

# Racionalna iskoristivost ekološki prihvatljivih irovina radi izrade grafičkih proizvoda s fleksografskom tehnikom tiska

---

Radić Seleš, Valentina

Doctoral thesis / Doktorski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:868841>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Valentina Radić Seleš

**Racionalna iskoristivost ekološki  
prihvatljivijih sirovina radi izrade  
grafičkih proizvoda s fleksografskom  
tehnikom tiska**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2022.



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Valentina Radić Seleš

**Racionalna iskoristivost ekološki  
prihvatljivijih sirovina radi izrade  
grafičkih proizvoda s fleksografskom  
tehnikom tiska**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Irena Bates

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

Faculty of Graphic Arts

Valentina Radić Seleš

**Rational utilization of more  
environmentally acceptable raw  
materials for production of graphic  
products with flexographic printing  
technique**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Assoc. Prof. Irena Bates

Zagreb, 2022.

**UDK 655:655.326.1:667.5**

***Imenovano Povjerenstvo za ocjenu doktorskoga rada:***

1. prof. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik,
2. doc. dr. sc. Ivana Plazonić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, članica,
3. prof. dr. sc. Zdravko Schauerl, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstava i brodogradnje, vanjski član.

***Imenovano Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada:***

1. prof. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik,
2. doc. dr. sc. Ivana Plazonić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, članica,
3. prof. dr. sc. Zdravko Schauerl, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, vanjski član,
4. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenski član,
5. doc. dr. sc. Mia Kurek, Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet, zamjenska članica.

***Mentorica:***

izv. prof. dr. sc. Irena Bates, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

***Datum obrane doktorskoga rada:*** 1. prosinca 2022.

***Mjesto obrane doktorskoga rada:*** Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

***Povjerenstvo za obranu doktorskoga rada donijelo je sljedeću odluku:***

„Obranila s ocjenom summa cum laude (s najvećom pohvalom) jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

## ŽIVOTOPIS MENTORA

Izv. prof. dr. sc. Irena Bates rođena je 8. prosinca 1978. u Zagrebu. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Zagrebu 1997. godine upisala je Grafički fakultet u Zagrebu, Tehničko-tehnološki smjer. Tijekom studiranja bila je demonstrator dvije godine na Katedri za materijale u grafičkoj tehnologiji. Diplomirala je 2003. godine na Grafičkom fakultetu s temom diplomskog rada „Boje za sitotisak” pod mentorstvom prof. dr. sc. Vesne Kropar Vančine. Nakon završenog fakulteta zaposlena je u tvrtki Sun Chemical d.o.o., svjetskom proizvođaču tiskarskih boja i pigmenata. Na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu zaposlena je od 2006. godine kao asistentica na Katedri za tiskarske procese. Godine 2008. dobiva stipendiju u okviru bilateralnog projekta CEEPUS na Katedri za informacijsko in grafično tehnologijo, Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani u Sloveniji u trajanju od tri mjeseca, gdje je provodila istraživački rad za potrebe izrade doktorske disertacije. Doktorirala je 21. veljače 2013. s temom doktorskog rada „Studija specifičnih parametara reprodukcije fleksografskog tiska” pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Igora Zjakića. Time je stekla akademski stupanj doktorice znanosti iz znanstvenog područja tehničkih znanosti, znanstvenoga polja grafičke tehnologije. U svibnju 2013. godine izabrana je u znanstveno zvanje znanstvenog suradnika, a u rujnu iste godine u suradničko zvanje višeg asistenta. U veljači 2018. godine izabrana je u znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik, a u rujnu 2021. godine u znanstvenog savjetnika. Izbor u znanstveno-nastavno zvanje docenta na Katedri za tiskarske procese ostvarila je 15. lipnja 2015., a izbor u izvanrednog profesora 10. siječnja 2022. godine.

Od 2007. do 2013. bila je suradnica na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske „Studij tehnoloških čimbenika grafičkog dizajna za sustavno unapređenje kvalitete” voditelja izv. prof. dr. sc. Igora Zjakića. Također je bila suradnica na financijskim potporama istraživanjima Sveučilišta u Zagrebu s nazivima: „Slama pšenoraži kao izvor vlakana u proizvodnji novinskog papira” u ak. god. 2013./14., „Slama žitarica kao izvor primarnih vlakana u proizvodnji novinskog papira” u ak. god. 2014./15. i „Utjecaj ne-drvnih vlakana na kemijsku stabilnost grafičkog proizvoda” u ak. god. 2015./16. voditeljice prof. dr. sc. Željke Barbarić-Mikočević. Od akademske godine 2016./17. godine do ak. god. 2020./21. znanstvena istraživanja provodi kao suradnica na pet financijskih potpora istraživanjima Sveučilišta u Zagrebu voditeljice doc. dr. sc. Ivane Plazonić pod nazivima kako

slijedi: „Kemijska stabilnost otisaka na podlogama iz ne-drvnih vlakancima”, „Vremenska stabilnost tiskovnih podloga i tiskovina”, „Degradacija tiskovnih podloga i tiskovina” te „Oplemenjivanje površine podloga za otiskivanje”, koja se provodila tijekom dvije akademske godine. Od siječnja 2018. godine voditeljica je na znanstvenom Uspostavnom istraživačkom projektu Hrvatske zaklade za znanost „Otiskivanje, kvaliteta i uporabljivost podloga s ne-drvnim vlakancima” (UIP-2017-05-2573), čije je trajanje predviđeno do 7. 3. 2023. godine.

Znanstveno usavršavanje u trajanju od tjedan dana provela je u ak. god. 2013./14. na Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Bratislava u Slovačkoj, te u ak. god. 2015./16. na Faculty of Fine Arts and Design, Technological Education Institution (TEI) of Athens u Grčkoj u istom trajanju. Sudjelovala je na mnogim međunarodnim i domaćim znanstvenim te stručnim konferencijama. Objavila je 73 znanstvena rada i 5 stručnih radova, od čega je 11 znanstvenih radova objavljeno u znanstvenim časopisima indeksiranim u WoSCC (Web of Science Core Collection) bazi i 8 znanstvenih radova u časopisima zastupljenim u drugim značajnim bibliografskim bazama podataka. Objavljeni znanstveni i stručni radovi uvršteni su u Hrvatsku nacionalnu bibliografiju pod brojem znanstvenika 290153.

## ZAHVALE

Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Ireni Bates na prijateljskom odnosu, pomoći i podršci te nesebičnom dijeljenju znanja i savjeta svih ovih godina i pri izradi doktorskog rada. Hvala svim članicama našeg projektnog tima, bilo je divno raditi s vama. Zahvaljujem i članovima Povjerenstva doc. dr. sc. Ivani Plazonić, prof. dr. sc. Igoru Zjakiću i prof. dr. sc. Zdravku Schauperlu na savjetima koji su pridonijeli kvaliteti rada. Hvala Hrvoju Duvančiću iz Radina d.o.o. na pomoći.

Hvala mojoj obitelji za svu podršku tijekom cijelog studiranja. Branka, Zdenko, Zdenka i Bojan, hvala za „čuvanja” i pruženo slobodno vrijeme kako bih mogla doći do ovog trenutka. Hvala ti, Hrvoje, što si uvijek vjerovao u mene, a vama, Santi i Arone, što ste mi bili najveća snaga.



*Za Santi, Arona i Hrvoja*

## SAŽETAK

U skladu sa sintagmom „održivi razvoj” istraživanja u ovom doktorskom radu usmjerena su na dobivanje najznačajnijih kvalitativnih parametara novoga grafičkog proizvoda, izrađenog korištenjem obnovljivih resursa koji odgovaraju standardu grafičkih proizvoda otisnutih fleksografskom tehnikom tiska. Kvalitativna ispitivanja su provedena na fleksografskim otiscima dobivenim s konvencionalnim bojama na bazi vode i modernim bojama koje se suše UV zračenjem. Otisci su tiskani na laboratorijski izrađenim papirnim podlogama koje u različitim omjerima sadrže celuloznu pulpu slame triju vrsta žitarica: pšenice, ječma, pšenoraži te recikliranog papira. Istraživanje je podijeljeno na nekoliko faza: kvalitativnu evaluaciju otiska, optičku stabilnost reprodukcije nakon standardnih metoda ispitivanja pri povišenoj temperaturi i UV svjetlosti, te djelovanje pritiska i različitih kemijskih agensa. Cilj ovog rada je definirati uporabljivost otisaka dobivenih fleksografskom tehnikom tiska na papirnim tiskovnim podlogama s alternativnim nedrvenim vlakancima. Na temelju provedenih istraživanja može se zaključiti kako laboratorijski proizvedeni papiri s dodatkom pulpe slame svih žitarica postižu zadovoljavajuću kvalitetu reprodukcije, pri čemu laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode uglavnom pokazuju izvrsnu optičku stabilnost nakon izlaganja povišenoj temperaturi, kemijskim agensima i pritisku, dok laboratorijski papiri otisnuti UV sušećim fleksografskim bojama najveću otpornost pokazuju prema djelovanju pritiska. Preporuka je da se papiri iz celulozne pulpe navedenih ekološki prihvatljivijih sirovina izrade veće gramature kako bi se postigle manje vrijednosti euklidske razlike podtona i penetracije boje u tiskovnu podlogu te da se uvedu završne faze površinske obrade papira. Također, na temelju kvalitativnih analiza može se dati preporuka da se papiri s dodatkom pulpe slame žitarica otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode trebaju izbjegavati samo kod ambalaže proizvoda koji sadrže alkalne proizvode ili ulja. Papiri s dodatkom pulpe slame žitarica nisu prikladni za otiskivanje primarne prehrambene ambalaže UV bojama, no zbog svoje izuzetne mehaničke otpornosti mogu se upotrebljavati za tisak raznih publikacija, sekundarne ambalaže i etiketa.

Ključne riječi: fleksografski tisak, nedrvna vlakanca, kvalitativni parametri, inovativne tiskarske podloge, fleksografske boje.

## EXTENDED ABSTRACT

In accordance with the term „sustainable development”, the research in this doctoral thesis is focused on obtaining the most important qualitative parameters of a new graphic product made by using renewable resources, which correspond to the standard of graphic products printed by flexographic printing technique. Qualitative tests were carried out on flexographic prints obtained with conventional water based inks and modern UV curing inks. The prints were made on laboratory-made paper substrates containing cellulose pulp of straw of three types of cereals in different proportions: wheat, barley, triticale, and recycled paper. The study is divided into several phases: the qualitative evaluation of the print, the optical stability of the print after standard methods of testing at high temperature and UV light and the stability on various chemical agents and the pressure. The aim of this study is to define the usability of printing substrates with alternative non wood fibers printed by flexographic printing technique. Based on research, it can be concluded that laboratory-produced papers with the addition of straw pulp of all cereals meet the quality of reproduction, while laboratory papers printed with conventional water-based inks generally show excellent optical stability after exposure to elevated temperature, chemical agents and pressure. Laboratory papers printed with UV flexographic inks show the greatest resistance to pressure. It is recommended that the cellulose pulp papers of these environmentally friendly raw materials be made of higher weight to achieve lower values of Euclidean undertone differences and color penetration within the printing substrate and to introduce the final stages of paper surface treatment. Also, based on qualitative analysis, it can be recommended that papers with the addition of cereal straw pulp printed with conventional water-based paints should be avoided only when packaging is containing alkaline products or oils. Although papers with the addition of cereal straw pulp are not suitable for printing with UV curing inks for use in primary food packaging, due to their good mechanical resistance they are excellent for printing various publications and labels.

Experimental part was conducted in the following order: forming of laboratory papers by mixing straw pulp from three types of cereals, wheat, barley or triticale in different mass ratios with the pulp of commercial paper made from recycled wood pulp. The mass ratios for the straw pulp of each type of cereal are: 10 % straw pulp and 90 % recycled commercial paper pulp, 20 % straw pulp and 80 % recycled commercial paper pulp and 30 % straw pulp and 70 % recycled commercial paper pulp. Laboratory papers were then printed on a flexographic printing simulator with two types of ink: conventional water-based and UV ink. All printing

substrates are printed with both types of flexographic inks in monochrome (cyan, magenta, yellow, black) and multichrome (yellow + magenta, yellow + cyan, cyan + magenta, yellow + cyan + magenta) prints. Usability of the prints made on paper with addition of straw pulp were observed based on qualitative measurements: spectrophotometric values of color, graininess, mottling, optical density, total amount of color on the print (undertone), trapping and ink penetration within printing substrates. Optical stability of prints was analysed based on elevated temperature and UV light, the effect of various chemical agents and pressure. Changes in the prints were determined based on the colorimetric difference, i.e. the Euclidean difference in the color of the prints before and after the treatment. Synthesis of results provides insight and guidelines on which laboratory papers are most acceptable for a particular graphic product, taking into account the type of ink.

Based on the qualitative analysis, it can be concluded that satisfactory quality of reproduction of monochromatic and multichromatic colors obtained by flexographic printing technique was achieved on laboratory papers with the addition of wheat, barley and triticale straw pulp. It is recommended that the paper is made of a higher grammage in order to achieve lower values of Euclidean difference of undertones and ink penetration within the printing substrate and to carry out the final stages of paper production.

Flexographic prints on laboratory papers with cereal straw pulp printed with conventional water-based inks have very good optical stability after exposure to elevated temperature and UV radiation for 48 hours. After a period of 96 hours changes that are not optimal show laboratory papers printed with cyan and yellow ink. Also, most laboratory papers printed with conventional water-based inks have optimal chemical stability. Lower optical stability is caused by alkali on all printed substrates, where the most stable laboratory papers are printed in yellow and black inks, while all flexographic prints showed poor resistance to soybean oil. Flexographic prints also showed excellent stability, i.e. resistance to pressure except laboratory papers printed with three layers of ink.

Laboratory papers with the addition of straw pulp of all cereals are not equally good for printing with UV inks and conventional water-based inks. Both inks used on laboratory papers with the addition of straw pulp of all cereals shows advantages or disadvantages in various situations. It is the same, of course, with commercial papers used in the industry for the production of various graphic products. It is important to plan very well which ink will be printed on which paper in order for the purpose of the final product to be fulfilled. Since most laboratory papers with the addition of wheat, barley or triticale straw pulp printed with conventional water-based inks have good resistance to elevated temperature, chemical agents and pressure, with

additional finishing stages and increasing the weight of such newly formed papers with non-wood fibers could be used for various purposes: for a certain type of food packaging that does not contain oils or alkaline products, tobacco packaging, crates, bags, folders, office paper, books and various publications. Laboratory papers with the addition of straw pulp of all cereals printed with UV inks showed the best stability in the case of printing with yellow and black and excellent mechanical stability. Although not recommended for use in primary food packaging, they could be used to print a variety of publications and labels.

**Key words:** flexographic printing, non-wood fibres, qualitative parameters, inovative printing substrates, flexographic inks

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. OBRAZLOŽENJE TEME I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	1
1.2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	4
2. TEORIJSKI DIO .....	5
2.1. POVIJEST PAPIRA .....	5
2.2. VAŽNOST PAPIRA I SIROVINE ZA PROIZVODNJU .....	6
2.2.1. Celuloza i celulozna vlakna .....	6
2.2.2. Hemiceluloza .....	8
2.2.3. Lignin.....	8
2.2.4. Pšenica, ječam i pšenoraž kao sirovine u proizvodnji papira .....	9
2.3. RECIKLIRANJE PAPIRA .....	9
2.4. GLATKOĆA I HRAPAVOST POVRŠINE.....	10
2.5. BOJE.....	11
2.5.1. Koloranti tiskarskih boja.....	13
2.6. FLEKSOGRAFSKE TISKARSKE BOJE.....	15
2.6.1. Tiskarske boje na bazi vode .....	15
2.6.2. UV tiskarske boje.....	16
2.7. FLEKSOGRAFSKI TISAK.....	17
2.8. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA .....	20
2.8.1. Spektrofotometrijske vrijednosti boje.....	20
2.8.2. Integralna gustoća obojenja .....	21
2.8.3. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona .....	21
2.8.4. Primanje boje na boju .....	22
2.8.5. Ukupna količina boje na otisku .....	22
2.9. OPTIČKA STABILNOST OTISAKA .....	22
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	24
3.1. METODOLOGIJA I PLAN ISTRAŽIVANJA .....	24
3.2. IZRADA LABORATORIJSKIH PAPIRA.....	28
3.2.1. Svojstva papira.....	30
3.3. OTISKIVANJE LABORATORIJSKIH PAPIRA .....	32
3.4. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA .....	34
3.4.1. Spektrofotometrijske vrijednosti boja.....	34
3.4.2. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona .....	35
3.4.3. Podton, integralna gustoća obojenja i primanje boje na boju .....	36

3.4.4. Penetracija boje u tiskovnu podlogu .....	37
3.5. OPTIČKA STABILNOST OTISAKA .....	40
3.5.1. Stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost.....	40
3.5.2. Stabilnost na pritisak.....	41
3.5.3. Stabilnost na kemijske agense .....	42
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	45
4.1. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA .....	45
4.1.1. Spektrofotometrijske vrijednosti neotisnutih i otisnutih laboratorijskih papira .....	45
4.1.2. Integralna gustoća obojenja .....	49
4.1.3. Zrnatost punog tona .....	51
4.1.4. Neravnomjerna reprodukcija punog tona.....	52
4.1.5. Primanje boje na boju .....	54
4.1.6. Ukupna količina boje na otisku.....	55
4.1.7. Penetracija boje u tiskovnu podlogu .....	58
4.2. OPTIČKA STABILNOST REPRODUKCIJE .....	60
4.2.1. Stabilnost otisaka na povišenu temperaturu i UV svjetlost .....	60
4.2.2. Stabilnost otisaka na djelovanje kemijskih agensa .....	70
4.2.2.1. Kemijski agens: voda (H <sub>2</sub> O) .....	70
4.2.2.2. Kemijski agens: natrijeva lužina (NaOH).....	75
4.2.2.3. Kemijski agens: octena kiselina (CH <sub>3</sub> COOH) .....	79
4.2.2.4. Kemijski agens: limunska kiselina (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ).....	84
4.2.2.5. Kemijski agens: etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) .....	89
4.2.2.6. Kemijski agens: sojino ulje .....	93
4.2.3. Stabilnost otisaka na pritisak .....	98
4.2.3.1. Broj okretaja: 20 okretaja u minuti .....	98
4.2.3.2. Broj okretaja: 40 okretaja u minuti .....	102
4.2.3.3. Broj okretaja: 60 okretaja u minuti .....	107
5. ZAKLJUČAK .....	112
5.1. UKUPNA KVALITETA OTISAKA.....	112
5.2. UKUPNA STABILNOST OTISAKA .....	113
5.2.1. Stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost.....	113
5.2.2. Stabilnost na djelovanje raznih kemijskih agensa .....	114
5.2.3. Stabilnost na pritisak.....	115
5.3. HIPOTEZE .....	116
6. LITERATURA .....	118
7. PRILOZI .....	122
8. ŽIVOTOPIS AUTORICE.....	129

8.1. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA I ZNANSTVENE DJELATOSTI.....	130
--	-----



# 1. UVOD

## 1.1. OBRAZLOŽENJE TEME I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Fleksografski tisak je trenutno najbrže rastuća grana u grafičkoj industriji među konvencionalnim tehnikama tiska. Dominantna je metoda tiska u ambalažnoj industriji, no primjenjuje se i u drugim segmentima. Fleksibilne i kompresibilne tiskovne forme, brzосуšeće boje i jednostavan uređaj za obojenje kod fleksotiskarskog stroja omogućuju reprodukciju grafike i teksta visoke kvalitete u malim i velikim nakladama na različitim tiskovnim podlogama [1]. Privlačna i kvalitetna ambalaža prvo je što korisnik uoči. Stoga je proizvođaču i grafičkoj industriji najvažnija stavka ukupna kvaliteta reprodukcije grafičkog proizvoda [2]. Pri tome se ne misli samo na kvalitativne parametre reprodukcije, već i na stabilnost na pritisak, kemijske agense, temperaturu i UV svjetlost. Kako bi kvaliteta reprodukcije bila zadovoljavajuća, ona obuhvaća mnoge čimbenike. Osim odgovarajuće tehnike tiska, najvažniji su, naravno, tiskarska boja koja se upotrebljava i tiskovna podloga. Za fleksografsku tehniku tiska upotrebljava se nekoliko vrsta tiskarskih boja niske viskoznosti upijajuće boje na vodenoj bazi i UV boje s neškodljivim otapalima, te je moguć tisak na razne polimerne materijale, valovite ljepenke i papire [1], [3].

Sagledamo li današnjicu, primijetit ćemo da se prestanak uporabe polimernih materijala te ekološka osviještenost i uporaba obnovljivih resursa sve više postavlja kao kategorički imperativ. Sukladno tome, svi bi trebali težiti toj pozitivnoj promjeni koliko god mogućnosti dopuštaju, pa tako i grafička industrija. Održivi razvoj je sintagma koja je nastala u 19. stoljeću, a prvi put je upotrijebljena u kontekstu održivog gospodarenja šumama. Definira se kao „razvoj kojim se zadovoljavaju potrebe današnjih naraštaja a da se pritom ne ugrožava mogućnost budućih naraštaja u zadovoljavanju njihovih potreba” [4]. Danas održivi razvoj podrazumijeva ravnotežu između gospodarskih, socijalnih i ekonomskih faktora [5]. Prirodni resursi su temeljni za ljudsko zdravlje, ekonomsku aktivnost, dobrobit i kvalitetu života, ali njihova je opskrba ograničena. Stoga je logično racionalno iskorištavanje prirodnih resursa i istodobna stimulacija istraživanja zamjenskih sirovina i novih tehnologija [6]. Kako bi se smanjilo iscrpljivanje korištenih resursa, sadašnji model treba zamijeniti otpornijim i održivim obrascima proizvodnje i potrošnje koji su u skladu s načelima „kružne ekonomije”. Kod

prelaska na više „kružnu” ekonomiju vrijednost proizvoda, materijala i resursa održava se u gospodarstvu što je duže moguće, a stvaranje otpada se minimizira. Također u skladu je s UN-ovom Agendom 2030. i Ciljem 12 održivog razvoja „Odgovorna potrošnja i proizvodnja”, koji su usvojeni na 69. sjednici Opće skupštine UN-a [7].

Za proizvodnju papira i kartona glavni izvor opskrbe celuloznim vlaknima je drvo. S obzirom na regulative o okolišu Europske unije i činjenicu da postoji problem deforestacije, između ostalog i u svrhu izrade papira, mnogi razmišljaju o ekološki prihvatljivijoj i ekonomičnoj zamjeni drvnih vlakana drugim biljnim biomasama za proizvodnju celulozne pulpe. Kao odličan dodatak drvu u smislu opskrbe vlaknima za izradu papira može se upotrebljavati slama raznih žitarica, koja kao nusproizvod uzgoja usjeva ima brojne prednosti. Slama žitarica kao što su pšenica, ječam i pšenoraž (hibrid pšenice i raži) ispitivana je kao izvor primarnih vlakana za oplemenjivanje pulpe s recikliranim drvnim vlaknima [8]. Time se umanjuje udio drvnih vlakana u papiru, što svakako pogoduje okolišu, dok se istodobno iskorištava slama žitarica koje su jednogodišnje biljke te kojih ima u izobilju diljem svijeta.

Dosadašnja istraživanja na području izrade papira s nedrvnim vlakancima pokazala su da se doista kvalitetni papiri mogu proizvesti s različitim nedrvnim biomasama. Ovisno o regiji gdje se alternativni izvori vlakana mogu skupljati u velikim količinama, neke vrste koje se upotrebljavaju u proizvodnji papira diljem svijeta su *bagasse* (vlakna šećerne trske dobivena kao nusproizvod procesa rafiniranja šećera), bambus, kenaf i rižina slama. Pokazalo se da se 10 % – 15 % drvene pulpe može zamijeniti nedrvnom pulpom bez značajnog utjecaja na čvrstoću, optička i površinska svojstva većine vrsta papira [9]. Nedrvna vlakna posjeduju izvrsnu raznolikost u fizičkim i optičkim aspektima, no u cijelom svijetu za izradu sirovine od papira i kartona upotrebljavaju se u vrlo maloj količini. Međutim, u nekim zemljama u razvoju oko 60 % celuloznih vlakana dolazi iz nedrvnih materijala poput *bagasse*, kukuruzovine, bambusa, trske, trave, jute, lana, sisala i slično. U Indiji i Kini 70 % sirovina koje se upotrebljavaju u industriji celuloze potječe iz nedrvnih biljaka. Posljednjih godina se najčešće upotrebljavaju nedrvna vlakna slame 46 %, *bagasse* 14 % i bambusa 6 %. Ostali izvori nedrvnih vlakana, poglavito industrijsko tekstilno bilje, kao što su pamuk, konoplja, sisal i kenaf, također postaju sve važniji u industriji proizvodnje celuloze i papira. Nedrvna vlakna imaju određene prednosti u odnosu na drvena vlakna: imaju manji udio lignina, najbrže je rastući godišnji izvor vlakana, nedrvna pulpa može biti proizvedena na niskim temperaturama s manjim dozama kemikalija te s poljoprivrednog gledišta izrada pulpe od nedrvnih vlakana može donijeti dodatnu ekonomsku vrijednost od prehrambenih usjeva [10]. Dobre karakteristike također pokazuju ručno izrađeni papiri proizvedeni s dodatkom celuloznih

vlakana iz stabljika banane, listova banane i listova ananasa te su vlakna određenih vodenih biljaka pokazala dobre karakteristike za izradu kartona i dekorativnih papira [11], [12]. Istraživanje provedeno na papiru proizvedenom od biljke *Japanese knotweed* odnosno japanskog dvornika pokazalo je da se japanski dvornik kao jeftina lokalna biljka može upotrijebiti u industriji izrade papira. Međutim, utvrđeno je da su hrapavost i poroznost takvog papira dosta visoki, a sjaj i bjelina niski, te je nužno poboljšati obradu sirovine kako bi se postigle dobre karakteristike otiska na papiru iz vlakana ove invazivne biljke [13]. Također, provedena su istraživanja kvalitete otisaka na laboratorijski izrađenim papirima s dodatkom celulozne pulpe slame raznih vrsta žitarica otisnutih digitalnom tehnikom tiska. U tim istraživanjima utvrđeno je da papir s dodatkom pšenične pulpe u određenom omjeru ima zadovoljavajuću kvalitetu reprodukcije točaka, dok papir s dodatkom pulpe pšenoraži omogućuje jednaku kvalitetu reprodukcije linija kao reciklirani papir [14], [15]. Analizirana je i optička stabilnost otisaka na papirima s dodatkom pšenične pulpe otisnutima digitalnom tehnikom tiska nakon metode ubrzanog starenja, gdje se pokazalo kako dodatak pšenične pulpe u papir pozitivno utječe na optičku stabilnost svih analiziranih uzoraka [16]. U istraživanju papira s dodatkom pšenične pulpe otisnutih digitalnom tehnikom tiska gdje je naglasak bio na analizi penetracije boje u tiskovnu podlogu utvrđeno je kako bi takvi papiri bili uporabljivi kao komercijalni papiri određenih kategorija te da dodatak pšenične pulpe ne utječe na promjenu svih analiziranih kvalitativnih vrijednosti otisaka (integralna gustoća obojenja, neravnomjerna reprodukcija punog tona, kolorimetrijske vrijednosti boja) [17].

Kod svakog grafičkog proizvoda, pa tako i otiska nastalog na tiskovnoj podlozi s celuloznom pulpom slame žitarica, treba provesti niz ispitivanja kako bi se utvrdila uporabljivost, stabilnost i kvaliteta proizvoda u cilju dobivanja smjernica i preporuka za proizvodnju publikacija istih ili većih gramatura te ambalaže.

## 1.2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je pridonijeti povećanju iskoristivosti ekološki prihvatljivih sirovina u izradi budućih grafičkih proizvoda primjenom objektivnih metoda ispitivanja kvalitete reprodukcije fleksografskih otisaka na laboratorijskim papirima oplemenjenima pulpom slame pšenice, ječma i pšenoraži.

Na temelju preliminarnih istraživanja postavljene su sljedeće hipoteze:

H1. Na laboratorijskim papirima s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma i pšenoraži fleksografskom tehnikom tiska omogućit će se jednaka kvaliteta reprodukcije jednotonskih i višetonkih boja u odnosu na otiske na papiru od reciklirane drvene pulpe.

H2. Fleksografski otisci na laboratorijskim papirima s pulpom slame žitarica imat će optimalnu optičku stabilnost pri kontroliranoj povišenoj temperaturi i UV zračenju, kao i pri djelovanju mehaničkog pritiska i raznih kemijskih agensa.

H3. Laboratorijski papiri s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma i pšenoraži podjednako su prikladni za otiskivanje bojama koje se suše UV zračenjem kao i konvencionalnim bojama na bazi vode.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. POVIJEST PAPIRA

Vrijeme koje se obično navodi za izum papira je 105. godina. Te je godine dvorski službenik Ts'ai Lun službeno prijavio izum caru [18]. Prije toga su Kinezi pisali na svili, a zbog njezine skupe izrade, tragali su za novim zamjenskim materijalima. Kao sirovinu su upotrebljavali vlakna raznih biljaka, poput rižine slame, konoplje, bambusa, trske, kore dudova drva i dr. Vlaknima usitnjenim pomoću mlinova dodavali su otopinu vapna. Tako dobivenu vodenastu kašu nanosili su na četvrtasta sita izrađena od bambusa i svilenih niti. Pokretanjem sita voda se odvajala te se oblikovao sloj isprepletenih vlaknaca. Vlažan list se zatim skidao sa sita, sušio, te se prešao jednostavnim drvenim napravama. Premazivanjem ljepljivom, sušenjem i glačanjem slonovom kosti postigla se debljina, ravna površina i potreban sjaj svakog lista. Tek 610. godine papir počinju proizvoditi Korejci i Japanci. U vrijeme ratnih sukoba Arapi su zarobili veći broj Kineza te su preko njih došli do saznanja o proizvodnji papira. Arapi su se koristili lanenim krpama, lanom i drugim vlaknastim biljkama kao osnovnim materijalom te su unaprijedili proizvodnju pomoću novih uređaja. Upotrebljavali su škrob pšeničnog brašna kako bi poboljšali svojstva papira te su izradili sito od metalnih niti umjesto svile, što je omogućilo dulju upotrebu istog sita. Kako se ručna proizvodnja papira proširila na Europu, prva radionica papira započela je 1154. godine u Španjolskoj. Prva tvornica papira u Hrvatskoj osnovana je 1880. godine u Sušaku [19]. Najstarija tehnika izrade papira, izlivanje celuloznih vlakana u primitivni kalup još uvijek se upotrebljava na nekoliko mjesta na Himalaji te u nekim mjestima u Kini i jugoistočnoj Aziji [20].

## 2.2. VAŽNOST PAPIRA I SIROVINE ZA PROIZVODNJU

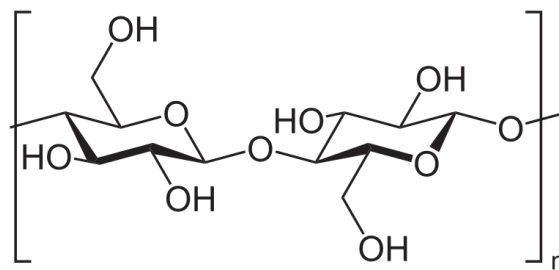
U suvremenom životu važnost papira je jasna. Papir omogućuje bilježenje, pohranu i širenje informacija. Gotovo sve pisanje i ispis obavlja se na papiru. Najčešće je korišten materijal za umatanje i pakiranje, ima važnu strukturalnu primjenu te izrazito važnu ulogu u našim životima. Primjena papira i proizvoda od papira gotovo je neograničena. Novi proizvodi se kontinuirano razvijaju i kao nikada prije razvijaju se nove metodologije i tehnologije kako bi industrija mogla ostati konkurentna na postojećem tržištu [21].

Materijali i pomoćna sredstva koja se upotrebljavaju za proizvodnju papira svrstani su u nekoliko skupina: vlakna, punila, keljiva, bojila i razni dodaci. Vlakno je osnovni sastojak svakog papira. Najčešće je biljnog porijekla, no upotrebljavaju se i sintetska vlakna [19].

### 2.2.1. Celuloza i celulozna vlakna

Naziv celuloza potječe od latinske riječi *celula*, što znači biljna stanica [22]. Najrasprostranjeniji je organski spoj u prirodi jer su stijenke biljnih stanica izgrađene od celuloze. Celuloza je kruta tvar bez okusa i mirisa. Netopiva je u uobičajenim organskim otapalima, razrijeđenim kiselinama, lužinama i blagim sredstvima te je vrlo otporna na atmosferske utjecaje. Po kemijskom sastavu i strukturi celuloza (slika 1.) je prirodni polimer koji pripada skupini polisaharida, a izražava se općom formulom  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , što znači da je spoj ugljika, dušika i kisika. Celulozno vlakno drva ima dužinu od 4 mm do 5 mm, dok u lana i pamuka doseže do 25 mm. Pamučno vlakno gotovo je stopostotna celuloza, dok lan i konoplja sadrže 93 % – 97 % celuloze, a neke vrste drva i do 50 % celuloze [19]. Celulozna vlakna posjeduju niz svojstava koja su povoljna za proizvodnju papira. Idealno je kada se većina lignina ukloni iz vlakana, a zadrži se veća količina hemiceluloze. Svojstva vlakna su također poboljšana mehaničkim tretmanom pri kojem se uklanjaju primarne stijenke vlakana i omogućuje im da se hidratiziraju, odnosno prime vodu u svoju strukturu i nabubre. Tako povećavaju fleksibilnost i moć vezanja. Hidrofilna priroda celuloznih vlakana ima važnu ulogu jer se proces proizvodnje papira odvija u vodenom mediju. Čvrstoća vlakana ovisi o prirodi sirovine i načinu dobivanja pulpe. Iako vlakna sama za sebe općenito imaju visoku vlačnu čvrstoću, parametri čvrstoće papira više ovise o vezama između vlakana [21]. Proizvodnja papira se uglavnom temelji na vlaknastoj sirovini, koja se može sastojati od primarnih i/ili sekundarnih vlakana. Primarna vlakna dobivaju se izravno iz biljnih sirovina, uglavnom od

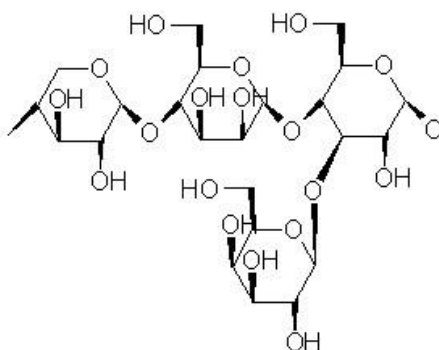
drva i jednogodišnjih nedravnih biljaka. Sekundarna vlakna se proizvode recikliranjem iskorištenog papira. Upotreba jednogodišnjih nedravnih biljaka posebno je pogodna za područja sa slabom opskrbom drvnim resursima [20]. Izbor celuloznih vlakana utječe na prirodu i kvalitetu proizvedenog papira jer osim po kemijskom sastavu vlakna iz različitih biljnih izvora imaju različite duljine i promjere. Nadalje, vlakna su cjevaste strukture, odnosno imaju šuplji središnji kanal, porozne vanjske stijenke koje variraju u debljini ovisno o vrsti. Stoga fleksibilnost vlakana varira ovisno o izvoru, kao i utjecaj pripreme vlakana tijekom procesa izrade pulpe. Glavna opskrba celulozom dolazi iz Južne Amerike, Kanade, Skandinavije i SAD-a. Lokacija izvora može imati velik utjecaj na kvalitetu celuloznih vlakana proizvedenih od iste biljne vrste. Četinjače kao što su bor i smreka daju duža vlakna s većim vrijednostima čvrstoće. Međutim, njihova duljina dovodi do formiranja koje rezultira papirima čija površina nije glatka. Stoga se vrlo duga vlakna moraju skratiti kako bi se osiguralo dobro formiranje na stroju za izradu papira. Brže rastuće listopadne sorte kao što su breza, jasika i eukaliptus daju kraća vlakna koja su slabije čvrstoće, ali daju papir glađe površine. Iako mogu biti prisutne druge vrste vlakana, značajan udio pulpe općenito sadrži vlakna mekog i tvrdog drva. Korištena u približno jednakim omjerima, pulpa listopadnog drva sa svojim kraćim vlaknima daje papiru visok opacitet, glatkoću i otpornost na dinamička opterećenja, dok mu duža vlakna crnogoričnog drva daju čvrstoću [23].



