



OPTIČKI ASPEKTI DIGITALNOG TISKA NA ADHEZIVNIM MEDIJIMA

OPTICAL ASPECTS OF THE DIGITAL PRINTING ON ADHESIVE MEDIA

Igor Majnarić¹, Maja Brozinčević, Stanislav Bolanča¹
Grafički fakultet Zagreb, Getaldićeva 2

Sažetak: Etikete danas spadaju u jedane od najzastupljenijih grafičkih proizvoda. Za tisak etiketa do nedavno se koristila isključivo tehnika ofsetnog tiska. Zbog prednosti personalizacije u tisku taj posao postepeno preuzima digitalni tisak. Danas se nastoji za tisak etiketa koristiti elektrofotografska digitalna tehnologija koja je brza, ali i zagrijava tiskovnu podlogu. U ovom radu se želi istražiti kako struktura i boja tiskovne podloge, te ljepljiva pozadina samoljepljivih materijala za tisak etiketa djeluje na kvalitetu reprodukcije i optički izgled proizvoda. Za tisak se koristilo 7 tiskovnih podloga za samoljepljive etikete, karakterističnih grupa materijala. Mjerenjem se obuhvatio spektrofotometrijsko mjerenje u $L^*a^*b^*$ sustavu s konstrukcijama gamuta, ΔE s obzirom na konvencionalni ofset po cijelom području rastertonskih vrijednosti, balans sivog, relativni tiskarski kontrast (K_{rel}), te prostorno konstruiranje rasporeda boja u Mullenovom tijelu boja. Na temelju poznatih činjenica i naših ispitivanja mjerenjem bez razaranja, određuju se granice prihvatljivosti kvalitete za digitalni tisak samoljepljivih etiketa.

Ključne riječi: Samoljepljivi materijali, elektrofotografski digitalni tisak, spektrofotometrija, denzitometrija, $L^*a^*b^*$, gamuti reprodukcije.

Abstract: Labels belong today to the most representative graphic products. For printing on labels the offset printing techniques was exclusively used recently. Because of the advantage of personalization in printing, this work is taken over by the digital printing technique, especially by Ink Jet, because there is no heating of the printing substrate in this printing technique. Today the electrophotographic digital technology is used for label printing. It is much quicker but it warms up the printing substrate. The task of this work is to find out how the structure and the colour of the printing substrate as well as the adhesive back side of the self-adhesive materials for label printing influence the quality of the reproduction and the optical view of the product. Seven printing substrates for self-adhesive labels, of the characteristic material groups were used for printing. Measuring comprised the spectrophotometric measurement in $L^*a^*b^*$ system with the gamut constructions, ΔE with regard to the conventional offset on the whole area of screen value, grey balance, relative printing contrast (K_{rel}) and space construction of the colour arrangement in the Mullen colour body. Based on the known facts and our investigations the limits of acceptability of the quality for digital printing of self-adhesive labels were determined using the technique of electrophotographic digital printing on the determined characteristic groups of the printing substrates.

Key words: self-adhesive materials, electrophotographic digital printing, spectrophotometry, densitometry, $L^*a^*b^*$, reproduction gamut.

1. UVOD

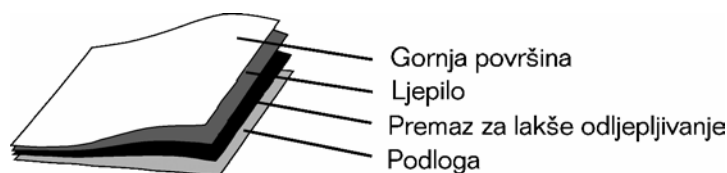
Potrošnja i proizvodnja samoljepljivih medija je kao i kod papira u stalnom porastu. Razvojem novih materijala i ljepila omogućilo je proizvodnju raznih grafičkih proizvoda kao što su: naljepnice raznih namjena (poštanske, promocijske, deklaracijske, vinske, igraće, kartonske...). Mogućnost otiskivanja samoljepljivih materijala s novim tehnologijama digitalnog tiska nije u potpunosti istražen. Nameću se istraživanja interakcija između tiskarskog bojila i tiskarske podloge, to jest komparacije kvalitete digitalnih otiska u odnosu na konvencionalni način otiskivanja.

