

**ISPITIVANJE UTICAJA KRATKOROČNE PONOVLJIVOSTI NA REPRODUKCIJU BOJE U ELEKTROFOTOGRAFIJI I INK-JET ŠTAMPI****INVESTIGATION OF EFFECTS OF SHORT-TERM REPEATABILITY ON COLOUR REPRODUCTION IN ELECTROPHOTOGRAPHY AND INK-JET PRINTING**Pastor Gabor, Sandra Dedijer, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – NAUKA O BOJI**

**Kratak sadržaj** – Tehnološka dostignuća su značajno uticala na razvoj štamparske tehnologije od početka štamparstva. Pored kvaliteta prenošene slike, značajno se radilo i na unapređenju postojanosti otiska, kao i reprodukciji boje. U okviru ovog rada ispitan je uticaj kratkoročne ponovljivosti na reprodukciju boje kod ink-jet i kod elektrofoto-grafske štamparske tehnike. Vrednosti razlike u boji su bile unapred zadate, pri čemu su menjane vrednosti svetline izvornih boja. Hromatske vrednosti a i b su ostale nepromenjene. Test karte su štampane tri puta na početku eksperimenta posle sat vremena i nakon 24 sata. Merenje je izvršeno pomoću spektrofotometra, dok za izračunavanje razlike u boji je korišćena  $\Delta E_{00}$  jednačina.

**Ključne reči:** Razika u boji, elektrofotografija, ink-jet, kratkoročna ponovljivost, reprodukcija boje

**Abstract** – Technological advancements have been significantly influenced development of printing technologies from the beginning of printing. Beside image quality, stability and colour reproduction are also better today, than before. In this paper the effects of short-term repeatability on colour reproduction in the electrophotography and ink-jet printing have been investigated. The colour difference values were predefined by changing the lightness value. The chromatic coordinates a and b remained unchanged. Test samples were printed three times, at the beginning, then after one hour and 24 hours later. Spectrophotometer was used for the measure test samples, while colour differences were calculated by  $\Delta E_{00}$  equation.

**Keywords:** Colour difference, electrophotography, ink-jet, short-term repeatability, colour reproduction

**1. UVOD**

Boja je rezultat interakcije svetla, stimulusa i posmatrača, tj. obrade svetlosnog signala od strane posmatrača te je psihofizički parametar koji zavisi od mnogih spoljašnjih faktora i samog posmatrača. Kako su u pitanju štampani materijali, osnovni zadatak je postići reprodukciju koja u najmanjoj meri odstupa od originala, odnosno postići reprodukciju koja će se razlikovati u boji tako da ta razlika ne bude primetna prosečnom posmatraču [1].

Digitalna štampa je termin koji se koristi za opisivanje svih tehnika koje ne koriste štamparsku formu u klasičnom smislu te reči već se koristi jedan od mnogih tehničkih rešenja u cilju da zameni tradicionalna faza izrade štamparske forme koja se nalazi pre štampe i inkorporira u sm proces štampe [2].

Dve najčešće korištene tehnike digitalne štampe danas su elektrofotografija (na bazi praškastih tonera) i ink-jet (tečni toneri). Obe tehnologije pokrivaju širok spektar, korištene su u mnogim mašinama počevši od jednostavnih stonih štampača do velikih, visoko produktivnih, velikih brzootisnih digitalnih štamparskih mašina [3].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Sandra Dedijer, vanr. prof.

Kod digitalne štampe, u skladu sa preporukama IDEAlliance sertifikacionog programa je preporučena korišćenje CIE00 jednačina za izračunavanje razlike u boji. Dobijene razlike u boji između kolorimetrijskih vrednosti izmrenih na poljima na kontrolnoj mernoj traci i onih koje su preporukama date ne smeju da prelaze vrednost od 5  $\Delta E_{00}$ . Tolerancije za razliku u boji u kolorimetrijski m vrednostima kada se ocenjuje kratkoročna ponovljivost, kod primarnih i sekundarnih boje ne treba da predu vrednos od 3  $\Delta E_{00}$  [4].