Slika 1. Kemijski spoj celuloze [24].

### 2.2.2. Hemiceluloza

Naziv hemiceluloza (slika 2.) potječe od grčke riječi *hemi*, što znači pola. Time se želi naglasiti njezina sličnost celulozi. Ona je jedan od triju glavnih komponenti drva. To su polisaharidni pratioci celuloze, nastali u biljnim stanicama, a topivi su u razrijeđenim lužinama i lako hidroliziraju pod utjecajem razrijeđenih kiselina te se grijanjem pri atmosferskom tlaku lako prevode u jednostavne šećere. Ubrajaju se u spojeve srodne celulozi, ali imaju manju molekularnu težinu i kompliciranu strukturu [8], [22], [25].



Slika 2. Hemiceluloza [26].

### 2.2.3. Lignin

Naziv potječe od latinske riječi *lignum*, što znači drvo. To je drvena komponenta koja ima zadatak pojačati i ukrutiti stijenke stanica. Nalazi se između samih vlakana te time utječe na njihovu krutost i na krutost samog drva. Lignin je kemijski spoj kojem je teško utvrditi strukturu zato što se ona promijeni i degradira čim se na njega djeluje kemikalijama. Analiza strukture tvari provodi se spektralnom analizom, kromatografijom, elektroničkim mikroskopom i dr. Lignin je teško izdvojiti u obliku u kojem se nalazi u drvu, no dio koji se može izdvojiti je amorfna tvar velike relativne molekulske mase. Lignin se izdvaja iz drva djelovanjem kemikalija, pri čemu se odvaja tamna tekućina tzv. crni lug, koja se uparava do praškaste, amorfne tvari sastavljene od lignina i anorganskih tvari u obliku tzv. ligninske soli te spaljuje [22]. Lignin je nepoželjan u tiskovnim podlogama jer ih čini lomljivima te fotokemijski oksidira, zbog čega s vremenom uzrokuje porast žućenja papira kao tiskovne podloge. Papiri najviše kvalitete su načinjeni od pulpe koja ne sadrži lignin [8].



#### 2.2.4. Pšenica, ječam i pšenoraž kao sirovine u proizvodnji papira

Za proizvodnju papira širom svijeta upotrebljavaju se razne biljke, kao što je bambus, rižina slama, kenaf, *bagasse*, lan, konoplja i listovi banane, ovisno o regiji u kojoj se papir proizvodi [9], [11]–[13]. Slama raznih žitarica značajan je izvor celuloze, koja se upotrebljavala i u davnim vremenima za proizvodnju papira kao glavna sirovina. Sadrži prosječno 38 % celuloze, vlakna su kraća nego kod drva, no papiru daje neka vrlo važna svojstva te se upravo zato upotrebljava kao dodatak vlaknu drugog podrijetla u proizvodnji papira, kartona i ljepenke [19]. Slama je nusproizvod uzgoja usjeva i može potjecati od raznih žitarica. Jeftina je sirovina, bogata celuloznim vlakancima i potencijalno dobar izvor primarnih celuloznih vlakanaca za proizvodnju papira. Može se upotrebljavati kao ekološki prihvatljiva i ekonomična dopuna drvu u smislu opskrbe vlaknima jer ima brojne prednosti, a to su njezino obilje i obnovljivost. S obzirom na to da se slama većim dijelom spaljuje ili zaorava natrag u zemlju, važno je njezino racionalno iskorištavanje. Neke od žitarica koje se najčešće uzgajaju u Hrvatskoj su pšenica (*Triticum spp.*), ječam (*Hordeum vulgare L.*) i pšenoraž (*Triticale sp.*). Slama tih žitarica dobar je vlaknasti materijal koji se godišnje proizvodi u velikim količinama diljem svijeta u mnogo kraćem ciklusu uzgoja od drveta. Nedrvne biljke se općenito razlikuju od drva po tome što sadrže manje lignina i manje celuloze, pa su papiri bez dodatka drugih vlakana obično slabije kvalitete. Međutim, naše su prethodne studije pokazale da se miješanjem recikliranih drvnih vlakana s nedrvnim vlaknima može proizvesti kvalitetan papir koji je moguće otisnuti i upotrijebiti kao sekundarnu ambalažu, etikete i manje kvalitetne publikacije [27]–[29].

### 2.3. REKILIRANJE PAPIRA

Europsko vijeće za recikliranje papira (EPRC) osnovano je kao inicijativa industrije u studenom 2000. za praćenje napretka prema ispunjavanju ciljeva recikliranja papira postavljenih u Europskoj deklaraciji papira iz 2000. godine. EPRC 2016. godine postavlja cilj da se u 2020. godini dostigne stopa recikliranja ukupnog papira u Europi od 74 %, što je i postignuto. Ako se osvrnemo unazad 20 godina, recikliranje papira je poraslo za čak 40 %. Prikupljanje iskorištenog papira i kartona prvi je korak u procesu recikliranja. Općenito govoreći, konačni proizvodni proces za recikliranje papira je isti kao i proces koji se primjenjuje za izradu papira od primarnih vlakana, ali budući da je papir za recikliranje već upotrijebljen, mora se razvrstati i očistiti. Za određene papire (npr. papir za tiskanje i pisanje

te higijenske proizvode) boja se mora ukloniti s papira u procesu recikliranja. To se naziva *deinking* ili uklanjanje boje. Po dolasku u tvornicu papira papir za recikliranje se pretvara u pulpu i uklanjaju se velika nevlaknasta onečišćenja (npr. spajalice, plastika, staklo itd.). Vlakna se čiste, a pulpa koja nastane se filtrira i prosijava nekoliko puta kako bi bila prikladna za izradu papira. Nakon što se boja ukloni, vlakno se može izbijeliti. Pulpa je tada spremna za izradu papira. Ovisno o vrsti papira koji se proizvodi, može se dodati određena količina pulpe s primarnim vlakancima. Neki papiri, kao što su novinski papir i kartonska valovita ljepjenka, mogu se napraviti od 100 % recikliranih vlakanca [30].

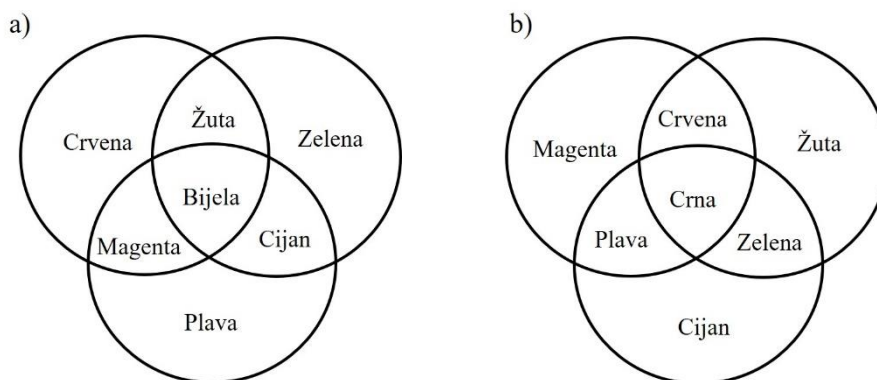
## 2.4. GLATKOĆA I HRAPAVOST POVRŠINE

Glatkoća i hrapavost površine svrstavaju se među najvažnije pokazatelje tiskarskih osobina svakoga papira i kartona. Uspješnost u tiskarskoj reprodukciji direktno ovisi o glatkoći površine tiskovne podloge. Uz različite vrijednosti i vrste hrapavosti, razlikuju se *slobodna glatkoća* i *glatkoća za tisak*. Iako postoji mišljenje da je papir pogodniji za tisak što mu je veća glatkoća, pokusi i praksa su pokazali da manje gladak ali mekan papir može imati bolji otisak nego neki gladi papir velike tvrdoće. Glatkoća ne ovisi samo o glačanju, već je uvjetovana i stupnjem mljevenja vlakana, vrstom i količinom punila te površinskim premazom papira. Za određivanje stupnja hrapavosti površine poznate su egzaktne metode po Bekku i optičke po Schmalzu, Chapmanu i druge. Stupanj glatkoće po Bekku određuje se vremenom (u sekundama) u kojem se istisne zrak (10 mililitara) pod pritiskom (30 mm Hg) uz specifično opterećenje ( $0,098 \text{ N/mm}^2$ ) između površine ispitivanog papira i glatke, visokopolirane ploče sa središnjim otvorom za odvođenje zraka. Vrijeme istiskivanja zraka znatno je kraće kod hrapavih nego kod glatkih premazanih papira [19].

## 2.5. BOJE

Boja ima važnu ulogu u našem svakodnevnom životu. Boja utječe na naše raspoloženje, emocije i općenito poboljšava način na koji uživamo u svom okruženju. Kaže se da prisutnost boje zahtijeva tri stvari: izvor osvjetljenja, objekt za interakciju s tim izvorom osvjetljenja i ljudsko oko da promatra učinak. U nedostatku bilo kojeg od njih, može se tvrditi da boja ne postoji. Vidljivo svjetlo odnosi se na područje elektromagnetskog spektra na koji su naše oči osjetljive i odgovara zračenju unutar vrlo uskog raspona valnih duljina 360 nm – 780 nm. Izvan tog raspona su ultraljubičasto (UV) područje spektra (ispod 360 nm) i infracrveno (IR) područje (iznad 780 nm). Normalno bijelo svjetlo sadrži cijeli taj raspon valnih duljina, iako ne nužno u jednakom intenzitetu. Postoje brojni izvori bijele svjetlosti, neki prirodni, a neki umjetni. Najpoznatije prirodno osvjetljenje je dnevna svjetlost koja dolazi od sunca. Vidljiva Sunčeva svjetlost ne samo da nam omogućuje da vidimo objekt, već je zapravo nužna za život. Umjetna rasvjetna tijela, kao što su volframove i fluorescentne svjetiljke koje se upotrebljavaju za unutarnju rasvjetu, također su nominalno izvori bijele svjetlosti, iako sastav svjetlosti iz tih izvora značajno varira ovisno o vrsti žarulje o kojoj je riječ. Vidljivi spektar se sastoji od specifičnih područja valnih duljina koje oko prepoznaje u smislu njihovih karakterističnih boja. Za specifikaciju boja važno je temeljno razumijevanje zakona miješanja boja, procesa kojim se dvije ili više boja kombiniraju kako bi se „sintetizirale” nove boje. Postoje dva bitno različita načina kako se to može postići; *aditivno* i *suptraktivno* miješanje boja. Aditivno miješanje boja, kao što naziv implicira, odnosi se na miješanje svjetla u boji, tako da se izvor osvjetljenja promatra izravno okom. Do suptraktivnog miješanja boja dolazi kada se boje promatraju kao rezultat refleksije od objekta ili prijenosa kroz njega nakon što on stupi u interakciju s upadnom bijelom svjetlošću. Boje crvena, zelena i plava se nazivaju *aditivnim primarnim bojama*. Kao što je prikazano na slici 3a), aditivno miješanje crvene i plave daje magentu, plava i zelena daju cijan, dok kombiniranje crvene i zelene aditivno daje žutu. Kada se sve tri primarne boje pomiješaju na taj način, nastaje bijela svjetlost, budući da je prisutan cijeli vidljivi spektar. Kada objekt apsorbira svjetlost određene boje koja odgovara njegovom određenom rasponu valnih duljina, promatra se komplementarna boja. Komplementarna boja odgovara preostalim valnim duljinama upadne svjetlosti, koje se ili propuštaju ili reflektiraju, ovisno o tome je li objekt proziran ili neproziran, a zatim ih oko detektira. Na primjer, objekt koji apsorbira plavo svjetlo izgledat će žuto jer se crvena i zelena komponenta reflektiraju. To čini osnovu za *suptraktivno* miješanje boja. Ova vrsta miješanja boja događa se kada se boje i pigmenti miješaju. Suptraktivne primarne boje su žuta, magenta i cijan (slika 3 b). To su, na primjer, tri

tiskarske boje koje se obično upotrebljavaju za proizvodnju višebojnog tiskanog materijala s kojim se susrećemo u svakodnevnom životu, kao što su ambalaža, časopisi, posteri, novine, itd. Sve se te boje promatraju kao rezultat procesa selektivne apsorpcije svjetlosti i nazivaju se kromatskim bojama. Ako se sve valne duljine svjetlosti reflektiraju od objekta, one se oku čine bijelima. Ako se svjetlost ne reflektira, prepoznajemo je kao crnu. Ako objekt apsorbira konstantni dio upadne svjetlosti kroz vidljivo područje, izgleda sivo. Bijela, crna i siva stoga se nazivaju akromatskima jer u tim slučajevima nema selektivne apsorpcije svjetlosti [31].



Slika 3. a) Aditivno miješanje boja i b) suptraktivno miješanje boja. [31]

Naše iskustvo s bojama proizlazi iz bogate raznolikosti izvora, prirodnih i sintetičkih. Prirodne boje su svuda oko nas, u zemlji, nebu, moru, životinjama i pticama i u vegetaciji, na primjer na drveću, lišću, travi i cvijeću. Sintetičke boje upotrebljavaju se u odjeći koju nosimo, u bojilima, plastičnim artiklima, u širokom spektru višebojnih tiskanih materijala, kao što su plakati, časopisi, novine, u fotografijama, kozmetici, keramici, te na televiziji i filmu. Ljudi su upotrebljavali boju još od pretpovijesti, na primjer za ukrašavanje tijela, bojenje krzna i kože koje su nosili te za oslikavanje špiljskih nastambi. Tada su boje koje su se upotrebljavale potjecale iz prirodnih resursa. Boje koje su se upotrebljavale za bojenje odjeće obično su ekstrahirane ili iz biljnih izvora, uključujući biljke, korijenje drveća, sjemenke, orašaste plodove, kožicu voća i bobica, ili iz životinjskih izvora kao što su zgnječeni kukci i mekušci. Pigmenti iz biljaka dobivali su se od obojenih minerala, poput okera i hematita, koji su iskopani iz zemlje, mljeveni u fini prah i pomiješani u sirovo vezivo. Sintetička bojila također se mogu opisati kao da imaju drevnu povijest, iako se to odnosi samo na pigmente proizvedene iz osnovnih primjena anorganske kemije. Ovi vrlo rani sintetički pigmenti proizvedeni su i upotrebljavani u bojama tisućama godina. Stari Egipćani su vjerojatno bili odgovorni za razvoj

najranijih sintetičkih pigmenata. Najznačajniji proizvodi bili su *Alexandra blue*, mljeveno staklo obojeno bakrenom rudom, i *Egyptian blue* (egipatska plava), miješani silikat bakra i kalcija koji je identificiran na muralima (slika 4.) koji datiraju oko 1000. godine pr. Kr. Možda najstarije sintetičko bojilo koje se i danas uvelike upotrebljava je *Prussian blue* (prusko plava), čija je struktura utvrđena kao željezov(III) heksacijanoferat(II). Proizvodnja tog anorganskog pigmenta za plavu boju je mnogo manje stara, datira iz sredine 17. stoljeća [31].



Slika 4. Egipatska plava, najstariji poznati sintetički pigment. [32]

Svrha boje je prenošenje informacija stvaranjem slike na tiskovnoj podlozi. Priroda slike može biti jednostavan tekst, velika jednotonska područja ili višebojne reprodukcije. Stoga su željena svojstva bojila višestruka. Moraju se kontrolirati tijekom nanošenja, kako pri tisku tako i pri kontaktu s tiskovnom podlogom. Moraju se sušiti brzinom koja je razmjerna velikoj brzini otiskivanja. Trebaju biti prikladne za širok raspon podloga, uključujući papir, karton, polimere, keramiku i metale. Kako bi se sve to postiglo, boje se općenito sastoje od dvije glavne komponente: pigmenta i veziva [23].

### 2.5.1. Koloranti tiskarskih boja

Postoji niz svojstava koja tvar mora posjedovati kako bi se kvalificirala kao pigment. Mora biti prah ili tvar koja se lako pretvara u prah, mora posjedovati svojstva obojenja i mora formirati homogenu pastu kada se pomiješa s vezivom [33]. Svaki proizvođač tiskarskih boja pripremu pigmenata i veziva čuva u tajnosti jer kvaliteta i standard svake tiskarske boje najviše ovisi o ta dva elementa [34]. Pigment funkcionira tako što raspršuje i apsorbira svjetlost, čije relativne količine određuju neprozirnost i boju tiskanih podloga. Na njih pak uvelike utječe veličina čestica pigmenata i podloga na koju se otiskuje. Pigmenti trebaju imati dobru čvrstoću boje,

dobru postojanost na svjetlost, stabilnost prema kemijskom vezanju, finu veličinu čestica i disperzibilnost u vezivima boje [23]. Tiskarske boje se sastoje od: pigmenta ili bojila i veziva. Svrha pigmenta ili bojila je pružiti kontrast slike na podlozi uz sva ostala poželjna svojstva. Svrha veziva je prenijeti pigment na podlogu, zadržati ga tamo i pružiti željena svojstva, npr. mehanizam sušenja, svojstva prijenosa, trljanja, sjaj i „seting” odnosno pričvršćivanje. Vezivo može sadržavati ulja, lakove, smole, otapala, aditive. Pigmenti i bojila dobivaju se iz prirodnih i sintetskih izvora i mogu se podijeliti na kemijske vrste: organske i anorganske. Većina pigmenta i bojila koje su korisne u tiskarskim bojama su organske vrste. Hoće li se upotrijebiti pigment ili bojilo u danoj formulaciji boje, ovisi o brojnim čimbenicima. Pigment se obično smatra obojenim spojem koji se mora pravilno raspršiti u danom sustavu veziva kako bi se razvila svojstva pune jačine boje. Neki vrlo važni pigmenti nisu obojeni. To uključuje bijele pigmente, npr. titanijev (IV) oksid, pigmente čađe te porculansku glinu i kalcijev karbonat (kreda). Pigmenti koji se upotrebljavaju u određenoj boji imaju veliki utjecaj na viskoznost i svojstva protoka boje, a različiti pigmenti mogu imati sasvim različite utjecaje na isti sustav veziva. Stoga odabir pigmenta koji će se upotrijebiti u tiskarskoj boji zahtijeva vrlo pažljivo razmatranje. Budući da je pigment vrlo često najskuplji dio boje i često može pridonijeti većoj cijeni boje od ostalih sastojaka zajedno, pažljiv odabir i upotreba pigmenta važni su za dobru formulaciju boje. Određena količina bojila proizvest će daleko veću jačinu boje nego ista količina pigmenta. Međutim, za razliku od pigmenta, bojila se moraju otopiti u sustavu veziva kako bi se razvila jačina boje, dok je pigment raspršen unutar veziva. Većina bojila upotrebljava se u sustavima koji primjenjuju tečljive tiskarske boje manje viskoznosti, npr. u fleksografiji, bakrotisku i inkjet tisku, gdje se bojila otapaju u otapalu ili laku da bi se proizvela tiskarska boja. Vrsta tiskarske boje koja se proizvodi može isključiti mnoge pigmente ili bojila iz upotrebe zbog problema s topivošću ili kompatibilnošću s određenim vezivom, ili možda zbog neprihvatljivih fizičkih, kemijskih ili toksičnih svojstava. Mnoga se bojila mogu koristiti u sustavima koji koriste više tečljive tiskarske boje zbog raznih otapala koja su dostupna za upotrebu s tiskarskim bojama za duboki i fleksografski tisak. Tiskarske boje za bakrotisak i fleksografski tisak ponekad se formuliraju s bojilima kako bi se dobila jeftinija boja ili zbog nekih drugih specifičnih svojstava. Jednostavna bojila ne smiju se upotrebljavati u fleksografskim tiskarskim bojama u kombinaciji s nitroceluloznim smolama jer dovode do nepovoljne kemijske reakcije [35].

## 2.6. FLEKSOGRAFSKE TISKARSKJE BOJE

U fleksografskom tisku upotrebljavaju se *tekuće boje* ili boje niske viskoznosti koje se brzo suše zbog svoje visoke hlapljivosti ili lakoće isparavanja. Kada bi fleksografske tiskarske boje bile otpremljene i pohranjene pri viskoznosti koja je potrebna za tisak, pigmenti bi se brzo taložili te bi bilo otežano njihovo ponovno raspršivanje. Fleksografske tiskarske boje se stoga isporučuju u koncentriranom obliku i „spuštaju” do tekućeg viskoziteta netom prije tiska pomoću otapala koje je odredio proizvođač boje. Pomna kontrola viskoznosti ključna je za dobru kontrolu boje i samu ekonomičnost. Fleksografske boje isparavaju tijekom otiskivanja, mijenjajući viskoznost i postojanost. Tiskarski stroj kontrolira protok tiskarskog bojila praćenjem viskoznosti i dodavanjem otapala prema potrebi. Kontinuirano praćenje i automatsko dodavanje otapala smanjuje troškove i poboljšava kvalitetu. Fleksografske boje moraju imati nisku viskoznost kako bi se pravilno prenosile u sustavu obojenja tiskarskog stroja. Međutim, ako je viskoznost preniska, jačina boje se može pogoršati i ona neće ostati na površini forme niti će proizvesti odgovarajuću gustoću nanosa [36]. Budući da fleksografska boja ima nisku viskoznost, relativno male količine se nanose na reljefna područja tiskovne forme. Višak boje bi preplavio reljefne površine i izgubila bi se kontrola nad područjima slike na otisku. Zbog toga su nanosi boje mali, između 0,75 i 2  $\mu\text{m}$ , a pigmenti koji se upotrebljavaju moraju biti intenzivno obojeni [23]. Boje koje se obično upotrebljavaju su boje na bazi otapala, na bazi vode i UV sušće boje [2]. Boje na bazi otapala sadrže hlapljive organske spojeve (VOCs) te je njihova upotreba zabranjena ili obeshrabrena u mnogim regijama svijeta. Danas je poželjna upotreba boja na bazi vode i boje koje se suše UV zračenjem zbog povećane sigurnosti i održivosti te smanjenih troškova povezanih s kontrolom VOC-a [37].

### 2.6.1. Tiskarske boje na bazi vode

Pritisak usmjeren na upotrebu tiskarskih boja na bazi vode raste posljednjih godina s povećanjem pritiska za očuvanjem okoliša smanjivanjem upotrebe otapala. Budući da upotreba boja na bazi vode eliminira ili smanjuje upotrebu organskih otapala, njihova upotreba poboljšava radno okruženje i smanjuje troškove vezane za upotrebu otapala i izdvajanje njihovih para. Konvencionalne boje na bazi vode već dugi niz godina pronalaze primjenu u fleksografskom tisku [23]. Boje na bazi vode prvo su bile formulirane od stiren-maleinske ili kolofonijsko-maleinske smole i baze, kao što su amonijak i morfolin. Takve boje nisu imale sjaj ni dobru mehaničku otpornost. Većina fleksografskih boja na bazi vode sada se izrađuje

od otopina ili suspenzija akrilnih smola. Pružaju dobar sjaj i mehaničku otpornost, ali otopine imaju tendenciju previsoke viskoznosti, a emulzije nestabilnosti. Boje na bazi vode za neupijajuće podloge kao što su polietilen, polipropilen i poliesterski filmovi moraju se sušiti isparavanjem jer te podloge nisu porozne i ne mogu apsorbirati boju. Voda isparava vrlo sporo, što otežava sušenje boje, ali dobre sirovine i pažljiva formulacija pružaju kvalitetne boje koje se upotrebljavaju za razne primjene i moraju biti formulirane u skladu sa zahtjevima posla. S obzirom na pritisak za očuvanje okoliša, propisi preporučuju fleksografske boje na bazi vode, tako da će se nastaviti povećavati njihov udio na tržištu [36].

### 2.6.2. UV tiskarske boje

UV sušeće boje, kao novost u fleksografskom tisku, uvedene su i dobile su na važnosti od ranih devedesetih [38]. Boje koje se suše UV zračenjem suše se trenutno apsorbirajući fotone ultraljubičastog svjetla visoke energije iz odgovarajućeg izvora svjetlosti, a zatim prolaze kroz kemijsku reakciju polimerizacije, koja rezultira tvrdim, suhim filmom boje. Ne sadrže tradicionalna ulja, otapala i smole, a mehanizam sušenja je isključivo fotokemijski. Budući da nisu prisutne pare otapala koje bi onečišćavale atmosferu, te se boje smatraju ekološki prihvatljivijima. UV boje sigurno eliminiraju probleme sa sušenjem povezane s konvencionalnim bojama. Valne duljine UV zračenja kreću se između 100 nm i 380 nm. Energije povezane s njihovim višim frekvencijama dovoljne su da izazovu pobuđivanje elektrona unutar određenih vrsta organskih molekula, što rezultira stvaranjem visokoreaktivnih slobodnih radikala. Rezultirajuće fotokemijske reakcije doista su vrlo brze, što dovodi do polimerizacije i trenutačnog sušenja sloja boje. Postoje različite vrste UV izvora svjetlosti, koje imaju drukčije spektralne emisije:

UV-A: 380 nm - 315 nm,

UV-B: 315 nm - 280 nm i

UV-C: 280 nm - 100 nm.

Energija fotona raste smanjivanjem valne duljine, a primjena triju UV veza povećava raspon materijala sposobnih za fotopolimerizaciju. Fotoinicijator apsorbira UV energiju i proizvodi reaktivne radikale koji pokreću lančanu polimerizaciju prikladne nezasićene molekule kako bi se dobila trodimenzionalna polimerna struktura. Iako može postojati određena zabrinutost zbog moguće toksikologije određenih sirovina, same UV boje smatraju se ekološki prihvatljivijima jer ne sadrže hlapljive organske spojeve (VOC). Potpuno polimerizirani filmovi su inertni i netoksični [23]. Postoji pet glavnih komponenti UV boje. Kao i u konvencionalnim bojama,



postoje pigmenti i dodaci. Osim toga, postoje monomeri, koji su jednostavne lagane kemikalije slične otapalima i određuju površinske karakteristike boje, oligomeri, koji su smola koja daje bazu i vezivna svojstva boji te fotoinicijatori, koji su kemikalije koje reagiraju na zračenje i pokreću reakciju sušenja, odnosno stvrdnjavanja (tablica 1.) [39].

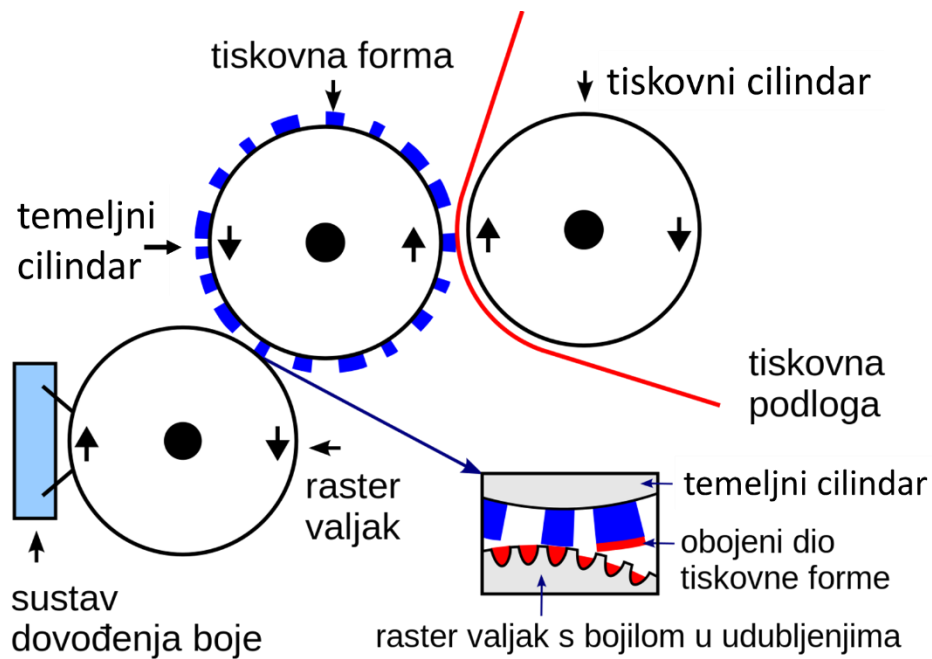
Tablica 1. Sastav konvencionalnih i UV sušećih boja [39].

Konvencionalne boje	Smole
	Pigment
	Otapalo
	Dodaci
UV boje	Oligomer
	Monomer
	Pigment
	Fotoinicijator
	Dodaci

## 2.7. FLEKSOGRAFSKI TISAK

Izvorni naziv fleksografskog tiska je bio anilinski tisak te je uveden 1930-ih godina. Naziv je nastao zbog upotrebe tiskarskih boja koje su se uglavnom proizvodile iz anilinskih materijala. Anilinske boje su otrovne te je njihova upotreba u tisku prehrambene ambalaže zabranjena. Kao nadomjestak anilinskim bojama, razvijene su i proizvedene nove tiskarske boje, ali naziv anilinski tisak zadržan je sve do 1951. godine, kada je promijenjen u fleksografski tisak. [1]. Razvoj tehnologije fotopolimernih tiskovnih formi od 1970-ih godina doveo je do procesa koji je sposoban za kvalitetnu reprodukciju te je našao vrlo veliku primjenu u industriji ambalaže. Fleksografski tisak je učinkovita, isplativa i svestrana metoda tiska [2]. Fleksografski tisak je reljefni proces prilikom kojeg se upotrebljava tiskovna forma načinjena od fleksibilne gume i polimera (slika 5.). Boja se skuplja iz bojanika pomoću temeljnog valjka i prenosi se na rastrirani valjak, koji se još zove aniloks valjak. Aniloks valjak (slika 6.), koji je izrađen od metala ili keramike, ugraviran je malim ćelijama koje skupljaju boju i prenose je na tiskovnu formu (slika 7.). Količina prenesene boje kontrolira se mijenjanjem dubine ugraviranih ćelija i pritiska između temeljnog i aniloks valjka. Rakel ima funkciju skidanja viška boje s rubova ćelija rastriranog valjka. Boja se prima na uzdignute tiskovne elemente na tiskovnoj formi i prenosi se na tiskovnu podlogu. Porozniji papiri zahtijevaju aniloks valjak koji prenosi više

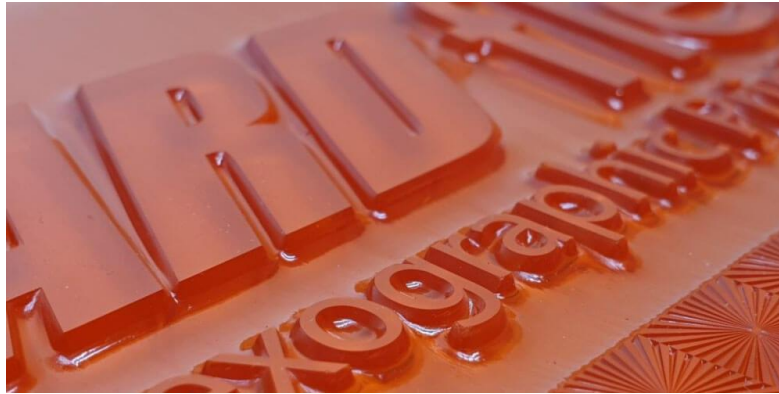
bojila i obrnuto. Dakle, za razliku od klasičnoga visokog tiska, koji zahtijeva glatke, dobro premazane papire, fleksibilna tiskovna forma sposobna je tiskati i na grubljim papirima lošije kvalitete [23], [40].



Slika 5. Princip rada fleksografskog tiska [41].



Slika 6. Rastrirani (aniloks) valjak [42].



Slika 7. Tiskovna forma za fleksografski tisak [43].

Karakteristike i prednosti fleksografskog tiska [2]:

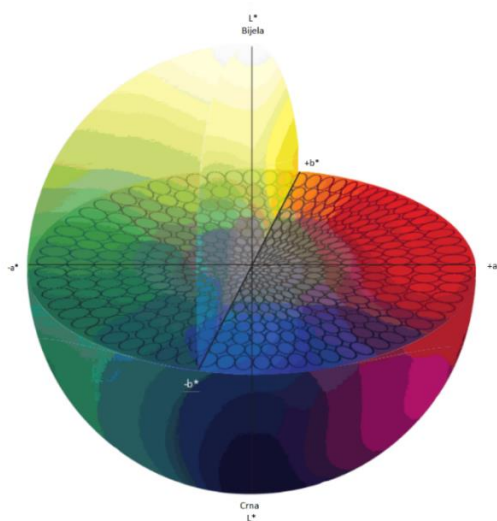
- Omogućuje otiskivanje na upijajućim i neupijajućim podlogama.
- Otiskivanje na poleđini rastezljivih, prozirnih folija.
- Otiskivanje pomoću gumene ili fotopolimerne tiskovne forme, što omogućuje otiskivanje milijunskih naklada.
- Omogućuje otiskivanje 10 ili više boja zbog više tiskovnih jedinica.
- Može postići brzinu otiskivanja od  $10,16 \text{ ms}^{-1}$  ili više.
- Upotrebljava brzosušee boje na bazi otapala, vode ili UV sušee boje.
- Sa svojim sustavom za obojenje može isporučiti unaprijed određenu količinu boje s minimalnim prilagodbama za vrijeme tiska.
- Može otiskivati fluorescentne i metalik boje.
- Može izvoditi premazivanje u linijskom tisku, kao što su laminiranje i izrezivanje u sklopu kontinuiranog rada.
- Može proizvesti kompletan proizvod, kao što su sklopivi kartoni, višeslojne vrećice, naljepnice.
- Isplativ je za mnoge primjene.
- Omogućuje visok povrat ulaganja u opremu.
- Omogućuje brzi prelazak između poslova, odnosno kratko vrijeme izmjene radnih naloga.
- Može učiniti male naklade profitabilnima.

## 2.8. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA

Klijent (kupac) ima specifične zahtjeve za svaki posao koji dovodi u tiskaru. Taj zahtjev može biti problem ili cilj. Posao može biti kritičan za kontinuirani uspjeh tvrtke ili može biti samo mali element kontinuiranog poslovanja. Svrha posla može biti informiranje, uvjeravanje, prodaja, motivacija ili zabava. Bez obzira na motivaciju posla, kupac definira što je važno i u tom kontekstu ocjenjuje tiskani proizvod. Također, svaki posao ima vremensko ograničenje i mora poštovati rok koji odredi kupac. Kvaliteta je pojam koji ima različito značenje za svaki tiskarski posao. Kvaliteta proizvoda ovisi o kontekstu, vremenu i uspješnosti uporabe proizvoda. Kontrola kvalitete je nezaobilazan korak u proizvodnji. Tiskara provodi kontrolu otisaka (reprodukcije) instrumentalno i u skladu s raznim standardima, no važna je i vizualna evaluacija koju definira kupac [39].

### 2.8.1. Spektrofotometrijske vrijednosti boje

The Commission Internationale de L'Eclairage, ili Međunarodna komisija za rasvjetu (CIE), osnovana je 1931. godine kako bi riješila problematiku specifikacije boja. Tiskarska industrija usvojila je taj sustav brojanog opisivanja boja koji se danas upotrebljava kao sustav praćenja reprodukcije boja. Mjerenje boja je skup optičkih mjerenja. Osnovno mjerenje je sama boja i predstavlja se korisniku u koordinatnom sustavu boja (slika 8.). Uobičajeni koordinatni sustav boja je CIE  $L^*a^*b^*$ , u kojemu parametri  $a^*$  ( $+a^*$  crvena,  $-a^*$  zelena) i  $b^*$  ( $+b^*$  žuta,  $-b^*$  plava) definiraju prostor boja, a  $L^*$  definira svjetlinu ( $L^+$  bijela,  $L^-$  crna) [20].



Slika 8. CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja [44].

