

# POSTOJANOST NA MOČENJE CRNIH INKJET OTISAKA

## WETTING DURABILITY OF BLACK INKJET PRINTS

Igor Majnarić<sup>1</sup>, Marija Jakelić<sup>1</sup>, Marko Morić<sup>1</sup>, Blaž Sviličić<sup>1</sup>, Damir Modrić<sup>1</sup>,  
Nemanja Kašiković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

### Sažetak

Trajnost crno-bijelih Inkjet otisaka izrazito je važna. Na žalost izlaganjem otisaka vlazi ima za posljedicu gubitak otisnutog sadržaja. Zbog nepostojanja univerzalne Inkjet boje potrebno je ispitati 3 tipične Inkjet boje: Inkjet otisci otisnuti crnom UV sušećom bojom, otisci otisnuti crnim dye Inkjet bojilima i otisci otisnuti crnim pigmentiranim Inkjet bojom. Za ovo ispitivanje napravljen je poseban uređaj koji će provesti simulaciju vlaženja (efekat oborinskih padalina) principom kap na kap. Eksperimentom su uključena 4 vremenska perioda vlaženja (0h, 1h, 6h i 24h). Za detekciju promjena akromatskih tonova primjenjena je kolorimetrijska metoda na temelju koje su izračunate kolorne devijacije CIE LAB  $\Delta E_{00}$ .

**Ključne riječi:** postojanost na vlagu, Inkjet crni otisci, CIE LAB  $\Delta E_{00}$

### Abstract

The sustainability of monochrome Inkjet prints is extremely important. Unfortunately, exposure of the prints to moisture results in loss of printed content. Since there is no universal Inkjet color, it is necessary to examine the following 3 typical inkjet colors: Inkjet prints printed in black UV-drying color, prints printed with black dye Inkjet colorants and prints printed with black pigmented inkjet colourant. To do this test a special device was manufactured to simulate wetting principle of drop in drop (rainfall effect). The experiment included 4 periods of wetting (0h, 1h, 6h and 24h). To detect changes of achromatic tones the colorimetric method based on calculation colour deviation was applied (CIE LAB  $\Delta E_{00}$ ).

**Keywords:** resistance to moisture, Inkjet black prints, CIELAB  $\Delta E_{00}$

### 1. Uvod

#### 1. Introduction

Da bi se u tehnici Inkjeta izvršilo otiskivanje potrebno je zadovoljiti 3 preduvjeta: odabrati adekvatni generator kapljica (ispisnu glavu), zadovoljiti točnu viskoznost bojila (adekvatni Weberov broj) i odabrati adekvatnu tiskovnu podlogu. Pritom je svakako najvažniji parametar Inkjet bojilo. Na žalost njemu se ne posvećuje tolika pažnja kao materijalu na koji se vrši otiskivanje. Zapravo, Inkjet tisak vrlo je ovisan o fizikalno-kemijiskim svojstvima primjenjenog bojila.

### 2. Inkjet boja

#### 2. Inkjet ink

Inkjet bojilo mora ispunjavati mnoge zahtjeve kao što su stabilnost, kapljivost, gustoća obojenja, vlaženje i prijanjanje na podlogu. Zbog toga je njegova priprema vrlo komplicirana. Osim tih zahtjeva svaka Inkjet tehnologija ima odgovarajuću vrstu bojila. Tako na primjer, viskoznost bojila za piezoelektrični Inkjet iznosi 8–15 cP, dok je za termalni puno manja, ispod 3 cP. Samim time, Inkjet bojila koje se koriste u uredskim pisačima neće imati dodatna pomagala kao npr. odvod zagađenog zraka. DTP Inkjet bojila tako ne smiju sadržavati štetna otapala koja isparavaju. Potpuno drugi primjer su UV sušeća bojila koja moraju prolaziti fazu brzog stvrdnjavanja uslijed djelovanja UV izvora. Za razliku od ostalih vrsta bojila UV lampama se

postiže brzo sušenje bojila, otisci imaju visoku rezoluciju, kapljice se manje raspršuju, što znači da će i nanos bojila biti veći. Glavna uloga bojila je prijenos molekula specifičnog obojenja na podlogu. Takve sintetički izrađene molekule pojednostavljeno nazivamo nositelji obojenja. Obično su to: organski pigmenti, izvorno obojane tekućine, polimeri (koristi se za tiskanje na plastiku) i UV monomeri (koristi se za printanje trodimenzionalne strukture). Jednom kada se bojilo pripremi, ona mora sadržavati određena fizikalno-kemijska svojstva. Sve karakteristike bojila moraju ostati nepromijenjene duži vremenski period, a to je obično dvije godine od njene proizvodnje. Zajedničko svim Inkjet bojilima je da moraju biti u tekućem stanju kada izađu iz mlaznice, tj. moraju imati viskoznost ispod 25 cP. Vezivo zapravo nosi molekule koje daju obojenje i služi za njihov transport. Najčešća veziva mogu biti: voda, organsko otapalo i tekući monomeri. Osim veziva bojila mogu sadržavati i aditive koji imaju točno određenu ulogu. Obično su to: površinski aktivne tvari, konzervansi i fotoinicijatori. Uglavnom, to su polimeri koji omogućuju vezanje molekula za tiskovnu podlogu ne mijenjajući izvorno obojenje.

## 2.1. Svojstva Inkjet bojila

### 2.1. *Properties of Inkjet inks*

Izrada Inkjet bojila i praćenje kvalitete njene izrade vrlo je važan proces. Pri tom se analiziraju slijedeća svojstva: stabilnost bojila, viskoznost bojila, površinska napetost bojila, pH vrijednost bojila, sastav bojila, električna provodljivost bojila.

**Stabilnost boje** je svojstvo koje definira nepromjenjivost u dužem vremenskom periodu. Kod bojila koje sadrže topive tvari, nestabilnost dolazi uslijed interakcije između sastojaka. Dobar primjer je polimerizacija UV sušećih bojila na niskim temperaturama, ili interakcija sa unutrašnjosti kartuše u kojoj se bojilo čuva. Za bojila koja sadrže pigmente najčešći je problem sedimentacija čestica te moguća reakcija s drugim česticama.

**Viskoznost boje** je najbitnija karakteristika Inkjet boje. Na nju utječe mnogo parametara, od kojih najveći utjecaj ima temperatura. Temperatura i viskoznost se odnose obrnuto proporcionalno. Pri višim temperaturama viskoznost je niža i obrnuto.

Većina bojila ima konstantnu viskoznost. Ona je vrlo niska te je manja od 20 cP. Viskoznost će ovisiti i o primjenjenom tipu glave pisača (pri tom će za termalne glave pisača imati viskoznost manju od 3 cP).

