

Utjecaj visine ispisne glave na reprodukciju crnih tonova u tehnici UV inkjet-a

Tomašegović, Dario

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:216:565736>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

DARIO TOMAŠEGOVIĆ

**UTJECAJ VISINE ISPISNE GLAVE NA REPRODUKCIJU
CRNIH TONOVA U TEHNICI UV INKJET-A**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

DARIO TOMAŠEGOVIĆ

**UTJECAJ VISINE ISPISNE GLAVE NA REPRODUKCIJU
CRNIH TONOVA U TEHNICI UV INKJET-A**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Dario Tomašegović

Zagreb, 2017.

SAŽETAK

Za postizanje visoko kvalitetnih Inkjet otisaka jedan od važnih parametara je konstrukcija ispisnih glava. U razvoju konstrukcija zamjećuje se trend povećanja broja mlaznica pri čemu dolazi do veće produktivnosti i povećanja kvalitete ispisa. Za UV Inkjet tehnologiju također je važan utjecaj LED izvora svjetlosti, odnosno njegove udaljenosti na proces sušenja otiska. Osim toga dodatan utjecaj na preciznost otiska imat će i udaljenost ispisne glave od tiskovne podloge. Zbog konstantne brzine kretanja tiskovne podloge i ispisne glave, svakim povećanjem udaljenosti između ispisne glave i tiskovne podloge generirat će se duži vremenski period kretanja kapljica boje. Sa povećanjem puta stvara se mikro kašnjenje što ostvaruje netočan i krajnje neprecizan otisak (registar). U ovom radu napravljena je eksperimentalna regulacija dužine putanje kapljica bojila koja je izvedena na 3 identična tipa tiskovne podloge, ali sa različitim gramaturama (80 g/m^2 , 170 g/m^2 i 290 g/m^2). Pritom su između tiskovne podloge i ispisne glave ostvarene sljedeće distance: 3.12 mm, 2.81 mm i 2.38 mm. Sa povećanjem distance između ispisne glave i tiskovne podloge smanjivati će se kvaliteta reprodukcije, dok će najmanja udaljenost dati i najbolje kolorne rezultate. To će posebice biti vidljivo na najsitnijim tiskovnim elementima. Promjenom visine ispisne glave za $\Delta h = 0,74 \text{ mm}$ direktno se utječe na veličinu reproduciranih tiskovnih elemenata gdje će povećanje za 1% RTV ostvariti devijaciju $\Delta d_{1-2\%} = 3,47 \text{ }\mu\text{m}$. Daljnjim povećanjem rastertonske vrijednosti za 2% RTV ta se razlika smanjuje i ona iznosi $\Delta d_{3\%} = 2,29 \text{ }\mu\text{m}$.

Ključne riječi: UV Inkjet, visina ispisne glave, formiranje kapljice, kvaliteta crne reprodukcije

ABSTRACT

For achieving high-quality Inkjet prints, printhead construction is of great importance. In development of printhead structure the trend of increasing the number of nozzles is noticed, with higher productivity and increased print quality. LED light source has high influence on UV Inkjet technology, respectively on drying distance for prints. Additionally, the precision of the print will have an additional impact on the distance between printhead and print surface. Because of the constant speed of the printing substrate and the print head, each increment of the distance between the printhead and the printing substrate will generate a longer ink jet time. With the increase of the path, a micro delay is generated, resulting in an incorrect and extremely imprecise print (register). In this paper, experimental regulation of the length of the droplet of the dye was carried out on 3 identical types of printing substrates, but with different grammaticals (80 g/m², 170 g/m² and 290 g/m²). The following distance was obtained between the print media and the printhead: 3.12 mm, 2.81 mm and 2.38 mm. With the increase in distance between the printhead and the print media, the quality of reproduction will decrease, while the smallest distance will give the best color results. This will be particularly evident in the tiniest print elements. Changing the height of the print head for $\Delta h = 0.74$ mm directly influences the size of the reproduced printed elements where an increase of 1% RTV will achieve a deviation of $\Delta d_{1-2\%} = 3.47$ μm . By further increasing the dot gain value by 2% RTV this difference decreases and is $\Delta d_{3\%} = 2.29$ μm .

Key words: UV Inkjet, printhead height, forming a drop, quality of black color reproduction

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1 Digitalni tisak.....	2
2.2. Povijest Inkjet-a	3
2.3. Kontinuirani Inkjet	5
2.3.1. Binarni Inkjet	5
2.3.2. Višestruko skretajući kontinuirani Inkjet.....	6
2.4. Inkjet na principu kapanja na zahtjev (Drop on Demand Inkjet)	7
2.4.1. Termalni princip otiskivanja Inkjet-om	8
2.4.2. Građa ispisne glave za termalni Inkjet.....	9
2.4.2.1. Termalna glava HP SPT Edgeline/TIJ 4	10
2.4.2.2. Termalna glava Kodak ESP	11
2.4.3. Piezoelektrični princip otiskivanja Inkjet-om	12
2.4.4. Piezoelektrični Inkjet na principu savijanja	14
2.4.5. Piezoelektrični Inkjet na principu guranja	15
2.4.6. Piezoelektrični Inkjet na principu istiskivanja	16
2.4.7. Piezoelektrički Inkjet na principu smicanja	16
2.4.8. Komercijalno primijenjene piezo Inkjet ispisne glave	17
2.4.8.1. Ispisna glava Kyocera Serije KJ4	17
2.4.8.2. Ispisna glava Panasonic PIJ	18
2.4.8.3. Ispisna glava Fujifilm Dimatix Samba.....	19
2.4.8.4. Ispisna glava Fujifilm Dimatix Q-Class.....	20
2.4.8.5. Ispisna glava Fujifilm Dimatix D-Class.....	22
2.4.8.6. Ispisna glava HP x2	22
2.4.8.7. Ispisna glava Ricoh Gen 4	23
2.4.8.8. Ispisna glava Epson AMD i TFP	24
2.4.8.9. Trident ispisne glave.....	25
2.4.8.10. Ispisna glava Xaar 1001.....	26
2.4.8.11. Ispisna glava Toshiba Tec	27
2.4.8.12. Ispisna glava Konica Minolta	28
2.4.8.13. Ispisna glava Seiko II	29
2.4.8.14. Ispisna glava Samsung SemJet	30

3. EKSPERIMENTALNI DIO	32
3.1. Metodologija rada	32
3.2. Korišteni strojevi, materijali i mjerni uređaji.....	35
3.2.1. Roland VersaUV LEC-300.....	35
3.2.2. Spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact	36
3.2.3. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS.....	37
3.2.4. Digitalni mikroskop Dino-lite.....	39
3.2.5. Papir Fedrigoni Sirio Pietra	39
3.3. Diskusija i rezultati.....	40
3.3.1. Analiza rasterske reprodukcije	40
3.3.2. Analiza otisnutih linija	46
4. ZAKLJUČCI.....	79
5. LITERATURA.....	82

1. UVOD

Inkjet tehnologija otiskivanja je svoju upotrebu pronašla u raznim industrijskim sektorima. Razlog tomu je mogućnost izvođenja funkcionalnih premaza koji se direktno nanose na razne tiskovne podloge (predmete). Da bi se formirao otisak potrebno je zadovoljiti samo dva preduvjeta: ispisna glava mora imati sitne mlaznice i tekuće bojilo dovoljnog viskoziteta da se formira sićušna kapljica. Visina ispisne glave presudna je za kontrolirano špricanje i pozicioniranje otiska. Pritom će točna distanca formirati precizan i kvalitetan otisak. Međutim, prevelikim približavanjem tiskovnoj podlozi raste rizik o zapinjanju skupe ispisne glave i oštećenju tiskarskog stroja. Zbog toga će se kod neravnih podloga glava morati više podići (za nekoliko milimetara).

Cilj ovog rada je odrediti kako distanca UV Inkjet ispisne glave utječe na reprodukciju slike, teksta i niskokvalitetnih jednotonskih ilustracija (tablica, grafova), te koji će biti optimalni set up stroja (ispisne glave) da bi se ostvario najbolji mogući otisak. Samim time dati će se preporuka kako koji grafički proizvod treba otiskivati.

2. TEORIJSKI DIO

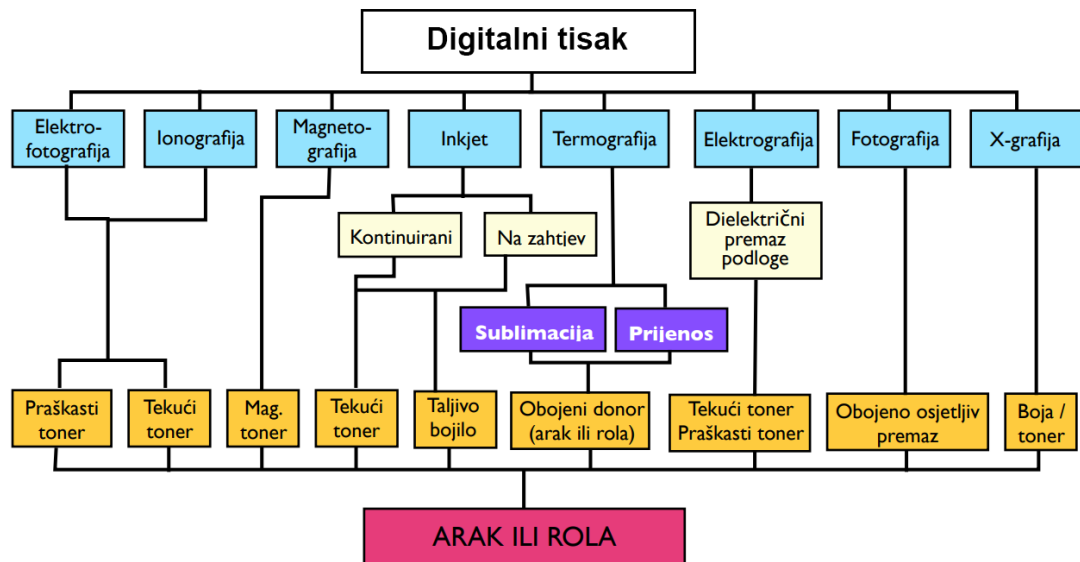
2.1 Digitalni tisak

Za formiranje otiska, bilo da se radi o digitalnom ili konvencionalnom tisku, potrebno je prethodno generirati tiskovnu formu. Digitalna tiskovna forma znatno je jednostavnija te se može napraviti računalom na više načina. Samim time u digitalnom tisku razlikujemo razne metode otiskivanja koje možemo podijeliti na dvije varijante. Tako imamo tisak sa promjenjivim sadržajem („Computer to Print“) i tisak koji se temelji na tiskovnoj formi sa nepromjenjivim sadržajem („Computer to Press“). [1]

Princip otiskivanja sa promjenjivim sadržajem naziva se još NIP („Non Impact Printing“) otiskivanje. Dakle riječ je o beskontaktnom otiskivanju koje u zoni otiskivanja ima vrlo malu silu pritiska. Tako će se potpuno virtualna tiskovna forma za vrijeme otiskivanja nalaziti u neznatnom ili nikakvom međusobnom kontaktu s tiskovnom podlogom. Kako NIP otiskivanje koristi virtualnu tiskovnu formu sa promjenjivim sadržajem, može se zaključiti da je NIP zapravo „Computer to Print“ otiskivanje.. U većini slučajeva virtualna NIP tiskovna forma sadrži slobodne površine i tiskovne elemente koji se razlikuju u energetske potencijalu te na sebe prihvaćaju specijalno pripremljena bojila suprotnog energetske potencijala. Iz toga proizlazi da tiskovni elementi postaju vidljivi pa samim time i spremni za otiskivanje. Sadržaj se generira prilikom svakog novog prolaska tiskovne podloge kroz stroj što omogućava isplativo otiskivanje i samo jedne kopije. [2] Principom „Computer to Print“ digitalni tisak može se podijeliti u dvije skupine. Tako postoje oni koji ne zahtijevaju nikakvu tiskovnu formu (direktno se nanaša bojilo na podlogu) i one koje otiskuju pomoću virtualnih poluvodičkih tiskovnih formi. Tehnika Inkjet-a čak i ne zahtijeva pritisak, već se tekuća Inkjet boja direktno nanosi na tiskovnu podlogu [1].

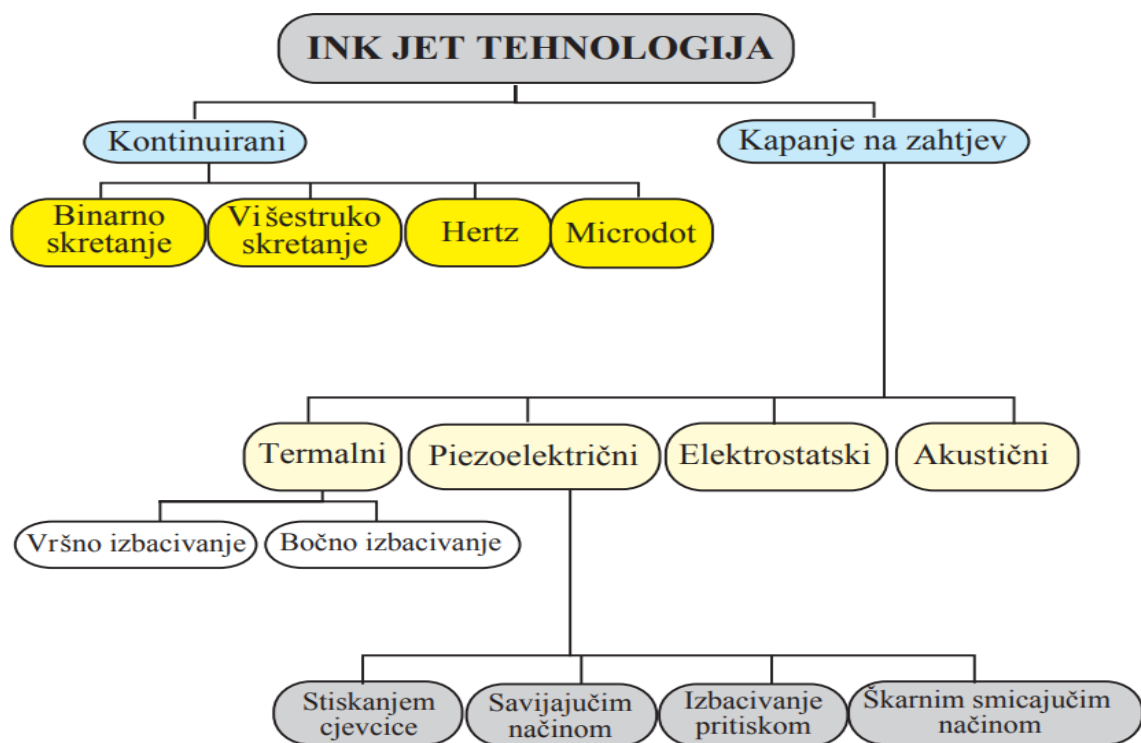
S druge strane digitalni tiskarski strojevi bazirani na fiksnoj tiskovnoj formi („Computer to Press“) puno su sličniji klasičnom načinu otiskivanja. Pritom su zadržane sve komponente klasične tiskarske jedinice, te se razlika očituje u dodatnom uređaju za automatsko osvjetljavanje (oslikavanje) tiskovne forme. Pritom se generira jedan jedinstveni sadržaj koji ostaje ne promijenjiv do završetka otiskivanja. Priprema takvog stroja i izrada tiskovnih formi izvršava se unutar samog tiskarskog stroja. Princip

generiranja takve tiskovne forme vremenski je duga (oko 15 minuta), ali brzina tiska je visoka (do 20 000 ot/h). [2] Za ovakav način otiskivanja posebno se dobro prilagodio litografski ofset čije tiskarske jedinice postižu visoku kvalitetu reprodukcije, ali i veliku izdržljivost tiskovne forme. Na slici 1. prikazan je shematski dijagram svih važnijih tehnika digitalnog tiska.



mehanizma za kontroliranje nabijanja kapljice, kontinuirani mlaz preoblikovat će se u niz usmjerenih kapljica nastalih kao rezultat selektivnog dovođenja električnog naboja. Nabijene kapljice pri prolazu kroz električno polje skreću u žlijeb i odvod za reciklaciju, dok nenabijene kapljice ostaju nepromijenjene, (nastavljaju svoju putanju) te tako završavaju na tiskovnoj podlozi.

Paralelno sa napretkom kontinuiranog Inkjet-a razvijala se nova tehnologija. Nastao je princip ispisa koji više ne zahtijeva kompleksan način nabijanja kapljica, žlijeb za skretanje boje i odvod za reciklaciju. Riječ je o načinu otiskivanja u kojem se generira točno određen broj kapljica u točno određenom trenutku odnosno kapanje na zahtjev. Piezoelektrične keramičke pločice mijenjale su svoj oblik pod utjecajem električnih impulsa. Tako je stvoreno mehaničko gibanje unutar mikrokomore što je rezultiralo izbacivanjem boje kroz otvor mlaznice. Kako se u ovaj model otiskivanja pokazao nepouzdanim, tako je kasnije razvijen termalni Inkjet kao način ispisa. Ugradnjom sićušnog grijača tik uz mlaznicu formira se mjehurić vodene pare koji svojim rastom i kolapsom izbacuje kapljicu boje iz komore. Trenutno aktualni principi Inkjet-a prikazani su na slici 2.



Slika 2. Opća podjela tehnologije otiskivanja Inkjet-om (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.3. Kontinuirani Inkjet

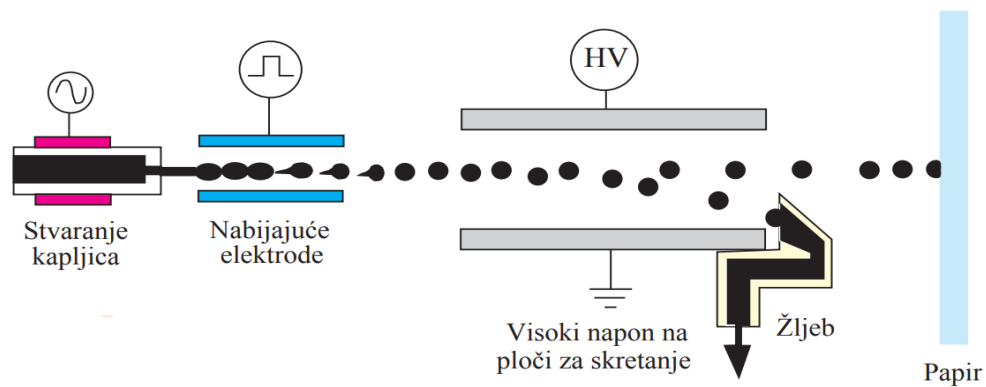
2.3.1. Binarni Inkjet

Kontinuirani Inkjet dobio je naziv po tome što boja neprekidno cirkulira kroz mlaznice, pri čemu otisak nastaje gađanjem tiskovne podloge sitnim kapljicama boje (slika 2.). Kako se radi o vrlo brzom i dinamičkom procesu, boja koja se koristi mora biti brzosušeća. U procesu otiskivanja dio fluida se usmjerava prema tiskovnoj podlozi, dok se ostatak preusmjerava u povratni odvod, nakon čega se vraća natrag u spremnik. Takvim principom cirkulacije boje onemogućeno je njeno sušenje na mlaznici, što bi rezultiralo mogućom blokadom iste.

Proces tiska počinje pumpanjem tekuće boje u mlaznu komoru. Osnovni princip oslobađanja kapljica temeljen je na tehnologiji koja sadrži piezo oscilator smješten unutar mlazne komore. Time je omogućeno stvaranje kontinuiranog niza kapljica u frekvenciji od 1 MHz [3].

Nakon toga slijedi da se iz kontinuiranog mlaza stvaraju sitne kapljice koje nastaju kao posljedica djelovanja visoke frekvencije. Nastale se kapljice elektronički nabijaju neposredno prije nego što dođe do odvajanja mlaza bojila. Osnovna karakteristika ovakvog načina otiskivanja je negativski princip stvaranja tiskovnih elemenata. To znači da će sve nenabijene kapljice završiti na tiskovnoj podlozi, dok će nabijene kapljice pod utjecajem visokog napona deflektora promijeniti smjer. Promjenom smjera kapljice se usmjeravaju u žlijeb odvodnog kanala, nakon čega slijedi faza pročišćavanja te povratak u sistem za otiskivanje (spremnik).

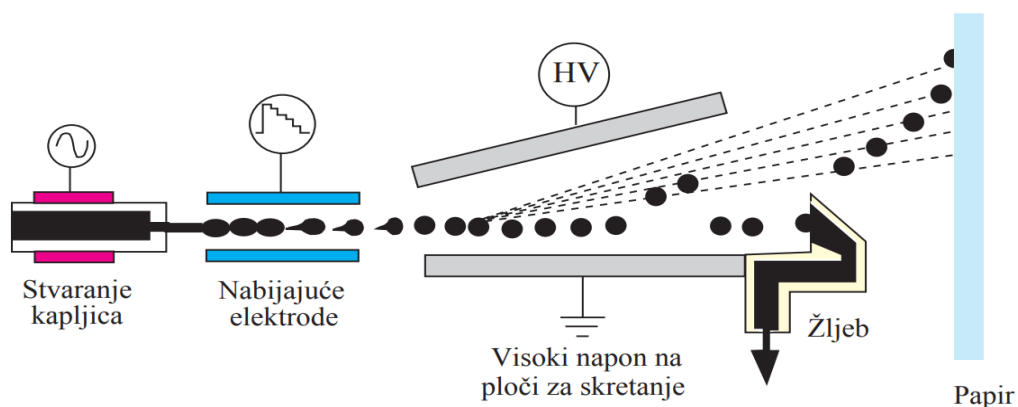
Binarni kontinuirani Inkjet printeri u svom radu realiziraju: frekvenciju kapanja od 1 MHz, volumen formiranih kapljica od 4 pl, promjer formiranih kapljica od 20 μm i brzinu oslobođenih kapljica od 4 m/s. Na temelju tih obilježja nastaju vrlo skupi i visokokvalitetni otisci koji se upotrebljavaju za potrebe probnog otiskivanja, te personaliziranje sadržaja na kartonskoj ambalaži (serijalizacija) [3].



Slika 2. Princip rada binarnog kontinuiranog Inkjet-a (Izvor: Osnove digitalnog tiska)

2.3.2. Višestruko skretajući kontinuirani Inkjet

U grafičkoj se industriji, osim binarnog kontinuiranog Inkjet--a, primjenjuje i višestruko skretajući kontinuirani Inkjet. Sam princip rada višestruko skretajućeg kontinuiranog Inkjet-a nije se znatno promijenio u odnosu na binarni. Razlika je u samom procesu nabijanja kapljica, gdje se umjesto dva stanja (nenabijene i nabijene kapljice) formira više njih. Iz toga proizlazi da višestruko skrećući Inkjet može generirati kapljice različite jačine naboja. To znači da se mlaz boje može reproducirati u šesnaest različitih naboja odnosno pozicija (slika 3.). Tako se u jednom prolazu može ostvariti tisak jedne linije dužine 10 cm. Kako se radi o NIP beskontaktnoj tehnici tiska, moguće je realizirati otiske na ravnim i zakrivljenim površinama na koje treba otisnuti stalne i varijabilne podatke (serijski brojevi i vrijeme proizvodnje) [3].



Slika 3. Princip rada višestruko skrećućeg kontinuiranog inkjeta (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4. Inkjet na principu kapanja na zahtjev (Drop on Demand Inkjet)

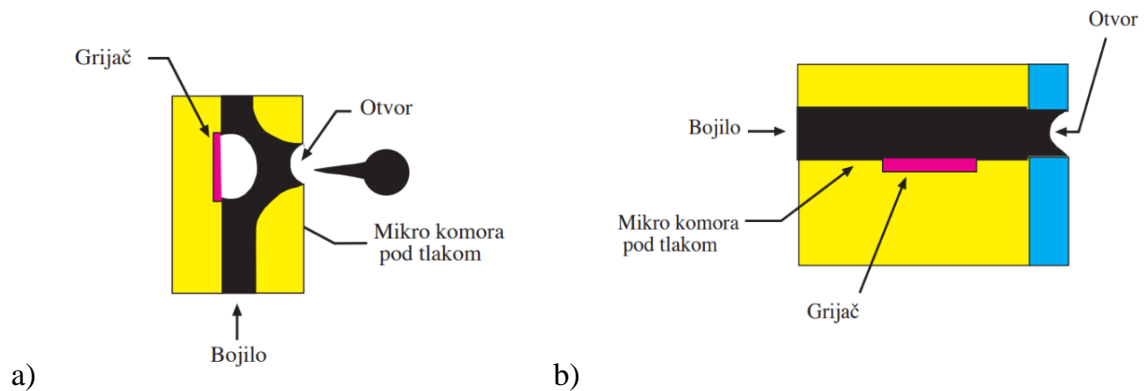
Osim konstrukcije kontinuiranih Inkjet pisača koji su se prvi pronašli na tržištu, pojavljuju se i nova rješenja u konstrukciji pisača. Ispisne glave takvih pisača sadržavaju puno veći broj mlaznica. Kroz male otvore mlaznica izbacuje se kapljica boje kad god je to potrebno, čime nastaje tako zvano kapanje na zahtjev. Tekuća boja za Inkjet se izbacuje korištenjem termalnih, piezoelektričnih, elektrostatskih i ultrazvučnih aktivatora. I oni se nalaze unutar komore gdje su vlastitim elektroničkim elementima izravno spojeni sa računalom. Trenutak formiranja kapljice boje određen je impulsom dobivenim iz računala. Na temelju primijenjenog aktivatora mogu se razlikovati četiri osnovne metode Inkjet-a sa kapanjem na zahtjev. Osnovne metode su: termalni Inkjet, piezoelektrični Inkjet, elektrostatski Inkjet i ultrazvučni Inkjet [3].

Radi se o metodama koje su svoju komercijalnu namjenu pronašle u proizvodnji različitih vrsta grafičkih proizvoda. Uglavnom se radi o proizvodima tiskanim u malim nakladama. Inkjet tehnologija sa kapanjem na zahtjev u posljednje vrijeme postiže reprodukcije vrlo visoke kvalitete. Time je omogućen pristup industrijskom otiskivanju. Ovaj način naknadnog industrijskog otiskivanja sekundarne ambalaže (dotisak) mijenja funkcionalnost etikete i naljepnice (barkodovi, serijski broj, logističke informacije). Posebnu skupinu industrijskih pisača čine oni koji koriste vrući vosak umjesto klasične tekuće boje. Riječ je o specijalnoj boji koja je na sobnoj temperaturi u krutom stanju. Zagrijavanjem takve boje mijenja se njezino agregatno stanje, pri čemu ona postaje tekućina koja se može nanositi mlaznicama. Međutim, otiskivanje ovakvim specijalnim bojama moguće je samo na poroznim površinama [3].

Većina Inkjet pisača koji koriste metodu kapanja na zahtjev bazirani su na termalnoj ili piezoelektričnoj tehnologiji formiranja kapljica. Tehnologije kao što su elektrostatski i ultrazvučni Inkjet su u procesu razvoja. Očekuje se da bi dolaskom novih patenata bile postignute značajne promjene kojima bi bila realizirana upotreba u komercijalnoj proizvodnji.

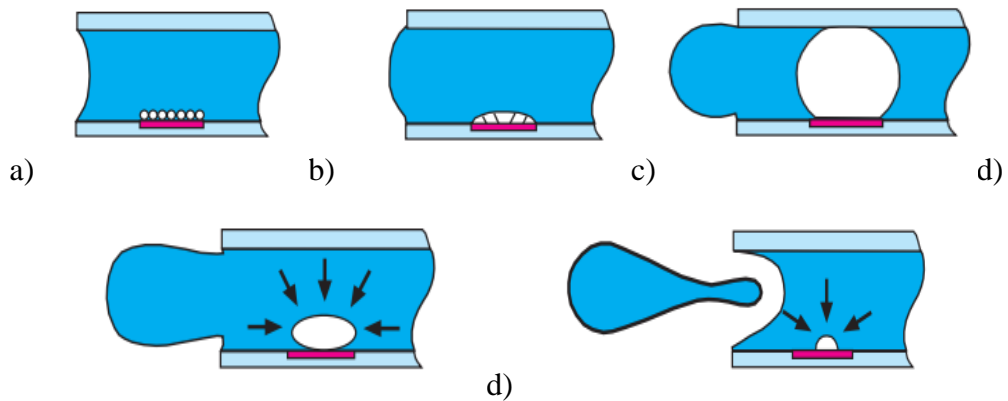
2.4.1. Termalni princip otiskivanja Inkjet-om

Termalni Inkjet je danas jedan od najzastupljenijih načina otiskivanja u digitalnom tisku. Razlog tomu je jednostavna konstrukcija samog sistema. Takav sistem sadrži samo mikrokomoru s ugrađenim grijačem te mlaznicu ugrađenu u neposrednoj blizini grijača. Mogu se razlikovati dvije osnovne konfiguracije kod ispisnih glava termalnog Inkjet-a (slika 4.). Tako razlikujemo termalne glave sa vršnim okidanjem (grijač i otvor su u istoj razini termalne glave) i bočnim okidanjem (grijač i otvor nisu u istoj razini već se grijač nalazi na dnu komore).



