

**ZBORNİK RADOVA  
CONFERENCE PROCEEDINGS**

# ***MATRIB 2010***

Vela Luka

Otok / island Korčula, Hrvatska / Croatia

23-25. lipnja / June 2010.

**ORGANIZATORI / ORGANIZED BY:**

HRVATSKO DRUŠTVO ZA MATERIJALE I TRIBOLOGIJU, Croatia

INSTITUTE OF MATERIALS AND MACHINE MECHANICS (SLOVAK ACADEMY OF SCIENCES), Slovakia

DUBLIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Ireland

**SUORGANIZATORI / CO-ORGANIZERS:**

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE SVEUČILIŠTA U ZAGREB

GRAFIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREB

**SPONZORI / SPONSORS:**

MINISTARSTVO ZNANOSTI OBRAZOVANJA I ŠPORTA

HIVIA d.o.o.

IDEF d.o.o. za industrijsku defektoskopiju – ZAGREB

ROBERT BOSCH d.o.o. – ZAGREB

PLINOSERVIS Kuzman

**IZDAVAČ / PUBLISHER:**

Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju  
*Croatian Society for Materials and Tribology*  
c/o FSB, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb  
tel.: +385 1 61 68 400; fax: +385 1 61 57 126  
e-mail: [hdmt@fsb.hr](mailto:hdmt@fsb.hr), <http://www.fsb.hr/hdmt>

**UREDNICI / EDITORS:**

Zdravko Schauperl, Mateja Šnajdar

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 741208.

ISBN 978-953-7040-18-5

**NAKLADA / ISSUE:**

120

## **ORGANIZACIJSKI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE:**

Krešimir Grilec (Zagreb) – predsjednik / president  
Dario Karlovčan (Zagreb)  
Darko Andreis (Vela Luka)  
Denis Andreis (Vela Luka)  
Zoran Hlede (Zagreb)  
Vinko Ivušić (Zagreb)  
Suzana Jakovljević (Zagreb)  
Josip Lovričević (Vela Luka)  
Igor Majnarić (Zagreb)  
Željko Maričić (Vela Luka)  
Gojko Marić (Zagreb)  
Gorki Miletić (Vela Luka)  
Želimir Oršanić (Zagreb)  
Dinko Prižmić (Vela Luka)  
Denis Prusac (Zadar)  
Zdravko Schauperl (Zagreb)  
Mateja Šnajdar (Zagreb)  
Danko Žuvela (Vela Luka)  
Krešo Žuvela (Vela Luka)

## **PROGRAMSKI I RECENZENTSKI ODBOR / PROGRAMME and REVIEW COMMITTEE:**

Vinko Ivušić (Zagreb) – predsjednik / president  
Vesna Alar (Zagreb)  
Branko Bauer (Zagreb)  
Danko Ćorić (Zagreb)  
Maurice Grech (Msida, Malta)  
Krešimir Grilec (Zagreb)  
Hrvoje Ivanković (Zagreb)  
Marica Ivanković (Zagreb)  
Jaroslav Jerz (Bratislava, Slovak Republic)  
David Kennedy (Dublin, Ireland)  
Frankica Kapor (Zagreb)  
Jelena Macan (Zagreb)  
Igor Majnarić (Zagreb)  
Gojko Marić (Zagreb)  
Jan Meneve (Mol, Belgium)  
Diana Milčić (Zagreb)  
Ljiljana Pedišić (Zagreb)  
Zdravko Schauperl (Zagreb)  
František Simančík (Bratislava, Slovak Republic)  
Juraj Šipušić (Zagreb)  
Dražen Živković (Split)

# SADRŽAJ

<b>Ž. Alar, I. Kamerla, M. Videc:</b> UNCERTAINTY EVALUATION OF THE REFERENCE HARDNESS STANDARD 5030 TKV AND INTERCOMPARISON MEASUREMENTS.....	1
<b>M. Balog, M. Cavojsky, F. Simancik, K. Izdinsky, P. Svec, D. Janickovic, E. Illekova :</b> RAPIDLY SOLIDIFIED ALCR4,4FE0,9 BULK PROFILES.....	10
<b>D. Barbir, P. Dabić, P. Krolo:</b> POSSIBILITY OF STABILIZATION OF INDUSTRIAL MUD FROM A ZINC PLATING PLANT AND WASTE ZEOLITE IN CEMENT MATRIX AND ASSESSMENT OF ACCEPTABLE SHARE.....	18
<b>A. Begić Hadžipašić, J. Malina, Š. Nižnik:</b> THE INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE ON HYDROGEN DIFFUSION AND EMBRITTLEMENT OF DUAL PHASE STEEL.....	24
<b>H. Cajner, A. Babić, N. Šakić:</b> EXPERIMENTS WITH MIXTURES - OPTIMIZING THE MATERIAL PROPERTIES.....	34
<b>T. Cigula, S. Mahović Poljaček, M. Gojo, D. Novaković:</b> ROUGHNESS OF NONPRINTING SURFACES OF THE OFFSET PRINTING PLATE DEPENDING ON PROCESSING SOLUTION CONCENTRATION.....	44
<b>D. Ćurčija, I. Mamuzić, M. Buršák:</b> THE LUBRICATING LAYER MODELLING AND SIMULATING AT BAND DRESSING.....	51
<b>S. Curran, D. Vather, P. Duffy, M. Wylie, J. Keegan:</b> DEVELOPING A CARBON FIBRE, TELESCOPIC BOOM FOR THE TELESCOPE REXUS PROJECT.....	53
<b>D. Ćorić, M. Franz, Z. Schauerl:</b> INVESTIGATION OF BALL VALVE FRACTURE.....	62
<b>L. Ćurković, S. Šegota, D. Ljubas, V. Svetličić:</b> PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SOL-GEL TiO <sub>2</sub> FILMS BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY .....	69
<b>K. D. Delaney, D. Kennedy, G. Bissacco:</b> A STUDY OF FRICTION TESTING METHODS APPLICABLE TO DEMOULDING FORCE PREDICTION FOR MICRO REPLICATED PARTS.....	77
<b>H. Đukić, M. Nožić:</b> HARDENING OF MATERIALS AS RESTRICTION IN APPLICATION OF CERTAIN TECHNOLOGIES.....	89
<b>T. Filetin, S. Šolić, S. Jakovljević:</b> MICROHARDNESS OF THE NACREOUS AND PRISMATIC SEASHELL'S STRUCTURES .....	95
<b>R. Florek, M. Nosko, F. Simancik, J. Harnuskova:</b> EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION OF FOAMABLE PRECURSOR ON THE FOAMING KINETICS OF ALUMINIUM FOAM ALULIGHT.....	104
<b>B. Gavranović, J. Stepanić:</b> DYNAMIC CHARACTERISTIC OF AIRCRAFT'S VERTICAL SPEED INDICATOR.....	109
<b>Z. Glavaš, F. Unkić, K. Terzić:</b> THE ANALYSIS OF DEFECTS ON THE DUCTILE IRON CASTINGS.....	115
<b>M. Gojić, S. Kožuh, L. Kosec, T. Holjevac Grgurić:</b> THE EFFECT OF SOLUTION HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE, FRACTURE RESISTANCE AND HARDNESS OF AISI 310S STEEL.....	123
<b>K. Grilec, Z. Krapinec:</b> COMPRESSION TESTING OF ALUMINIUM FOAMS WITH DIFFERENT DISPLACEMENT RATE.....	130
<b>S. Gudić, I. Smoljko, M. Tomelić :</b> OXIDE FILMS GROWTH ON Al, Al-In AND Al-In-Sn ALLOYS IN A BORATE BUFFER SOLUTION IN CONDITIONS OF GALVANOSTATIC ANODISING.....	137
<b>J. Harnuskova, M. Nosko, R. Florek, P. Krizik, F. Simancik:</b> DESCRIPTION OF FOAMING KINETICS .....	144

