

ANALIZA DIMENZIJA MIKROELEMENATA OTISKA U POSTUPKU PROVERE ORIGINALNOSTI DOKUMENATA

Gordan PEROVIĆ, Dragan MITRAKOVIĆ*, Tomislav GROZDIĆ, Predrag ŽIVKOVIĆ*
Institut bezbednosti, Kraljice Ane bb, Beograd
*Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd

(Primljen 19. septembra 2003., prihvaćen 7. novembra 2003.)

Sadržaj – U radu su navedene metode za određivanje specifičnosti reprodukcija (falsifikata) zaštićenih dokumenata dobijenih različitim tehnikama štampanja. Metode se baziraju na analizi štampanih otisaka i merenju dimenzija karakterističnih, uvećanih detalja, dobijenih pomoću mikroskopa i digitalne kamere. Kao softver za analizu koristi se program *Image Pro Plus*. Definisane su metode za merenje dva dimenziona parametra: širine linije i poluprečnika rasterske tačke. Ispitani su otisci reprodukcija saobraćajne dozvole i pasoša SRJ, dobijeni pomoću digitalnih štampača i ofset štamparskih mašina. Pokazano je da se razmatrane geometrijske karakteristike mogu koristiti kao kriterijum za utvrđivanje falsifikata.

Ključne reči: veštačenje dokumenata, mikrostruktura otiska, digitalna štampa, ravna ofset štampa.

Documents Inspection through Analysis of Microelements in Proofs

Abstract – The paper discusses methods for determining the specificity of reproductions (forgeries) of protected documents obtained through various printing techniques. The methods are based on the analysis of printed proofs and measuring of dimensions of characteristic, enlarged details, obtained with a microscope and a digital camera. The software for the analysis is *Image Pro Plus*. The paper defines methods for measuring the two dimensional parameters: line width and screen dot's radius. Proofs of reproductions were examined of the vehicle registration card and the FRY passport, obtained with digital printers and offset printing machines, and it was proved that the discussed geometric characteristics may be used as the criteria for detection of forgeries.

Key words: documents forensics, microstructure of proofs, digital printing, offset printing.

1. Uvod

Razvoj računarske tehnologije dovodi do naglog i konstantnog poboljšanja kvaliteta i osobina personalnih računara i njegovih periferija (skenera, digitalnih kamera kao ulaznih i štampača kao izlaznih uređaja) što je uzrokovalo porast kvaliteta reprodukovanih, štampanih otisaka [1-5].

Dostupnost savremene opreme za reprodukciju dovela do njene zloupotrebe, odnosno do poplave falsifikata rađenih na različitim tipovima digitalnih kolor štampača [6].

U vezi sa ovim, pred veštacima koji se bave ispitivanjem falsifikovanih dokumenata, pojavljuje se nov problem: identifikovati tip i marku (proizvo-

đača) uređaja na kome je neki falsifikat urađen, ili čak detektovati da li je urađen na tačno određenom štampaču.

Različite tehnologije digitalne štampe (*laser, LED, direct thermal, wax thermal transfer, dye sublimation, continuous ink-jet, bubble jet, piezoelectric, solid ink-jet*) razlikuju se po rezoluciji, načinu formiranja rasterske tačke, veličini tačke, vrsti koloranta (čvrst toner, pigment ili rastvorna boja), načinu vezivanja boje za papir, trajnosti i otpornosti otiska na spoljašnje uticaje i drugo [7-10].

Ove razlike omogućavaju da se analizom odštampanog otiska izvrši identifikacija vrste štampa-

ča, na kome je otisak dobijen [11-13]. Mikroskopska ispitivanja ovde su od ključnog značaja [14].

Forenzičke laboratorije vodećih službi bezbednosti poseduju baze podataka sa detaljnim prikazima karakteristika otisaka za sve štampače koji su im dostupni [15]. Ove baze konstantno se dopunjuju.