## 2.8.2. Integralna gustoća obojenja

Integralna gustoća obojenja ( $D_i$ ) definira se kao refleksija ukupne svjetlosti koja dolazi u oko ili u denzitometar, neovisno o rasterskoj vrijednosti. Integralna gustoća obojenja izračunava se kao vrijednost logaritma opaciteta:

$$D_i = \log 0 = \frac{1}{R} \quad (1),$$

pri čemu je  $R$  – stupanj refleksije svjetlosti s otisnute podloge.

## 2.8.3. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona

Neravnomjerna pokrivenost tiskovne podloge bojom definira se kao nehomogenost bojila na tiskovnoj podlozi. Prema standardu ISO 13660 analiza neravnomjerne pokrivenosti tiskovne podloge bojom dijeli se na dvije razine. Na mikrorazinu ( $>42 \mu\text{m}$  i  $<1270 \mu\text{m}$ ), gdje se promatra varijacija koeficijenta refleksije unutar jedne promatrane pločice ( $1,27 \text{ mm} \times 1,27 \text{ mm}$ ) i opisuje se nepravilna fluktuacija gustoće boje unutar jednog polja podijeljenog na 100 jednoličnih pločica ( $1,27 \text{ mm}^2 - 1,27 \text{ mm}^2$ ), tada se govori o zrnatosti (*graininess, eng.*) i na makrorazinu ( $>1270 \text{ mm}$ ), gdje se uspoređuje 100 pločica veličine  $1,27 \text{ mm} \times 1,27 \text{ mm}$  na temelju koeficijenta refleksije te se naziva vrijednost nejednoličnosti punog tona (*mottle, eng.*). Zrnatost se izračunava prema ISO 13660 standardu. Unutar svake pločice provede se 900 mjerenja refleksije u malim kvadratnim područjima ( $42,3 \mu\text{m}^2 - 42,3 \mu\text{m}^2$ ) te se ukupna zrnatost izračunava pomoću jednadžbe:

$$graininess = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^2}{n}} \quad (2),$$

gdje  $\sigma_i$  predstavlja standardnu devijaciju od 900 mjerenja konstantne refleksije unutar pločice  $i$ ,  $n$  predstavlja ukupan broj pločica, a nejednolična reprodukcija punog tona određuje se iz standardne devijacije srednje vrijednosti koeficijenta refleksije, također prema standardu ISO 13660 [40].

#### 2.8.4. Primanje boje na boju

Jedan od glavnih parametara koji utječu na kvalitetu otiska je zadovoljavajuće prihvaćanje boje na prethodno otisnutu boju. Za dobivanje višebojnih otisaka u grafičkoj industriji primjenjuje se suptraktivna metoda miješanja boja, pri čemu se različiti tonovi otiska postižu otiskivanjem punih tonova ili polutonova jednog na drugi. Preucilova metoda je uobičajena metoda koja se temelji na denzitometrijskim mjerenjima za određivanje parametra prihvaćanja boje na boju. Vrijednosti prihvaćanja boje na boju dobivene višebojnim tiskom izračunavaju se pomoću jednadžbe:

$$AT = \frac{D_{op} - D_1}{D_2} \times 100 \% \quad (3),$$

pri čemu je  $D_{op}$  gustoća obojenja polja s dvije boje na istoj površini mjerena komplementarnim filtrom druge boje;  $D_1$  gustoća obojenja prve boje na površini punog tona;  $D_2$  gustoća obojenja druge boje na površini punog tona. Poželjno je da vrijednost prihvaćanja boje na boju bude visoka, što znači bolje prihvaćanje zadnje otisnute boje na prethodno otisnutu boju [23], [45].

#### 2.8.5. Ukupna količina boje na otisku

Jedan od načina kontrole kvalitete reprodukcije je promatranje kvalitete otisaka prema parametru ukupne količine boje na otisku (podton). Podton je boja koja se vidi na otisku kad se indirektno osvijetli sa stražnje strane. Parametar podtona mjeri se kao razlika u boji između stražnje strane otisnutog uzorka i stražnje strane neotisnutog uzorka. Vrijednost podtona prikazuje se pomoću euklidske razlike.

## 2.9. OPTIČKA STABILNOST OTISAKA

Od trenutka nastanka papir je izložen brojnim čimbenicima koji utječu na njegovo propadanje, a zapravo svaka komponenta sastava papira utječe na njegov izgled i stabilnost. Prirodno starenje papira je nepovratna promjena koja se događa sporo tijekom vremena i najbolji je pokazatelj optičke postojanosti papira. Svjetlo, toplina i vlaga najvažniji su čimbenici koji utječu na stabilnost papira. Budući da je proces prirodnog starenja nepraktičan za istraživanja zbog samog vremenskog parametra, primjenjuje se nekoliko metoda simulacije prirodnog procesa starenja. Jedna od metoda je prema standardu ASTM D 6789-02 [46], koji je

primijenjen i za testiranje u ovom radu. Analiza procesa starenja predstavlja složenu problematiku budući da se kemijska i mehanička svojstva papira i boje istodobno mijenjaju tijekom procesa starenja. Optička stabilnost papira iznimno je važna u grafičkoj industriji jer najviše pridonosi cjelokupnom izgledu i privlačnosti papira [23], [47], [48]. Od papirne ambalaže se očekuje da pakiranje bude privlačno i da informira kupce te štiti proizvode (kao što su hrana, piće, kozmetika) od kemijskog, mikrobiološkog i fizičkog propadanja. Papirna i kartonska ambalaža upotrebljava se u širokom temperaturnom rasponu, od skladištenja smrznute hrane do temperatura kipuće vode i zagrijavanja u mikrovalnim i konvencionalnim pećnicama, tako da mora imati dobru stabilnost na temperaturu. Neki primjeri upotrebe tiskanog papira za pakiranje su: suha hrana (kruh, čaj, šećer, kava, brašno, keksi, žitarice), smrznuta hrana, tekuća hrana i pića (mlijeko, vino), čokolada, brza hrana, svježi proizvodi (meso, riba, voće, povrće), osobna njega (parfemi, kozmetika) i farmaceutski proizvodi [49], [50]. Kako bi se papir mogao što dulje upotrebljavati, posebice u ambalažnoj industriji, mora između ostalih svojstava osigurati odgovarajuću kemijsku i mehaničku stabilnost otiska. Neprihvatljivo je da otisak bude izgreben, zamrljan ili da su na bilo koji način vidljiva oštećenja nakon rukovanja ili transporta. Dobra otpornost na pritisak ili otiranje postiže se kombinacijom svojstva površine papira, postupkom tiska, lakiranja te formulacijom otiska [49]. Otpornost na pritisak može se izmjeriti prema unaprijed postavljenim standardima pomoću raznih metoda ispitivanja, a jedan od njih je standard BS 3110:1959 [51], na temelju kojega je provedeno testiranje u ovom radu. Uz mehaničku otpornost, otisak (reprodukcija) mora imati i dobru kemijsku otpornost. Kemijska otpornost testira se na nekoliko načina, u ovom radu prema internacionalnom standardu ISO 2836:2004 (E), koji specificira metode određivanja otpornosti tiskanih materijala na tekuće i čvrste agense, otapala, lakove i kiseline [52].

# 3. EKSPERIMENTALNI DIO

## 3.1. METODOLOGIJA I PLAN ISTRAŽIVANJA

Kako bi se mogla utvrditi iskoristivost ekološki prihvatljivijih sirovina u fleksografskom tisku, eksperimentalni dio rada proveden je na laboratorijski izrađenim i otisnutim podlogama simulacijom fleksografske tehnike tiska. Podloge su izrađene laboratorijski, miješanjem pulpe slame tri vrste žitarica: pšenice, ječma i pšenoraži, u različitim masenim omjerima s pulpom recikliranoga komercijalnog papira. Pri izradi laboratorijskih papirnih tiskovnih podloga s pulpom slame svake vrste žitarice upotrijebljeni su sljedeći maseni omjeri: 10 % pulpe slame i 90 % pulpe recikliranog drvnog papira, 20 % pulpe slame i 80 % pulpe recikliranog drvnog papira te 30 % pulpe slame i 70 % pulpe recikliranog drvnog papira. Kao referentni uzorak pri istim laboratorijskim uvjetima načinjena je papirna tiskovna podloga od 100 % pulpe recikliranog drvnog papira. Otiskivanje laboratorijskih uzoraka papira napravljeno je pomoću laboratorijskih uređaja za simulaciju fleksografskog tiska. Otiskivanje je rađeno u punom tonu, konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, te su na svim tiskovnim podlogama s obje vrste fleksografskih boja dobiveni jednobojni (cijan, magenta, žuta, crna) i višebojni (žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta, žuta + cijan + magenta) otisci.

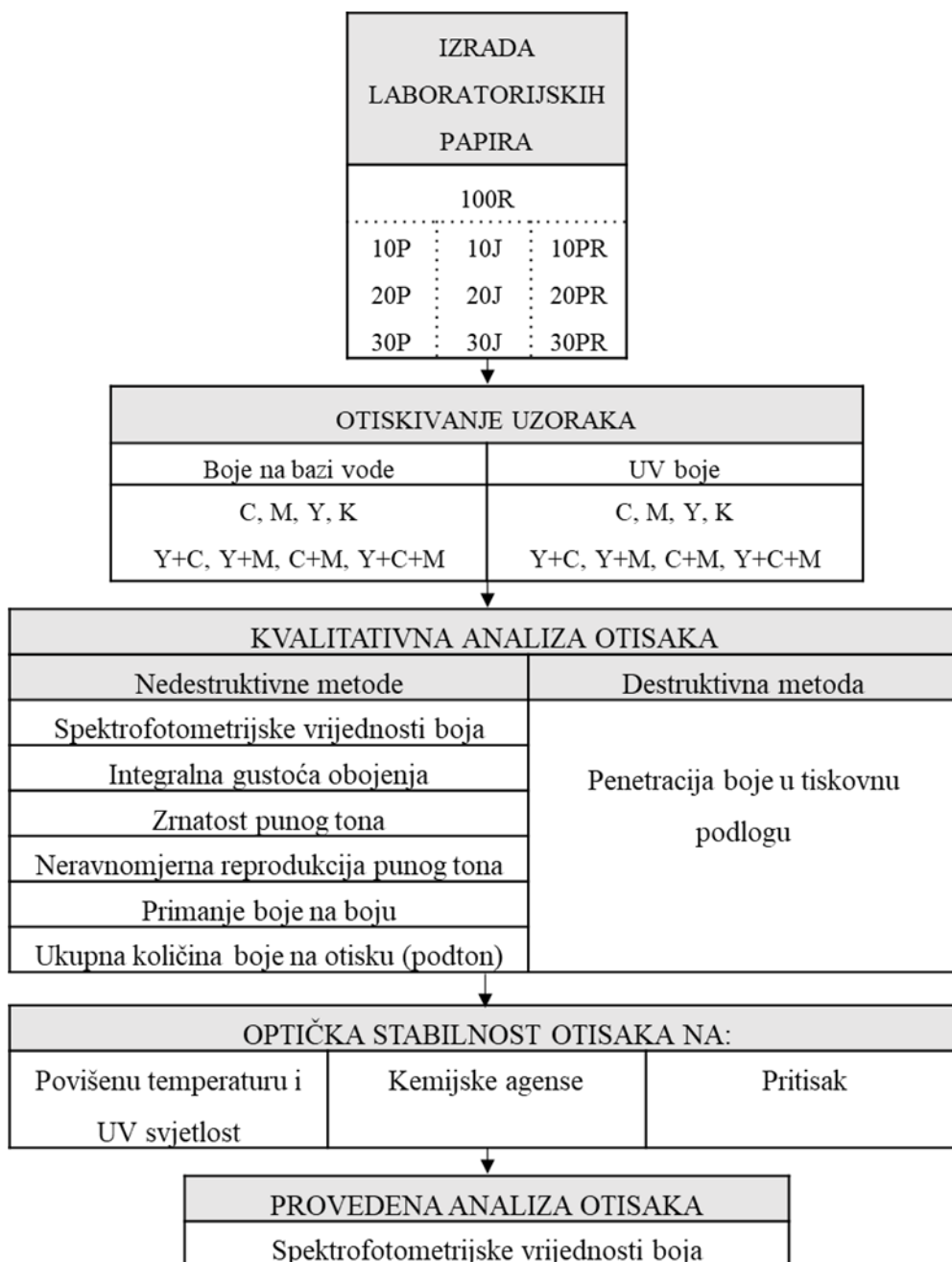
Provedena kvalitativna mjerenja za analizu kvalitete reprodukcije dobivenih otisaka su: spektrofotometrijske vrijednosti boje, zrnatost punog polja, nejednolika reprodukcija punog polja, integralna gustoća obojenja, ukupna količina boje na otisku, primanje boje na boju i penetracija boje u tiskovnu podlogu. Provedena je i evaluacija stabilnosti otisaka nakon ispitivanja djelovanja povišene temperature i UV svjetlosti, djelovanja pritiska te djelovanja različitih kemijskih agensa. Sinteza rezultata pomoću grafičkih prikaza pružit će uvid i smjernice koje su otisnute tiskovne podloge (s obzirom na masene udjele pulpe slame) najprihvatljivije za određeni grafički proizvod. Shema eksperimentalnog dijela rada prikazana je na slici 9., a u tablici 2. su prikazane oznake upotrijebljene u radu i njihovo značenje.



Tablica 2. Kratice upotrijebljene za označavanje uzoraka.

100 R	Laboratorijski papir od 100 % pulpe recikliranih drvnih vlakana (referentni uzorak)
10 P	Laboratorijski papir od 90 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10 % pulpe slame pšenice
20 P	Laboratorijski papir od 80 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20 % pulpe slame pšenice
30 P	Laboratorijski papir od 70 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 30 % pulpe slame pšenice
10 J	Laboratorijski papir od 90 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10 % pulpe slame ječma
20 J	Laboratorijski papir od 80 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20 % pulpe slame ječma
30 J	Laboratorijski papir od 70 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 30 % pulpe slame ječma
10 PR	Laboratorijski papir od 90 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10 % pulpe slame pšenoraži
20 PR	Laboratorijski papir od 80 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20 % pulpe slame pšenoraži
30 PR	Laboratorijski papir od 70 % pulpe recikliranih drvnih vlakana i 30 % pulpe slame pšenoraži
C	Cijan
M	Magenta
Y	Žuta
K	Crna
Y + M	Žuta i magenta
Y + C	Žuta i cijan
C + M	Cijan i magenta
Y + C + M	Žuta, cijan i magenta
$\Delta E_{00}^*$	Euklidska razlika u obojenju
$\Delta E_{00}^*_{max}$	Najveća vrijednost euklidske razlike u obojenju
48 h Konv.	Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode nakon starenja u periodu od 48 sati

48 h UV	Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama nakon starenja u periodu od 48 sati
96 h Konv.	Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode nakon starenja u periodu od 96 sati
96 h UV	Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama nakon starenja u periodu od 96 sati
H <sub>2</sub> O	Voda
NaOH	Natrijeva lužina
CH <sub>3</sub> COOH	Octena kiselina
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	Limunska kiselina
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Etanol
20 rpm	20 rotacija u minuti
40 rpm	40 rotacija u minuti
60 rpm	60 rotacija u minuti
Konv. boja	Konvencionalna boja na bazi vode
UV boja	UV boja (koja se suši UV zračenjem)



Slika 9. Shema eksperimentalnog dijela rada.

### 3.2. IZRADA LABORATORIJSKIH PAPIRA

Pulpa upotrijebljena za izradu laboratorijskih listova papira dobivena je od slame žitarica: pšenice (*Triticum spp.*), ječma (*Hordeum vulgare L.*) i pšenoraži (*Triticale sp.*) te je proces izrade pulpe od slame prikazan na slici 11 [8]. Uvjeti izrade pulpe prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Uvjeti izrade pulpe [8].

SLAMA	ALKALNA OBRADA	PROCESNI UVJETI KUHANJA
Pšenica	Natrijeva lužina	Temperatura: 120 °C, otopina natrijeve lužine: 16 %, vrijeme: 60 minuta, omjer slame i otopine natrijeve lužine: 1:10
Ječam		
Pšenoraž		

Neizbijeljena pulpa slame svake vrste žitarice dodana je u pulpu komercijalnog drvnog recikliranog papira čije su karakteristike prikazane u tablici 4. [14], u masenim omjerima od 10 %, 20 % i 30 % za izradu laboratorijskog papira. Na laboratorijskom uređaju Rapid Köthen (FRANK – PTI GmbH, Birkenau Germany) (slika 10.) prema standardu EN ISO 5269-2:2004 [53] izrađeni su laboratorijski listovi gramature 42,5 gm<sup>-2</sup> i dimenzija 2r = 210 mm s različitim udjelima pulpe slame (10 %, 20 % i 30 %) svih žitarica te laboratorijski listovi od 100 % reciklirane drvene pulpe koji služe kao referentni uzorci.

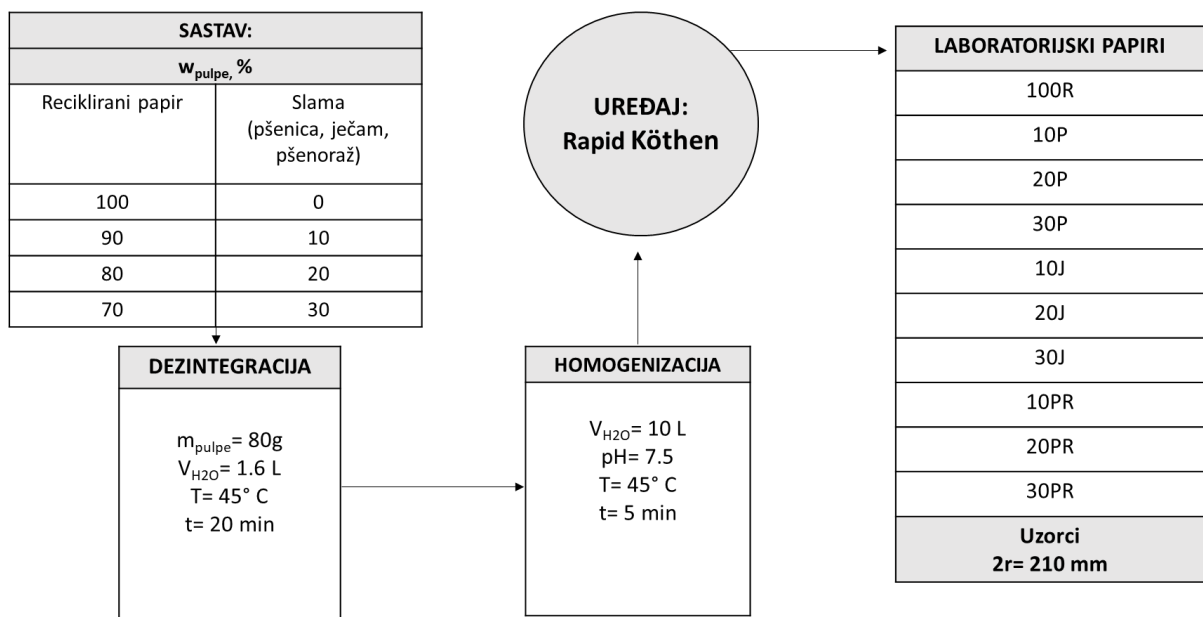
Proces proizvodnje laboratorijskih listova papira prikazan je na slici 11. Prema sastavu, načinjeno je 10 različitih vrsta laboratorijskih papira, a ukupno je izrađeno 160 listova papira.



Slika 10. Laboratorijski uređaj za izradu papira Rapid Köthen.

Tablica 4. Svojstva komercijalnog recikliranog drvnog papira (UPM) [14].

Gramatura (ISO 536), $\text{gm}^{-2}$		42,5
Svjetlina D65 (ISO 2470-2), %		58,0
Hrapavost po Bendtsenu (ISO 8791-2), $\text{mlmin}^{-1}$		100,0 - 160,0
R <sub>a</sub> (ISO 4287-1), %	Tok vlaknaca ( <i>Machine direction</i> (MD))	$2,576 \pm 0,319$
	Poprečni tok vlaknaca ( <i>Cross machine direction</i> (CD))	$3,166 \pm 0,254$
Pepeo (ISO 2144), %		$10,00 \pm 0,04$
CWSN		9A



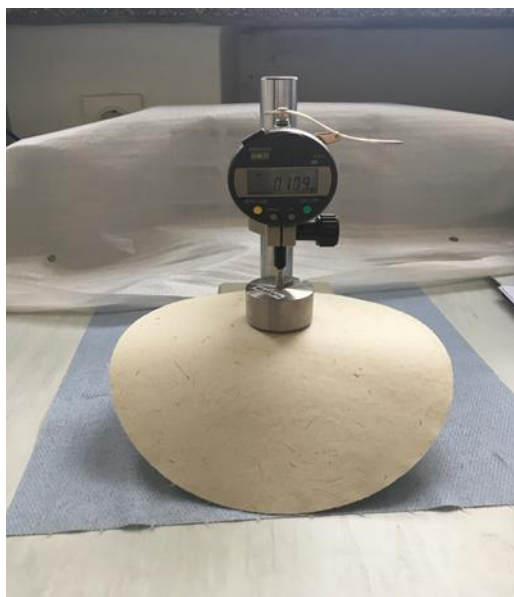
Slika 11. Izrada laboratorijskih papira.

### 3.2.1. Svojstva papira

Debljina laboratorijskih listova (uzoraka) dimenzije  $2r = 210$  mm određivana je na uređaju Enrico Toniolo S.r.l. DGTB001 (slika 12.) prema standardu ISO 534:2011 [54]. Glatkoća laboratorijskih listova određivana je na uređaju PTI Austria GmbH PTA line (slika 13.) prema Bekk metodi [55]. Mjerno područje uređaja je: 50,7 – 48,0 kPa, 50,7 – 29,3 kPa. Mjerna površina uzorka iznosi  $10 \text{ cm}^2$ , a točnost mjerenja 0,01 sek. Mjerenja su izvedena s pustene i sa sitove strane lista, a dobiveni rezultati su prikazani kao srednje vrijednosti i standardna devijacija u tablici 5 [14].

Tablica 5. Svojstva laboratorijskih papira [14].

Laboratorijski papir	Debljina (srednja vrijednost (mm); standardna devijacija)	Glatkoća (srednja vrijednost (sek); standardna devijacija)	
		Pustena strana	Sitova strana
100 R	$0,094 \pm 0,001$	$9,40 \pm 0,06$	$17,41 \pm 0,61$
10 P	$0,098 \pm 0,000$	$9,42 \pm 0,03$	$16,48 \pm 0,54$
20 P	$0,092 \pm 0,002$	$9,53 \pm 0,10$	$14,89 \pm 0,74$
30 P	$0,102 \pm 0,001$	$8,74 \pm 0,11$	$11,78 \pm 0,89$
10 J	$0,100 \pm 0,001$	$9,70 \pm 0,11$	$15,53 \pm 0,31$
20 J	$0,100 \pm 0,000$	$9,52 \pm 0,06$	$15,59 \pm 0,35$
30 J	$0,121 \pm 0,001$	$8,94 \pm 0,15$	$12,57 \pm 0,56$
10 PR	$0,093 \pm 0,001$	$9,45 \pm 0,05$	$14,49 \pm 0,30$
20 PR	$0,096 \pm 0,008$	$8,40 \pm 0,12$	$14,88 \pm 0,46$
30 PR	$0,099 \pm 0,000$	$8,00 \pm 0,13$	$13,58 \pm 0,81$



Slika 12. Uređaj za mjerenje debljine papira Enrico Toniolo S.r.l. DGTB001.



Slika 13. Uređaj za mjerenje glatkoće papira PTI Austria GmbH PTA line BEKK tester.

### 3.3. OTISKIVANJE LABORATORIJSKIH PAPIRA

Laboratorijski uzorci papira izrađenih od 100 % reciklirane drvene pulpe te uzoraka izrađenih od pulpe slame i reciklirane drvene pulpe prvotno su izrezani na dimenzije 190 mm x 50 mm pa otisnuti fleksografskim bojama na bazi vode pomoću laboratorijskog uređaja Esiproof proizvođača RK Printcoat Instruments (slika 14.). Otiskivanje je rađeno u punom tonu konvencionalnim bojama na bazi vode Iroflex 917 proizvođača Sun Chemical. Pri otiskivanju upotrijebljen je rastrirani valjak od 40  $\text{lin cm}^{-1}$ , 39,1  $\text{cm}^3\text{m}^{-2}$ . Otiskivanje je izvedeno pri temperaturi od 23 °C i relativnoj vlazi od 50 %. Drugi dio laboratorijskih papira otisnut je bojama koje se suše UV zračenjem, Solarflex Integra proizvođača Sun Chemical. Otiskivanje je provedeno na F1-*basic printability* testeru proizvođača IGT (slika 15.), nakon čega su otisci sušeni pomoću UV sušača Technigraf Aktiprint L 10-1 (UV-C cijev, sa snagom izvora svjetla od 120  $\text{Wcm}^{-1}$ , intenzitetom od 60 %) (slika 16.). Otiskivanje je rađeno u punom tonu pri brzini od 0,50  $\text{ms}^{-1}$ , s tiskovnom silom od 300 N i silom rastriranog valjka od 200 N. Pri otiskivanju je upotrijebljen rastrirani valjak linijature 90  $\text{lin cm}^{-1}$  s volumenom ćelija od 18  $\text{mlm}^{-2}$ . Otiskivanje je izvedeno pri temperaturi od 23 °C i relativnoj vlazi od 50 %. Sve tiskovne podloge otisnute su s obje vrste fleksografskih boja te su dobiveni jednobojni (cijan, magenta, žuta, crna) i višebojni (žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta, žuta + cijan + magenta) otisci. Ukupno je otisnuto 160 laboratorijskih listova papira na kojima su zatim provedena



spektrofotometrijska i denzitometrijska mjerenja te su potom otisci podvrgnuti raznim uvjetima za testiranje njihove otpornosti.



Slika 14. Esiproof uređaj RK PrintCoat Instruments Ltd [56].



Slika 15. F1-basic printability tester IGT.



Slika 16. Technigraf Aktiprint L 10-1 UV sušilica [57].

### 3.4. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA

#### 3.4.1. Spektrofotometrijske vrijednosti boja

Spektrofotometrijska mjerenja dobivenih otisaka provedena su spektrofotometrom Spectroeye, proizvođača X-rite. Spectroeye (slika 17.) je uređaj koji se upotrebljava za kvantitativno mjerenje faktora refleksije uzorka ovisno o valnoj duljini. Služi za mjerenje i kontrolu otiskivanja konvencionalnim i specijalnim bojama. Ima raspon valnih duljina od 380 nm do 730 nm, optičku razlučivost 10 nm (interno 3,3 nm), geometriju  $45^{\circ}/0^{\circ}$ : ISO 13655:2009; DIN 5033, mjernu površinu  $\varnothing 4,5$  mm, denzitometrijske standarde ISO Status A, ISO Status E, Isto Status I, ISO Status T, DIN 16536, DIN 16536 NB i SPI, standardni promatrač  $2^{\circ}/10^{\circ}$  te standardne izvore svjetla A, C, D50, D65, D75, F2, F7, F11 i F1 [58]. Za potrebe istraživanja u ovom radu primijenjen je standard ISO Status A, standardni promatrač  $2^{\circ}$  te izvor svjetla D50.



Slika 17. Uređaj X-Rite SpectroEye Spectrophotometer.

### 3.4.2. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona

Zrnatost punog tona i neravnomjerna reprodukcija punog tona izmjereni su pomoću digitalnog mikroskopa PIAS-II (slika 18.) s pripadajućim programom za analizu koji je izgrađen na temelju međunarodnih standarda za ispitivanje kvalitete otiska ISO-13660, proizvođač QEA. Ima razlučivost 3,3  $\mu\text{m}$ /piksel, detektor Color CCD (1024x786), raspon mjerenja od 0 D do 2,5 D (denzitometrija), geometriju 45°/0° te mjernu površinu 3,4 mm x 2,55 mm [58].



Slika 18. Digitalni mikroskop PIAS-II.

### 3.4.3. Podton, integralna gustoća obojenja i primanje boje na boju

Ukupna količina boje na otisku (podton), gustoća obojenja te primanje boje na boju izmjereni su uređajem eXact proizvođača X-rite (slika 19.). eXact služi za spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja širokog raspona različitih materijala, od papira do tekstila. Ima raspon valnih duljina od 400 nm do 700 nm, raspon mjerenja od 0 % do 200 % reflektancija, brzinu mjerenja 2 s, optičku razlučivost 10 nm, geometriju 45°/0°, mjernu površinu Ø1,5 mm, Ø2 mm, Ø4 mm i Ø6 mm te standard ISO 3655:2009 [58].



Slika 19. Uređaj X-Rite eXact.

Ukupna količina boje na otisku analizira se pomoću euklidske jednadžbe ( $\Delta E_{00}^*$ ) na temelju izmjerenih kolorimetrijskih CIE  $L^*a^*b^*$  vrijednosti.

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)} \quad (4),$$

pri čemu  $\Delta L^*$  označava razliku u vrijednostima svjetline,  $\Delta C^*$  razliku u vrijednostima zasićenja te  $\Delta H^*$  razliku u vrijednostima tona.  $S_L$ ,  $S_C$  i  $S_H$  su funkcije težine za svjetlinu, kromatičnost i ton, dok su  $K_L$ ,  $K_C$  i  $K_H$  faktori koji se definiraju s obzirom na uvjete promatranja, kao što su tekstura i pozadina [59]. Ocjenjivanje odstupanja boja provedeno je na temelju kriterija prikazanih u tablici 6. [60], [61].

Tablica 6. Kriteriji za toleranciju u odstupanju boja.

Tolerancija	Vrijednost euklidske razlike boja
Prosječno ljudsko oko ne vidi razliku	<1
Vrlo mala razlika	1-2
Umjerena razlika	2-3,5
Razlika	3,5-5
Velika razlika	>5

#### 3.4.4. Penetracija boje u tiskovnu podlogu

Laboratorijski papiri otisnuti s obje vrste boja prvo su rezani na dimenzije 10 mm x 30 mm na uređaju Leica RM2255 Rotary Microtome (slika 20.). Uzorci su zatim hladno zalijevani s epoksi masom EpoFix kit, proizvođača Struers, pri čemu se stvrdnjavanje odvijalo na sobnoj temperaturi u periodu od 12 sati, bez pritiska (slika 21.). Potom su uzorci s epoksi masom brušeni brusnim papirima: P320, P600, P1000, P2000 i P4000 te polirani dijamantnim pastama 3 μm i 1 μm, proizvođača Struers. Poprečni presjek uzoraka snimljen je pomoću svjetlosnog mikroskopa Olympus GX 51 (slika 22.) programom analySIS pri povećanju od 200:1 te analiziran programom ImageJ. Pomoću programa za slikovnu analizu ImageJ definirana je penetracija boje u tiskovnu podlogu. Na slici 24. je prikazana penetracija boje u laboratorijskom papiru s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice otisnutog žutom i cijanom (višebojni otisak Y + C).



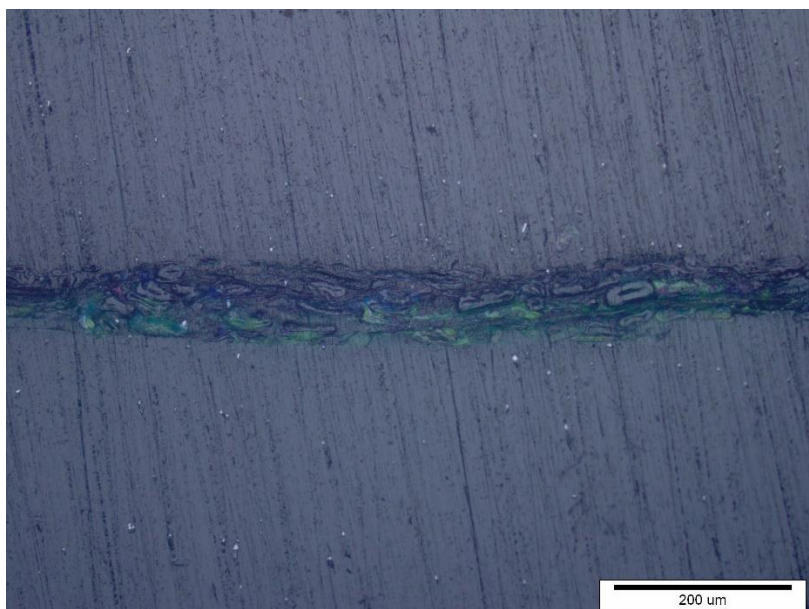
Slika 20. Rotacijski mikrotom uređaj.



Slika 21. Otisnuti uzorci u epoksi smoli.



Slika 22. Svjetlosni mikroskop Olympus GX 51 [62].



Slika 23. Mikroskopska slika penetracije boje u laboratorijskom papiru s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice (10 P) otisnutog UV bojama žutom i cijanom (Y + C).



### 3.5. OPTIČKA STABILNOST OTISAKA

#### 3.5.1. Stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost

S ciljem da se ispita otpornost otisnutih uzoraka na povišenu temperaturu i UV svjetlost, uzorci (dimenzija 20 mm x 50 mm) (slika 24.) su podvrgnuti tretmanu ubrzanog starenja od 48 i 96 sati, izvedenom prema standardu ASTM D 6789-02 [46] u uređaju SunTEST XLS + , Id.No. 196, Rotronic Hygrolog, Id.No. 180/2 pri uvjetima  $T = 24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $RV = 54,7 \%$ . Usporedbom spektrofotometrijskih vrijednosti nakon tretmana utvrđene su promjene na otiscima temeljem kolorimetrijske razlike, odnosno euklidske razlike boje. Spektrofotometrijske vrijednosti otisaka određivane su spektrofotometrom X-Rite Spectroeye pri uvjetima: standardno osvjetljenje D50, status E i kut promatranja od  $2^{\circ}$ .

Uvjeti u kojima je provedeno ubrzano starenje prikazani su u tablici 7. [16].

Tablica 7. Uvjeti u komori za ubrzano starenje.

Valna duljina (nm)	290 - 800	
Zračenje ( $\text{Wm}^{-2}$ )	$765 \pm 50$	
Oprema	SunTEST XSL + , Id.No. 196 Rotronic Hygrolog, Id.No. 180/2	
Trajanje tretmana (h)	48	96
Uvjeti	$24,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 54,7 % RV	$23,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 47,4 % RV
Filtar	Dnevna svjetlost	





Slika 24. Otisnuti uzorci svih podloga pripremljeni za tretman u komori za ubrzano starenje.

### 3.5.2. Stabilnost na pritisak

Kako bi se postigla zadovoljavajuća otpornost na pritisak, otisak se ne smije izgresti, razmazati ili na bilo koji način biti pod utjecajem rukovanja, transporta ili uporabe nakon otiskivanja. Analiza stabilnosti otisaka prema otiranju odnosno na pritisak promatrana je na temelju kolorimetrijske razlike otiska prije i nakon otiranja, a provedena je pomoću uređaja Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester (slika 25.) u skladu sa standardom BS 3110:1959 [51]. Tijekom ispitivanja cijela kontaktna površina otiska promjera 50 mm ravnomjerno se trlja na principu kružnog kretanja od 20, 40 i 60 okretaja (rotacija) po minuti na neotisnutoj podlozi promjera 115 mm pod konstantnim tlakom između diskova od 3,5 kPa koji je reguliran masom 0,23 kg na gornjem disku. Nakon određenog broja okretaja uređaj se zaustavlja te se nakon otiranja određuju spektrofotometrijske vrijednosti i utvrđuju razlike u obojenju.



Slika 25. Laboratorijski uređaj Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester.