**2. REZULTATI I DISKUSIJA**

U eksperimentu je vršena analiza razlika u boji na otiscima štampanim elektrofoto-grafskim mašinama i ink-jet mašinom. Štampane tekst karte su sadržale odgovarajuća polja crvene, sive i zelene boje čije su početne kolorimetrijske vrednosti definisane na osnovu preporuka CIE komisije (CIE centri u boji). Početne kolorimetrijske vrednosti boje su date u tabeli 1. Test karte za svaku boju su ponaosob formirane na način da je u odnosu na inicijalnu vrednost boje menjana njena svetlina. Povećana i smanjena sa korakom 0,5 do razlike u boji  $\Delta E_6$ , zasićenje i ton boje su ostali nepromenjeni. Nakon promene svetline, vrednosti su konvertovane iz Lab prostora boje u sRGB.

Tabela 1. Početne kolorimetrijske vrednosti centara boja

Boja	L	a	b	C	h°
Siva	61.65	0.11	0.04	0.12	20
Crvena	44.38	36.91	23.33	43.67	32
Zelena	56.09	32.13	0.44	32.13	179

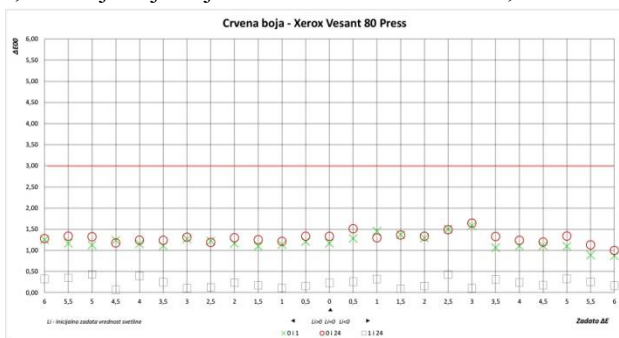
Pomoću dobijenih numeričkih vrednosti boje su generisane slike odnosno obojena test polja. Za što precizniju reprodukciju boje korišten je softverski alat MatLab. Nakon generisanja uzorka boje, sledilo je formiranje test karte. Uzorci su stavljeni u niz raspoređeni od najsvetlijeg do najtamnijeg uzorka. Različite boje su raspoređene jedna pored druge. Poslednji korak pre merenja je bio štampanje test karte. Za štampu su korištene četiri različite štamparske mašine od čega su tri na principu elektrofotografije i to Xerox Versant 80 Press, Konica Minolta Bizhub C224E i Xerox DocuColor 252. Četvrta štamparska mašina je bila Epson SureColor T7200, koja je ink-jet štampač. Test karte su bile odštampane tri puta. Pre štampe, izvršena je adekvatna kalibracija svake od mašina. Posle prvog štampanja štampa je ponovljena posle sat vremena i nakon 24 sata, korištena podloga za štampu je bila 120 g/m<sup>2</sup> premazni papir.

Merenje je vršeno pomoću spektrofotometra Techkon SpektroDens Premium. Odštampane test karte su merene na crnoj podlozi koja sprečava reflektovanje svetlosti od podloge na kojoj su vršena merenja i tako remete izmerene vrednosti. Na svakom mernom polju su merene L, a i b koordinate tri puta. Dobijene vrednosti su automatski unesene u excel tabelu, iz te vrednosti je izračunata razlika u boji pomoću  $\Delta E_{00}$  formule i vršena je analiza dobijenih podataka.