Slika 4. Konstrukcija termalne glave za inkjet: a) princip vršnog okidanja, b) princip bočnog okidanja (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

Neovisno o konstrukciji pisača generiranje kapljice počinje slanjem impulsa iz računala u grijač. Mikrogrijah se aktivira pri čemu se naglo zagrijava te u kratkom periodu postiže temperaturu oko 300 °C. Mjehurić ispunjen plinom (boja) počinje se širiti kada se zagrijavanjem postigne kritična temperatura. Termalni Inkjet najčešće koristi samo boju na bazi vode pri čemu zagrijavanjem nastaje mjehurić oslobođanjem vodene pare. Posljedica takvog rasta je mehaničko istiskivanje boje kroz mlaznicu te formiranje jednog kapljičnog meniskusa. Pri tome je veličina meniskusa proporcionalna volumenu nastalog mjehurića. Nakon prijenosa stvorene topline na okolnu boju, na površini grijača započinje finalna faza propadanja mjehurića. Nestajanjem mjehurića doći će do otpuštanja kapljice koja se kreće u pravcu tiskovne podloge. Cijeli proces nastajanja kapljice prikazan je na slici 5.



Slika 5. Faze nastajanja kapljica u termalnom Inkjetu: a) zagrijavanje mikrogrijača, b) stvaranje jezgre mjehurića, c) formiranje plinskog mjehurića, d) prestanak zagrijavanja, e) oslobađanje kapljice bojila (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4.2. Građa ispisne glave za termalni Inkjet

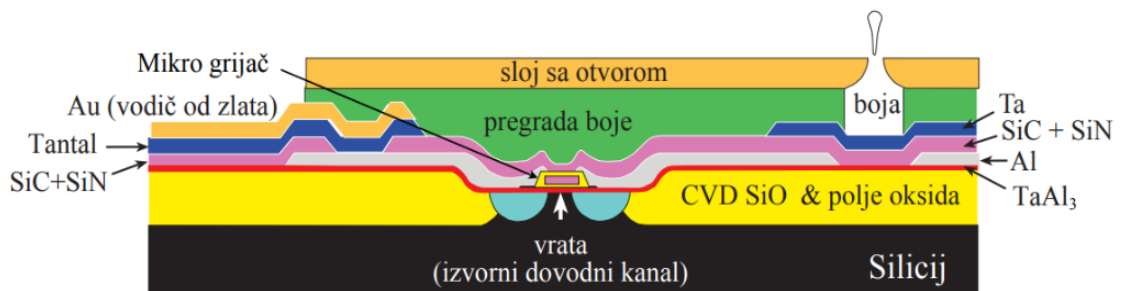
Princip vršnog i bočnog okidanja dijele zajedničku karakteristiku, a to je izrazito složena konstrukcija mlazne komore. Oko centralnog mikrogrijača nalazi se barijera koja nastaje nanošenjem sedam tankih i termalno otpornih slojeva. Maksimalna visina termalne mlazne komore iznosi oko 0.0254 mm, a širina komore je nešto veća [3]. Presjek takve jedne termalne mlazne komore prikazan je na slici 6.

Za stvaranje barijernog sloja u termalnoj Inkjet glavi koristi se postupak kemijskog uparivanja (CVD = Chemical Vapor Deposition). Radi se o postupku koji je karakterističan za industriju poluvodiča. Time je omogućeno formiranje višeslojnih podloga građenih od niza tankih slojeva. Kemijskim uparivanjem osnovni se elementi razgrađuju i ciljano usmjeravaju na podlogu. Procesom uparivanja nastaju i neželjeni produkti koji se moraju ukloniti iz komore.

Amorfni silicij čini bazu mlazne komore. Pomoću njega je ostvarena konekcija sa spremnikom za bojilo. Amorfni silicij je primijenjen jer je loš vodič. Međutim, povećanjem temperature dolazi do rasta električne provodljivosti silicija. Zbog toga se na sloj amornog silicija nanosi sloj silicij (IV) oksida. Takvim slojem onemogućen je proces oksidacije silicija. To znači da njegova čistoća mora biti izrazito velika. Nakon toga slijedi stvaranje najtanjeg sloja koji utječe na stabilnost jezgre [3].

Mikrogrijač je ugrađen u centralni dio mikrokomore koji je izrađen od sloja aluminijskog. Elementarni aluminij se zbog svojih izvrsnih električnih i toplinskih svojstava pokazao kao najbolji izbor. Dovođenjem elektriciteta na aluminijski sloj započeti će generiranje kapljice boje. Zatim slijedi formiranje sloja koji je u izravnom kontaktu s bojom. Najčešće su to slojevi izrađeni od silicij (IV) karbida i silicij nitrida. Silicij (IV) karbid je tvrdi poluvodič koji ima veliku toplinsku vodljivost i mali koeficijent termičkog širenja. Brzim zagrijavanjem ne dolazi do većih promjena u dimenzijama što ne utječe na ukupni volumen mikrokomore. Radi se o izrazito otpornom sloju na visoke temperature koji nije zapaljiv. Na žalost moguće je stvaranje silicij nitrida ukoliko dođe do reakcije s dušikom [3].

S gornje strane nalazi se silicidni sloj koji je djelomično u kontaktu s inernim tantalom, dok se ostatak nalazi u dodiru s pregradnim slojem. Funkcija fotopolimernog pregradnog sloja je zatvaranje mlazne komore s triju bočnih strana. Tako se sprečava neželjeno istjecanje bojila. Na vrhu četvrte stranice nalazi se sloj elementarnog zlata. Zlatom, kao odličnim vodičem, ostvaruje se izvrsna veza s računalom. Iz toga proizlazi da električni signal iz računala preko zlata, tantala i aluminijskog dolazi do grijača, pri čemu se pokreće proces zagrijavanja. Na vrhu se nalazi pokrivna pločica od nikla ili poliamida s otvorom. To je jedini otvor u mlaznoj komori, čime je omogućeno oslobađanje kapljice bojila [3].

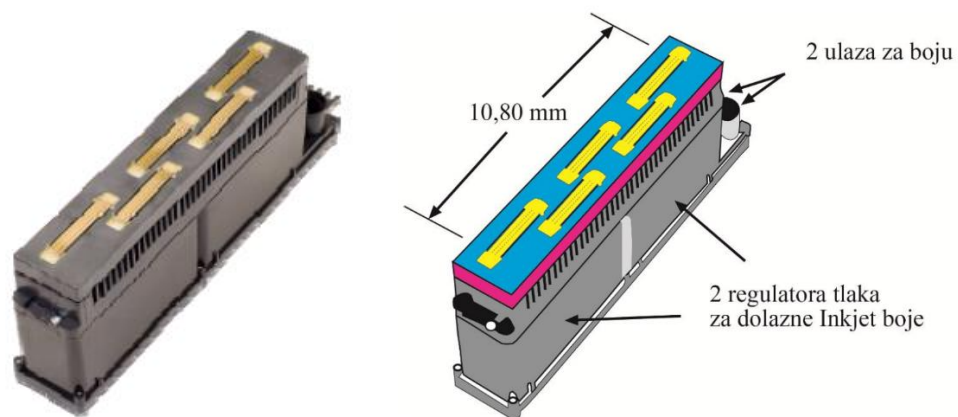


Slika 6. Presjek mlazne komore u termalnom Inkjet-u (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4.2.1. Termalna glava HP SPT Edgeline/TIJ 4

Hewlett-Packard ispisne glave su pioniri u razvoju Inkjet tiska. Na tržištu se može naći široka paleta njihovih proizvoda koji su direktna konkurencija piezoelektričnim Inkjet ispisnim glavama. HP tako danas nudi visoko kvalitetnu ispisnu glavu za termalni Inkjet.

Jedan od njih je model HP SPT Edgeline/TIJ4, koji sadržava 5 ispisnih modula. Ovakvom konstrukcijom ispisne glave moguća je velika brzina i reprodukcija otiska širine 108 mm (nastalog u jednom prolazu). Rezolucija koju pruža jedna ovakva ispisna glava je 1200 dpi. Konstrukcijom ovakve ispisne glave (u kojoj su moduli raspoređeni u dva reda) omogućeno je otiskivanje ili samo jedne ili dvije boje odjednom. Inkjet bojila koja se koriste sa ovim ispisnim glavama su boje na bazi vode te Latex Inkjet bojila. Latex boja je vododisperzivna boja koja sadržava polimerne pigmente. Iako joj je glavna komponenta voda ponaša se u potpunosti kao Inkjet boja na bazi lakohlapivih otapala. Latex boju koristi isključivo HP, koji je izumitelj, a ujedno i proizvođač iste. HP SPT Edgeline TIJ4 ispisne glave namijenjene su za tisak iz role, komercijalno otiskivanje na papiru te tisaku na polimerne folije za označavanje i tisak interijera [4, 5].



Slika 7. Ispisna glava za termalni Inkjet HP SPT Edgeline/TIJ4: a) fotografija, b) shematski prikaz (Izvor:

http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2008/ipgconference/nr_arprdisruptivetchnologies.pdf)

2.4.2.2. Termalna glava Kodak ESP

Kodakova ESP serija ispisnih glava za termalni inkjet tisak sastoji se od visoko produktivnih ispisnih modula. Konstrukcija ispisne glave izvedena je MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) tehnologijom. MEMS sustavi su mehanički ili elektromehanički sustavi (uređaji i strukture) koje direktno pokreće električna energija. Ovakvi sustavi registriraju, kontroliraju i aktiviraju mehaničke procese koji se odvijaju na mikro veličinama. To znači da svaka mlaznica ima svoju posebnu upravljačku jedinicu. Sama ispisna glava je jednolinijske konstrukcije. Ostvarene brzine otiskivanja

su izrazito visoke, pri čemu se može otisnuti površina i do 300 m/min. Takva brzina reprodukcije moguća je zbog velikog broja mlaznica koje ispisna glava sadržava. Tako je na jednoj ispisnoj glavi 3840 mlaznica. Na tržištu trenutno postoje 2 modela Kodakovih ispisnih glavi. Razlika je u veličini otvora na mlaznicama. Volumen kapljica koji se formira ovim ispisnim glavama tako iznosi 2.7 odnosno 6.5 pl. Pritom frekvencija formiranja kapljica iznosi 24 kHz. Kodak ESP ispisne glave imaju svoju primjenu u stolnom izdavaštvu, reprodukciji kolornih fotografija te ispisu varijabilnih podataka pri velikim brzinama tiska [4].



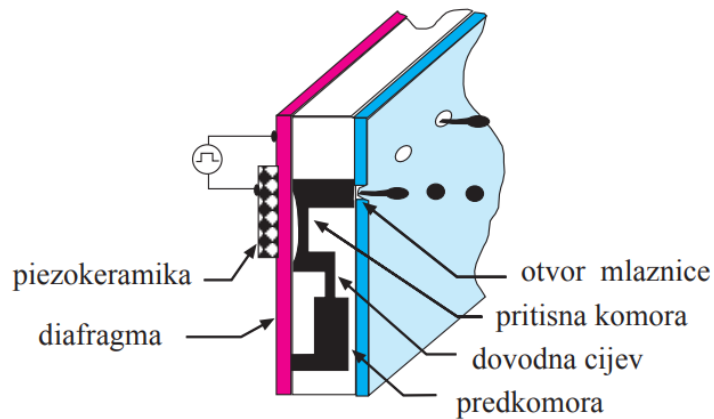
Slika 8. Ispisna glava za termalni Inkjet Kodak ESP (Izvor: <http://www.kodak.com/us/en/consumer/products/printing-supplies/printhead-replacements/10-series-printhead/default.htm>)

2.4.3. Piezoelektrični princip otiskivanja Inkjet-om

U grafičkoj industriji piezoelektrični Inkjet je mnogo više zastupljeniji u odnosu na termalni Inkjet. Tome pridonosi jednostavniji i lakši princip nastajanja kapljica. Iako oba principa koriste mikrokomore u kojima se nalazi Inkjet boja, razlika se očituje u elementima za formiranje kapljice. Termalni mikrogrijač je tako zamijenjen stabilnijim i puno jeftinijim piezoelektričnim kristalom. Stoga, najveća prednost piezoelektričnog Inkjeta je cijena izrade, kao i mogućnost korištenja više vrsta Inkjet boja.

Za formiranje jedne kapljice boje nužno je konstruirati specijalnu višeslojnu ispisnu glavu. Takva ispisna glava sastoji se od centralnog piezokeramičkog elementa (20 μm) cirkonijske dijafragme (3 μm), pretkomore, dovodne cijevi i pritisne komore. Za preciznost otiska (formiranje kapljice bez zraka) važna je pozicija mlaznog otvora. On se

obavezno nalazi u sklopu pritise komore (nasuprot piezokristalu). U visokoproduktivnim sustavima položaj osnovnih komponenti u ispisnim glavama može se modificirati. Takve modularne piezoelektrične glave obično se sastoje od: upravljačkog sklopa, kontaktnog međusloja, poroznog sloja, piezoelektričnog elementa i pločice s mlaznicama na vrhu ispisne glave (slika 9.) [3].



Slika 9. Presjek ispisne glave u piezoelektričnom Inkjet-u (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

Kod izrade jedne ispisne glave najteže je proizvesti porozni sloj i vršnu pločicu sa mlaznicama. U ovom procesu izrade preciznost elemenata je od izričite važnosti. Porozni sloj izrađen je od velikog broja antikorozivnih pločica koje su spojene na visokoj temperaturi. Debljina takvih pločica treba biti ujednačena, i iznosi oko 6 μm . Potpuno brtvljenje pločice realizira se nanašanjem zlata tijekom procesa spajanja istih. Ovime je onemogućeno neželjeno curenje likvidne boje. Osim zlatom, antikorozivne pločice mogu se spajati i jeftinijim niklom [3].

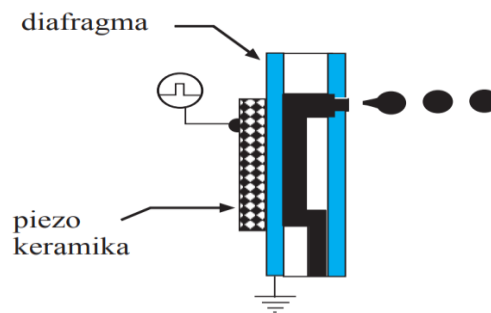
Pločica s mlaznicama koja se nalazi na vrhu ispisne glave uglavnom je izrađena od nikla. Zbog velikog broja otvora koje sadržava, pločica se može generirati laserskom ablacijom vršne poliamidne površine ili galvanskim nanošenjem nikla. Promjer i debljina otvorene mlaznice je od krucijalne važnosti zbog toga što izravno utječe na brzinu kretanja kapljica, volumen kapljica i putanju. Da bi se izbjegle pruge na otisku nastale kao posljedica lošeg procesa izrade glave, trebaju se koristiti sofisticirane metode izrade pukotina kao što su: mikrobrušenje, mikropritiskanje i elektroneutraliziranje [3].

Kod otiskivanja piezoelektričnim Inkjet-om dovod boje mora biti konstantan i bez prisutnosti zraka. Kako bi to bilo postignuto boja se prelijeva iz spremnika u pretkomoru, nakon koje se cjevčicom za dovod distribuira u ispisnu mikrokomoru. Deformacijom piezokeramičkog materijala (uzrokovanog dolaznim impulsom iz računala) stvara se pojedinačna kapljica boje. Promjena oblika piezokeramičkog elementa direktno utječe na promjenu volumena unutar mikrokomore. Tako nastaje potisni val koji Inkjet bojilo istiskuje prema otvoru mlaznice. Da bi se savladala površinska napetost na otvoru mlaznice, pritisak vala mora biti dovoljno jak kako ne bi došlo do gubitka tlaka unutar tekućine. Kao posljedica toga na otvoru mlaznice se stvara kapljični meniskus. Meniskus je fizikalna pojava gdje se na mlaznici počinje formirati kapljica koja još nije oslobođena te se jednim dijelom drži za otvor mlaznice. Da bi došlo do formiranja kapljice u cijelosti, njenog izbacivanja i kretanja u smjeru tiskovne podloge, potrebno je dovoljno dugo zadržati pritisak unutar mikrokomore [3].

Piezoelektrični element služi kao izolator ako nije izložen djelovanju električnog polja. Izlaganjem električnom polju, piezoelektrični element ponaša se kao dipol. Dipol su molekule kod kojih se pozitivni naboj odvaja od negativnog naboja. To znači da takav materijal pod utjecajem mehaničkog stresa, na površini dielektrika proizvodi električnu struju. Električna struja nije stalna te ona egzistira samo u trenucima mehaničkog djelovanja. U suprotnom slučaju gdje se naboj dovodi na površinu uravnoteženog piezokristala, dolazi do njegova širenja ili sužavanja. Deformacije piezokristala su različite, pa samim time razlikujemo tri načina na koje se mogu formirati kapljice u piezo inkjet tehnologiji. To su: deformacija po širini i dužini (svijanje piezokristala), radijalna deformacija (guranje piezokristala) i škarna deformacija (smicanje piezokristala) [3].

2.4.4. Piezoelektrični Inkjet na principu savijanja

Ovaj princip koristi konstrukciju ispisne glave gdje su piezokeramičke pločice izravno spojene s elastičnom dijafragmom. Sa lijeve i desne strane piezokristala nalaze se konekcije s pločastim elektrodama. Elektrode su u direktnoj vezi s računalom, te će impuls napona započeti deformaciju piezokristala, čime će se generirati kapljice boje.

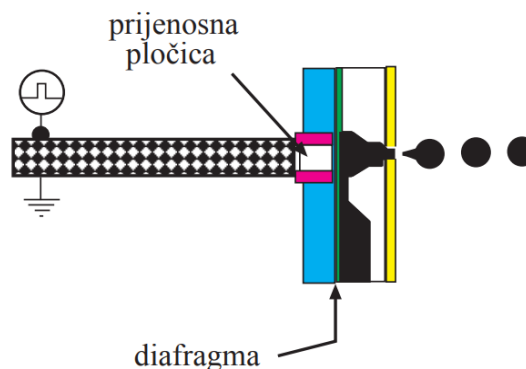


Slika 10. Piezoelektrični Inkjet na principu svijanjanja (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

Takve ispisne glave za Inkjet mogu raditi na dva načina. To su Gouldov impulsni princip i Siemensov princip. Kod Gouldova principa primjenjuje se tanka dovodna cijev koja je s jedne strane okružena piezokeramikom, dok se na drugoj nalazi mlaznica od stakla. Siemensov princip koristi piezokeramičku cjevčicu koja je zatvorena u plastici, a oko nje se nalazi kanal s dotokom boje [3].

2.4.5. Piezoelektrični Inkjet na principu guranja

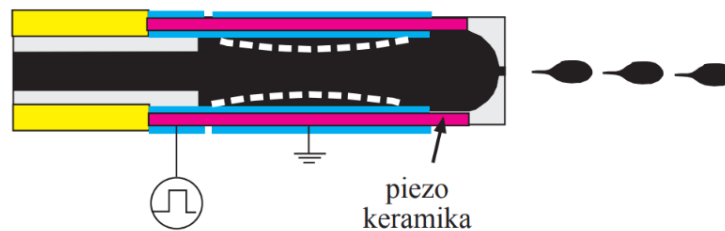
Na slici 11. prikazana je konstrukcija piezoelektričnog Inkjet-a na principu guranja. Piezokeramički element je u obliku polegnute duguljaste šipke. Ona se aktivacijom horizontalno širi, što rezultira izbacivanjem pojedinačne kapljice boje. Prednost takvih ispisnih glava je mogućnost direktnog dovođenja u kontakt s bojilom. Ipak se češće upotrebljava neizravna verzija, kod koje se diafragma nalazi između piezokristala i komore s bojom. Tako se sprečava neželjena interakcija piezoelementa i boje za Inkjet. Takva konstrukcija utječe na produljenje radnog vijeka Inkjet pisaa [3].



Slika 11. Piezoelektrični Inkjet na principu guranja (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4.6. Piezoelektrični Inkjet na principu istiskivanja

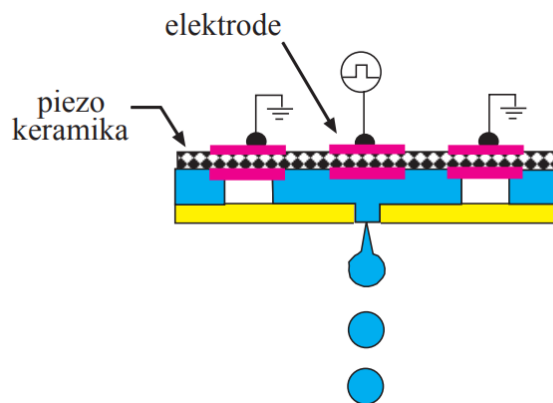
Kod ovakvog principa otiskivanja ispisna glava je cjevčicom izravno spojena s dovodom boje za inkjet. Kod takve ispisne glave piezoelektrični kristali ugrađeni su na dvije strane mlazne komore. Oba piezokristala okružena su elektrodama koje selektivnom aktivacijom realiziraju usmjereno gibanje piezokristala. Gornja piezokeramika pomiče se prema dolje, dok se donja piezokeramika pomiče prema gore, stvarajući tako efekt istiskivanja [3].



Slika 12. Piezoelektrični Inkjet na principu istiskivanja (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4.7. Piezoelektrički Inkjet na principu smicanja

Kako bi došlo do savijanja ili istiskivanja piezokeramike mora se uspostaviti električno polje između elektroda. Time se postiže horizontalna polarizacija piezoelementa (slika 13.). Kod ispisnih glava koje rade na principu smicanja na polarizaciju piezokristala mora djelovati okomito električno polje. Tijekom smicanja piezokeramičke pločice se u potpunosti deformiraju te tako dolazi do izbacivanja kapljica Inkjet boje. Aktivacijske elektrode su sastavni dio bočnih stijenki mikrokomore. Pritom dolazi do izravnog kontakta između bojila i elektroda. Zbog toga ovakva konstrukcija ispisnih glava ima vrlo ograničenu primjenu [3].



Slika 13. Piezoelektrični Inkjet na principu smicanja (Izvor: I. Majnarić, Osnove digitalnog tiska, 2015.)

2.4.8. Komercijalno primijenjene piezo Inkjet ispisne glave

Kako se piezo Inkjet koristi za različite primjene (od otiskivanja jedne kopije do otiskivanja milijunskih naklada), konstrukcija piezo Inkjet glava se može značajno razlikovati. Stoga danas poznajemo razne proizvođače ispisnih glava i njihove specijalne konstrukcije. Trenutno najčešće ispisne glave u primjeni su:

2.4.8.1. Ispisna glava Kyocera Serije KJ4

Japanska tvrtka Kyocera nakon dugog niza godina testiranja i usavršavanja istisne Inkjet tehnologije, 2008. godine izbacuje na tržište svoje ispisne glave KJ4. Ove ispisne glave vrlo su pouzdane i produktivne te omogućavaju izrazito brzo višebojno otiskivanje. Pritom Kyocera KJ4A ispisna glava postiže brzinu otiskivanja do 150 m/min u rezoluciji 600 x 600 dpi. Ispisna glava pri jednom takvom otiskivanju postiže frekvenciju od 30 kHz. Kako se radi o tehnologiji kapanja na zahtjev koja je dugo testirana i usavršavana, omogućeno je otiskivanje 4 različite veličine kapljica. Veličine kapljica koje se mogu formirati su volumena 6 pl, 7 pl, 11 pl i 14 pl. Osim ovog modela koji nudi samo jednu razlučivost za otiskivanje, dostupna je i Kyocera KJ4B ispisna glava. Ova ispisna glava ima mogućnost otiskivanja 3 različite rezolucije na otisku. Kod najmanje rezolucije od 600 x 360 dpi moguće je otisnuti 330 m/min frekvencijom od 40 kHz. Povećanjem rezolucije na 600 x 600 dpi, maksimalna otisnuta površina smanjuje se na 200 m/min, dok frekvencija ostaje ista (40 kHz). Veličina kapljice koja se može realizirati pri ovim rezolucijama iznosi 5 pl, 7 pl, 12 pl i 18 pl. Pri reprodukciji višebojnih otisaka u rezoluciji 1280 x 1280 dpi Kyocera KJ4B ispisnu glavu može otisnuti 150 m/min. Za ovu vrlo

visoku razlučivost koristi se binarni mod otiskivanja s frekvencijom od 60 kHz. Jedna ispisna glava tako ima 2656 mlaznica, što omogućuje izrazito široko područje otiskivanja od 10,8 cm (4,25 inch).

Ispisne glave Kyocera KJ4 serije dolaze u dvije varijante. To ovisi o tome da li se primjenjuju Inkjet boje na bazi vode ili UV sušee Inkjet boje. Boje na bazi vode koriste se za komercijalno (DTP) otiskivanje. To znači da je ovim ispisnim glavama moguće otiskivati na različite tiskovne podloge. Tako će se za tisak na odjeću i tekstil koristiti ispisne glave sa bojilima na bazi vode, dok će se za tisak na plastiku koristiti modeli ispisnih glava sa UV bojom [4, 6, 7].



Slika 14. Kyocera KJ4 piezo Inkjet ispisna glava (Izvor: http://global.kyocera.com/news/2009/0903_kdos.html)

2.4.8.2. Ispisna glava Panasonic PIJ

Panasonic je također japanski proizvođač koji je 2014 godine predstavio svoje inkjet ispisne glave. Tako se Panasonic pridružio tržištu proizvodnje ispisnih glava za piezo Inkjet. Ove ispisne glave koriste se u tisku velikih formata pri čemu ostvaruju izvrsne rezultate. Moguće je otiskivati brzinom od 75 do 150 m/min pri visokoj rezoluciji od 600 dpi. Pritom Panasonicove piezo ispisne glave postižu frekvenciju kapanja od 30 khz. Kod reprodukcije sivih tonova ova ispisna glava može realizirati 3 tipa kapljica. To su kapljice volumena 3 pl, 11 pl i 14 pl. Kod binarnog moda otiskivanja može se ostvariti samo jedan volumen kapljice (11 pl). Širina otiska koji se može jednim prolazom otisnuti iznosi 10 cm što je ostvareno sa primjenom od 800 mlaznica na ispisnoj glavi.

Kako se radi o ispisnim glavama konstruiranim za široku primjenu u grafičkoj industriji, moguće je otiskivanje na različite materijale. Tako se ove ispisne glave koriste u komercijalnom (personaliziranom tisku), industrijskom tisku na staklo, keramiku, metal, drvo, plastiku, zaštitnom tisku (tisak putovnica i dokumenata), tisku ambalaže (tisak fleksibilne i čvrste ambalaže), te tisku za vanjsko označavanje. Mogućnost upotrebe Panasonicovih ispisnih glava je vrlo široka što znači da nema mogućnosti za korištenjem drugih tipova bojila. Stoga Inkjet boja koja se koristi kod ovih ispisnih glava je na bazi vode [4, 8].



Slika 15. Panasonic piezo Inkjet ispisna glava (Izvor:

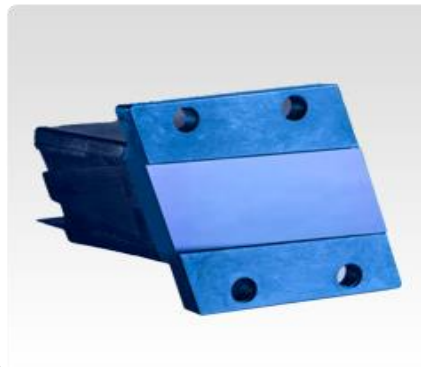
http://www.panasonic.com/global/corporate/ais/news/2013/1025_1.html)

2.4.8.3. Ispisna glava Fujifilm Dimatix Samba

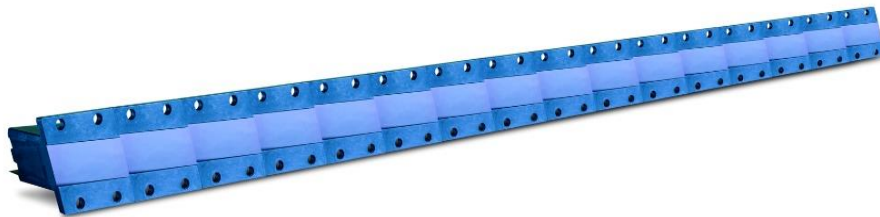
Fujifilm Dimatix Inc. je najveći svjetski dobavljač ispisnih glava za Inkjet strojeve koje rade principom kapanja na zahjev. U razvoju je posebno važna 2015 godina, kada je predstavljena napredna ispisna glava Fujifilm Dimatix Samba. Za konstrukciju ove ispisne glave korištena je MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) tehnologija. Prednost ove ispisne glave je upravo njena veličina i modularna konstrukcija. Tako je jedna ispisna glava široka 43 mm te ima 2048 mlaznica. Time je omogućeno postizanje vrlo visoke rezolucije otiska od 1200 dpi. VersaDrop pulsirajuća tehnologija omogućava realiziranje fiksnih veličina kapljica od 0.1 pl, 1pl i 2 pl uz frekvenciju otiskivanja do maksimalnih 100 kHz. Ovako velike frekvencije otiskivanja ne bi bile moguće bez

specijalno dizajnirane pločice ispisne glave i inovativnog cirkuliranja boje kroz mlaznice ispisne glave. Ovime Dimatix Samba postiže visoku efikasnost sa minimalnim rasipanjem boje i otiskivanjem bez neželjenih satelitskih kapljica. Bojilo koje se koristi za reprodukciju može biti na bazi vode ili UV sušuća Inkjet boja.