### 3.5.3. Stabilnost na kemijske agense

Metoda ispitivanja otpornosti otisaka na kemijske agense rađena je prema standardu ISO 2836:2004 [52]. Sama procedura ovisi o upotrijebljenom kemijskom agensu. Kemijski agensi upotrijebljeni za analizu kemijske stabilnosti otisaka su: voda, natrijeva lužina, octena kiselina, limunska kiselina, etanol i sojino ulje. Svi otisnuti uzorci prethodno su izrezani na dimenzije 20 mm x 50 mm te su postavljeni na staklenu ploču između traka filter-papira prethodno namočenih u agens, pri čemu je broj filter-papira definiran vrstom upotrijebljenog agensa. Na kraju je gornja staklena ploča postavljena na vrh i fiksirana utegom od 1 kg (slika 26.). Nakon određenog vremena kontakta otisaka s agensom otisci u stavljeni na sušenje u uređaj Memmert UNB 400 u specifičnom vremenskom intervalu i temperaturi. Za procjenu stabilnosti etanola postupak je drukčiji. Uzorci su uronjeni 5 minuta u staklenu epruvetu koja je sadržavala etanol (slika 27.). Nakon toga su stavljeni na sušenje. Uzorci koji su bili u kontaktu s kiselinama i

lužinom su prije sušenja ispirani destiliranom vodom. Svi uvjeti testiranja na kemijske agense prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Uvjeti testiranja na kemijske agense.

Kemijski agens	Kontaktna površina	Uvjeti kontakta	Vrijeme kontakta	Vrijeme sušenja
Voda	Filtar-papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	24 h	30 min, 40 °C
Natrijeva lužina	Filtar-papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	10 min	30 min, 40 °C
Octena kiselina	Filtar-papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	30 min	30 min, 50 °C
Limunska kiselina	Filtar-papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	60 min	30 min, 50 °C
Etanol	-	-	5 min	10 min, 40 °C
Sojino ulje	Filtar-papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	24 h	30 min, 40 °C



Slika 26. Prikaz segmenta testiranja kemijske otpornosti otisaka na razne kemijske agense.



Slika 27. Prikaz segmenta testiranja kemijske otpornosti otisaka na etanol.

# 4. REZULTATI I RASPRAVA

## 4.1. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA

### 4.1.1. Spektrofotometrijske vrijednosti neotisnutih i otisnutih laboratorijskih papira

Spektrofotometrijske  $L^* a^* b^*$  vrijednosti neotisnutih laboratorijskih papira prikazane su u tablici 9., a spektrofotometrijske  $L^* a^* b^*$  vrijednosti laboratorijskih papira otisnutih bojama na bazi vode u tablicama 10. i 11. Uvjeti pri kojima je načinjeno 50 spektrofotometrijskih mjerenja duž istog uzorka su standardno osvjetljenje D50, te kut promatranja od  $2^\circ$ . U tablici 9. je vidljivo da su kod svih laboratorijskih papira s dodatkom pulpe slame vrijednosti vrlo slične. Jedina razlika u odnosu na referentni uzorak (100 R) je u  $b^*$  vrijednosti. Ova razlika u spektrofotometrijskim vrijednostima je očekivana budući da se u laboratorijskim papirima nalazi nebijeljena pulpa primarnih vlakanca slame žitarica.

Tablica 9. Spektrofotometrijske  $L^* a^* b^*$  vrijednosti svih neotisnutih laboratorijskih papira.

Laboratorijski papir	$L^*$ (srednja vrijednost; standardna devijacija)	$a^*$ (srednja vrijednost; standardna devijacija)	$b^*$ (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	$87,95 \pm 0,26$	$-0,11 \pm 0,09$	$7,64 \pm 0,20$
10 P	$86,47 \pm 0,20$	$0,01 \pm 0,06$	$11,88 \pm 0,22$
20 P	$85,30 \pm 0,33$	$0,32 \pm 0,12$	$14,17 \pm 0,41$
30 P	$83,85 \pm 0,62$	$0,61 \pm 0,18$	$16,81 \pm 0,97$
10 J	$86,93 \pm 0,20$	$0,10 \pm 0,16$	$11,53 \pm 0,23$
20 J	$85,65 \pm 0,42$	$0,72 \pm 0,19$	$14,34 \pm 0,34$
30 J	$84,39 \pm 0,36$	$0,90 \pm 0,18$	$14,94 \pm 0,47$
10 PR	$86,92 \pm 0,39$	$0,01 \pm 0,16$	$11,69 \pm 0,51$
20 PR	$86,57 \pm 0,19$	$-0,04 \pm 0,07$	$12,99 \pm 0,34$
30 PR	$85,77 \pm 0,74$	$0,03 \pm 0,34$	$14,04 \pm 1,04$

Tablica 10. Spektrofotometrijske L\*a\*b\* vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir		C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	L*	32,90 ± 0,52	41,63 ± 0,57	80,99 ± 0,22	24,42 ± 0,52
	a*	-1,07 ± 0,86	56,34 ± 0,46	9,45 ± 0,47	0,65 ± 0,14
	b*	-34,51 ± 0,49	18,48 ± 0,49	85,36 ± 0,40	1,63 ± 0,30
10 P	L*	36,24 ± 0,81	41,14 ± 0,42	80,48 ± 0,27	24,33 ± 0,29
	a*	-4,76 ± 1,00	50,65 ± 0,20	8,29 ± 0,27	0,85 ± 0,06
	b*	-31,20 ± 0,54	21,08 ± 0,28	84,18 ± 0,61	2,29 ± 0,17
20 P	L*	35,60 ± 0,45	41,03 ± 0,48	79,35 ± 0,25	24,82 ± 0,25
	a*	-3,62 ± 0,57	49,48 ± 0,50	9,41 ± 0,31	0,98 ± 0,04
	b*	-30,60 ± 0,88	20,69 ± 1,03	83,36 ± 0,56	2,52 ± 0,07
30 P	L*	33,20 ± 0,45	41,33 ± 0,31	81,11 ± 0,78	26,01 ± 0,67
	a*	-2,94 ± 1,12	55,06 ± 0,67	8,48 ± 0,44	0,90 ± 0,07
	b*	-33,02 ± 0,81	20,05 ± 0,34	84,99 ± 1,57	2,42 ± 0,23
10 J	L*	36,04 ± 0,69	40,96 ± 0,36	80,45 ± 0,97	24,46 ± 0,31
	a*	-3,82 ± 0,70	50,49 ± 0,60	8,74 ± 0,38	0,89 ± 0,04
	b*	-31,74 ± 1,05	20,99 ± 0,23	84,04 ± 1,76	2,38 ± 0,05
20 J	L*	36,91 ± 0,35	41,38 ± 0,29	79,62 ± 1,64	24,04 ± 0,27
	a*	-5,52 ± 1,02	50,04 ± 1,17	9,38 ± 0,47	0,83 ± 0,05
	b*	-30,95 ± 1,17	21,25 ± 0,53	83,04 ± 2,65	2,11 ± 0,18
30 J	L*	31,72 ± 0,60	41,06 ± 0,42	79,42 ± 0,64	25,98 ± 0,68
	a*	-0,77 ± 1,21	55,01 ± 0,81	10,34 ± 0,42	0,88 ± 0,06
	b*	-32,04 ± 0,95	19,88 ± 0,35	83,19 ± 1,05	2,37 ± 0,22
10 PR	L*	36,20 ± 0,32	41,71 ± 0,36	80,62 ± 0,55	24,34 ± 0,21
	a*	-3,80 ± 0,54	51,45 ± 0,51	8,79 ± 0,54	0,83 ± 0,05
	b*	-32,67 ± 0,60	20,52 ± 0,77	84,07 ± 1,25	2,15 ± 0,11
20 PR	L*	36,40 ± 0,94	41,79 ± 0,20	80,84 ± 0,54	24,64 ± 0,36
	a*	-5,79 ± 1,06	51,23 ± 0,35	9,24 ± 0,39	0,92 ± 0,03
	b*	-28,97 ± 0,77	22,11 ± 0,41	83,96 ± 0,75	2,47 ± 0,11
30 PR	L*	32,07 ± 0,78	41,00 ± 0,38	79,01 ± 0,53	25,69 ± 0,23
	a*	-2,42 ± 1,16	55,32 ± 0,48	11,06 ± 0,36	0,84 ± 0,04
	b*	-31,83 ± 0,63	20,02 ± 0,50	82,79 ± 0,76	2,27 ± 0,12

Tablica 11. Spektrofotometrijske L\*a\*b\* vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papir		Y + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	L*	41,39 ± 0,62	35,09 ± 1,25	25,20 ± 0,68	24,38 ± 0,92
	a*	58,38 ± 1,42	-21,91 ± 0,83	11,87 ± 0,45	11,37 ± 0,58
	b*	35,04 ± 0,80	10,15 ± 1,09	-5,52 ± 0,90	7,20 ± 0,23
10 P	L*	41,63 ± 0,74	34,82 ± 0,67	27,99 ± 0,49	27,28 ± 0,63
	a*	52,69 ± 1,18	-16,81 ± 0,69	8,70 ± 0,41	7,77 ± 0,25
	b*	35,24 ± 0,71	10,17 ± 1,04	-1,24 ± 0,93	11,55 ± 0,41
20 P	L*	42,62 ± 0,42	34,61 ± 0,78	27,63 ± 0,54	27,63 ± 0,38
	a*	51,78 ± 0,93	-17,31 ± 0,61	8,46 ± 0,22	8,02 ± 0,34
	b*	36,00 ± 0,50	9,69 ± 1,10	0,14 ± 0,59	11,49 ± 0,33
30 P	L*	41,69 ± 0,37	34,45 ± 0,59	25,57 ± 0,44	25,19 ± 1,14
	a*	56,24 ± 1,39	-20,75 ± 1,33	11,16 ± 0,45	10,69 ± 0,83
	b*	34,53 ± 0,66	9,49 ± 0,98	-6,13 ± 0,76	7,45 ± 0,31
10 J	L*	42,15 ± 0,39	33,60 ± 0,64	27,87 ± 0,49	28,12 ± 0,57
	a*	51,92 ± 0,95	-16,32 ± 0,70	8,64 ± 0,47	7,19 ± 0,66
	b*	35,69 ± 0,34	9,33 ± 0,81	-1,71 ± 0,60	11,35 ± 1,19
20 J	L*	41,39 ± 0,20	34,20 ± 0,71	27,58 ± 0,46	28,03 ± 0,44
	a*	50,85 ± 1,23	-16,44 ± 0,60	9,00 ± 0,28	7,27 ± 0,23
	b*	34,11 ± 0,63	9,59 ± 1,01	1,54 ± 1,60	11,74 ± 0,32
30 J	L*	42,93 ± 0,70	33,38 ± 1,17	25,99 ± 0,71	24,65 ± 0,97
	a*	53,63 ± 0,99	-18,39 ± 1,44	10,68 ± 0,42	10,56 ± 1,46
	b*	35,15 ± 0,46	7,41 ± 1,69	-6,37 ± 0,86	7,38 ± 0,20
10 PR	L*	42,10 ± 0,54	33,42 ± 0,66	27,61 ± 0,62	28,51 ± 0,55
	a*	52,87 ± 0,80	-16,42 ± 0,78	9,08 ± 0,50	6,47 ± 0,46
	b*	35,71 ± 0,55	8,51 ± 1,05	-0,22 ± 0,94	11,72 ± 1,26
20 PR	L*	42,69 ± 0,44	34,29 ± 0,53	9,08 ± 0,24	28,10 ± 0,66
	a*	51,38 ± 1,01	-16,44 ± 0,71	8,19 ± 0,19	6,67 ± 0,57
	b*	36,14 ± 0,52	9,40 ± 0,64	-1,23 ± 0,80	11,74 ± 0,18
30 PR	L*	42,58 ± 0,28	31,67 ± 0,49	25,2 ± 0,58	25,05 ± 0,80
	a*	54,04 ± 1,12	-19,29 ± 0,80	11,0 ± 0,41	10,98 ± 0,32
	b*	35,40 ± 0,46	4,57 ± 0,85	-5,4 ± 0,85	7,23 ± 0,18

U tablicama 12. i 13. prikazane su spektrofotometrijske  $L^*a^*b^*$  vrijednosti laboratorijskih papira otisnutih UV bojama. Uvjeti pri kojima su izvedena spektrofotometrijska mjerenja identični su uvjetima za otiske konvencionalnim bojama na bazi vode: standardno osvjetljenje D50, kut promatranja od 2° te 50 mjerenja po uzorku.

Tablica 12. Spektrofotometrijske  $L^*a^*b^*$  vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir		C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	L*	33,81 ± 0,58	38,5 ± 0,23	79,00 ± 0,26	27,49 ± 0,43
	a*	-4,85 ± 0,50	54,6 ± 0,33	12,85 ± 0,14	1,22 ± 0,04
	b*	-37,27 ± 0,24	21,0 ± 0,29	82,96 ± 0,39	0,92 ± 0,08
10 P	L*	34,84 ± 0,37	38,6 ± 0,20	78,82 ± 0,32	27,23 ± 0,34
	a*	-6,06 ± 0,62	52,9 ± 0,42	12,88 ± 0,19	1,20 ± 0,04
	b*	-36,66 ± 0,67	21,5 ± 0,38	82,92 ± 0,66	0,86 ± 0,06
20 P	L*	33,08 ± 0,33	38,5 ± 0,29	78,57 ± 0,45	26,83 ± 0,27
	a*	-6,35 ± 0,46	53,7 ± 0,42	13,05 ± 0,22	1,16 ± 0,04
	b*	-36,22 ± 0,58	21,6 ± 0,35	82,15 ± 0,59	0,88 ± 0,07
30 P	L*	33,55 ± 0,40	38,5 ± 0,50	77,60 ± 1,02	27,37 ± 0,33
	a*	-6,38 ± 0,51	52,6 ± 0,45	12,84 ± 0,32	1,17 ± 0,05
	b*	-33,58 ± 0,83	21,7 ± 0,45	81,07 ± 1,45	1,10 ± 0,13
10 J	L*	34,27 ± 0,32	38,7 ± 0,26	77,91 ± 0,29	27,08 ± 0,33
	a*	-5,73 ± 0,33	52,8 ± 0,40	14,14 ± 0,72	1,20 ± 0,05
	b*	-36,20 ± 0,41	21,7 ± 0,27	81,65 ± 0,70	0,86 ± 0,09
20 J	L*	32,98 ± 0,42	38,7 ± 0,40	77,08 ± 0,42	27,65 ± 0,30
	a*	-6,89 ± 0,79	52,5 ± 0,56	12,66 ± 0,15	1,22 ± 0,06
	b*	-34,07 ± 1,44	21,0 ± 0,32	79,34 ± 0,61	1,15 ± 0,19
30 J	L*	34,18 ± 0,63	38,4 ± 0,28	76,82 ± 0,98	26,99 ± 0,62
	a*	-8,17 ± 0,82	51,5 ± 0,77	13,13 ± 0,20	1,15 ± 0,08
	b*	-32,61 ± 1,06	20,9 ± 0,52	81,75 ± 1,50	1,04 ± 0,15
10 PR	L*	32,93 ± 0,29	37,9 ± 0,33	78,83 ± 0,30	26,56 ± 0,40
	a*	-5,83 ± 0,56	54,5 ± 0,50	13,22 ± 0,25	1,23 ± 0,05
	b*	-36,51 ± 0,80	20,8 ± 0,44	83,06 ± 0,68	0,93 ± 0,16
20 PR	L*	34,82 ± 0,46	38,7 ± 0,26	78,24 ± 0,33	26,91 ± 0,48
	a*	-7,99 ± 0,71	52,2 ± 0,37	13,59 ± 0,28	1,17 ± 0,04
	b*	-33,56 ± 0,59	21,9 ± 0,56	82,93 ± 0,48	1,04 ± 0,10
30 PR	L*	34,48 ± 0,63	37,8 ± 0,37	77,55 ± 0,53	27,66 ± 0,46
	a*	-8,04 ± 0,87	53,7 ± 0,48	13,90 ± 0,31	1,15 ± 0,04
	b*	-31,66 ± 0,91	21,4 ± 0,37	82,04 ± 0,77	1,23 ± 0,10



Tablica 13. Spektrofotometrijske L\* a\* b\* vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papir		Y + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	L*	40,37 ± 1,26	37,94 ± 0,66	23,69 ± 0,63	17,51 ± 1,76
	a*	54,37 ± 1,93	-27,41 ± 0,59	9,83 ± 0,22	13,64 ± 1,53
	b*	32,99 ± 1,15	17,76 ± 0,71	-4,40 ± 1,66	7,20 ± 0,72
10 P	L*	40,01 ± 0,34	37,93 ± 0,29	23,59 ± 0,49	23,77 ± 1,49
	a*	52,04 ± 1,07	-24,55 ± 0,41	9,97 ± 0,15	8,70 ± 0,71
	b*	30,34 ± 0,50	15,77 ± 0,60	-4,14 ± 0,33	6,76 ± 0,41
20 P	L*	40,37 ± 0,78	38,56 ± 0,91	24,69 ± 0,48	24,96 ± 0,80
	a*	52,97 ± 0,85	-25,73 ± 0,27	10,25 ± 0,21	8,14 ± 0,36
	b*	30,88 ± 0,62	17,56 ± 0,96	-3,79 ± 0,79	6,77 ± 0,21
30 P	L*	39,79 ± 0,43	36,15 ± 0,41	23,07 ± 0,48	22,68 ± 1,79
	a*	50,83 ± 1,10	-23,71 ± 0,59	9,69 ± 0,16	9,18 ± 0,98
	b*	29,20 ± 0,70	14,00 ± 0,57	-3,38 ± 0,24	5,92 ± 0,43
10 J	L*	40,96 ± 0,39	37,53 ± 0,17	22,84 ± 0,31	20,72 ± 1,69
	a*	51,07 ± 0,53	-24,35 ± 0,37	9,96 ± 0,16	10,48 ± 1,07
	b*	30,71 ± 0,45	15,21 ± 0,45	-3,82 ± 0,32	6,98 ± 0,41
20 J	L*	39,83 ± 0,47	37,35 ± 0,44	25,38 ± 0,64	21,19 ± 4,20
	a*	50,75 ± 0,69	-24,28 ± 0,33	9,27 ± 0,36	10,23 ± 1,97
	b*	29,28 ± 0,50	15,32 ± 0,43	-2,28 ± 0,71	6,77 ± 0,33
30 J	L*	40,53 ± 0,45	37,77 ± 0,55	24,75 ± 0,48	22,68 ± 0,91
	a*	49,57 ± 0,98	-24,67 ± 0,38	8,89 ± 0,11	9,18 ± 0,38
	b*	29,74 ± 0,71	15,96 ± 0,63	-0,22 ± 0,56	5,92 ± 0,29
10 PR	L*	38,34 ± 1,26	38,85 ± 0,54	22,08 ± 0,85	20,72 ± 1,90
	a*	57,19 ± 2,20	-25,65 ± 0,40	9,53 ± 0,28	10,48 ± 1,10
	b*	34,08 ± 2,01	17,61 ± 0,51	-2,21 ± 0,37	6,98 ± 0,26
20 PR	L*	39,56 ± 0,51	37,41 ± 0,28	24,64 ± 0,45	21,19 ± 1,79
	a*	51,27 ± 1,05	-24,21 ± 0,26	9,92 ± 0,15	10,23 ± 0,52
	b*	29,54 ± 0,77	15,15 ± 0,29	-2,50 ± 0,68	7,15 ± 0,29
30 PR	L*	39,75 ± 1,19	37,59 ± 0,18	24,67 ± 0,43	24,44 ± 1,74
	a*	52,96 ± 2,57	-24,82 ± 0,35	9,81 ± 0,12	7,99 ± 0,69
	b*	32,22 ± 2,07	15,81 ± 0,27	-1,83 ± 0,36	6,05 ± 0,20

#### 4.1.2. Integralna gustoća obojenja

Tablice 14. i 15. prikazuju vrijednosti integralne gustoće obojenja otisaka na laboratorijskim papirima otisnutim bojama na bazi vode i UV bojama. Na sve otisnute podloge nanoseni su isti ili vrlo slični nanosi boje. Raspon nanosa boje kreće se od 1,054 do 1,180 za konvencionalnu boju cijan te od 1,196 do 1,264 za UV boju cijan. Zatim od 1,094 do 1,191 za konvencionalnu magenta boju i od 1,227 do 1,271 za UV magenta boju. Kod konvencionalne žute boje

vrijednosti se kreću od 0,056 do 1,057 te od 0,950 do 1,049 za UV žutu boju. Raspon vrijednosti nanosa boje za konvencionalnu crnu boju kreće se od 1,163 do 1,242 te od 1,098 do 1,151 za UV crnu boju.

Tablica 14. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	1,158 ± 0,012	1,191 ± 0,010	1,057 ± 0,007	1,242 ± 0,008
10 P	1,083 ± 0,009	1,121 ± 0,007	1,034 ± 0,008	1,217 ± 0,004
20 P	1,054 ± 0,006	1,094 ± 0,011	0,964 ± 0,010	1,195 ± 0,007
30 P	1,167 ± 0,019	1,190 ± 0,011	0,943 ± 0,014	1,166 ± 0,014
10 J	1,068 ± 0,008	1,122 ± 0,010	1,007 ± 0,018	1,204 ± 0,006
20 J	1,066 ± 0,006	1,098 ± 0,010	0,974 ± 0,011	1,212 ± 0,007
30 J	1,155 ± 0,006	1,169 ± 0,015	0,961 ± 0,007	1,143 ± 0,008
10 PR	1,063 ± 0,006	1,126 ± 0,014	1,030 ± 0,009	1,221 ± 0,006
20 PR	1,075 ± 0,008	1,096 ± 0,009	1,029 ± 0,007	1,193 ± 0,005
30 PR	1,180 ± 0,005	1,186 ± 0,009	0,056 ± 0,009	1,163 ± 0,008

Tablica 15. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	1,222 ± 0,012	1,243 ± 0,010	1,049 ± 0,006	1,145 ± 0,011
10 P	1,200 ± 0,008	1,234 ± 0,014	1,049 ± 0,008	1,151 ± 0,008
20 P	1,262 ± 0,009	1,247 ± 0,007	0,961 ± 0,010	1,137 ± 0,005
30 P	1,220 ± 0,012	1,239 ± 0,016	0,968 ± 0,012	1,129 ± 0,014
10 J	1,210 ± 0,011	1,230 ± 0,004	0,962 ± 0,011	1,139 ± 0,009
20 J	1,253 ± 0,013	1,227 ± 0,011	0,950 ± 0,006	1,098 ± 0,006
30 J	1,223 ± 0,004	1,229 ± 0,013	0,998 ± 0,008	1,125 ± 0,012
10 PR	1,264 ± 0,011	1,271 ± 0,010	0,966 ± 0,010	1,150 ± 0,010
20 PR	1,210 ± 0,009	1,237 ± 0,010	0,981 ± 0,007	1,133 ± 0,015
30 PR	1,196 ± 0,015	1,262 ± 0,013	0,996 ± 0,026	1,103 ± 0,008

#### 4.1.3. Zrnatost punog tona

Tablice 16. i 17. prikazuju vrijednosti zrnatosti punog tona otisaka otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama. U tablicama je vidljivo kako su vrijednosti uglavnom podjednake na svim podlogama, no najniže su kod većine podloga s 10 % pulpe slame. Na podlogama otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode najveća vrijednost zrnatosti zabilježena je na podlozi s 20 % pulpe slame ječma (20 J) otisnutoj cijan bojom, dok je najniža vidljiva na podlozi s 30 % pulpe slame pšenoraži otisnutoj žutom bojom. Kod podloga otisnutih UV bojama najveća vrijednost zrnatosti izmjerena je na podlozi s 10 % pulpe slame pšenoraži otisnutoj cijan bojom, a najniža na podlozi s dodatkom 10 % pulpe slame ječma otisnutoj crnom bojom. Vrijednosti zrnatosti punog tona su uglavnom nešto veće na podlogama otisnutima UV bojama.

Tablica 16. Vrijednosti zrnatosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	0,100 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,047 ± 0,005	0,060 ± 0,000
10 P	0,080 ± 0,000	0,118 ± 0,004	0,043 ± 0,005	0,049 ± 0,003
20 P	0,090 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,048 ± 0,004
30 P	0,109 ± 0,004	0,118 ± 0,006	0,052 ± 0,004	0,057 ± 0,005
10 J	0,079 ± 0,000	0,132 ± 0,004	0,052 ± 0,004	0,050 ± 0,000
20 J	0,800 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,047 ± 0,007
30 J	0,112 ± 0,005	0,113 ± 0,005	0,053 ± 0,007	0,060 ± 0,000
10 PR	0,080 ± 0,000	0,120 ± 0,005	0,060 ± 0,000	0,050 ± 0,000
20 PR	0,114 ± 0,000	0,124 ± 0,005	0,060 ± 0,000	0,050 ± 0,000
30 PR	0,112 ± 0,006	0,115 ± 0,005	0,005 ± 0,000	0,059 ± 0,004

Tablica 17. Vrijednosti zrnatosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	0,100 ± 0,000	0,131 ± 0,013	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
10 P	0,099 ± 0,003	0,102 ± 0,004	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20 P	0,129 ± 0,022	0,111 ± 0,006	0,041 ± 0,002	0,061 ± 0,003
30 P	0,149 ± 0,042	0,105 ± 0,008	0,040 ± 0,000	0,063 ± 0,006
10 J	0,119 ± 0,015	0,100 ± 0,003	0,040 ± 0,000	0,054 ± 0,005
20 J	0,147 ± 0,012	0,105 ± 0,005	0,040 ± 0,000	0,057 ± 0,005
30 J	0,118 ± 0,016	0,102 ± 0,004	0,045 ± 0,005	0,060 ± 0,000
10 PR	0,152 ± 0,023	0,101 ± 0,002	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20 PR	0,121 ± 0,022	0,106 ± 0,012	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30 PR	0,111 ± 0,014	0,113 ± 0,009	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000

#### 4.1.4. Neravnomjerna reprodukcija punog tona

Tablice 18. i 19. prikazuju vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona otisaka na laboratorijskim papirima otisnutima bojama na bazi vode i UV bojama. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona su gotovo identične na svim laboratorijskim podlogama. Na podlogama otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode najveća vrijednost neravnomjerne reprodukcije punog tona izmjerena je na podlozi s dodatkom 20 % pulpe slame pšenoraži otisnute magentom, te najniža vrijednost na podlozi s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice i 20 % pulpe slame ječma otisnutoj žutom bojom. Kod podloga otisnutih UV bojama najviša vrijednost zabilježena je na podlozi s dodatkom 30 % pulpe slame ječma otisnutoj magentom te je najniža vrijednost vidljiva na podlozi s dodatkom 20 % pulpe slame ječma otisnutoj žutom bojom.

Tablica 18. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	0,115 ± 0,006	0,118 ± 0,004	0,061 ± 0,003	0,068 ± 0,004
10 P	0,091 ± 0,003	0,120 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20 P	0,090 ± 0,000	0,113 ± 0,000	0,056 ± 0,005	0,055 ± 0,005
30 P	0,112 ± 0,004	0,115 ± 0,005	0,062 ± 0,004	0,066 ± 0,005
10 J	0,090 ± 0,000	0,118 ± 0,000	0,059 ± 0,003	0,060 ± 0,000
20 J	0,090 ± 0,000	0,120 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30 J	0,118 ± 0,007	0,116 ± 0,005	0,062 ± 0,000	0,065 ± 0,005
10 PR	0,090 ± 0,000	0,118 ± 0,000	0,059 ± 0,003	0,060 ± 0,000
20 PR	0,101 ± 0,003	0,121 ± 0,000	0,060 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30 PR	0,119 ± 0,004	0,119 ± 0,006	0,061 ± 0,002	0,065 ± 0,005

Tablica 19. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Laboratorijski papir	C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y (srednja vrijednost; standardna devijacija)	K (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	0,110 ± 0,000	0,111 ± 0,009	0,058 ± 0,006	0,065 ± 0,005
10 P	0,104 ± 0,005	0,114 ± 0,006	0,056 ± 0,005	0,066 ± 0,005
20 P	0,127 ± 0,018	0,116 ± 0,006	0,057 ± 0,005	0,065 ± 0,005
30 P	0,170 ± 0,076	0,112 ± 0,011	0,056 ± 0,005	0,072 ± 0,007
10 J	0,125 ± 0,014	0,113 ± 0,006	0,056 ± 0,005	0,070 ± 0,002
20 J	0,133 ± 0,007	0,115 ± 0,005	0,054 ± 0,005	0,066 ± 0,005
30 J	0,126 ± 0,020	0,129 ± 0,004	0,060 ± 0,00	0,062 ± 0,004
10 PR	0,155 ± 0,035	0,110 ± 0,004	0,058 ± 0,004	0,068 ± 0,004
20 PR	0,126 ± 0,026	0,121 ± 0,018	0,055 ± 0,005	0,069 ± 0,004
30 PR	0,115 ± 0,008	0,121 ± 0,009	0,059 ± 0,004	0,070 ± 0,002

#### 4.1.5. Primanje boje na boju

Tablice 20. i 21. prikazuju vrijednosti primanja boje na boju na laboratorijskim papirima otisnutima bojama na bazi vode i UV bojama. U tablici 20. vidljivo je kako su vrijednosti primanja boje na boju malo umanjene u odnosu na referentni uzorak (100 R), osim na podlogama otisnutima žutom i cijan bojom na bazi vode (Y + C). Slično se pokazalo i na podlogama otisnutima UV bojama (tablica 21.). Vrijednosti su smanjene zbog laboratorijske proizvodnje papira, odnosno zbog izostanka završnih faza obrade površine koje se obično provode u komercijalnoj proizvodnji papira. Vrijednosti primanja boje na boju na laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode kreću se od 30,47 do 100,69 te od 35,95 do 94,99 na papirima otisnutima UV bojama. Promatranjem rezultata može se zaključiti kako višebojne podloge otisnute žutom i cijan bojom (Y + C), konvencionalne na bazi vode i UV, imaju najbolje, odnosno najviše vrijednosti primanja boje na boju. Višebojne podloge otisnute konvencionalnim bojama na bazi vode cijanom i magentom (C + M) imaju najniže vrijednosti primanja boje na boju, što se može povezati s njihovim spektrofotometrijskim vrijednostima (tablica 11.), gdje je vidljivo da ti otisci imaju najveće promjene, odnosno velike oscilacije u b\* koordinati. Višebojne podloge otisnute UV bojama cijanom i magentom također imaju najniže vrijednosti primanja boje na boju.

Tablica 20. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papir	Y + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	95,65 ± 2,23	99,39 ± 2,82	37,99 ± 1,48	49,81 ± 3,89
10 P	89,01 ± 2,46	100,43 ± 2,01	30,47 ± 3,07	34,44 ± 2,41
20 P	89,60 ± 2,21	100,66 ± 1,03	34,25 ± 1,47	37,78 ± 1,32
30 P	91,17 ± 3,93	100,73 ± 2,54	34,19 ± 1,45	42,79 ± 3,05
10 J	86,87 ± 1,39	99,92 ± 1,22	35,74 ± 1,08	34,31 ± 2,48
20 J	89,05 ± 3,38	100,12 ± 1,36	35,58 ± 1,32	35,60 ± 1,80
30 J	84,06 ± 1,72	100,51 ± 0,84	31,72 ± 2,05	42,91 ± 3,67
10 PR	87,76 ± 3,09	100,64 ± 1,08	36,47 ± 1,58	35,22 ± 2,37
20 PR	85,95 ± 1,53	100,69 ± 1,35	33,44 ± 1,58	35,40 ± 1,27
30 PR	82,80 ± 3,44	99,41 ± 0,95	31,39 ± 2,30	38,69 ± 4,14

Tablica 21. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papir	Y + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C (srednja vrijednost; standardna devijacija)	C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)	Y + C + M (srednja vrijednost; standardna devijacija)
100 R	82,96 ± 4,41	90,76 ± 2,40	40,73 ± 2,32	94,99 ± 18,69
10 P	80,53 ± 2,35	88,85 ± 0,82	44,47 ± 3,05	68,12 ± 26,77
20 P	81,13 ± 3,38	85,40 ± 1,27	36,33 ± 2,43	52,41 ± 17,17
30 P	77,87 ± 1,92	93,26 ± 1,83	39,25 ± 1,95	73,24 ± 28,40
10 J	77,75 ± 1,83	88,72 ± 1,28	43,31 ± 2,97	85,27 ± 26,18
20 J	76,42 ± 2,29	84,43 ± 1,30	36,35 ± 1,15	72,48 ± 21,87
30 J	73,68 ± 1,72	85,98 ± 1,75	35,95 ± 1,62	51,74 ± 16,87
10 PR	93,07 ± 3,66	84,06 ± 1,06	39,51 ± 3,11	53,77 ± 16,79
20 PR	78,06 ± 2,55	88,48 ± 1,37	37,12 ± 1,16	56,67 ± 16,91
30 PR	79,40 ± 3,56	90,36 ± 1,86	35,82 ± 1,98	51,41 ± 16,89

#### 4.1.6. Ukupna količina boje na otisku

Tablice 22. – 25. prikazuju vrijednosti ukupne količine boje (podtona) na laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama. Vrijednosti euklidske razlike kreću se od 3,46 do 11,53 na laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode te od 7,56 do 50,86 na laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama. Promatranjem parametara podtona na uzorcima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode (tablice 22. – 23.), uzorci s dodatkom 10 % pulpe slame žitarica imaju najmanje vrijednosti u odnosu na referentni uzorak (100 R) i ostale laboratorijske papire. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama (tablica 24. – 25.) pokazuju povećane vrijednosti kolorimetrijske razlike podtona, koje su izražene kod višebojnog tiska s dvije ili tri boje. Također, iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako su kolorimetrijske razlike podtona veće s većim postotkom pulpe slame u papirima.

Tablica 22. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Kolorimetrijske razlike podtona ( $\Delta E_{00}^*$ [srednja vrijednost; standardna devijacija])				
Laboratorijski papir	C	M	Y	K
100 R	7,13 ± 0,66	8,66 ± 0,76	7,32 ± 0,65	6,83 ± 0,59
10 P	6,39 ± 0,47	5,48 ± 0,50	4,41 ± 0,73	5,68 ± 0,25
20 P	7,32 ± 0,80	7,33 ± 0,83	4,56 ± 0,52	7,75 ± 0,65
30 P	9,21 ± 1,28	9,63 ± 0,75	5,22 ± 0,40	9,95 ± 1,00
10 J	6,77 ± 0,63	5,18 ± 0,49	3,46 ± 0,58	6,26 ± 0,48
20 J	9,59 ± 1,29	9,56 ± 2,06	5,48 ± 0,85	8,52 ± 0,46
30 J	9,12 ± 1,28	10,24 ± 0,96	6,04 ± 0,52	8,13 ± 1,02
10 PR	6,76 ± 0,52	6,25 ± 0,76	4,57 ± 0,80	6,39 ± 0,39
20 PR	7,75 ± 0,89	7,90 ± 1,12	3,73 ± 0,57	7,39 ± 0,64
30 PR	8,03 ± 1,13	8,62 ± 0,78	7,85 ± 0,75	7,78 ± 0,87

Tablica 23. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Kolorimetrijske razlike podtona ( $\Delta E_{00}^*$ [srednja vrijednost; standardna devijacija])				
Laboratorijski papir	Y + M	Y + C	C + M	Y + C + M
100 R	7,96 ± 0,59	6,23 ± 0,60	7,87 ± 0,67	6,27 ± 0,77
10 P	5,11 ± 0,64	5,74 ± 0,37	5,85 ± 0,47	5,68 ± 0,55
20 P	4,60 ± 0,57	7,46 ± 0,51	7,05 ± 0,60	6,60 ± 0,46
30 P	9,61 ± 1,13	9,74 ± 0,92	8,74 ± 0,47	7,84 ± 0,72
10 J	5,96 ± 0,80	6,58 ± 0,61	6,72 ± 0,44	6,78 ± 0,43
20 J	8,03 ± 1,06	6,68 ± 0,71	6,27 ± 0,74	5,40 ± 0,14
30 J	9,12 ± 1,59	9,21 ± 1,72	9,15 ± 1,21	8,72 ± 0,93
10 PR	5,40 ± 0,47	6,21 ± 0,41	6,39 ± 0,88	5,82 ± 0,84
20 PR	6,42 ± 0,71	6,27 ± 0,54	6,45 ± 0,57	7,00 ± 0,59
30 PR	11,53 ± 1,20	8,91 ± 0,90	9,88 ± 1,22	8,91 ± 1,36



Tablica 24. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.

