali točkasti elementi promjera 0,50 mm. Međutim, kod svih uzoraka dolazi do pravilnog rasporeda laka, samim time i pravilnog oblika točkastih elemenata, što je znatno poboljšanje u odnosu na prethodna dva dijela eksperimenta.

Brzina otiskivanja je presudni faktor za ostvarivanje većih naklada s metalik efektom. Na slici 74 i u tablici 31 prikazane su nastale promjene u površinama tiskovnih elemenata promjera 0,50 mm u odnosu na varijaciju brzine tiska.

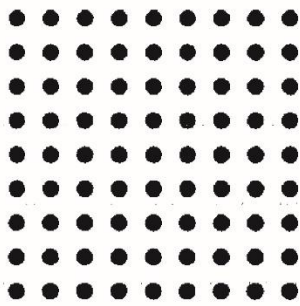


Slika 74 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih brzina nanosa laka

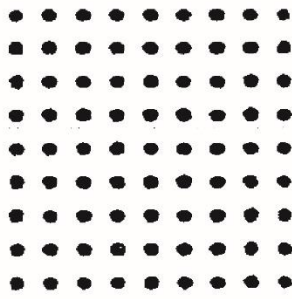
Tablica 31 Površine točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih brzina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]			
Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
19,4005	22,868	27,76	34,318

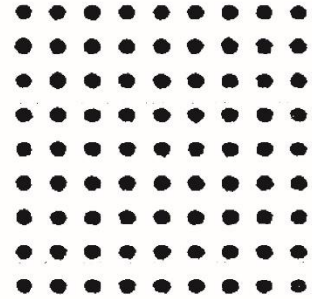
U ovom dijelu eksperimenta elektrofotografski i Inkjet otisci postaju približno isti. Analizom uzoraka istog nanosa laka ali primjenom različite brzine tiska vidi se da sva tri uzorka još uvijek imaju manju površinu od referentnog. Međutim najbolje rezultate pokazuje uzorak s najmanjom brzinom ($\Delta P_{\min}=6,558 \text{ mm}^2$), a najlošije rezultate uzorak 2 s najvećom brzinom nanosa ($\Delta P_{\max}=14,92 \text{ mm}^2$). Najveća devijacija površina uočava se između uzoraka 2 i 9 te iznosi $\Delta P=8,36 \text{ mm}^2$. No zbog male površine elemenata doći do gubitka informacija.



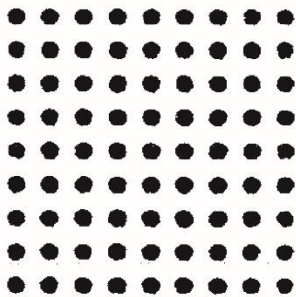
Referentni uzorak



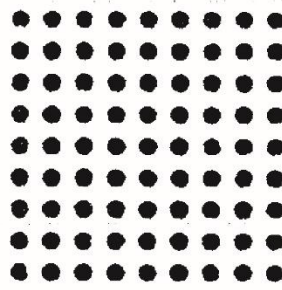
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



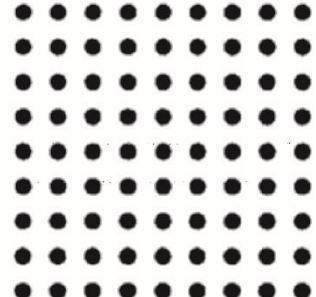
Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



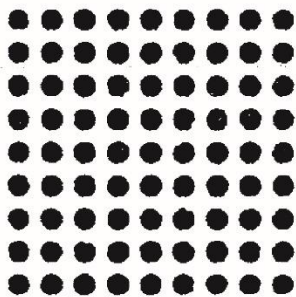
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



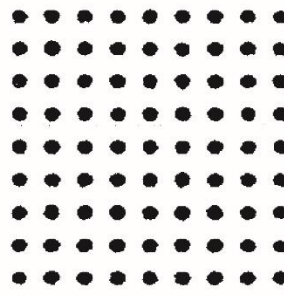
Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)



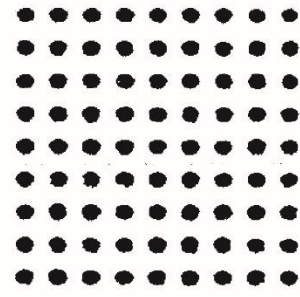
Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)



Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)



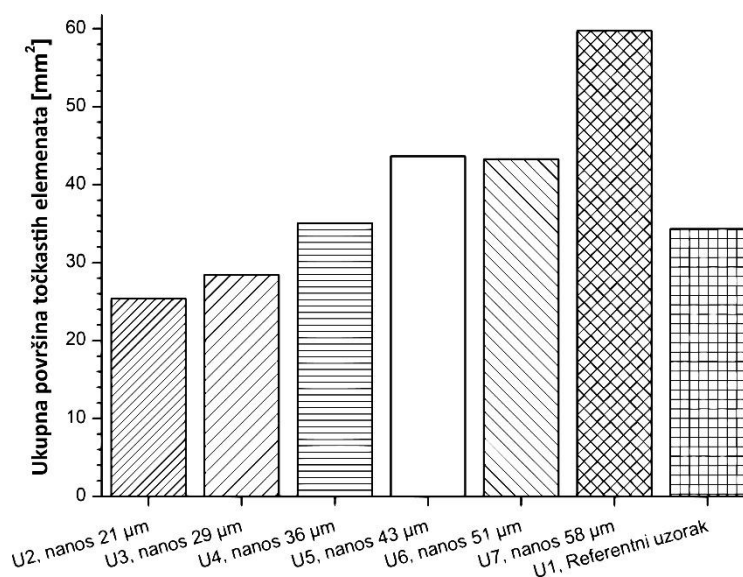
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 75 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,75 mm

Rezultati metalnih otisaka dobiveni analizom točkastih elemenata promjera 0,75 mm s različitim nanosom UV laka prikazani su na slici 76 i u tablici 32.