2. TEORIJSKI DIO

Presudni čimbenici koji utječu na kvalitet tiska su: tiskarski stroj, odgovarajuće bojilo, tiskovna forma i tiskovna podloga. Do unazad nekoliko godina za tisak grafičkih proizvoda uglavnom je korištena tehnika ofsetnog tiska. Ofset koristi stalnu aluminijsku tiskovnu formu koja ima hidrofilne i hidrofobne površine, te se prije otiskivanja prvo vlaži vodom, te obojava uljnom bojom (1). Nanešeno bojilo se najprije prijenosi na ofsetnu gumu sa koje se uvijek isti motiv reproducira na tiskovnu podlogu. Svojom kvalitetom, brzinom, i velikim brojem tiskovnih podloga namjenjena je proizvodnjih srednjih i visokih naklada (2).

Digitalni tisak kao način umnožavanja u posljednjih 10 godina ima sve značajniju ulogu u tiskarstvu. Digitalni tisak svojim mogućnostima omogućuje tisak često ponavljanih niskih naklada uz mogućnost personalizacije(3). Najpoznatije digitalne tehnike otiskivanja su elektrofotografija i Ink Jet. Elektrofotografski tisak pri radu koristi 7 osnovnih faza (nabijanje, osvjetljavanje, razvijanje, prijenos, fuziranje i čišćenje), pri čemu je bojilo prah ili tekućina (4). Elektrofotografski način otiskivanja tekućim bojilima omogućava tisak u visokoj rezoluciji i kvaliteti koja je veoma slična klasičnoj tehnici ofseta. Jedan takav elektrofotografski digitalni sustav je HP Indigo kojeg karakterizira indirektni način otiskivanja, rezolucija od 812 do 2460 dpi, i specijalno ElectroInk bojilo (5).

Samoljepljivi mediji su višeslojni materijali koji se sastoje od površinskog sloja, ljepljivog sloja, sloja za lakše odljepljivanje i podloge (slika 1). Samoljepljivi materijali debljine su od 50 do 290 μm , odnosno gramature od 65 do 285 g/m^2 .



Slika 1. Prikaz samoljepljivih materijala

Površinski sloj samoljepljivog materijala može biti od raznih materijala a najčešće je to papir. Od papira obično su to bezdrveni bijeli ofsetni papir, obojeni bezdrveni papiri, i višestruko premazani papiri(6). Često je površina prethodno laminirana sa mekim vinilnim filmom prilagođenim za ofsetni tisak, sintetičkim papirom rađenog od gustog polietilena, celuloznim acetatskim filmom i etilenskim filmom.

Površinski sloj obrađen je tako da upije pastasto bojilo zajedno sa viškom tekućine za vlaženje. Premazivanjem površine samoljepljivog medija sa pigmentiranim premazima postiže se veća refleksija ulaznog svjetla na podlogu, gdje otisnuto bojilo djeluje kao filter smanjujući indeks refleksije i pojačavajući optički kontrast (7).

Ljepljivi sloj bitno određuje funkcionalnost grafičkog proizvoda. Odabirom odgovarajućeg tipa ljepljivog materijala postiže se različite kvalitete adhezije samoljepljivog materijala. Ovisno o ljepljenoj podlozi, klimatskim uvjetima u kojima etikete egzistiraju, kao i o primjenjenom ljepljivom materijalu, samoljepljivi materijali dijele se na: permanent, removable, supertack i deep freeze. "Permanent" samoljepljivi mediji posjeduju veliku početnu snagu ljepljenja, te su pogodna za ljepljenje na glatke površine. Odljepljivanjem površinski otisnuti sloj se obavezno uništava. Postavljen zahtjev za "Removable" samoljepljive medije je da se skidanjem površinski sloj ne oštećuje, čime je osiguran veći broj ponovljenih ljepljenja. "SuperTack" samoljepljivi mediji imaju visoku adhezivnu moć, što je osnovni preduvjet za ljepljenje teško ljepljivih i neravnih površina. "Deep freeze" specijalni samoljepljivi mediji namjenjeni su za ljepljene podloge koje su izložene niskim temperaturama (8).

Za uspješnost tiska podloga samoljepljivih materijala vrlo je važna. Njenom debljinom omogućava se besprijekoran transport samoljepljive tiskovne podloge po tiskarskom stroju. Neposredno prije ljepljenja podloga se skida. Lagano skidanje osigurano je specijalnom perforacijom podložnog sloja (horizontalna ili vertikalna), kao i njenom površinom koja je premazana s glatkim pigmentiranim premazom.