Kolorimetrijske razlike podtona ( $\Delta E_{00}^*$ [srednja vrijednost; standardna devijacija])				
Laboratorijski papir	C	M	Y	K
100 R	20,19 ± 3,80	16,53 ± 0,48	10,84 ± 0,97	19,89 ± 2,64
10 P	25,14 ± 4,14	10,64 ± 1,76	8,51 ± 1,14	20,08 ± 3,52
20 P	25,78 ± 2,31	14,52 ± 2,19	8,83 ± 1,25	31,48 ± 2,69
30 P	22,48 ± 3,91	13,82 ± 1,21	7,56 ± 1,20	16,22 ± 1,73
10 J	26,18 ± 2,68	15,94 ± 1,07	12,03 ± 0,63	29,28 ± 4,03
20 J	21,38 ± 3,23	13,24 ± 1,45	9,06 ± 0,65	23,04 ± 2,39
30 J	24,16 ± 3,57	12,76 ± 1,08	7,99 ± 0,85	19,34 ± 3,15
10 PR	24,92 ± 2,40	14,03 ± 1,86	11,31 ± 0,52	24,09 ± 2,86
20 PR	27,90 ± 3,67	16,24 ± 2,03	11,14 ± 0,64	30,36 ± 5,32
30 PR	26,67 ± 6,93	15,26 ± 1,88	11,92 ± 1,23	19,45 ± 2,26

Tablica 25. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Kolorimetrijske razlike podtona ( $\Delta E_{00}^*$ [srednja vrijednost; standardna devijacija])				
Laboratorijski papir	Y + M	Y + C	M + C	Y + C + M
100 R	24,13 ± 3,25	37,19 ± 3,29	39,15 ± 2,49	45,04 ± 2,09
10 P	13,51 ± 2,90	47,84 ± 0,95	46,57 ± 3,78	41,04 ± 2,54
20 P	20,89 ± 2,16	46,85 ± 2,36	44,23 ± 5,06	49,15 ± 2,77
30 P	22,72 ± 1,43	50,62 ± 1,92	44,82 ± 2,14	48,28 ± 3,64
10 J	22,32 ± 1,67	44,71 ± 3,21	38,10 ± 2,38	44,42 ± 2,38
20 J	19,55 ± 1,82	42,98 ± 3,46	38,04 ± 1,64	45,95 ± 2,17
30 J	31,64 ± 4,22	47,46 ± 1,62	48,47 ± 1,68	48,89 ± 1,67
10 PR	18,09 ± 1,92	45,71 ± 1,47	35,42 ± 2,30	46,76 ± 1,83
20 PR	25,38 ± 2,02	47,77 ± 1,93	48,54 ± 2,94	49,43 ± 1,43
30 PR	26,00 ± 3,20	50,86 ± 0,98	47,27 ± 2,60	49,54 ± 1,70

#### 4.1.7. Penetracija boje u tiskovnu podlogu

Tablice 26. – 29. prikazuju vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnuta bojama na bazi vode i UV bojama. Analizu penetracije boje na uzorcima otisnutima crnom konvencionalnom i UV bojom nije bilo moguće izmjeriti na svjetlosnom mikroskopu zbog refleksije svjetlosti koja ometa definiranje, odnosno razlikovanje boje od tiskovne podloge. Penetracija boje u tiskovnu podlogu (tablice 26. – 27.) kreće se u rasponu od 41  $\mu\text{m}$  do 82  $\mu\text{m}$  u laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode te od 46,20  $\mu\text{m}$  do 81,26  $\mu\text{m}$  (tablice 28. – 29.) u laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama, pri čemu nije vidljiva veća razlika između laboratorijskih uzoraka i referentnog uzorka (100 R). Kako je debljina svih analiziranih papira u rasponu od 92  $\mu\text{m}$  do 120  $\mu\text{m}$  (tablica 5.), uočava se da kod nijednog uzorka nije došlo do potpune penetracije boje. Kod nekih uzoraka vrijednosti penetracije su jako velike, što izravno utječe na povećanje vrijednosti podtona.

Tablica 26. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnuta konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom i žutom.

Laboratorijski papiri	Penetracija boje (srednja vrijednost ( $\mu\text{m}$ ); standardna devijacija)		
	C	M	Y
100 R	53,85 $\pm$ 12,11	44,27 $\pm$ 7,87	53,22 $\pm$ 13,91
10 P	44,61 $\pm$ 12,36	50,40 $\pm$ 10,55	64,67 $\pm$ 21,13
20 P	45,30 $\pm$ 12,75	50,84 $\pm$ 15,56	52,82 $\pm$ 11,37
30 P	47,83 $\pm$ 15,71	49,71 $\pm$ 7,24	72,68 $\pm$ 8,74
10 J	56,03 $\pm$ 11,35	52,59 $\pm$ 15,21	57,31 $\pm$ 11,72
20 J	55,48 $\pm$ 9,46	56,28 $\pm$ 12,20	55,33 $\pm$ 14,28
30 J	54,41 $\pm$ 10,04	55,73 $\pm$ 11,48	55,49 $\pm$ 4,90
10 PR	57,52 $\pm$ 13,61	58,05 $\pm$ 8,39	57,20 $\pm$ 12,64
20 PR	53,28 $\pm$ 14,24	52,30 $\pm$ 19,35	54,10 $\pm$ 15,17
30 PR	43,53 $\pm$ 12,38	49,15 $\pm$ 6,60	77,53 $\pm$ 11,47

Tablica 27. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnuta konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papiri	Penetracija boje (srednja vrijednost (μm); standardna devijacija)			
	Y + M	Y + C	C + M	Y + C + M
100 R	56,41 ± 9,91	66,33 ± 7,35	48,21 ± 11,92	61,63 ± 8,31
10 P	50,56 ± 10,39	51,43 ± 8,64	41,40 ± 12,06	55,74 ± 5,06
20 P	54,39 ± 9,48	68,98 ± 13,88	55,80 ± 11,43	73,78 ± 19,45
30 P	58,50 ± 10,06	52,91 ± 10,56	68,09 ± 19,86	69,75 ± 13,77
10 J	54,98 ± 3,59	55,55 ± 15,00	54,98 ± 13,71	54,34 ± 11,56
20 J	58,50 ± 9,65	58,57 ± 6,50	67,42 ± 13,90	63,69 ± 5,39
30 J	77,45 ± 12,81	68,85 ± 9,59	78,14 ± 16,65	82,22 ± 6,45
10 PR	52,84 ± 7,92	59,58 ± 12,33	56,17 ± 18,24	65,80 ± 7,56
20 PR	66,64 ± 9,97	57,55 ± 16,84	61,88 ± 6,42	77,74 ± 16,80
30 PR	64,77 ± 11,16	75,40 ± 14,16	60,41 ± 14,32	63,76 ± 7,25

Tablica 28. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih UV bojama: cijanom, magentom i žutom.

Laboratorijski papiri	Penetracija boje (srednja vrijednost (μm); standardna devijacija)		
	C	M	Y
100 R	70,16 ± 9,50	74,33 ± 15,92	69,93 ± 17,67
10 P	71,53 ± 12,22	61,74 ± 19,79	69,48 ± 18,16
20 P	58,96 ± 6,50	51,17 ± 9,06	49,68 ± 10,91
30 P	61,22 ± 10,28	58,39 ± 9,01	60,74 ± 6,25
10 J	76,97 ± 14,21	50,29 ± 9,80	56,12 ± 7,81
20 J	67,73 ± 9,92	55,51 ± 8,65	66,62 ± 12,42
30 J	73,08 ± 18,47	54,36 ± 8,81	60,86 ± 11,15
10 PR	46,20 ± 14,60	56,59 ± 10,16	73,28 ± 10,62
20 PR	73,72 ± 19,72	55,37 ± 14,88	66,16 ± 12,56
30 PR	64,76 ± 15,93	58,62 ± 18,98	64,16 ± 11,27

Tablica 29. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnuta UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.

Laboratorijski papiri	Penetracija boje (srednja vrijednost (μm); standardna devijacija)			
	Y + M	Y + C	C + M	Y + C + M
100 R	59,01 ± 16,13	70,17 ± 8,20	71,18 ± 7,27	60,19 ± 9,11
10 P	60,71 ± 9,21	69,13 ± 14,44	78,64 ± 16,63	52,89 ± 14,97
20 P	73,52 ± 5,45	65,95 ± 9,43	73,45 ± 14,43	69,92 ± 16,82
30 P	68,14 ± 13,38	59,09 ± 9,17	68,46 ± 18,37	76,76 ± 18,68
10 J	55,65 ± 4,28	56,41 ± 9,25	74,69 ± 5,54	51,57 ± 18,53
20 J	60,09 ± 7,97	63,60 ± 7,74	69,17 ± 12,75	50,76 ± 10,97
30 J	72,30 ± 5,35	68,57 ± 8,24	79,91 ± 10,92	61,69 ± 8,93
10 PR	66,93 ± 9,04	70,16 ± 11,45	66,79 ± 9,02	67,10 ± 6,61
20 PR	71,27 ± 14,33	69,74 ± 5,99	81,26 ± 14,39	71,70 ± 12,51
30 PR	69,00 ± 13,16	71,67 ± 18,42	79,94 ± 11,15	59,74 ± 11,04

## 4.2. OPTIČKA STABILNOST REPRODUKCIJE

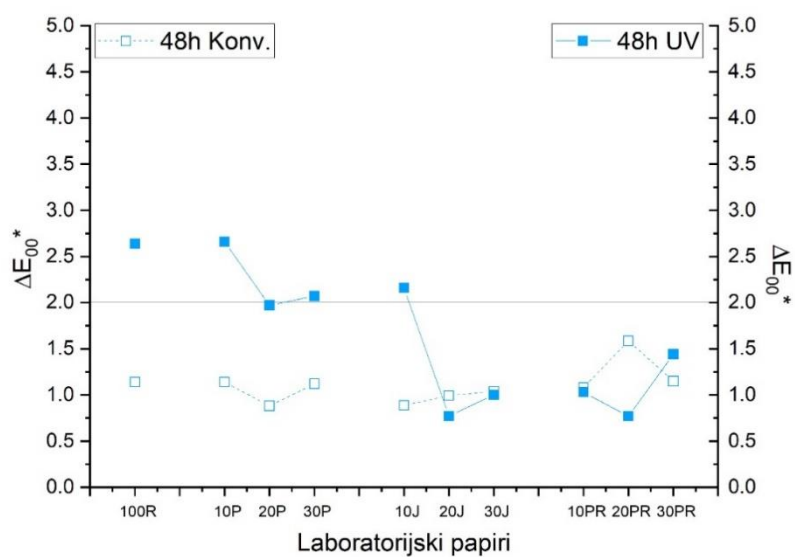
### 4.2.1. Stabilnost otisaka na povišenu temperaturu i UV svjetlost

Slike 28. – 35. prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijana, magente, žute i crne te višebojnim otiscima žute i magente, žute i cijana, cijana i magente te žute, cijana i magente otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim papirima nakon tretmana ubrzanog starenja, odnosno nakon podvrgavanja uzoraka povišenoj temperaturi i UV svjetlu u periodu od 48 sati.

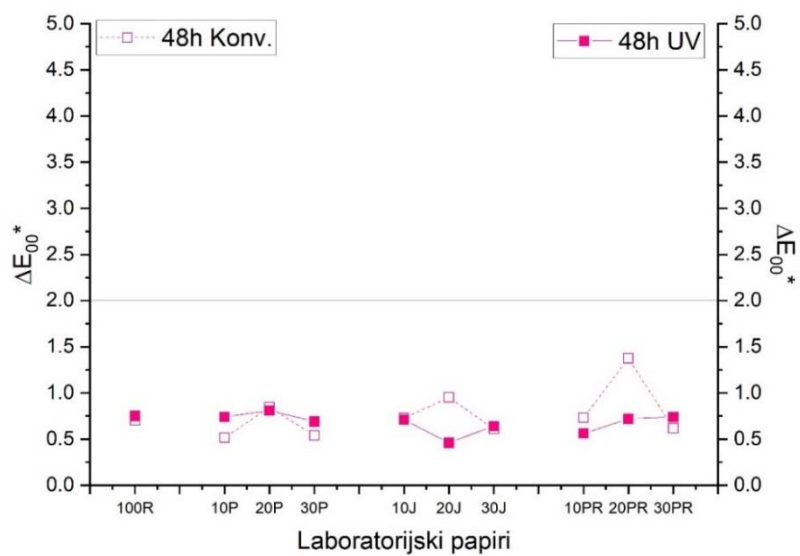
Na slikama 28. – 35. kolorimetrijske razlike u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) prikazane su simbolima ispunjenim bijelim za podloge otisnute konvencionalnim bojama na bazi vode, dok su podloge otisnute UV bojama prikazane istim simbolima, ali ispunjenima bojom.

Na slikama 28. – 31 rezultati pokazuju kako laboratorijski papiri otisnuti magenta konvencionalnom i UV bojom (slika 29.) te žutom konvencionalnom i UV bojom (slika 30.) imaju visoku stabilnost na temperaturu i UV zračenje nakon 48 sati. Sve vrijednosti euklidske razlike u obojenju su unutar preporučene referentne vrijednosti ( $\Delta E_{00}^* \leq 2$ ). Laboratorijski papiri 100 R, 10 P, 20 P i 30 P te 10 J otisnuti UV bojom cijan (slika 28.) pokazuju povišene vrijednosti euklidske razlike u obojenju koje se nalaze iznad preporučene referentne vrijednosti ( $\Delta E_{00}^*_{10 P \max} = 2,66$ ). Svi laboratorijski papiri otisnuti crnom UV bojom (slika 31.) imaju visoke vrijednosti kolorimetrijskih razlika, sve iznad referentne vrijednosti.

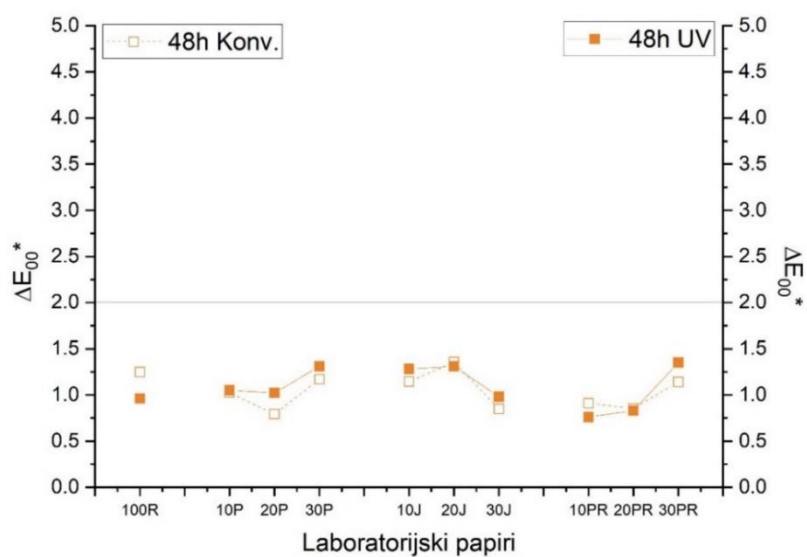
Na slikama 32. – 35. je vidljivo kako svi laboratorijski papiri otisnuti žutom i magentom (slika 32.) te žutom i cijanom (slika 33.) imaju niske vrijednosti euklidske razlike, što znači da imaju visoku stabilnost na temperaturu i UV zračenje. Svi laboratorijski papiri, osim 100 R i laboratorijskih papira s 10 % pulpe slame svih žitarica, otisnuti UV bojama cijan i magenta (slika 34.) i UV bojama: žutom, cijanom i magentom (slika 35.) imaju visoke vrijednosti kolorimetrijske razlike, sve iznad referentne linije ( $\Delta E_{00}^*_{30 PR \max} = 3,74$ ), dok su laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode stabilni.



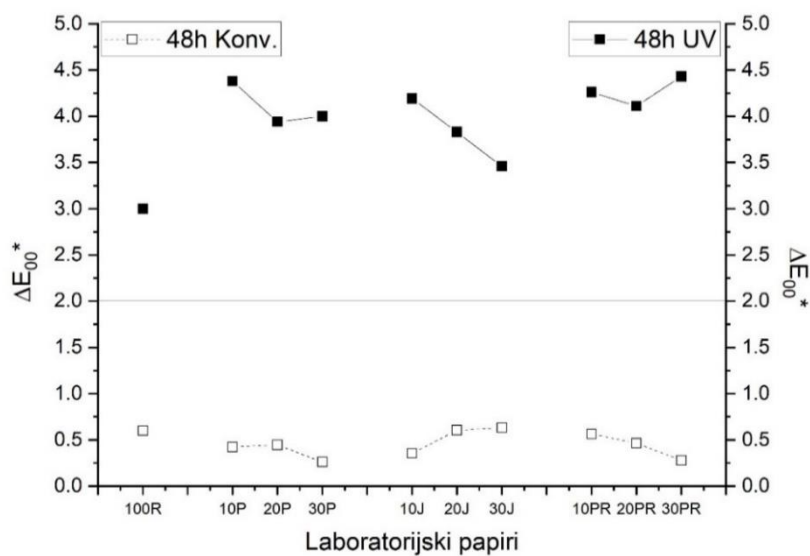
Slika 28. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



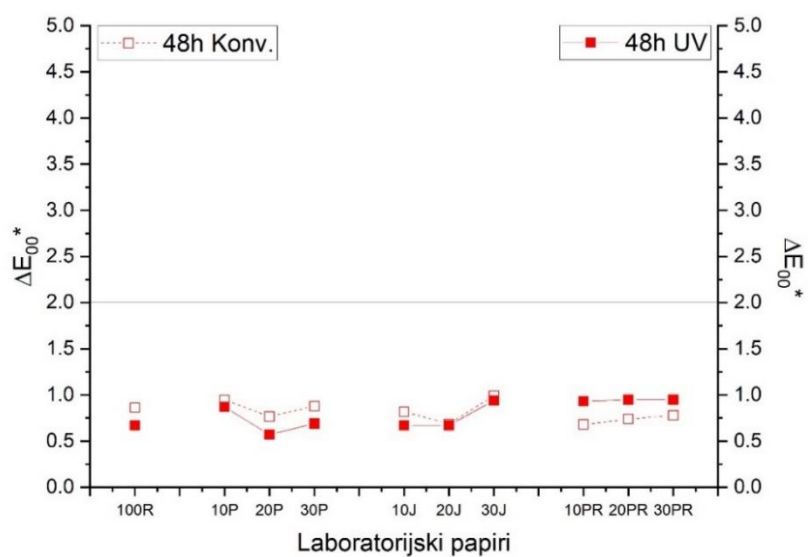
Slika 29. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



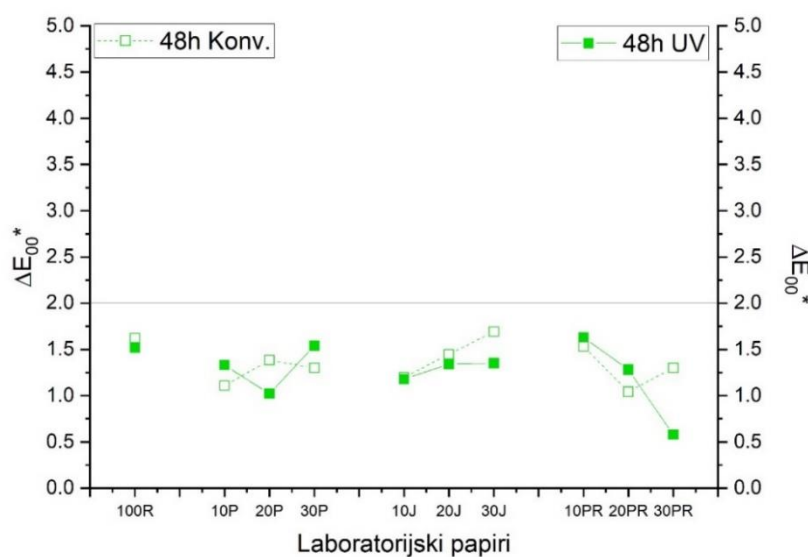
Slika 30. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



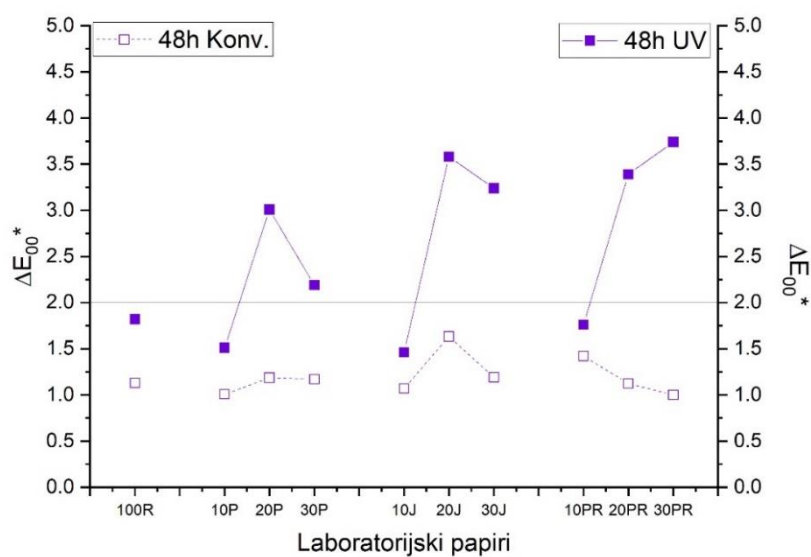
Slika 31. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



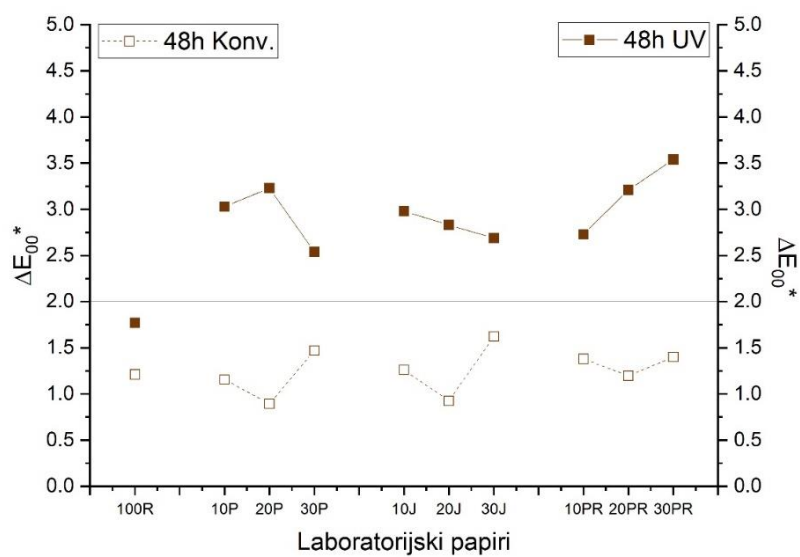
Slika 32. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



Slika 33. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



Slika 34. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



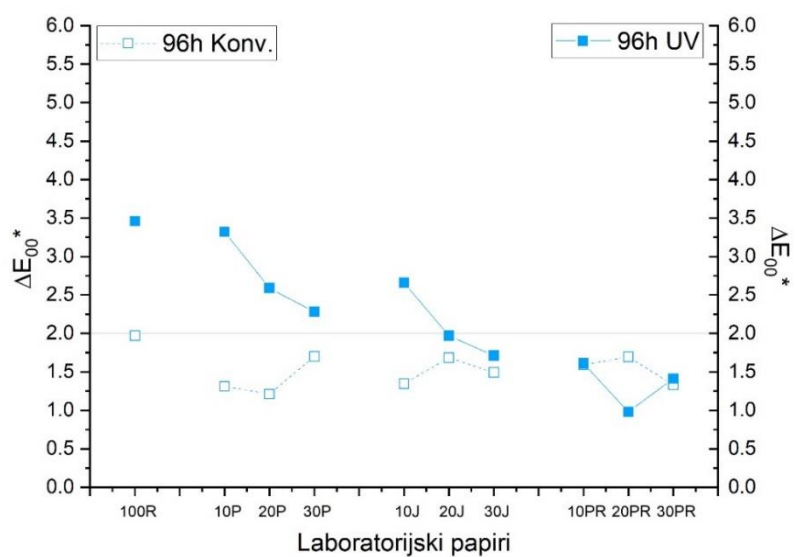
Slika 35. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.



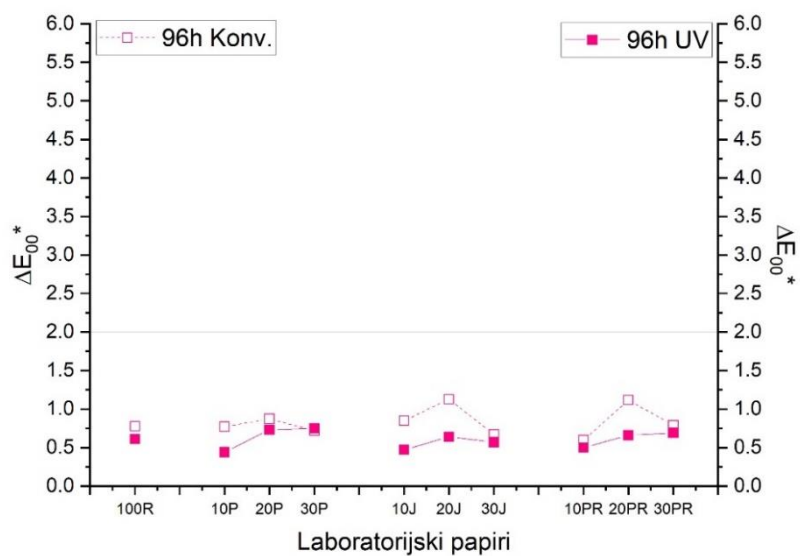
Slike 36. – 43. prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijana, magente, žute i crne te višebojnim otiscima žute i magente, žute i cijana, cijana i magente te žute, cijana i magente otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim papirima nakon tretmana ubrzanog starenja, odnosno nakon podvrgavanja uzoraka povišenoj temperaturi i UV svjetlu u periodu od 96 sati.

Kao i nakon tretiranja otisnutih laboratorijskih papira nakon 48 sati, otisci tretirani 96 sati u komori pri povišenoj temperaturi i UV svjetlu pokazuju slične rezultate. Vidljivo je kako su i ovdje laboratorijski papiri otisnuti magentom (slika 37.) i žutom (slika 38.) konvencionalnom i UV bojom najstabilniji. Laboratorijski papiri 100 R, 10 P, 20 P, 30 P i 10 J otisnuti cijan UV bojom (slika 36.) pokazuju nestabilnost, a najveća je uočena za laboratorijski papir od 100 % pulpe recikliranih drvnih vlakana ( $\Delta E_{00}^*_{100 R \max} = 3,46$ ). Svi laboratorijski papiri otisnuti UV crnom bojom (slika 39.) pokazuju vrijednosti euklidske razlike iznad preporučene vrijednosti, što ukazuje na njihovu nestabilnost ( $\Delta E_{00}^*_{10 P,10 PR \max} = 4,30$ ), dok su laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode stabilni.

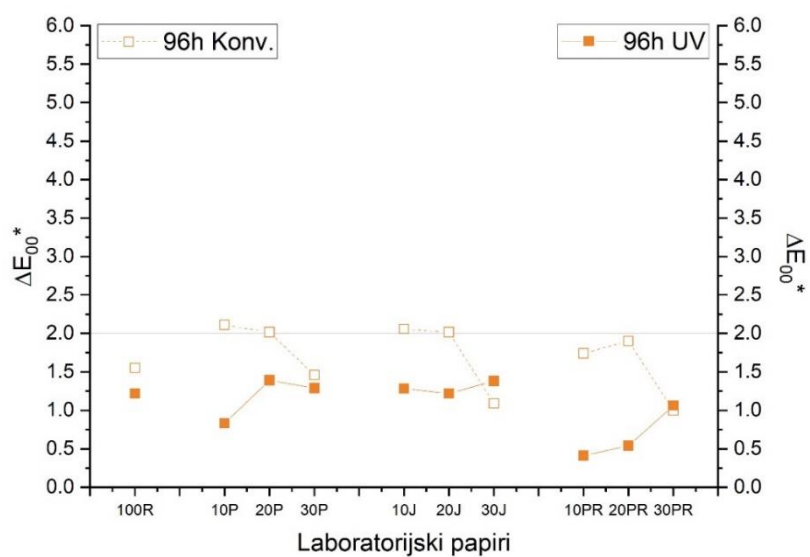
Laboratorijski papiri otisnuti žutom i magenta bojama (slika 40.) pokazuju dobru otpornost na povišenu temperaturu i UV svjetlost nakon izloženosti u periodu od 96 sati. Laboratorijski papiri otisnuti žutom i cijan bojom (slika 41.) većinom pokazuju nestabilnost, neovisno o tome radi li se o konvencionalnim ili UV bojama ( $\Delta E_{00}^*_{30 J \max} = 3,60$ ). Laboratorijski papiri otisnuti UV cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{30 PR \max} = 4,56$ ) (slika 42.) te žutom, cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{30 PR \max} = 5,51$ ) (slika 43.) imaju visoke vrijednosti euklidske razlike u obojenju, sve iznad preporučene vrijednosti.



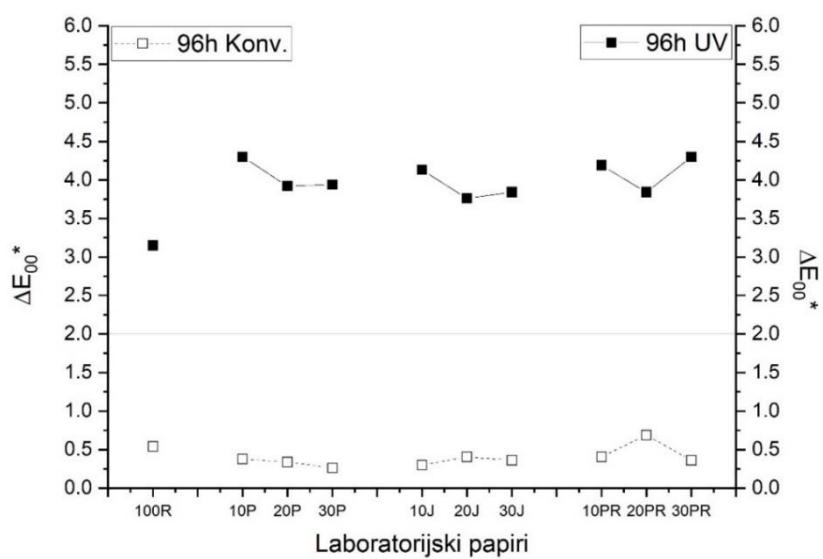
Slika 36. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



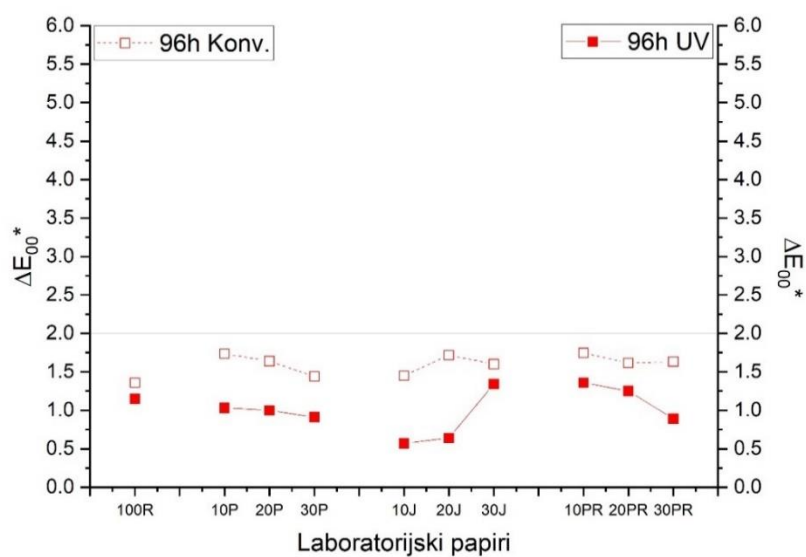
Slika 37. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



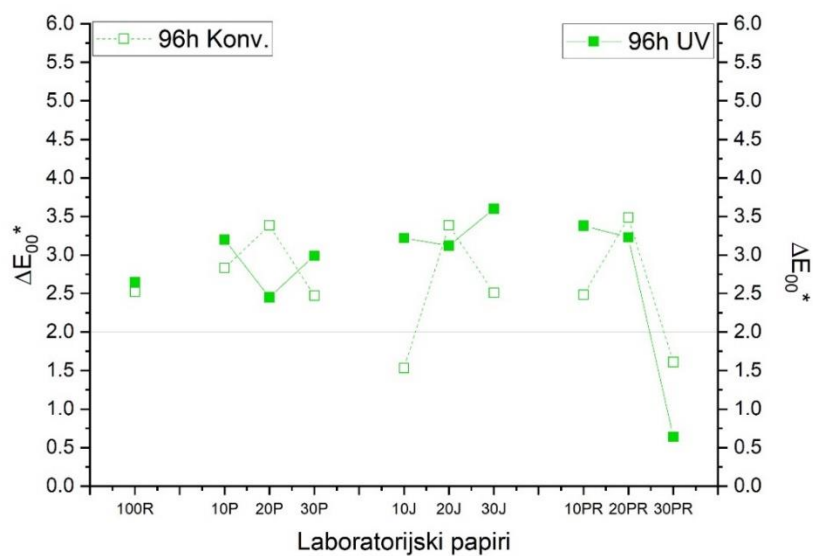
Slika 38. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



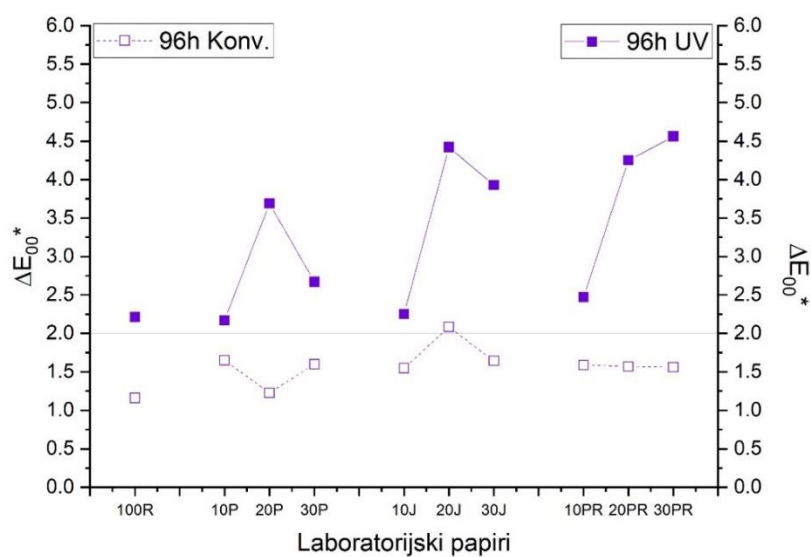
Slika 39. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



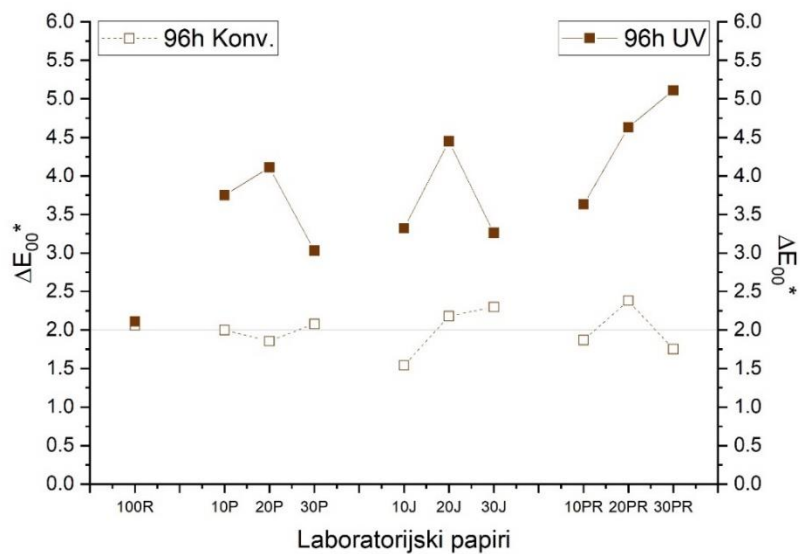
Slika 40. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



Slika 41. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



Slika 42. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.