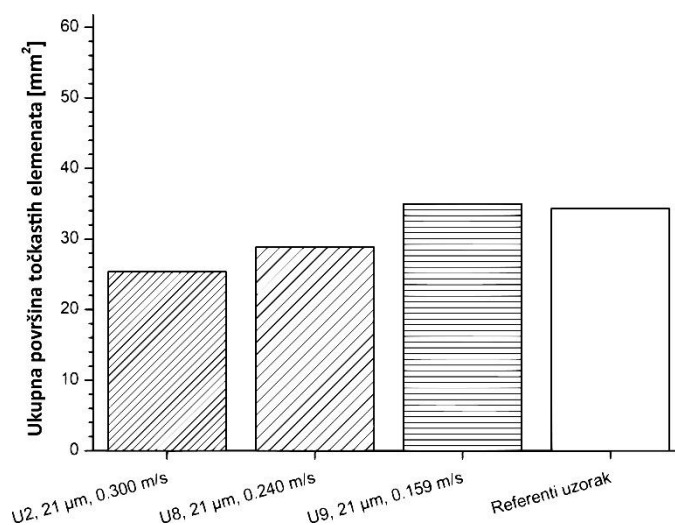
Slika 76 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitih debljina nanosa laka

Tablica 32 Površine točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitih debljina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]						
Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
25,3765	28,419	35,054	43,643	43,247	59,744	34,318

Analizom površina uzoraka ostvarenih točkastim elementima promjera 0,75 mm i različitih debljina nanosa laka uočeno je da se povećanjem debljine nanosa povećava i površina prihvaćene metalne folije. U odnosu na referentni uzorak najmanja razlika u površini uočena je kod uzorka 4 ($\Delta P_{\min}=0,736 \text{ mm}^2$). To je ujedno i najbolji metalik otisak. Najveća razlika ostvaruje se kod uzorka 7, s najdebljim nanosom laka ($\Delta P_{\max}=25,426 \text{ mm}^2$). Najveća devijacija u površini ostvaruje se kod uzorka 2 i 7 i iznosi $\Delta P=34,37 \text{ mm}^2$. Površine uzorka 2 i 3 manje su od površine referentnog uzorka što znači da su nanosi laka još uvijek premali da bi se metalna folija mogla prihvatiti a samim time i reproducirali točkasti elementi promjera 0,75 mm. Kao i u prethodnom dijelu eksperimenta, svi uzorci su imaju pravilne geometrijske oblike točkastih elemenata.

Posljednji elementi točkastog oblika koji je analiziran bio je promjera 0,75 mm. Na slici 77 i u tablici 33 prikazane su promjene površina obzirom na brzinu nanosa laka.



Slika 77 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitim brzinama nanosa laka

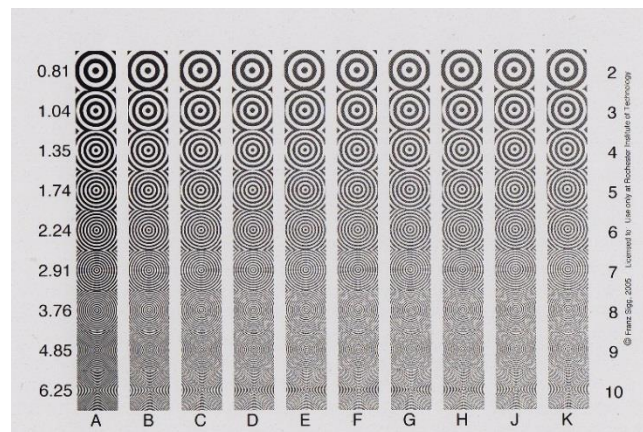
Tablica 33 Površine točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitim brzinama nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]			
Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
25,377	28,827	34,989	34,318

Analizom uzoraka istog nastalih primjenom različite brzine tiska vidi se da uzorci 2 i 8 imaju manju površinu od referentnog. Međutim, gotovo savršen rezultat ostvario je uzorak 9, s najmanjom brzinom tiska ($\Delta P_{\min}=6,558 \text{ mm}^2$). Najveću razliku u površini ostvario je uzorak 2 (s najvećom brzinom nanosa koja iznosi $\Delta P_{\max}=8,94 \text{ mm}^2$). Eksperimentom je ostvarena najveća devijacija površina kod uzoraka 2 i 9 te iznosi $\Delta P=9,612 \text{ mm}^2$. Rezultati svih uzoraka pokazuju poboljšanje u reprodukciji svih točkastih elemenata.