Danas se za ispitivanje falsifikovanih dokumenata najčešće koriste dva uređaja: *Video Spektral Comparator (VSC 2000)* engleske firme *Foster & Freeman*, ili *Docucenter 3000* švajcarske firme *Projectina*.

To su radne stanice na bazi PC računara za ne-destruktivno ispitivanje dokumenata, koje poseduju čitav opseg različitih izvora svetla (tungstenova, halogena, fluorescentna lampa) sa automatskom selekcijom (pobuđujućih i barijernih) filtera, spektrofotometar koji meri apsorpciju, refleksiju, transmisiju i fluorescenciju svetlosti u opsegu od 400 do 1000 nm, mikroskop, CCD video kameru koja obezbeđuje sliku ispitivanog uzorka na monitoru i naravno softver (pod Windows-om) za analizu ispitivanih uzoraka [16,17].

Softver ima brojne mogućnosti analiziranja pojedinih snimljenih detalja na ispitivanom, spornom dokumentu i njihovog poređenja sa originalima čije su slike uskladištene na računaru: poređenje dela po dela uvećanih detalja sporne slike i uskladištene slike na vertikalno ili horizontalno podeljenom monitoru, spajanje različitih delova sporne i uskladištene slike, preklapanje sporne i uskladištene slike sa pomeranjem po osama i uglovima, stroboskopsko preklapanje sporne i uskladištene slike. Softver poseduje i filtere za obradu i poboljšanje kvaliteta slike (oštrina, kontrast, kolor balans...) merenje dimenzija, prečnika, uglova i dr.

U ovom radu prikazuju se razvijene metode za merenje dimenzija mikrostrukture odštampanog otiska, pomoću uobičajene PC konfiguracije (računar, skener, štampač), komercijalnog i relativno jeftinog softvera (samo softver za *Projectina 3000* radnu stanicu košta oko 40.000 €), *Adobe-ov Photoshop* i *Media Cybernetics-ov Image-Pro Plus* i dostupne laboratorijske opreme (mikroskop i digitalna kamera).

Analizirani su širina linije i poluprečnik rasterske tačke.

2. Eksperimentalni deo

2.1. Uzorci reprodukcija originalnih dokumenata

Određivanje širine linije rađeno je na zaštitnoj niti na originalnoj saobraćajnoj dozvoli SRJ i na dva tipa falsifikata. Na jednom nit je ucrtana sredstvom za pisanje, a na drugom odštampana tehnikom ravne ofset štampe.

Određivanje poluprečnika rasterske vršeno je na motivu grba SRJ na forzecu originalnog pasoša i na njegovim reprodukcijama, dobijenim različitim tehnikama štampanja. U cilju dobijanja reprodukcija, navedeni grafički motiv sa obrasca originalnog dokumenta najpre je skeniran pomoću *Hewlett Packard ScanJet 7400C* skenera. Motiv je skeniran u rezoluciji 1200×1200 dpi kao 24-bitna RGB kolor slika u TIFF formatu. Skeniranje je vršeno bez menjanja parametara podešavanja (ostavljene su *default* vrednosti), kako bi se izbegao subjektivni uticaj operatera na dobijenu skeniranu sliku.

Skenirana datoteka je potom iz programa *Corel-Draw* odštampana na dva laserska i dva ink-džet štampača:

1. *Tektronix Phaser 780, laser, 600×600 dpi*
2. *Tektronix Phaser 860, solid ink laser, 1200×1200 dpi*
3. *Hewlett Packard 2000, ink-jet, PhotoRet II, 600×600 dpi*
4. *Hewlett Packard DeskJet 990Cxi, ink-jet, PhotoRet III, 2400×1200 dpi*

Na svim štampačima skenirana datoteka štampana je sa *default* vrednostima podešavanja i u maksimalnim rezolucijama za dati štampač.