Slika 43. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati.

#### 4.2.2. Stabilnost otisaka na djelovanje kemijskih agensa

Slike 44. – 91. prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijana, magente, žute i crne te višebojnim otiscima žute i magente, žute i cijana, cijana i magente te žute, cijana i magente otisnutima fleksografskim konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim papirima nakon djelovanja različitih kemijskih agensa: vode, natrijeve lužine, octene kiseline, limunske kiseline, etanola i sojinog ulja.

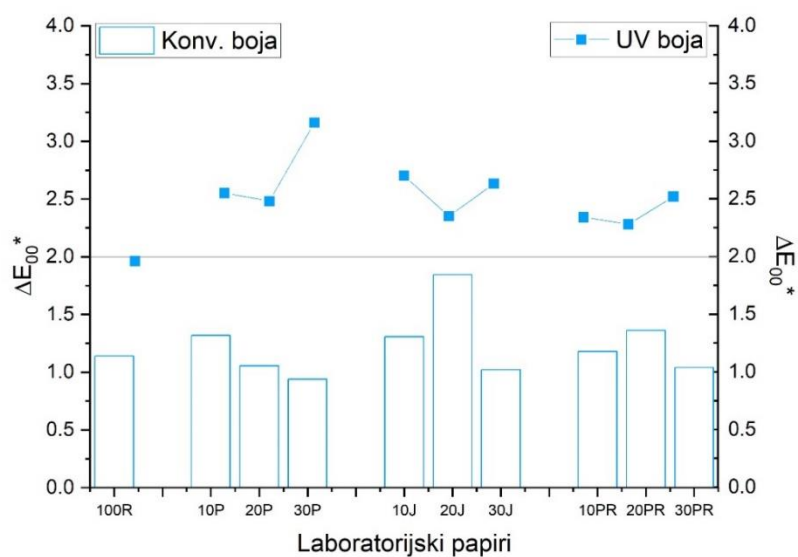
Na slikama 44. – 91. kolorimetrijske razlike u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) prikazane su stupcima ispunjenima bijelim za podloge otisnute konvencionalnim bojama na bazi vode, dok su podloge otisnute UV bojama prikazane istim simbolima ispunjenima bojom.

##### 4.2.2.1. Kemijski agens: voda (H<sub>2</sub>O)

Na slikama 44. – 51. vidljivo je kako sve konvencionalne boje na bazi vode na svim podlogama imaju dobru stabilnost nakon izlaganja vodi. UV žuta (slika 46.) i crna boja (slika 47.) također imaju dobru kemijsku stabilnost. Visoke vrijednosti kolorimetrijske razlike u obojenju vidljive su na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojom cijan ( $\Delta E_{00}^*_{30 P \max} = 3,16$ ) (slika 44.) te na laboratorijskim papirima 100 R, 10 P i 30 P otisnuti magenta bojom ( $\Delta E_{00}^*_{30 PR \max} = 2,43$ ) (slika 45.).

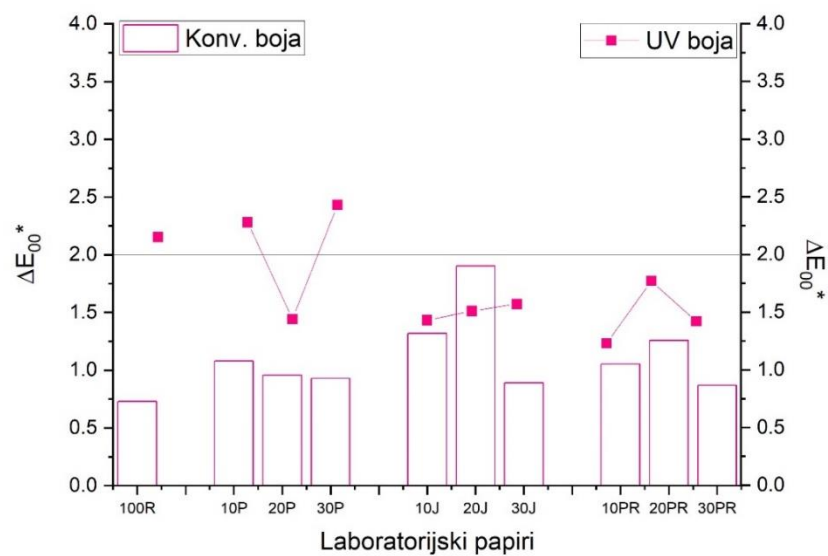
Također, svi višebojni otisci otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju visoku stabilnost na vodu (slike 48. – 51.). Otisci s UV bojama su također stabilni, osim otisaka na laboratorijskim papirima 30 P otisnutima UV bojama cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{30 P \max} = 2,87$ ) (slika 50.) te 10 J i 20 J otisnutima cijanom i magentom žutom, cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{20 J \max} = 3,5$ ) (slika 51.).

Voda



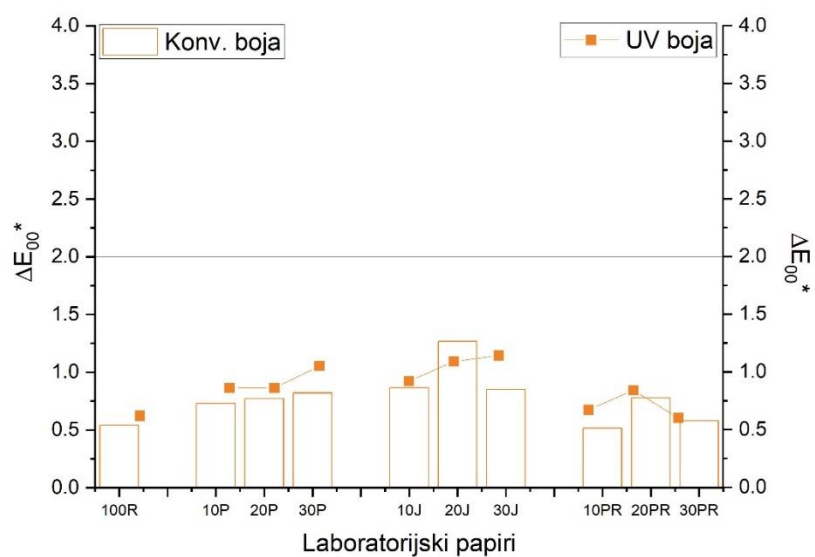
Slika 44. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

Voda



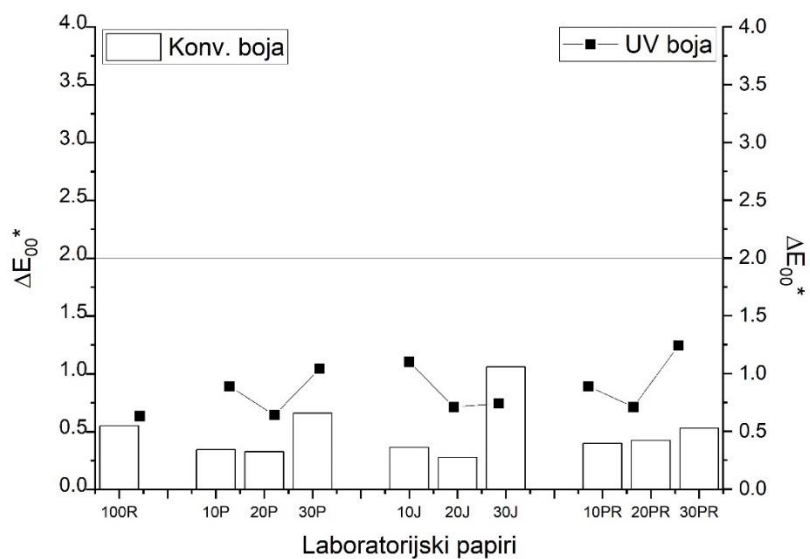
Slika 45. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

Voda



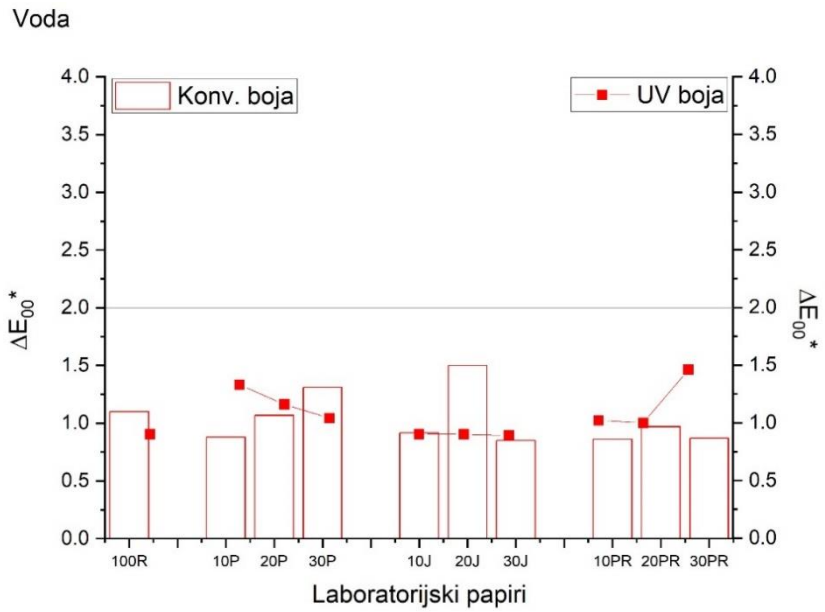
Slika 46. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

Voda

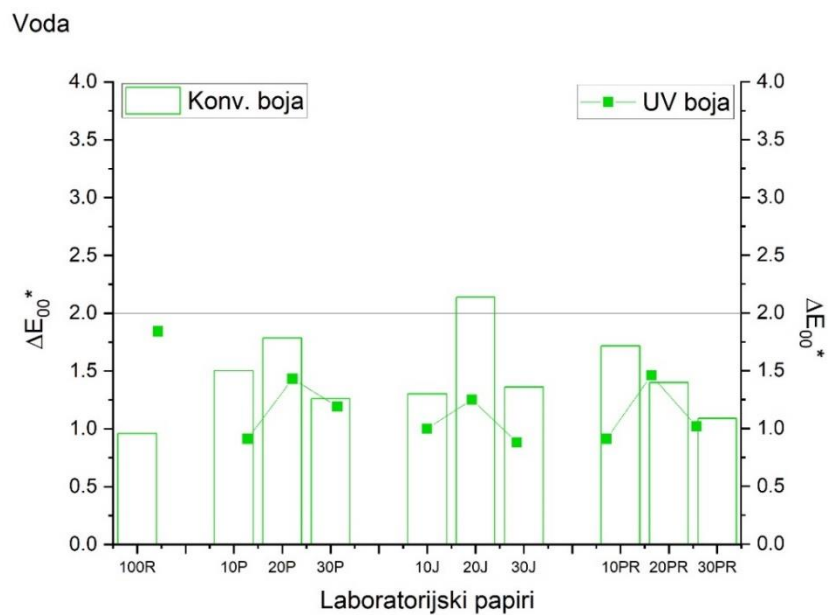


Slika 47. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.



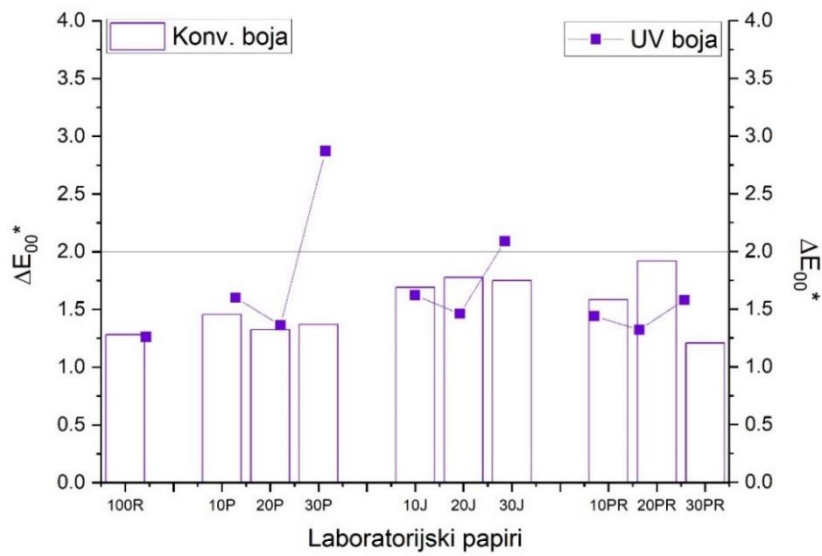


Slika 48. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.



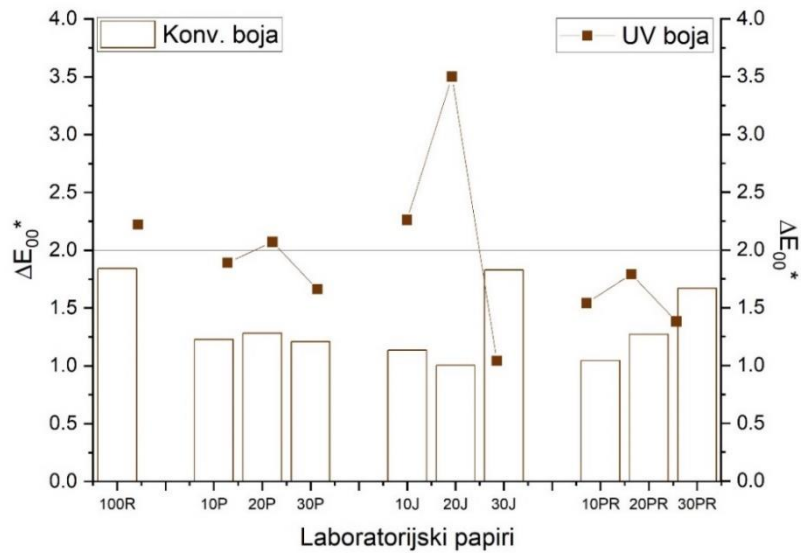
Slika 49. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

Voda



Slika 50. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

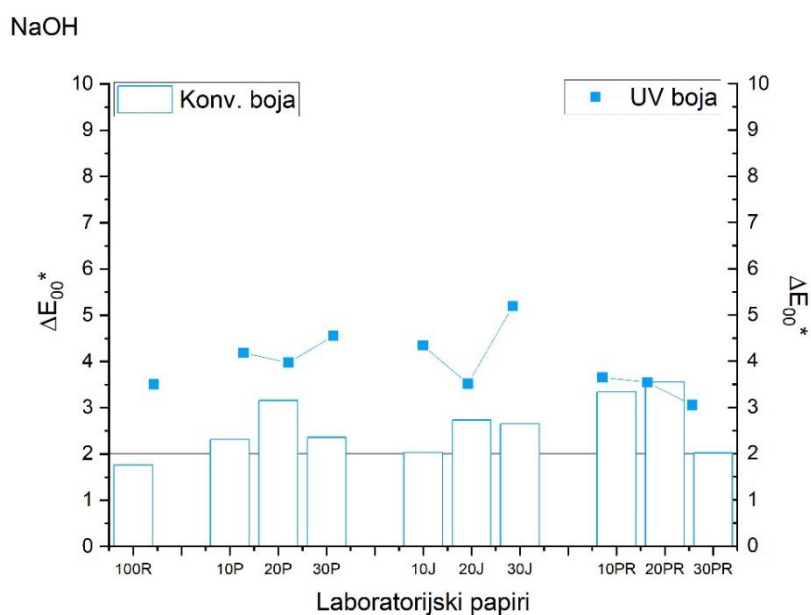
Voda



Slika 51. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode.

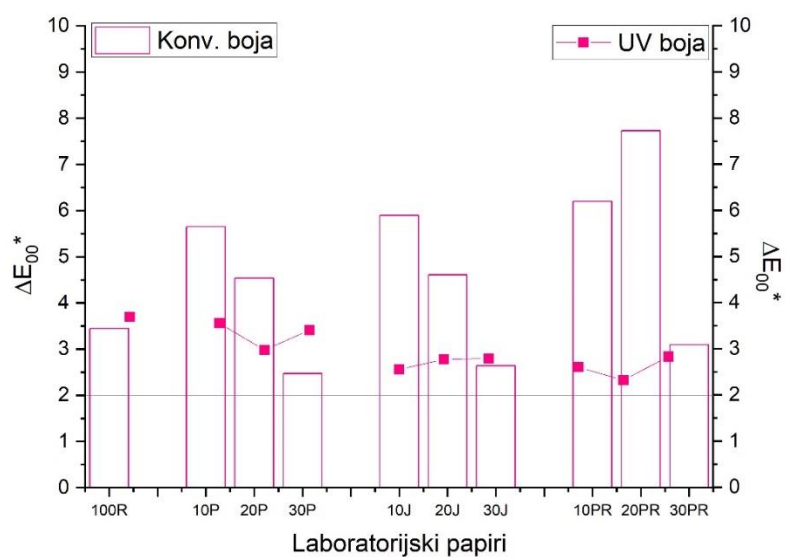
#### 4.2.2.2. Kemijski agens: natrijeva lužina (NaOH)

Kod otisaka na laboratorijskim papirima koji su bili izloženi natrijevoj lužini vidljivo je kako papiri otisnuti bojama cijan (slika 52.) ( $\Delta E_{00}^*_{30 J \max} = 5,19$ ) i magenta (slika 53.) ( $\Delta E_{00}^*_{20 PR \max} = 7,73$ ) nisu pokazali dobru stabilnost. Laboratorijski papiri otisnuti žutom i crnom bojom (slike 54. i 55.), konvencionalnom i UV, imaju najbolju optičku stabilnost ( $\Delta E_{00}^* = <2$ ) nakon utjecaja natrijeve lužine. Višebojni laboratorijski papiri otisnuti svim konvencionalnim bojama na bazi vode (slike 56. – 59.) imaju visoke vrijednosti euklidske razlike, sve iznad preporučene vrijednosti ( $\Delta E_{00}^*_{20 J \max Y + M} = 8,60$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20 J \max Y + C} = 6,10$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20 J \max C + M} = 9,94$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20 J \max Y + C + M} = 9,20$ ) [28]. Veću stabilnost pokazuju samo laboratorijski papiri otisnuti UV bojama cijan i magenta (slika 58.), pri čemu samo 30 P i 20 J imaju vrijednosti euklidske razlike iznad referentne linije.



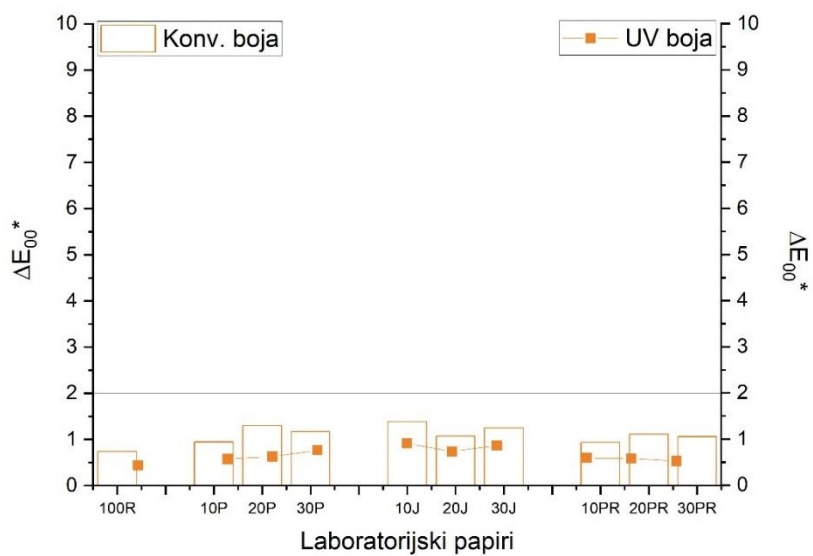
Slika 52. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

NaOH

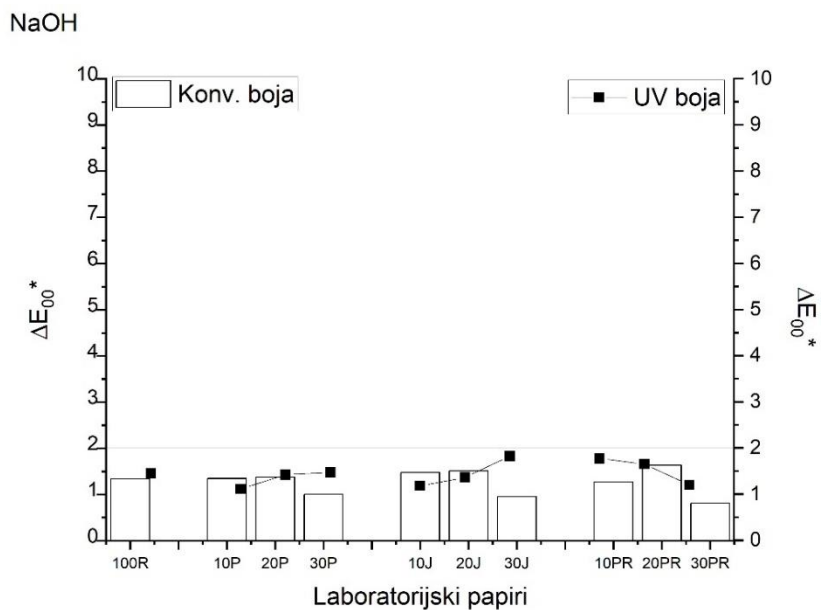


Slika 53. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

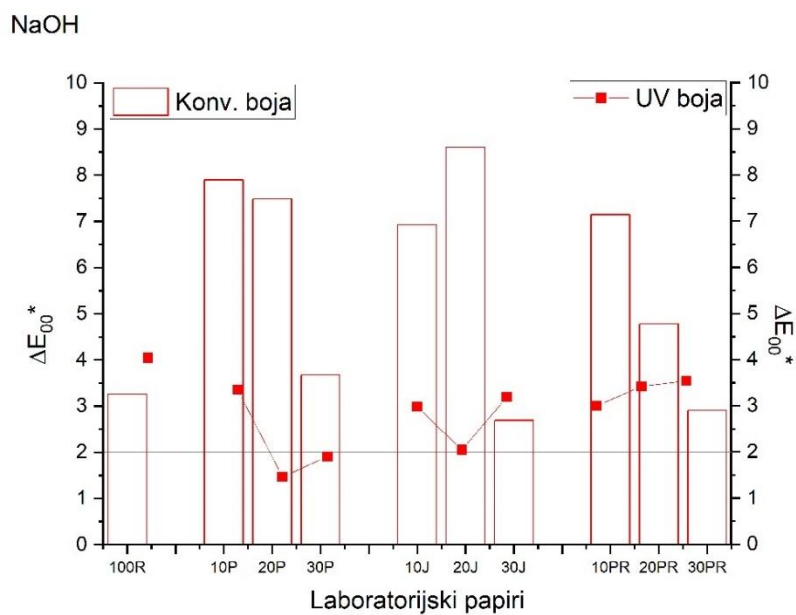
NaOH



Slika 54. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

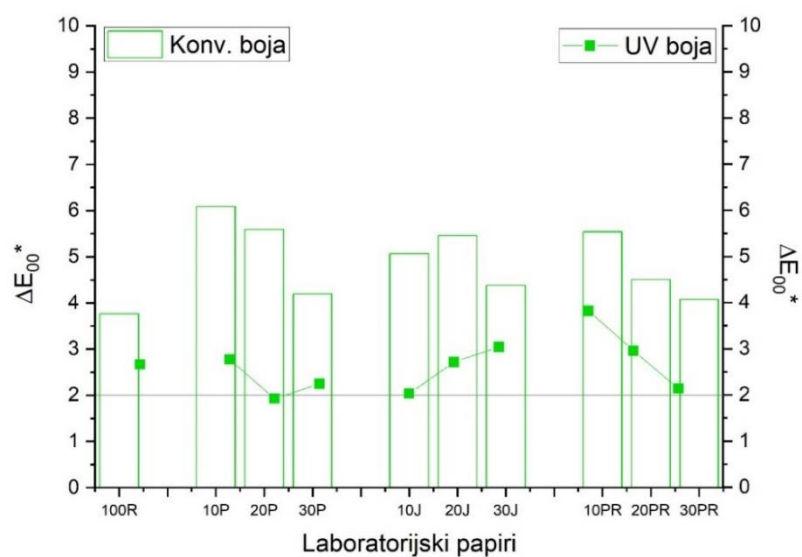


Slika 55. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.



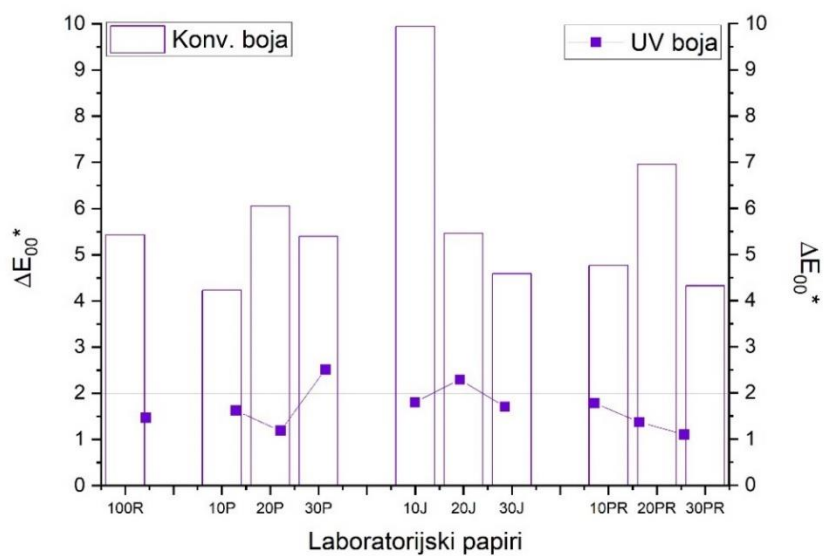
Slika 56. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

NaOH

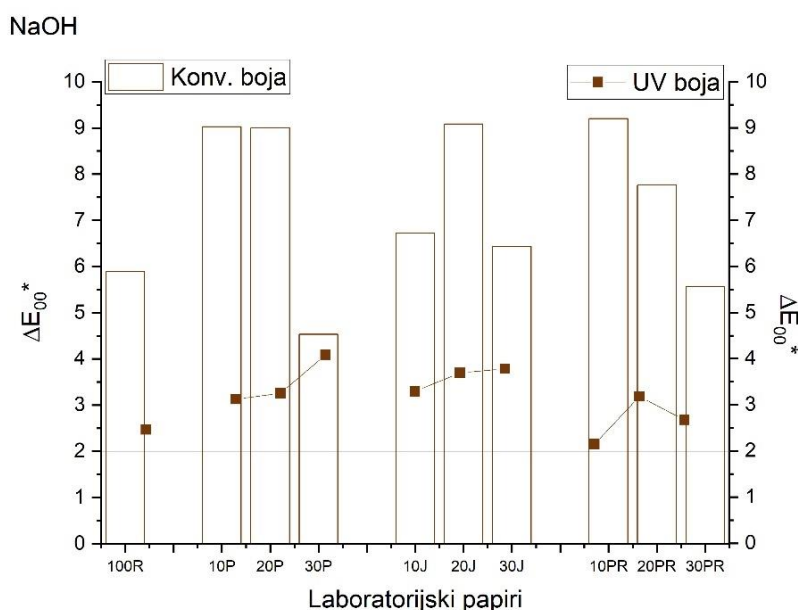


Slika 57. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

NaOH



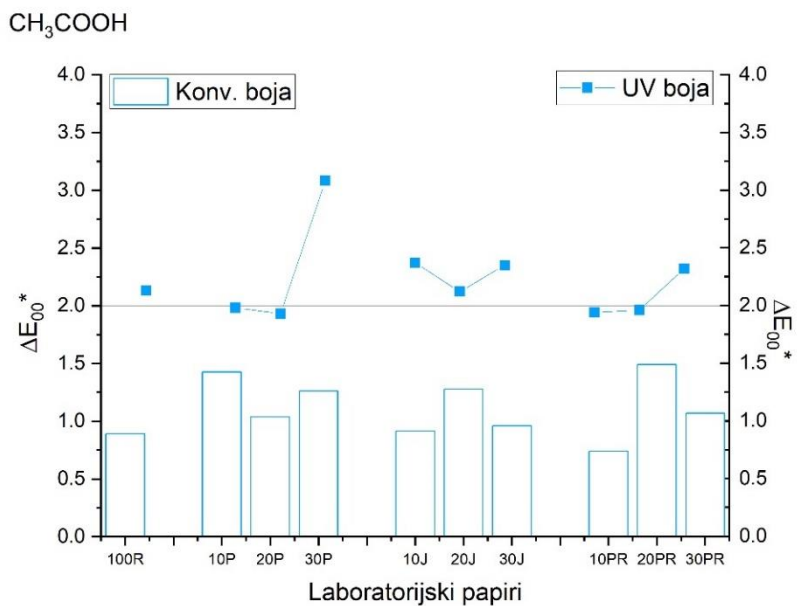
Slika 58. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.



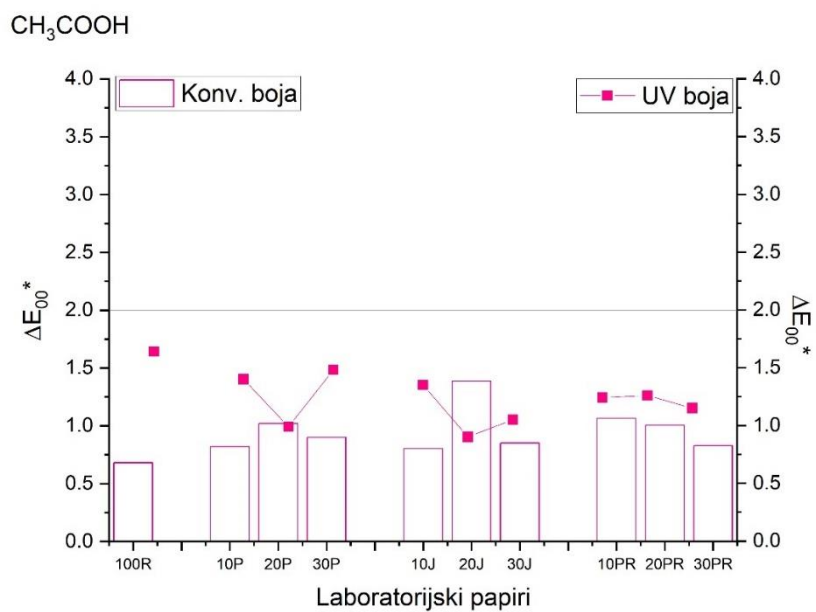
Slika 59. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine.

#### 4.2.2.3. Kemijski agens: octena kiselina ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )

Svi laboratorijski uzorci otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju niske vrijednosti euklidske razlike, odnosno dobru stabilnost (slike 60. – 66), samo višebojni laboratorijski uzorak 30 J otisnut žutom, cijanom i magentom pokazuje visoku vrijednost ( $\Delta E_{00}^*_{20 J_{\max}} = 2,41$ ), iznad preporučene vrijednosti (slika 67.) .Vrijednosti euklidske razlike na laboratorijskim papirima otisnutima žutom (slika 62.) i crnom (slika 63.) konvencionalnom i UV bojom pokazuju vrlo dobru stabilnost nakon izlaganja otisaka octenoj kiselini. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojom cijan (slika 60.) pokazuju povišene vrijednosti euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*_{30 P_{\max}} = 3,10$ ). Također, većina višebojnih laboratorijskih papira s dodatkom pulpe slame svih žitarica otisnutih UV bojama žutom, cijanom i magentom (slika 67.) pokazuju povišene vrijednosti euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*_{20 J_{\max}} = 2,9$ ), većinom iznad referentne linije, isto tako i laboratorijski papir s dodatkom od 30 % pulpe pšenice otisnut UV bojama cijan i magenta ( $\Delta E_{00}^*_{30 P_{\max}} = 3,21$ ) (slika 66.).



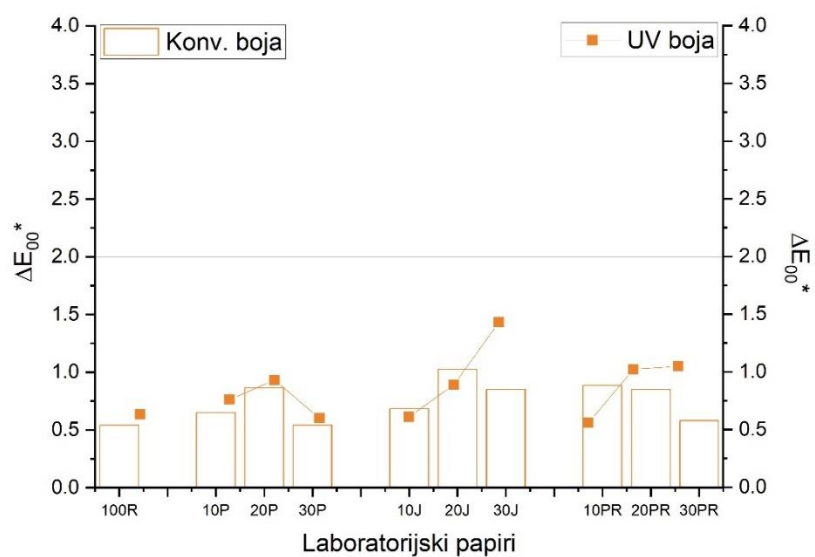
Slika 60. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.