Posebnost ove ispisne glave je u njenoj modularnosti. To znači da se moduli ove ispisne glave mogu konfigurirati u serije čime se ostvaruje velika površina koju je moguće otisnuti. Stoga su ove ispisne glave našle svoju primjenu u komercijalnom tisku B1 i B2 formata i šesteroboju (CMYK+sjajni lak+mat lak) reprodukciji fotografija [4, 9].



a)



b)

Slika 16. Fujifilm Dimatix Samba a) segment ispisnog modula, b) 16 modula povezanih u jednu liniju (Izvor: <http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>)

2.4.8.4. Ispisna glava Fujifilm Dimatix Q-Class

Fujifilm Dimatix predstavio je 2008. godine svoju Q-Class seriju. Q-Class serija sastoji se od mogućnosti izbora više ispisnih glava i sklopova. Ovu seriju proizvoda tako čine 9 osnovnih ispisnih glava i 9 različitih pločica sa mlaznicama. Ispisne glave su modularne te se ovisno o zahtjevu posla mogu slagati u razne konfiguracije. Funkcionalno Q-Class platforma se može pronaći u 3 serije. To su ispisne glave: Emerald sa 256 mlaznica, Sapphire sa 256 mlaznica, te Polaris sa 512 mlaznica. Emerald i Sapphire ispisne glave

odjednom otiskuju površinu širine 64.77 mm pri frekvenciji kapanja od 20 kHz, 33 kHz i 50 kHz. Pritom najveću brzinu otiskivanja ostvaruje najmanja frekvencija ispisne glave. Pri otiskivanju maksimalna rezolucija iznosi 100 dpi. Po veličini kapljice ispisne glave su podijeljene u 3 kategorije. To su 10 pl, 30 pl i 80 pl.

Kod ispisnih glava sa najmanjim otvorom mlaznice veličina kapljice kreće se između 10 pl i 30 pl. Srednje mlaznice realiziraju veličinu kapljice između 30 pl i 80 pl, dok ispisne glave sa najvećim otvorima mlaznica postižu veličine kapljica od 80 do 150 pL.

Polaris ispisne glave otiskuju ispisnu zonu širine 64.89 mm. Također one dolaze u 3 varijante. To su 15 pl, 35 pl i 85 pl. Najmanja ispisna glava tako ima brzinu otiskivanja od 40 kHz, pri čemu se formiraju kapljice veličine od 15 pl do 50 pl. Srednjom konstrukcijom ispisne glave realiziraju se kapljice veličine između 35 pl i 80 pl uz frekvenciju kapanja od 30 kHz. Konstrukcijski najveća ispisna glava dati će najveće veličine kapljica (od 85 pl do 200 pl uz frekvenciju kapanja od 20 kHz). Razlučivost koja se može postići Polaris ispisnim glavama je 200 dpi.

Ispisne glave Q-Class serije karakterizira MEMS konstrukcija izrade. To znači da se za otiskivanje jednotonskih i višetonskih reprodukcija koristi VersaDrop tehnologija. Kako se radi o modularnim ispisnim glavama moguće ih je složiti u 70 različitih Q-Class konfiguracija. Samim time Q-Class serija namijenjena je za ispis velikog formata, etiketa i kartonske ambalaže. Boje koje se mogu koristiti sa ovim ispisnim glavama su boje različitog sastava. Obično su na bazi vode, UV sušće boje i boja na bazli lako hlapljivih otapala [4, 10, 11].

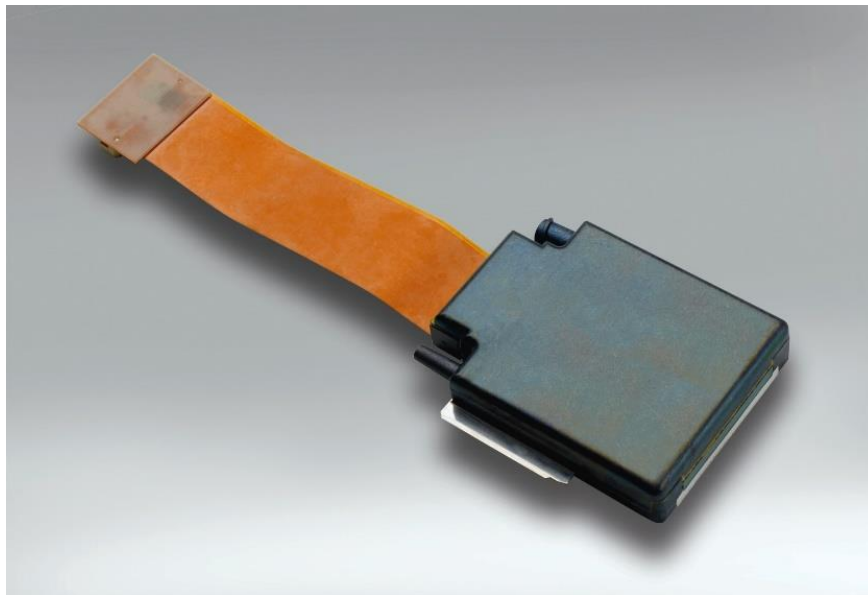


Slika 17. Fujifilm Dimatix Q-Class serija: a) Emerald ispisna glava, b) Sapphire ispisna glava, c) Polaris ispisna glava (Izvor:

http://www.fujifilmusa.com/press/news/display_news?newsID=880173)

2.4.8.5. Ispisna glava Fujifilm Dimatix D-Class

Fujifilm Dimatix D-Class je serija ispisnih glava konstruirana za specijalne tiskarske upotrebe. Ove ispisne glave moguće je koristiti samo na pisačima Fujifilm Dimatix DMP-3000. D-Class seriju čine dvije MEMS ispisne glave sa 128 mlaznica. Svaka mlaznica ima svoju upravljačku jedinicu čime je spriječeno nepotrebno rasipanje i trošenje skupih Inkjet boja koje se koriste kao potrošni materijali.. Model D-128/1 DPN ostvaruje kapljice veličine 1 pl dok model D-128/10 DPN realizira kapljice veličine 10 pl. Ovim ispisnim glavama mogu se otiskivati vrlo mali tiskovni elementi veličine 20 μm . Što se reprodukcije tiče moguće je jedino otiskivati jednotonske uzorke na različite tiskovne podloge. Fujifilm Dimatix D-Class su specijalne ispisne glave dizajnirane isključivo za tisak elektronike, otiskivanje elektronskih komponenata, zaslona, strujnih krugova i biomaterijala [4, 12].



Slika 18. Fujifilm Dimatix D-Class ispisna glava (Izvor: http://www.fujifilmusa.com/press/news/display_news?newsID=880190)

2.4.8.6. Ispisna glava HP x2

Hewlett-Packard konstruirao je ispisnu glavu HPx2 čija je glavna primjena u industrijskom otiskivanju. Ispisna glava je pogodna za upotrebu sa pisačima HP Scilex. HPx2 ispisne glave također koriste MEMS konstrukciju. Jedna takva ispisna glava ima 128 mlaznica koje ostvaruju rezoluciju od 100 dpi. Ove ispisne glave mogu reproducirati jednotonske otiske pri čemu mogu koristiti i UV sušeće boje. Širina otiska koju ova glava

ostvaruje iznosi 32,5 mm uz frekvenciju kapanja od 30 kHz. Također moguće je spajanje više ispisnih glava u veće konstrukcije čime se ostvaruje brzina ispisa od 120m/min i rezolucija od 800 dpi. Mogućnost povezivanja više ispisnih glava u jednu cjelinu pogoduje visoko produktivnim sustavima u grafičkoj proizvodnji. Tako je najveća primjena ovih ispisnih glava za tisak velikog formata te za tisak ambalaže [4, 13].



Slika 19. HPx2 ispisna glava (Izvor: <http://www.digiprint-supplies.com/en/hp-scitex-x2-printhead-pphhp11791.html>)

2.4.8.7. Ispisna glava Ricoh Gen 4

Ricoh Gen4 ispisne glave su idealne za proizvodnju različitih grafičkih proizvoda. Ovisno o duljini kabla ispisne glave dolaze u 2 varijante. Na tržištu su dostupne ispisne glave sa kablom duljine 19 cm i 44 cm. Jedna ispisna glava ima 384 mlaznice raspoređene u 2 reda (192 mlaznice u redu). Brzina otiskivanja Ricoh Gen4 ispisne glave iznosi 480m/min uz frekvenciju kapanja od 30 kHz za jednotonske reprodukcije, odnosno 20 kHz za višetonske reprodukcije. Širina otisnute površine koju ova ispisna glava ostvaruje je 32,5 mm uz razlučivosti od 300 dpi. Kod višetonskog otiskivanja mogu se realizirati 3 veličine kapljica. To su: 7 pl, 14 pl i 21 pl.

Ricoh Gen4 ispisna glava izrađena je od nehrđajućeg čelika. Time je sa ovom ispisnom glavom omogućeno korištenje različitih Inkjet bojila. Boje koje se mogu koristiti su: boje na bazi vode, boje na bazi ulja, boje na bazi organskih otapala i UV sušće Inkjet boje. Ispisna glava Ricoh Gen4 je prisutna u ispisu velikih formata.

Integrirani grijač i termostat na ispisnoj glavi pružaju velik raspon upotrebe ove ispisne glave, te reprodukciju na različitim tiskovnim podlogama. Materijali na koje se može otiskivati su: tekstil, odjeća, elektronika te djelomično 3D otiskivanje [4, 14].



Slika 20. Ricoh Gen4 ispisna glava (Izvor: <http://www.digiprint-supplies.com/en/ricoh-gen4-printhead-n220792-pphri12681.html>)

2.4.8.8. Ispisna glava Epson AMD i TFP

Tvrtka Epson je jedan od vodećih proizvođača Inkjet pisača. Samim time Epson nudi širok raspon pisača, od onih namijenjenih za kućnu upotrebu, za otiskivanje profesionalnih fotografija, pa sve do komercijalnog i industrijskog otiskivanja. Ispisne glave koje koriste Epsonovi pisači su mikro piezo Inkjet serije AMD i TFP. Ove ispisne glave koriste se za višetonske reprodukcije vrlo visoke razlučivosti. Jedna ispisna glava je širine 2.5 cm i sadrži 300 mlaznica koje ostvaruju maksimalnu rezoluciju od 2880 x 1440 dpi. Veličina kapljice koja se realizira s TFP ispisnim glavama iznosi 1.5 pl, dok AMD model ostvaruje nešto veću kapljicu (3.5 pl).

Zbog vrlo visoke ispisne rezolucije ove ispisne glave idealnu su za reprodukciju fotografija i naljepnica na raznim premazanim papirima i filmovima. Osim toga moguće je otiskivanje na tekstil, odjeću i elektroniku. Međutim danas je ova vrsta otiskivanja manje zastupljena u odnosu na foto reprodukciju [4, 15].



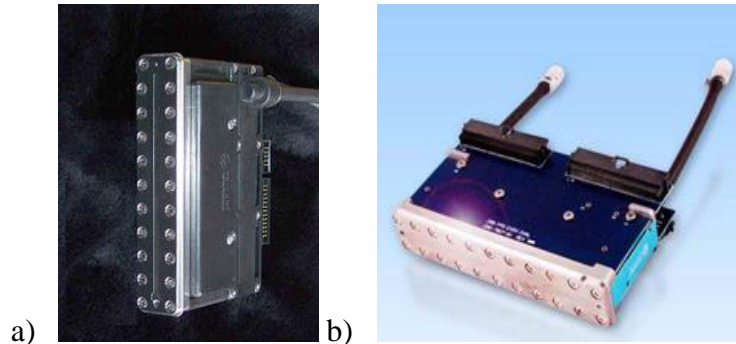
Slika 21. Epson mikro piezo ispisna glava (Izvor: <http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>)

2.4.8.9. Trident ispisne glave

Američka tvrtka Trident specijalizirana je za proizvodnju posebnih Inkjet ispisnih glava. Ispisne glave koriste piezo Inkjet tehnologiju otiskivanja. Trident je na tržištu predstavio 3 modela ispisnih glava. To su model 768Jet, model 384Jet i model 256Jet-D. Model 768Jet je najveća ispisna glava na svijetu sa širinom otiska od 101 mm. Ova ispisna glava sadrži 768 mlaznica na koje je spojeno 256 kanala za dovod boje. Frekvencija kapanja pri ispisu iznosi 10 kHz dok veličina kapljice iznosi 50 pl. Model 384Jet je vrlo sličan modelu 768Jet. Širina površine koja se može otisnuti je duplo manja (50 mm). Broj mlaznica koje ima model 384Jet je 384, zajedno sa komorama za dovod boje od 128 kanala. Frekvencija kapanja, razlučivost i veličina reproducirane kapljice su jednaki kao i kod većeg modela 768Jet.

Ova 2 Tridentova modela se koriste za precizno otiskivanje na grubim tiskovnim podlogama. Međutim, 256Jet ispisna glava namijenjena je i za precizno otiskivanje na elektroniku. Površina koja se može otisnuti u jednom prolazu iznosi 101 mm. Za razliku od ostalih modela ova ispisna glava postiže skromniju razlučivost od 64 dpi. Broj mlaznica na ovoj ispisnoj glavi je 256 na koje je direktno spojeno 256 kanala za dovod boje. Frekvencija kapanja iznosi 20 kHz pri čemu se mogu realizirati 4 različite veličine kapljica: 7 pl, 30 pl, 50 pl i 80 pl.

Prednost Trident ispisnih glava očituje se u njihovoj izdržljivosti i mogućnosti repariranja. Područje primjene ovih ispisnih glava uglavnom je temeljena za proizvodnju u prašnjavim uvjetima. Samim time ove se ispisne glave koriste za apliciranje barkodova, eksterijerskih znakova i adresiranje dokumenata, pošte, tekstila te otiskivanje na elektroničke sklopove [4, 16, 17, 18].



Slika 22. Trident ispisne glave: a) 768Jet, b) 265Jet-D (Izvor: <https://www.trident-itw.com/products/printheads>)

2.4.8.10. Ispisna glava Xaar 1001

Inkjet glava Xaar 1001 prvi je puta javnosti predstavljen 2012. godine. Radi se o vrhunskoj ispisnoj glavi za višetonsku reprodukciju jer može postići 7 nijansi sivih tonova. Razlog tomu je veličina formiranih kapljica u rasponu od 6 pl do 42 pl. Ispisna glava Xaar 1001 namijenjena je za reprodukciju realnijih fotografski motiva. Da bi se postiglo takvo otiskivanje potrebne su jako visoke rezolucije. Ova ispisna glava sadržava 1000 mlaznica gustoće 360 dpi čime se ostvaruju rezolucije u tisku veće od 1000 dpi. Širina površine koja se može otisnuti u jednom prolazu iznosi 70.5 mm uz frekvenciju izbacivanja kapljica od 6 kHz (za višetonske) i 39 kHz (za jednotonske reprodukcije). Zbog loših korozivnih svojstava kod ovih ispisnih glava ne smije se koristiti bojilo na bazi vode. Ispisne glave Xaar 1001 specijalno su dizajnirane za otiskivanje na stalku i keramici. Po potrebi mogu se koristiti za različite grafičke aplikacije kao što su komercijalni i industrijski tisak, te tisak velikog formata [4, 19].



Slika 23. Ispisna glava Xaar 1001 (Izvor: <http://www.xaar.com/en/media-centre/new-xaar-1001-gs12-printhead-to-drive-ceramics-industry-faster>)

2.4.8.11. Ispisna glava Toshiba Tec

Toshiba kao jedan od vodećih proizvođača grafičke tehnologije na tržištu nudi 6 modela piezo Inkjet ispisnih glava. Njihove ispisne glave ostvaruju gotovo fotografsku kvalitetu reprodukcije. Da bi to bilo moguće koristi se takozvana tehnologija „shared wall“. Ona se temelji na činjenici da je kanal koji dovodi boju do mlaznice omeđen sa 2 stjenke. Svaki stjenka napravljena je od piezoelektričnih materijala koji se sinkronizirano pokreću. Tako je 1 stjenku dijele dva susjedna kanala pri čemu se omogućuje istovremeno izbacivanje kapljice boje kroz više mlaznica istovremeno [20]. Ova tehnika je ključna za postizanje velikog broja sivih tonova. Toshiba Tec ispisne glave postižu sive tonove u rasponu od 2, 8 i 16 nijansi. Širina otiska koja se može reproducirati ovim ispisnim glavama iznosi 53.6 mm i 53.7 mm. Veličina kapljice kod ispisnih glava koje postižu 2 nijanse sivih tonova iznosi 3 pl. Kod modela koje realiziraju maksimalnih 16 nijansi sive formiraju se kapljice u rasponu od 6 pl do 90 pl. Maksimalna frekvencija kapanja iznosi 28 kHz. Osim formiranja jedne kapljice, moguće je otiskivati sa 7 i 15 kapljica istovremeno na zahtjev. Pritom je za 7 kapljica frekvencija kapanja 6.2 kHz odnosno za 15 kapljica 2.8 kHz. Tako je brzina otiskivanja principom izbacivanja 7 kapljica 31 m/min s rezolucijom od 300 dpi. Korištenjem principa izbacivanja samo 1 kapljice brzina otiskivanja raste i iznosi 35 m/min uz rezoluciju ispisa od 1200 dpi. Toshiba Tec ispisne glave rade sa bojama na bazi ulja te UV sušećim bojama.

Time je ostvaren širok raspon upotrebe u industrijskoj proizvodnji. Ove ispisne glave namijenjene su za otiskivanje ambalaže, tisku na grube površine, metale, staklo, keramiku i plastiku [4].



Slika 24. Toshiba Tec ispisna glava (Izvor: <http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>)

2.4.8.12. Ispisna glava Konica Minolta

Konica Minolta nudi 2 serije piezo Inkjet ispisnih glava. To su serije KM512 i KM1024. U sklopu serije KM512 nalaze se 3 modela ispisnih glava. Ovi modeli omogućuju višetonsku reprodukciju realizirajući 2,4 i 8 nijansi sivih tonova. Ispisne glave KM512 imaju 512 mlaznica koje ostvaruju razlučivost ispisa od 360 dpi. Za ovu seriju maksimalna frekvencija izbacivanja kapljica kroz mlaznice iznosi 7.6 kHz, 12.8 kHz i 23 kHz. Širina površine koju je moguće otisnuti u jednom prolazu tako iznosi 36.1 mm. Inkjet boje koja se koriste u ovim ispisnim glavama su na bazi ulja, otapala te UV sušecće boje. Unutar ove serije nalazi se i posebna ispisna glava koja koristi boju na bazi vode. Iako ona ima isti broj mlaznica, karakteristike ove ispisne glave bitno se razlikuju. Razlučivost je najmanja od svih ispisnih glava u ponudi Konice Minolte, i ona iznosi 180 dpi. Površina koja se može otisnuti u jednom prolazu ispisne glave iznosi 72 mm. Pritom veličina kapljice otisnuta maksimalnom brzinom uz frekvenciju kapanja od od 13.2 kHz iznosi 14 pl.

Seriju KM1024 čine dva modela ispisnih glavi. Oba modela sastoje se od 1024 mlaznice gustoće nizanja od 360 dpi. Sa njima je moguće reproducirati višetonski otisak sa 8 nijansi sive boje. Maksimalna širina površine koja se može otisnuti ovim ispisnim glavama je 72 mm sa frekvencijom kapanja od 12.8 i 32 kHz. Ovisno o modelu, veličina formiranih kapljica iznosi 6 pl i 14 pl. Ovim ispisnim glavama može se otiskivati na razne tiskovne podloge što je omogućeno korištenjem boje na bazi ulja, otapala i UV sušućih Inkjet boja.

Konica Minolta ispisne glave koriste se za širok raspon grafičkih proizvoda uključujući tisak na tekstil i tisak etiketa. Osim komercijalnog tiska, ove ispisne glave imaju veliku važnost i u industrijskom tisku. KM ispisnim glavama omogućeno je taloženje materijala kao što su LCD kolorni filteri i tiskani elektronski sklopovi [4, 21].

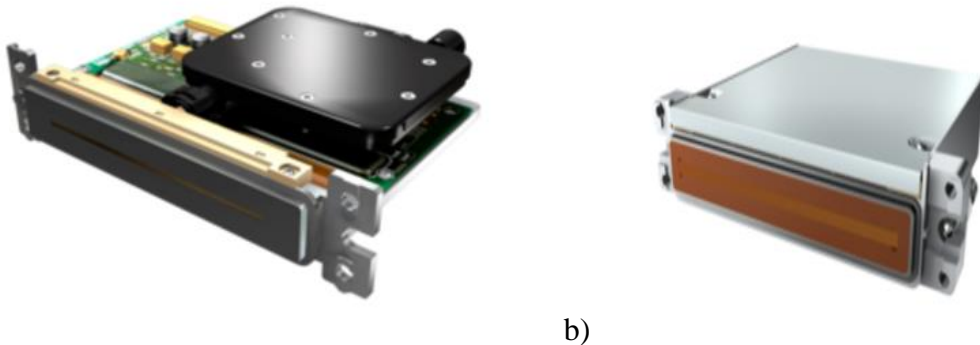


Slika 25. Ispisna glava Konica Minolta KM1024 (Izvor: <https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/1024/index.html>)

2.4.8.13. Ispisna glava Seiko II

Seiko je još jedna japanska korporacija koja proizvodi ispisne glave za piezo Inkjet. Na tržištu se mogu naći njihova dva modela visokoproduktivnih ispisnih glava. Seiko II JetT510 na vršnoj pločici ispisne glave postoje 510 mlaznica. Rezolucija takve jedne glave iznosi 180 dpi. Kapljica Inkjet boje izbačena kroz mlaznicu može postići frekvenciju kapanja od 6 kHz i 8 kHz. Volumen realizirane kapljice je velik, iznosi 35 pl, dok širina površine koja se može otisnuti iznosi 71,8 mm. Drugim riječima može se postići brzina otiskivanja od 29.4 m/min. Ovom ispisnom glavom moguće je realizirati i dvije nijanse sivih tonova.

U odnosu na model JetT512, Seiko model JetT 508GS ima manji broj mlaznica (508 mlaznica). Rezolucija je ista te ona iznosi 180 dpi. Volumen kapljica koje JetT 508GS može realizirati je varijabilan što neposredno utječe na broj nijansi sive boje u višetonskoj reprodukciji. Tako se 8 nijansi sivih tonova može reproducirati volumenima kapljica od: 12 pl, 24 pl, 36 pl, 48 pl, 60 pl, 72 pl i 84 pl. Frekvencija štrcanja boje kreće se u rasponu od 6 kHz do 40 kHz, čime se postižu produkcijske brzine od 29.4 m/min. Širina otisnute površine u jednom prolazu pritom iznosi 71.8 mm. Ove ispisne glave mogu raditi sa svim tipovima Inkjet boja (na bazi vode, ulja, otapala i UV sušeće boje). Ipak najčešće se primjenjuju u tisku velikih formata i to za „indoor“ aplikacije i tisak kodova na ambalažu [4].



Slika 26. Seiko ispisne glave a) JetT 510, b) JetT 508GS (Izvor: <http://www.seiko-instruments.de/products>)

2.4.8.14. Ispisna glava Samsung SemJet

Samsung kao jedan od divova u proizvodnji elektronike također proizvodi i piezoelektrične ispisne glave za Inkjet. Kako se radi o ispisnim glavama koje su namijenjene za industrijsku proizvodnju, njihova primjena je vrlo ograničena. Konstrukcija takvih ispisnih glava bazirana je na MEMS tehnologiji. Svaka ispisna glava sadržava 256 mlaznica. Za spajanje antikorozivnih pločica unutar poroznog sloja koriste se bakar, zlato i srebro. Dostupni modeli na tržištu mogu realizirati kapljice volumena: 1 pl, 5 pl, 30 pl i 80 pl. Kako ove ispisne glave koriste specijalne fluide (tekuće Inkjet boje) postoje varijante ispisnih glava sa posebnim spremnicima boje i grijačima. Tako se pri tisku vrši kontrola temperature tekućeg bojila kako se mlaznice ne bi začepile i kako ne bi došlo do neželjenog razlijevanja boje.

Ove ispisne glave primjenjuju se u industrijskoj proizvodnji, tj. koriste se za otiskivanje fotonaponskih vodiča solarnih ćelija, LCD/LED zaslona, mikro leća, E-papira, RFID čipova, elektroničkih sklopova i biomaterijala [4].



Slika 27. Samsung SemJet industrijska piezoelektrična ispisna glava: sa maskom (lijevo, bez maske (desno) (Izvor: <http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

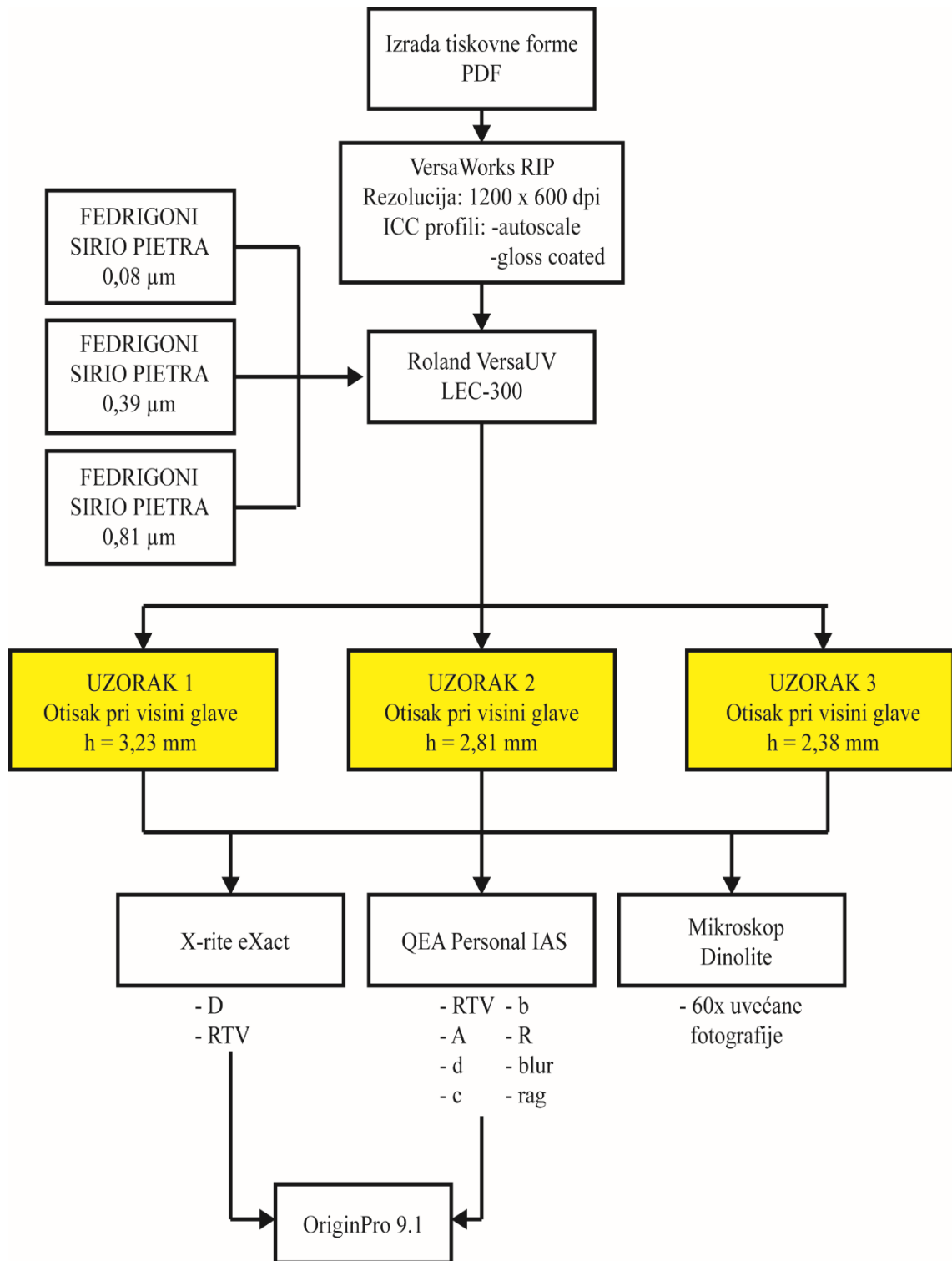
3.1. Metodologija rada

U ovom diplomskom radu primjenjene su denzitometrijske metode mjerenja i slikovna analiza UV Inkjet otisaka kako bi se istražio utjecaj distance između tiskovne podloge i ispisne glave na kvalitetu reprodukcije. Posebno pripremljena tiskovna forma za višetonsku reprodukciju u PDF formatu (RTV klin sa poljima od: 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 %, 96 %, 97%, 98 %, 99 %, 100 %, te pozitivske i negativske linije debljine 0,25 pt, 1 pt i 4 pt) prebačena je u RIP VersaWorks. Nastala rastrirana datoteka bila je rezolucije 1200 x 600 dpi uz primjenu ICC profila Euroscale Gloss Coated.