Korištenjem ne razarajuće spektrofotometrije i denzitometrije moguće je analizirati površinsku obojenost otisnute tiskovne podloge, što ima za cilj optičko praćenje kvalitete reprodukcije. Vrijednost obojenja otiska definiše se u $L^*a^*b^*$ kolornom sustavu koji je predstavljen sa kromatskim vrijednostima a^*b^* i svjetloćom L^* . Denzitometrijom se određuje akromatska apsorpcijska moć otisnute boje na tiskovnoj podlozi, čime se u tisku aproksimativno izražava debljina nanosa bojila. Mjerenjem relativnog tiskovnog kontrasta promatra se uspješnost reprodukcije punog polja i 3/4 polja (70-80% RTVa) koji je najosjetljiviji na povećanje nanosa boje (9).

Konstrukcijom, otiskivanjem i mjerenjem specijalne tiskovne forme (sadrži 387 polja u bojama suptrktivne sinteze u međusobnim varijacijama od 5%), moguće je konstruirati trodimenzionalni gamut reprodukcije za bilo koju tiskarsku tehniku kao i pripadajuću tiskovnu podlogu (10).

Izračunavanjem razlike u obojenju (ΔE) za 100% otisnute primarne procesne boje (CMYK), kao i njihovih kombinacija (RGB), moguće je uočiti odstupanja i kvantificirati ih. Standardna formula CIE ΔE_{94} je 2001. godine modificirana, te je sada u primjeni CIE ΔE_{2000} koja bolje opisuje razlike u obojenju u plavom području (11). Određivanjem relativnog tiskarskog kontrasta, odrediti će se najveća moguća moć reproducibilnosti, a time i najveća kvaliteta grafičkog proizvoda. Aparativne metode lišene su subjektivnih emocija, te je važno ocjeniti kako vizualni izgled etikete ocjenjuju stvarni konzumenti. To je izvedivo tzv. metodom standardnog promatrača.

3. EKSPERIMENT

Za potrebu istraživanja formirana je specijalna tiskovna forma koja sadrži standardne ISO i ECI elemente. Osim toga tiskovna forma sadrži i CMYK rasterske stepenaste klinove u rasponu od 10% do 100% RTVa i stupnjem razlikovanja od 10%. U tiskovnu formu je implementirana i standardizirana višebojna ilustracija, koja služi za vizualnu ocjenu kvalitete reprodukcije.

Otisci etiketa napravljeni su na digitalnom ofsetnom stroju HP Indigo. Tiskarski stroj je četvorobojan i kalibriran neposredno prije otiskivanja proba. U istraživanju korištene su 7 samoljepljivih tiskovnih podloga koje se razlikuju po površinskoj obradi, vrsti ljepila i skidajućoj podlozi. Prije upotrebe samoljepljive podloge izrezane su na standardni format A3, i njihove karakteristike dane su u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike FASSON samoljepljivih tiskovnih podloga korištenih u istraživanju