<b>T. Holjevac Grgurić, M. Marenić, V. Rek, T. Matković, I. Brnardić:</b> MODIFICATION OF POLYPROPYLENE/POLYSTYRENE BLENDS WITH SEBS-g-MA BLOCK COPOLYMER.....	149
<b>M. Ivanković, E. Ferik:</b> MONITORING OF CURE OF EPOXY RESIN AND CARBON/EPOXY PREPREG BY RHEOMETRY AND DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS.....	157
<b>M. Jakopčić, K. Grilec:</b> INFLUENCE OF ARTILLERY WEAPON BARREL SUPERHEAT ON ABRASION WEAR RESISTANCE OF MATERIAL.....	165
<b>T. Jeličić, I. Zjakić, J. Kasum:</b> USABILITY OF NAUTICAL CHARTS AFTER MECHANICAL EFFECTS ON THE PRINTING SURFACE.....	172
<b>Z. Katančić, N. Dimitrov, Z. Hrnjak-Murgić:</b> THE PYROLYSIS - GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROMETRY STUDY OF FLAME-RETARDED HIGH-IMPACT POLYSTYRENE .....	180
<b>D. M. Kennedy:</b> SURFACE ENGINEERING AND INDUSTRIAL APPLICATIONS FOR PVD MAGNETRON SPUTTERING.....	188
<b>M. Kliškić, L. Vrsalović, D. Bušić:</b> CORROSION INHIBITION OF THE CuNiFe ALLOY IN NaCl SOLUTION BY <i>SALVIA OFFICINALIS</i> L. HONEY.....	198
<b>M. Kostanjevac, Đ. Španiček:</b> USE OF POLYPROPYLENE PIPES FOR CHIMNEY IMPROVEMENT.....	206
<b>D. Kranželić, S. Jakovljević, T. Ignjatić Zokić, H. Ivanković:</b> FORMATION OF BONE-LIKE APATITE LAYER ON HYDROXYAPATITE/GELATIN SCAFFOLD.....	210
<b>P. Krížik, M. Čavojský, M. Balog , P.Švec, D. Janičkovič :</b> MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICULATE AL - SiC <sub>p</sub> COMPOSITE PREPARED BY DIRECT EXTRUSION .....	217
<b>I. Kumić, K. Grilec, L. Čurković:</b> SOLID PARTICLE EROSION OF ALUMINA CERAMICS AT DIFFERENT IMPACT ANGLES.....	224
<b>D. Kumpar, I. Zjakić, S. Bolanča:</b> TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC OF PRINT IN NEWSPAPER PRESS.....	231
<b>S. Kurajica, T. Očko and V. Mandić:</b> SILVER NANOPARTICLES / CELLULOSE FABRIC / POLYSILOXANE COMPOSITE.....	239
<b>M. Lalić, L. Čurković:</b> INFLUENCE OF DARVAN AMOUNT ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF 70% ALUMINA SUSPENSION.....	245
<b>D. Landek, F. Cajner, S. Kovačić, I. Peharec:</b> THE EFFECT OF POST OXIDIZING OF NITROCARBURIZED STEEL ON ITS WEAR AND CORROSION RESISTANCE.....	253
<b>D. Ljubas, L. Čurković, H. Juretić, S. Dobrović, M. Šimara:</b> PHOTOCATALYTIC BEHAVIOR OF SOL-GEL TiO <sub>2</sub> FILMS .....	261
<b>I. Majnarić , K. Golubović, S. Bolanča, D. Modrić :</b> ANALYSIS OF COLUOR REPRODUCTION CREATED BY APPLYING MULTIPLE LAYERS OF WHITE INK ON PVC FOIL.....	269
<b>J. Malina, A. Rađenović, A. Štrkalj:</b> ADSORPTION KINETICS OF CATIONIC DYE ON BLAST FURNACE SLUDGE .....	281
<b>K. Petric Maretić, D. Modrić, I. Majnarić:</b> MODELING SUBSTRATE SURFACE WITHIN MONTE CARLO METHOD DESCRIPTION OF RADIATION SCATTERING IN THE PRINTING SUBSTRATE.....	289
<b>G. Marić, M. Jančić:</b> INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON BENDING RESISTANCE OF ALUMINIUM FOAM.....	297
<b>V. Marušić, P. Todorić, Ž. Rosandić:</b> RESEARCH OPPORTUNITIES FOR REDUCING INDIRECT TRIBOLOGY LOSSES OF WORM PRESSES BIG CAPACITY.....	306

<b>M. Mikota, M. Matijević, I. Pavlović:</b> INFLUENCE OF COLORIMETRIC VALUE OF SUBSTRATE ON ELECTROPHOTOGRAPHIC REPRODUCTION DIGITAL PORTRAIT PHOTOGRAPHS.....	314
<b>S. J. Montgomery, D. M. Kennedy, N. O'Dowd:</b> PVD AND CVD COATINGS FOR THE METAL FORMING INDUSTRY.....	319
<b>M. Nosko, F. Šimancik, R. Florek, J. Harnuskova:</b> EFFECT OF HEATING UNIFORMITY ON THE FOAMING KINETICS AND POROUS STRUCTURE.....	332
<b>V. Novosel – Radović, J. Krajcar, N. Radović, † B. Krajcar, † K. Dužić:</b> CHARACTERIZATION OF CONTAMINATION OF AN INGOT SURFACE CASTED WITH CASTED POWDER.....	337
<b>M. Nožić, A. Nazdrajić:</b> EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT TRANSFER FLUID FLOW IN THERMOPLATES.....	349
<b>I. Pavlović, M. Mikota, N. Mrvac:</b> INFLUENCE OF SUBSTRATE FINISHING ON THE CHARACTERISTICS OF COLOR HI FI PIEZOELECTRIC DIGITAL PHOTO PRINTS .....	356
<b>M. Periša, M. Mikota, I. Pavlović, T. Kranjčić:</b> POSSIBILITY OF USING AUTO WHITE BALANCE WITH DIFFERENT LIGHTING TEMPERATURE .....	363
<b>M. Premec, M. Tomiša, M. Matijević:</b> FLASH PLATFORM IN WEB DESIGN.....	368
<b>A. Ptiček Siročić, Z. Katančić, Z. Hrnjak-Murgić, J. Jelenčić:</b> THERMAL STABILITY OF NANO AND MICRO COMPOSITES OF LDPE USED IN FOOD PACKAGING .....	377
<b>A. Rogina, N. Ukrainczyk:</b> MECHANICAL PROPERTIES OF SBR LATEX MODIFIED MORTAR.....	385
<b>L. Senčerková, K. Iždinský, N. Beronská:</b> MOLYBDENUM SILICIDES – MATERIALS FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS .....	393
<b>Lj. Štokar, T. Matković, P. Matković, B. Kosec:</b> MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BIOMEDICAL Ti-Cr ALLOYS WITH 5 AND 10 at.% OF COBALT.....	402
<b>I. Smoljko, S. Gudić, N. Kuzmanić, M. Mihaljević:</b> INFLUENCE OF INDIUM ON ANODIC DISSOLUTION OF ALUMINIUM IN CHLORIDE SOLUTION.....	409
<b>B. Staniša, L. Čurković, Z. Schauerl:</b> ANALYSIS OF DEPOSITED SALTS IN THE THROUGH-FLOW AREA OF A 210 MW STEAM TURBINE.....	417
<b>K. Šimunović, M. Štefanac, T. Šarić, G. Šimunović, I. Svalina:</b> MATERIALS MANAGEMENT IN INFORMATION SYSTEM MP2 ENTERPRISE.....	426
<b>S. Šolić, F. Cajner, V. Leskovšek, H. Rafael:</b> INFLUENCE OF HEAT TREATMENT PARAMETERS ON PM S390 MC HIGH SPEED STEEL PROPERTIES .....	436
<b>I. Štěpánek:</b> DEPENDENCE MECHANICAL BEHAVIOUR OF SYSTEMS THIN FILM – SUBSTRATE ON ROUGHNESS AND GEOMETRY OF SURFACE AND INHOMOGENEITY OF THICKNESS .....	444
<b>I. Štěpánek:</b> EVALUATION OF CHANGING OF PROPERTIES AND BEHAVIOUR OF SYSTEMS THIN FILM - SUBSTRATE AFTER TEMPERATURE AND CORROSION STRESS .....	453
<b>I. Štěpánek:</b> BONES TESTING BY NANOINDENTATION .....	461
<b>N. Stipanelov Vrandečić, M. Jakić, I. Klarić, T. Leko:</b> CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL CHLORIDE) AND POLY(ETHYLENE OXIDE) BLENDS .....	470
<b>A. Štrkalj, A. Rađenović, J. Malina:</b> ADSORPTION KINETICS OF Cr (VI) IONS FROM BINARY MIXTURE OF IONS IN AQUEOUS SOLUTION.....	481
<b>D. Tiro, J. Kevelj, L. Haznadarević:</b> CONTRIBUTION TO STUDIES IN GRINDING MACHINING TIALLOYS.....	487