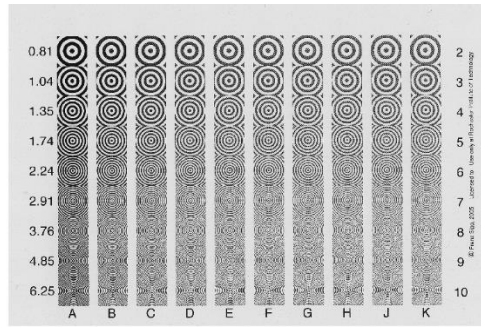
4.4. Analiza testa rezolucije

Uz linijske točkaste, tipografske elemente kvaliteta grafičkih proizvoda ovisio o rezoluciji tiskarskog sustava. Uz već analizirane linijske elemente, napravljen je i test rezolucije, odnosno test koji pokazuje dolazi li do promjene u razlučivosti najmanjih detalja na slici. Test rezolucije sastoji se od 10 stupaca (A-K) i 9 redova (2-10). Pritom će red 2 imati 3 koncentrične kružnice s koeficijentom rezolucije od 0,81. Dok će posljednji red imati 24 koncentrične kružnice s koeficijentom rezolucije od 6,25. Za potrebe ovog eksperimenta sivoća stupaca od A-K je izbačena. Za usporedbe ispisa korišten je stroj Konica Minolta AccurioPrint C3070L koji ima mogućnost ispisa rezolucije od 1200x3600 dpi, dok je za eksperimentalni dio korištena 5 Inkjet glava KM1024iLHE rezolucije ispisa 360 dpi ($5 \times 360 = 1800$ dpi). Na slici 78 prikazana je kотиštena forma testa rezolucije.

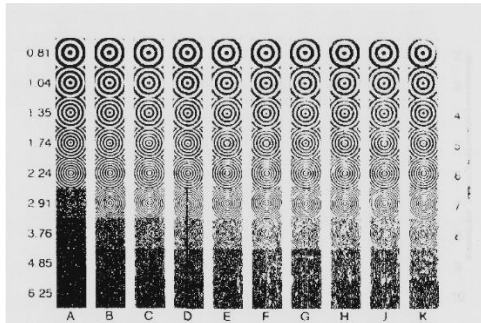


Slika 78 Referentni test rezolucije

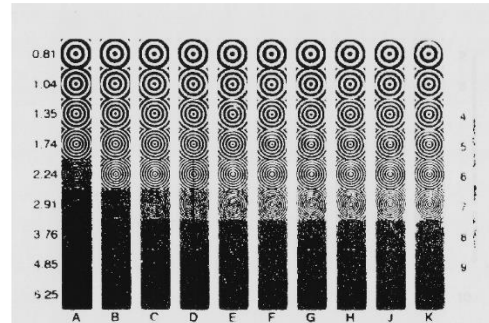
Svi skenirani podaci analizirani su u programu ImageJ tako da im se izmjerila površina ispisanih dijelova, te su površine uspoređene s površinom otisnutih dijelova referentnog uzorka. Kao i u prethodnom dijelu eksperimenta analizirano je 6 debljina nanosa laka, te 3 brzine nanosa laka. Na slikama 79 i 80 prikazane su fotografije reproduciranih testova rezolucije uzoraka.



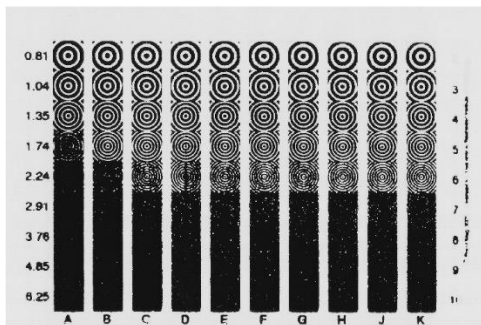
Referentni uzorak



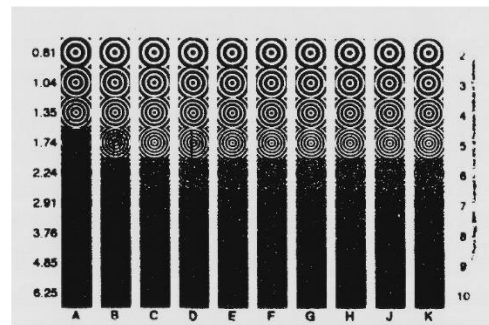
Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



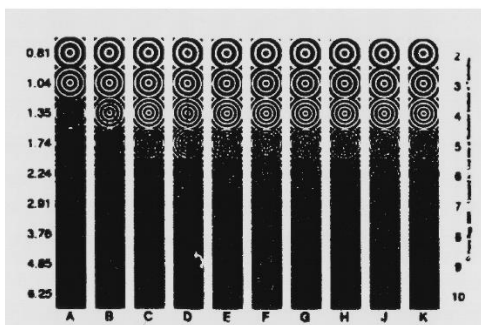
Uzorak 3 (debljina nanosa 29 μm)



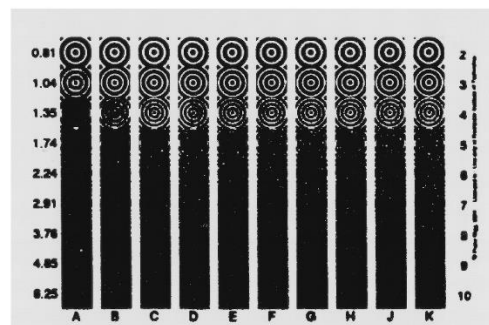
Uzorak 4 (debljina nanosa 36 μm)



Uzorak 5 (debljina nanosa 43 μm)

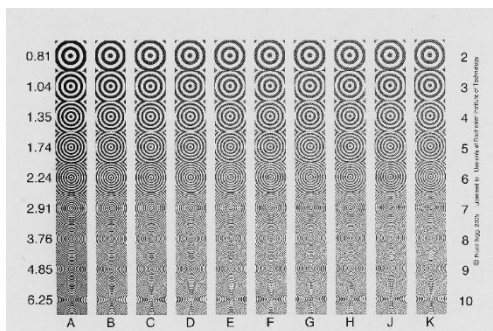


Uzorak 6 (debljina nanosa 51 μm)