Uz navedene digitalne otiske, od fajla dobijenog pomoću *HP Scan Jet 7400C* skenera urađena je priprema za štampu na filmu (150 lpi, 3000 dpi), kopirane su ofset ploče i odštampani test uzorci na dve ofset mašine:

5. *Heidelberg Offset SORMZ B2, dvobojna ofset mašina za štampu iz tabaka*
6. *Heidelberg Speedmaster B1, četvorbojna ofset mašina za štampu iz tabaka*

Otisci digitalnih štampača štampani su na *euro-COPY* kancelarijskom papiru oznake *ECOPY 480*, formata A4 i gramature 80 g/m^2 . Otisci štamparskih mašina štampani su na ofset papiru *Polset* gramature 80 g/m^2 .

2.2. Mikroskopske slike detalja uzoraka reprodukcija

Ispitivanje skeniranih reprodukcija zaštićenih dokumenata, dobijenih različitim tehnikama štampanja, bazira se na softveru koji obrađuje slike (fotografije) dobijene pomoću mikroskopa. Za dobijanje mikroskopskih slika korišćen je standardni refleksi- oni *Carl Zeiss Jena* mikroskop. Izabrani detalji od štampanih test uzoraka snimani su sa dva uvećanja: $4,1$ (okular) \times $2,5$ (objektiv) što daje uvećanje od $10,25$ i $4,1$ (okular) \times $1,6$ (objektiv) što daje uvećanje od $6,56$.

Za akviziciju slika korišćena je digitalna kamera *Epson Photo PC 850Z* sa rezolucijom od $2,1$ megapiksela. Kamera je pomoću adaptera i prstena montirana na okular mikroskopa, a snimano je u *macro* režimu (autofokus na udaljenosti od 20 do 50cm) sa optičkim uvećanjem od $2 \times$, što množeno sa navedenim uvećanjem mikroskopa daje ukupno uvećanje aparature od $20,50$ odnosno $13,12$. Snimano je u prostoriji sa veštačkim osvetljenjem, sa upaljenom lampom mikroskopa i bez blica, u automatskom režimu, sa osetljivošću ISO 100 . Kamera u *HyPict* režimu daje 24 -bit RGB slike u rezoluciji 1984×1488 piksela, odnosno komprimuje ih u JPG fajlove veličine oko 500 KB .

Fotografije uvećanih detalja sa otisaka reprodukcija analizirane su pomoću softvera *Image-Pro Plus* (verzija 4.5) firme *Media Cybernetics*. Program radi sa bitmapiranim, grafičkim formatima datoteka dobijenim sa kamera, digitalnih fotoaparata, mikroskopa, skenera i drugih ulaznih uređaja.

3. Određivanje širine linije

Postupkom se u programu *Image Pro Plus* određuje rastojanje između dve izabrane tačke na otisku, u ovom slučaju između dve tačke koje označavaju širinu linije. Pre bilo kakvog dimenzionog ispitivanja i učitavanja slike u program, neophodno je izvršiti kalibraciju, tako što se pod istim uvećanjem mikroskopa, pod kojim je izvršeno fotografisanje

detalja otiska koji se ispituje, snimi detalj poznatih dimenzija.

Program omogućava da se meri koliko u ovom poznatom rastojanju ima piksela i na osnovu toga određuje koliko piksela ima jedinica mere, koju smo na ovaj način definisali. Pri merenju, selektovano rastojanje na slici u pikselima preračunava se u broj definisanih jedinica dužine.

Određivanje rastojanja vrši se u prozoru *Measurements* iz menija *Measure*, izborom karakteristike (*Features*) koja se meri (u ovom slučaju *Create click and drag line*) i selektovanjem početne i krajnje tačke na slici. Meri se najkraće rastojanje između dve tačke koje predstavljaju širinu linije, tj. duž koja spaja početnu i krajnju tačku, treba da je normalna na pravac prostiranja linije koja se meri. Pri tome program za svaki izabrani par tačaka tabelarno daje njihove koordinate i rastojanje u mikrometrima. Ovako dobijeni rezultati selektovanjem opcije *DDE to Excel* sa kartice *Input/Output* prozora *Measure*, eksportuju se u *Excel*, gde se crta dijagram širina (μm) u odnosu na redni broj merenja.