<b>M. Trgo, D. Brajković, J. Perić, N. Vukojević Medvidović, I. Nuić:</b>	
MASS TRANSFER ANALYSIS OF LEAD UPTAKE ON FIXED BED OF NATURAL ZEOLITE .....	491
<b>N. Ukrainczyk, A. Rogina:</b>	
SETTING TIME REGULATION OF POLYMER MODIFIED CALCIUM ALUMINATE CEMENT BASED MATERIALS.....	512
<b>N. Ukrainczyk, I. Sušac, T. Matusinović:</b>	
CHEMICAL SHRINKAGE OF HYDRATING CALCIUM ALUMINATE CEMENT.....	499
<b>L. Vrsalović, M. Kliškić, D. Sardelić:</b>	
CORROSION INHIBITION OF AA 2017A ALUMINIUM ALLOY BY $CeCl_3$ IN NaCl SOLUTION .....	521
<b>Z. Zovko Brodarac, F. Unkić, V. Bižić:</b>	
INFLUENCE OF THE POURING TEMPERATURE ON THE CASTABILITY OF $AlSi11Cu2(Fe)$ ALLOY.....	529



**MATRIB 2010**

Međunarodno savjetovanje o materijalima, tribologiji, recikliranju  
*International conference on materials, tribology, recycling*  
**Vela Luka, 23 – 25 / 6 / 2010**

---



## ANALYSIS OF COLUOR REPRODUCTION CREATED BY APPLYING MULTIPLE LAYERS OF WHITE INK ON PVC FOIL

**Majnarić Igor, Golubović Kristijan, Bolanča Stanislav, Modrić Damir**  
University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts, Getaldićeva 2, 10 000 Zagreb

**Sažetak:** Direktno nanašanje pigmentiranih procesnih bojila (CMYK) na prozirne tiskovne podloge (PVC, polikarbonat, staklo) neće dati zadovoljavajuću kolornu vrijednost. U odnosu na refleksijske tiskovne podloge (papir, karton, metal, koža...), prozirni tiskarski materijali će zbog svoje visoke transparentije izgledati blijedo i slabo uočljivo. Rješenje tog problema je u dodatnom otiskivanju bijelog bojila koje će poslužiti kao podložna maska, sve u cilju smanjenja trasparencije. U ovom radu napravljena je kolorimetrijska analiza utjecaja različitog broja nanosa bijelog bojila (bojilo je pigmentirano sa  $\text{TiO}_2$ ) na kolornu reprodukciju. Pritom će se konstruirati gamuti koji predstavljaju krajnji tonski opseg. Stvarna promjena karakterističnih tonova (CMYK) dobivena je izračunom razlike u obojenju (CIE LAB  $\Delta E_{2000}$ ) koja će direktno pokazati utjecaj apliciranja bijelog bojila na kolornu reprodukciju transparentnih grafičkih proizvoda. Međusobna ovisnost opaciteta o broju otisnutih slojeva opisana je logaritamskom funkcijom. Cilj ovog rada je da se osim devijacije tonskih vrijednosti, pokuša ustanoviti i optimalni broj apliciranih bijelih slojeva. Time će se otisak približiti referenci (otisku na papiru za umjetnički tisak otisnutom u istoj tehnici) uz ekonomski prihvatljive troškove otiskivanja.

**Ključne riječi:** Ink Jet, gamut, PVC tiskovna podloga, tisak bijele boje

**Abstract:** Direct application of the pigmented process inks (CMYK) on transparent printing foils (PVC, polycarbonate, glass) does not give the satisfactory colour value. In regard to the reflective printing substrates (paper, board, metal, leather...), the prints on transparent printing materials look pale and not noticeable enough because of their high transparency. The solution of this problem is the additional printing with white ink which serves as the under mask with the aim to reduce the transparency. The colorimetric analysis of the influence of different number of white ink layers (the ink was pigmented with  $\text{TiO}_2$ ) on the colour reproduction was done in this paper. The gamuts were constructed which represented the final tonal range. The real change of the characteristic tones (CMYK) was obtained by calculation of inking difference (CIE LAB  $\Delta E_{2000}$ ) which directly showed the influence of application of the white ink on the colour quality of the transparent printed products. The mutual dependence of opacity and the number of the printed layers was described by the logarithmic function. The aim of this work is except the deviations of the tonal values, to find the optimal number of the applied white layers. In this way the print nears the referent value (print on fine art paper printed with the process colour inks) with the economically acceptable printing costs.