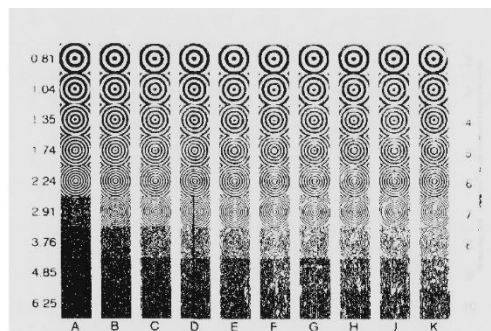


Uzorak 7 (debljina nanosa 58 μm)

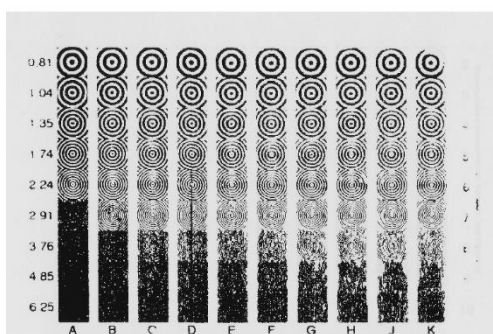
Slika 79 Skenirani testovi rezolucije uzoraka s varijacijom nanosa laka



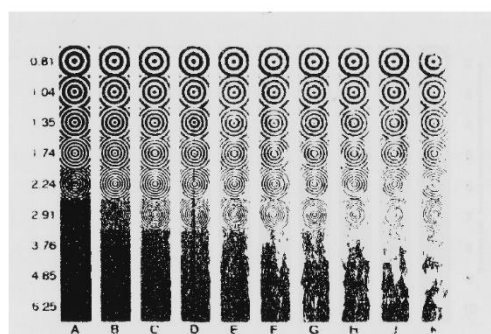
Referentni uzorak



Uzorak 2 (debljina nanosa 21 μm)



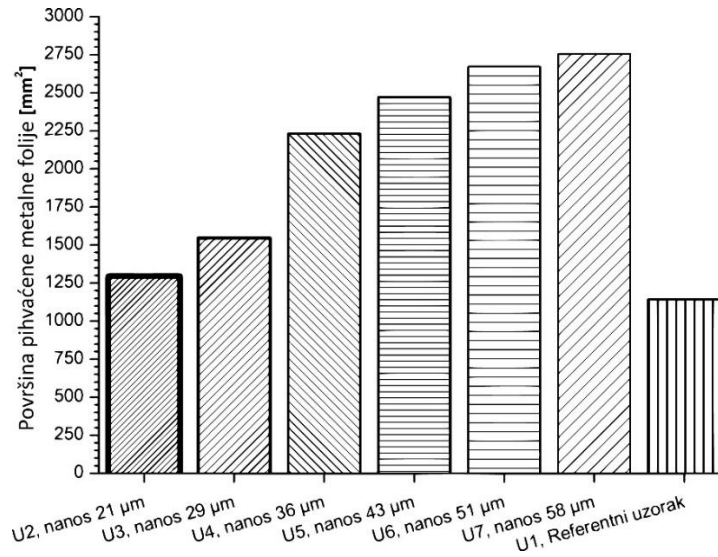
Uzorak 8 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,240 m/s)



Uzorak 9 (debljina nanosa 21 μm i brzina otiskivanja 0,159 m/s)

Slika 80 Skenirani testovi rezolucije uzoraka s varijacijom brzine tiska

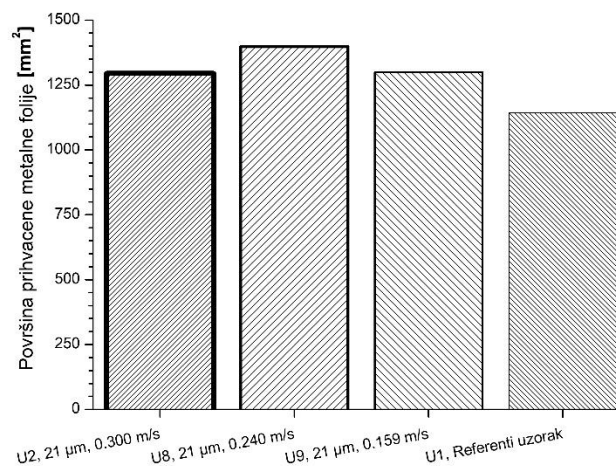
Za potrebe analize uspješnosti realizacije najsitnijih tiskovnih elemenata koristi se standardni rezolucijski test. Dobiveni rezultati testa rezolucije prikazani su na slikama 81 i 82 i u tablicama 34 i 35.



Slika 81 Grafički prikaz testa rezolucije različitih debljina nanosa laka

Tablica 34 Površina testa rezolucije različitih debljina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]						
Uzorak 2 (21 µm)	Uzorak 3 (29 µm)	Uzorak 4 (36 µm)	Uzorak 5 (43 µm)	Uzorak 6 (51 µm)	Uzorak 7 (58 µm)	Referenca
1295,095	1544,6	2230,244	2470,72	2671,869	2754,33	1142,705



Slika 82 Grafički prikaz testa rezolucije različitih brzina nanosa laka

Tablica 35 Površina testa rezolucije različitih brzina nanosa laka

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]			
Uzorak 2 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
1295,095	1397,968	1299,314	1142,705

Analizom površina uzoraka ostvarenih s različitim debljinama nanosa laka uočeno je da se povećanjem nanosa laka povećava i površina prihvaćene metalne folije. Isto tako, pri svakom se otisku laka i folije uočava povećanje otisnutih površine. U odnosu na referentni uzorak najbolji otisak kod kojeg dolazi do najmanjeg povećanja otisnute površine je otisak uzorka 2 ($\Delta P_{\min}=152,39 \text{ mm}^2$). Uzorak 7 s najdebljim nanosom laka ima najveće povećanje površine ($\Delta P_{\max}=1611,625 \text{ mm}^2$). Najveća devijacija površina tako se ostvaruje kod uzoraka 2 i 7 i njihova razlika iznosi $\Delta P=1459,24 \text{ mm}^2$. Pritom dolazi do zatvaranja najsitnijih detalja kružnica pa samim time i do većeg prihvaćanja zlatne folije.