## 2.1. Analiza rezultata kratkoročne ponovljivosti

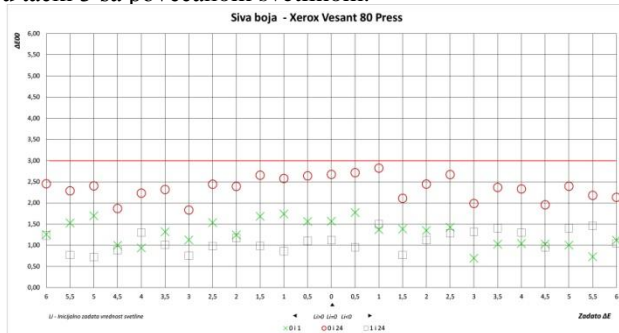
### 2.1.1. Xerox Versant 80 Press

Na slici 1. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za crvenu boju. Najmanja vrednost razlike u boji je između tabaka štampanih nakon 1h od početka eksperimenta i nakon 24h. Najveća vrednost razlike u boji između ovih tabaka iznosi 0,43. Najmanja primetna razlika je zapažena u tački 4,5 u delu grafikona gde svetlina povećana, ovde razlika je samo 0,7. Razlika u boji između tabaka štampanog na početku eksperimenta i nakon 1h ne prelazi 0,5, za ceo ispitivani opseg unapred definisanih razlika što spada u opseg razlika koje nisu vizuelno uočljive od strane standardnog posmatrača. Razlike u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i 1h kasnije su nešto veće. Najmanja razlika je u tački 6 gde je izračunata razlika u boji 0,87. Najveća razlika u boji je u tački 3, sa smanjenom inicijalno vrednosti svetline i iznosi 1,58. Najveća razlika u boji se nalazi u tački 3, gde je razlika 1,65 dok je najmanja razlika u tački 6 i iznosi 1,00.



Slika 1. Rezultati kratkoročne ponovljivosti crvene boje

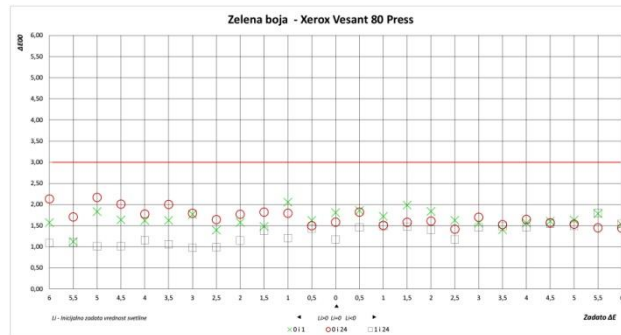
Na slici 2. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za sivu boju. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,72 u tački gde je inicijalna vrednost svetline povećana za 5. Maksimalna razlika u boji je izračunata u tački 1 gde je razlika 1,50. Vrednosti razlike u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i 1h kasnije najmanja zapažena vrednost razlike u boji je 0,69 u tački 3 sa smanjenom vrednošću svetline. Najveće odstupanje među ovim je zapaženo u tački 0,5 gde je razlika 1,77. Najveća razlika u boji je 2,82 u tački 1 sa smanjenom vrednošću svetline, dok je minimalna razlika između tabaka štampanog na početku eksperimenta i 24h kasnije je 1,83 u tački 3 sa povećanom svetlinom.



Slika 2. Rezultati kratkoročne ponovljivosti sive boje

Na slici 3. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za zelenu boju. Razlike u boji su najmanje između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h. Najmanja primetna razlika je 0,97 u tački 3 sa povećanom vrednosti svetline, dok najveća u tački 5,5 gde je inicijalno zadata vrednost svetline uzoraka je povećana razlike u boji je 1,79.

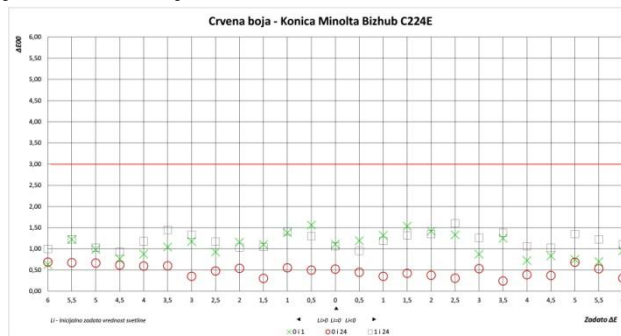
Između tabaka štampanih na početku eksperimenta i 1h kasnije najmanja primetna razlika je 1,12 u tački 5,5 gde je svetlina uzoraka povećana. Maksimalna razlika je 2,05 u tački 1 na istoj strani. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h je 1,41 u tački 2,5 na strani grafikona gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena. Maksimalna razlika se može zapaziti na levoj strani grafikona gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana u tački 5, razlika je 2,17.