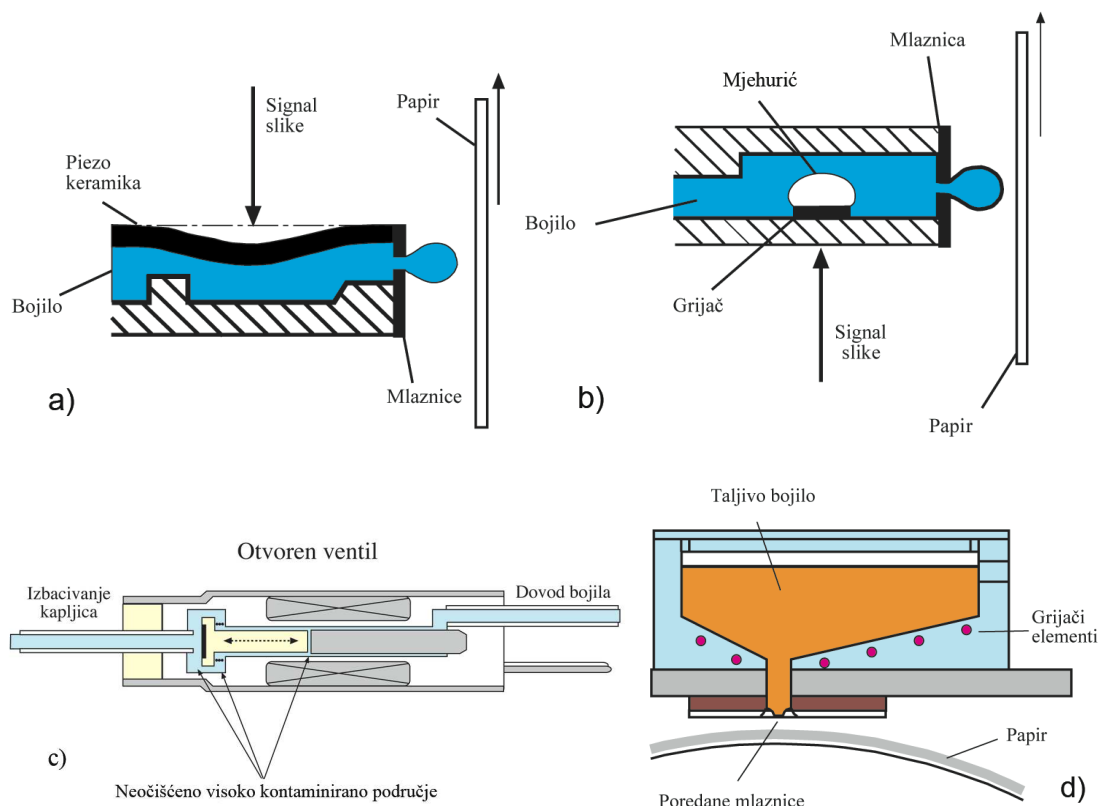
**Key words:** DoD Ink Jet, gamut, PVC printing substrate, increasing layer of white ink

## 1. Teoretski dio

Jedna od trenutno najvažnijih tehnika digitalnog otiskivanja je Ink Jet, koji radi principom formiranja kapljica na zahtjev (DoD otiskivanje = Drop on Demand printing). U odnosu na kontinuirani Ink Jet (CIJ= Continuous Ink Jet), DoD otiskivanje je ujedno najrasprostranjeniji Ink Jet princip, što se može isto reći i za bojilo. Brzina otiskivanja DoD printera je nešto manja u odnosu na CIJ i direktno je ovisna o primjenjenom principu DoD otiskivanja. Pritom udaljenost od mlaznica do tiskovne podloge nije identična. Da ne dođe do smanjenja ispisne kvalitete, DoD ispisni princip primjenjuje manji razmak (od 1 mm), dok će CIJ primjenjivati veći razmak od 1 cm.(1)

DoD printeri u ispisnoj glavi imaju niz mlaznica koje izbacuju svaku pojedinačnu kapljicu u paralelnoj putanji, izvodeći tako nanašanje male količine bojila u točno danom trenutku. Tiskovni elementi nastaju brojnim udarima kapljica o tiskovnu podlogu (svaka kapljica pogađa svoju poziciju), za razliku od CIJ gdje u tiskovnu podlogu udara veći broj kapljica koje su prethodno skrenute sa putanje (jedna po jedna kapljica se skreće, tvoreći tako jedan veliki udar sačinjen od većeg broja kapljica).(2)

Pri formiranju kapljica u DoD ispisnoj glavi mogu se primjeniti različiti principi. Trenutno se primjenjuju: Piezo impuls, termalno štrcanje, štrcanje uslijed otvaranja mikro ventila te princip baziran na taljenju bojila slika 1.



Slika 1. Principi rada DoD Ink Jeta: a) Piezo Ink jet, b) Termalni Ink Jet c) ink jet na principu otvaranja mikro ventila d) Ink jet na principu taljivih boja

Piezo impulsni Ink Jet jedan je od najjednostavnijih DoD principa. On sadrži ispisnu glavu sa otvorenim mlaznicama i otvorenim kapilarnim kanalima. Kapljice bojila unutar kapilarnog kanala se izbacuju djelovanjem titrajućeg piezo kristala. (3)

U slučaju termalnog Ink Jeta (Bubble Jet) piezo kristal zamjenjen je mikro grijačim elementom koji je smješten u stjenku kućišta kapilarnog kanala. Grijač se aktivira dolaskom električnog signala, čime obojena tekućina biva izložena povišenoj temperaturi energijom što dovodi do formiranja mjehura. Mjehur raste velikom brzinom, što dovodi do istiskivanja bojila iz kanala i formiranja kapljice. (4)

Ventilni DoD Ink Jet primjenjuje mikro ventil koji je smješten na mlaznicama gdje zatvara (brtvi) bojilo u kapilarnom kanalu. Bojilo pritom zadržava svoj stalni tlak. Kad se električki upravljiva brtva otvori dolazi do izbacivanja razmjerno velike kapljice bojila.(5)

Sistem koji radi na principu taljenja sinhronizirano mijenja agregatno stanje bojila, te se kao takav može se primjenjivati u većini sistema (ponajviše u kombinaciji sa Piezo kristalom). Pri tom principu bojilo se zagrijava unutar ispisne glave na temperaturu iznad točke taljenja (100-150°C). Kad se na piezo kristalu (smještenom u stjenci kapilarnog kanala) generira jedan električni impuls, doći će do deformacije kanala i formiranja kapljice na otvoru mlaznice.(6)

### **Bojila primjenjena u DoD printerima**

Od DoD ispisne tehnologije, najzastupljeniji su Piezo i Termalni Ink Jet. Najčešće su u uporabi pri uredskom i DTP ispisivanju, pri čemu bojila moraju zadovoljiti tri ključna zahtjeva:

1. bojilo unutar kapilarnog kanala i otvorenih mlaznica mora ostati tekuće i neosušeno;
2. drugi zahtjev je u potpunoj koliziji od prvog tj. bojilo se mora brzo osušiti na tiskovnoj podlozi
3. bojilo mora biti takvo da omogući dobru ispisnu rezoluciju na što većem broju tiskovnih podloga .

*Bojilo za termalni Ink Jet* mora se brzo mijenjati (zagrijavanjem mora brzo proključati te pritom stvariti obojeni mjehurić). Bojila pritom moraju ostati stabilna, te odoljevati stalnim promjenama temperature (grijanje – hlađenje). U Ink Jet bojilima na bazi vode, sušenje bojila na mlaznicama se sprečava dodatkom glikola i polimerni glikola. Glikoli i polimerni glikoli učinkoviti su zbog apsorpiranja vlage iz atmosfere, čime se sprečava čepljenje mlaznica tijekom procesa sušenja bojila.

Razumno vrijeme sušenja može se postići različitim odabirom sastojaka otapala, pritom nije moguće primjeniti otapala koja prebrzo suše (npr. MEK = Metil Etil Keton). Pravilnim odabirom otapala povećati će se apsorpcija, te time spriječiti izbjeljivanje bojila na poroznim i premazanim tiskovnim podlogama.

U praksi ravnoteža između primjenjene tiskovne podloge i bojila postignut je modernom konstrukcijom ispisne glave. Takvu printere moguće je automatski čistiti, te je kontrolirano vođenje papira (kontroliranom brzinom ispisa sprečava se mrljanje bojila na otisnutom papiru).