**Površinska napetost bojila** je primarni faktor koji određuje formiranje kapljica i njeno raspršivanje na tiskovnu podlogu. Površinska napetost može se kontrolirati odabirom odgovarajućeg otapala. Na primjer, dodavanje 2-propanola u vodu izazvat će veliki pad površinske napetosti vode. Površinski aktivne tvari koje se obično koriste su u vrlo malim koncentracijama (ponekad i manje od 1%). To znači da čak i male promjene u koncentraciji mogu uzrokovati značajne promjene u karakteristikama Inkjet bojila.

**pH vrijednost bojila** je vrlo bitna u bojilima na bazi vode. Njome se može značajno utjecati na topljivost i stabilnost dispergiranih pigmenta. Dugotrajnim stajanjem uz prisutnost H<sup>+</sup> iona može uzrokovati probleme sa stabilnošću. Zbog toga koncentracija H<sup>+</sup> iona u bojilu mora biti što niža. To je posebno važno kod viševalentnih elektrolita u kojima se nalazi kalcij.

**Električna provodljivost** je svojstvo neophodna za boje kontinuiranog Inkjet-a. Razlog tomu je što se kapljice moraju nabiti određenim nabojem te otkloniti u željenom smjeru. Mogućnost nabijanja čestica ostvaruje se dodavanjem agenta za kontrolu naboja - koji su topljivi u otapalu. Postignuta vodljivosti morati će se vrlo precizno kontrolirati, te i najmanje varijacije u vodljivosti može spriječiti efikasnost daljnjeg korištenja.

**Sastav koloranta** je prijenos funkcionalnih (obojenih) molekula na tiskovnu podlogu. Ako su čestice nositelja obojenja dye molekule, njihova koncentracija mora biti niža od granice topljivosti. U suprotnom, tijekom skladištenja može doći do taloženja. Optička svojstva bojila su često pod utjecajem i najmanje varijacije u pH vrijednosti. Također će ovisiti i o koncentraciji vodikovih iona (u bojama na bazi vode), polaritetu i prisutnosti ostalih dodataka. Stoga, optička svojstava tijekom duljeg skladištenja bojila trebaju biti posebno ispitana. Bojila s dye nositeljima obojenja su termodinamički stabilnija od pigmentnih bojila, dok su pigmentna bojila samo kinetički stabilna. Konvencionalna Inkjet boje obično imaju

koncentraciju pigmenta ispod 10% kako bi se postigla odgovarajuća optička gustoća.

**Dodaci protiv pjenjenja** bojila važni su za Inkjet tehnologiju otiskivanja. Jedan od problema u Inkjetu je i stvaranje pjene unutar spremnika s bojilom. To će se desiti onda kada se bojilo snažno mehanički mučka. Rješenje za to je dodatak sredstva koje sprječava pjenjenje. Naravno, bolje bi bilo uopće ga ne koristiti. Međutim, da se eliminira pjena treba stavljati one dodatke koji se ne odvajaju tijekom duljeg stajanja. Njihova koncentracija mora biti što je moguće niža.

Osnovnih tipova Inkjet boja ima nekoliko. Najčešće se koriste sljedeći tipovi: boje na bazi vode, boje s promijenom faze/hot-melt bojila, boje na bazi otapala i UV sušuća bojila. Od ostalih bojila tu možemo nabrojati i bojila na bazi ulja, ali rijetko se koriste u grafičkoj industriji (uglavnom za elektrostatski Inkjet). Bojilo se dakle može smatrati kombinacijom dviju komponenta: molekule specifičnog obojenja i veziva.

## 2.2. Inkjet boje na bazi vode

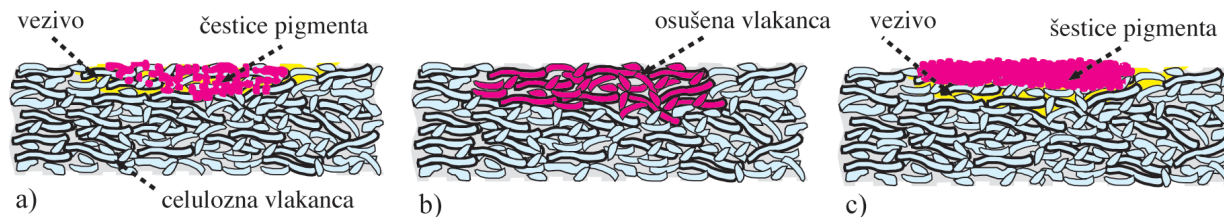
### 2.2. Water-based Inkjet inks

Bojila na bazi vode sastoje se od: nositelja obojenja (izvorno objene tekućine ili pigment), aditiva, tvari za zadržavanje vlage (etilen glikol ili dietanolamin) i vode. Izvorno obojene tekućine (dye bojila) su potpuno raspršene i otopljene u vodi, dok su pigmenti (čestice praha) fino disperzirane u vodi. Ovisno o udjelu pigmenta i izvorno obojenih tekućina ovakva bojila još nazivamo: Dye Inkjet boja (izvorno obojene tekućine) i pigmentirana Inkjet boja (nositelji obojenja su pigmenti) [1]. U tekućem agregatnom stanju njihova razlika je neznatna. Međutim,

nanašanjem na tiskovnu podlogu uviđa se njihova razlika (kolorno obojenje). Na slici 1a i 1b prikazan je mehanizam sušenja i distribucija tekućih nosiocima obojenja i pigmentima na klasičnoj papirnoj tiskovnoj podlozi.

**Dye bojila** su se prva koristila u tehnologiji Inkjet-a. Međutim, često ih susrećemo i danas. Ne sadrže opasna organska otapala i nisu toksična, te ostvaruju intenzivnije nijanse. Dye bojila su jeftina te daju dobar otisak visoke rezolucije i široki kolorni gamut. Glavni nedostatak im je to što je osnova voda koja se pri većem nanosu razlijeva i daje zamrljan otisak. Iako se relativno sporo suše (jer penetriraju u podlogu) nemaju ni dobru otpornost na vanjske atmosferske utjecaje. Zbog toga se uglavnom koriste za indoor aplikacije (otiske smještene u zatvorene prostore). Outdoor grafička rješenja (otisci koji su izloženi vanjskoj atmosferi) mogu se realizirati uz dodatnu plastifikaciju ili laminiranje, što dovodi do povećanja cijene grafičkog proizvoda. Samim time se s takve površine svjetlost lomi vrlo malo. Ipak, otisci brže izbljede, osjetljiviji su na vlagu i ozon. Princip interakcije dye bojila i papira prikazan je na slici 1 [7]

**Pigmentirana bojila** su nastala disperzijom sićušnih krutih čestica koje su mnogo veće od izvorno obojenih tekućina. To će pigmentiranom bojilu dati veću stabilnost, veću postojanost na svjetlo i atmosferske utjecaje. Pigmenti samim time daju i bolja svojstva konačnom otisku. Kako bi se pigmenti mogli koristiti u Inkjet bojilu oni moraju biti fino raspršeni. Takva obojena tekućina koloidno je mnogo stabilnija. No kako se čestice s vremenom sedimentiraju, takvo bojilo je teško održati stabilnim. Na samu sedimentaciju tako mogu utjecati razni faktori. Najčešće to je veličina čestica (veće čestice imaju



**Slika 1** Razlike nakon sušenja Inkjet boje: a) Inkjet boja na bazi vode s pigmentima kao nosiocima obojenja; b) Inkjet boja s tekućim nosiocima obojenja; c) pigmentirana UV sušuća boja.