Analizom površina otisnutih uzoraka nastalih varijacijom brzina nanosa laka vidi se da su površine uzorka 2 i uzorka 9 gotovo jednake ($\Delta P_{9-2}= 4,219 \text{ mm}^2$). Do najmanje povećanja površine dolazi kod uzorka 2 ($\Delta P_{\min}=152,39 \text{ mm}^2$), dok do najvećeg povećanja površine $\Delta P_{\max}=255,263 \text{ mm}^2$ dolazi kod uzorka 8 otisnutog brzinom od 0,240 m/s. To dovodi do zaključka da brzina nanosa laka ne utječe znatno na test rezolucije. Samim time, može se ustanoviti da na zadebljanje i gubitak informacija u testu rezolucije povećanje nanosa laka utječe više nego promjena brzine nanosa.

5. ZAKLJUČAK

Različiti nanosi laka i brzine laka generirani piezo Inkjet tehnologijom na principu smicanja različito utječu na mogućnost kvalitetne reprodukcije laka i laminiranja zlatne folije. Eksperimentalnim otiskivanjem laka i laminacijom zlatne folije na stroju MGI JET Varnish 3DS, te analizom eksperimentalnih uzoraka može se zaključiti da se povećanjem debljine nanosa laka, pri horizontalnim i okomitim uzorcima, događa se konstantno povećanje debljine linija.

Analiza srednjih vrijednosti promjene debljine linija zaključuje se sljedeće: debljine linija uzoraka 2, ostvarenih nanosom laka 21 μm , manje su u odnosu na referentne uzorke, dok su debljine linija svih ostalih uzoraka veće od referentnih.

Gotovo sve postavke stroja imaju bolju reprodukciju horizontalnih linija, što dodatno dokazuje da je pomak ispisne glave precizniji od pomaka papira.

Postavke stroja za najbolju reprodukciju horizontalnih i okomitih linija su kod nanosa laka od 21 μm i brzine nanosa od 0,240 m/s. Najlošije postavke, očekivano ima unajdeblji nanos laka od 58 μm . Povećanjem debljine nanosa laka povećava se mogućnost reprodukcije sivoće. Samim time se može zaključiti da na debljinu linijskih uzoraka više utječe debljina nanosa laka nego sama brzina nanosa.

Najmanje promjene se očitavaju kod manjih nanosa laka, ali prilikom mjerenja mogućnosti reproduciranja sivih tonova (profili linija) kod istih uzoraka se događa najveća razlika. Najbolji profil sivih tonova imaju horizontalni uzorak 7 (debljine nanosa 58 μm) i okomiti uzorak 5 (debljine nanosa 43 μm). Također se može uočiti da okomiti uzorci imaju bolju reprodukciju sivoće u slici nego horizontalni.

Analiza površina također dokazuje da se najmanje promjene javljaju prilikom manjih nanosa laka. Pri reprodukciji horizontalnih i okomitih linija jedino kod uzorka s nanosom laka od 21 μm dolazi do smanjenja površine linija u odnosu na referentni uzorak.

Postavke stroja za najbolju reprodukciju horizontalnih i okomitih linija su kod uzorka s nanosom laka od 21 μm i brzine nanosa od 0,240 m/s. Dok najlošije postavke, ponovno ima uzorak s nanosom laka od 58 μm .

Uzorci rasterskih točkastih elemenata promjera 0,1 mm nisu dobro reproducirani te je došlo do premalog prihvaćanja metalne folije zbog male količine laka.

Površine uzoraka 2, 3, 4, 8 i 9 manje od površine referentnog uzorka što znači da su nanosi laka premalen da bi se metalna folija mogla prihvatiti za lak kako bi se reproducirali točkasti elementi promjera 0,25 mm. Postavke stroja koje pokazuju najbolje rezultate su postavke za uzorak 5 s nanosom laka od 43 μm .

Pri realizaciji točkastih elemenata promjera 0,50 mm da najbolju reprodukciju ostvaruju otisci debljine nanosa od 36 μm . Za reprodukciju točkastih elemenata 0,75 mm najbolje postavke dat će nanos laka debljine 36 μm i nanos laka debljine 21 μm i brzine otiskivanja 0,159 m/s.

Vizualnom analizom točkastih elemenata promjera 0,50 mm i 0,75 mm vidljivo je da se ostvaruje kvalitetna i konstantna reprodukcija.

Testom rezolucije, vidljivo je da najbolju reprodukciju imaju uzorci debljine nanosa 21 μm i niske brzine reprodukcije. Debljim nanosima dolazi do zatvaranja detalja i prekomjernog nanosa zlatne folije.

MGI JET Varnish 3DS najbolje reproducira sve elemente pri nanosu laka od 21 μm i brzini otiskivanja od 0,240 m/s. nema potrebe za većim nanosima laka jer neće dati bolji efekt. izuzetak su motivi sa velikom površinskom pokrivenošću.