Da bi se omogućilo otiskivanje na veliki broj tiskovnih podloga, sušenje Ink Jet bojila mora maksimalno trajati 30 sekundi, dok se sa trenutno najboljom formulacijom bojila suši brzinom od 10 sekundi. Visoka kvaliteta tiska postignuta je formiranjem bojila sa visokom viskoznošću (20 cP) i površinskom napetošću od 45 N/m.

Kod većine Ink Jet sistema postojanost na vlagu je limitirana. Takva bojila trebaju biti blago lužnata (od pH 8 do pH 9). U nekim slučajevima blaga lužnastost iskorištena je i za povećavanje otpornosti na starenje, posebice pri upotrebi kiselih papira koji pri većoj vlazi započinju degradacijski proces u papiru.

Kromatski najkvalitetnija Dye bojila zahtjevaju poseban tretman kako bi se osiguralo dugotrajnije korištenje otisaka. To je posebno slučaj kod termalnog Ink Jet-a. Da bi se postigla nešto veća kvaliteta uredskih printera, dye bojila potrebno je pročititi. Pritom se primjenjuju različite procesi za pročišćavanje i otklanjanje neželjenih soli. Uglavnom to su: ultrafiltracija, ultracentrifuga i postupak reverzne osmoze.

Dobar primjer za to je termalni Ink Jet koji ponavljanjem procesa grijanje-hlađenje (grijačeg elementa zagrijava se na 350°C) može prouzrokovati raspadanje dye te stvaranje taloga. S vremenom taloženi materijal stvara čvrste čestice koje mogu blokirati kapilarni kanal, ali i smanjiti prijenos topline u bojilu. Efekat pod nazivom "koagulacija" pokazuje da su dye-vi osjetljivi na to ponašanje zbog sadržavanja anorganskih nečistoća. Trenutno postoji vrlo malo komercijalno dostupnih dye-va koji mogu zadovoljiti takva svojstva za termalni Ink Jet. (7)

*Printeri koji rade na principu brtvljenja primjenjuju bojila čije je isparavanje vrlo veliko (primjenjuje se obično MEK koji se koristi za sprečavanje sušenja mlaznica). Time je omogućeno da bojila budu pogodna za tisak na različitim tiskovnim podlogama (od papira do folija za pakiranje). Sastav bojila je relativno jednostavan. Pri tom je optimalna viskoznost niska (2 cP), dok površinska napetost mora biti veća od 23 N/m. Upravo se tim parametrima sprječava vlažnost mlaznica, te je vrijeme sušenja bojila kraće od 10 sekundi. Rezultat toga je niska kvaliteta tiska, zbog dužeg vremenskog perioda korištenog za otvaranje i zatvaranje ventila.(8)*

*Piezo taljiva bojila mijenjaju svoje agregatno stanje tijekom tiska. Pri sobnoj temperaturi bojilo je krutina, koja zagrijavanjem ( $T=150^{\circ}\text{C}$ ) postaje tekućina identičnih fizičkih svojstava kao i ostala DoD bojila. Kao i kod drugih ispisnih sistema ne smije se desiti isparavanje unutar kapilarnog kanala ili mlaznice (može dovesti do začepjenja mlaznice). Dobre karakteristike takvog bojila postignute su sastavom čija je površinska napetost 40 N/m, dok je viskozitet 40 cP. Stabilnost sistema na višim temperaturama vrlo je važna i sastojci bojila moraju biti zaštićeni od oksidacije, korozije i kolornog izbjeljivanja. Na kvalitetu konačnog otiska utječe proces hlađenja tekućeg bojila. Pritom bojilo postaje krutina tvoreći tako otiske visoke ispisne kvalitete, osjetnog reljefa, što je moguć razlog jačeg oštećenja uslijed abrazivnog djelovanja na otisak.*

Pri formiranju taljivih bojila briga je posvećena sastavu te kontroliranom hlađenju na tiskovnoj podlozi. Takvom kontrolom omogućava se bojililu da bude više ili manje apsorbirano. Pritom prevelikom apsorpcijom bojila može doći do velikog pada u kvaliteti, što je izazvano direktnim udarom bojila o papirnu tiskovnu podlogu. Kao i kod većine DoD Ink Jet sistema bojila su limitirana za upojne materijale. Pisači koji primjenjuju taljiva bojila koriste se za industrijske aplikacije posebice za tisak na ne upojnim materijalima.

U sastavu taljivih bojila neće biti organska otapala. Time se postiže nezapaljivost pri upotrebi. Osnovu bojila čine dvije komponente: kolorant i vezivo. Veziva često sadrže polimere za regulaciju temperaturne viskoznosti, koji moraju biti u skladu sa karakteristikama ispisnih glava i tiskovnih podloga. Korišteni polimeri trebaju biti na bazi masnih kiselina, prirodnih i sintetičkih smola. Molekularna težina polimera je osobito važna, te se njome određuje talište. To je definirano niskom rastaljenom vrijednošću masnih kiselina koja će u kombinaciji sa tankim nanosom bojila omogućiti izvrsnu kvalitetu otiska. (9)

Piezo Ink Jet UV bojila pogodna su za otiskivanje na različite neupojne i djelomično upojne tiskovne podloge, koje karakterizira dobra adhezija i sjaj. Na neupojne podloge (plastike, ljepenke, metal, staklo, laminati...) vrlo je teško nanjeti tekuće Ink jet bojilo, te je potrebno primjeniti specijalnu formulaciju bojila koja suše pod UV svjetlom.

Najčešće korišten izvor UV zračenja je lampa ispunjena sa živinim parama. Ovisno o tlaku u lampi odnosno udjelom živinih para u lampi (1 Torr = 1mm Hg) razlikujemo 3 kategorije: niskog tlaka ( $10^{-3}$  –  $10^{-2}$  Torr), srednjeg tlaka (ca  $10^2$  Torr) i visokog tlaka ( $10^3$  Torr).

Standardnu konstrukciju čini ravna cijev od kvarcnog stakla sa elektrodama na svakom kraju. Unutar staklene ovojnice lampe nalazi se inertni plin (argon) kojim se zadržava tlak para žive. Kada se primjenjeni vanjska energija dolazi do ioniziranja žive. Sudaranjem atoma žive i živinih iona oslobađaju se elektroni koji će posjedovati visoku kinetičku energiju koja će u konačnici rezultirati populacijskom inverzijom. Prekid i povratak nazad na početno stanje izazvati će emisiju fotona.

Zbog malih dimenzija u tehnici Ink Jeta primjenjuju se visoko tlačne živine lampe koje emitiraju kontinuirano zračenje počevši od UV područja, okom vidljivog područja sve do IR područja. (10)

UV bojila ne sadržavaju lakohlapiva otapala već se baziraju na kemiji slobodnih radikala. Najvažnija komponenta za početak promjene agregatnog stanja je foto inicijator (Benzofenon). Djelovanje UV zračenja (valnim duljinama od 10 do 400 nm) formirati će slobodne radikale koji će započeti proces vezivanja unutar veziva, odnosno pokreće proces polimerizacije.

Dobiveni otisci posjeduju dobru svjetlostalnost i otpornost na visoke temperature. Osim prilagođenosti neupojnim tiskovnim podlogama, UV bojilo mora biti prilagođeno i Ink Jet ispisnoj glavi. Bojilo tako mora imati točni viskozitet (podešen radu ispisne glave), te nekompatibilno bojilo može uzrokovati začepljenje mlaznica. Zbog primjene likvidnih bojila (kapljice se formiraju prolaskom kroz mlaznice

promjera manjih od 20  $\mu\text{m}$ ), proces sušenja mora biti trenutno, zbog izbjegavanja razljevanja. (11)

UV Ink Jet bojilo tako sadržava: 15-20% pigmentata, 20-35% prepolimera, 10-25% monomera i oligomera, 5-10% fotoinicijatora i 1-5% dodataka.