Slika 61. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

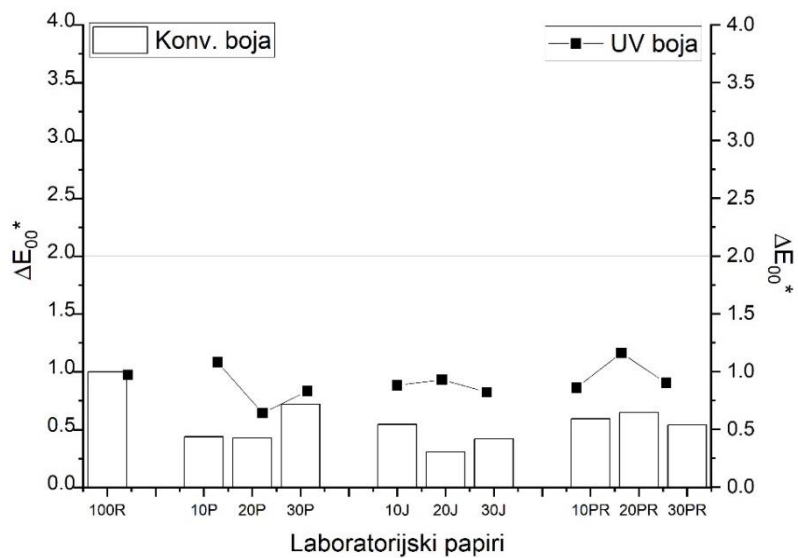


CH<sub>3</sub>COOH



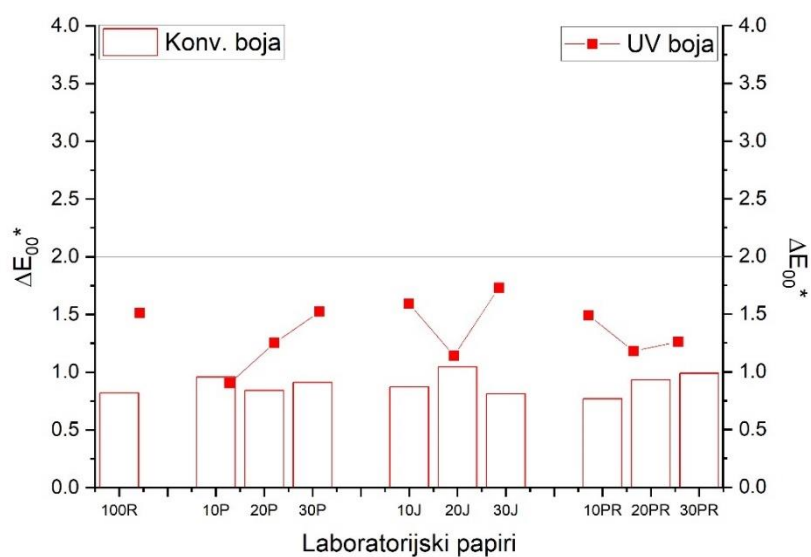
Slika 62. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

CH<sub>3</sub>COOH



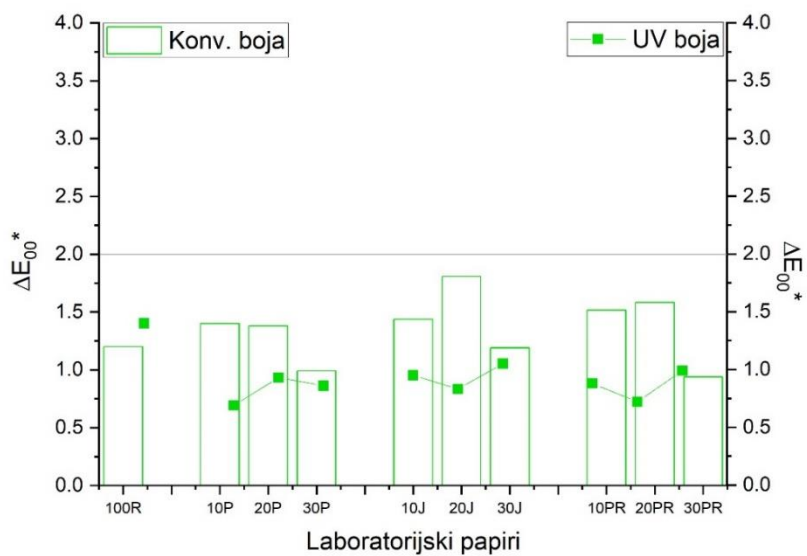
Slika 63. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

CH<sub>3</sub>COOH

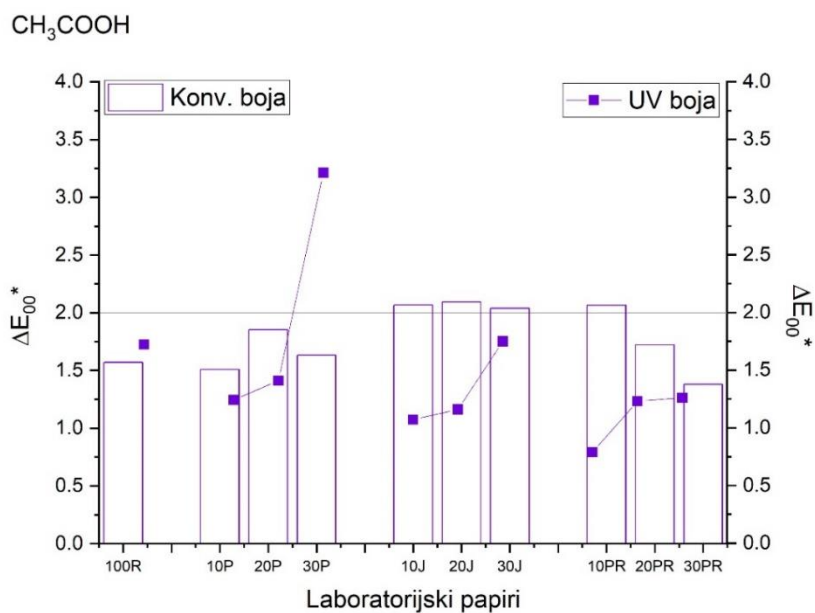


Slika 64. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

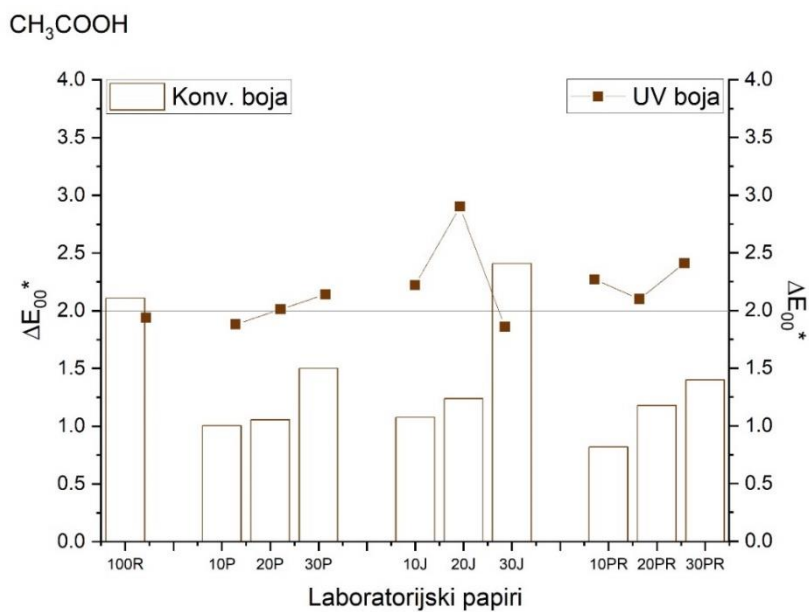
CH<sub>3</sub>COOH



Slika 65. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.



Slika 66. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

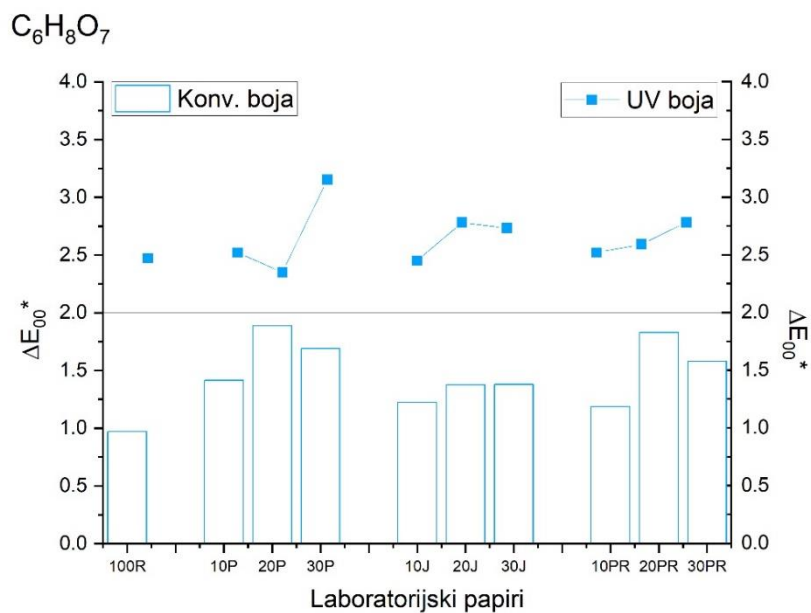


Slika 67. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline.

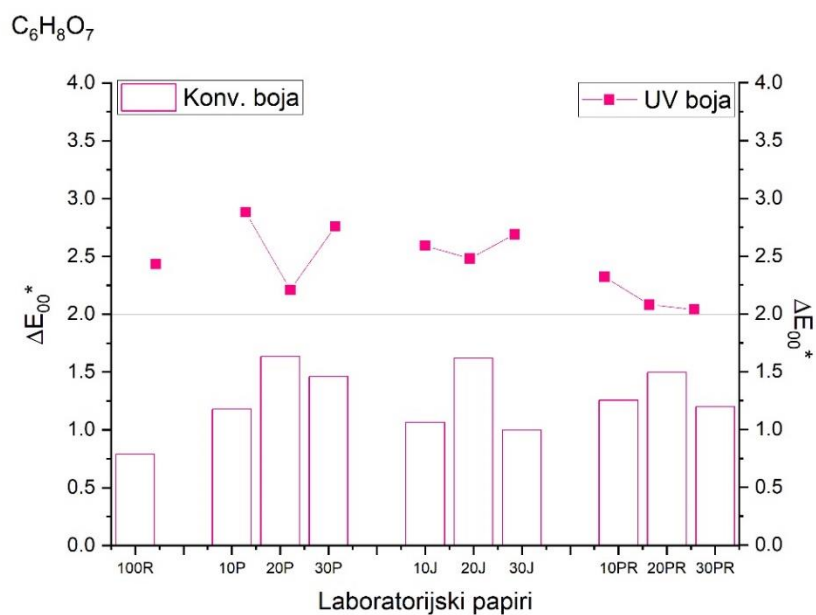
#### 4.2.2.4. Kemijski agens: limunska kiselina ( $C_6H_8O_7$ )

Slike 68. – 71. pokazuju kako svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom bojom imaju niske vrijednosti euklidske razlike, odnosno imaju dobru kemijsku stabilnost. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama cijan (slika 68.) i magenta (slika 69.) imaju visoke vrijednosti euklidske razlike, a samim time i lošu optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja limunskoj kiselini ( $\Delta E_{00}^*_{30 P_{max} C} = 3,15$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 P_{max} M} = 2,88$ ) [28].

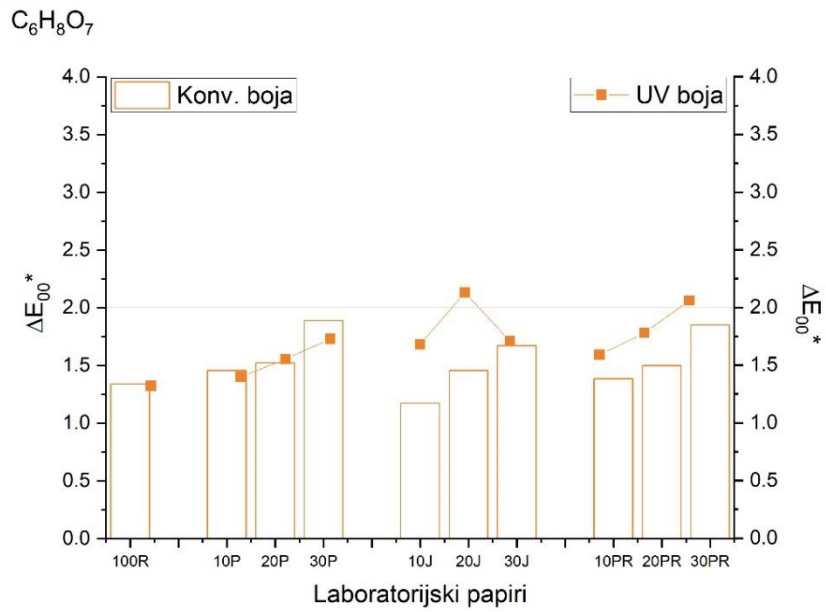
Višebojni laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode: žutom i magentom (slika 72.) te žutom i cijanom (slika 73.) pokazuju niske vrijednosti euklidske razlike u obojenju nakon izlaganja limunskoj kiselini, odnosno dobru optičku stabilnost reprodukcije, dok na laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama cijan i magenta (slika 74.) niske vrijednosti imaju samo papiri s dodatkom 30 % pulpe slame ( $\Delta E_{00}^*_{20 J_{max}} = 3,98$ ). U slučaju otisaka otisnutih konvencionalnim bojama žutom, cijanom i magentom (slika 75.) visoke vrijednosti euklidske razlike pokazuju samo papiri s 10 % i 20 % pulpe slame pšenice te laboratorijski papir s dodatkom 20 % pulpe slame ječma ( $\Delta E_{00}^*_{20 J_{max}} = 2,29$ ). Laboratorijski papiri otisnuti UV žutom i cijan bojama (slika 73.) imaju dobru optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja limunskoj kiselini, dok laboratorijski papiri otisnuti UV bojama žutom, cijanom i magentom (slika 75.) imaju visoke vrijednosti euklidske razlike, sve iznad referentne linije, a najviša je uočena za podlogu s 20 % pulpe slame ječma ( $\Delta E_{00}^*_{20 J_{max}} = 3,81$ ). Niske vrijednosti euklidske razlike, odnosno unutar preporučene vrijednosti, vidljive su samo na laboratorijskim papirima s 30 % pulpe pšenoraži otisnutim UV bojama cijan i magenta (slika 74.).



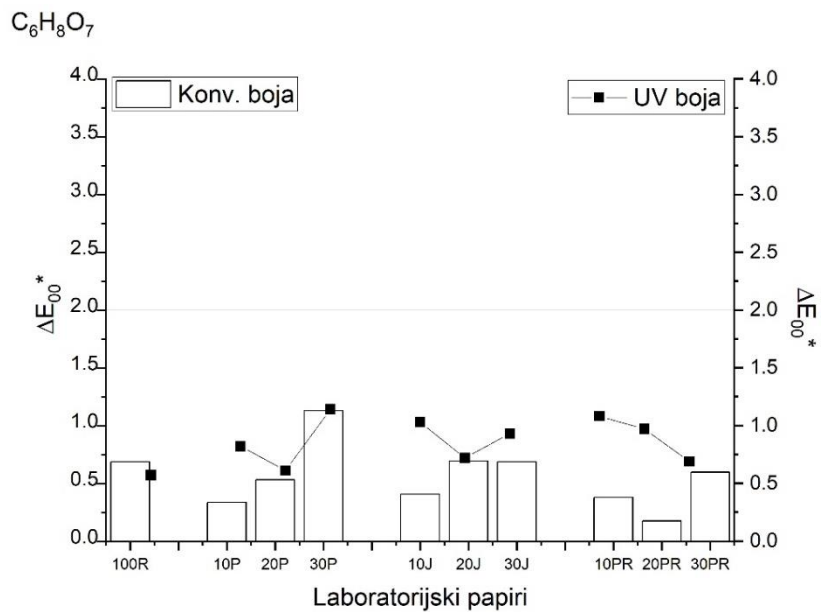
Slika 68. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



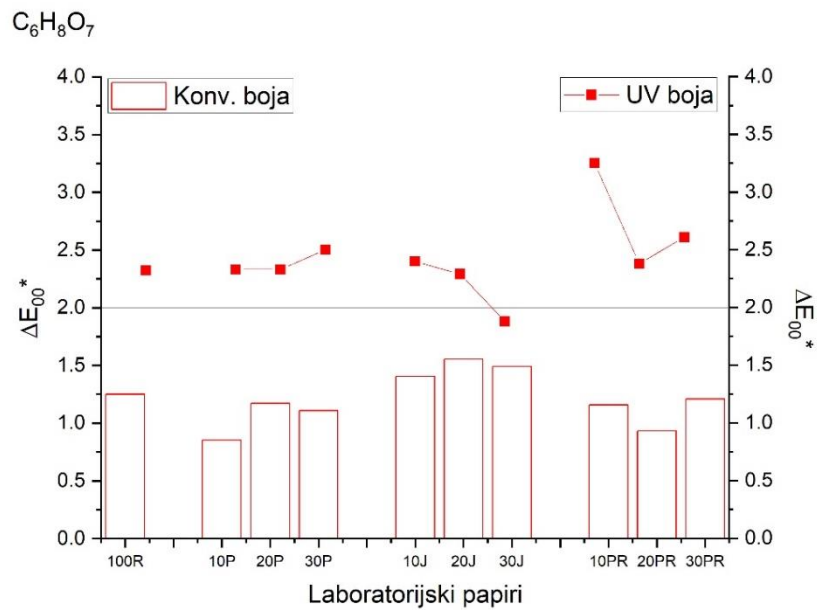
Slika 69. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



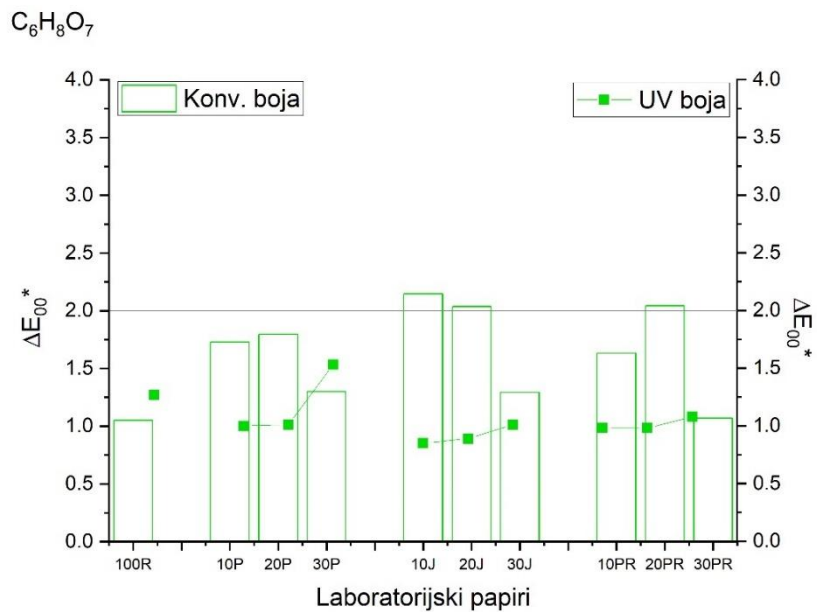
Slika 70. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



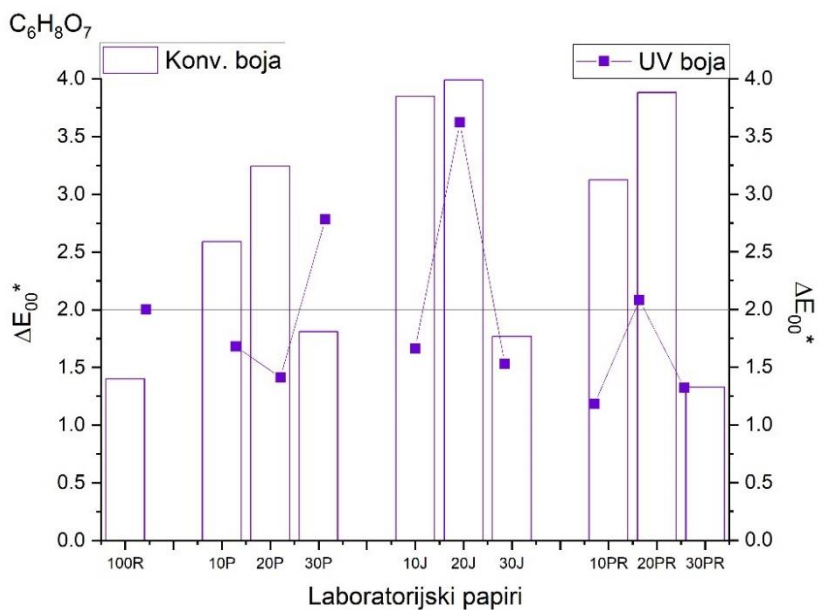
Slika 71. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



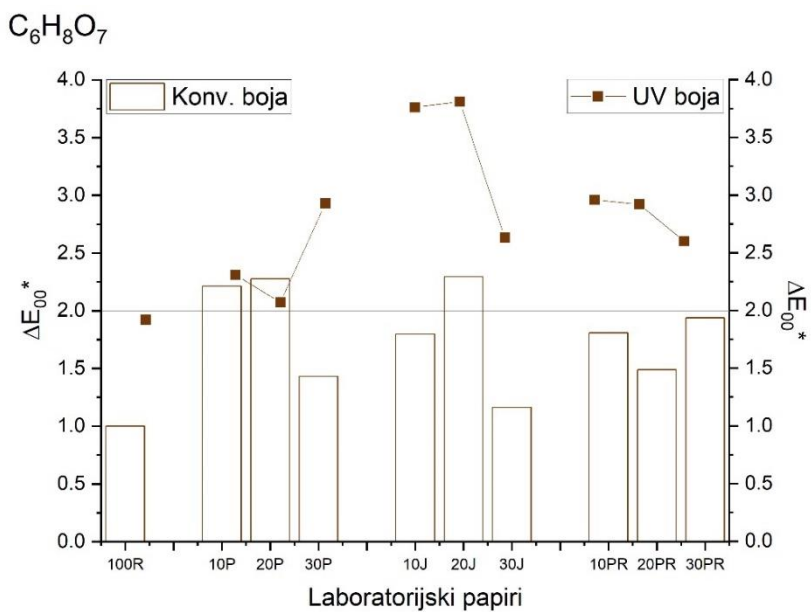
Slika 72. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



Slika 73. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



Slika 74. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



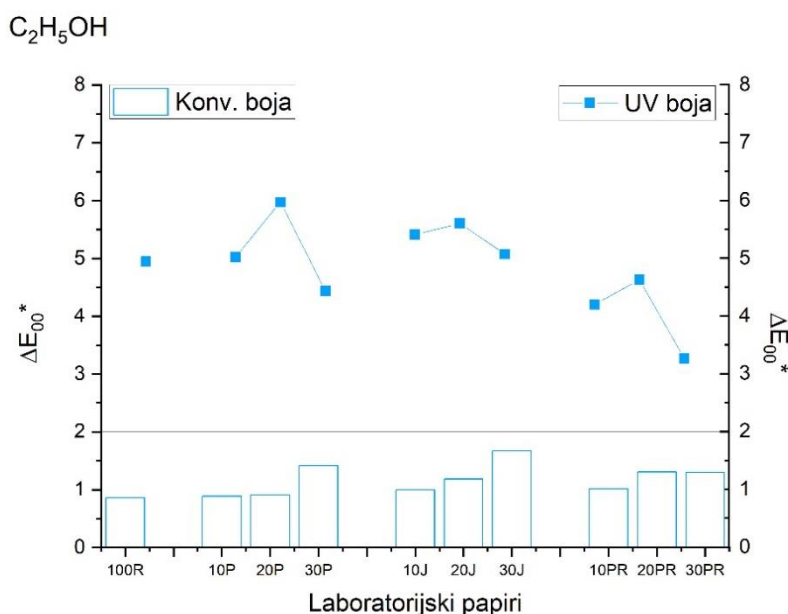
Slika 75. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline.



#### 4.2.2.5. Kemijski agens: etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)

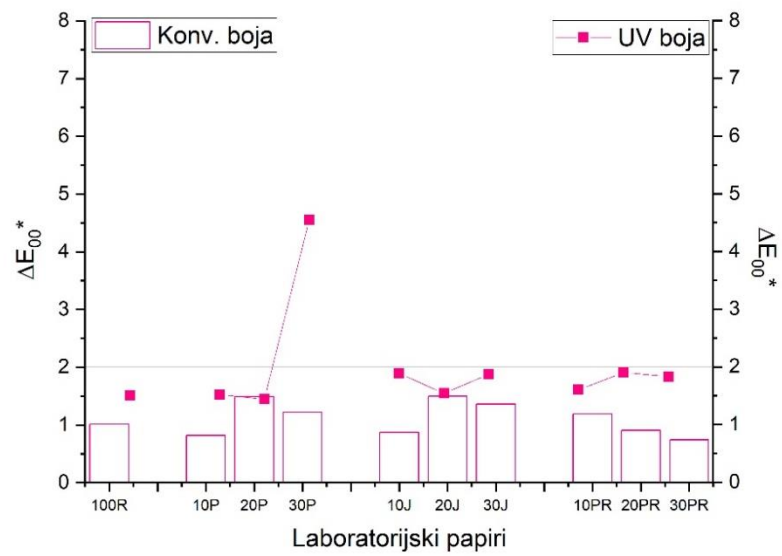
Svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode imaju izvrsnu optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja etanolu, odnosno niske vrijednosti euklidske razlike u obojenju, osim laboratorijskog papira 100 R ( $\Delta E_{00}^*_{100 Rmax} = 3,2$ ) te laboratorijskih papira s dodatkom 30 % pulpe pšenice (30 P) i ječma (30 J) otisnutih žutom, cijanom i magentom.

Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama magentom (slika 77.), žutom (slika 78.) i crnom (slika 79.) pokazuju vrlo dobru optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja etanolu, osim laboratorijskog papira s 30 % pšenice otisnutog UV magenta bojom ( $\Delta E_{00}^*_{30 Pmax} = 4,55$ ) (slika 77.). Dok laboratorijski papiri otisnuti UV bojama žutom i magenta (slika 80.) imaju prihvatljive vrijednosti euklidske razlike, papiri otisnuti UV bojama žutom i cijanom (slika 81.), UV bojama cijanom i magentom (slika 82.) i UV bojama žutom, cijanom i magentom (slika 83.) imaju visoke vrijednosti euklidske razlike, sve iznad preporučene vrijednosti i samim time slabu otpornost nakon izlaganja etanolu ( $\Delta E_{00}^*_{100 Rmax Y + C} = 6,77$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 Jmax C + M} = 5,33$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 Pmax Y + C + M} = 6,63$ ) [28]



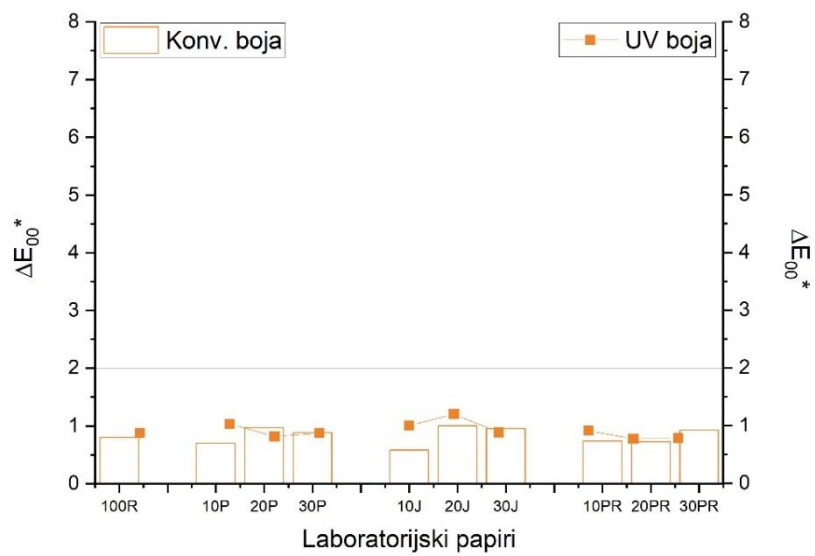
Slika 76. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH



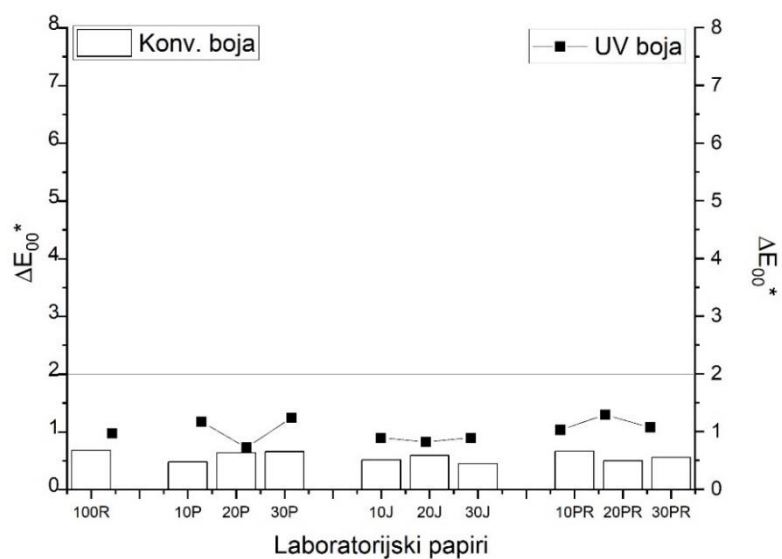
Slika 77. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH



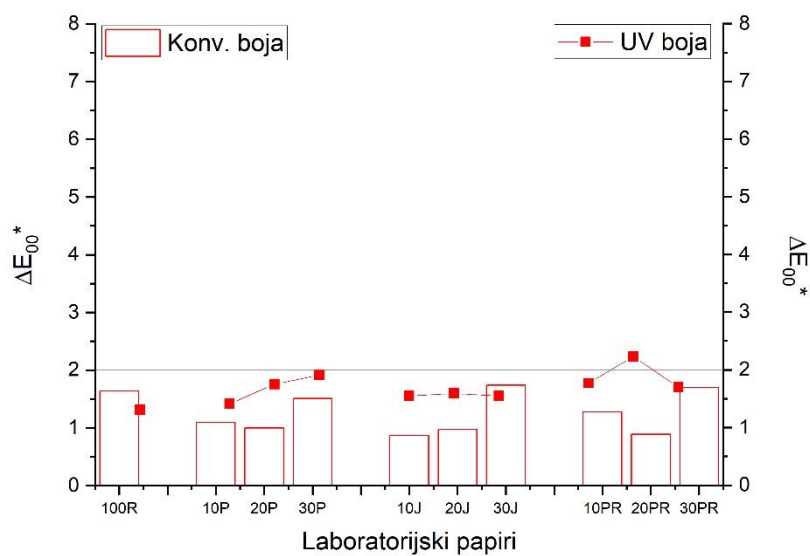
Slika 78. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

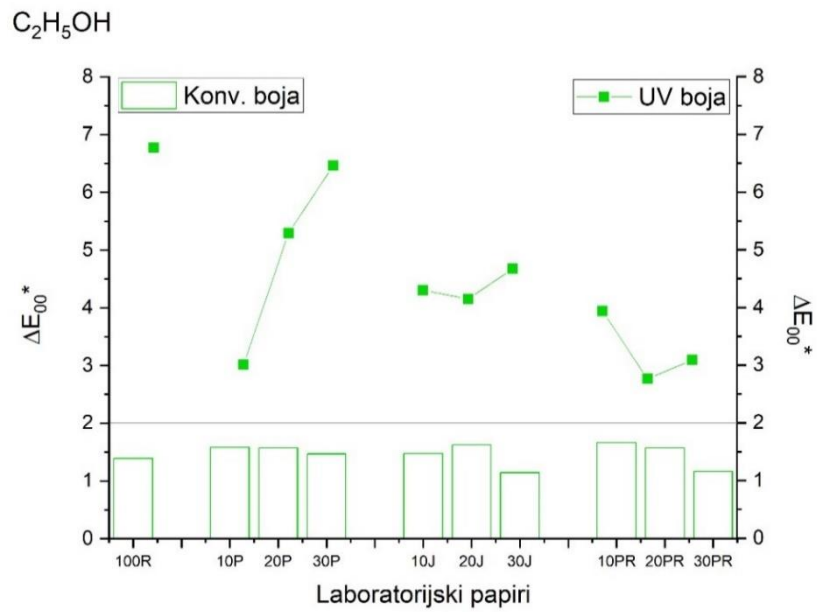


Slika 79. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

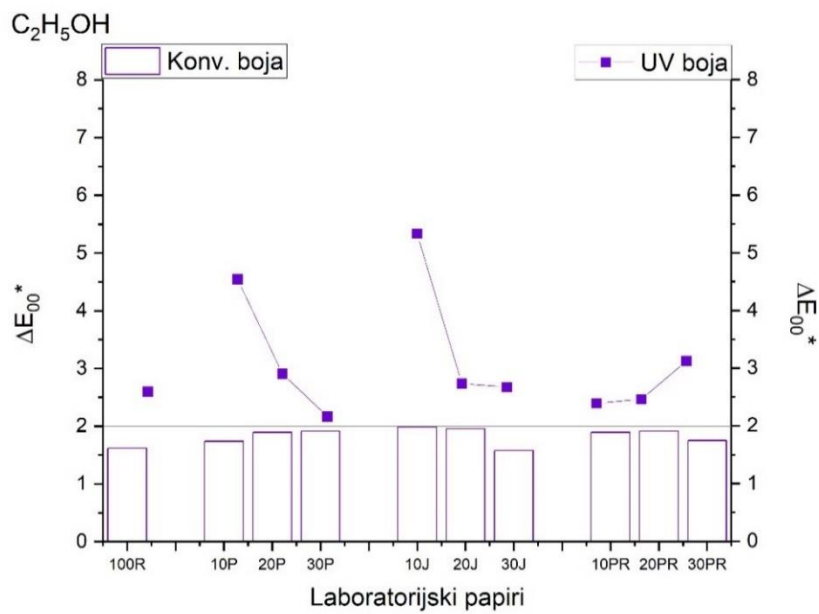
C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH



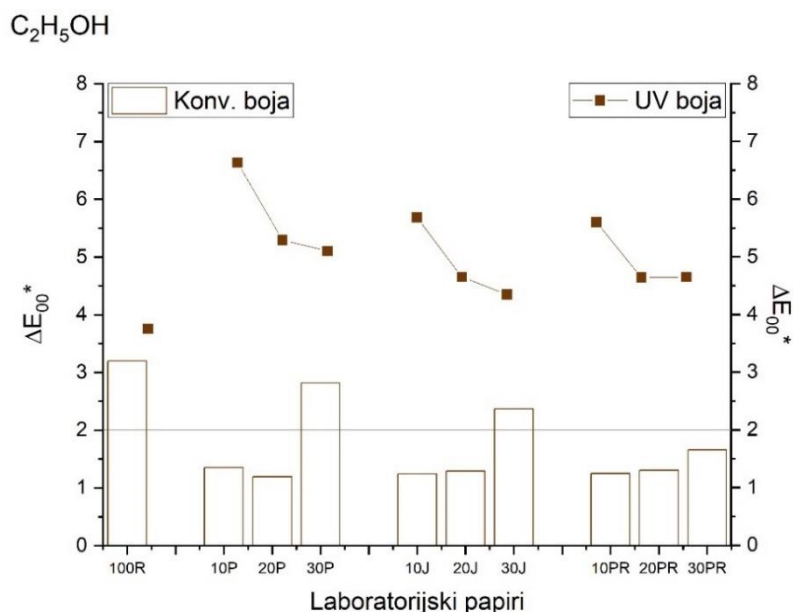
Slika 80. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.



Slika 81. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.



Slika 82. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

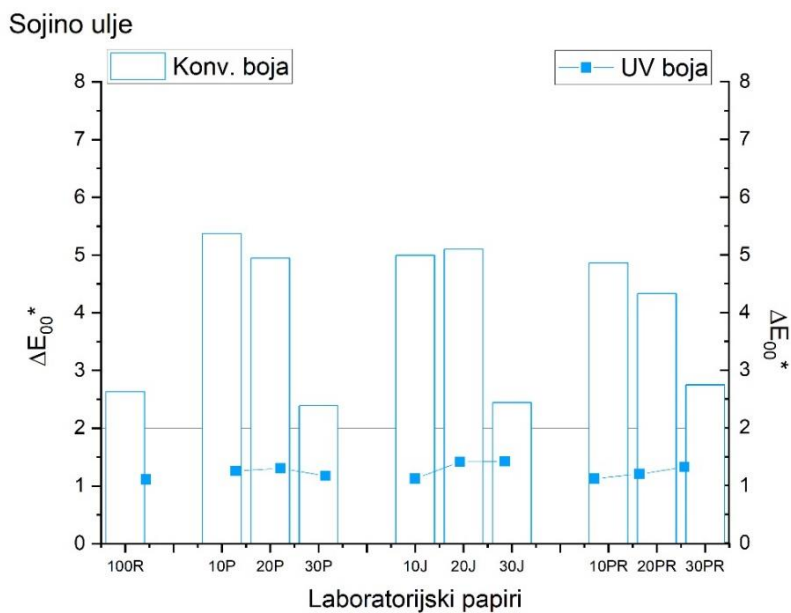


Slika 83. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola.