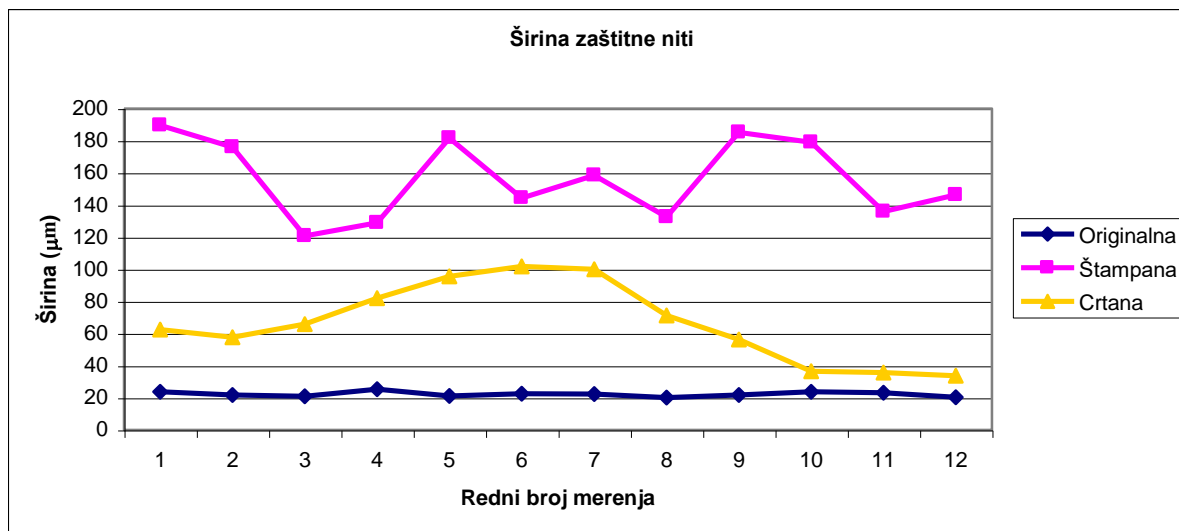
Navedenom metodom merena je širina zaštitne niti na originalnom obrascu saobraćajne dozvole SRJ i na dva tipa reprodukcija. Na jednom nit je ucrtana flomasterom ili sličnim sredstvom za pisanje, a na drugom je odštampana ofset tehnikom. Širina je merena na dvanaest različitih mesta duž niti, pod uglom od 90° na pravac prostiranja. Rezultati merenja dati su na grafiku 1.

Pored uočljive razlike u širini (originalna nit je nešto preko $20\mu\text{m}$, dok su crtana i štampana daleko iznad ove vrednosti), uočava se velika razlika u ujednačenosti merene veličine. Grafik originalne niti je skoro pravolinijski, sa razlikom između najveće i najmanje izmerene vrednosti od svega $5\mu\text{m}$, dok je variranje širine kod crtane, odnosno štampane niti znatno izraženije. Razlika između maksimalne i minimalne izmerene vrednosti kod crtane niti je $67\mu\text{m}$, odnosno kod štampane $69\mu\text{m}$.

Kriva zavisnosti promene širine crtane niti ima karakterističan oblik sa minimalnim vrednostima ka krajevima i maksimalnim na središnjem delu. Ovo je svojstveno linijama koje se povlače rukom, jer je pritisak na krajevima poteza obično manji nego na sredini. Uočavaju se i prekidi na krajevima niti, što takođe, ukazuje na manji pritisak sredstvom za pi-

sanje, usled čega trag olovke ostaje samo na izdignutim delovima reljefne strukture papira.

Grafik 1. Rezultati merenja širine zaštitne niti.



Rezultati pokazuju da je ucrtana nit uža od štampane, odnosno bliža originalnoj vrednosti, međutim ovo važi samo u ovom konkretnom slučaju, tj. ofset tehnikom mogu se postići daleko uže linije, od svega nekoliko desetina mikrometara. Razlike u širini niti koje se na uvećanim snimcima jasno uočavaju golim okom, bez uvećanja teško se mogu primetiti.