Za potrebe vanjskog oglašavanja sve češće se primjenjuju PVC podloge. U odnosu na standardne (neprozirne) tiskovne podloge, tisak na transparentnom PVC-u mnogo je veći problem. Osim apliciranja osnovnih procesnih bojila (CMYK) zbog bolje uočljivosti potrebno je otisnuti i pozadinsku bijelu masku. Pritom se otiskuje 100% bijelo pigmentirano bojilo. (12)

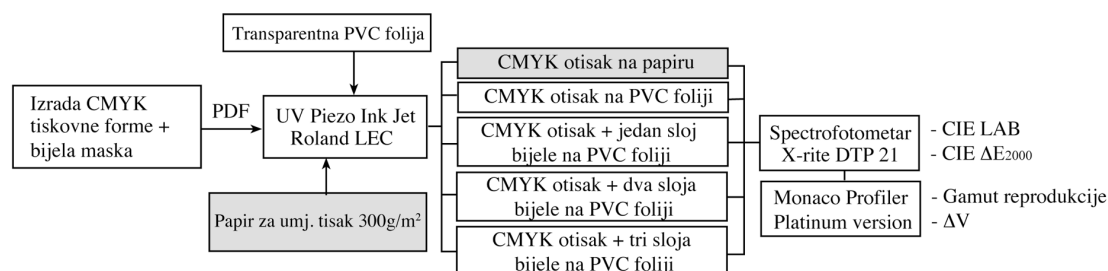
U ovom radu cilj je kolorimetrijskim metodama utvrditi učinkovitost apliciranja različitog nanosa UV bijelog Ink Jet bojila (sa pigmentom na bazi  $\text{TiO}_2$ ), te njegovo djelovanje na konačanu reprodukciju. Pritom će se kreirati prostorni gamuti reprodukcije (mjerenjem ECI tiskovne forme) kao i odstupanje karakterističnih tonova CIE  $\Delta E_{2000}$ .(13)

## 2. Eksperimentalni dio

Za eksperimentalni dio istraživanja primjenjena je digitalizirana ECI forma koja sadrži 378 različitih CMYK polja. Da bi se postiglo kolorimetrijski kontrolirano otiskivanje tiskovne forme potrebno je rastrirati. Pritom je korišten softverski rip "Wersa work" unutar kojeg je primjenjen Color management (tisak sa ICC Profilom Euroscale Coated).

Za otiskivanje je korišten piezo UV Ink jet Printer Cutter Roland Versa UV LEC 300 koji koristi set od 5 pigmentiranih bojila (C, M, Y, K, W) + dodatni lak. Prilikom otiskivanja primjenjena je ispisna rezolucija od 1440 x 720 dpi koja omogućava postizanje kapljica veličina 6 pl. Eksperimentalno otiskivanje izvršeno je na transparentnoj PVC foliji HI PRINT debljine 0,50 mm (tablica 1), te na 300  $\text{g}/\text{m}^2$  papiru za umjetnički tisak. CMYK otisci na transparentnoj foliji naknadno su otiskivani bijelom bojom formirajući tako pozadinsku masku sa jednim, dva, i tri nanosa.

Konačni otisci izmjereni su spektrofotometrom X-rite DTP41 (geometrija optike  $0/45^\circ$ , sa standardnim promatračem  $10^\circ$  i crna standardna podloga). Pritom su dobiveni CIE Lab rezultati. Pomoću programa Monaco Profiler formiran je gamut kolorne reprodukcije, iz kojeg su detaljno analizirane promjene unutar osnovnih procesnih boja CMYK. Matematičkim izračunom razlike u obojenju (CIE  $\Delta E_{2000}$ ) prikazan je utjecaj debljine bijele boje na kvalitetu kolornog obojenja.



### Slika 3. Kronološka shema eksperimenta

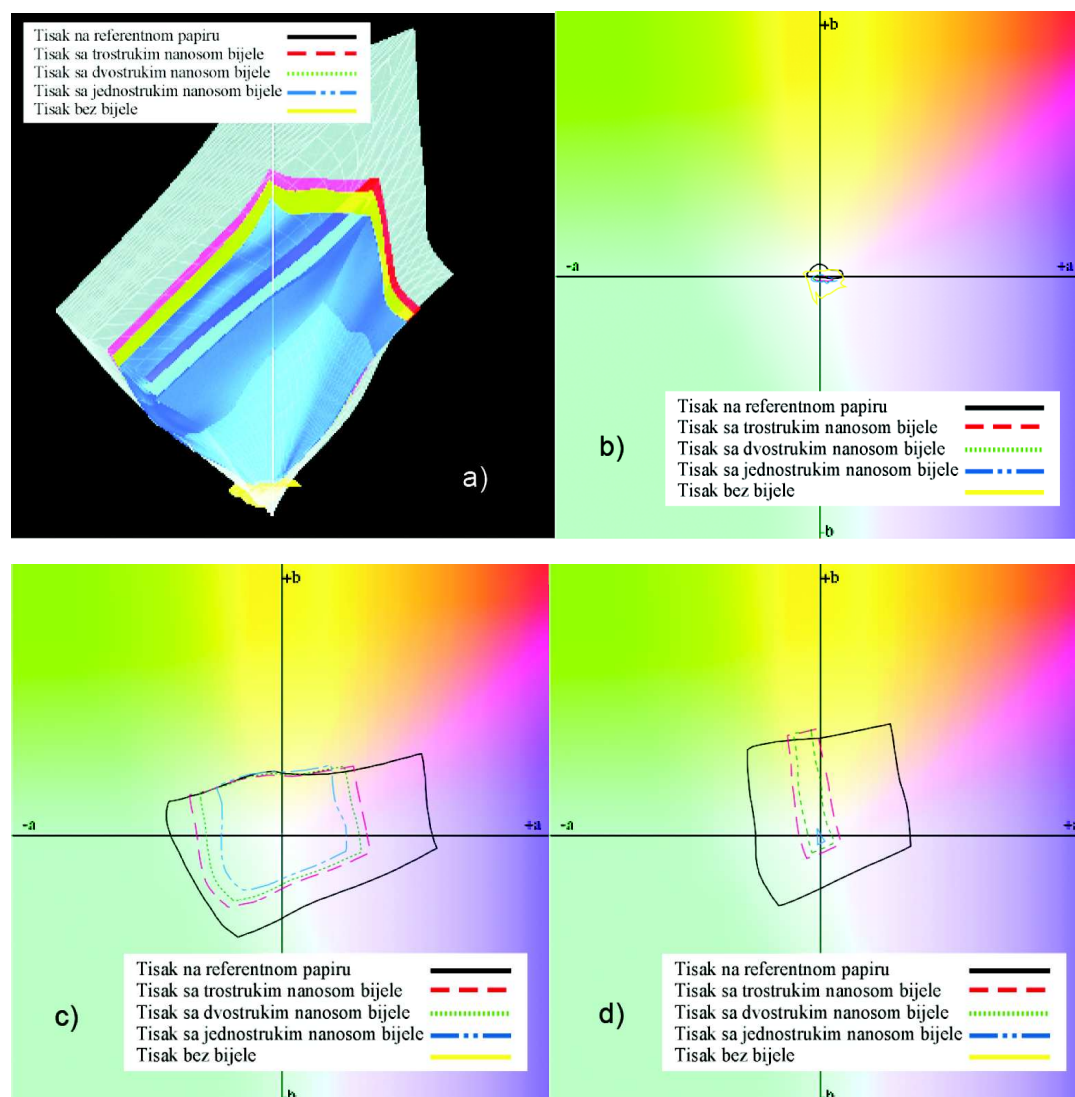
Tablica 1. Karakteristike PVC folije HI PRINT