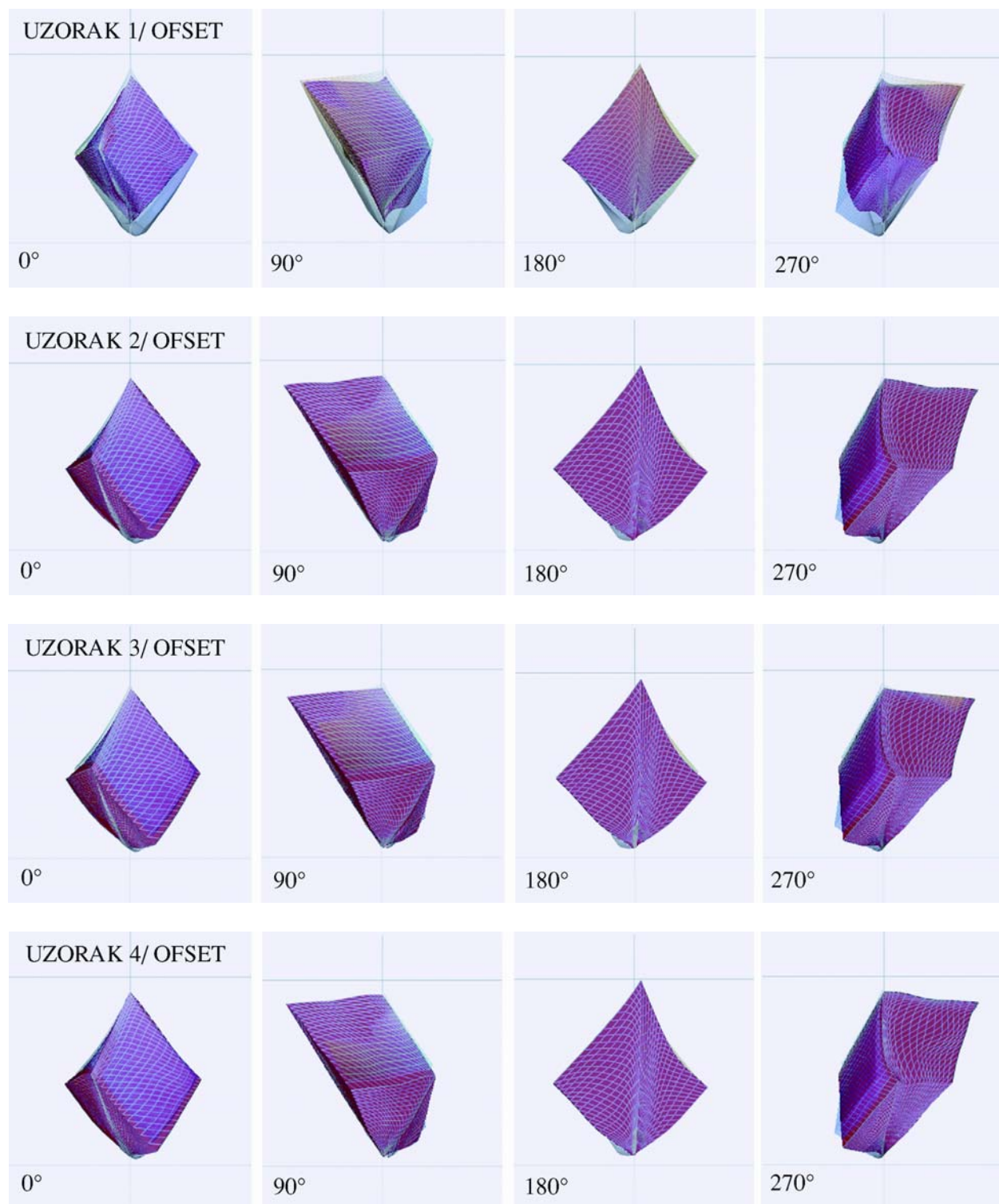
BROJ UZORAKA	TVRNIČKI NAZIV	PODLOGA	LJEPILO
UZORAK 1	OFFSET & LASER VELIUX	NAMA PERFORACIJA	PERMANENT
UZORAK 2	OFFSET & LASER C WHITE	NAMA PERFORACIJA	PERMANENT
UZORAK 2	MC GLOSS DI - OFFSET	CRECK BACK dijagonalno	PERMANENT
UZORAK 4	MC WHITE	CRECK BACK dijagonalno	SUPER TACK
UZORAK 5	CRACK -BACK + (COPY FACE)	CRECK BACK dijagonalno	PERMANENT
UZORAK 6	HIGH GLOS WHITE	NAMA PERFORACIJA	SUPER TACK
UZORAK 7	CREME VERAGE	NAMA PERFORACIJA	PERMANENT