**Figure 1** Differences after drying Inkjet inks: a) Water-based Inkjet inks with pigments/pigment colorants; b) Inkjet inks with dye colorants; c) UV cure inks with pigments/pigment colorant.

brže sedimentiraju), masa čestica (veća masa brža sedimentacija). Također, prevelika veličina čestica može prouzrokovati nekontrolirano nakupljanje, što može pruzročiti začepljenje ispisne glave. Za razliku od dye bojila koja su potpuno rastopljena u tekućini, u pigmentnom bojilu pigmenti su raspršeni u tekućini. Obzirom da se pigmenti ne rastapaju, pigmentno bojilo je mnogo otpornije na vodu. Međutim, pigmentirano se bojilo duže suši te ga se ne preporuča za tisak na neupojne materijale. Princip interakcije pigmentiranog bojila sa papirnom tiskovnom podlogom prikazan je na slici 1b.

### 2.3. UV Inkjet bojila

#### 2.3. UV Inkjet inks

UV Inkjet bojila spadaju u skupinu specijalnih pigmentiranih bojila. Osnovna karakteristika UV bojila je ta da se nakon otiskivanja otisci moraju izložiti ultravioletnim (UV) zrakama. To će dovesti do momentalnog sušenja pri čemu bojilo neće prodirati u tiskovnu podlogu već će se osušiti na samoj površini tiskovne podloge. Samim time objašnjeno je jedno od svojstava UV bojila a to je da vrsta podloge ne utječe mnogo na proces otiskivanja. U tu kategoriju možemo ubrojati i bijelo UV bojilo koje se može koristiti kao podloga čime se omogućava točna reprodukcija tonova na obojenim ili prozirnim podlogama. [8]

U početku su se UV bojila uglavnom koristila za tisak na velike formate, neravne i čvrte površine (plastiku, staklo, metal, keramiku...). Međutim, danas se primjenjuju i za tisak na papiru, foliji, kartonu (ljepenke), itd. Sastav UV bojila čine: monomerna i oligomerna osnova (veziva), pigmenti kao nosioci obojenja, fotoinicijatori koji započinju proces polimerizacije, aditivi za kontrolu površinske napetosti, stabilizatori i dodaci. Nedostatak ovog tipa Inkjet bojila je cijena, a i štetnost za ljudsko zdravlje (zbog UV izvora zračenja). UV lampe na žalost proizvode ozon koji se mora pravilno odvoditi i neutralizirati. Prilikom rada sa lošim poroznim tiskovnim podlogama (karton, papir) pisači također proizvode prašinu koja se također mora pravilno zbrinuti [8]. Međutim, razlozi zbog kojih se UV bojila sve češće koriste su: Ne sadrže opasna organska otapala, Momentalno

suše prilikom izlaganja UV elektromagnetskom zračenju, UV lampe zauzimaju manje prostora nego konvencionalni uređaji za sušenje, Viša kvaliteta otiska jer nema isparavanja ili apsorpcije bojila, Otisci su izdržljiviji nego što su otisci tiskani drugim vrstama bojila.

Proces sušenja UV Inkjet bojila zasniva na polimerizaciji. Nakon što kapljica bojila dođe do tiskovne podloge, osvjetljavanjem UV lampama započinje proces polimerizacije. U sastavu UV bojila nalaze se fotoinicijatori kao aktivne substance, koji se nakon izlaganja UV svjetlošću aktiviraju i postaju reaktivni radikali. Radikali koji dođu u doticaj sa monomerima i oligomerima započinju reakciju povezivanja u dugačke lance fiksirajući pritom pigmente bojila. Krajnji rezultat je nastajanje polimeriziranih lanaca, čime završava proces sušenja. Nanos UV bojila prije polimerizacije iznosi 20  $\mu\text{m}$ , dok će nakon polimerizacije iznositi od 5 do 15  $\mu\text{m}$ . Polimerizirano bojilo će nakon otvrdnjavanja imati odlična mehanička svojstva (otpornosti na otiranje, toplinsku otpornost, kemijsku postojanost te otpornost na organska otapala) [9].

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3. Experiment

Cilj eksperimenta je bio ispitati postojanost tri najčešće vrste Inkjet bojila na vlagu. Pošto su standardizirane metode bazirane na principu uranjanja uzoraka (intezivno djelovanje tekućine), u ovom radu se pokušava izvršiti novi način vlaženja, odnosno simulacija atmosferske pojave vlaženja "kiše". Na temelju rezultata vidjeti će se mogućnost primjene različitih Inkjet bojila za vanjsko oglašavanje, odnosno za moguću uporabu u eksterijeru. Toplina i vlaga su dva najutjecajnija parametra na stabilnost otisaka, te ih je definitivno potrebno izbjegavati. Naravno, na to utječe i vrsta papira koja se koristi, ali i njegova površinska obrada.