Rastrirana datoteka je tada otisnuta na Inkjet stroju Roland VersaUV LEC-300 koristeći CMYK UV Inkjet bojila ECO-UV 220-cc. Sušenje boja odvijalo se pomoću dvije UV LED lampe. Kako kod ovog modela nije moguće podešavati visinu ispisne glave, napravljena je simulacija distance koristeći tri istovrsne tiskovne podloge. Za podlogu su se koristili papiri Fedrigoni Sirio Pietra debljine 0,08 μm , 0,39 μm i 0,81 μm . Ovakvim načinom otiskivanja dobivena su tri uzorka pri različitim udaljenostima od ispisne glave do podloge, odnosno dobiveni su konačni otisnuti uzorki kod kojih je udaljenost od ispisne glave do podloge iznosila 3,12 mm (visina 1), 2,81 mm (visina 2) te 2,38 mm (visina 3). Samim time ostvaren je preduvjet da se odredi optimalna visina ispisne glave i LED UV izvora, kako bi se ostvarile pretpostavke otiskivanja na ne planparalelne površine (reljef do visine do 1 mm). Za utvrđivanje krivulje reprodukcije na uzorcima su izmjereni klinovi polja od 10% do 100% RTV, u koraku po 10% kako bi se utvrdili prirasti u obojenju sivih tonova. Dodatnom slikovnom analizom određena su odstupanja reproduciranih elemenata za 3 karakteristične površine (rasterska polja od 1 %, 3 % i 5 % RTV-a).

Cjelokupna reprodukcija otiska crne boje na svim uzorcima mjerena je denzitometrom i spektrofotometrom X-rite eXact. Postavke kolorimetrijskih mjerenja bila su: uvjet mjerenja M1, standardni promatrač 2°, density status E, papir absolute.

Kako bi se napravila dodatna slikovna analiza koristio se uređaj za slikovnu analizu QEA PersonalIAS. Pri mjerenju s ovim uređajem koristio se density standard DIN. Tako su na uzorcima izmjerene pozitivske, negativske i crne linije na žutoj podlozi u debljinama od 0,25 pt, 1 pt i 4 pt. Linije i rasterska polja su na svim uzorcima fotografirani sa uvećanjem od 60 puta što je ostvareno digitalnim mikroskopom Dinolite. Za obradu svih rezultata i izradu dijagrama korišten je program OriginPro. Pritom su nastali sljedeći dijagrami: denzitometrijske krivulje reprodukcije crne boje za udaljenosti ispisne glave od $h = 3,23$ mm, $h = 2,81$ mm i $h = 2,38$ mm, krivulje pokrivenosti površine od 1 %, 3 % i 5 %, prosječni promjer rasterskih točkica, cirkularnost rasterskih točkica te distribucija rasterskih točkica crne separacije. Uz ove dijagrame napravljeni su i dijagrami vezani uz mjerenja pozitivskih, negativskih i crnih linija na kontrastnoj žutoj podlozi. Dijagrami vezani uz analizu linija bili su: dijagram širine otisnute linije, dijagram linija zamršenja i linija nazubljenosti te krivulje reflektancije za pozitivske, negativske i crne linije na žutoj podlozi (debljina 0,25 pt, 1 pt i 4 pt). Na slici 28. prikazana je sva kronologija izvršenog eksperimenta.



Slika 28. Shematski prikaz izvršenog eksperimenta

3.2. Korišteni strojevi, materijali i mjerni uređaji

3.2.1. Roland VersaUV LEC-300

Uzorci obrađeni u eksperimentalnom istraživanju otisnuti su na suvremenom Inkjet pisaču Roland VersaUV LEC-300 koji je prikazan na slici 2. Ovaj model je jedan od prvih komercijalnih Inkjet pisača koji imaju i mogućnost istovremenog konturnog rezanja i otiskivanja. Svestranost ovog pisača vidljiva je po tome što nam uz ispis i izrezivanje, nudi i tisak bijele i laka na razne podloge kao što su papir, kartoni i folije.



Slika 29. Roland VersaUV LEC-300 (Izvor:

<http://www.uscutter.com/common/images/products/large/Roland-VersaUV-LEC-300.jpg>)

Medij na koji se tiska mogu biti u obliku arka ili role. Pisač je u potpunosti automatiziran čime je rukovanje znatno olakšano. Kako bi se datoteke pripremile za ispis, uz Roland VersaUV LEC-300 dolazi u paketu i program za rastriranje VersaWorks. Boja koja se koristi je ECO-UV 220-cc. Osim 4 procesne boje (cyan, magenta, žuta, crna) za reprodukciju su dostupne još 2 boje od kojih je jedna bijela, a druga je lak. Time je omogućena reprodukcija visoko estetskih proizvoda. Osim klasičnog ispisa moguć je i dotisak što nam omogućuje odvojeni spremnik boje sa lakom. Lakiranje koje se izvršava može biti u mat i sjajnom obliku. Maksimalna površina koju je moguće otisnuti je 182 x 762 mm što uvjetuje iznimnu produktivnost kod reprodukcije manjih naklada ili više individualnih proizvoda u limitiranoj seriji. Kako Roland VersaUV LEC-300 uz

ispisivanje može i rezati po konturama pogodan je za otiskivanje ambalaže i etiketa u manjim serijama. Debljina materijala na koju se može otiskivati je maksimalno 1 mm. Osim za reprodukcije u digitalnom inkjetu Roland VersaUV LEC-300 moguće je koristiti i za probno otiskivanje te razne simulacije u kombinaciji sa konvencionalnim tehnikama tiska [22].

Tablica 1. Tehničke specifikacije pisača Roland VersaUV LEV-300 [1]

Vrsta otiskivanja	Piezo inkjet + izrezivanje
veličina podloge	Max. 182x762 mm
debljina podloge	Max. 1 mm
promjer role	Max 180 mm
Težina role	Max 20 kg
Vrsta boje	Roland ECO-UV 220-cc
Broj boja	Cyan, Magenta , Žuta, Crna; Bijela + Lak
Kapacitet boje	220 ml
Sušenje boje	UV-LED lampe
Rezolucija	1440x820 dpi
Brzina otiskivanja	Do 9,30 m ² /s
Brzina rezanja	Do 600 mm/s

3.2.2. Spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact

Za mjerenje reprodukcije crne boje korišten je spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact (slika 3). Rukovanje ovim uređajem je vrlo jednostavno. Kako se radi o ručnom spektrofotometru koji je u potpunosti prenosiv, mjerenje uzoraka je vrlo brzo i precizno. Za mjerenje otisnutih uzoraka dovoljno je manje od 1 sekunde, a rezultat mjerenja je odmah prikazan na zaslonu uređaja. Osim prikaza i spremanja rezultata mjerenja na uređaj, moguće je i povezivanje sa računalom. Nakon povezivanja sa računalom

spektrofotometar automatski prebacuje izračunate vrijednosti mjerenja na računalo koristeći program eXact Manager. Za mjerenje su nam dostupni izvori svjetla tipa A (plinom punjeni volfram) te UV LED izvor uz uvjete mjerenja M0 (nepolarizirano, bez filtera, uključen UV), M1 mjerenje uz svjetlo (D50), M2 (sa filterom koji isključuje UV), odnosno M3 (polarizirajući filter) [23].



Slika 30. Spektrofotometar i denzitometar X-rite eXact (Izvor: <http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>)

Tablica 2. Tehničke specifikacije spektrofotometra i denzitometra X-rite eXact

Raspon valnih duljina	Optička Razlučivost	Geometrija mjerenja	Standardni promatrač	Raspon mjerenja	Mjerena površina	Brzina mjerenja	Standard
400-700 nm	10 nm	45°/0°	2°/10°	0-200%	Ø1.5, Ø 2, Ø4, Ø6	>1 s	ISO 13655-2009

3.2.3. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS

Za detaljniju analizu uzoraka koristio se uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS (slika 4.). Uređaj je prenosiv i u potpunosti nezavisan. Ugrađeni operativni sustav, brze performanse i punjiva baterija omogućuju nesmetan rad bilo gdje. Uz uređaj dolazi posebna olovka kako bi se moglo upravljati raznim operacijama i mjerenjima preko zaslona na dodir. Ovaj mjerni instrument je dimenzija džepnog računala te ima vlastiti izvor svjetla te digitalni mikroskop kako bi slikovna analiza bila što preciznija. Iako mu je namjena usmjerena analizi Inkjet otisaka, može se koristiti i za ispitivanje kvalitete ofsetnih otisaka i tiskovnih formi. Značajke ovog mjernog instrumenta mogu se podijeliti u 6 odvojenih jedinica.

Pri tome vrste mjerenja koje se mogu provoditi su analiza: kvalitete točke, kvalitete linije (ISO-13660), kvaliteta površine (ISO-13660), reprodukcija tona, analiza deformacija slike i kvalitete reprodukcije teksta.



Slika 31. Uređaj za slikovnu analizu QEA Personal IAS (Izvor: http://mail.qea.com/upload/photos/products/1158672685225189_big.jpg)

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

Koristeći precizne senzore i izračun rezultata koji zadovoljava standarde kvalitete, za ispitivanje kvalitete površine može se izmjeriti reflektancija, vizualna i kolorimetrijska gustoća obojenja (tip T, tip A, DIN), kolorno obojenje (HSI, $L^*a^*b^*$) odnosno ravnomjernost otiska kao što su zrnatost te „mottling“ [24, 25].

Tablica 3. Tehnilke specifikacije uređaja za slikovnu analizu Personal IAS

Detektor	Optička Razlučivost	Geometrija mjerenja	Minimalna veličina točke	Mjerena površina	Brzina mjerenja	Standard
CCD	5 $\mu\text{m}/\text{pixel}$	45°/0°	10 μm Promjer	2.4x2.4 mm	6 s	ISO 13660

3.2.4. Digitalni mikroskop Dino-lite

Kako bi se dobile uvećane fotografije uzoraka koristi se prijenosni digitalni mikroskop Dino-lite. Ovim malim ručnim mikroskopom moguće je prikazati uvećanje slike i do 260 puta. Sam uređaj radi tako da se mora povezati sa računalom. Za upravljanje i rad koristi se program Dino Capture koji dolazi uz ovaj mikroskop. Osim uvećanja moguće je i uslikati površinu koja se promatra, čime se ona prikazuje preko cijelog zaslona računala. Ovisno o tipu uzorka, uzorak se može promatrati sa uključenim svjetlom (LED). Sam mikroskop se nalazi u aluminijskom kućištu te ima kameru visoke rezolucije od 5 megapixelsa [26, 27].



Slika 32. Digitalni mikroskop Dino-lite (Izvor: http://www.dinolite.com.au/wp-content/uploads/2013/10/microscope_411t_1.jpg)

Tablica 4. Tehničke specifikacije digitalnog mikroskopa Dino-lite

Tip svjetla	Povećanje	Senzor	Rezolucija	Razlučivost kamere	Dimenzije uređaja (w * h)
Bijelo LED svjetlo	10X, 50X, 220X	CMOS	1280 * 1024 piksela	1,3 megapiksela	105 * 32 mm

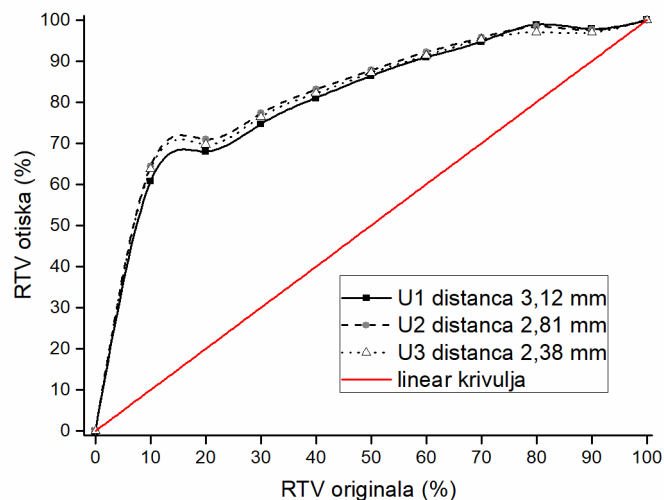
3.2.5. Papir Fedrigoni Sirio Pietra

Za potrebe otiskivanja koristio se nepremazani papir Fedrigoni Sirio Pietra veličine 70 x 100 cm. Otisnuta su tri uzorka na gramaturama papira od 80 g/m², 170 g/m² i 290g/m². Radi se o potpuno biorazgradivom proizvodu. Fedrigoni Sirio Pietra idealan je za ambalažu, grafičke materijale, omote, insertacije i brošure visoke kvalitete. Zbog svoje makro porozne površine preporuča se korištenje boja koje suše oksidacijom. Ovaj papir koristi se u ofsetnom tisku, visokom tisku, slijepom tisku, foliotisku, termografiji, sito tisku i digitalnom tisku [28].

3.3. Diskusija i rezultati

3.3.1. Analiza rasterske reprodukcije

Da bi se u tehnologiji otiskivanja formirala višetonska slika tijekom procesa RIP-anja ona će se morati transformirati u polutonsku sliku. Takva slika građena je od niza pojedinačnih rasterskih elemenata čija koncentracija daje različitu tonsku vrijednost. Kvalitetu crno bijelih otisaka nastalih u digitalnom tisku odnosno inkjet tehnici tiska moguće je prikazati u obliku krivulje reprodukcije. Pritom se promatra kako se rastertonska vrijednost originala reproducira na papiru. Utjecaj visine ispisne glave na realizaciju krivulje reprodukcije prikazana je na slici 33.

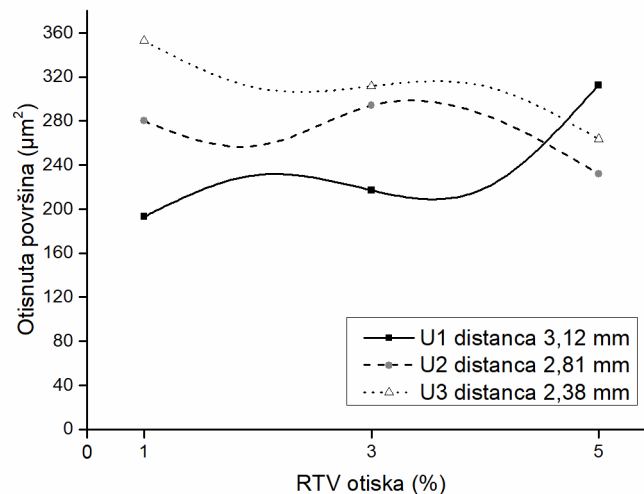


Slika 33. Krivulja reprodukcije crno bijelih otisaka nastalih varijacijom visine ispisne glave Inkjet printera

Za sve krivulje crne reprodukcije vrijedi da bez obzira na distancu ispisne glave svijetle tonske vrijednosti (od 10 do 20% RTV) ostvaruju najveći rastertonski prirasti. Povećanjem rastertonske vrijednosti dolazi do stabilizacije krivulja, te reprodukcije tonova lagano opadaju. Općenito crne krivulje ostvaruju ekstremno velik prirast rastertonske vrijednosti što je razlog primjene nepremazanog žutog papira i neizvršene linearizacije stroja (nije napravljena kompenzacijska krivulja za primijenjenu tiskovnu podlogu). Bez obzira na to, varijacija u visini ispisne glave vidljiva je na otiscima. Posebno je to izraženo u svijetlim područjima slika. Tako će visinska razlika od $h_1=0,31$ mm ostvariti razliku u prirastu od $\Delta Z_{10\% - 30\%} = 27,51\%$. Povećanjem površinske

pokrivenosti doći će do smanjenja prirasta rastertonske vrijednosti koja će kod 70% RTV-a za sve krivulje iznositi $\Delta Z_{70\%}=0,92\%$. Kod tamnih tonskih područja ponovno dolazi do promjene u kretanju krivulja. Samim time maksimalno povećanje glave imati će utjecaj samo pri realizaciji tamnih, crnih površina. Najveće odstupanje ostvareno je između uzorka U1 i U3 koje iznosi $\Delta Z_{80\%}=1,82\%$.

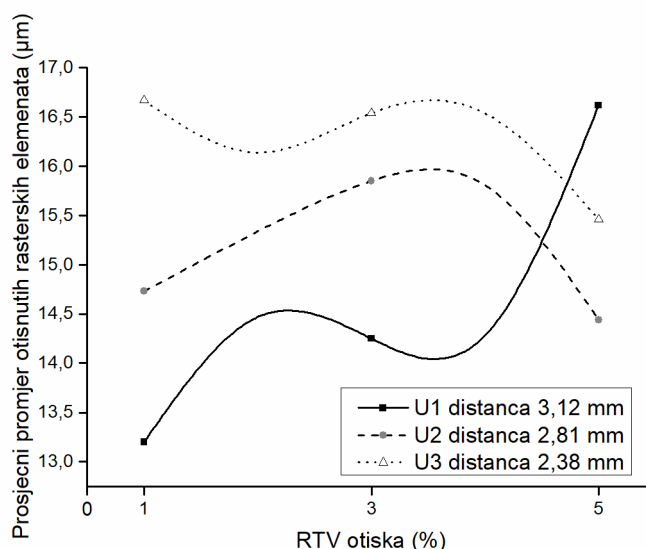
Podrobnija analiza utjecaja visine ispisne glave na realizaciju RTV-a napravljena je na područjima od 1%, 3% i 5% RTV. Pritom je analizirana ukupno otisnuta površina (A), prosječni promjer rasterskih točkica (d) i cirkularnost rasterskih točkica (C). Na slici broj 34. prikazan je dijagram prosječne pokrivenosti otisnute površine crne boje.



Slika 34. Prosječna pokrivenost površine crne boje nastale varijacijom visine ispisne glave Inkjet printera

Na površini od 1% RTV najveći broj rasterskih elemenata, a time i površina ostvarit će se pri najmanjoj distanci koja iznosi $h_3=2,38$ mm ($A_{U3}=352,7$ μm^2), dok će se najmanji broj elemenata formirati pri najvećoj distanci $h_1=3,12$ mm ($A_{U1}=193,19$ μm^2). To znači da se promjenom visine ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,74$ mm ostvaruje razlika u otisnutoj površini od $\Delta A_{1\%}=159,51$ μm^2 . Povećanjem rastertonske vrijednosti (3% RTV) ta razlika se smanjuje pri čemu ona iznosi $\Delta A_{3\%}=94,42$ μm^2 . Kod najtamnijeg svijetlog područja (5% RTV) ostvaruje se inverzija gdje će najveću otisnutu površinu imati uzorak U1 sa maksimalnom visinom ispisne glave od $A_{5\%}=312,73$ μm^2 . Najmanju otisnutu površinu $A_{5\%}=231,91$ μm^2 ostvaruje srednja distanca (U2) formirajući tako ukupnu

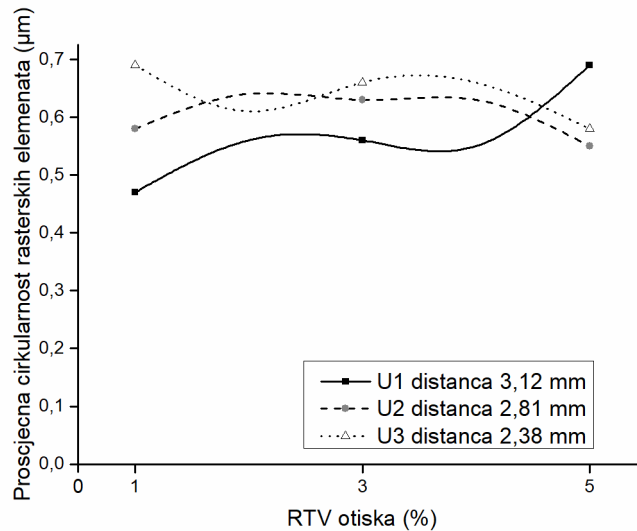
devijaciju koja iznosi $\Delta A_{5\%}=80,82 \mu\text{m}^2$. To znači da većina rasterskih elemenata koji su trebali biti realizirani na površini od 1% završavaju na području od 3% (gube se tijekom kapanja).



Slika 35. Prosječni promjer otisnutih rasterskih elemenata nastalih varijacijom visine ispisne glave Inkjet printera

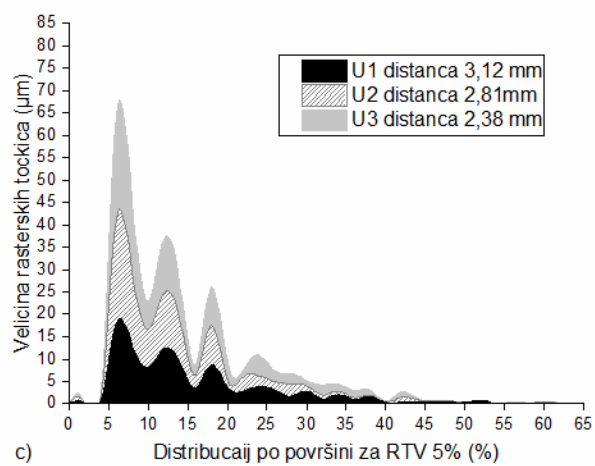
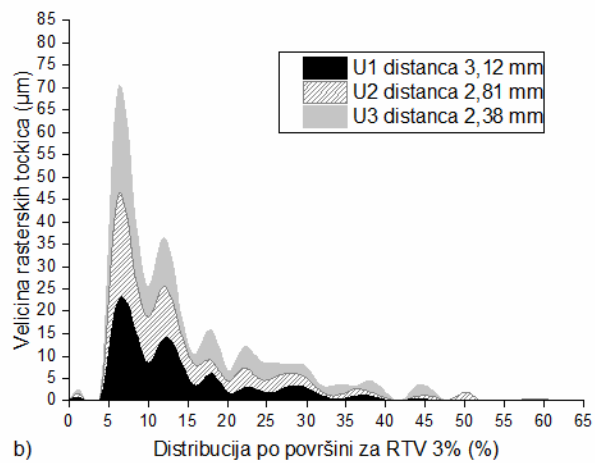
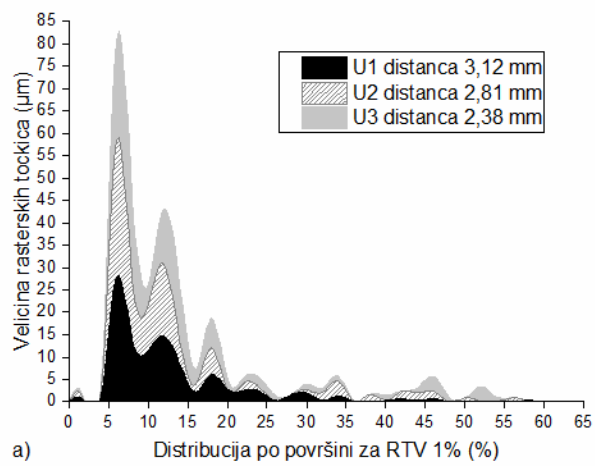
Kod detaljnijeg ispitivanja prosječne pokrivenosti površine crne boje, potrebno je analizirati ostvaren promjer rasterskih točaka (slika 35.). Na površini vrlo niske rastertonske vrijednosti (1% RTV) najmanji promjer rasterske točkice ostvaruje se na uzorku U₁ te ona iznosi $d_{1\%} = 13,2 \mu\text{m}$. Pritom je udaljenost od ispisne glave do tiskovne podloge bila $h_1=3,12 \text{ mm}$. Najveći promjer tiskovnih elemenata ostvaruje se reprodukcijom uzorka U₃ odnosno najmanjom distancom ispisne glave od tiskovne podloge $h_3=2,38 \text{ mm}$. Pritom ta veličina iznosi $d_{1\%}=16,67 \mu\text{m}$. To znači da se promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ direktno utječe na veličinu reproduciranih tiskovnih elemenata, tj. povećanje za 2% RTV iznosi $\Delta d_{1\%-3\%}=3,47 \mu\text{m}$. Dakle, povećanjem rastertonske vrijednosti (3% RTV) ta se razlika smanjuje i ona iznosi $\Delta d_{3\%} = 2,29 \mu\text{m}$. Kod najtamnijeg svijetlog područja (5% RTV) ostvaruje se inverzija rezultata kod koje će najveći promjer tiskovnog elementa imati uzorak U₁. Tako će najveća visina ispisne glave dati promjer od $d_{5\%}=16,62 \mu\text{m}$. Najmanji promjer rasterskog elementa ostvaruje uzorak U₂ sa srednjom distancom ($h_2=2,81 \text{ mm}$). Ostvareni promjer iznosi $d_{5\%}=14,44 \mu\text{m}$ i ostvaruje ukupnu razliku koja iznosi $\Delta d_{5\%}=2,18 \mu\text{m}$.

Za provođenje još detaljnije analize reprodukcije, napravljena je ekspertiza cirkularnosti tiskovnih elemenata. Ona je prikazana na slici 36. Savršeno okrugla točka tako će imati vrijednost $C=1$, dok geometrijski manje savršeni oblici imaju vrijednost cirkularnosti manju od 1. To znači da što je vrijednost cirkularnosti bliža 0 okruglost je manja (točke su eliptičnije)



Slika 36. Prosječna cirkularnost rasterskih elemenata nastalih varijacijom ispisne glave Inkjet printera

Na površini najmanje pokrivenosti (1% RTV) najmanja cirkularnost ostvarena je najvećom distancom ($h_1=3,12$ mm) te ona iznosi $C_{1\%}=0,47\mu\text{m}$. Najveću cirkularnost (najbliža krugu) ostvaruje najmanja distanca ($h_3=2,38$ mm) te iznosi $C_{1\%}=0,69\mu\text{m}$. To znači da se povećanjem puta kapljice boje (ostvareno promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm) koja direktno utječe na oblik same kapljice. Time je ostvarena razlika od $\Delta C_{1\%}=0,22\mu\text{m}$. Povećanjem pokrivenosti (3% RTV) reprodukcije sa najvećom distancom glave ostvariti će povećanje cirkularnosti i ona iznosi $C_{3\%}=0,56\mu\text{m}$. To ukazuje na smanjenje okruglosti za $\Delta C_{3\%}=0,10\mu\text{m}$. Kod najtamnijeg svijetlog područja (5% RTV) dolazi također do inverzije rezultata te najveću cirkularnost daje najveća distanca $C_{5\%}=0,69\mu\text{m}$. Cirkularnost reproducirana najmanjom distancom ($h_3=2,38$ mm) ostvaruje iznosi $C_{5\%}=0,55\mu\text{m}$ ostvarujući, što u odnosu na izvršeni eksperiment tvori razliku od $\Delta C_{5\%}=0,14\mu\text{m}$.



Slika 37. Distribucija rasterskih elemenata po površini pokrivenosti nastalih varijacijom ispisne glave Inkjet printera za a) 1% RTV, b) 3% RTV, c) 5% RTV

Provedbom ispitivanja distribucije tiskovnih elemenata po površini, što je prikazano na (slika 37.), obuhvaćeni su svi koraci u detaljnoj analizi rasterskog elementa u inkjet tehnici otiskivanja.

Na slici 37.a) prikazana je distribucija tiskovnih elemenata na površini najmanje pokrivenosti (1% RTV). Jedan dio tiskovnih elemenata koji su se reproducirali na papiru su i nusprodukti, tj. nastali su nekontroliranim prskanjem boje (sateliti). Oni čine zanemarivu distribuciju od 0 do 2%. Najveći tiskovni elementi postižu se reprodukcijom primjenjujući najmanju distancu ($h_3=2,38$ mm) koji iznose $d_{6\%}=80,55$ μm i to čini 6% reproduciranih tiskovnih elemenata. Povećanjem udaljenosti ispisne glave od podloge maksimalna veličina tiskovnih elemenata koju možemo reproducirati opada svakim dodatnim pomakom glave. Tako su najveći tiskovni elementi reproducirani srednjom distancom ($h_2=2,81$ mm) te iznose $d_{6\%}=58,33$ μm , dok se najmanjom distancom ostvaruju elementi promjera $d_{6\%}=27,82$ μm . Pomakom ispisne glave za samo $\Delta h=0,43$ mm dobivamo razliku u veličini elemenata od $\Delta d_{6\%}=22,22$ μm . Daljnjim dodatnim pomakom ispisne glave od $\Delta h=0,31$ mm (razlika između srednje i najveće distance) razlika se i dalje povećava te iznosi $\Delta d_{6\%}=30,51$ μm . Tako će ukupna devijacija iznositi $\Delta d_{6\%}=52,73$ μm .