Tablica 36 Konačna tablica srednjih vrijednosti promjene debljine linijskih uzoraka

		Hor. linija (promjena debljine)	Oko. linija (promjena debljine)
Srednja vrijednost promjene debljine linija u odnosu na referentni uzorak [μm]	Uzorak 2 (nanos 21 μm)	73,65	54,08
	Uzorak 3 (nanos 29 μm)	14,63	60,33
	Uzorak 4 (nanos 36 μm)	79,95	120,21
	Uzorak 5 (nanos 43 μm)	151,55	190,24
	Uzorak 6 (nanos 51 μm)	216,05	265,11
	Uzorak 7 (nanos 58 μm)	296,87	271,02
	Uzorak 8 (brzina nanosa 0,240 m/s)	7,59	40,34
	Uzorak 9 (brzina nanosa 0,159 m/s)	48,78	89,92

Tablica 37 Konačna tablica srednjih vrijednosti promjene površine linijskih uzoraka

		Horizontalne linija	Okomite linija
Srednja vrijednost promjene površina linija [mm^2]	Referentni uzorak	20,66	19,33
	Uzorak 2 (nanos 21 μm)	19,15	18,72
	Uzorak 3 (nanos 29 μm)	19,89	20,23
	Uzorak 4 (nanos 36 μm)	22,45	21,88
	Uzorak 5 (nanos 43 μm)	24,24	25,57
	Uzorak 6 (nanos 51 μm)	26,16	25,61
	Uzorak 7 (nanos 58 μm)	27,66	27,39
	Uzorak 8 (brzina nanosa 0,240 m/s)	19,81	19,97
	Uzorak 9 (brzina nanosa 0,159 m/s)	21,26	21,71

Tablica 38 Konačna tablica površina 4 točkasta elementa uzoraka

4 karakteristična točkasta elementa		0,1 mm	0,25 mm	0,50 mm	0,75 mm
Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]	Referentni uzorak	34,318	34,318	34,318	34,318
	Uzorak 2 (nanos 21 μm)	25,38	4,5115	19,40	23,37
	Uzorak 3 (nanos 29 μm)	38,42	7,607	22,88	28,419
	Uzorak 4 (nanos 36 μm)	35,05	18,96	35,85	35,054
	Uzorak 5 (nanos 43 μm)	43,64	48,27	44,58	43,64
	Uzorak 6 (nanos 51 μm)	43,24	99,78	55,58	43,24
	Uzorak 7 (nanos 58 μm)	59,74	115,83	66,17	59,74
	Uzorak 8 (brzina nanosa 0,240 m/s)	28,807	5,733	22,86	28,82
	Uzorak 9 (brzina nanosa 0,159 m/s)	34,989	5,344	27,76	34,98

Tablica 39 Konačna tablica površina uzoraka testa rezolucije

Površina prihvaćene metalne folije [mm ²]								
Uzorak 2 (21 μm)	Uzorak 3 (29 μm)	Uzorak 4 (36 μm)	Uzorak 5 (43 μm)	Uzorak 6 (51 μm)	Uzorak 7 (58 μm)	Uzorak 8 (brzina 0,300 m/s)	Uzorak 9 (brzina 0,300 m/s)	Referenca
1295,095	1544,6	2230,244	2470,72	2671,869	2754,33	1397,968	1299,314	1142,705

6. LITERATURA

- [1] Svanholm, E. (2007.), Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing, Faculty of Technology and Science Chemical Engineering, Karlstad
- [2] Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [3] Yang, L. (2003.), Ink-paper interaction. A study in Ink-jet color reproduction, Department of Science and Technology Linköping University, Norrköping
- [4] Kipphan, H., (2001.), The handbook of print media, Springer
- [5] doc. dr. sc. Rešković, S., "Ispitivanje materijala" (2010) Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [6] [**https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=15341](https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=15341)
- [7] Đerek, V., (2002) „Piezoelektrični efekt”, Seminar iz Opće fizike III
- [8] Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head
- [9] <https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/512/index.html>
- [10] [**https://bib.irb.hr/datoteka/895133.v5_TOMASEGOVIC_DARIO_RUJAN_2017.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/895133.v5_TOMASEGOVIC_DARIO_RUJAN_2017.pdf)
- [11] [**https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/1024/index.html](https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/1024/index.html)
- [12] [**https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/km1024i/index.html](https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/km1024i/index.html)
- [13] [**http://gnusha.org/~nmz787/mems/unorganized/Photoinitiators%20for%20UV%20curing.pdf](http://gnusha.org/~nmz787/mems/unorganized/Photoinitiators%20for%20UV%20curing.pdf)

- [14]**http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/komplet%206%20predavanje.pdf?fbclid=IwAR1g8O900eUeeHo3qoim-4m5H7zA1ptOSggT7PN35t7AIp4WC4q6b1NVk0
- [15]**<http://www.ambalaza.hr/hr/casopis/2013/12/mgi-JET-3d,347,12164.html> Varnish-
- [16]**[https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/spot-varnishing-foiling/mgi-JET Varnish-3ds#specifications](https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/spot-varnishing-foiling/mgi-JET-Varnish-3ds#specifications)
- [17]**[https://www.konicaminolta.eu/getmedia/31987dc8-d933-40a3-b988-fd53c0421f6e/MGI-JET Varnish-3DS-iFoil-S-Datasheet.pdf.aspx](https://www.konicaminolta.eu/getmedia/31987dc8-d933-40a3-b988-fd53c0421f6e/MGI-JET-Varnish-3DS-iFoil-S-Datasheet.pdf.aspx)
- [18]**<https://www.printingnews.com/software-workflow/product/12252965/mgi-digital-graphic-technology-ais-smartscanner>
- [19]**<https://www.konicaminolta.eu/en/business-solutions/products/production-printing/colour/accuriopress-c30703080/introduction.html>
- [20]**https://www.canon.hr/scanners/flatbed-scanners/canoscan_lide_700f/
- [21]**<https://www.upmpaper.com/products/paper-catalogue/categories/sheet-fed-offset-papers/upm-finesse-silk/>