Za potrebu ovog rada izrađena je specijalna tiskovna forma koja sadržava sljedeće tiskovne elemente: standardni crni stepenasti klinovi u rasponu od 20%, 40%, 60%, 80% i 100% RTV, standardnu ISO ilustraciju za vizualnu kontrolu i tekstualne pozitivske i negativske mikroelemente. Za eksperimentalno ispitivanje koristiti će se kalandrirani papir Splendogel 160g/m<sup>2</sup>, koji se

koristi kao jedna univerzalna papirna tiskovna podloga. Pri tom su se primjenila 3 tipa Inkjet pisača za ispis. To su: Epson Stylus Photo R2400, Roland LEC 300 i Epson Stylus PRO 7000. Za njih je karakteristično da koriste potpuno drugačija crna bojila: Epson Stylus Photo R2400 = 3K pigmentirano bojilo, Roland LEC 300 = UV LED sušeće bojilo i Epson Stylus PRO 7000 = dye bojilo. Postavke pisača Epson Stylus Photo R2400 i Epson Stylus PRO 7000 izvele su se preko izvornog drivera, bez Color Menagementa, rezolucije ispisa 720 x 720 dpi-a, uz odabir obična tiskovna podloga. Za pisac Roland LEC 300 koriste se slijedeće postavke: RIP ROLAND VERSA WORKS 4.8.2. (metoda rastriranja- DITER), tisak u jednom smjeru, korištene samo primarnih boja, rezolucija ispisa 720 x 720 dpi-a. Da bi se ustanovila postojanost na vlagu Inkjet gotovi otisci se moraju izložiti mekoj vodi (demineraliziranoj vodi). Vlaženje će se izvršiti konstantnim nanosom vode principom špricanja (400 l/h). Maksimalno vrijeme istraživanja iznosilo je 24 sata pri čemu se za svako bojilo istražio karakteristični vremenski period od 0h, 1h, 6h i 24h. Uređaj za vlaženje posebno je izrađen za potrebe ovog rada.

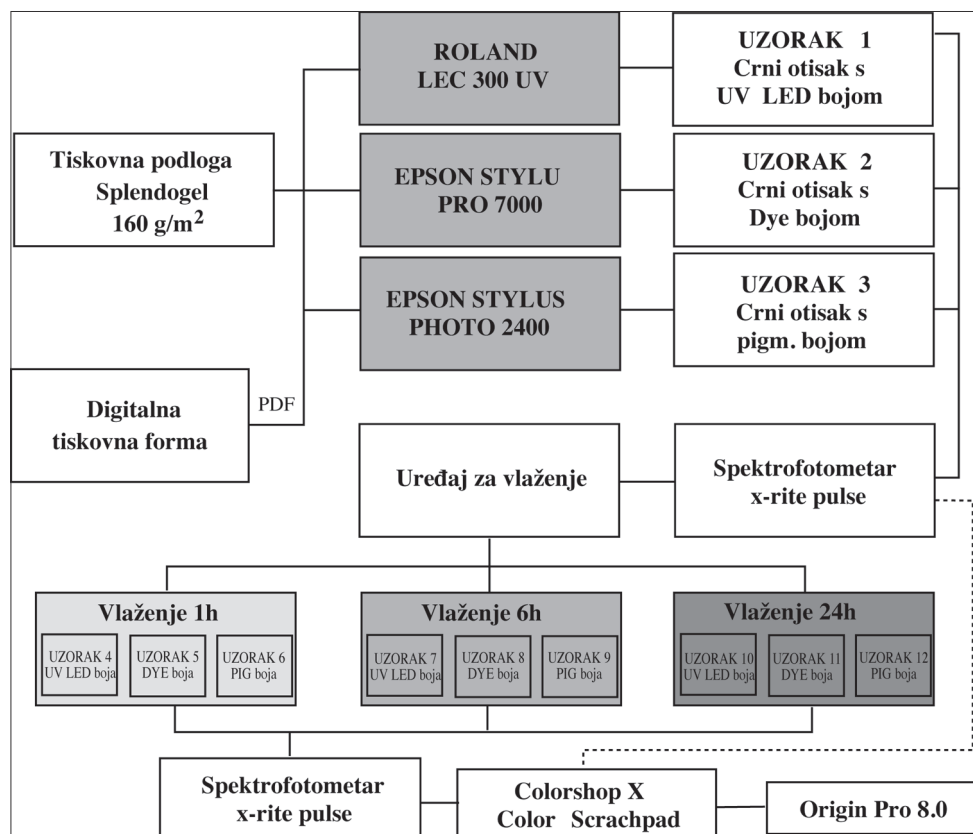
Nakon otiskivanja vršeno je mjerenje crnih polja od 20%, 40%, 60%, 80% i 100% RTV-a.

Za mjerenje otisaka korišten je spektrofotometar X – Rite DTP 20 koji radi s aplikacijom Color ShopX. Njime su utvrđene CIE LAB vrijednosti na temelju kojih je izračunata  $\Delta E_{00}$  (razlika obojenja),  $\Delta L$  (razlika u svjetlini) i  $\Delta C$  (razlika u kromatičnosti). Svako polje mjerimo 3 puta i na temelju toga je izračunata njihova srednja vrijednost. Rezultati tih mjerenja prikazani su u 3D  $L^*a^*b^*$  dijagramima. Postupak će se kontinuirano ponoviti nakon izlaganja vodi od 1h, 6h i 24h. Za precizniji grafički prikaz korišten je računalni program Origin Pro 8.0. Također, rezultati će biti dani i u tabularnom obliku koji će biti prikazan u odnosu: 0 - 1 h, 0 - 6 h i 0 - 24 h.

## 4. Rezultati i diskusija

### 4. Results and i discussion

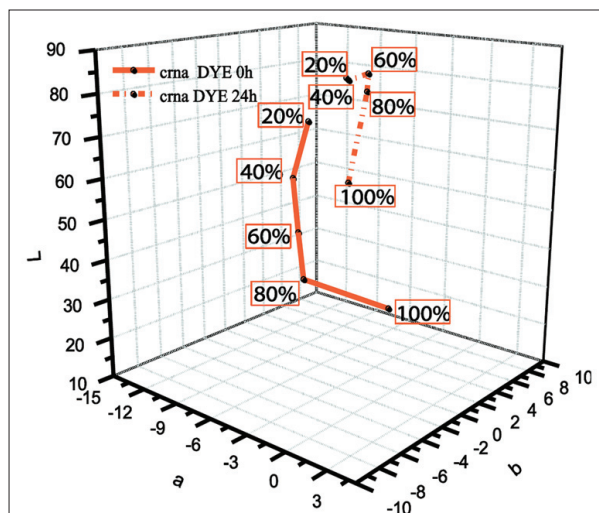
Mnogi znanstveni radovi dokazali su da će vlaga iz atmosfere negativno utjecati na hidroskopske materijale kao što je to papir [9-15]. Međutim, vlaga utječe i na otiske, pri čemu dolazi do izbjeljivanja nosioca obojenja. U ovom radu je istražena kolorna postojanost Inkjet bojila nakon dugotrajnog izlaganja destiliranoj vodi. Rezultati su prikazani u 3D obliku za CMYK i



*Slika 2*  
Scheme of the experiment

*Figure 2*  
Scheme of experiment

RGB boje, odnosno analizirane su kao razlike u obojenju ( $\Delta E$ ), ovisno o vremenu močenja. Pri tom su dodatno ispitana područja od 20%, 40%, 60%, 80% i 100 % RTV, i vremenskom intervalu od 24h (0 - 1 h, 0 - 6 h i 0 - 24 h.). Ponašanje procesnih dye otisaka nakon eksperimentalnog vlaženja prikazano je na slici 3, i tablici 1.