Distribucija veličine rasterskih elemenata na površini pokrivenosti od 3% RTV prikazana je na slici 37.b). Sateliti kao nusprodukt u tisku su prisutni također u 2% reprodukcije. Najveći broj tiskovnih elemenata ostvaruje se korištenjem ispisne glave sa najmanjom distancom ($h_3=2,38$ mm) pri čemu promjeri točkice iznose $d_{6\%}=66,9$ μm što čini 6% reprodukcije.

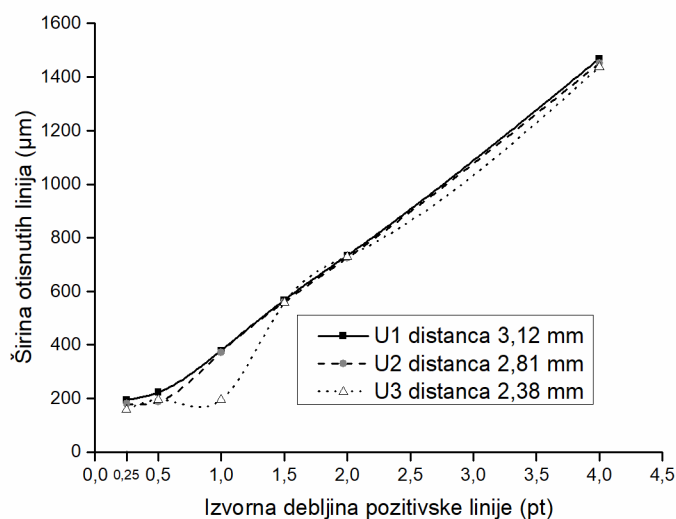
Povećanjem udaljenosti od ispisne glave do podloge maksimalna veličina tiskovnih elemenata koju možemo reproducirati pada svakim dodatnim pomakom glave. Korištenjem srednje distance ($h_2=2,81$ mm) najveći promjer tiskovnih elemenata koji se reproducira iznosi $d_{6\%}=44,06$ μm . Pomicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm nastaje razlika u veličini tiskovnih elemenata od $\Delta d_{6\%}=22,84$ μm . Kod reprodukcije sa najvećom distancom ($h_1=3,12$ mm) ostvarivi su najveći promjeri tiskovnih elemenata na otisku te oni iznose $d_{6\%}=21,17$ μm . Pritom razlika nastala direktnim pomicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm iznosi $\Delta d_{6\%}=22,89$ μm . Ukupna devijacija ostvarena između veličina promjera tiskovnih elemenata otisnutih sa najvećom i najmanjom distancom je velika i iznosi $\Delta d_{6\%}=45,73$ μm .

Slika 37.c) prikazuje distribuciju rasterskih elemenata na najtamnijoj svijetloj površini (5 % RTV). Zamrljanost i nečistoće u obliku satelita su također prisutne u 2 % reprodukcije. Najmanja udaljenost od ispisne glave do podloge ($h_3=2,38$ mm) postiže tiskovne elemente maksimalne veličine promjera od $d_{6\%}=64,54$ μm .

Povećanjem udaljenosti od ispisne glave do podloge, maksimalna veličina promjera tiskovnih elemenata koju možemo reproducirati opada. Tako najveće ostvarivi promjeri tiskovnih elemenata reproducirani srednjom distancom ($h_2=2,81$ mm) iznose $d_{6\%}=41,38$ μm , dok najmanja distanca ostvaruje maksimalne promjere elemenata od $d_{6\%}=18,18$ μm . Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm omogućuje razliku u veličini promjera elemenata od $\Delta d_{6\%}=23,16$ μm . Dodatnim pomakom ispisne glave od $\Delta h=0,31$ mm (razlika između srednje i najveće distance) iznosi $\Delta d_{6\%}=23,20$ μm . Samim time na kraju ukupna devijacija rastriranih točkica iznosi $\Delta d_{6\%}=46,36$ μm .

3.3.2. Analiza otisnutih linija

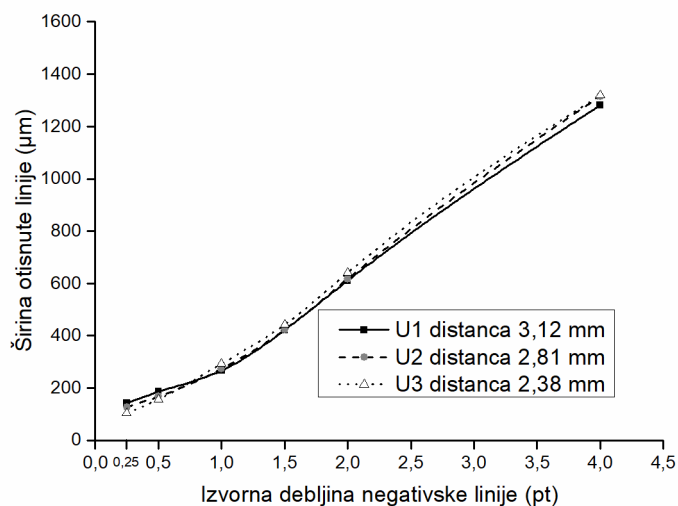
Osim višetonskih slika tijekom otiskivanja se često realiziraju tekst i jednotonske ilustracije. Pritom je potrebna analiza kvalitete reprodukcije linija. U ovom poglavlju napravljena je detaljna analiza reprodukcije crnih linija u pozitivu, crnih linija u negativu i crnih linija otisnutih na kontrastnoj žutoj podlozi. Utjecaj visine ispisne glave na reprodukciju pozitivne linije može se opisati linearnom funkcijom. To isto vrijedi za linijski uzorak u negativu i linijski uzorak otisnut na kontrastnoj žutoj površini.



Slika 38. Reprodukcija crnih linija u pozitivu nastalih varijacijom ispisne glave Inkjet printera

Kod pozitivske linije od 0,25 (slika 38.) uočava se odstupanje širine linije od $\Delta b_{0,25pt} = 33,58 \mu\text{m}$. Pritom je najtanja širina linije otisnuta pri distanci glave od $h_3 = 2,38 \text{ mm}$ ($b_{0,25pr} = 158,6 \mu\text{m}$), a najveća pri distanci $h_1 = 3,12 \text{ mm}$ ($b_{25pt} = 194,18 \mu\text{m}$). Povećanjem debljine linije za 100 % (0,5 pt) neće se ostvariti očekivano povećanje pozitivske linije. Tako će debljina linije otisnuta najvećom distancom ispisne glave od podloge ($h_1 = 3,12 \text{ mm}$) iznositi $b_{0,5pt} = 222,36 \mu\text{m}$ (najdeblja linija), dok je najtanja linija otisnuta najmanjom distancom udaljenom od podloge za $h_3 = 2,38 \text{ mm}$ ($b_{0,5pt} = 195,25 \mu\text{m}$).

Najveće devijacije u širini ostvaruju se pri realizaciji linije od 1 pt. Pritom će najmanja distanca od $h_3 = 2,38 \text{ mm}$ ostvariti širinu od $b_{1pt} = 195,25 \mu\text{m}$, dok će najveća distanca od $h_1 = 3,12 \text{ mm}$ ostvariti širinu linije od $b_{1pt} = 379,41 \mu\text{m}$. To znači da eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave od $\Delta h = 0,74 \text{ mm}$ dobivamo razliku $\Delta b_{1pt} = 184,16 \mu\text{m}$. Ukupno povećanje svih reproduciranih linija (od najtanje do najdeblje) će za najmanju distancu iznositi $\Delta b_{0,25-4pt} = 1270,09 \mu\text{m}$, dok će za najveću distancu iznositi $\Delta b_{0,25-4pt} = 1274,71 \mu\text{m}$.

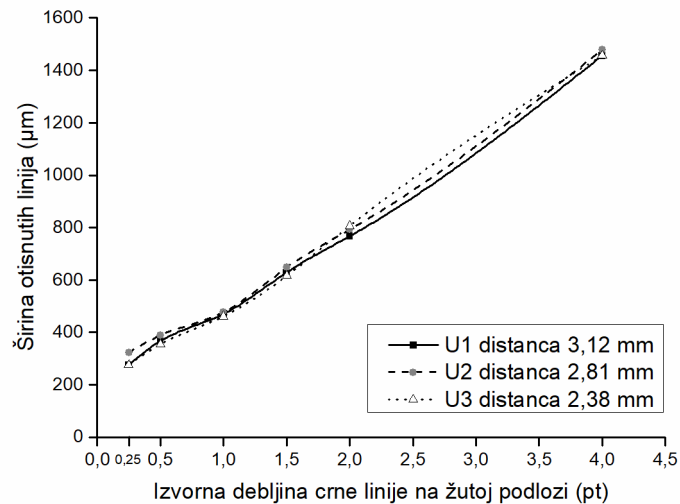


Slika 39. Reprodukcijska crnih linija u negativu nastalih varijacijom ispisne glave Inkjet printera

Kod reprodukcije crne linije od 0,25 pt u negativu (slika 39.) uočava se odstupanje od $\Delta b_{0,25pt} = 38,82 \mu\text{m}$. Pritom je najtanja linija otisnuta na uzorku U_3 kod kojeg je udaljenost između ispisne glave i podloge bila $h_3 = 2,38 \text{ mm}$. Ostvarena širina linije pritom iznosi $b_{0,25pt} = 103,69 \mu\text{m}$. Pri najvećoj distanci ($h_1 = 3,12 \text{ mm}$) ostvarena je najdeblja širina linije od $b_{0,25pt} = 142,51 \mu\text{m}$. Povećanjem debljine linije za 2x (0,5 pt) neće se ostvariti veće povećanje pozitivne linije. Debljina linije realizirana najmanjom distancom iznosi $b_{0,5pt} = 156,72 \mu\text{m}$, dok debljina linije otisnuta najvećom distancom iznosi $b_{0,5pt} = 185,88 \mu\text{m}$. Odstupanje između linija debljine 0,25 pt i debljine 0,5 pt je minimalno, pri čemu za najveću i najmanju distancu ono iznosi $\Delta b_{0,5pt} = 29,16 \mu\text{m}$ (debljina linije 0,5 pt). Do inverzije rezultata dolazi kod reprodukcije linije debljine 1 pt. Otisak realiziran najmanjom udaljenosti ($h_3 = 2,38 \text{ mm}$) ostvaruje najdeblju reproduciranu liniju koja iznosi $b_{1pt} = 292,97 \mu\text{m}$, dok najtanju liniju daje najveća udaljenost od ispisne glave do podloge ($h_1 = 3,12 \text{ mm}$) što iznosi $b_{1pt} = 266,80 \mu\text{m}$. Tako je ukupna ostvarena devijacija za debljinu linije od 1 pt iznosila $\Delta b_{1pt} = 26,17 \mu\text{m}$.

Bez obzira na visinu ispisne glave, sve reproducirane linije veće od 1 pt ostvaruju stabilan rast koji je ujednačen sve do debljine linije od 4 pt. Ukupan iznos devijacije za najdeblje linije (4 pt) iznosi $\Delta b_{4pt} = 38,05 \mu\text{m}$ pri čemu najmanja distanca ostvaruje debljinu linije od $b_{4pt} = 1318,71 \mu\text{m}$, a najveća distanca ostvaruje debljinu linije od $b_{4pt} = 1280,66 \mu\text{m}$.

Ukupno povećanje debljine svih linija (od najtanje do najdeblje) za najmanju distancu iznosi $\Delta b_{0,25-4pt}=1215,02 \mu\text{m}$, dok za najveću distancu to iznosi $\Delta b_{0,25-4pt}=1138,15 \mu\text{m}$. Za obične grafičke poslove to nije relevantno. Međutim, za grafičke poslove u kojima se otiskuju skalirani proizvodi (zemljopisne karte, atlasi, mjerne skale, displeji) to je izuzetno važno i nedopustivo.

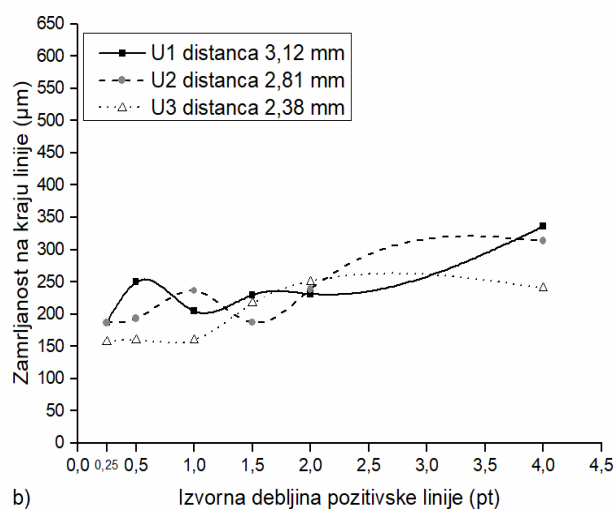
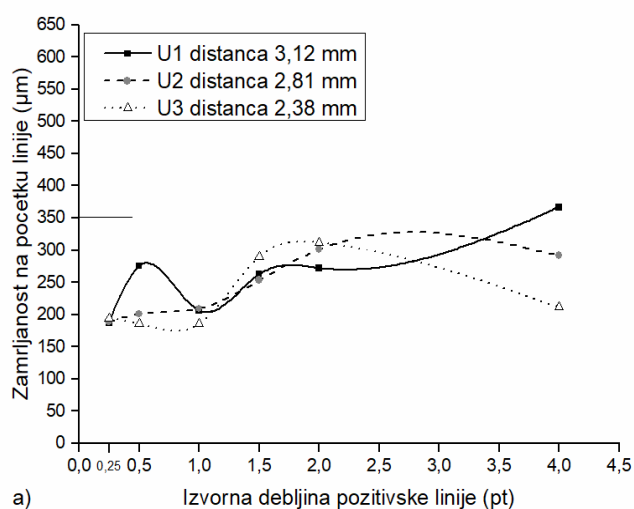


Slika 40. Reprodukcijska crnih linija na kontrastnoj žutoj podlozi nastalih varijacijom ispisne glave Inkjet printera

Na slici 40. prikazana je reprodukcija crnih linija na kontrastnoj žutoj podlozi. Bez obzira na visinu ispisne glave kod realizacije najtanjih linija (0,25 pt) debljina otisnutih linija je znatno veća nego kod reprodukcije crnih linija u pozitivu odnosno crnih linija u negativu. Pri tomu ona iznosi $b_{0,25pt}=275,54 \mu\text{m}$ (za najmanju distancu $h_3=2,38 \text{ mm}$). Srednja distanca ($h_2=2,81 \text{ mm}$) otiskivanjem realizira liniju debljine $b_{0,25pt}=321,91 \mu\text{m}$. Time je za reprodukciju najtanjih linija devijacija između srednje i najmanje pozicije glave $\Delta b_{0,25pt}=46,37 \mu\text{m}$. Povećanjem debljine linije za 100 % (0,5 pt) neće se osjetiti povećanje crnih otisnutih linija na žutoj podlozi. Debljina linije otisnuta srednjom distancom ispisne glave ($h_2=2,81 \text{ mm}$) iznosi $b_{0,5pt}=389,22 \mu\text{m}$ (najdeblja linija), dok je najtanja linija ($b_{0,5pt}=354,41 \mu\text{m}$) otisnuta najmanjom distancom udaljenom od podloge za $h_3=2,38 \text{ mm}$ ($b_{0,5pt}=354,41 \mu\text{m}$). Kod otisnutih linija debljine 1 pt devijacije za sve linije su najmanje ($\Delta b_{1pt}=9,2 \mu\text{m}$). Srednja distanca glave ($h_2=2,81 \text{ mm}$) tako ostvaruje debljinu linije od $b_{1pt}=470,43 \mu\text{m}$, dok je najmanja distanca glave ostvarila debljinu od $b_{1pt}=461,23 \mu\text{m}$.

Povećanjem linije za 100% (2 pt) dolazi do znatnije promjene u reprodukciji linija. Pritom najmanja distanca ($h_3=2,31$ mm) realizira debljinu linije od $b_{2pt}=806,01$ μm . Najvećom distancom reproducira se linija debljine $b_{2pt}=766,53$ μm , čime se ostvaruje ukupna devijacija između najveće i najmanje distance od $\Delta b_{2pt}=99,48$ μm . Kod najdebljih linija (4 pt) ponovno dolazi do promjene u rezultatima pri čemu se sa srednjom distancom reproducira najdeblja linija $b_{4pt}=1478,29$ μm , dok je debljina linije pri najmanjoj distanci ostvarila debljinu $b_{4pt}=1455,69\mu\text{m}$. Samim time ostvarila se razliku od $\Delta b_{4pt}=22,6$ μm . Ukupna devijacija svih debljina linija (od najtanje do najdeblje) za najmanju distancu iznositi će $\Delta b_{0,25-4pt}=1180,15$ μm , dok će za srednju distancu glave iznositi $\Delta b_{0,25-4pt}=1156,38$ μm .

Detaljnija analiza linija podrazumijeva i praćenje zamrljanosti rubnih dijelova linija. Pri ispitivanju zamrljanosti proučavaju se dva parametra. To su: zamrljanost na početku i zamrljanost na kraju linije. Što znači da svaka linija ima svoju zamrljanost koja je karakteristična za tiskarski proces linije. Kada govorimo o zamrljanosti na početku linije ona se nalazi na gornjem rubu linije (ukoliko je linija vodoravna) odnosno na lijevom rubu linije (ukoliko je linija vertikalna). Slika 14. prikazuje krivulje zamrljanosti za crno otisnutu liniju u pozitivu.



Slika 41. Krivulje zamrljanosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera a) na početku crne linije u pozitivnu, b) na kraju crne linije u pozitivu

Početna zamrljanost kod najtanje linije (0,25 pt) nije zamijećena. Sve 3 visine ispisnih glava ostvaruju identičnu zamrljanost $b_{Z,0,25pt}=187,19 \mu\text{m}$. Povećanjem linije za 100% dolazi do devijacije koja iznosi $\Delta b_{Z,0,5pt}=89,93 \mu\text{m}$. Pritom će najveću zamrljanost imati uzorak U₁ (otisnut najvećom distancom $h_1=3,12 \text{ mm}$) koja iznosi $b_{Z,0,5pt}=275,54 \mu\text{m}$, dok će uzorak U₃ (realiziran najmanjom distancom $h_3=2,38 \text{ mm}$) ostvariti zamrljanost od $b_{Z,0,5pt}=185,61 \mu\text{m}$.

Linije srednjih debljina (1 pt , 1,5 pt i 2 pt) ponašaju se stabilno. Pri čemu će distanca ispisne glave od $h_3=2,38$ mm formirati zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=126,29$ μm , dok će distanca ispisne glave od $h_1=3,12$ mm formirati srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=29,30$ μm . Kod realizacije najdebljih linija (4 pt) očekuju se najveći utjecaji prilikom promjene distance ispisne glave. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dobiva se razlika u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{4pt}}=155,72$ μm . Tako će najmanju zamrljanost odnosno najprecizniju liniju otisnuti ispisna glava visine $h_3=2,38$ mm koja iznosi $b_{Z_{4pt}}=211,33$ μm , dok će najveću zamrljanost imati najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) koja iznosi $b_{Z_{4pt}}=367,05$ μm .

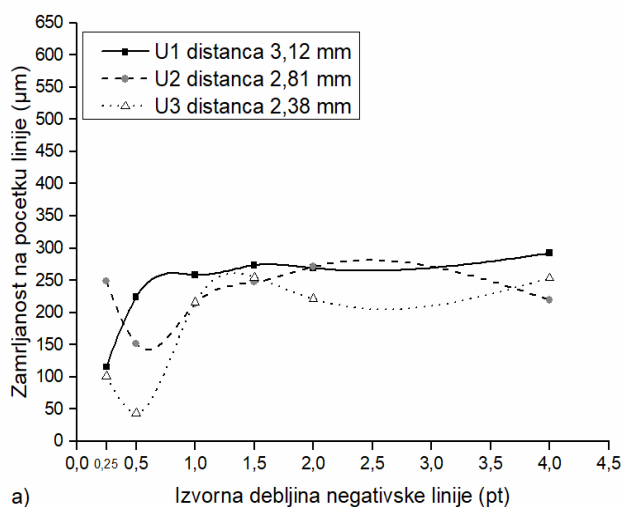
Osim zamrljanosti na početku linije, analizirana je i zamrljanost na krajnjem rubu linije, što je prikazano na slici 41.b. Pri reprodukciji najtanjih linija debljine 0,25 pt ostvareno je visoko odstupanje u zamrljanosti. Korištenjem ispisne glave visine $h_3=2,38$ mm ostvarena je najmanja zamrljanost od $b_{Z_{0,25pt}}=157,92$ μm . Povećanje distance ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm direktno će utjecati na povećanje zamrljanosti na kraju linije. Pritom kod najtanjih linija ostvarena razlika u zamrljanosti iznosi $\Delta b_{Z_{0,25pt}}=28,64$ μm . Dodatnim povećanjem distance ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm ne utječe se na promjenu u zamrljanosti čime ona ostaje nepromijenjena. Ona je vrijednošću identična kao i kod srednje distance $b_{Z_{0,25pt}}=186,56$ μm .

Povećanjem linije za 100% zamrljanost linije realizirane najmanjom distancom ($h_3=2,38$ mm) ne ostvaruje promjene, dok najveća distanca ($h_1=3,12$ mm) bilježi odstupanje od $\Delta b_{Z_{0,5pt}}=89,81$ μm . Pritom linija debljine 0,5 pt (realizirana najvećom distancom glave) postiže zamrljanost od $b_{Z_{0,5pt}}=249,97$ μm .

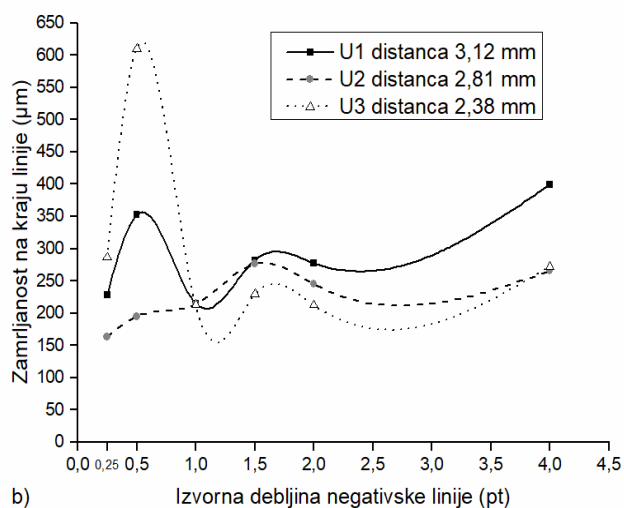
Linije srednjih debljina (1 pt , 1,5 pt i 2 pt) ponašaju se također stabilno. Pri čemu će distanca ispisne glave od $h_3=2,38$ mm formirati zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=18,9$ μm , dok će distanca ispisne glave od $h_1=3,12$ mm formirati srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=46,08$ μm . Kod otiskivanju linija debljine 2 pt bez obzira na visinu ispisne glave, realizirana je najmanja devijacija u zamrljanosti na kraju linije ($\Delta b_{Z_{2pt}}=19,65$ μm .)

Kod realizacije najdebljih linija (4 pt) očekuju se najveći utjecaji prilikom promjene distance ispisne glave. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dobivamo odstupanje u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{4pt}}=95,95$ μm .

Tako će najmanju zamrljanost linije reproducirati ispisna glava visine $h_3=2,38$ mm koja iznosi $b_{Z_{4pt}}=240,27$ μm . Najveću zamrljanost imati će najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) te ona iznosi $b_{Z_{4pt}}=336,22$ μm .



a)



b)

Slika 42. Krivulje zamrljanosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera a) na početku crne linije u negativu, b) na kraju crne linije u negativu

Analiza crne linije u negativu prikazana je na slici 42. Reprodukciom najtanje linije (0,25 pt) može se uočiti vidljiva devijacija u zamrljanosti na početku linije (slika 42.a) koja iznosi $b_{Z_{0,25pt}}=147,93$ μm .

Najpreciznija linija ostvorena je ispisnom glavom udaljenosti $h_3=2,38$ mm koja iznosi $b_{Z_{0,25pt}}=101,01$ μm . Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm, (srednja distanca) postiže se najveća zamrljanost od $b_{Z_{0,25pt}}=248,94$ μm .

Povećanjem širine linije za 100% zamrljanost realizirana najmanjom distancom ($h_3=2,38$ mm) ostvaruje znatno precizniju liniju ($b_{Z_{0,5pt}}=44,16$ μm), dok će kod najveće distance ($h_1=3,12$ mm) doći do povećanja širine linije u iznosu od $\Delta b_{Z_{0,5pt}}=179,76$ μm . Pri čemu linija debljine 0,5 pt (reproducirana najvećom distancom) postiže zamrljanost od $b_{Z_{0,5pt}}=223,92$ μm .

Linije srednjih debljina (1 pt , 1,5 pt i 2 pt) ponašaju se stabilno. Pritom distanca ispisne glave od $h_3=2,38$ mm formira zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=5,98$ μm . Visina ispisne glave od $h_1=3,12$ mm formira srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=36,36$ μm , dok je najmanja razlika u zamrljanosti nastati pri liniji debljine 2 pt ($b_{Z_{2pt}}=18,82$ μm).

Pri realizaciji 4 pt linija očekuju se najveći utjecaji promjenom visine ispisne glave. Eksperimentalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h_1=0,31$ mm dobiva se odstupanje u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{4pt}}=72,06$ μm . Tako će najmanju zamrljanost linije imati ispisna glava visine $h_2=2,81$ mm. To iznosi $b_{Z_{4pt}}=219,93$ μm . Najveću zamrljanost imati će najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm), što iznosi $b_{Z_{4pt}}=291,99$ μm .

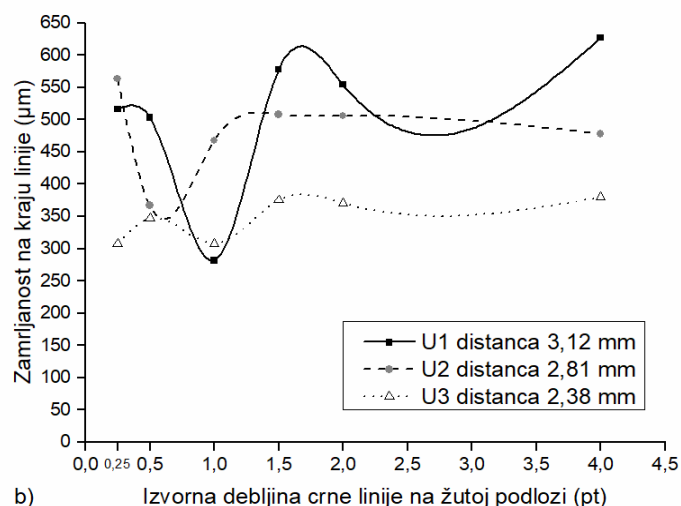
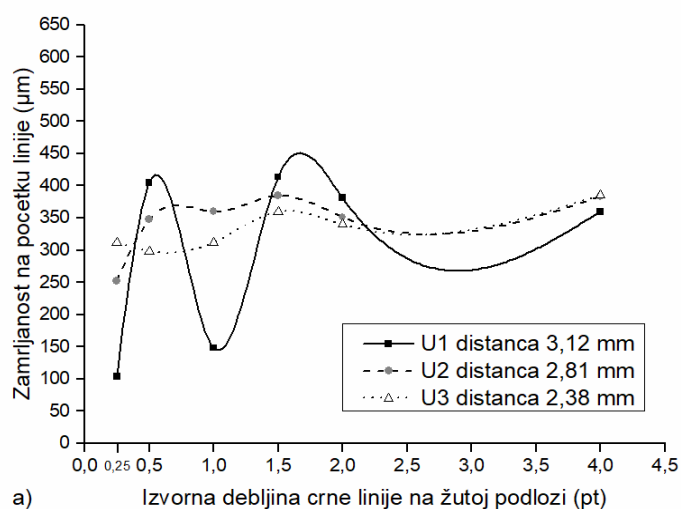
Korištenjem ispisne glave visine $h_1=2,38$ mm uočava se najveća zamrljanost na kraju najtanjih linija (0,25 pt). To je prikazano na slici 42.b. To znači da ostvorena zamrljanost realizirana najmanjom distancom ispisne glave iznosi $b_{Z_{0,25pt}}=286,43$ μm . Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm postiže se najmanja zamrljanost ($b_{Z_{0,25pt}}=163,64$ μm). Ona je ostvorena srednjom distancom ispisne glave ($h_2=2,81$ mm). Za debljinu linije od 0,25 pt razlika između najveće i najmanje zamrljanosti na kraju linije iznosi $\Delta b_{Z_{0,25pt}}=122,79$ μm .