4. Određivanje poluprečnika rasterske tačke

Postupkom se u programu *Image Pro Plus* određuje poluprečnik na slici označenog kruga. Rasterske tačke u motivu grba SRJ na forzecu pasoša, kojima je određivan poluprečnik, snimane su sa uvećanjem od 10,25 puta, pa je za navedeno uvećanje izvršena kalibracija, tako da su rezultati merenja dobijani u mikrometrima.

Određivanje poluprečnika vrši se u prozoru *Measurements* iz menija *Measure*, izborom *Create best-fit circle* ikone iz grupe alata *Features*. Selektovanjem kartice *Advanced options* u prozoru *Measurements*, najpre se popunjava polje *Maximum Feature Points* (program dozvoljava da se unesu vrednosti u intervalu od 3 do 20), kojim se zadaje broj kontrolnih tačaka, kroz koje će program iscrtati kružnicu. Pošto su rasterske tačke relativno pravilnog, kružnog oblika, merenja su vršena sa četiri

kontrolne tačke, kojima je vrlo precizno mogao da se zadaje položaj kruga.

Za svaki iscrtan krug na slici, odnosno svaku oivičenu rastersku tačku, program tabelarno daje koordinate centra kruga, obim, površinu, poluprečnik ili prečnik i druge parametre, koji se biraju iz padajućeg menija *Select measurements* u prozoru *Measurements*, a prema prethodno izabranoj kalibraciji. Ovako dobijeni rezultati selektovanjem opcije *DDE to Excel* sa kartice *Input/Output* prozora *Measurements*, eksportuju se u *Excel*, gde se crta dijagram poluprečnik (µm) u odnosu na redni broj merenja.

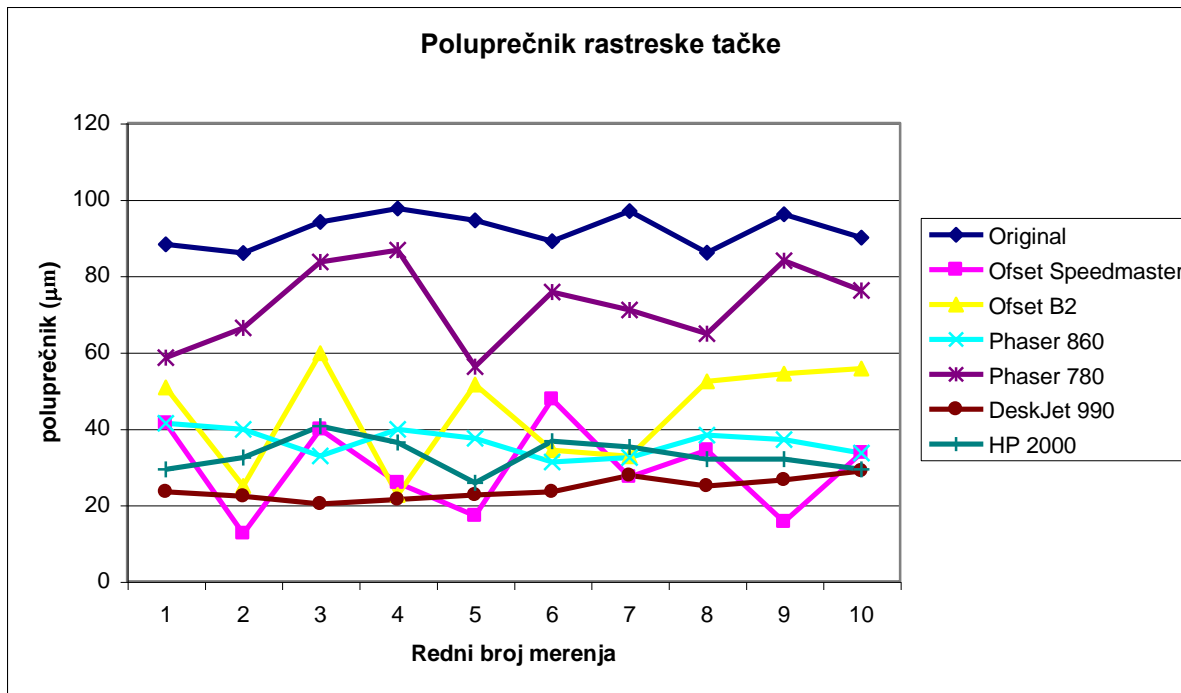
Navedenom metodom meren je poluprečnik rasterskih tačaka na motivu grba na forzecu originalnog obrasca pasoša SRJ i na njegovih šest reprodukcija, dobijenih pomoću različitih štamparskih uređaja navedenih u podpoglavlju 2.1. Mereno je po 10 tačaka sa svakog otiska, pri čemu se vodilo računa da merenjem budu obuhvaćene i one tačke koje odstupaju od nekog prosečnog oblika i dimenzija za dati otisak.