Slika 3 3D grafički prikaz kolornih promijena crnih otisaka otisnutih Dye bojom

Figure 3 3D graphic view of color change printed in black Dye Inkjet inks

Kod crne boje otisnute 20% rasterom, većim izlaganjem destiliranoj vodi, razlika obojenja otisaka se smanjuje. Najveće (apsolutne) kolorne promijene su nastale već nakon 1h izlaganja otisaka vlazi. Nakon toga dolazi do smanjenja ( $\Delta E_{20\% (6h-1h)} = -0,22$ ,  $\Delta E_{20\% (24h-1h)} = -5,58$ ). Pri tome se sve kolorne promijene događaju po svjetlini. Tendencija rezultata ostaje ista kod crnih otisaka otisnutih 40% rasterom ( $\Delta E_{40\% 1h} = 19,86$ ,  $\Delta E_{40\% (6h-1h)} = -1,15$ ,  $\Delta E_{40\% (24h-1h)} = -5,66$ ), te 60% rasterom ( $\Delta E_{60\% 1h} = 28,77$ ,  $\Delta E_{60\% (6h-1h)} = -0,40$ ,  $\Delta E_{60\% (24h-1h)} = -27,18$ ).

Kod 80% RTV crne boje uočavamo nešto drukčije rezultate. Nakon 1h izlaganja vlazi otisaci otisnutih s 80% rasterom imaju apsolutnu kolornu promijenu ( $\Delta E_{80\% 1h} = 30,39$ ). Daljnjim izlaganjem vlazi rezultati pokazuju da će nakon 6h doći do povećanja ( $\Delta E_{80\% (6h-1h)} = 0,45$ ), a nakon 24h do smanjenja ( $\Delta E_{80\% (24h-6h)} = -0,35$ ). Puni tonovi ostvarili su također apsolutne kolorne promijene, pri čemu dolazi do povećanja rezultata ( $\Delta E_{100\% 1h} = 18,57$ ,  $\Delta E_{100\% (6h-1h)} = 6,40$ ,  $\Delta E_{100\% (24h-6h)} = 10,08$ ). No kao i kod žute najveću kolornu promijenu uočavamo na 80% RTV. Bez obzira na to kolorne

Tablica 1 Kolorne promijene crnih otisaka otisnutih DYE bojom

Table 1 Color change of black Dye Inkjet inks on paper

Otisci 20% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	12.31	-7.49	0.32	9.77
K_0 sati - K_6 sati	12.09	-4.74	-0.78	11.10
K_0 sati - K_24 sati	6.73	-3.84	1.66	5.27

Otisci 40% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	19.86	-15.91	-1.53	11.78
K_0 sati - K_6 sati	18.71	-13.17	-3.37	12.86
K_0 sati - K_24 sati	14.20	-12.45	0.79	6.79

Otisci 60% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	28.77	-24.52	-4.22	14.45
K_0 sati - K_6 sati	28.37	-22.88	-6.51	15.46
K_0 sati - K_24 sati	1.59	-1.36	0.79	0.21

a

Otisci 80% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	28.77	-24.52	-4.22	14.45
K_0 sati - K_6 sati	28.37	-22.88	-6.51	15.46
K_0 sati - K_24 sati	1.59	-1.36	0.79	0.21

Otisci 100% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	18.57	-18.44	-0.40	2.15
K_0 sati - K_6 sati	24.97	-24.50	-0.45	4.78
K_0 sati - K_24 sati	29.37	-29.22	-1.06	2.78

Podloga	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
P_0 sati - P_1 sati	1.14	0.16	1.00	0.52
P_0 sati - P_6 sati	4.61	2.55	3.49	1.60
P_0 sati - P_24 sati	5.16	4.16	0.04	3.05

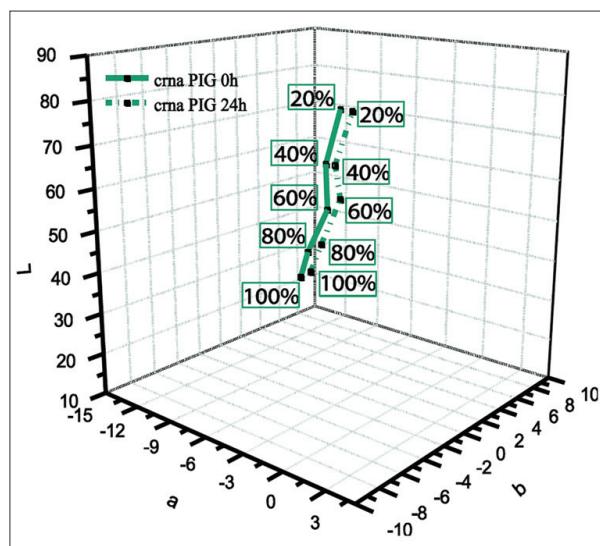
b

promijene su ekstremne po svjetlini, što znači da su otisci upotpunosti izljudili, te crna postaje siva.

Podloga također doživljava kolorne promijene. One nastaju zbog razlijevanja boje usred djelovanja vode. Nakon 1h izlaganja vlazi podloge otisnute dye bojom kolorna promijena iznosi  $\Delta E_{\text{podloga } 1h} = 1,14$ . Daljnjim vlaženjem dolazi do povećavanja kolorne promijene i ona iznosi

$\Delta E_{\text{podloga (6h-1h)}} = 3,47$ . Nakon 24h vidljivo je da se promijena stabilizirala i doživjela slabi pomak  $\Delta E_{\text{podloga (24h-6h)}} = 0,55$ . Također, vidimo i da se promijena dogodila i po svjetlini, rezultati su se povećali, što znači da je podloga postala tamnija i žuća. Iz ovih rezultata za procesna bojila zaključuje se sljedeće: što je veća rastertonska vrijednost cijan otisaka to će promijene biti veće (više boje će se isprati). Smanjenje vrijednosti razlike u obojenju nastale nakon 6 sati izlaganja otisaka vlazi može se prozumačiti kolornom promijenom same kalindrirane tiskovne podloge koja je lagano obojila u žuto, i lagano je tamnija.

Kod pigmentiranih otisaka nakon izlaganja vlazi dolazi također do kolornih promijena. Iako je razlika originalnih dye i pigmentiranih boja minimalna (nevidljive ljudskom oku). Eksperimentalnim djelovanjem vlage zamijetit će se promijene. One su prikazane na slici 4 i tablici 2.