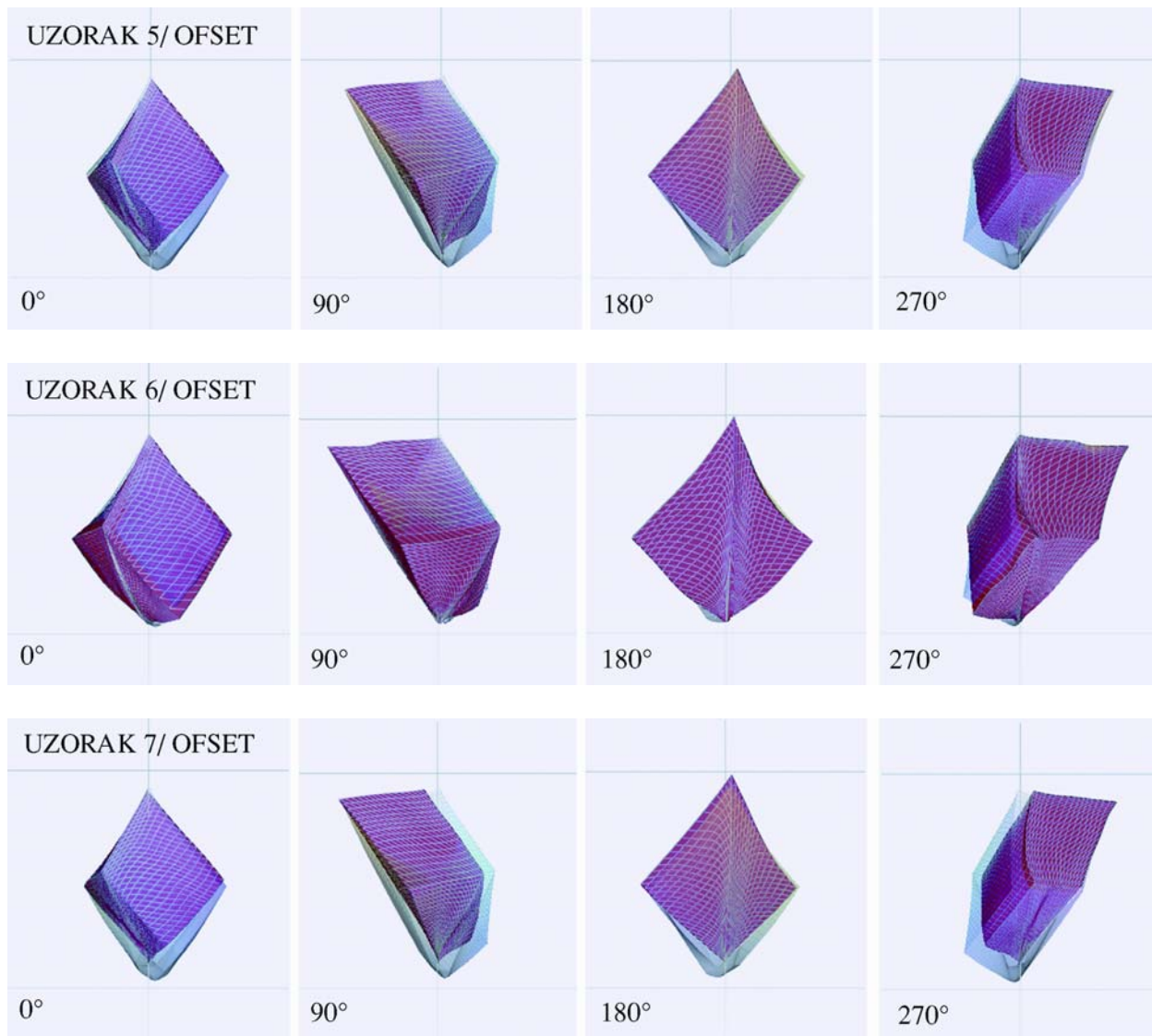
Dobiveni otisci na digitalnom stroju komparirani su sa ofstnim otiskom koji je otisnut na papiru za umjetnički tisak MagnoStar 135 g/m² u skladu sa ISO normom 12647/3. Za spektrofotometrijsko mjerenje otisaka korišten je spektrootometar X-rite DTP 41 koji zajedno s programom Monaco Profiler daje L*a*b* vrijednosti za 387 polja. Konačni prikaz trodimenzionalnog gamuta prikazan je u aplikaciji Monaco Gamut Works. Iz dobivenih L*a*b* vrijednosti izračunata je i razlika u obojenju (ΔE) po formuli CIE ΔE_{2000} za puna polja primarnih boja (CMYKRGB) kao i za 50% rastertonsku vrijednost.

Denzitometrijska mjerenja otisnutih klinova izvršena su denzitometrom X-rite Swatch Book koji radi zajedno uz aplikaciju ColorShop 4.2. Na temelju njih izračunat je i relativni tiskovni kontrast. Na samom kraju je izvršena i vizualna ocjena kvalitete reprodukcije od strane 24 ispitanika.