Povećanjem linije za 100% (0,5 pt) ekstremno će rasti zamrljanost reproducirana najmanjom ispisnom glavom ($h_3=2,38$ mm) ostvarujući tako ukupnu razliku od $\Delta b_{Z_{0,5pt}}=415,61$ μm . Pritom će zamrljanost linije od 0,5 pt iznositi $b_{Z_{0,5pt}}=610,67$ μm (najmanja distanca). Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm dobivamo najprecizniju liniju ($b_{Z_{0,5pt}}=195,06$ μm).

Bez obzira na visinu ispisne glave, dodatnim povećanjem linije za 100% (1 pt) postignuto je izjednačavanje zamrljanosti na krajnjem rubu linije. Za sve ispisne glave zamrljanost je identična te ona iznosi $b_{Z_{1pt}}=214,77 \mu\text{m}$.

Linije srednjih debljina (1,5 pt i 2 pt) ponašaju se također stabilno. Pritom će distanca ispisne glave od $h_3=2,38 \text{ mm}$ formirati zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=2,03 \mu\text{m}$, dok će distanca ispisne glave od $h_1=3,12 \text{ mm}$ formirati srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=59,11 \mu\text{m}$.

Pri realizaciji najdebljih linija (4 pt) očekuju se najveći utjecaji prilikom promjene visine ispisne glave. Eksperimentalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31 \text{ mm}$ dobivamo odstupanje u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{4pt}}=133,77 \mu\text{m}$. Tako će najmanju zamrljanost linije otisnuti ispisna glava visine $h_2=2,81 \text{ mm}$, što iznosi $b_{Z_{4pt}}=265,81 \mu\text{m}$. Najveću zamrljanost imati će najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12 \text{ mm}$) koja iznosi $b_{Z_{4pt}}=399,58 \mu\text{m}$.



Slika 43. Krivulje zamrljanosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera a) na početku crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi, b) na kraju crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi

Kod reprodukcije crnih linija debljine 0,25 pt na kontrastnoj žutoj podlozi biti će najprecizniji ako se glava podigne na najviši nivo. Pri udaljenosti ispisne glave od podloge $h_1 = 3,12$ mm zamrljanost je na početku najtanjih linija $b_{Z,0,25pt} = 104,05 \mu\text{m}$. Za liniju debljine 0,25 pt maksimalna devijacija širine zamrljanosti ($\Delta b_{Z,0,25pt} = 207,8 \mu\text{m}$) ostvarena je pomakom ispisne glave za $\Delta h = 0,74$ mm. Pritom linija (0,25 pt) reproducirana najmanjom ispisnom glavom ($h_3 = 2,38$ mm) daje najlošiji rezultat koji iznosi $b_{Z,0,25pt} = 311,85 \mu\text{m}$.

Kod druge analizirane linije (širine 0,5 pt) zamrljanost realizirana najmanjom distancom ispisne glave ($h_3=2,38$ mm) nema znatni utjecaj na kvalitetu reprodukcije linije te iznosi ($b_{Z_{0,5pt}}=298,01$ μm). Značajnije promjene ostvarene su kod srednje visine ($h_2=2,81$ mm) i najveće visine ($h_1=3,12$ mm) ispisne glave. Pritom dolazi do smanjenja devijacije zamrljanosti gdje ona iznosi $\Delta b_{Z_{0,5pt}}=106,56$ μm , da bi linija otisnuta najvećom distancom imala zamrljanost od $b_{Z_{0,5pt}}=404,57$ μm .

Dodatnim povećanjem linije (1 pt) zamrljanost za linije otisnute najmanjom distancom ($h_3=2,38$ mm) i srednjom distancom ($h_2=2,81$ mm) ne bilježe znatne promjene. Debljina linije od 1 pt ostvaruje povećanje kvalitete otiska primjenom najveće distance ispisne glave u vrijednosti od $h_1=3,12$ mm. Najmanja vrijednosti zamrljanosti koja se postiže iznosi $b_{Z_{1pt}}=146,41$ μm , dok je najveća zamrljanost srednje distance glave ($b_{Z_{1pt}}=360,05$ μm). Time se dobiva ukupna razlika u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{1pt}}=211,64$ μm .

Linije nešto većih debljina (1,5 pt i 2 pt) ponašaju se stabilno. Pritom će distanca ispisne glave od $h_3=2,38$ mm formirati zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=19,73$ μm , dok će distanca ispisne glave od $h_1=3,12$ mm formirati srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}}=47,81$ μm .

Pri realizaciji najdebljih linija (4 pt) dolazi do inverzije rezultata u zamrljanosti. Najvećom distancom postignute su najbolje reprodukcije za najtanje linije (0,25 pt) i najdeblje linije (4 pt), pri čemu zamrljanost kod najvećih linija iznosi $b_{Z_{4pt}}=360,04$ μm . Eksperimentalnim pomakom glave za $\Delta h=0,74$ mm dobiva se najmanja devijacija u reprodukciji $\Delta b_{Z_{4pt}}=25,99$ μm , dok najmanja distanca ispisne glave ($h_3=2,38$ mm) ostvaruje najveću zamrljanost od $b_{Z_{4pt}}=386,03$ μm .

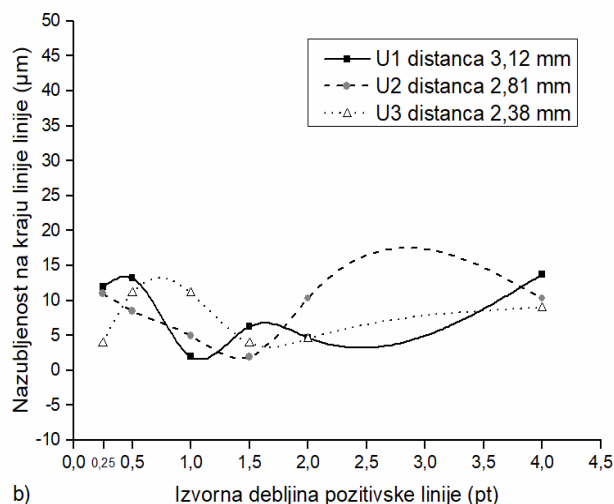
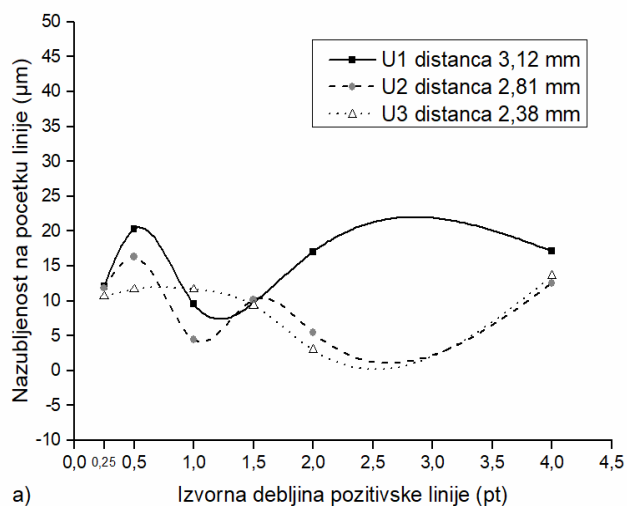
Reprodukcijom najtanjih crnih linija (0,25 pt) na žutoj podlozi ispisna glava sa distancom $h_3=2,38$ mm ostvaruje najmanju zamrljanost na kraju linije ($b_{Z_{0,25pt}}=308,12$ μm). Vršeći pomak ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm direktno utječemo na povećanje zamrljanosti pri čemu ona iznosi $b_{Z_{0,25pt}}=563,73$ μm . Pritom ukupna devijacija kod najtanjih linija iznosi $\Delta b_{Z_{0,25pt}}=255,61$ μm .

Povećanjem linije za 100% (0,5 pt) najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) ostvaruje najveću zamrljanost $b_{Z_{0,5pt}}=503,06$ μm , dok najmanja distanca ($h_3=2,38$ mm) kreira najmanju zamrljanost $b_{Z_{0,5pt}}=347$ μm . Pritom ukupna devijacija iznosi $\Delta b_{Z_{0,5pt}}=156,06$ μm .

Daljnijim povećanjem linije za 100% (1 pt) zamrljanost na krajevima crne linije će kod najveće distance padati čime se realizira najpreciznija linija ($b_{Z_{1pt}} = 282,08 \mu\text{m}$). Pomakom ispisne glave za $\Delta h = 0,31 \text{ mm}$ ostvaruje se najveća zamrljanost za srednju distancu ispisne glave $b_{Z_{1pt}} = 467,93 \mu\text{m}$, pri čemu je ostvarena ukupna razlika zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{1pt}} = 185,85 \mu\text{m}$.

Linije debljine 1,5 pt i 2 pt ponašaju se stabilno. Pritom će distanca ispisne glave $h_3 = 2,38 \text{ mm}$ formirati zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}} = 4,91 \mu\text{m}$, dok će distanca ispisne glave $h_1 = 3,12 \text{ mm}$ formirati srednju zamrljanost od $\Delta b_{Z_{1-2pt}} = 193,21 \mu\text{m}$.

Najdeblje linije (4 pt) će se najviše mijenjati prilikom promjene distance ispisne glave. Pomakom visine ispisne glave za $\Delta h = 0,74 \text{ mm}$ dobivamo odstupanje u zamrljanosti od $\Delta b_{Z_{4pt}} = 247,43 \mu\text{m}$. Tako će najmanju zamrljanost linije reproducirati ispisna glava visine $h_3 = 2,38 \text{ mm}$ koja iznosi $b_{Z_{4pt}} = 379,74 \mu\text{m}$. Najveću zamrljanost imati će najveća distanca ispisne glave ($h_1 = 3,12 \text{ mm}$) koja iznosi $b_{Z_{4pt}} = 627,17 \mu\text{m}$.



Slika 44. Krivulje nazubljenosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) na početku crne linije u pozitivu, b) na kraju crne linije u pozitivu

Finalnim ispitivanjem linije utvrđuje se deformacija koja se naziva i nazubljenost linije. Ona nastaje kao posljedica loše interakcije između Inkjet boje i tiskovne podloge. Nazubljenost prati tok kretanja tiskovne podloge te daje rubu linije izgled geometrijske distorzije. Umjesto glatkih i ravnih rubova, nazubljenost čine hrapavi i valoviti rubovi linije. Tako pri analizi nazubljenosti linije, ispitujemo nazubljenost na početku i nazubljenost na kraju reproducirane linije. Kod horizontalne linije nazubljenost na početku linije podrazumijeva gornji rub, odnosno desni rub kod vertikalno mjerene linije.

Kod reprodukcije najtanjih linija (0,25 pt) najveću nazubljenost ($b_{N_{0,25pt}}=12,12 \mu\text{m}$) daje najveća distanca ispisne glave od $h_1=3,12 \text{ mm}$. Najmanju nazubljenost od $b_{N_{0,25pt}}=10,64 \mu\text{m}$ daje najmanja distanca ispisne glave ($h_3 = 2,38 \text{ mm}$). Tako će ukupna razlika nazubljenosti iznositi $\Delta b_{N_{0,25pt}}=1,48 \mu\text{m}$.

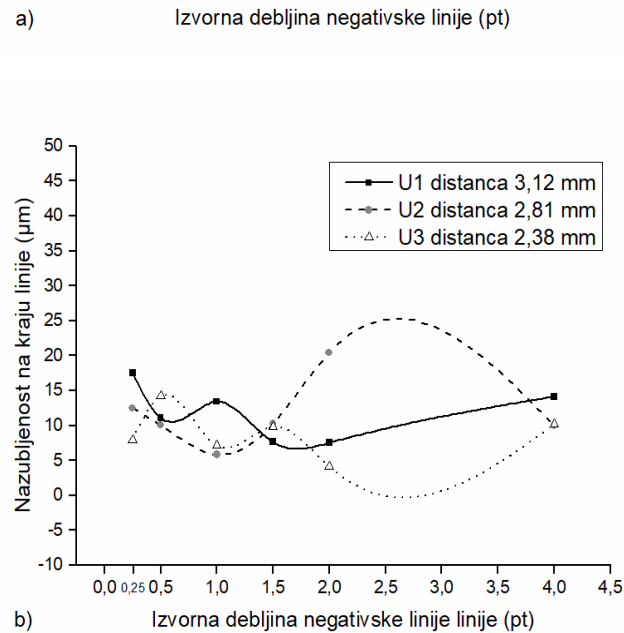
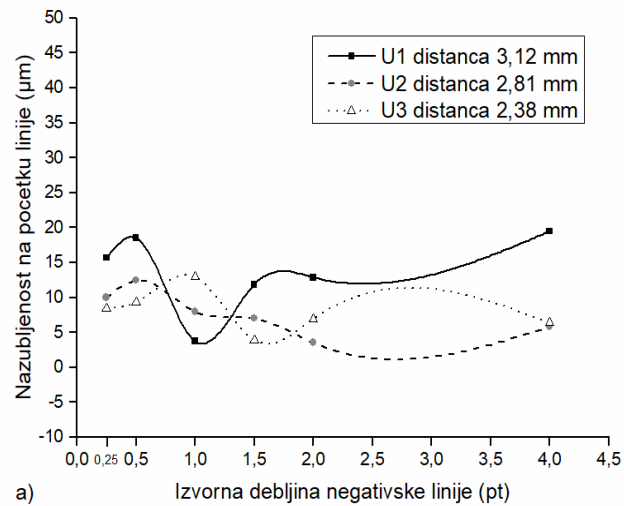
Linija debljine 0,5 pt realizirana je najmanjom nazubljenošću $b_{N_{0,5pt}}=11,64 \mu\text{m}$ uz visinu ispisne glave od $h_3=2,38 \text{ mm}$. Pomicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,43 \text{ mm}$ nazubljenost raste na $b_{N_{0,5pt}}=16,29 \mu\text{m}$ da bi konačnim pomakom od $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ linija debljine 0,5 pt imala nazubljenost od $b_{N_{0,5pt}}=20,29 \mu\text{m}$. Tako ukupna devijacija za linije od 0,5 pt iznosi $\Delta b_{N_{0,5pt}}=8,65 \mu\text{m}$.

Na uzorku U_3 dodatnim povećanjem linije za 100% (1 pt) i primjenom udaljenosti ispisne glave od podloge ($h_3=2,38 \text{ mm}$) nazubljenost linije ostaje nepromijenjena. Svakim daljnjim odmicanjem glave od podloge nazubljenost linije se smanjuje. Pritom će nazubljenost linije realizirane pomakom od $\Delta h=0,31 \text{ mm}$ iznositi $b_{N_{1pt}}=9,56 \mu\text{m}$. U odnosu na najmanju distancu, pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43 \text{ mm}$ dobivamo nazubljenost linije uzorka U_2 u iznosu od $b_{N_{1pt}}=4,48 \mu\text{m}$. Za najmanju i srednju distancu glave ukupna razlika između nazubljenosti linije debljine 1 pt iznositi će $\Delta b_{N_{1pt}}=7,16 \mu\text{m}$.

Kod reprodukcije linije (debljine 1,5 pt) vrijednost nazubljenost je stabilna. Linije otisnute na svim uzorcima, bez obzira na visinu ispisne glave daju nazubljenost sa najmanjom devijacijom od $\Delta b_{N_{1,5pt}}=0,42 \mu\text{m}$. Linija otisnuta srednjom distancom ispisne glave ($h_2=2,81 \text{ mm}$) ostvaruje nazubljenost od $b_{N_{1,5pt}}=10,15 \mu\text{m}$, odnosno linija realizirana najmanjom distancom ispisne glave ($h_3=2,31 \text{ mm}$) iznosi $b_{N_{1,5pt}}=9,73 \mu\text{m}$. Srednja devijacija za linije do debljine 1,5 pt iznosi $\Delta b_{N_{0,25-1,5pt}}=4,42 \mu\text{m}$.

Srednje linije (2 pt) ostvaruju najmanju nazubljenost. Ona je realizirana najmanjom distancom ispisne glave ($h_3=2,31 \text{ mm}$) i iznosi $b_{N_{2pt}}=2,96 \mu\text{m}$. Svakim daljnjim pomakom ispisne glave nazubljenost raste pri čemu se ostvaruje i najveća devijacija ($\Delta b_{N_{2pt}}=14,09 \mu\text{m}$). To znači da se pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43 \text{ mm}$ realizira dodatna nazubljenost od $b_{N_{2pt}}=5,47 \mu\text{m}$. Daljnjim pomakom ispisne glave za $\Delta h_1=0,31 \text{ mm}$ će ostvariti finalnu nazubljenost od $b_{N_{2pt}}=17,05 \mu\text{m}$.

Kod realizacije najdebljih linija (4 pt) očekuju se najveći utjecaji promjene distance ispisne glave. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dobivamo odstupanje u nazubljenosti od $\Delta b_{N_4pt}=4,61\mu\text{m}$. To znači da će najmanju nazubljenost linije $b_{Z_4pt}=12,53 \mu\text{m}$ reproducirati ispisna glava visine $h_2=2,81$ mm, dok će najveću nazubljenost $b_{Z_4pt}=17,14 \mu\text{m}$ imati najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm).



Slika 45. Krivulje nazubljenosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera a) na početku crne linije u negativu, b) na kraju crne linije u negativu

Na slici 45.a prikazana je reprodukcija nazubljenosti početka crne linije u negativu. Korištenjem najmanje udaljenosti ispisne glave od podloge $h_3=2,38$ mm ostvaruje se najmanja nazubljenost na početku najtanje linije. Pritom nazubljenost linije od 0,25 pt iznosi $b_{N_{0,25pt}}=8,37$ μm . Povećanjem razmaka između ispisne glave i podloge rub linije se sve više deformira. Pomakom glave od podloge za $\Delta h=0,43$ mm nazubljenost iznosi $b_{N_{0,25pt}}=9,98$ μm . Najveća nazubljenost ostvarena je najvećom distancom i finalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm. Ona u konačnici iznosi $b_{N_{0,25pt}}=15,69$ μm . Dvostrukim povećanjem linije (debljine 0,5 pt) ostvarena nazubljenost najmanjom distancom ispisne glave ne bilježi znatnu promjenu ($b_{N_{0,5pt}}=9,33$ μm). Nazubljenost otisnuta s početka linije raste primjenom najveće distance $b_{N_{0,5pt}}=18,49$ μm . Tako se ostvaruje ukupna devijacija od $b_{N_{0,5pt}}=9,16$ μm .

Kod linija debljine 1 pt uočava se rezultatna inverzija, pri čemu najviša distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) reproducira najprecizniji rub linije ($b_{N_{1pt}}=3,75$ μm), a najmanja distanca glave ($h_3=2,38$ mm) reproducira najhrapaviji rub linije ($b_{N_{1pt}}=12,94$ μm). Pritom ostvarena devijacija za linije debljine 1 pt iznosi $\Delta b_{N_{1pt}}=9,19$ μm .

Linije debljine 1,5 pt također ostvaruju novu promjenu u kretanju rezultata. Najveća distanca glave daje najveću nazubljenost koja iznosi $b_{N_{1,5pt}}=11,88$ μm . Korištenjem ispisne glave u srednjem položaju ($h_2=2,81$ mm) ostvaruju se preciznije linije reprodukcije, pri čemu nazubljenost početka linije iznosi $b_{N_{1,5pt}}=7,01$ μm . Maksimalnim pomakom ispisne glave (ostvaruje se najmanja udaljenost između ispisne glave i podloge) ostvaruje se najprecizniji rub otisnute linije. Pritom nazubljenost linije veličine 1,5 pt u negativu iznosi $b_{N_{1,5pt}}=3,86$ μm . Ukupna razlika u nazubljenosti nastala korištenjem različitih distanci ispisnih glava iznosi $\Delta b_{N_{1,5pt}}=8,02$ μm .

Linije srednje debljine (2 pt) ponašaju se stabilno samo za reprodukcije ostvarene najvećom distancom ispisne glave. Tako će nazubljenost realizirana najvećom distancom ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) iznositi $b_{N_{2pt}}=12,87$ μm . Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm bliže podlozi ostvaruje se i najpreciznija reprodukcija nazubljenosti. Na početku linija u negativu ona iznosi $b_{N_{2pt}}=3,56$ μm . Time je postignuta razlika u nazubljenosti između uzorka otisnutog najvećom i srednjom distancom od $\Delta b_{N_{4pt}}=9,31$ μm .

Kod najdebljih linija (4 pt) pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dobivamo odstupanje u nazubljenosti od $\Delta b_{N_{4pt}}=13,65$ μm . Tako će najmanju nazubljenost linije reproducirati ispisna glava visine $h_2 = 2,81$ mm. Ona iznosi $b_{N_{4pt}}=5,84$ μm . Najveću zamrljanost imati će najveća distanca ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) koja iznosi $b_{N_{4pt}}=19,49$ μm .

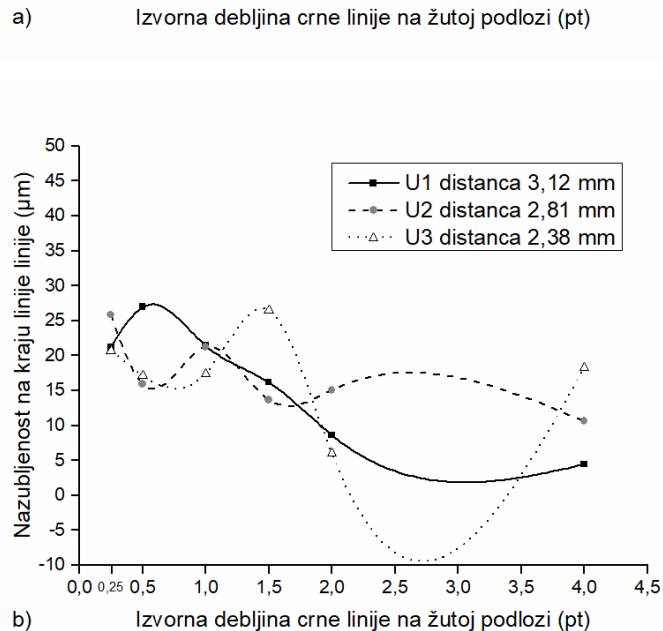
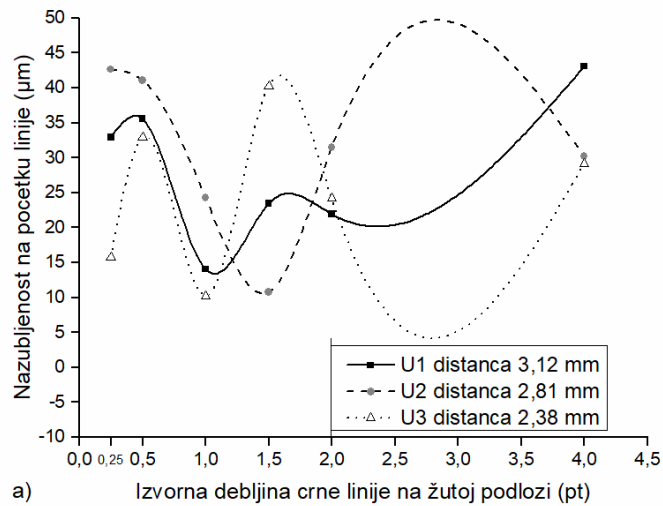
Rezultati ispitivanja nazubljenosti na krajnjem dijelu linije u negativu prikazano je na slici 45. b). Ovdje se može uočiti kako je najbolja reprodukcija najtanjih linija i ona je ostvarena najmanjom distancom ispisne glave od podloge ($h_3=2,38$ mm). Time nazubljenost linije od 0,25 pt iznosi $b_{N_{0,25pt}}=7,95$ μm . Odmicanjem ispisne glave od podloge ostvaruje se očekivani rast nazubljenosti kraja linije. Pomak ispisne glave za $\Delta h_2=0,43$ mm realizira nazubljenost od $b_{N_{0,25pt}}=12,45$ μm . Finalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm nazubljenost postiže svoju maksimalnu vrijednost ($b_{N_{0,25pt}}=17,5$ μm) čime je ostvarena devijacija od $\Delta b_{N_{0,25pt}}=9,55$ μm .

Povećanjem debljine linije na 0,5 pt smanjuje se razlika u odstupanju nazubljenosti. Tako će se ukupnim pomakom ispisne glave ($\Delta h=0,74$ mm) realizirati nazubljenost $\Delta b_{N_{0,5pt}}=3,2$ μm . Tako je najmanja vrijednost nazubljenosti formirana ispisnom glavom visine $h_3=2,38$ mm te ona iznosi $b_{N_{0,5pt}}=14,26$ μm . Nešto veća distanca ispisne glave (udaljena od podloge za $h_2=2,81$ mm) reproducira nazubljenost koja iznosi $b_{N_{0,5pt}}=10,06$ μm .

Najbolja reprodukcija ostvarena je za linije debljine 1,5 pt. Pritom je postignuta najmanja devijacija nazubljenosti između svih visina ispisne glave ($\Delta b_{N_{1,5}}=2,18$ μm). Najvećom distancom ispisne glave ($h_1=3,12$ mm) ostvarena je nazubljenost od $b_{N_{1,5pt}}=7,62$ μm , dok je srednjom distancom ostvarena nazubljenost od $b_{N_{1,5pt}}=9,8$ μm .

Kod linija debljine od 2 pt uočava se najveće odstupanje u izmjerenoj nazubljenosti. Ukupna razlika u nazubljenosti reproducirana je srednjom i najmanjom distancom ispisne glave. Ona iznosi $\Delta b_{N_{2pt}}=16,26$ μm . Reprodukcija otisnuta najvećom distancom ($h_1=3,12$ mm) ponaša se stabilno ($b_{N_{2pt}}=7,51$ μm). Najveću nazubljenost formira ispisna glava visine $h_2=2,81$ mm koja iznosi $b_{N_{2pt}}=20,4$ μm . Najprecizniji rub na kraju linije u negativu ostvaruje najmanja udaljenost ispisne glave od podloge ($h_3=2,38$ mm), te ona iznosi $b_{N_{2pt}}=4,14$ μm .

Kod reprodukcije najdebljih linija (4 pt) očekuju se manji utjecaji promjenom visine ispisne glave. Eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dobivena je razlika u nazubljenosti koja iznosi $\Delta b_{N_{4pt}}=3,92$ μm . Pritom je najveća nazubljenost na kraju linije u negativu ostvarena najvećom distancom ispisne glave ($b_{N_{4pt}}=14,13$ μm), a srednjom distancom ispisne glave $h_2=2,81$ mm najmanja nazubljenost ($b_{N_{4pt}}=10,21$ μm).



Slika 46. Krivulje zamrljanosti nastale eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera a) na početku crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi, b) na kraju crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi

Na slici 46.a prikazana je reprodukcija nazubljenosti na početku crne linije otisnute na kontrastnoj žutoj podlozi. Pritom se može uočiti kako boja prethodnim otiskivanjem (u ovom slučaju kontrastna žuta) utječe na povećanje nazubljenosti linije. Kod tankih i srednjih linija formirana je tako velika nazubljenost. Najveća nazubljenost početka crne linije (0,25 pt) realizirana je srednjom distancom ispisne glave ($h_2=2,81$ mm) i ona iznosi $b_{N_{0,25pt}}=28,84$ μm . Približavanjem ispisne glave podlozi za $\Delta h=0,43$ mm ostvaruje se smanjenje vrijednosti nazubljenosti linije, te ona iznosi $b_{N_{0,25pt}}=21,28$ μm . To znači da ukupna devijacija kod najtanjih linija iznosi $\Delta b_{N_{0,25pt}}=4,66$ μm .

Povećanjem linije na 0,5 pt vrijednost nazubljenost se smanjuje za uzorke otisnute s najmanjom i srednjom distancom. Tako je nazubljenost ostvarena srednjom distancom iznosila $b_{N_{0,5pt}}=15,93$ μm , a s najmanjom distancom $b_{N_{0,5pt}}=17,15$ μm . Nazubljenost ostvarena najvećom distancom glave ($h_1=3,12$ mm) raste i iznosi $b_{N_{0,5pt}}=26,97$ μm . Pritom je promjenom visine ispisne glave ostvarena razlika u preciznosti linija od $\Delta b_{N_{0,5pt}}=11,04$ μm .

Dodatnim povećanjem linije za 100% (1 pt) smanjuje se razlika u nazubljenosti kod svih otisnutih uzoraka ($\Delta b_{N_{1pt}}=4,02$ μm). Korištenjem najveće distance ($h_1=3,12$ mm) i srednje distance ($h_2=2,81$ mm) formira se identičan hrapavi rub dimenzija $b_{N_{1pt}}=21,44$ μm . Rub formiran najmanjom distancom ispisne glave ($h_3=2,38$ mm) ostvaruje manju nazubljenost koja iznosi $b_{N_{1pt}}=17,42$ μm .