7. PRILOZI

POPIS SLIKA

Slika 1	Konstrukcija prvog piezoelektričnog Inkjeta.....	2
Slika 2	Princip rada Inkjet stroja.....	4
Slika 3	Primjer digitalnih rastriranih ćelija za 50% rastersko područja: a) matrica 6x6, b) matrica 10x 10, c) matrica 12x12 (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.).....	5
Slika 4	Utjecaj rezolucije na kvalitetu reprodukcije tiskovnih elemenata: a) niska rezolucija (240dpi), b) srednja rezolucija (300dpi) , c) visoka rezolucija (600dpi) (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.).....	5
Slika 5	Segment generiranja jednog reda ispisne glave (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.) ...	6
Slika 6	a) Rotacija mlaznica; b) Raspored otvora mlaznica rezolucije od 600 dpi (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.)	6
Slika 7	Prikaz podjele Inkjet tehnologija	7
Slika 8	Prikaz piezoelektrične ispisne glave za Inkjet: a) osnovni dijelovi; b) prikaz po slojevima (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.).....	8
Slika 9	Prikaz deformacija piezokeramičkih pločica: a) deformacija po širini i dužini; b) kružna deformacija (bočna); c) smicajuća deformacija (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.).....	10
Slika 10	Prikaz deformacije uzorkovane djelovanje električne energije	11
Slika 11	Piezoelektrični Inkjet sa škarnim kretanjem mikrokomore: a) aktivacija parnih mlaznica; b) početno stanje; c) aktivacija neparnih mlaznica; d) početno stanje (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.).....	12
Slika 12	Piezoelektrični Inkjet na principu smicanja (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu) ..	13
Slika 13	Prikaz polarizacija piezo keramičkog elementa (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head)	14
Slika 14	Presječni prikaz oblika mlaznica (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head)	17

Slika 15	Proces stvaranja kapljice (Izvor: Takeuchi, Y., Takeuchi, H., Komatsu, K., Nishi, S., Improvement of Drive Energy Efficiency in a Shear Mode Piezo Inkjet Head)	18
Slika 16	Ispisne glave Konica Minolta: a) KM 512 b) KM 1024.....	19
Slika 17	Usporedba i konstrukcija nosača ispisnih glava: a) KM512; b) KM1024 (Izvor: https://www.konicaminolta.com/Inkjet/Inkjethead/1024/img/index_pict001.gif).....	20
Slika 18	Kemijska struktura TPGDA spojeva	22
Slika 19	Kemijska struktura najčešćih fotoinicijatora; a) 1-hidroksi-cikloheksil-fenil- keton; b) 2-hidroksi-2-metil-1-fenil-1-propanon); c) 2-hidroksi-1-[4-(2- hidroksi etoksi)fenil]-2-metil-1-propanon (Izvor: Katalog fotoinicijatora Ciba Speciality Chemicals)	22
Slika 20	Prikaz UV elektromagnetskog zračenja.....	23
Slika 21	Poprečni presjek UV jedinice za sušenje	24
Slika 22	LED izvor elektromagnetskog zračenja.....	25
Slika 23	Razlika između spektra dva izvora svjetlosnog UV zračenja: a) živina žarulja; b) LED UV žarulja (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu).....	25
Slika 24	Proces polimerizacije UV Inkjet bojila- a)sastav bojila prije sušenja, b)izlaganje bojila UV svijetlosti, c)povezivanje fotoinicijatora sa slobodnim radikalima, d)završetak procesa polimerizacije (Izvor: Majnarić, I. (2015) Osnove digitalnog tiska. Zagreb, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu) ..	26
Slika 25	Konstrukcija JET Varnish 3DS-a (Izvor: https://www.konicaminolta.eu/getmedia/31987dc8-d933-40a3-b988-fd53c0421f6e/MGI-JET Varnish-3DS-iFoil-S-Datasheet.pdf.aspx).....	28
Slika 26	Valjci za čišćenje tiskovne podloge.....	30
Slika 27	Shematski prikaz valjaka za čišćenje (Izvor: Konica Minolta – Operator training JET Varnish 3DSManual)	30
Slika 28	Poravnavanje tiskovne podloge (Izvor: Konica Minolta – Operator training JET Varnish 3DSManual).....	31
Slika 29	AIS Smart Scanner	32
Slika 30	Nanos laka s ispisnim glavama KM1024iLHE.....	32
Slika 31	Faze sušenja laka	33
Slika 32	Izgled modula sastavljenog od 15 LED lampi.....	33
Slika 33	Shematski prikaz foliotiska koji koristi JET Varnish 3DS	34
Slika 34	Kronološki dijagram eksperimenta.....	36