Slika 4 3D grafički prikaz kolornih promijena crnih otisaka otisnutih pig. bojom

Figure 4 3D graphic view of color change printed in black pigmented Inkjet inks

Kod crnih svjetlijih rastertonskih vrijednosti uočava se početni rast, a nako toga smanjenje kolorne promijene. Nakon 1h vlaženja otisaka kolorne promijene su  $\Delta E_{20\% 1h} = 0,81$ , odnosno  $\Delta E_{40\% 1h} = 1,47$ . Daljnjim vlaženjem (nakon 6h) dolazi do povećanja kolorne promijene te one iznose  $\Delta E_{20\% (6h-1h)} = 0,98$  i  $\Delta E_{40\% (6h-1h)} = 0,17$ . Maksimalnim izlaganjem vlazi (nakon 24h) karakteristično je smanjenje ( $\Delta E_{20\% (0h-24h)} = -0,95$ ,  $\Delta E_{40\% (0h-24h)} = -1,01$ ). Kod 60% RTV crne boje,

Tablica 2 kolorne promijene crnih otisaka otisnutih pigmentiranom bojom

Table 2 Color change of black pigmented Inkjet inks on paper

Otisci 20% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	0.81	0.06	0.43	0.69
K_0 sati - K_6 sati	1.79	0.85	0.06	1.57
K_0 sati - K_24 sati	0.84	0.24	0.54	-0.60

Otisci 40% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	1.47	-0.55	0.49	1.27
K_0 sati - K_6 sati	1.64	0.38	0.28	1.57
K_0 sati - K_24 sati	0.63	0.12	0.40	-0.47

Otisci 60% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	2.22	-1.77	0.52	1.24
K_0 sati - K_6 sati	1.87	-1.06	0.42	1.49
K_0 sati - K_24 sati	1.59	-1.36	0.79	0.21

a

Otisci 80% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	2.53	-2.21	0.42	1.15
K_0 sati - K_6 sati	2.93	-2.61	0.61	1.18
K_0 sati - K_24 sati	2.11	-1.90	0.57	-0.71

Otisci 100% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	2.77	-2.32	0.72	1.34
K_0 sati - K_6 sati	2.68	-2.35	0.71	1.08
K_0 sati - K_24 sati	1.51	-1.35	0.24	-0.63

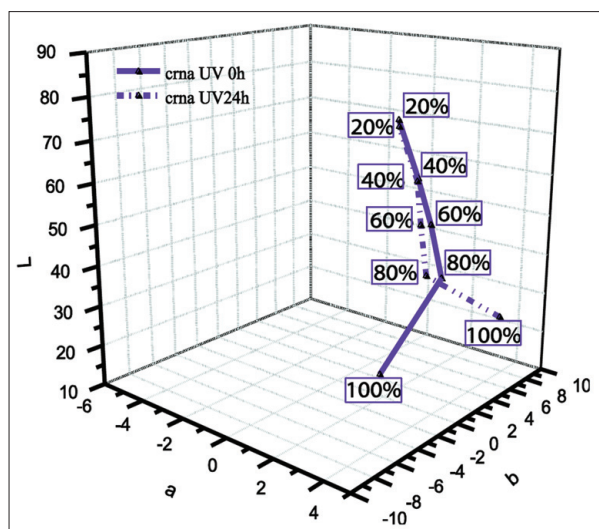
Podloga	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
P_0 sati - P_1 sati	1.19	0.38	1.06	0.38
P_0 sati - P_6 sati	0.42	0.16	0.35	-0.16
P_0 sati - P_24 sati	0.87	0.72	0.01	-0.48

b

nakon početnog rasta ( $\Delta E_{60\% 1h} = 2,22$ ), daljnjim vlaženjem vrijednosti se i dalje smanjuju ( $\Delta E_{60\% (6h-1h)} = -0,35$ ,  $\Delta E_{60\% (24h-6h)} = -0,28$ ). 80% rastertonske vrijednosti vraćaju početnu tendenciju rezultata, a ta je povećanje kolorne promijene nakon 6h vlaženja te smanjenje kolorne promijene nakon 24h izlaganja otisaka vlazi ( $\Delta E_{80\% 1h} = 2,53$ ,  $\Delta E_{80\% (6h-1h)} = 0,40$ ,  $\Delta E_{60\% (24h-6h)} = -0,82$ ).

Najveće kolorne promijene kod crne boje događaju se na punom tonu (100% RTV). Na 100% RTV crne se događaju kolorne promijene koje su vidljive svima već nakon 1h izlaganja vodi  $\Delta E_{100\% 1h} = 2,77$ . Daljnim izlaganje crna boja ima dalje tendenciju pada, i nakon 24 sata kolorna promijena iznosi  $\Delta E_{100\% (0h-24h)} = 1,51$ .

Podloga kao i većina bojila ima tendenciju smanjivanja kolornih vrijednosti u početku, pa nakon 24 sata povećanje kolornih vrijednosti. Podloga otisnuta pigmentiranim bojilima i ovdje naravno doživljava promijene zbog razlijevanja boje. Iako, u ovom slučaju promijene nisu velike kao kod podloge otisnute dye bojilima. Nakon 1h bojilo se razlilo pod utjecajem vode i kolorna promijena iznosi 1,19 ( $\Delta E_{\text{podloga } 1h} = 1,19$ ). Daljnjim vlaženjem dolazi do smanjenja kolorne promijene od 0,77 ( $\Delta E_{\text{podloga } (6h-1h)} = -0,77$ ). To znači da se utjecaj vode na podlogu stabilizirao i da se dosta bojila ispralo. Nakon 24h dolazi do ponovnog povećanja te kolorna promijena iznosi  $\Delta E_{\text{podloga } (24h-6h)} = 0,55$ . Ponašanje procesnih UV otisaka nakon vlaženja destiliranom vodom prikazano je na slici 5 i tablici 4.



Slika 5 3D grafički prikaz kolornih promijena crnih otisaka nastalih UV bojom

Figure 5 3D graphic view of color change printed in black UV cured Inkjet inks

U početku kolorna promijena crnih UV otisaka sa 20% RTV pod utjecajem vlage iznosi 0,73 ( $\Delta E_{20\% 1h} = 0,73$ ). Nakon 6 sati dolazi do povećanja ( $\Delta E_{20\% (6h-1h)} = 1,35$ ), a nakon 24 sata do smanjenja kolorne vrijednosti ( $\Delta E_{20\% (24h-6h)} = -0,69$ ). Crna boja izbjeljuje, jer se promijene dešavaju po svjetlini, te mijenja tendenciju kolornih vrijednosti. Ovakva tendencija rezultata provlači se kroz sve rastertonske vrijednosti crne boje.