Slika 3. Rezultati kratkoročne ponovljivosti zelene boje

### 2.1.2. Konica Minolta Bizhub C224E

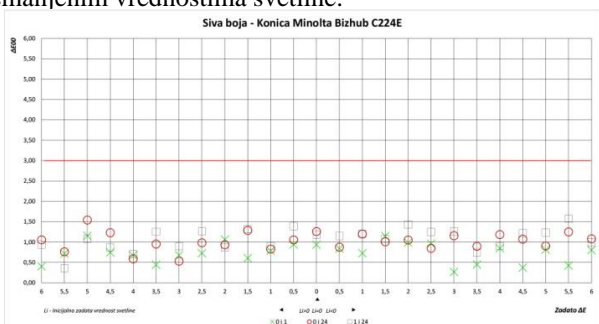
Na slici 4. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za crvenu boju. Od svih, najmanje odstupanje između tabaka je zapaženo kod tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h. Najveća razlika u boji između ovih tabaka je 0,69, u tački 6 gde je inicijalno zadata vrednost svetline je povećana. Najmanja primetna razlika je zapažena u tački 3,5 u delu grafikona gde je svetlina smanjena u ovoj tački izračunata razlika u boji je 0,24. Najmanja razlika u boji između tabaka štampane na početku eksperimenta i 1h kasnije je u tački 6 gde je svetlina povećana u ovoj tački vrednost razlike je 0,63. Razlika u boji je najveća u tački 0,5, u delu grafikona gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana, razlika u boji je 1,56. Najmanja razlika u boji između štampanih na početku eksperimenta i 1h kasnije je 0,93 u tački 4,5 sa povećanom vrednosti svetline. Najveća razlika u boji između ovih tabaka je 1,6, ova vrednost je zapažena u tački 2,5 u delu grafikona gde je svetlina smanjena.



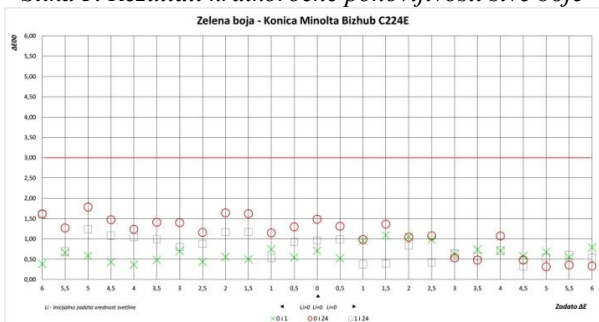
Slika 4. Rezultati kratkoročne ponovljivosti crvene boje

Na slici 5. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za sivu boju. Najmanja razlika u boji je u tački 3 sa smanjenom vrednosti svetline razlika je 0,27 između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 1h. Najveća razlika u boji je 1,15. Vrednost se pojavljuje u tački 5 i u tački 1,15, dok se prva nalazi u delu grafikona sa povećanom vrednosti svetline druga je u delu sa rastućom svetlinom. Razlika u boji je najmanja između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h. Vrednost razlike u boji je 0,53 u tački 3 na delu grafikona gde se svetlina štampanih uzoraka povećava. Najveća razlika je 1,54 u tački 5 u istom delu grafikona. Najmanja

razlika u boji kod tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,36 u tački 5,5 u delu grafikona sa povećanim vrednostima svetline. Najveća razlika u boji kod ovih otisaka je 1,57 u tački 5,5 sa smanjenim vrednostima svetline.