Svojstva	Standard	Jedinice	Vrijednost
Debljina	DIN 53370 / ISO 4593	$\mu\text{m}$	500
Tolerancija debljine	DIN 53370 / ISO 4593	%	-4 ... 4
Gustoća	DIN ES ISO 1183-2	$\text{g}/\text{cm}^3$	1,31...1,35
Minimalna snaga istezanja	DIN ES ISO 527 test brzine V 50 mm/min (duža strana)	MPa	42
Minimalna udarna čvrstoća	DIN ES ISO 8256 (duža strana)	$\text{kJ}/\text{m}^2$	600
VICAT točka omekšavanja	DIN ES ISO 306 (mjereno u ulju metoda A/50)	$^{\circ}\text{C}$	72 - 76
uzdužno produljenje	DIN 53377 (pri $140^{\circ}\text{C}$ /10 min)	%	-4 ... 0
poprečno produljenje	DIN 53377 (pri $140^{\circ}\text{C}$ /10 min)	%	-2 ... 2
Maksimalna radna temperatura	bez promjene u veličini	$^{\circ}\text{C}$	55
Temperatura hladnog pucanja	DIN EN 1876-2 (metodom čekića)	$^{\circ}\text{C}$	-25
Površinska napetost	DIN ISO 8296 (test za bojila)	$\text{mN}/\text{m}$	34
Sjaj površine	kut $20^{\circ}$	GE	100 ... 130

### 3. Rezultati i diskusija

Kvaliteta reprodukcije izražava se uspješnošću reproduciranja što većeg broja tonova. Pritom se standardno koristi ECI tiskovna forma s 378 polja. Njihovom matematičkom obradom stvoreno je 3D tijelo (gamut) koje u CIE LAB prostoru pokazuje maksimalno reproducirane tonove. Na slici 4 prikazana je razlika u prostornom obojenju referentne tiskovne podloge (papir za umjetnički tisak) i transparentne podloge (PVC), koja je završno otisnuta sa različitim nanosom bijele boje (jednan sloj, dva sloja i tri sloja pokrivne bijele, mjereno kroz foliju).

Analizom gamuta reprodukcije na papiru i na transparentnoj PVC foliji, može se uočiti veliki utjecaj završnog otiskivanja bijele boje. U odnosu na referentnu bijelu podlogu ( $V_{\text{papir}}=556,460$  prostornih jedinica), tisak na transparentni PVC dati će znatno lošiju reprodukciju. Bez otiskivanja bijele boje formirati će se gamut koji sadrži samo akromatska tamna područja (utjecaj crnog standarda), čiji je gamut izrazito malen. Dodatnim otiskivanjem bijele boje (većim brojem nanosa) doći će do povećanja kolornog prostora koji će iznositi:  $V_{1\text{nanos}}=203,176$  prostornih jedinica,  $V_{2\text{nanosa}}=234,588$  prostornih jedinica i  $V_{3\text{nanosa}}=258,352$  prostornih jedinica.



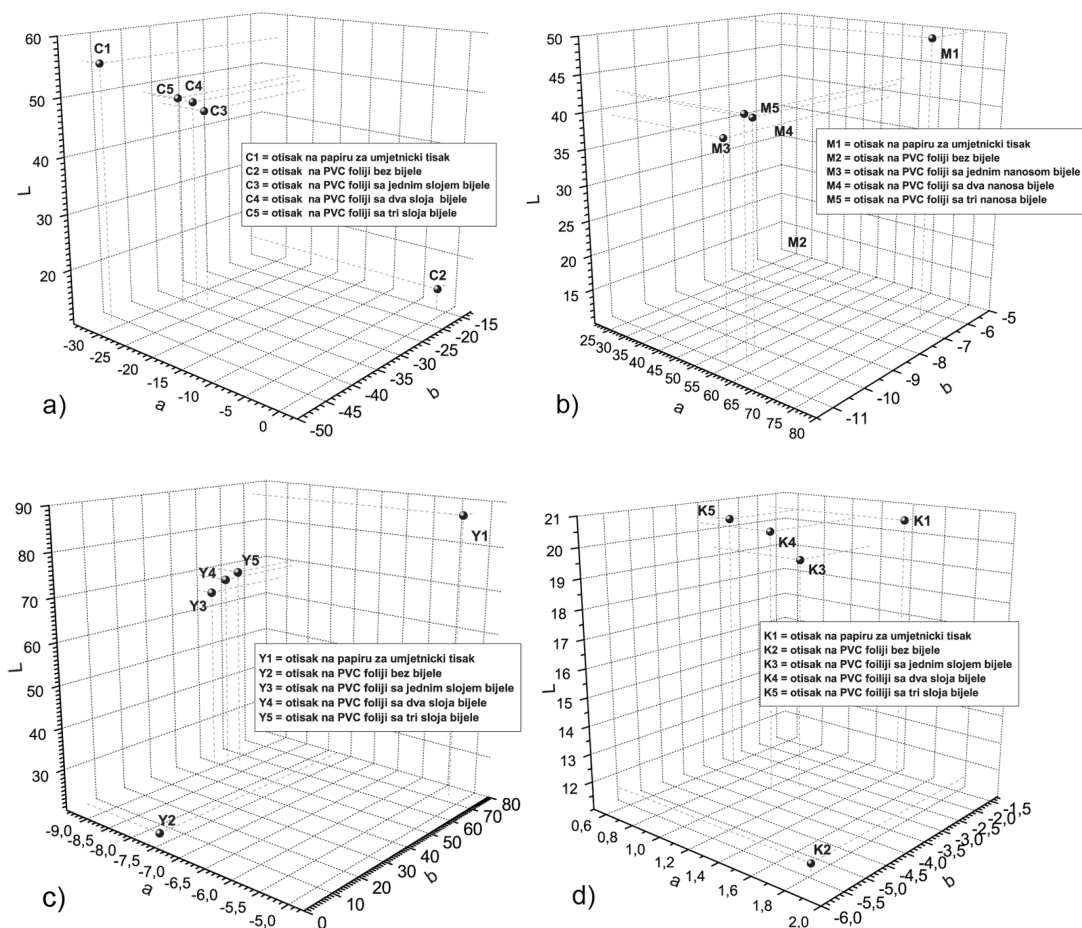
Slika 4. Gamut papira i PVC-a s karakterističnim presjecima pri svjetloći:  
a) 3D prikaz b) L=16, c) L=50 i d) L=66

Samim time uočeno je da dodatno otiskivanje bijele poboljšava intezitet obojenja u svih zasićenim tonovima (zelene, ljubičasto plave i crvene). Jedina iznimka je otiskivanje kromatske žute koja ne doživljava značajnije promjene. Razlog tomu može se pronaći u svjetlini (L) žute, čija vrijednost je vrlo visoka i dodatkom bijele



značajno se ne mijenja. Pritom se mora naglasiti i loša reprodukcija akromatske crne koja se počinje nazirati pri relativno niskoj svjetloći od  $L=16$ .

Detaljna analiza reprodukcije prikazana je spektrofotometrijskim mjerenjima CMYK otisaka u području punih tonova (slika 5).