Tablica 4 kolorne promijene crnih otisaka otisnutih UV bojom

Table 4 Color change of black pigmented UV Inkjet inks on paper

Otisci 20% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	0.73	0.07	0.70	-0.19
K_0 sati - K_6 sati	2.08	1.38	1.04	-1.16
K_0 sati - K_24 sati	1.39	1.34	0.18	-0.33

Otisci 40% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	0.57	0.15	0.34	-0.44
K_0 sati - K_6 sati	1.96	1.04	0.07	-1.66
K_0 sati - K_24 sati	0.84	-0.13	-0.10	0.82

Otisci 60% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	1.35	-1.07	0.48	-0.66
K_0 sati - K_6 sati	1.00	-0.88	0.35	-0.32
K_0 sati - K_24 sati	0.71	-0.34	0.53	0.33

a

Otisci 80% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	1.10	-0.96	0.54	0.00
K_0 sati - K_6 sati	1.95	-1.87	0.53	0.18
K_0 sati - K_24 sati	0.75	-0.29	0.62	-0.30

Otisci 100% RTV	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
K_0 sati - K_1 sati	1.45	-0.47	-0.28	1.34
K_0 sati - K_6 sati	2.42	-2.39	-0.40	-0.08
K_0 sati - K_24 sati	11.58	-10.26	-5.37	0.16

Podloga	$\Delta E_{00}$	$\Delta L_{00}$	$\Delta C_{00}$	$\Delta H_{00}$
P_0 sati - P_1 sati	1.04	0.24	0.75	0.68
P_0 sati - P_6 sati	3.40	1.74	2.78	0.90
P_0 sati - P_24 sati	1.16	0.24	1.14	0.04

b

Kod 40% RTV crne boje nakon 1h kolorna promijena je  $\Delta E_{40\% 1h} = 0,57$ . Zatim, većim izlaganjem vlazi dolazi do povećanja kolorne promijene  $\Delta E_{40\% (6h-1h)} = 1,39$ . Nakon 24h izlaganja vlazi kolorna promijena se smanjuje te iznosi 0,84 ( $\Delta E_{20\% (24h-6h)} = -1,12$ ). Crna otisnuta sa 60% rasterom nakon početnog izlaganja vlazi daje malu kolornu promijenu  $\Delta E_{60\% 1h} = 1,35$ . Nakon 6h ostvaruje pad ( $\Delta E_{60\% (6h-1h)} = -0,35$ ). "Daljnjim izlaganjem vlaženju (nakon 24h) ostvaruje se i dalje pad vrijednosti ( $\Delta E_{60\% (24h-6h)} = -0,29$ ).



Kod crnih otisaka dolazi do promijene i po svjetlini. Iste rezultate uočavamo i kod 80% RTV-a i punog tona crne boje boje, što nam govori kako boja dužim izlaganjem vlazi sve više blijedi.

Izlaganjem otisaka sa 80% RTV destiliranoj vodi nakon 1h kolorne promijene iznose  $\Delta E_{80\%_{1h}} = 1,10$ . Nakon početnog povećavanja na kraju dolazi do smanjivanja rezultata ( $\Delta E_{80\%_{(6h-1h)}} = 0,85$ ,  $\Delta E_{80\%_{(24h-6h)}} = -1,2$ ). Puni tonovi (100% RTV) crne ostvarili su veće kolorne promijene u odnosu na rastrirane tonove. Kod crne te promijene su ekstremne što nam govori da je crna postala siva. Nakon jednog sata  $\Delta E_{100\%_{1h}} = 1,45$ . Zatim dolazi do povećanja i  $\Delta E_{100\%_{6h}} = 2,42$  ( $\Delta E_{100\%_{6h-1h}} = 0,97$ ). Nakon 24h izlaganja otisaka vlaženju dolazi do apsolutne kolorne promijene i  $\Delta E$  iznosi  $\Delta E_{100\%_{24h}} = 11,58$  ( $\Delta E_{K_{100\%_{(24h-6h)}}} = 9,16$ ). Pri tome su oscilacije nastale po svjetlini, što nam govori kako je otisak izlijedio.

Podloga otisnuta UV bojilima ne doživljava velike promijene. Nakon 1h bojilo dogodila se mala kolorna promijena i ona iznosi  $\Delta E_{\text{podloga}_{1h}} = 1,04$ . Daljnjim vlaženjem dolazi do povećanja kolorne promijene te ona postaje vidljiva ljudskom oku  $\Delta E_{\text{podloga}_{(6h-1h)}} = 2,36$ . Nakon 24h dolazi do smanjenja te kolorna promijena iznosi  $\Delta E_{\text{podloga}_{(24h-6h)}} = -2,24$ .

## 5. Zaključak

### 5. Conclusion

Kod UV bojila nema ekstremnih kolornih promijena. Promijene su tu, ali nisu vidljive

golim okom. Najmanje kolorne promijene kod UV otisaka su kod cijan bojila a najveće kolorne promijene su kod crne boje. To znači da je ona izbledila i postala siva, što se vidi i prema maksimalnoj kolornoj promijeni kod UV bojila koja se dogodila nakon 24 sata izlaganja crnog bojila vlazi,  $\Delta E_{100\%_{(0h-24h)}} = 11,58$ . Kolorne promijene kod UV bojila najveće su u periodu između 6h i 24h izlaganja otisaka vlazi. Minimalna kolorna promijena iznosi  $\Delta E_{40\%_{(0h-1h)}} = 0,07$ . Male kolorne promijene, u usporedbi s dye i pigmentiranim bojilima govore da su UV bojila najstabilnija pod utjecajem vlage. Također, vidljive su kolorne promijene i na podlozi te se može zaključiti da vlaga i ispiranje bojila utječe i na promijenu podloge.

Kod podloge otisnute dye bojom nakon 24 sata vidljiva je kolorna promijena koja iznosi  $\Delta E_{\text{podloga dye}_{(0h-24h)}} = 5,16$ . Iz toga je vidljivo koliko se dye bojilo ispralo i utjecalo na podlogu. Podloga otisnuta pigmentiranim bojom ima manju kolornu promijenu. Ona iznosi  $\Delta E_{\text{podloga pig}_{(0h-24h)}} = 0,87$ . Podloga otisnuta UV bojom nakon 24 sata ima kolornu promijenu koja iznosi  $\Delta E_{\text{podloga UV}_{(0h-24h)}} = 1,16$ . Utjecaj vlage na Inkjet otiske mijenja njihovu kvalitetu, boju i ton reprodukcije. Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da vlaga ima utjecaj na sve tri vrste bojila, najviše na dye bojila a najmanje na UV bojila.