Slika 35	Tiskarski stroj Konica Minolta AccurioPrint C3070L	37
Slika 36	Tiskarski stroj JET Varnish 3DS (Izvor: https://cdn.presscity.com/3565/800/x800_mgi-JET Varnish-437835.jpg)....	39
Slika 37	Ispisna glava KM1024iLHE-30 (Izvor: https://www.industrialij.com/products/km-printheads/km1024i/).....	39
Slika 38	Mjerni uređaj X-Rite Elcometer 407 Statistical Glossmeter (Izvor: https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf).....	40
Slika 39	Skener CanoScan LiDE 700f kotičten za digitalizaciju uzoraka (Izvor: https://www.canon.hr/media/CanoScan_LiDE_700F_Default_tcm143-929838.jpg)	41
Slika 40	Presjek folije korištene u eksperimentu	43
Slika 41	Strukturna molekula Difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfin oksida (izvor) ...	44
Slika 42	Profili sjaja materijala korištenih u eksperimentu	46
Slika 43	Skenirane i uvećane horizontalne linije eksperimentalnih uzoraka.....	49
Slika 44	Skenirane i uvećane okomite linije eksperimentalnih uzoraka.....	50
Slika 45	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 2 .	51
Slika 46	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2	52
Slika 47	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 3 .	53
Slika 48	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 3	55
Slika 49	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 4 .	56
Slika 50	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 4	57
Slika 51	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 5 .	59
Slika 52	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 5	60
Slika 53	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 6 .	61
Slika 54	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 6	63
Slika 55	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 7 .	64
Slika 56	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 7	65
Slika 57	Grafički prikaz površina horizontalnih linijskih uzoraka	67
Slika 58	Grafički prikaz površina okomitih linijskih uzoraka	68
Slika 59	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 8 .	70
Slika 60	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2	71
Slika 61	Profil 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 9 .	73
Slika 62	Profil 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 9	74

Slika 63 Grafički prikaz površina horizontalnih linijskih uzoraka različite brzine nanosa laka.....	75
Slika 64 Grafički prikaz površina okomitih linijskih uzoraka različite brzine nanosa laka.....	77
Slika 65 Referentni uzorak točkastih elemenata	79
Slika 66 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,1 mm.....	80
Slika 67 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,1 mm različite debljine nanosa laka.....	81
Slika 68 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,1 mm različite brzine nanosa laka.....	82
Slika 69 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,25 mm.....	83
Slika 70 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,25 mm različite debljine nanosa laka.....	84
Slika 71 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,25 mm različite brzine nanosa laka.....	85
Slika 72 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,50 mm.....	86
Slika 73 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,50 mm različite debljine nanosa laka.....	87
Slika 74 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,50 mm različite brzine nanosa laka.....	88
Slika 75 Skenirani točkasti elementi uzoraka promjera 0,75 mm.....	89
Slika 76 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,75 mm različite debljine nanosa laka.....	90
Slika 77 Grafički prikaz površina točkastih elemenata promjera 0,75 mm različite brzine nanosa laka.....	91
Slika 78 Referentni test rezolucije	92
Slika 79 Skenirani testovi rezolucije uzoraka s varijacijom nanosa laka	93
Slika 80 Skenirani testovi rezolucije uzoraka s varijacijom brzine tiska.....	94
Slika 81 Grafički prikaz testa rezolucije različite debljine nanosa laka	95
Slika 82 Grafički prikaz testa rezolucije različite brzine nanosa laka	95

POPIS TABLICA

Tablica 1 Tehničke karakteristike tiskarskog stroja Konica Minolta AccurioPrint C3070L	37
Tablica 2 Tehničke karakteristike tiskarskog stroja MGI JET Varnish3DS.....	38
Tablica 3 Tehničke karakteristike mjernog uređaja X-Rite Elcometer 407.....	40
Tablica 4 Tehničke karakteristike skenera CanoScan LiDE 700F	41
Tablica 5 Tehničke karakteristike papira UPM silk 300g/m2	42
Tablica 6 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 2.....	51
Tablica 7 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 2.....	52
Tablica 8 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 3.....	54
Tablica 9 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 3.....	55
Tablica 10 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 4.....	56
Tablica 11 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 4.....	58
Tablica 12 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 5.....	59
Tablica 13 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 5.....	60
Tablica 14 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 6.....	62
Tablica 15 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 6.....	63
Tablica 16 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 7.....	64
Tablica 17 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 7.....	66
Tablica 18 Površine horizontalnih linijskih uzoraka.....	67
Tablica 19 Površine okomitih linijskih uzoraka	69
Tablica 20 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 8	70

Tablica 21 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 8	72
Tablica 22 Promjena debljina 4 karakteristične linije horizontalnog referentnog uzorka i uzorka 9	73
Tablica 23 Promjena debljina 4 karakteristične linije okomitog referentnog uzorka i uzorka 9	74
Tablica 24 Površine horizontalnih linijskih uzoraka različitih brzina nanosa laka	76
Tablica 25 Površine okomitih linijskih uzoraka različitih brzina nanosa laka	77
Tablica 26 Površine točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih debljina nanosa laka.....	81
Tablica 27 Površine točkastih elemenata promjera 0,1 mm različitih brzina nanosa laka.....	82
Tablica 28 Površine točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih debljina nanosa laka.....	84
Tablica 29 Površine točkastih elemenata promjera 0,25 mm različitih brzina nanosa laka.....	85
Tablica 30 Površine točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih debljina nanosa laka.....	87
Tablica 31 Površine točkastih elemenata promjera 0,50 mm različitih brzina nanosa laka.....	88
Tablica 32 Površine točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitih debljina nanosa laka.....	90
Tablica 33 Površine točkastih elemenata promjera 0,75 mm različitih brzina nanosa laka.....	91
Tablica 34 Površina testa rezolucije različitih debljina nanosa laka	95
Tablica 35 Površina testa rezolucije različitih brzina nanosa laka	96
Tablica 36 Konačna tablica srednjih vrijednosti promjene debljine linijskih uzoraka...	99
Tablica 37 Konačna tablica srednjih vrijednosti promjene površine linijskih uzoraka ..	99
Tablica 38 Konačna tablica površina 4 točkasta elementa uzoraka.....	100
Tablica 39 Konačna tablica površina uzoraka testa rezolucije	100