Slika 5. Rezultati kratkoročne ponovljivosti sive boje

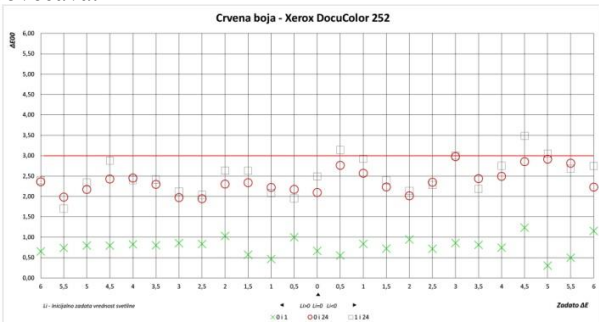


Slika 6. Rezultati kratkoročne ponovljivosti zelene boje

Na slici 6. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za zelenu boju. Najmanja razlika između tabaka štampanog na početku eksperimenta i posle 1h je 0,37 u tački 4 sa povećanom svetlinom. Najveće odstupanje izmereno u tački 1,5 sa smanjenom svetlinom, razlika je 1,09. Kod tabaka štampanih na početku i posle 24h kasnije minimalna razlika u boji je 0,32 koja se nalazi u tački 5 na delu grafikona gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena. Najveća razlika u boji je 1,78 u tački 5 sa povećanom vrednošću svetline. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,32 u tački 4,5 u delu grafikona gde se vrednosti svetline smanjuju. Najveća razlika u boji je 1,6 u tački 6 sa povećanom vrednošću svetline.

### 2.1.3. Xerox DocuColor 252

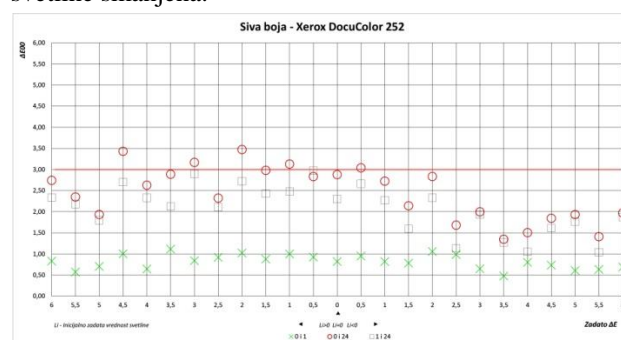
Na slici 7. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za sivu boju. Najmanja razlika u boji je izračunata između tabaka koji su štampani na početku eksperimenta i nakon 1h, vrednost razlike u boji je 0,30 u tački 5 sa smanjenom vrednošću inicijalno zadate vrednosti svetline. Najveća zapažena razlika u boji je 1,23 u tački 4,5. Najmanja razlika između tabaka štampanih na početku eksperimenta i nakon 24h je 1,94 u tački 2,5 gde se inicijalno zadata vrednost svetline povećava.



Slika 7. Rezultati kratkoročne ponovljivosti crvene boje

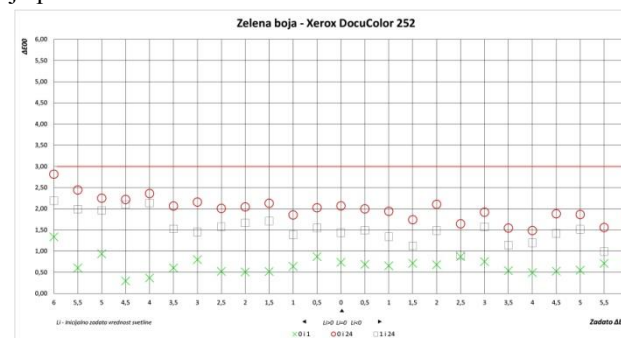
Najveća razlika izračunata između ovih tabaka je 2,98 u tački 3 sa smanjenom vrednošću svetline. Najveća izračunata razlika u boji je zapažena između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h. Kod ovih tabaka najmanja razlika u boji je 1,7 u tački 5,5 gde se inicijalno zadata vrednost svetline povećava. Najveća razlika u boji je 3,49 koja je u tački 4,5 u delu grafikona gde se inicijalno zadate vrednosti svetline smanjuju.

Na slici 8. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za sivu boju. Najmanja razlika kod tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 1h je 0,48 u tački 3,5 gde je inicijalno zadata vrednost svetline je smanjena. Najveće odstupanje je zapaženo u tački 3,5 gde je svetlina uzoraka povećana, razlika u boji je 1,11. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 1h je 1,35 u tački 3,5 gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena.



Slika 8. Rezultati kratkoročne ponovljivosti sive boje

Najveća razlika u boji se može zapaziti u tački 2 sa povećanom vrednošću svetline i njena vrednost je 3,47. Najmanja razlika između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 1,04 u tački 5,5 gde je svetlina uzoraka je smanjena. Najveća razlika u boji je 2,98 u tački 0,5 gde je inicijalno zadata vrednost svetline je povećana.