Reprodukcijom crnih linija (1,5 pt) na žutoj podlozi uz primjenu najmanje distance ispisne glave ($h_3=2,38$ mm) ostvaren je znatan skok u nazubljenosti početka linije. Tako najmanja visina ispisne glave realizira nazubljenost od $b_{N_{1,5pt}}=26,53$ μm . Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm ostvaruje se ukupna razlika u nazubljenosti reproduciranih linija koja iznosi $\Delta b_{N_{1,5pt}}=12,88$ μm . Pritom hrapavost na početku linije realizirana srednjim položajem glave iznosi $b_{N_{1,5pt}}=13,65$ μm .

Korištenjem visine ispisne glave od $h_3=2,38$ mm će pri reprodukciji linija debljine 2 pt formirati vrlo malu hrapavost ruba linije. Ona iznosi $b_{N_{2pt}}=6,03$ μm . Odmicanjem ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,43$ mm nastaje dodatna razlika u nazubljenosti od $\Delta b_{N_{2pt}}=9,07$ μm . To znači da hrapavost realizirana srednjom distancom ($h_2=2,81$ mm) iznosi $b_{N_{2pt}}=15,1$ μm .

Kod realizacije najdebljih linija (4 pt) očekuju se najveća odstupanja prilikom promjene visine ispisne glave. Eksperimentalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm ostvarena je maksimalna devijacija nazubljenosti $\Delta b_{N_{4pt}}=13,82$ μm . Pritom dolazi do inverzne situacije gdje najveća distanca ispisne glave $h_1=3,12$ mm ostvaruje najmanju nazubljenost ($b_{N_{4pt}}=4,44\mu\text{m}$), dok najmanja distanca ispisne glave $h_3=2,38$ mm ostvaruje najveću nazubljenost $b_{N_{4pt}}=18,26$ μm .

Na slici 46.b prikazana je reprodukcija nazubljenosti na završetku crnih linija otisnutih na žutoj podlozi. Ovdje se uočava da promjena visine ispisne glave znatno utječe na kvalitetu ovog djela ruba linije. Za reprodukciju najtanjih linija (0,25 mm) korištenjem ispisne glave visine $h_2=2,81$ mm realizira se vrlo visoka razina nazubljenosti koja iznosi $b_{N_{0,25pt}}=42,67$ μm . Pomakom ispisne glave bliže podlozi za $\Delta h=0,43$ mm postignut je rub od ($b_{N_{0,25pt}}=15,7$ μm). Stoga, promjenom visine ispisne glave nastaje devijacija u nazubljenosti na kraju crne linije otisnute na kontrastnoj žutoj podlozi od $\Delta b_{N_{0,25pt}}=23,97\mu\text{m}$.

Kod linije od 0,5 pt odstupanje u reprodukciji nastalo promjenama visine ispisnih glava se smanjuje. To znači da najmanja distanca ($h_3=2,38$ mm) postiže veću hrapavost $b_{N_{0,5pt}}=32,9$ μm . Srednjom distancom realizira se hrapavost u iznosu $b_{N_{0,5pt}}=41,08$ μm , to znači da ukupna razlika iznosi $\Delta b_{N_{0,5pt}}=8,18$ μm .

Dodatnim povećanjem linije (1 pt) nazubljenost na kraju crne linije otisnute na kontrastnoj žutoj podlozi se normalizira. Pritom se korištenjem visine ispisne glave od $h_3=2,38$ mm realizira nazubljenost od $b_{N_{1pt}}=10,24$ μm . Pomakom ispisne glave od $\Delta h=0,43$ mm formira se najveća hrapavost za linije debljine 1 pt ($b_{N_{1pt}}=24,3$ μm), ostvarujući tako ukupnu razliku od $\Delta b_{N_{1pt}}=14,06$ μm .

Kod srednjih linija (debljine 1,5 pt) promjene visine ispisne glave dati će najveću razliku u nazubljenosti kraja crne linije. Ukupna devijacija između ruba linije najbolje i najlošije realizacije iznosi $\Delta b_{N_{1,5pt}}=29,47$ μm . Pritom se najbolji rezultati postižu srednjom visinom ispisne glave $h_2=2,81$ mm ($b_{N_{1,5pt}}=10,79$ μm), dok se najlošiji postižu najmanjom visinom ispisne glave ($b_{N_{1,5pt}}=40,28$ μm).

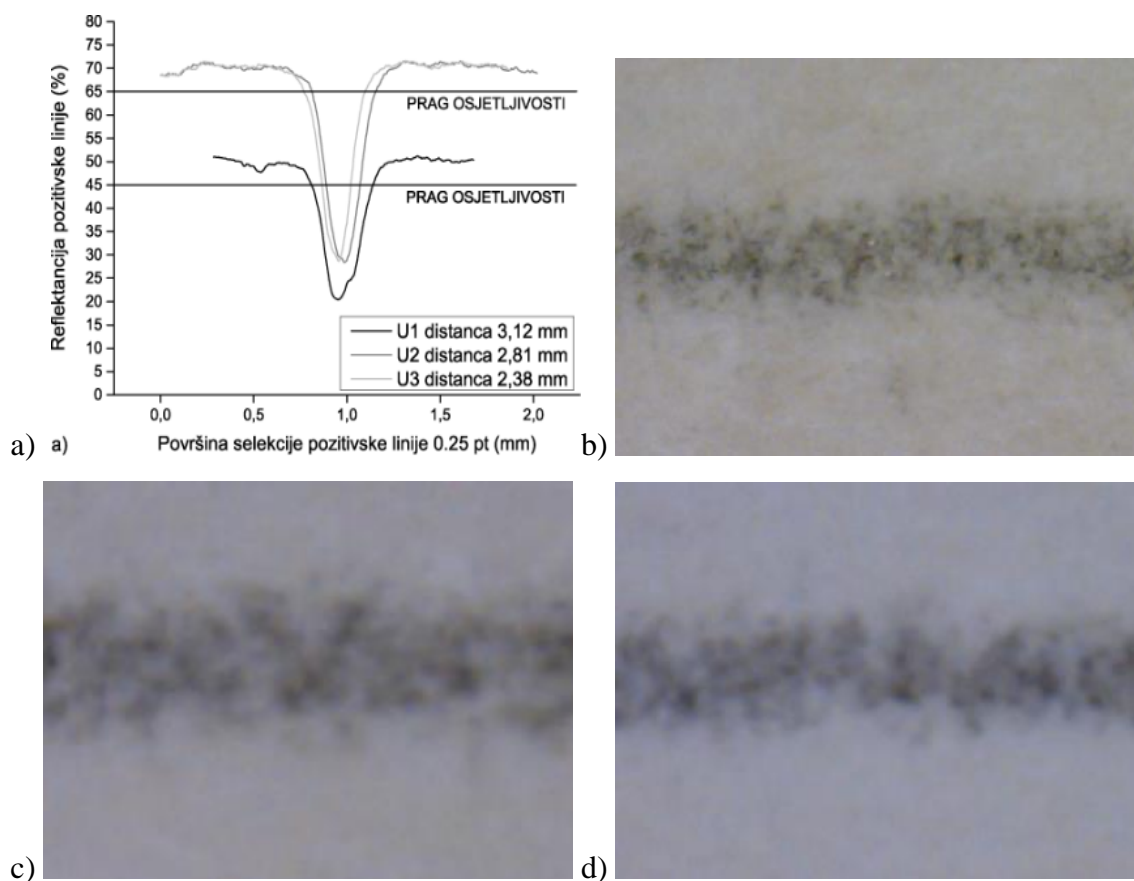
Daljnja varijacija visine ispisne glave će pri reprodukciji srednjih linija (2 pt) se smanjiti vrijednost nazubljenosti. Najveća distanca ispisne glave $h_1=3,12$ mm formira najmanju hrapavost krajeva crne linije otisnute na žutoj podlozi. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm realizirati će se najveća hrapavost od $b_{N_{2pt}}=31,51$ μm , time se ostvaruje ukupna devijacija u iznosu od $\Delta b_{N_{2pt}}=9,56$ μm .

Najdeblja linija (4 pt) trebala bi imati najveću nazubljenost kraja linije. Pritom visina ispisne glave od $h_1=3,12$ mm realizira najveću hrapavost koja iznosi $b_{N_{4pt}}=43,1$ μm . Ukupnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm ostvaruje se odstupanje u nazubljenosti od $\Delta b_{N_{4pt}}=13,93$ μm . Pritom hrapavost na kraju crne linije otisnute na kontrastnoj žutoj podlozi iznosi $b_{N_{4pt}}=29,17$ μm . Ona je formirana najmanjom distancom od $h_3=2,38$ mm.

Još jedna precizna provjera kvalitete reproduciranih linija moguća je izradom refleksijskih krivulja. Pritom će doći do ispitivanja intenziteta obojenja same linije kao i kvalitete tiskovne podloge. Za ovo ispitivanje važno je odrediti prag linije koji je zbog papira koji je definiran na 65% i 45%.

Kod svih uzoraka sa otisnutom crnom linijom zamijećeno je da sa povećanjem distance ispisne glave dolazi do neželjenog obojenja tiskovne podloge. To znači da dolazi do stvaranja satelitskih kapljica boje. Tako će uz tiskovne elemente najveća distanca ($h_1=3,12$ mm) formirati 20% manju reflektanciju sa otisnute slike.

Na slici 47.a prikazana je širina referentne pozitivske linije od 0,25 pt otisnute s najvećom distancom ($h_1=3,12$ mm) gdje širina takve linije iznosi $b_P=0,5$ mm.



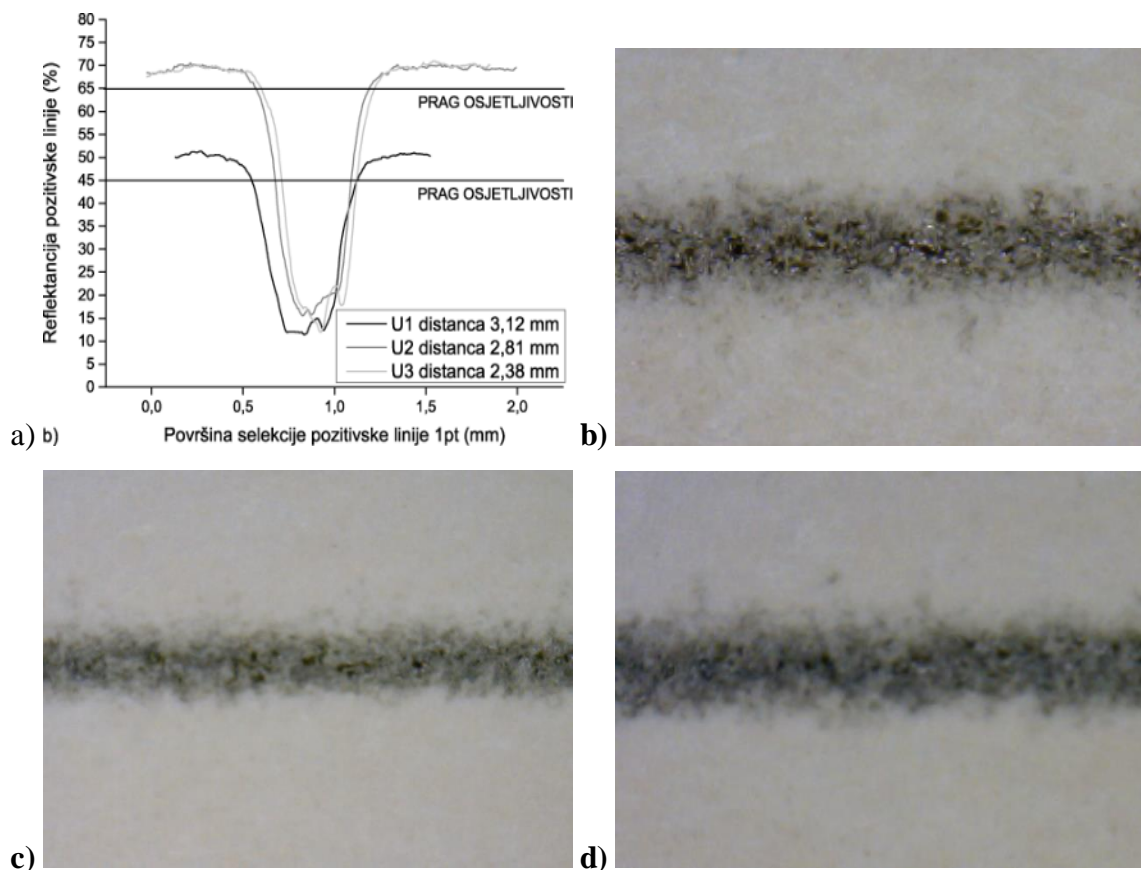
Slika 47. Reflektancija crno otisnutih linija debljine 0,25 pt u pozitivu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Približavanjem ispisne glave tiskovnoj podlozi širina otisnute linije se smanjuje. Tako će se pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm širina linije smanjiti na $b_p=0,49$ mm. Finalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm ostvaruje se širina linije koja iznosi $b_p=0,45$ mm. Tako će eksperimentalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dolaći do odstupanja u širini linije od $\Delta b_p=0,05$ mm.

Linija reproducirana najvećom distancom ispisne glave $h_1=3,12$ mm ostvaruje najveći kontrast, pri čemu se ostvaruje reflektancija u vrijednosti $R_p=20,37\%$. Približavanjem ispisne glave papiru reflektancija crne linije pada, te su otisnute linije blijede. Pritom će reflektancija realizirana srednjom distancom iznositi $R_p=28,66\%$, dok će za najmanju distancu iznositi $R_p=28,59\%$. Postignuta razlika u svjetlini pozitivske linije otisnute najvećom visinom $h_1=3,12$ mm i srednjom visinom $h_2=2,81$ mm iznosi $\Delta R_p=8,22\%$.

Daljnjom promjenom distance za $\Delta h=0,43$ mm neće se ostvariti veća razlika, te će razlika u reflektanciji iznositi minimalnih $\Delta R_P=0,07\%$.

Najveća distanca ispisne glave realizira referentnu liniju od 1 pt sa širinom od $b_P=0,8$ mm. To je prikazano na slici 48.a. Smanjenjem visine ispisne glave širina linije se smanjuje. Pritom će srednja distanca glave reproducirati liniju širine $b_P=0,72$ mm, dok će najmanja distanca $h_3=2,38$ mm ostvariti širinu linije od $b_P=0,71$ mm. Time je ostvarena ukupna razlika u širini linije koja iznosi $\Delta b_P=0,09$ mm.

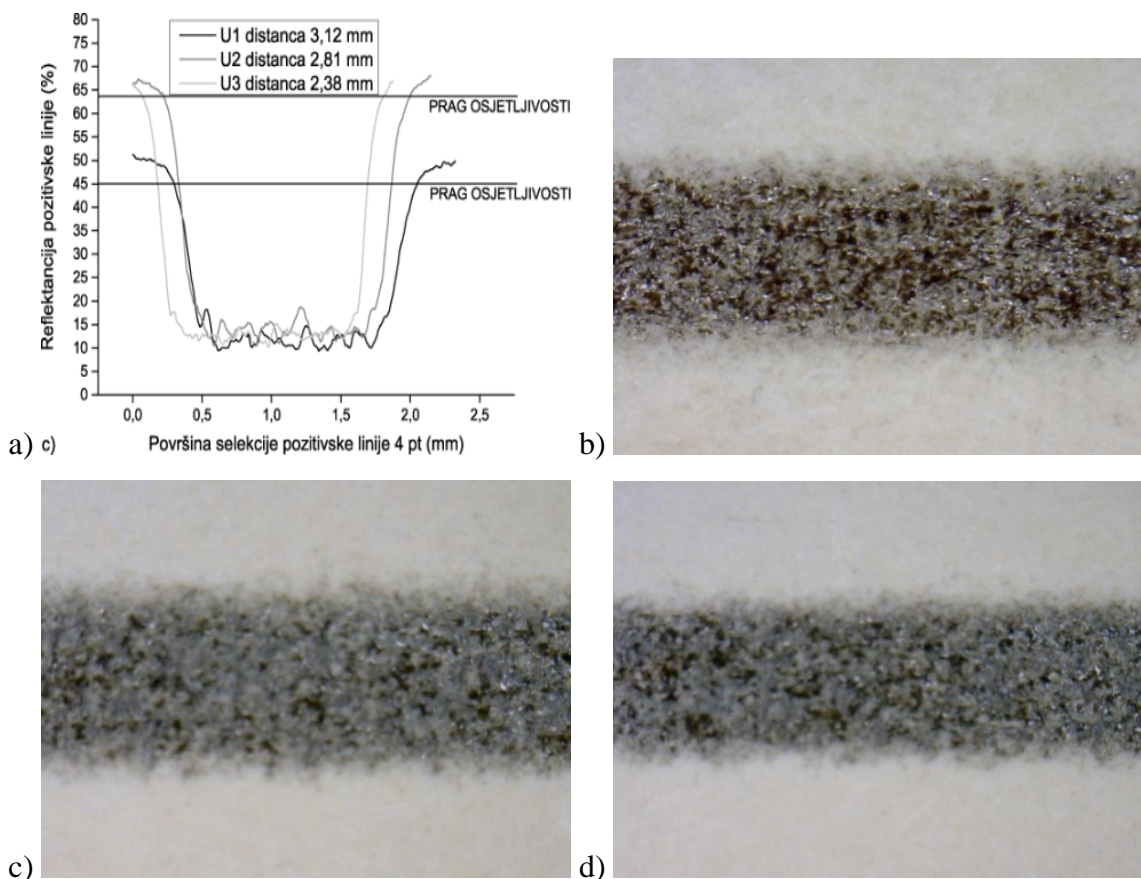


Slika 48. reflektancija crno otisnutih linija debljine 1 pt u pozitivu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Linija otisnuta najvećom distancom ispisne glave $h_3=3,12$ mm ostvaruje najtamniju liniju, pri čemu se postiže reflektancija s maksimalnim vrijednostima od $R_P=11,57\%$. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm ostvaruje se minimalna razlika u reflektanciji $\Delta R_P=0,4\%$, pri čemu srednja distanca $h_2=2,81$ mm realizira reflektanciju u vrijednosti $R_P=11,97\%$. Korištenjem najmanje udaljenosti od ispisne glave do podloge $h_3=2,38$ mm reproducira

se najsvjetlija linija $R_P=15,69\%$. To znači da pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm dolazi do razlike u svjetlini linija od $\Delta R_P=4,1\%$.

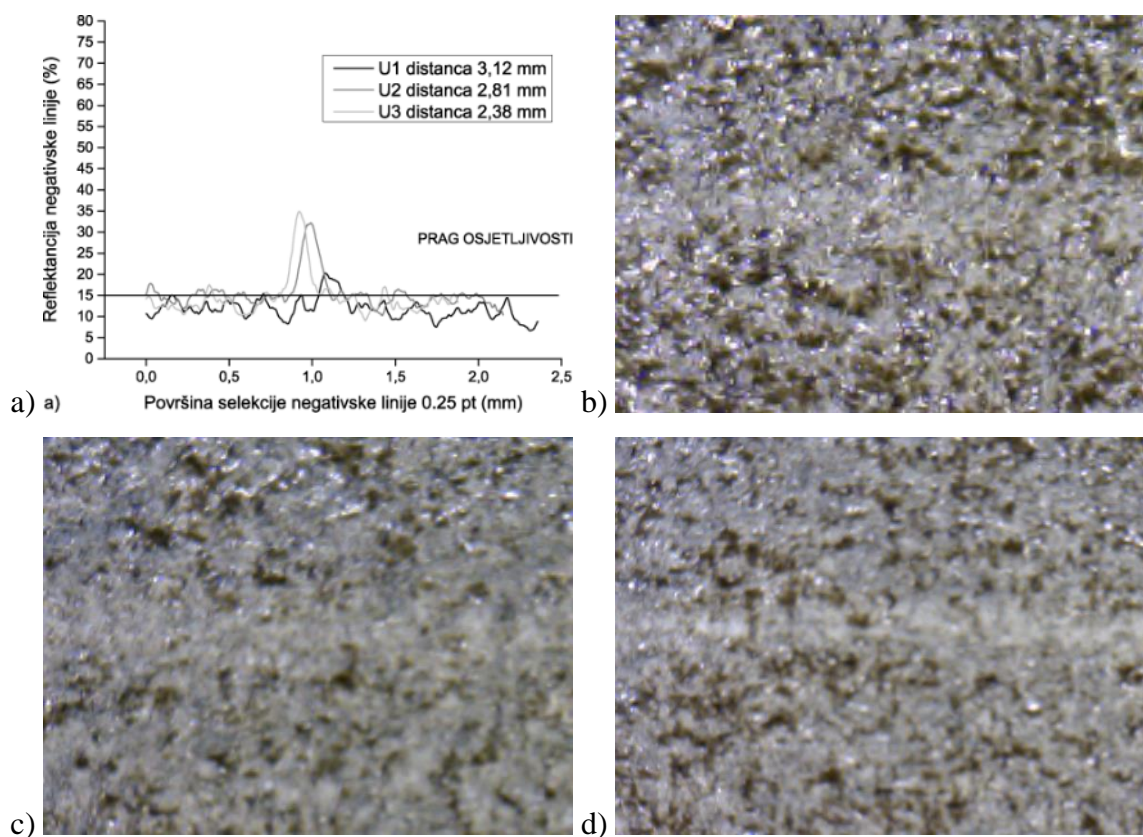
Slika 49.a prikazuje reprodukciju najdebljih referentnih linija (4 pt). Najvećom eksperimentalnom visinom ispisne glave od $h_1=3,12$ mm postiže se najdeblja linija u pozitivu koja iznosi $b_P=1,9$ mm. Odmicanjem ispisne glave od podloge širina linije se smanjuje. To znači da pomakom ispisne glave podlozi za $\Delta h=0,31$ mm (srednja distanca) postiže širinu linije od $b_P=1,82$ mm. Maksimalnim pomakom $h_3=2,38$ mm ostvaruje se širina linije od $b_P=1,23$ mm. To znači da je razlika u širini linije nastala promjenom visine ispisne glave ($\Delta b_P=0,67$ mm).



Slika 49. reflektancija crno otisnutih linija debljine 4 pt u pozitivu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Najvećom distancom ispisne glave $h_1=3,12$ mm reproducirana je najtamnija linija u pozitivu. Pritom je ostvarena reflektancija u 5 pikova s vrijednostima od $R_P=9,43\%$, $R_P=10,18\%$, $R_P=9,65\%$, $R_P=9,35\%$ i $R_P=10,01\%$, (srednja vrijednost od $R_{P_sr}=9,72\%$).

Približavanjem ispisne glave podlozi srednja distanca $h_2=2,81$ mm ostvaruje reflektanciju linije u vrijednostima od $R_P=10,64\%$, $R_P=12,05\%$, $R_P=10,92\%$, $R_P=11,37\%$ i $R_P=11,86\%$. Tj, njena srednja vrijednost iznosi $R_{P_sr}=11,36\%$. Tako nastala razlika u reflektanciji promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm iznosi $\Delta R_P=1,64\%$. Finalnim pomakom ispisne glave od $\Delta h=0,43$ mm najmanja distanca realizira liniju reflektancije $R_P=11,16\%$, $R_P=10,7\%$ i $R_P=10,19\%$ (srednja vrijednost iznosi $R_{P_sr}=10,68\%$). Tima je ostvarena razlika u reflektanciji između srednje i najmanje distance od $\Delta R_P=0,68\%$ odnosno ukupna razlika između najtamnije i najsvjetlije linije od $\Delta R_P=1,44\%$. To znači da najdeblja linija nije homogena i da Inkjet pisači u impulsnim ciklusima nanosi boju (taktovima). Samim time očituje se i 5 karakterističnih vrhova reflektancije.

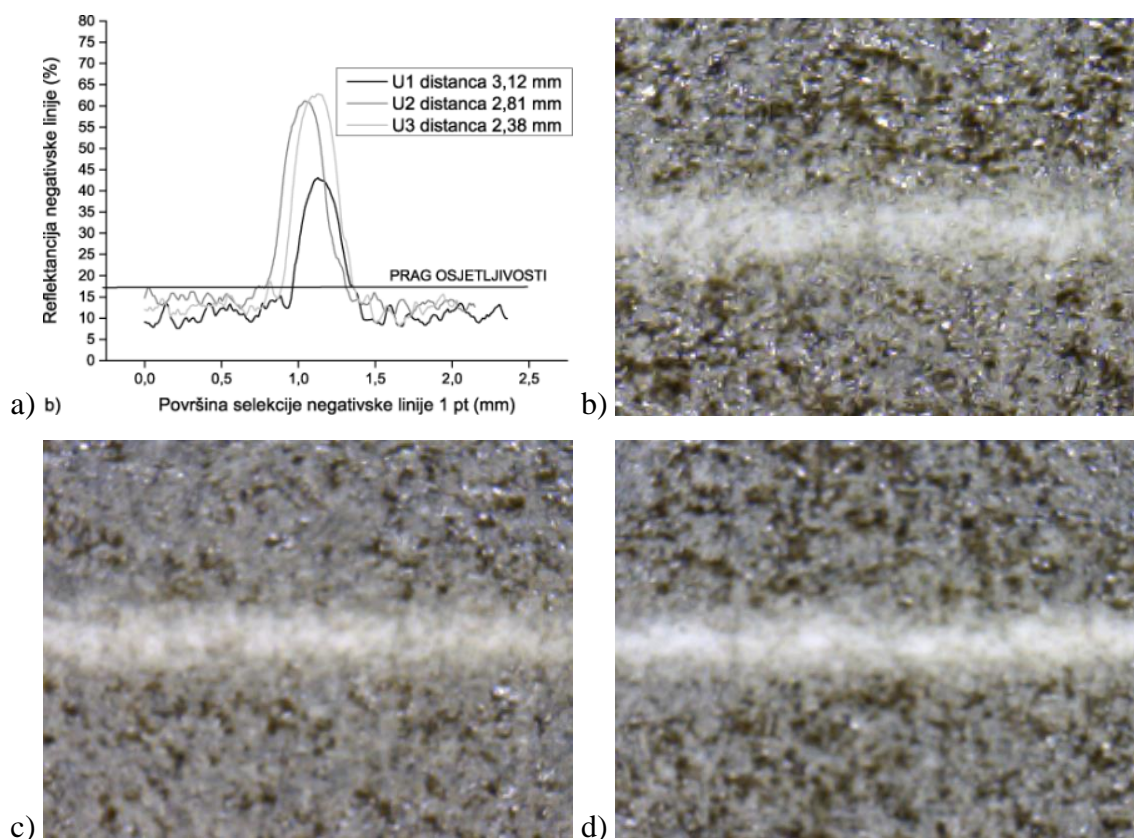


Slika 50. reflektancija crno otisnutih linija debljine 0,25 pt u negativu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Na slici 50.a prikazana je reflektancija crno otisnute negativske linije. Kod najveće visine ispisne glave $h_1=3,12$ mm referentna linija od 0,25 pt ostvariti će širinu od $b_N=0,23$ mm. Smanjenjem distance ispisne glave dolazi do smanjenja satelitskih kapljica boje što rezultira povećanjem širine linija. Srednja distanca ispisne glave $h_2=2,81$ mm realizira širinu linije od $b_N=0,29$ mm, čime je ostvareno odstupanje od $\Delta b_N=0,06$ mm. Pomicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm razlika u širini linije je minimalna te iznosi $b_N=0,01$ mm, pri čemu je širina linije reproducirana najmanjom distancom $b_N=0,28$ mm.

Najkontrastnija linija otisnuta je najvećom distancom $h_1=3,12$ mm te njena reflektancija iznosi $R=20,20\%$. Smanjenjem udaljenosti ispisne glave od podloge linije postaju blijede. Tako reflektancija linije otisnute srednjom distancom iznosi $R_N=31,87\%$, odnosno najmanjom distancom iznosi $R_N=34,82\%$. To znači da kontrast linije pomakom od $\Delta h=31$ mm iznosi $\Delta R_N=2,95\%$. Daljnjim povećanjem ispisne glave ($\Delta h_2 = 0,43$ mm) ostvariti će se promjena u reflektanciji ($\Delta R_N=11,67\%$). Time je ostvarena ukupna razlika u reflektanciji od $\Delta R_N=14,62\%$.

Kod referentne linije od 1 pt (slika 51.a) najveća distanca ispisne glave od podloge ($h_1=3,12$ mm) formira širinu linije od $b_N=0,47$ mm. Promjenom visine glave (približavanje tiskovnoj podlozi) srednja distanca $h_2=2,81$ mm realizira širinu linije od $b_N=0,49$ mm. Dodatnim približavanjem ispisne glave tiskovnoj podlozi razlika u širini linije nestaje, te iznosi $\Delta b_N=0,01$ mm. To znači da razlika između najdeblje i najtanje negativske linije iznosi $\Delta b_N=0,02$ mm.