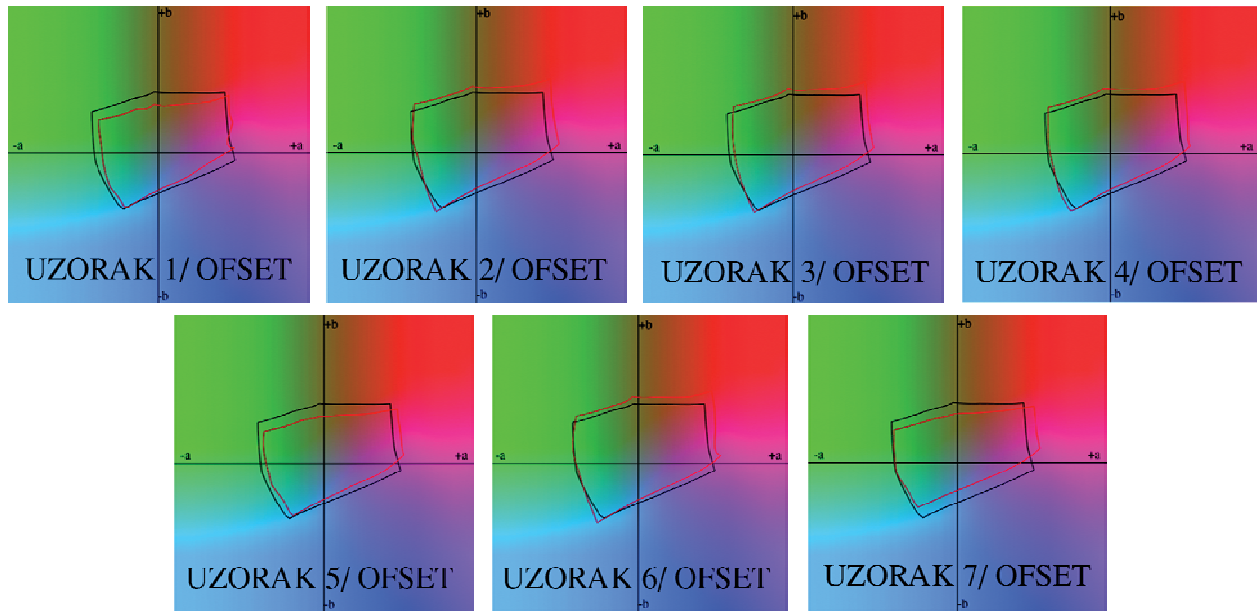
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja prikazani su na slikama 2 i 3. U njima su konstruirani gamuti HP Indiga i standardnog ofsetnog otiska (pod kutevima gledanja od 0° , 90° , 180° i 270° za sve vrijednosti svjetloća), kao i presjeci gamuta za svjetloću $L^*=50$. Prostorni volumeni prikazani su histogramskom obliku na slici 4.

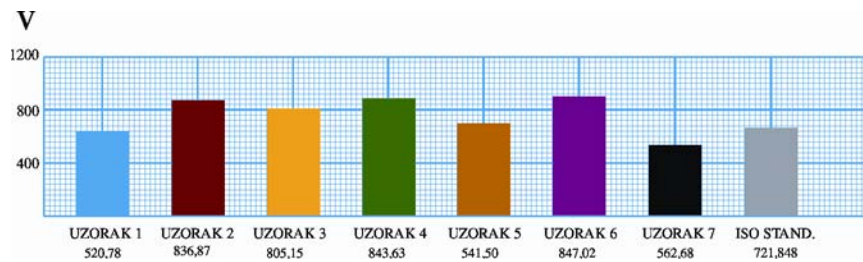




Slika 2. Gamuti reprodukcija HP Indiga i klasičnog ofseta na samoljepljivim medijima i standardnom papiru za umjetnički tisak



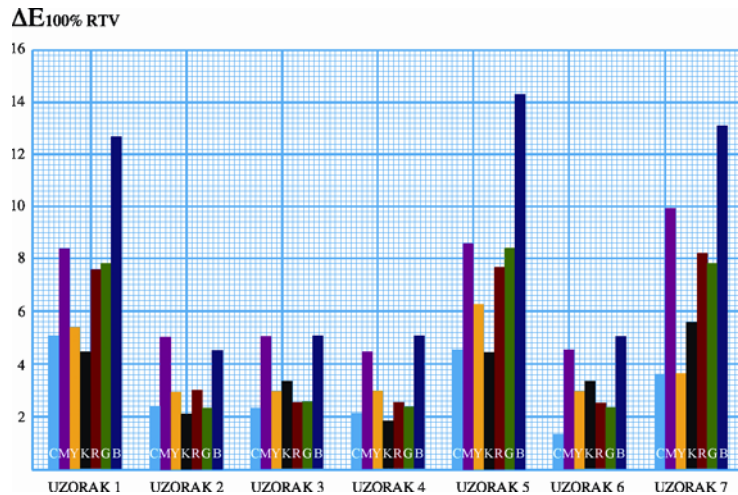
Slika 3 Kromatske vrijednosti $a*b^*$ Indigo otisaka i ofsetnog standarda pri svjetloći $L^*=50$



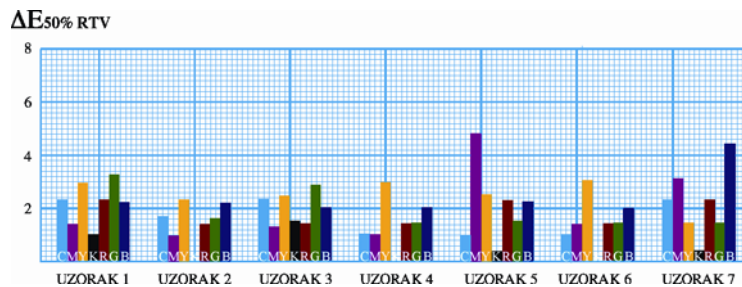
Slika 4. Histogram volumena za samoljepljive uzorke