Rezultati merenja prikazani su na graficima 2 i 3.

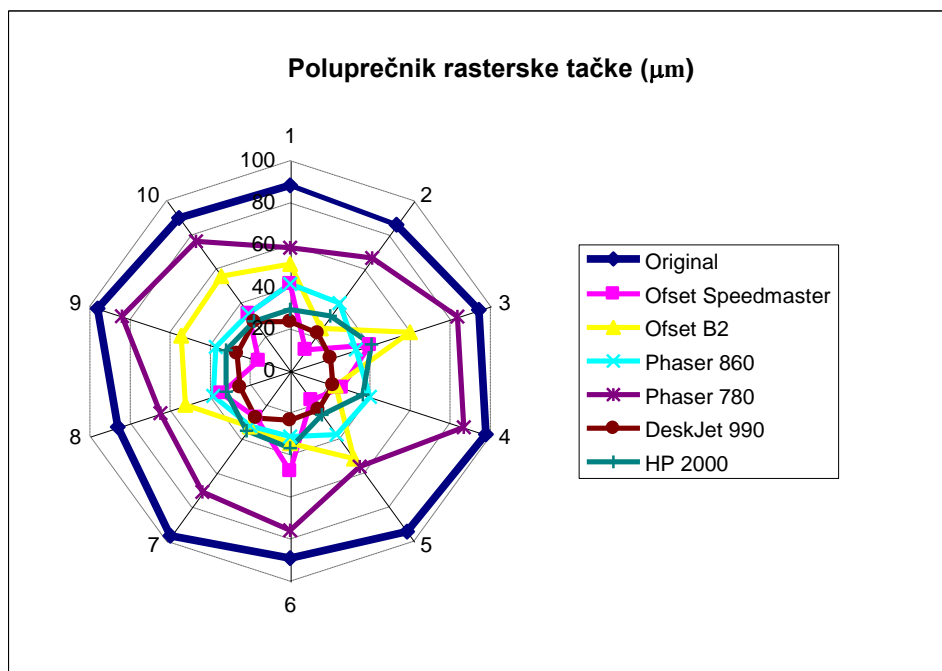
U odnosu na originalni raster kod koga su tačke u opsegu od 85 do 100µm, skoro sve ispitane reprodukcije imaju uočljivo manje rasterske tačke, ispod

60µm. Izuzetak je otisak *Tektronix Phaser 780* i 86µm, blizu originalnih. štampača, čije su tačke sa poluprečnicima između 58

Grafik 2. Rezultati merenja poluprečnika rasterske tačke.



Grafik 3. Rezultati merenja poluprečnika rasterske tačke – radijalni prikaz.



Jedino kod ovog štampača uočava se pravilna rasterska struktura pod uglom od približno 45° , slično originalu. Za razliku od originala, rasterska tačka *Phaser 780* štampača nema tako precizan kružni oblik i ujednačen poluprečnik, što se jasno vidi na radijalnom grafiku (grafik 3).