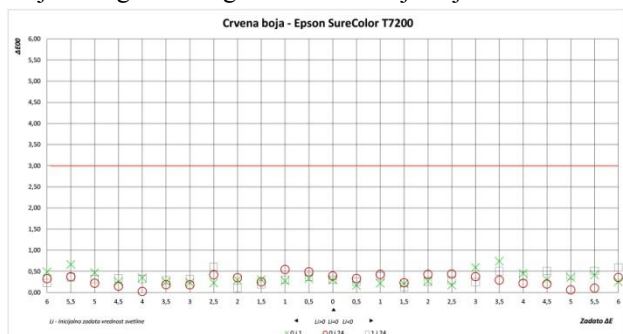
Slika 9. Rezultati kratkoročne ponovljivosti zelene boje

Na slici 9. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za zelenu boju. Najmanja razlika između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 1h je 0,29 u tački 4,5 gde se svetlina uzoraka je povećava. Najveća razlika je zapažena u tački 6 u delu grafikona gde inicijalno zadate vrednosti svetline se povećavaju, vrednost razlike u boji je 1,34. Najmanja razlika između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h je 1,49 u tački 4 gde se svetlina otisaka povećava. Najveća razlika u boji je 2,82 u tački 6 gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana. Najmanja razlika u boji kod tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,9 u tački 2,5 gde se vrednost svetline uzoraka smanjuje. Najveća razlika u boji kod uzoraka zelene boje je 2,19 u tački 6 gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana.



#### 2.1.4. Epson SureColor T7200

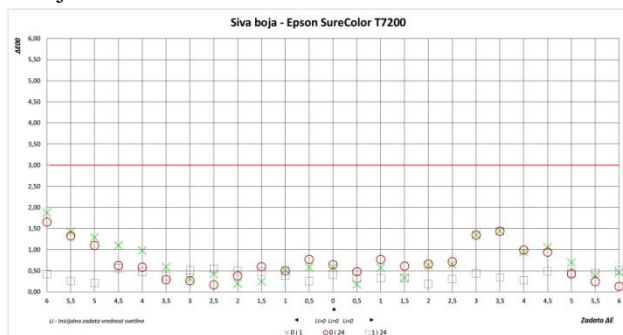
Na slici 10. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za crvenu boju. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i nakon 1h kasnije iznosi 0,17 u tački 0,5 gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjuje. Najveća razlika između ovih tabaka je 0,74 u tački 3,5 u istoj strani grafikona gde se nalazi i najmanja razlika.



Slika 10. Rezultati kratkoročne ponovljivosti crvene boje

Najmanja razlika između tabaka koji su bili štampani na početku eksperimenta i nakon 24h je 0,03 u tački 4 gde se vrednost svetline povećava. Najveća razlika je u tački 1 gde se inicijalno zadate vrednosti svetline povećavaju, gde je razlika 0,54. Najmanja razlika između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,1 koja je zapažena u tački 2 gde se inicijalno zadata vrednost svetline povećava. U tački 2,5 gde se inicijalno zadata vrednost svetline povećava nalazi se najmanja razlika u boji koja je 0,61.

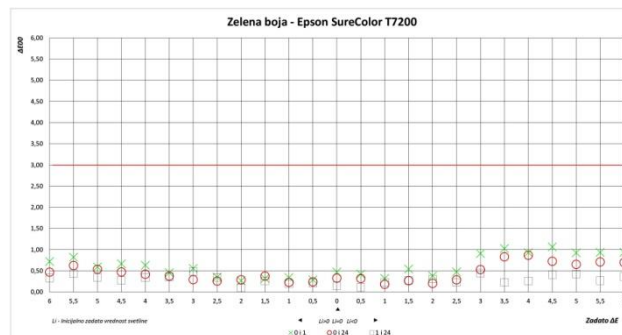
Na slici 11. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za sivu boju. Kod tabaka štampanih na početku eksperimenta i nakon 1h najveća razlika u boji je 1,88 u tački 6 gde se vrednost inicijalno zadate svetline povećana, dok najmanja je 0,18 u tački 0,5 gde je svetlina uzoraka smanjena. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h je 0,13 u tački 6 gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena. Najveća razlika je u tački 6 gde je svetlina uzorka povećana, razlika u boji u ovoj tački je 1,66. Razlika u boji između tabaka štampanih posle 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je najmanja u tački 4,5 gde svetlina uzorka se povećava, vrednost najveće razlike je 0,56. Najmanja razlika u boji je 0,19 u tački 2 gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena.