Rezultati pokazuju da otisci na "High Gloss White" samoljepljivom papiru (uzorak 6) daje najveći raspon obojenja ($V=847,02$) i bolju reprodukciju od standardnog ofseta. Kvalitetna reprodukcija uočena je i kod otiskivanja "MC White (uzorak 4)", "Offset Laser MC White (uzorak 2) i "MC Gloss DI-Of (uzorak 3), koji su neznatno veći od standarda. Ostali samoljepljivi materijali "Crème Verge (uzorak 7), "Creck-Beck +" (uzorak 5) i "Offset Vellux Mat" (uzorak 1) reducirani su u odnosu na ofsetni otisak. Iz ovoga je vidljivo da kvaliteta površinskog sloja igra presudnu ulogu pri postizanju kvalitetnog otiska, te što je refleksija i glatkoća izraženija reprodukcija samoljepljivog materijala je bolja.

Oscilacije u obojenju ofsetnog otiska i otisaka na samoljepljivim materijalima promatrane su u punim tonovima, kao i u rasterskom području od 50%, za CMYK i RGB boje. Rezultati su prikazani na slikama 5 i 6.



Slika 5. Razlika obojenja ΔE za pune tonove između standardnog ofsetnog otiska i indigo samoljepljivih otisaka

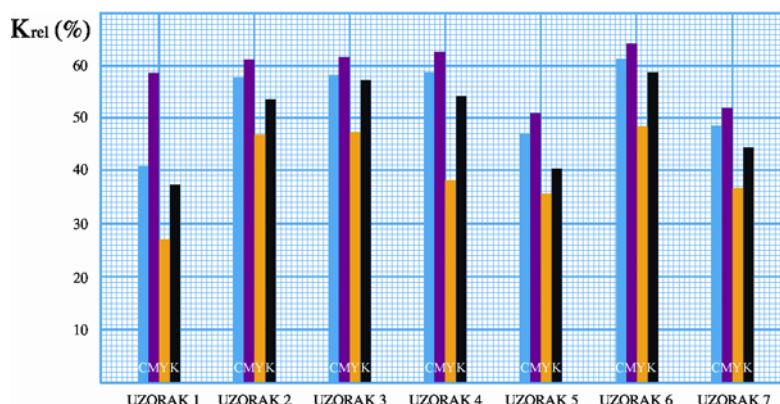


Slika 6. Razlika obojenja ΔE za pune tonove između standardnog ofsetnog otiska i indigo samoljepljivih otisaka

Za pune tonove kod svih samoljepljivih medija najveće oscilacije uočene su pri reprodukciji ljubičasto plave boje, pri čemu se posebno ističu "Crack Back +" ($\Delta E=14,33$), "Crème Verge" ($\Delta E=13,12$) i "Offset Laser Velux Mat" ($\Delta E=12,74$). Ostali mediji su usklađeni s prosječnom oscilacijom oko $\Delta E=2,50$.

Pri reprodukciji rastera razlika obojenja između referentnog ofsetnog uzorka i Indigo otisaka na samoljepljivim medijima vrlo je ujednačena. Na svim uzorcima uočava se promjena u tonovima koja se dobivaju reprodukcijom žute. Srednja vrijednost razlike u obojenju žute je $\Delta E=2,5$ te jedino kod "Crème Verge" materijala (uzorak 7) je najbliža ofsetu ($\Delta E=1,4$). Najveći ekstremi su kod "Crack-Back +" (uzorak 5) za magentu $\Delta E=9,8$ i "Crème Verge" (uzorak 7) za ljubičasto-plavu $\Delta E=4,4$.

Denzitometrijom se mjeri apsorpcija sa otisnutog sloja bojila, te vrijednošću punog tona i 70% rastertonskog polja izračunavamo relativni tiskarovni kontrast K_{rel} . Što je vrijednost relativnog tiskovnog kontrasta viša kvaliteta otisaka je bolja (slika 7).



Slika 7. Relativni tiskovni kontrasti za HP Indigo otiske na samoljepljivom materijalu

U svim uzorcima najbolje se reproducira magenta, cijan, crna i na kraju žuta. Lošu reprodukciju žute možemo zahvaliti lošoj pigmentaciji i vodljivosti HP ElectroInka, što je zamjećeno i u drugim radovima (2,11). Samoljepljivi "High Gloss White" materijal najbolje se reproducira te kod njega kontrast iznosi $K_c=61,6$ $K_m=64,2$ $K_y=48,1$ i $K_k=58,6$. Vizualnom ocjenom također su se potvrdila aparativna mjerenja (tablica 2).