Poligon na grafiku 3 koji odgovara originalnom rasteru, skoro je pravilan desetougao (što ukazuje na ujednačenost prečnika rasterskih tačaka) i znatno je većih dimenzija od ostalih poligona, koji predstavljaju ispitane otiske različitih reprodukcija.

Obzirom da se radi o skeniranim reprodukcijama štampanim na CMYK uređajima, kod svih otisaka osim dominantne magenta rasterske tačke, čiji je poluprečnik i meren, pojavljuju se i cijan i žute tačke. Na originalu ovih tačaka, naravno, nema jer je raster štampan jednom, izvedenom bojom. Dok se žuta pojavljuje na svim otiscima reprodukcija, cijan tačke se uočavaju samo na otiscima *Tektronix* laserskih štampača.

Uočeno je da rezolucija ispitanih štampača, utiče na veličinu rasterske tačke na otisku, uglavnom pravilno. Najmanja rasterska tačka izmerena je na otisku štampača sa najvećom rezolucijom (*DeskJet 990*, 2400×1200 dpi). Ovakva uslovljenost rezolu-

cijom javlja se i kod poređenja parove štampača istih tehnologija.

Najuočljivija razlika u veličini rasterskih tačaka je kod laserskih *Tektronix* štampača, gde su tačke u proseku veće za 20 do 30 mikrometara u poluprečniku u korist štampača sa manjom rezolucijom (*Phaser 780*, 600×600 dpi prema *Phaser-u 860*, 1200×1200 dpi). Razlika između ink-džet otisaka (*DeskJet 990*, 2400×1200 dpi i *HP 2000*, 600×600 dpi) je znatno manja, u proseku između 5 i 10 mikrometara.

Ovo se može objasniti tehnologijom formiranja otiska kod ink-džet štampača, gde se na papir velikom brzinom izbacuju kapljice mikroskopskih zapremina od 9 ili čak 5×10^{-12} dm³, koje se pri udaru o površinu papira i dodatno rasprskavaju uz formiranje satelita, pa je razliku u rezoluciji dva otiska teže uočiti. Kod *DeskJet 990* otiska uočava se rešetkasta struktura pod uglom od približno 45° , koja na *HP 2000* otisku nedostaje. Kod digitalnih štampača, može se zaključiti da, pri reprodukcovanju rastera štampanog za ofset tehniku uobičajenom linijaturom od 133 ili 150 lpi, približniji otisak daju štampači sa manjom rezolucijom (600 dpi).

Rasterske tačke odštampane na ofset štamparskim mašinama razlikuju se po dimenzijama, iako su štamparske ploče za obe mašine urađene sa istog filma. Tačke na otisku Ofset B2 mašine su veće nego one na otisku *Speedmaster*-a, jer je B2 starija mašina, slabijeg kvaliteta, bez kontrole nanosa boje i sa ručnim razvijanjem ofset ploča, pa dolazi do izraženijeg uvećanja tačke na otisku (*dot gain*).

5. Zaključak

U radu se daju metode za određivanje dimenzija detalja reprodukcija obrazaca zaštićenih dokumenata, dobijenih različitim tehnikama štampanja. Metode se baziraju na analizi slika uvećanih motiva štampanih otisaka, dobijenih pomoću mikroskopa i digitalne kamere i merenju dimenzija karakterističnih detalja. Kao softver za analizu koristi se program *Image Pro Plus*.

Definisano je postupak za određivanje širine zaštitne niti. Utvrđeno je da reprodukovana nit štampana tehnikom ravne ofset štampe i crtana nit, sa prosečnim širinama od 156 i 67 μm , višestruko prevazilaze širinu originalne niti od 22 mikrometra. Variranje širine originalne niti je svega mikrometar, dok je razlika između maksimalne i minimalne izmerene vrednosti kod štampane niti 69 μm , odnosno 67 μm kod crtane.