Slika 11. Rezultati kratkoročne ponovljivosti sive boje

Na slici 12. je dat grafički prikaz izračunatih vrednosti razlike u boji za svako polje, između tabaka štampanih u vremenskom trenutku 0h, te nakon 1h i 24h za zelenu boju. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 1h je 0,27 u tački 2 gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana. Najveća razlika u boji 1,06 u delu grafikona gde je svetlina uzorka smanjena.

Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih na početku eksperimenta i posle 24h je 0,18 koja je zapažena u delu grafikona gde je svetlina uzorka smanjena u tački 1. Najveća razlika u boji je 0,87 u tački 4 gde je inicijalno zadata vrednost svetline smanjena. Najmanja razlika u boji između tabaka štampanih nakon 1h od početka eksperimenta i nakon 24h je 0,09 u tački 2 gde je inicijalno zadata vrednost svetline povećana. Najveća razlika u boji je 0,48 u tački 3 na delu grafikona gde se inicijalno zadata vrednost svetline povećava.



Slika 12. Rezultati kratkoročne ponovljivosti zelene boje

### 3. ZAKLJUČAK

Cilj rada je bio ispitivanje uticaja kratkoročne ponovljivosti na reprodukciju boja koje su varirane u svetlini na način da su unapred definisane željene razlike u boji. Svetlina uzoraka je povećana i smanjena sa korakom od 0,5 do razlike u svetlini + i - 6. Za realizaciju eksperimenta korištena su dva različita tipa digitalnih tehnika za štampu, ukupno četiri štamparske mašine. Tako da pored upoređivanja očekivanih i izračunatih razlika u boji, pomoću izmerenih vrednosti mogli bismo upoređivati različite digitalne tehnike štampe i različite štamparske mašine. Na osnovu grafikona na kojima su prikazane izračunate vrednosti razlike u boji može se zaključiti da razlike u većini slučajeva su ispod 3 što znači da su vrednosti manje od Ideallianceve preporuke. Na osnovu ovih grafikona ne može se reći da jedna boja je lošije reprodukovana od drugih. Ono što je primetno da je između mašine najmanje odstupanje od inicijalno zadatih je kod Epson SureColor T7200 štamparske mašine. Dok mašina Xerox DocuColor 252 je najlošije reprodukuje unapred zadate vrednosti svetline. Kod ostalih mašina trend razlike u svetlini je sličan. Iz ovoga su izuzeci siva i zelena boja štampane sa Xerox DocuColor 252 mašinom i žuta boja štampana Epson SureColor T7200 štamparskom mašinom. Kod ovih boja reprodukcija svetline je najbolja.

### 4. LITERATURA

- [1] Mokrzycki, W., Tatol, M.: "Colour Difference  $\Delta E$  – A survey", Faculty of Mathematics and Informatics, Olsztyn 2011
- [2] Iggesund, "Digital printing and direct imaging technologies" [Online] Dostupno na: [https://www2.iggesund.com/-globalassets/iggesund-documents/rm-pdf/4.-printing-and-converting-performance/digital\\_printing\\_en.pdf](https://www2.iggesund.com/-globalassets/iggesund-documents/rm-pdf/4.-printing-and-converting-performance/digital_printing_en.pdf) (Pristupljeno u maju 2019.)
- [3] Medeiros, R., Collins, W., Hass, A., Jeffery, K., Martin, A., Tomljanovic, S.: "Graphic Design and Printing Fundamentals". Victoria, B.C.: Bccampus 2015
- [4] Idealliance: "Digital Press Certification Program", [Online] Dostupno na: <http://connect.idealliance.org/-HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=ef430ae7-2fcc-cd3a-2ff3-eab28265ea1>, (Pristupljeno u martu 2020.)

Adresa autora za kontakt:

Pastor Gabor, pasztorgabor992@gmail.com

Dr Sandra Dedijer, [dedijer@uns.ac.rs](mailto:dedijer@uns.ac.rs)