Tablica 2. Vizualna ocjena digitalnih otisaka na samoljepljivom papiru

Uzorci	Vellux mat	MC white (sjajni)	MC Gloss	MC white3	Crack-Back	High Gloss white	Creme Verge
O c j e n e	2	5	4	3	3	4	1
	3	4	5	3	4	5	3
	2	4	5	2	4	5	3
	1	4	4	1	3	5	1
	2	3	4	4	3	5	4
	1	3	3	3	1	5	4
	3	5	5	2	3	3	2
	3	4	4	4	3	5	2
	2	3	3	3	3	4	2
	2	3	4	3	5	5	1
i s p i t a n i k a	3	5	5	4	3	5	2
	5	4	4	3	3	4	2
	2	3	3	2	4	4	1
	2	3	4	3	5	5	1
	2	3	3	4	3	5	2
	2	4	3	3	3	4	1
	2	4	3	4	3	4	4
	2	5	3	3	4	5	4
	3	5	4	3	5	5	4
	2	3	3	3	2	4	1
k a	3	2	4	3	3	3	1
	3	4	5	4	4	5	4
	2	3	4	3	4	5	4
	2	4	3	4	3	4	1
Prosjek	2,33	3,75	3,85	3,08	3,29	4,5	2,29

Promatrači su najbolje ocjenili također "High Gloss White" samoljepljivi otisak sa prosječnom ocjenom 4,5 "MC Gloss DI-OF (3,83) i "Offset Laser MC White" (3,75). Vizualna ocjena ne slaže se kod materijala "Crack-Back +" i "Crema Verge". Iako "Crème Verge" materijal ima bolju vrijednost relativnog tiskovnog kontrasta ($K_{rel}=45,2$), vizualno je ocjenjen najlošije s prosječnom ocjenom 2,29, dok kod "Crack Back+" koji ima lošiji kontrast ($K_{rel}=43,5$) vizualno je bolje ocjenjen (prosječnom ocjenom 3,29). Žutost podloge u ovom slučaju utječe na cjelokupni vizualni dojam otiska, što mjerni uređaji naravno ne percipira.

5. ZAKLJUČAK

Iz ovog rada nameću se slijedeći zaključci:

- elektrofotografskim digitalnim tiskom sa tekućim tonerom moguće je postići veoma kvalitetnu reprodukciju.
- prostorni gamuti HP Indigo samoljepljivih otisaka "High Gloss White", "Offset Laser MC White", "MC White" i "MC Gloss White" u odnosu na referentni ofsetni otisak izvrsno se otiskuju i potpunosti zadovoljavaju. Ostali samoljepljivi materijali (Crème Verage, Creck Back+ i Offset Laser Vellux) na žalost ne zadovoljavaju.
- Njaviše oscilacije u obojenju kod svih materijala uočene su kod reprodukcije punih tonova ljubičasto-plave boje, dok pri reprodukciji rastera najviše oscilira žuta.
- Vizualnom ocjenom potvrđne su uglvnom denzitometrijska aparativna mjerenja. Jedina oscilacija je uočena kod žuto obojenog Crème Verge samoljepljivog materijala, kod kojeg vizualna ocjena odudara od vrijednosti relativnog kontrasta, Time se potvrđuje da je vizuala metoda vrlo važna pri određivanju kvalitete grafičkih proizvoda.

LITERATURA

- 1.M.R. Luo, G. Cui, B. Rigg; The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIE DE2000, COLOR research and application, 26 (2001). 340 - 349.
2. U.Chatow, R. Samuel, Digital Labels printing, Proceedings of 19th International Conference on Digital Printing Technologies, 2003, 476 - 481.
3. S. Bolanča, Glavne tehnike tiska,Acta Graphica, Zagreb, 1997.
4. S. Bolanča, Suvremeni ofset, ©kolska Knjiga , Zagreb,1991.
5. B. Drannan, Indigo E-print, Adams-Harmon Graphic Press, Chichago 1998.
6. I. Majnarić, Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Zagreb, 2004.
7. H. Kiphan. Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.
8. H. M. Fenton, J. F. Romano, On Demand Printing, The Revolution in Digital and Costomised Printing, Pretince Hall, PTR, New Yersy, 1998.
- 9.F. Grum , C.J. Bartleson, Colour Measurment, Academic Press, New York, 1987,
10. W. Walenski, Das Papier das Buch, Verlag Beruf + Schule, 1994.
11. I. Majnarić, I. Bolancć, Z. Bolanča, M. Milković, Condition in Digital Printing of Packaging on Print Quality, IS&T Production Printing Conference, Amsterdam 2005.