## 6. Reference

### 6. References

- [1] Svanholm E.; Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing, Faculty of Technology and Science Chemical Engineering, ISBN 91-7063-104-2, Karlstad 2007.
- [2] Yang L.; Ink-paper interaction. A study in Ink-jet color reproduction, Department of Science and Technology Linköping University, ISBN 91-7373-613-9, Norrköping 2003.
- [3] Kipphan H.; The handbook of print media, ISBN 3- 540-67326-1, Springer Berlin 2001.
- [4] Magdass, S.; The chemistry of Inkjet inks, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., ISBN-13 978-981-281-821-8, UK 2010.
- [5] \*\*\*<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/piezo.html> Nave, C.R., Piezoelectricity - 27. Prosinac, 2013.
- [6] Ballato, A., (1995), Piezoelectricity: Old Effects and New Applications. IEEE Ultrasonics Transactions, Ferroelectric Frequency Control, Vol. 42, str. 916- 926. ISSN: 0885-3010

- [7] <http://www.xennia.com/knowledgecentre/UV-inkjet-inks.asp>, Seeing the light: UV Inkjet inks; 12.01.2014.
- [8] Majnarić I.; Osnove digitalnog tiska, Grafički fakultet Zagreb, ISBN 978-953-7644-13-0, Zagreb 2015.
- [9] Majnarić I; Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Magistarski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2004.
- [10] Majnarić I; Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2007.
- [11] Burge D. Scott J.; Digital Prints During Flood Events, 54(2): 020503–020503-6, Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology, Rochester, ISSN 1062-3701, New York, str. 020503-1; 2010.
- [12] McCormic-Goodhart M. I., Wilhelm H.; New test methods for evaluating the humidity fastness of Inkjet prints, Proceedings Japan Hardcopy 2005: Annual Conference of The Imaging Society of Japan, Imaging Society of Japan, ISSN: 0916-8087, str. 95-98; 2005.
- [13] Lamminmäki T.T., Kettle J.P., Gane P.A.C.; Absorption and adsorption of dye-based inkjet inks by coating layer components – band the implications for print quality, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects ISSN: 0927-7757; 380 str. 79–88; 2011.
- [14] Wilhelm, H., Armah, K., Shklyarov, D., Stahl, B.; Improved test methods for evaluating the permanence of digitally printed photographs, Proceedings of Imaging Conference JAPAN 2009: The Annual Conference of the Imaging Society of Japan, The Imaging Society of Japan, ISSN: 1881-9958, str.1-4, 2009.
- [15] Hodgson A., Fricker A.; Test Methods for the Water Sensitivity of Photobooks, NIP 28 and Digital Fabrication 2012, ISBN: 978-0-89208-302-2, Quebec City, Quebec, Canada, Society for Imaging Science and Technology, str. 392 – 396., 2012.

## AUTORI · AUTHORS



### Igor Majnarić

Dr. sc. Igor Majnarić, dipl. ing. rođen je u Rijeci 21. srpnja 1971. godine. Docent je na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na Katedri za tiskarske procese.

Usko područje njegovog djelovanja je razvoj i implementacija digitalnih tiskarskih sustava. Trenutno je autor jednog sveučilišnog udžbenika (Osnove digitalnog tiska) te je do sada iz istog područja objavio oko 65 znanstvena rada, te 30 stručnih radova.

### Korespodencija

Doc. dr. sc. Igor Majnarić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Katedra za tiskarske procese, majnari@grf.hr



### Marija Jakelić

Marija Jakelić, dipl.ing. rođena je u Vinkovcima. Na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu diplomirala je 2014. godine na Katedri za tiskarske procese.

Zaposlena je u tvrtci Europapier Adria d.o.o. u odjelu Vizualne komunikacije koji se bavi distribucijom materijala za digitalni tisak velikog formata. Kao prodajni predstavnik direktno je vezana prodajni, nabavni i razvojni segment grafičkih repromaterijala.



### Marko Morić

Mr. sc. Marko Morić, dipl.ing. rođen je u Zadru 01.10.1975. godine. Zaposlen je u tvrtci AKD d.o.o. na mjestu voditelja proizvodnje, te kao vanjski predavač na Sveučilištu Sjever.

U poslovnom iskustvu područje djelovanja je uz sam proces proizvodnje te sve vezano uz nju kao što je planiranje, organizacija, tehnologija, razvoj, zaštićeni tisak također i nadogradnja i implementacija softvera kao podrška proizvodnom procesu. U nastavnom i istraživačkom iskustvu područje djelovanja su tiskarske tehnike, grafička priprema, softverske nadogradnje u smjeru automatizacije i optimizacije proizvodnog procesa. Trenutno je polaznik doktorskog studija na Grafičkom fakultetu u Zagrebu.



### Damir Modrić

Dr. sc. Damir Modrić, (Zagreb, 1957) diplomirao je fiziku na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Nakon diplome zaposlio se u Elektrotehničkom institutu

“Rade Končar”, u odjelu energetske elektronike. Istovremeno na Institutu za fiziku u Zagrebu bavi se laserskom spektroskopijom alkalijskih para i izbojem u tim parama. Izvanredni profesor je na Katedri za fiziku u grafičkoj tehnologiji Grafičkog fakulteta gdje je nositelj kolegija Fizika 1, Holografija i Uvod u teoriju eksperimentalnog rada. Na Grafičkom fakultetu težište njegovog interesa usmjereno je na proučavanje interakcije i transporta elektromagnetskog zračenja kroz tiskovne podloge. Aktivno sudjeluje na više znanstvenih projekata u okviru kojih optičkim metodama ispituje tiskovne podloge otisnute raznim tehnikama tiska izložene određenim vanjskim promjenama (starenje). Od 2014. godine glavni je urednik međunarodnog časopisa za tiskarstvo i grafičke komunikacije Acta Graphica.

### Blaž Sviličić

Mr. sc. Blaž Sviličić, graf. ing. rođen je 29.12.1971. godine u Zadru. Diplomirao je i magistrirao na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Apsolvent je na Poslijediplomskom specijalističkom studiju Poslovno upravljanje – MBA na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, i polaznik doktorskog studija na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Trenutno je zaposlen na radnom mjestu direktora Sektora proizvodnje u Agenciji za komercijalnu djelatnost d.o.o. u Zagrebu, tvrtki u državnom vlasništvu koja je specijalizirana za proizvodnju dokumenata, pametnih kartica, visoko zaštićenog tiska te implementaciju pratećih i cjelovitih IT rješenja. U većem dijelu svog radnog vijeka radio je i specijalizirao se u poslovima projektiranja i izrade nacionalnih identifikacijskih dokumenata. Uz navedene poslove, bio je angažiran u radu sa studentima na Arhitektonskom fakultetu u Zagrebu, te na Tehničkim veleučilištima u Zagrebu i Osijeku.

**Nemanja Kašiković** – nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3 No. 3, 2015.