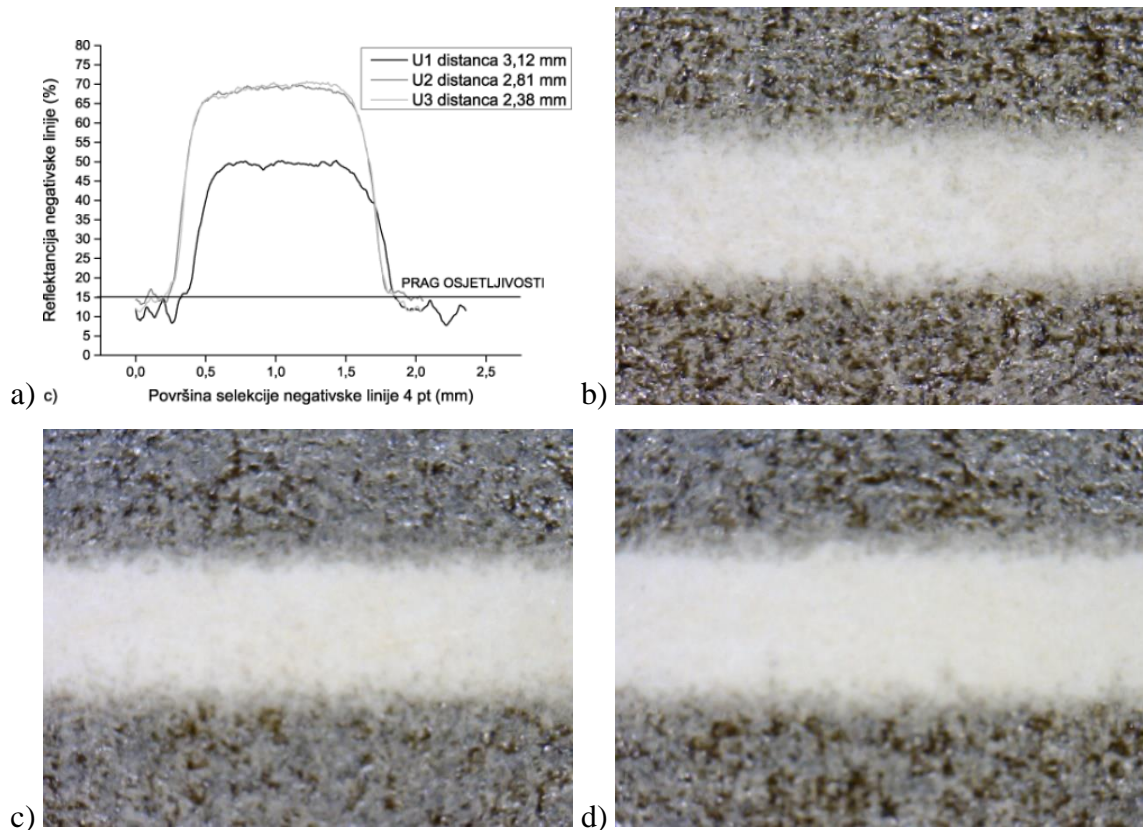


Slika 51. reflektancija crno otisnutih linija debljine 1 pt u negativu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Povećanjem udaljenosti između ispisne glave i tiskovne podloge formiraju se i tamnije linije. Tako će najveća distanca $h_1=3,12$ mm realizirati liniju čija reflektancija iznosi $R_N=42,79\%$. Približavanjem ispisne glave podlozi za $\Delta h=0,31$ mm vrijednost reflektancije raste za $\Delta R_N=18,38\%$. To znači da srednja distanca ispisne glave ostvaruje reflektanciju od $R_N=61,17\%$. Dodatnom promjenom visine za $\Delta h=0,43$ mm postiže se reflektancija linije od $R_N=62,80\%$ čime je postignuta razlika od $\Delta R_N=1,63\%$. Ukupno odstupanje između najtamnije i najsvjetlije linije tako iznosi $\Delta R_N=20,01\%$.

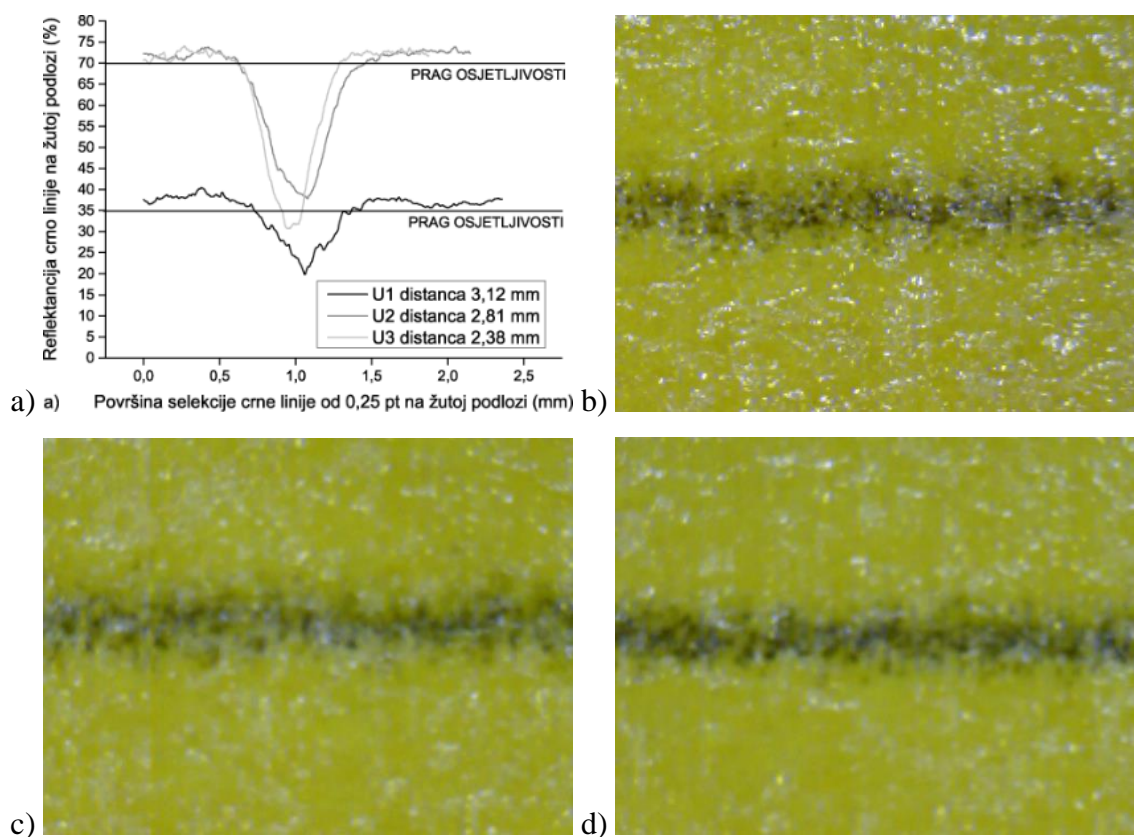
Kod najdebljih referentnih linija (4 pt) najveća širina linije realizirana je najmanjom distancom ispisne glave $h_3=2,38$ mm. To iznosi $b_N=1,56$ mm. To je prikazano na slici 52.a. Odmicanjem ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm neće se postići velika razlika u širini linije $\Delta b_N=0,01$ mm. Pritom će srednja distanca ostvariti širinu negativske linije od $b_N=1,55$ mm. Najveća distanca $h_1=3,12$ mm reproducira liniju širine $b_N=1,53$ mm. To

znači da će se maksimalnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm ostvariti devijacija od minimalnih $\Delta b_N=0,03$ mm.



Slika 52. reflektancija crno otisnutih linija debljine 4 pt u negativu nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Najveća distanca $h_1=3,12$ mm reproducira najtamnije linije postizući tako reflektanciju koja iznosi $R_N=50,15\%$. Pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm realizirati će se linija reflektancije $R_N=69,5\%$, što u konačnici formira razliku od $\Delta R_N=19,35\%$. Dodatnim pomakom od $\Delta h=0,43$ mm neće se ostvariti veća razlika $\Delta R_N=1,16\%$. To znači da reflektancija ostvarena najmanjom distancom ispisne glave ($h_3=2,38$ mm) iznosi $R_N=70,66\%$. Maksimalnim pomakom ispisne glave od $\Delta h_3 = 0,74$ mm ostvaruje se razlika u kontrastu linije od $\Delta R_N=20,51\%$.



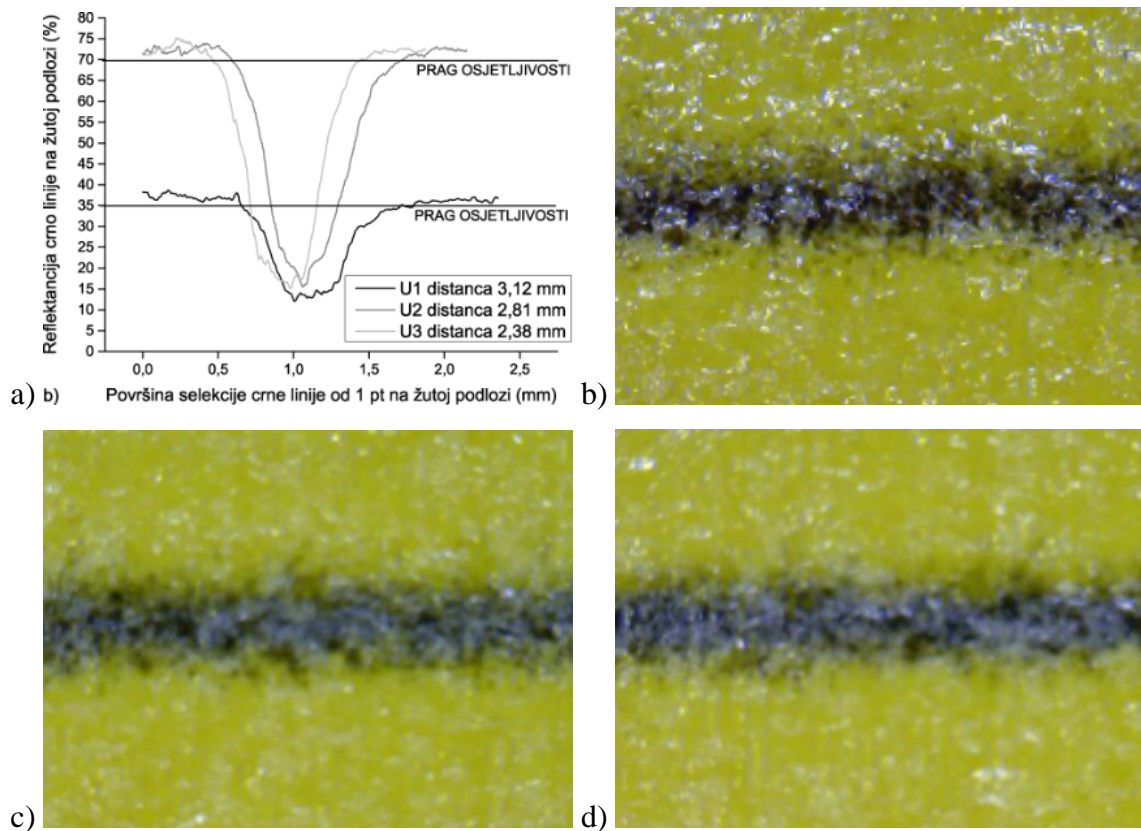
Slika 53. reflektancija crno otisnutih linija debljine 0,25 pt na kontrastnoj žutoj podlozi nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Na slici 53.a prikazana je reflektancija crno otisnutih linija na kontrastnoj žutoj podlozi. Povećanjem udaljenosti ispisne glave od podloge povećava se širina linije. Ispisnom glavom koja je najbliža podlozi ($h_3=2,38$ mm) formira se referentna linija od 0,25 pt širine $b_N=0,73$ mm. Povećanjem razmaka ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm postiže se linija širine $b_N=0,83$ mm čime dolazi do devijacije od $b_N=0,10$ mm. Ukupnim pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm (najveća distanca) reproducira se linija širine $b_N=0,92$ mm. Tako je u eksperimentu postignuta razlika u širini linije od $\Delta b_N=0,09$ mm između srednje i najveće distance, odnosno ukupna razlika između širine linije otisnute najvećom i najmanjom distancom od $\Delta b_N=0,19$ mm.

Najvećom distancom $h_1=3,12$ mm reproducirana je najtamnija linija sa reflektancijom od $R_{\check{z}}=19,86\%$. Pomakom ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,31$ mm ostvaruje se najsvjetlija linija čija reflektancija iznosi $R_{\check{z}}=37,86\%$. Time je ostvarena ukupna razlika između linije sa najvećim i najmanjim kontrastom od $\Delta R_{\check{z}}=18\%$.

Najmanjom distancom ispisne glave $h_3=2,38$ mm postignuta je reflektancija od $R_{\lambda}=30,76\%$. To znači da najtamnije linije odstupaju za $\Delta R_{\lambda}=10,9\%$, dok najsvjetlije linije odstupaju za $\Delta R_{\lambda}=7,10\%$.

Kod reprodukcije srednjih referentnih linija od 1 pt (slika 54.a) uočava se kako najmanja distanca realizira liniju širine $b_{\lambda}=0,85$ mm. Promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,43$ mm realizira se linija debljine od $b_{\lambda}=1,01$ mm. Pritom je ostvarena razlika u širini linije od $\Delta b_{\lambda}=0,16$ mm. Koristeći najveću udaljenost ispisne glave od podloge $h_1=3,12$ mm otisnuta je linija širine $b_{\lambda}=1,06$ mm. Samim time primjenom srednje i najveće distance dobivena je razlika između širine od $b_{\lambda}=0,05$ mm. Dodatnom promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,74$ mm postignuta je ukupna razlika u širini linija od $\Delta b_{\lambda}=0,21$ mm.

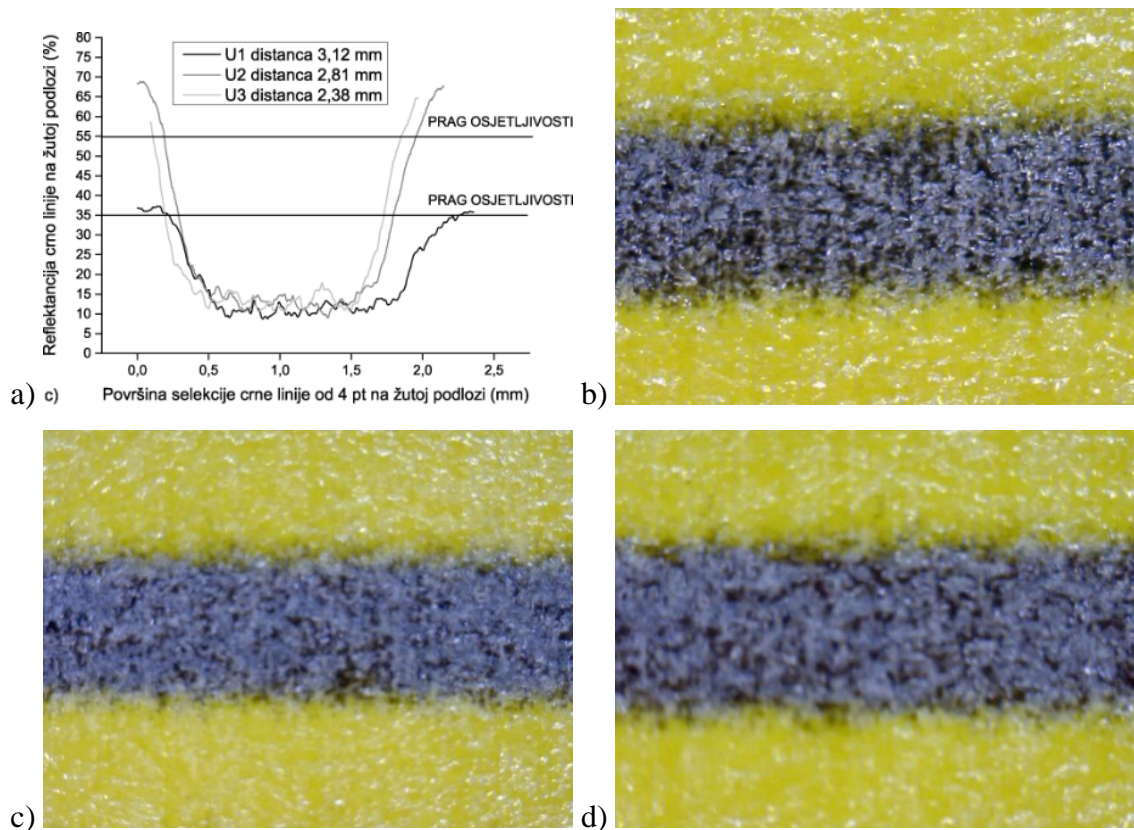


Slika 54. reflektancija crno otisnutih linija debljine 1 pt na kontrastnoj žutoj podlozi nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi će korištenjem najveće distance ispisne glave otisnuti reflektanciju od $R_{\check{z}}=12,08\%$. Najveća udaljenosti ispisne glave od podloge daje najtamnije linije, dok smanjenjem udaljenosti reproducirane linije postaju blijede. Promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,31$ mm dobiva se linija reflektancije od $R_{\check{z}}=15,63\%$. Time je ostvarena ukupna devijacija od $\Delta R_{\check{z}}=3,55\%$. Promjenom distance za $\Delta h=0,43$ mm neće se ostvariti veće razlike, te će razlika u reflektanciji iznositi minimalnih $\Delta R_{\check{z}}=0,38\%$. Tako će uzorak otisnut najmanjom distancom postići reflektanciju od $R_{\check{z}}=15,25\%$.

Na slici 55.a se uočava kako najveća visina ispisne glave $h_1=3,12$ mm reproducira referentne linije (4 pt) sa širinom od $b_{\check{z}}=2,12$ mm. Korištenjem srednje visine ispisne glave $h_2=2,81$ mm realiziraju se linije debljine $b_{\check{z}}=1,93$ mm. Pritom dolazi do odstupanja u širini linije za $\Delta b_{\check{z}}=0,19$ mm.

Maksimalnim pomakom ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,74$ mm ostvaruje se razlika u širini linije od $\Delta b_{\check{z}}=0,34$ mm. Time će najmanja distanca realizirati širinu linije od $b_{\check{z}}=1,78$ mm. Time je dobivena devijacija od između širine $\Delta b_{\check{z}}=0,15$ mm linije (otisnute najmanjom i srednjom distancom).



Slika 55. reflektancija crno otisnutih linija debljine 4 pt na kontrastnoj žutoj podlozi nastalih eksperimentalnim pomicanjem ispisne glave Inkjet printera: a) dijagram reflektancije, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Linija reproducirana najvećom distancom ispisne glave $h_1=3,12$ mm ostvaruje reflektancija u vrijednosti $R_P=8,72\%$. Promjenom distance za $\Delta h=0,31$ mm ne ostvaruje se veća razlika u reflektanciji te ona iznosi $\Delta R_{\dot{z}}=0,28\%$. Linija realizirana srednjom distancom ispisne glave $h_3=2,81$ mm daje reflektanciju od $R_{\dot{z}}=9\%$. Dodatnim približavanjem ispisne glave tiskovnoj podlozi za $\Delta h_2 = 0,43$ mm dobiva se reflektancija od $R_{\dot{z}}=10,62\%$. Pritom je razlika između reflektancija $\Delta R_{\dot{z}}=1,62\%$ (dobivenih srednjom i najmanjom distancom), dok je ukupna razlika u reflektanciji $\Delta R_{\dot{z}}=1,9\%$.

4. ZAKLJUČCI

Na bazi svih ostvarenih mjerenja može se zaključiti da će nekontrolirano povećanje visine ispisne glave negativno utjecati na kvalitetu reprodukcije. Pritom do većih devijacija dolazi u realizaciji najmanjih tiskovnih elemenata (rasterske točkice, linije u pozitivu, linije u negativu i linije na već otisnutoj površini).

Varijacija u visini ispisne glave vidljiva je na svim rasterskim površinama. Tako će se povećanjem udaljenosti ispisne glave $\Delta h=0,74 \mu\text{m}$ (između najmanje pozicije $h_3=2,38 \text{ mm}$) i najveće pozicije $h_1=3,12 \text{ mm}$) ostvariti razlika u obojenju svjetlih tonova od $\Delta Z_{10-30\%}=1,13\%$. Povećanjem površinske pokrivenosti doći će do smanjenja prirasta rastertonske vrijednosti koja će kod 70% RTV-a iznositi $\Delta Z_{70\%}=0,92\%$. Odstupanje ostvareno kod najtamnijih tonova između najmanje distance ($h_3=2,38 \text{ mm}$) i najveće distance ($h_1=3,12 \text{ mm}$) ispisne glave koje iznosi $\Delta Z_{80\%}=1,82\%$.

Promjenom visine ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ ostvaruje se razlika u otisnutoj površini od $\Delta A_{1\%}=159,51 \mu\text{m}^2$. Povećanjem rastertonske vrijednosti (3% RTV) ta razlika se smanjuje pri čemu ona iznosi $\Delta A_{3\%}=94,42 \mu\text{m}^2$. Kod najtamnije analiziranog svijetlog područja (5% RTV) ta se razlika dodatno smanjuje te iznosi $\Delta A_{5\%}=49,1 \mu\text{m}^2$. Veće visine ispisne glave (h_1, h_2) će ostvariti veće promjene RTV-a u području od 1 do 3 %RTV-a. Nakon toga sljedi inverzija gdje će površina od 5 % RTV-a ostvarivati bolju reprodukciju sa visinom glave h_3 .

Promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ direktno se utječe na veličinu reproduciranih tiskovnih elemenata pri čemu povećanje za 1% RTV iznosi $\Delta d_{1-2\%}=3,47 \mu\text{m}$. Dakle, povećanjem rastertonske vrijednosti za 2% RTV ta se razlika smanjuje i ona iznosi $\Delta d_{3\%}=2,29 \mu\text{m}$. Kod najtamnijeg svijetlog područja (5% RTV) razlika je najmanja i ona iznosi $\Delta d_{5\%}=1,16 \mu\text{m}$.

Najveću cirkularnost (najbliža krugu) ostvaruje najmanja distanca ($h_3=2,38 \text{ mm}$) te iznosi $C_{U3}=0,64$, dok je najmanja cirkularnost ostvarena je najvećom distancom ($h_1=3,12 \text{ mm}$) te ona iznosi $C_{U1}=0,57$. Pritom ostvarena razlika iznosi $\Delta C_{U3-U1}=0,07$.

Kvaliteta otisnute linije pada s porastom visine ispisne glave. Pomakom ispisne glave od podloge za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ direktno se utječe na promjenu debljina otisnutih linija. Pritom

će biti ostvareno povećanje od $\Delta b_{U1-U3}=33,39 \mu\text{m}$ za pozitivske linije i $\Delta b_{U1-U3}=0,38 \mu\text{m}$ za negativske linije. Otisnute crne linije na kontrastnoj žutoj podlozi bilježe povećanje od $\Delta b_{U1-U3}=11,3 \mu\text{m}$.

Eksperimentalnom promjenom visine ispisne glave za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ ostvaruje se razlika u zamrljanosti linija. Kod pozitivskih i negativskih linija početna zamrljanost raste pomakom ispisne glave. Tako će povećanje visine ispisne glave utjecati na povećanje zamrljanosti od $\Delta b_Z=74,14 \mu\text{m}$ za pozitivsku liniju i $\Delta b_Z=26,39 \mu\text{m}$ za negativsku liniju. Crno otisnute linije na žutoj podlozi ostvaruju znatno veću promjenu koja iznosi $\Delta b=116,9 \mu\text{m}$. Pritom je zamrljanost realizirana manjom distancom $h_3=2,38 \text{ mm}$ ($b_Z=348,94 \mu\text{m}$) veća od zamrljanosti realizirane većom distancom $h_1=3,12 \text{ mm}$ ($b_Z=232,04 \mu\text{m}$).

Kod krajnje zamrljanosti najbolje rezultate daje najmanja distanca $h_3=2,38 \text{ mm}$. Povećanjem distance ispisne glave za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ zamrljanost raste čime se ostvaruje razlika u krajnjoj zamrljanosti od $\Delta b_Z=62,3 \mu\text{m}$ (za pozitivsku liniju), $\Delta b_Z=34,21 \mu\text{m}$ (za negativsku liniju) te $\Delta b_Z=227,76 \mu\text{m}$ (za crno otisnute linije na kontrastnoj žutoj podlozi).

Kod početne nazubljenosti vrijednost nazubljenosti raste odmicanjem ispisne glave od podloge. Tako će se pomakom ispisne glave za $\Delta h=0,74 \text{ mm}$ direktno utjecati na povećanje početne nazubljenosti. Pritom razlika u početnoj nazubljenosti ostvarena pomakom ispisne glave iznosi $\Delta b_N=2,54 \mu\text{m}$ (za pozitivske linije), $\Delta b_N=9,63 \mu\text{m}$ (za negativske linije) i $\Delta b_N=15,59 \mu\text{m}$ (za crno otisnute linije na kontrastnoj žutoj podlozi).

Pomakom ispisne glave od podloge direktno se utječe na povećanje krajnju nazubljenosti. Tako će razlika između najviše pozicije ($h_1=3,12 \text{ mm}$) i najniže pozicije ($h_3=2,38 \text{ mm}$) ispisne glave ostvariti nazubljenost $\Delta b_N=6,38 \mu\text{m}$ (za pozitivske linije), $\Delta b_N=6,73 \mu\text{m}$ (za negativske linije) i $\Delta b_N=6,68 \mu\text{m}$ (za crne linije otisnute na žutoj podlozi).

Visina ispisne glave od $h_3=2,38 \text{ mm}$ ostvaruje najbolje rezultate, i otiskivanje vrhunskih višetonskih reprodukcija. Pomicanje glave u visinu moguće je kod reprodukcije većih i manje zahtjevnih grafičkih proizvoda gdje se zbog velike produkcijske brzine ne može dozvoliti kontakt tiskarske podloge i ispisne glave. To je dokazano i s inverzijom rezultata elemenata veće dimenzije.

U narednim ispitivanjima biti će ispitane i ostale procesne boje. Time će se ostvariti pretpostavka optimalnog „setup-a“ za kolorno otiskivanje i mogućnost otiskivanja različitih grafičkih proizvoda.

5. LITERATURA

1. Kipphan, H. (2001.), The handbook of print media, Springer
2. Majnarić, I. (2004.), Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
3. Majnarić, I. (2015.), Osnove digitalnog tiska, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
- 4.***<http://www.vcesolutions.com/wp-content/uploads/2014/09/Inkjet-Printhead-Characteristics-Application-Requirements.pdf>, 10.05.2017.
- 5.***http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2008/ipgconference/nr_arprdisruptivetechologies.pdf, 10.05.2017.
- 6.*** <http://global.kyocera.com/prdct/printing-devices/inkjet-printheads/>, 10.05.2017.
- 7.*** http://www.kyocera.eu/index/products/printing_devices.html, 10.05.2017.
- 8.*** http://www.panasonic.com/global/corporate/ais/news/2013/1025_1.html, 10.05.2017.
- 9.*** http://www.fujifilmusa.com/press/news/display_news?newsID=880745, 10.05.2017.
- 10.*** http://www.fujifilmusa.com/press/news/display_news?newsID=880173, 3.06.2017.
- 11.*** https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/NEW_Qclass_Bro_online.pdf, 3.06.2017.
- 12.*** http://www.fujifilmusa.com/press/news/display_news?newsID=880190, 3.06.2017.
- 13.*** <http://www.digiprint-supplies.com/en/hp-scitex-x2-printhead-pphhp11791.html>, 3.06.2017.

- 14.*** <http://www.digiprint-supplies.com/en/ricoh-gen4-printhead-n220792-pphri12681.html>, 3.06.2017.
- 15.*** <https://www.epson.co.uk/about/micro-piezo-technology>, 3.06.2017.
- 16.*** <https://www.trident-itw.com/products/printheads/768jet.aspx>, 24.7.2017.
- 17.***<https://www.trident-itw.com/products/printheads/384jet.aspx>, 24.7.2017.
- 18.*** <https://www.trident-itw.com/products/printheads/256jet-s.aspx>, 24.7.2017.
- 19.*** <http://www.xaar.com/en/media-centre/new-xaar-1001-gs12-printhead-to-drive-ceramics-industry-faster>, 24.7.2017.
- 20.*** <http://www.xaar.com/en/technology/xaar-fundamentals>, 24.7.2017.
- 21.*** <https://www.konicaminolta.com/inkjet/inkjethead/1024/index.html>, 24.7.2017.
- 22.*** <https://www.rolanddga.com/>
- 23.*** <http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>
- 24.*** http://www.wide-format-printers.org/2FLAAR_reports/autodownloads/422_QEA_analisys.pdf, 24.7.2017.
- 25.***
<http://mail.qea.com/upload/files/products/PersonalIAS%20Spec%20Sheet%201004092.pdf>, 24.7.2017.
- 26.*** <http://www.dino-lite.hr/universal/>, 24.7.2017.
- 27.*** <http://www.dino-lite.hr/wp-content/uploads/2012/02/Prospekt-Dino-Lite-2011.pdf>, 24.7.2017.
- 28.*** http://www.fedrigoni.co.uk/sites/default/files/Sirio%20Color_2.pdf 28.7.2017.