Slika 5. CIE LAB vrijednosti otisaka na papiru i transparentnoj PVC foliji otisnutih sa različitim brojem nanosa bijele boje: a) cijan, b) magenta c) žuta, d) crna

U tiskarstvu standardna tiskovna podloga je papir, pri čemu su i bojila mehanizmom prilagođena vezivanju za upojnu tiskovnu podlogu. Zbog toga se pri promatranju razlike obojenja ( $\Delta E$ ) sve otisnute tiskovne podloge uspoređuje s papirom za umjetnički tisak.

U odnosu na otisak na papiru, reprodukcija cijan boje na transparentnom PVC-u ovisna je o nanosu bijele maske. Pritom su postignute slijedeće razlike u obojenju:  $\Delta E_{\text{bez bijele}}=39,766$ ;  $\Delta E_{1\text{nanos bijele}}=10,504$ ;  $\Delta E_{2\text{nanosa bijele}}=8,591$ ; i  $\Delta E_{3\text{nanosa bijele}}=7,703$ .

Promjene ovakvih rezultata u potpunosti odgovaraju logaritamskoj funkciji, koja samo teoretski može doseći referentnu vrijednost, jer velik i debeo nanos bijelog bojila nemoguće je brzo osušiti.

Za ovakvu promjenu u obojenju više je zaslužna promjena u svjetloći (os L) nego po kromatičnosti (osi a, b). Pritom je odstupanje po svjetloći dvostruko veće od

odstupanja po kromatičnosti, na što direktno utječe deblji nanos pigmenata na bazi TiO<sub>2</sub>.

Reprodukcije magente na transparentnom PVC-u daje nešto veće razlike u obojenju:  $\Delta E_{\text{bez bijele}}=33,731$ ;  $\Delta E_{1\text{nanos}}=11,621$ ;  $\Delta E_{2\text{nanosa}}=9,665$ ; i  $\Delta E_{3\text{nanosa}}=8,622$ . Jedina iznimka je magentin otisak bez podložene bijele, koji u odnosu na cijan otisak ima nešto manju razliku u obojenju ( $\Delta E_{C-M}=6,035$ ).

Žuti PVC otisci daleko će najviše odstupati u odnosu na željenu referencu. Pritom se postižu sljedeće razlike u obojenju:  $\Delta E_{\text{bez bijele}}=69,623$ ;  $\Delta E_{1\text{nanos}}=17,570$ ;  $\Delta E_{2\text{nanosa}}=14,858$ ; i  $\Delta E_{3\text{nanosa}}=13,259$ . U odnosu na ostale kromatske boje (cijan i magentu) razlike po svjetlini još više izražene. Time je postignuta i geometrijska pravilnost točaka čije ostupanje iznosi oko  $\Delta L=2,0$ .

Daleko najmanja odstupanja ima akromatska crna boja. Bez nanašanja bijele boje otisak poprima vrijednosti crnog standarda ( $\Delta E_{\text{bez bijele}}=6,876$ ), da bi se nanašanjem različitih debljina bijele postigli sljedeće promjene u obojenju: ;  $\Delta E_{1\text{nanos}}=1,676$ ;  $\Delta E_{2\text{nanosa}}=1,826$ ; i  $\Delta E_{3\text{nanosa}}=1,866$ . Dodavanjem bijelog bojila crni otisci se izbljeđuju čime dolazi do pada gustoća obojenja. To nas dovodi do optimalnog crnog otiska koji mora sadržavati samo jedan nanos bijelog bojila.

#### 4. Zaključak

Tisak bijele boje presudan je za postizanje veće kvalitete na transparentnim PVC materijalima. Pritom će sa 200% nanosom bijelog bojila gamut porasti za  $\Delta V_{1\text{nanos}-2\text{nanosa}}=31,412$  prostorne jedinice, dok će sa 300% nanosom dodatno porasti za  $\Delta V_{1\text{nanos}-2\text{nanosa}}=23,764$  prostorne jedinice.

Umnažanje nanosa bijele boje omogućiti će logaritamsko povećavanje kolorita zasićenih procesnih boja (CMY). Boje će se pritom 2x više mjenjati po svjetlini (L) u odnosu na kromatičnost.

Od primjenjenih šarenih bojila najveću promjenu doživjeti će žuto bojilo  $\Delta E_{1\text{nanos}-3\text{nanosa}}=4,393$ ; dok će se najmanje promijeniti cijan bojilo  $\Delta E_{1\text{nanos}-3\text{nanosa}}=2,711$ .

Akromatska crna najmanje će se mjenjati uslijed različitog broja nanašanja TiO<sub>2</sub> pigmentiranog bijelog bojila Pritom dolazi i do logaritamskog smanjenja gustoće obojenja ( $\Delta E_{1\text{nanos}-3\text{nanosa}}=1,043$ ). Time se zaključuje da za postizanje idealno kontrastne crno-bijele reprodukcije nije potrebno dodavati velike količine bijelog bojila.

#### 5. Literatura

1. G. Goldmann, The World of Printers, Oce Printing Systems GmbH, Dusseldorf, Germany 2004., ISBN 3-00-001081-5, pp.262-267.
2. Nilsson J.; Application of Micro Drops, Report 6 1993, Department of Electrical Measurements, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1993.

3. K. Iida, EPSON Perfect Imaging System and New Colorfast Ink, Proceedings of DPP 2001, ISBN / ISSN 0-89208-233-X, pp. 286
4. Loye W. J., Taub H. H.; Ink Jet Printing: Output Hardcopy Devices, Boston Academic Press, 1988, pp. 311-370.
5. Hue P. L.; Progress and Trends in Ink Jet Printing Technology, IS&T Journal of Image Science and Technology 42-1, 1998, pp. 49-62.
6. H. Kipphan, Handbook of Print Media, Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, Germany 2001., ISBN 978-3-540-67326-2 pp. 720-725.
7. B. Thompson, Printing Materials: Science and Technology (2nd edition), Pira International, Leatherhead, United Kingdom 2004. ISBN 1 85802-981-3, pp.480.
8. R.H. Leach et al, The Printing Ink Manual fifth edition, Springer – Dordrecht, Netherlands, 2008., ISBN 13 978-0-948905-81-0, pp.694-698.
9. H. K. Lee et al, Influence of Pigment Particles on Gloss and Printability for Inkjet Paper Coatings, Proceedings of IS&T NIP 20<sup>th</sup> International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah 2004, ISBN / ISSN: 0-89208-253-4, pp. 934.
10. S. Madhusoodhanan et al, Image Quality and Surface Tension of Digital UV Curable Ink, Proceedings of IS&T NIP 24<sup>th</sup> International Conference on Digital Printing Technologies, Pittsburgh Pennsylvania, 2008, ISBN / ISSN: 978-0-89208-279-7, pp. 363-366.
11. M. Andersson et al. The Substrate Influence On Colour Measurement, Proceedings of IS&T NIP19: International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, September 2003, ISBN / ISSN: 0-89208-247-X, pp. 565
12. I. Majnarić, K. Golubović, S. Bolanča; Kolorimetrijska analiza elektrofotografskih otisaka otisnutih na PVC-u i Polikarbonatu, Proceedings MATRIB 2009, (ur.) K. Grilec, G. Marić, Zagreb 2009. pp. 120-127.
13. M. R. Luo et al, The Development of the CIE 2000 Colour – Difference Formula: CIE  $\Delta E_{2000}$ , COLOR research and application, 26(5), October 2001, pp. 340- 349.