Definisano je postupak za određivanje poluprečnika rasterske tačke. Najpribližnija originalnom rasteru (85-105 μm) je reprodukcija odštampana na *Tektronix Phaser 780* laserskom štampaču, sa veličinom tačke 58-86 μm , dok su vrednosti svih ostalih ispitanih reprodukcija ispod 60 mikrometara.

Navedene metode prilagodljive su vrsti dokumenta koji se ispituje, jer pored parametara koji su mereni u radu, obe metode mogu da se primene na bar još nekoliko karakterističnih elemenata grafičkog rešenja.

Tako, merenje širine može da se primeni za određivanje širine poteza kod različitih linijskih motiva, mikrolinija, karakterističnih delova slova u mikrotekstu i slično, dok se merenje poluprečnika može primeniti na zakrivljenja kod kružnih elemenata pojedinih slova mikroteksta, kružnih grafičkih elemenata dizajna i slično.

Dobijeni rezultati omogućuju utvrđivanje specifičnosti otisaka reprodukcija, naročito onih dobijenih pomoću digitalnih štampača. Karakteristike otisaka koje je moguće odrediti merenjem dimenzija, uz ostale rezultate ispitivanja oblika, strukture i intenziteta otiska, kao i fotografije uvećanih, karakterističnih detalja, čine profil datog štampača. Na osnovu njega moguće je, za otisak nastao na nekom od poznatih, ispitanih digitalna štampača, tačno utvrditi na kom.

Literatura:

- [1] G.G. Field; *Color and it's reproduction*; Graphic Art Technical Foundation, Pitsburg, SAD 1992.
- [2] M. Bašić; *Abeceda skeniranja*; Specijalni dodatak časopisa PC, PC Press, Beograd, oktobar 1998.
- [3] M. Četić; *Savremeni štampači*; Specijalni dodatak časopisa PC, PC Press, Beograd, novembar 1999.
- [4] M. Četić; *Digitalni foto-aparati*; Specijalni dodatak časopisa PC, PC Press, Beograd, jun 2000.
- [5] M.D. Stone; *Brže bolje: Digitalna fotografija*; CET Computer Equipment and Trade, Beograd, 2003.
- [6] H. Andersson, M. Wigilius; Forging by Aid of Computers; *Proc. 8th European Conference for Police and Government Document Experts*, Bratislava, Slovak Republic, septembar 2002.

- [7] B. Špoljarić-Barnev, J. Redžepagić; Vodič kroz svijet pisača; *PC chip*, br. 98/99, Zagreb 2003.
- [8] M. Četić; *Ink-jet štampači*; Specijalni dodatak časopisa PC, PC Press, Beograd, april 2001.
- [9] M. Četić; Periferijska oprema – Epson Perfection 1640 SU; *PC*, br. 65, PC Press, Beograd, mart 2001.
- [10] B. Stanojević; Mali format i profesionalni kvalitet – Desk Jet 990 Cxi; *Mikro*, PC World Jugoslavija, jun 2002.
- [11] J.F. Oliver, C. Joice; You May Not Know It, But You're Leaving A Digital Fingerprint; *Canadian Chemical News*, October 2001.
- [12] J.F. Oliver, C. Joice; Use of Signature Analysis to Discriminate Digital Printing Technologies; *58th Annual Meeting of the American Society of Questioned Document Examiners*, Ottawa, Canada 2000.
- [13] B. Stojanović; *Digitalna fotografija u softverskoj laboratoriji*; PC Press, Beograd, novembar 2000.
- [14] J. Houde; Image Enhancement for Document Examination Using the Personal Computer; *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 38, Issue I, 1993.
- [15] S. Day; *Evidential Value from Ink-Jet Printers*; Forensic Science Service, Huntington, United Kingdom, 2000.
- [16] *VSC 2000/HR High Resolution Video Spectral Comparator*; specification, Foster & Freeman Ltd, UK, 2001.
- [17] *Docucenter 3000 Digital*; specification, Projectina AG, Switzerland, 2001.