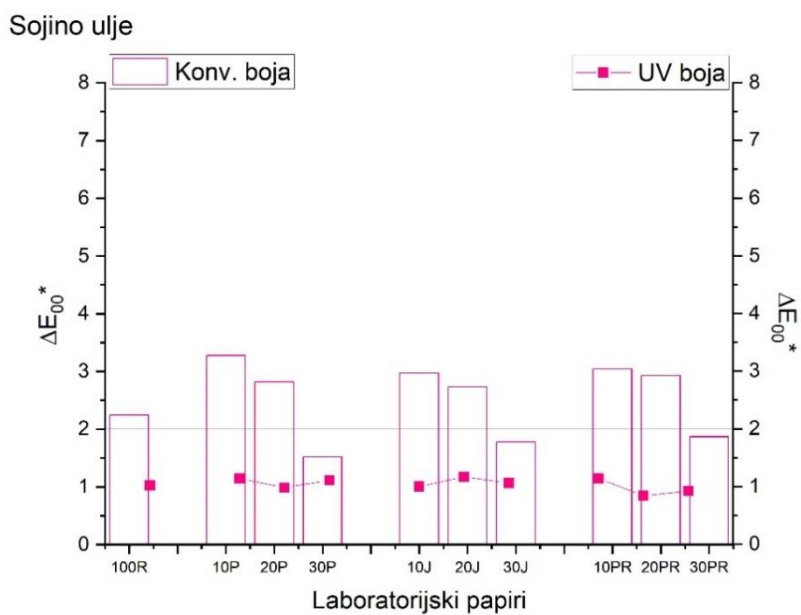
#### 4.2.2.6. Kemijski agens: sojino ulje

Rezultati euklidske razlike na laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama pokazuju kako uglavnom svi otisci imaju vrlo dobru stabilnost nakon izlaganja sojinom ulju, odnosno niske vrijednosti euklidske razlike u obojenju (slika 84. – 89.). Odskaču vrijednosti dobivene za laboratorijski papir s 30 % pulpe pšenice (20 P) otisnut bojama cijan i magenta (slika 90.) ( $\Delta E_{00}^*_{30 P} = 2,46$ ) te papiri s 20 % pulpe slame ječma (20 J) i 20 % pulpe slame pšenoraži (20 PR) otisnuti žutom, cijanom i magentom (slika 91.) ( $\Delta E_{00}^*_{20 Jmax} = 3,24$ ).

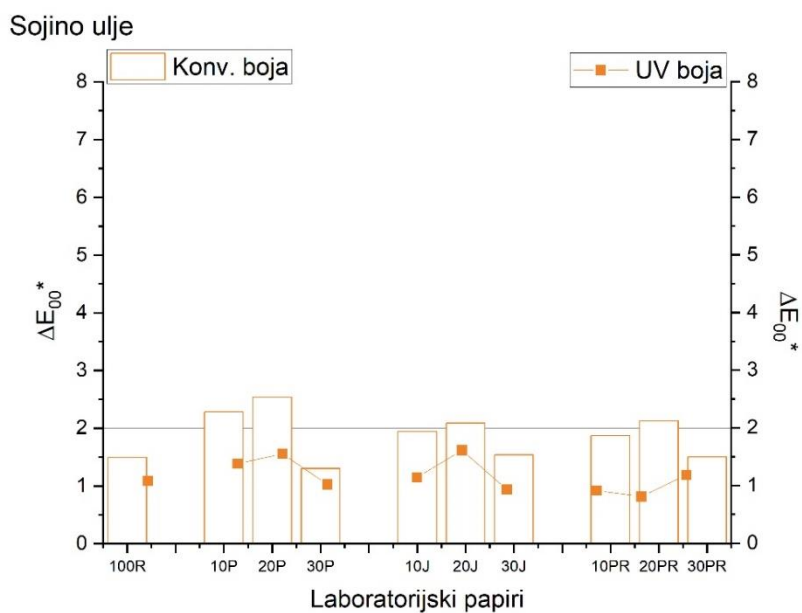
Otisci otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazali su se dosta nestabilnima, pri čemu većina otisaka ima vrijednosti euklidske razlike iznad referentne linije ( $\Delta E_{00}^*_{10 Pmax C} = 5,36$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 Pmax M} = 3,27$ ,  $\Delta E_{00}^*_{30 Jmax K} = 3,88$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 PRmax Y+M} = 4,66$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10 PRmax Y+C} = 4,73$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20 PRmax Y+C+M} = 7,49$ ). Najstabilniji su laboratorijski papiri s dodatkom 30 % pulpe slame svih žitarica (30 P, 30 J, 30 PR) otisnuti magenta (85) i žutom (Slika 86), žutom i magenta (Slika 88) te papiri s 30% ječma (30J) i pšenoraži (30PR) otisnuti cijan i magenta magentom (slika 90.) i laboratorijski papiri s 10 % pšenice (10 P) i ječma (10 J) otisnuti crnom bojom (slika 87.).



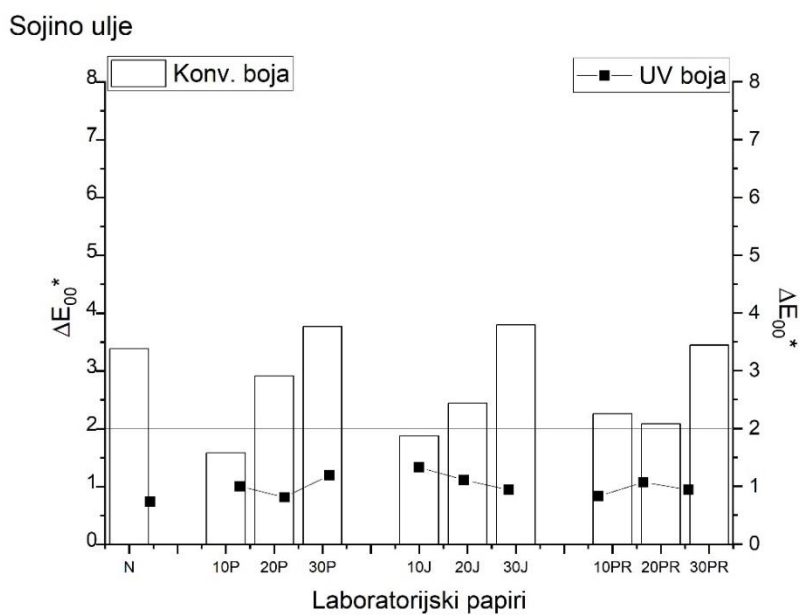
Slika 84. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.



Slika 85. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.

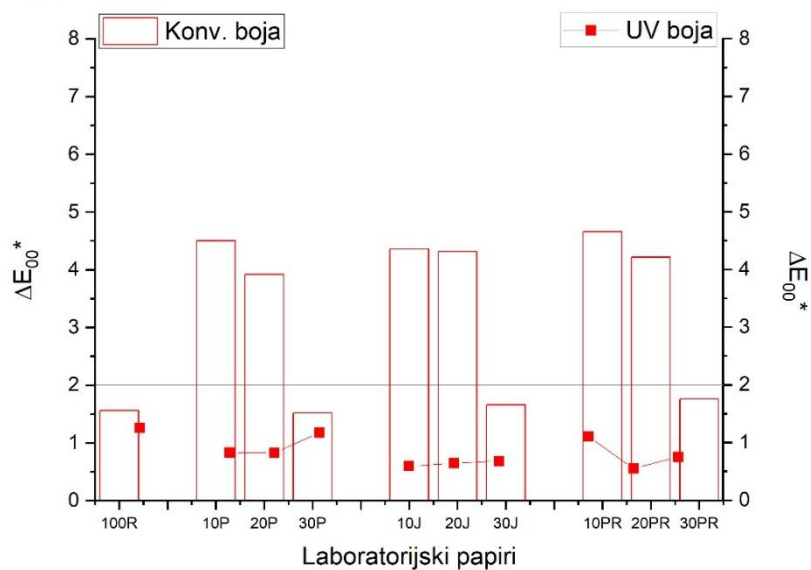


Slika 86. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.



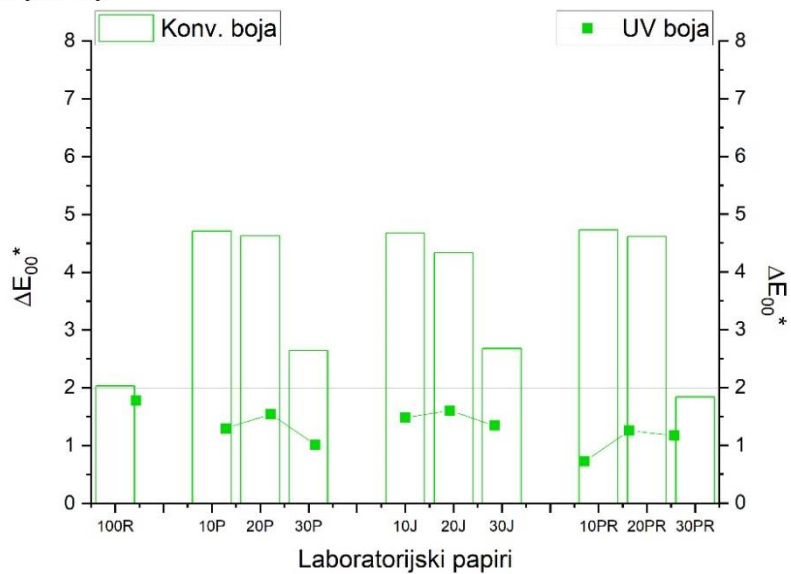
Slika 87. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.

Sojino ulje



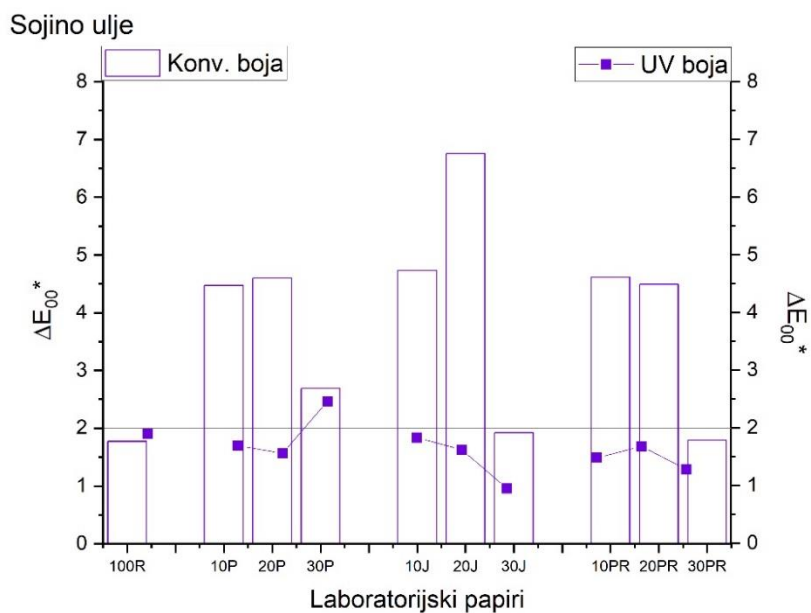
Slika 88. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.

Sojino ulje

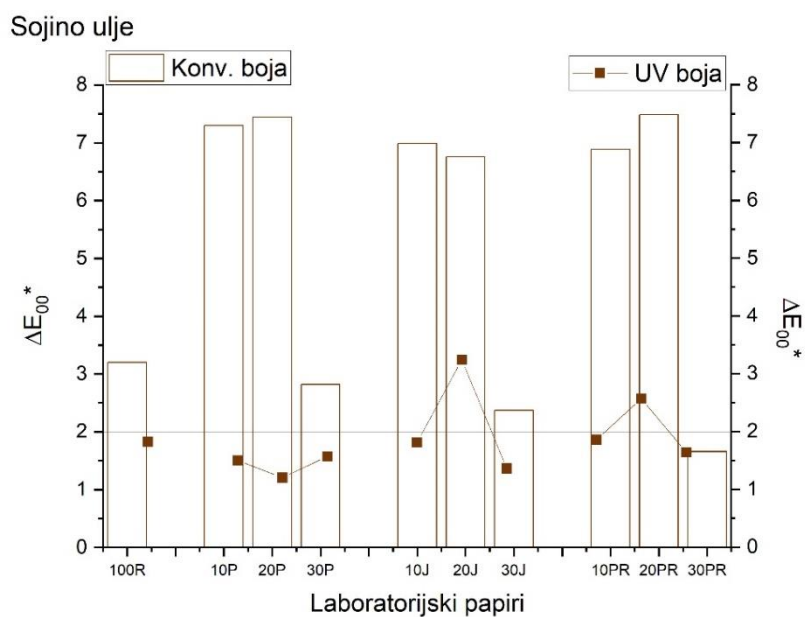


Slika 89. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.





Slika 90. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.



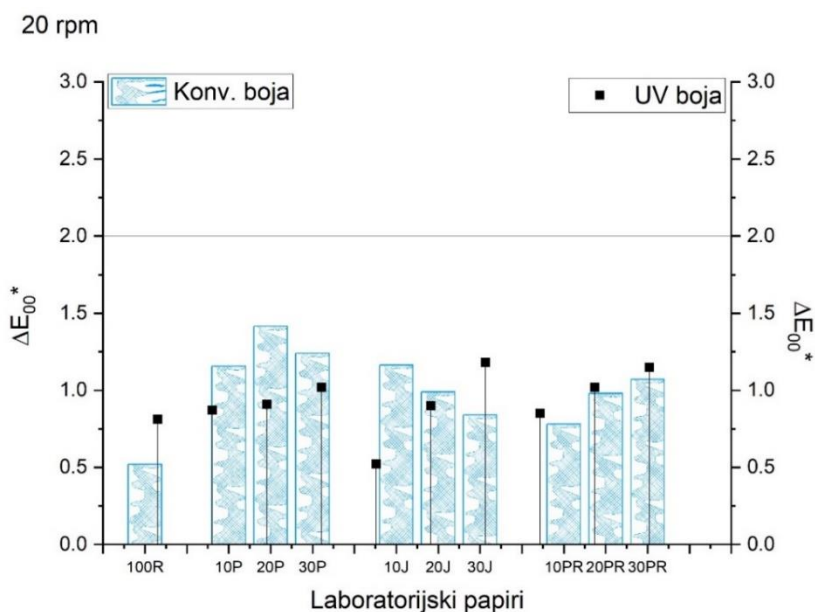
Slika 91. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja.

### 4.2.3. Stabilnost otisaka na pritisak

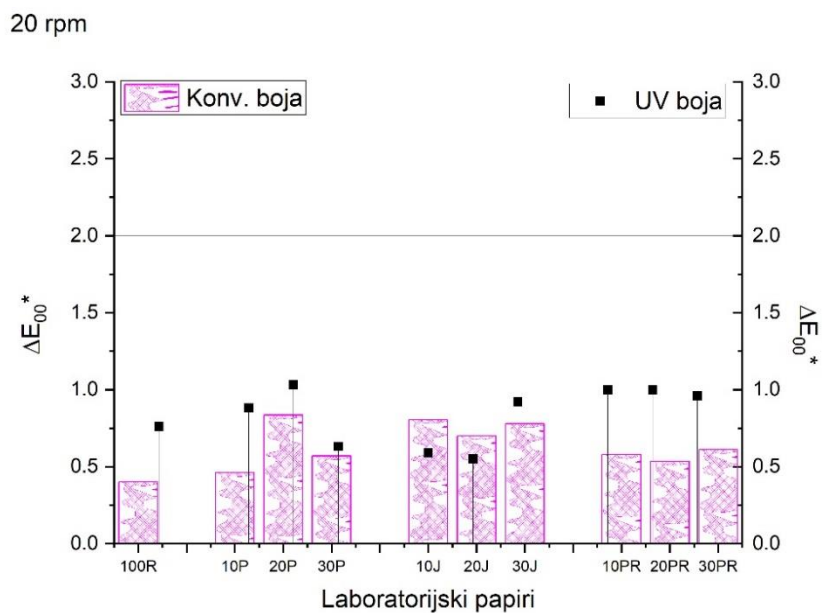
Slike 92. – 115. prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijana, magente, žute i crne te višebojnim otiscima žute i magente, žute i cijana, cijana i magente te žute, cijana i magente otisnutima fleksografskim konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim papirima nakon djelovanja pritiska pri 20, 40 i 60 rotacija po minuti (rpm).

#### 4.2.3.1. Broj okretaja: 20 okretaja u minuti

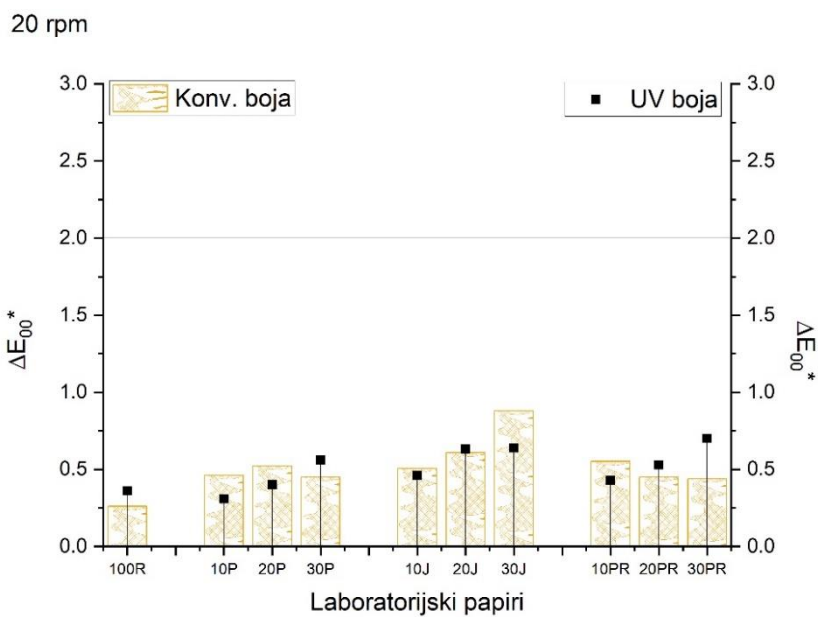
Svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama imaju vrlo dobru optičku stabilnost reprodukcije nakon djelovanja pritiska. Nešto više vrijednosti pokazuju UV otisci, no svi su unutar referentne linije, odnosno preporučene vrijednosti od  $\Delta E_{00} \leq 2$  [28]. Samo laboratorijski papir s dodatkom 10 % pulpe pšenoraži (10 PR) otisnut žutom i magenta UV bojom (slika 96.) i laboratorijski papir s dodatkom 20 % ječma (20 J) otisnut žutom, cijanom i magentom (slika 99.) pokazuju blago povišene  $\Delta E_{00}^*$  vrijednosti ( $\Delta E_{00}^*_{30PRmax Y+M} = 2,08$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20Jmax Y+C+M} = 2,9$ ).



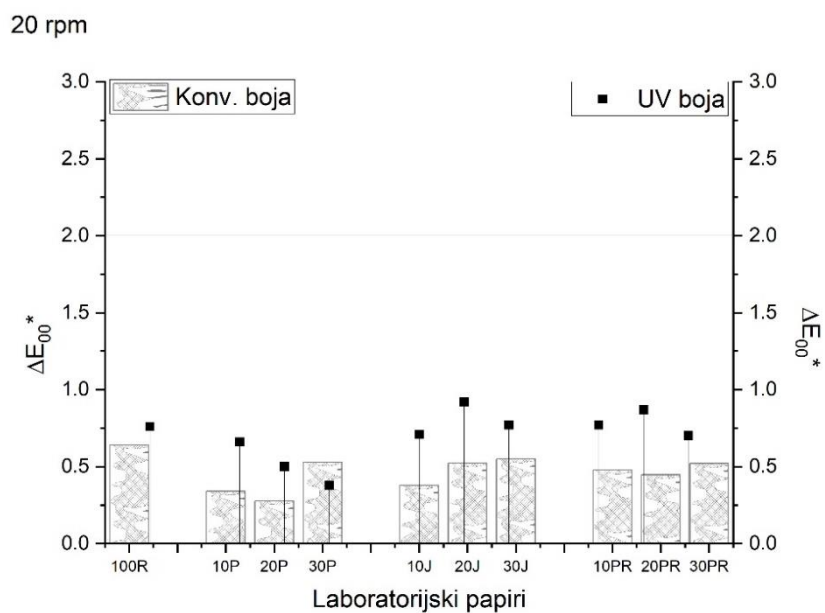
Slika 92. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



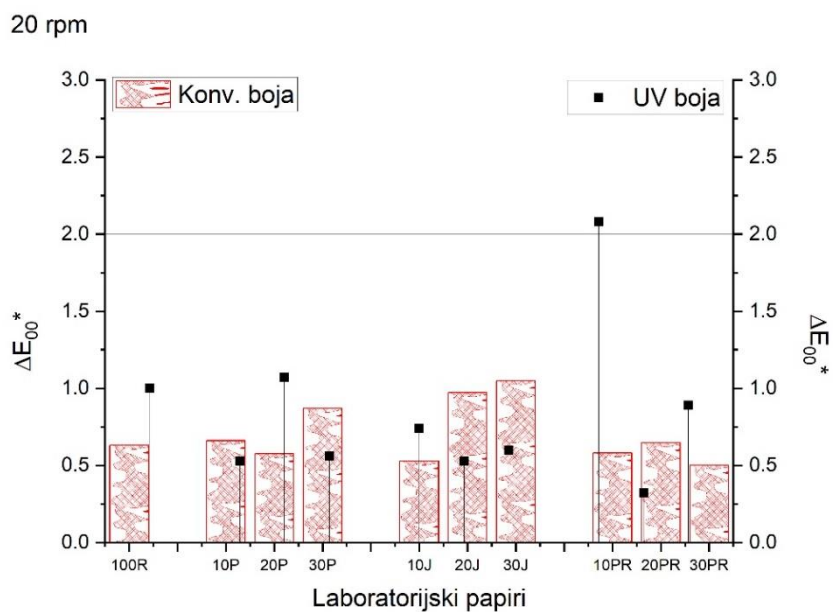
Slika 93. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



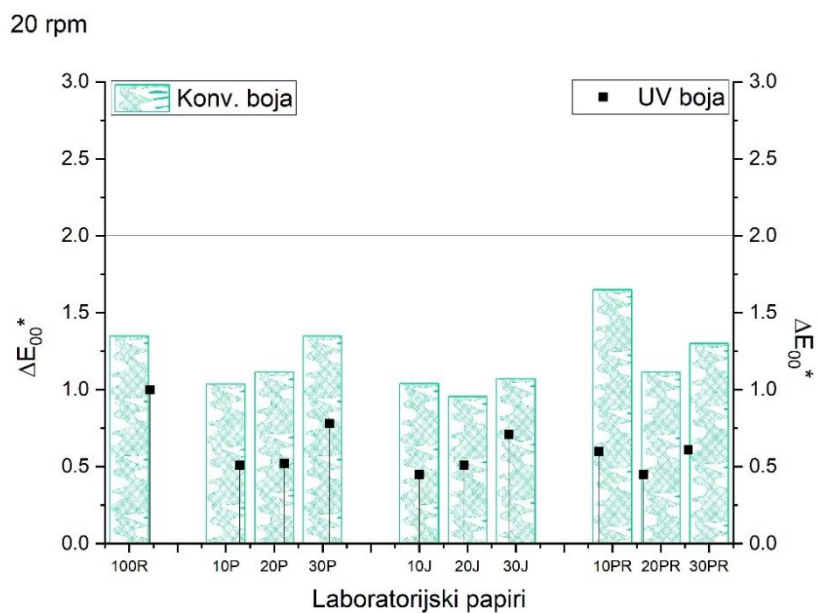
Slika 94. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



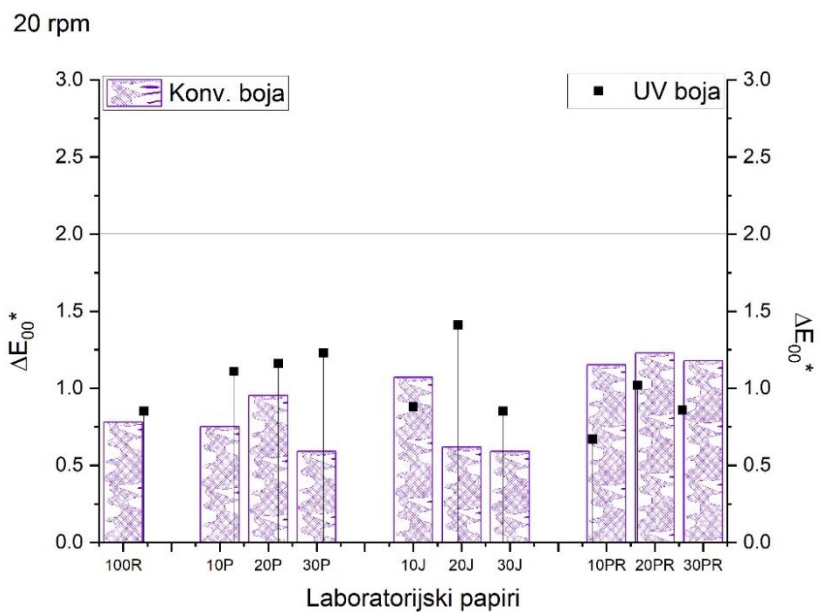
Slika 95. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



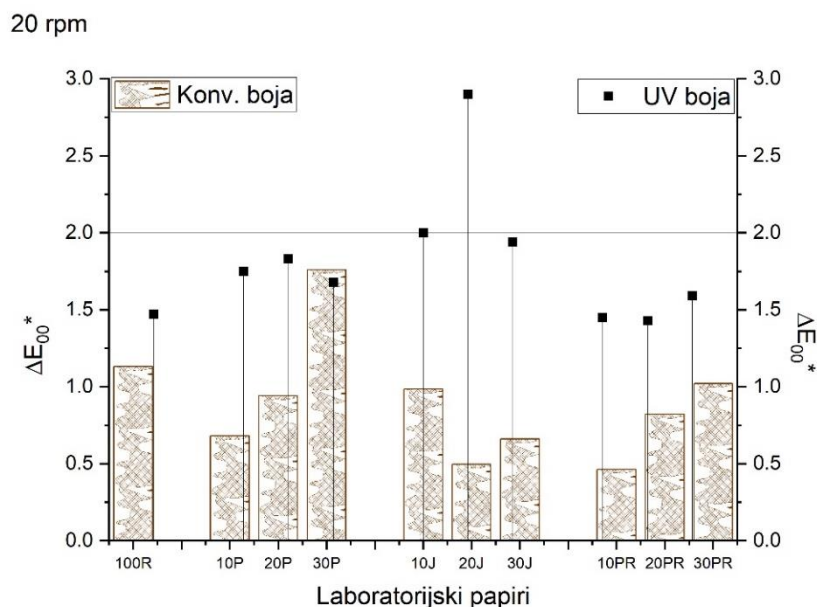
Slika 96. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



Slika 97. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



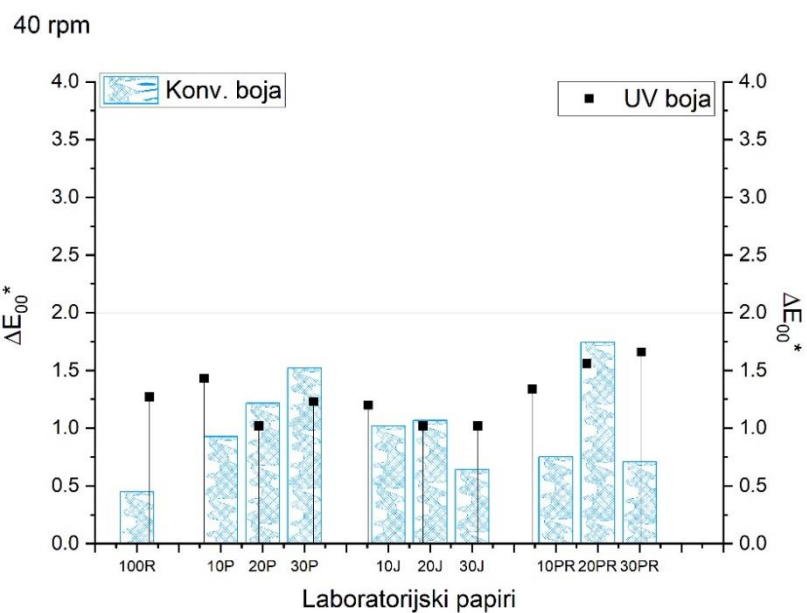
Slika 98. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.



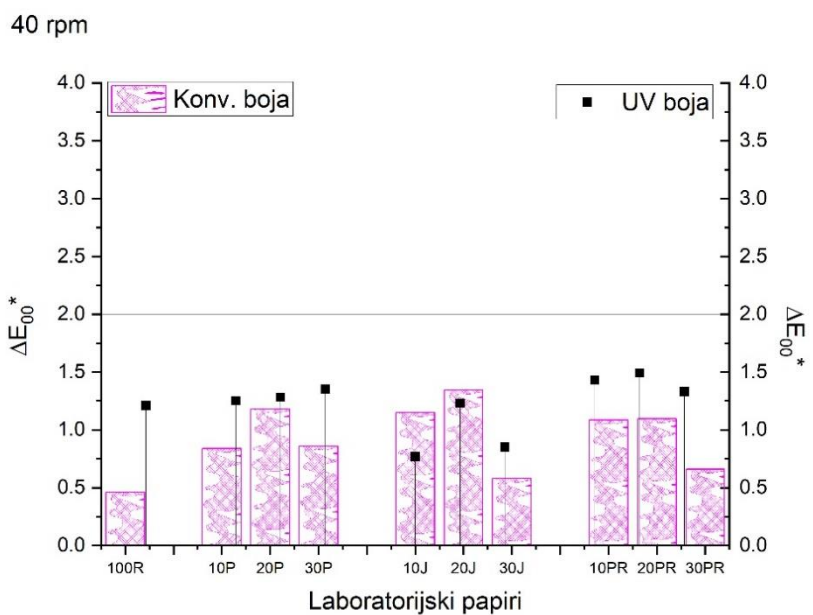
Slika 99. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.

#### 4.2.3.2. Broj okretaja: 40 okretaja u minuti

Vrijednosti euklidske razlike u obojenju na laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju kako su svi otisci stabilni nakon djelovanja pritiska s brojem okretaja od 40 rpm. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama također uglavnom imaju niske vrijednosti euklidske razlike, osim laboratorijskih papira s dodatkom 10 %, 20 % i 30 % pulpe slame pšenice (10 P, 20 P, 30 P), 10 % i 20 % pulpe slame ječma (10 J, 20 J) te 10 % pulpe slame pšenoraži (10 PR) otisnutih žutom, cijanom i magentom (slika 107.) ( $\Delta E_{00}^*_{30 Pmax} = 3,76$ ) [28].

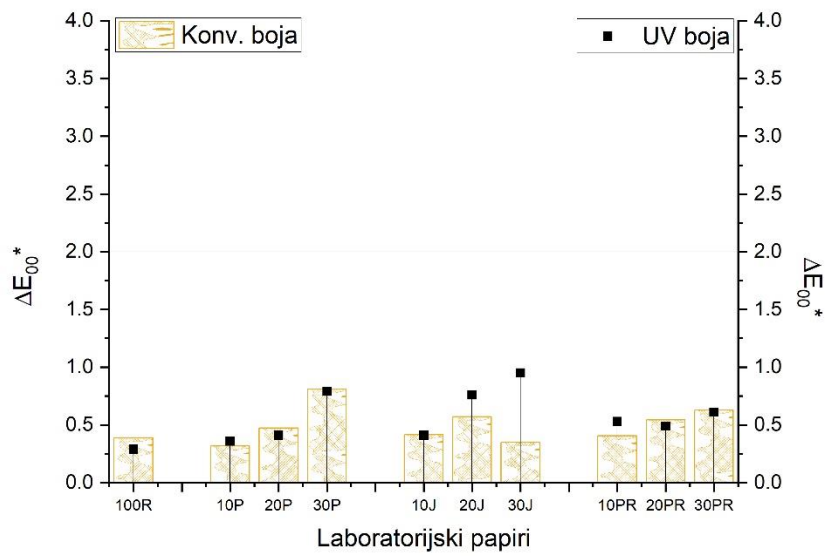


Slika 100. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.



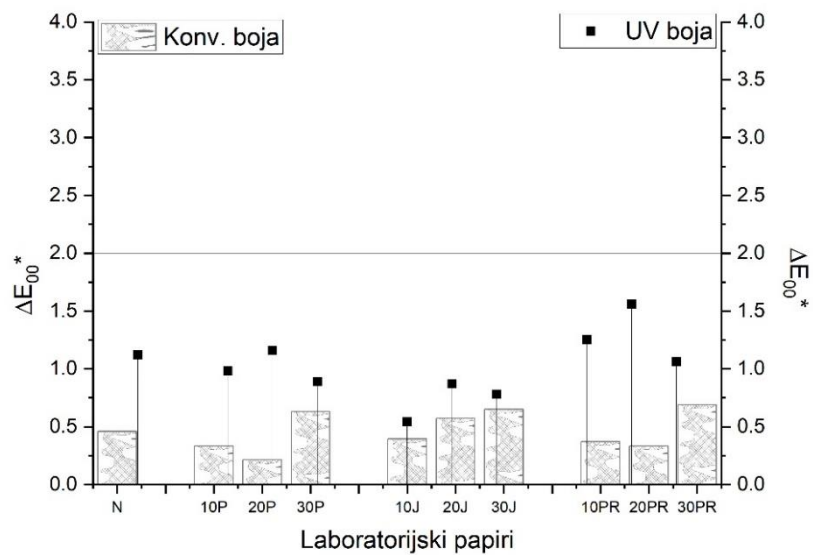
Slika 101. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.

40 rpm



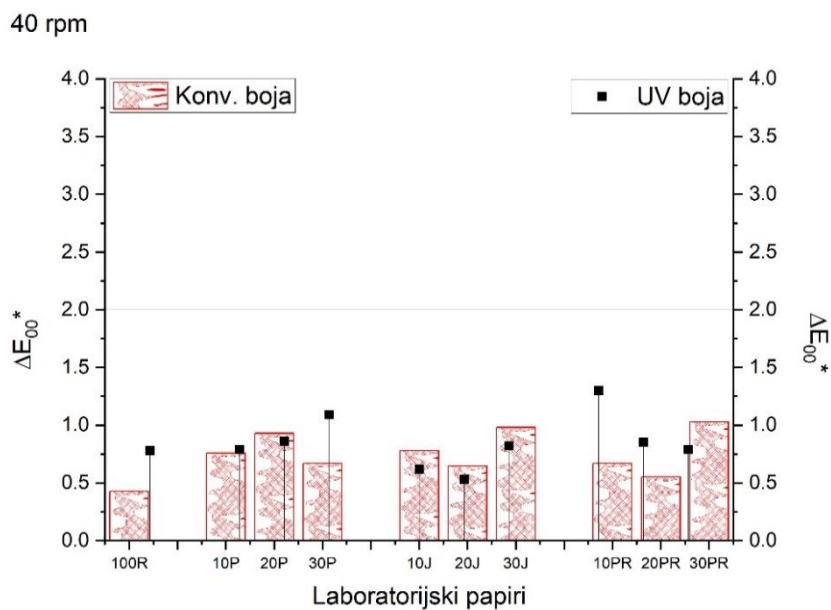
Slika 102. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.

40 rpm

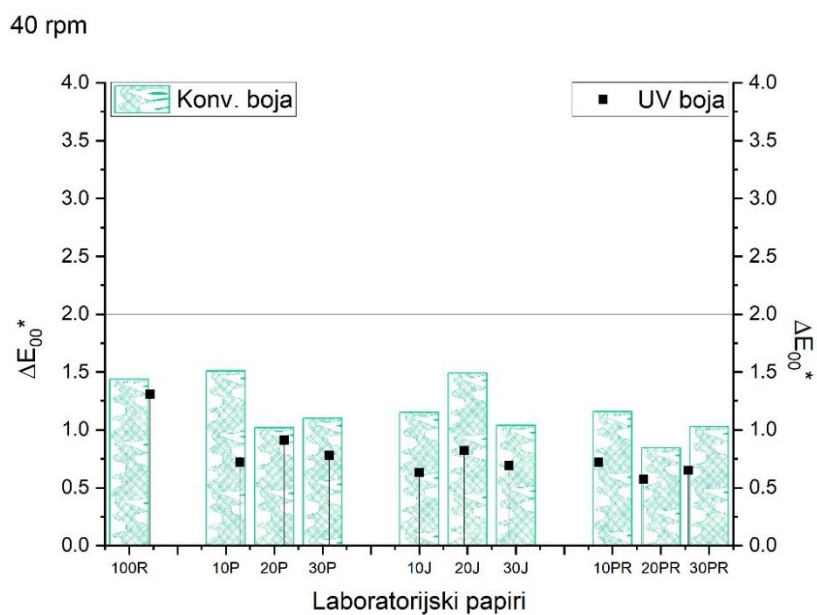


Slika 103. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.

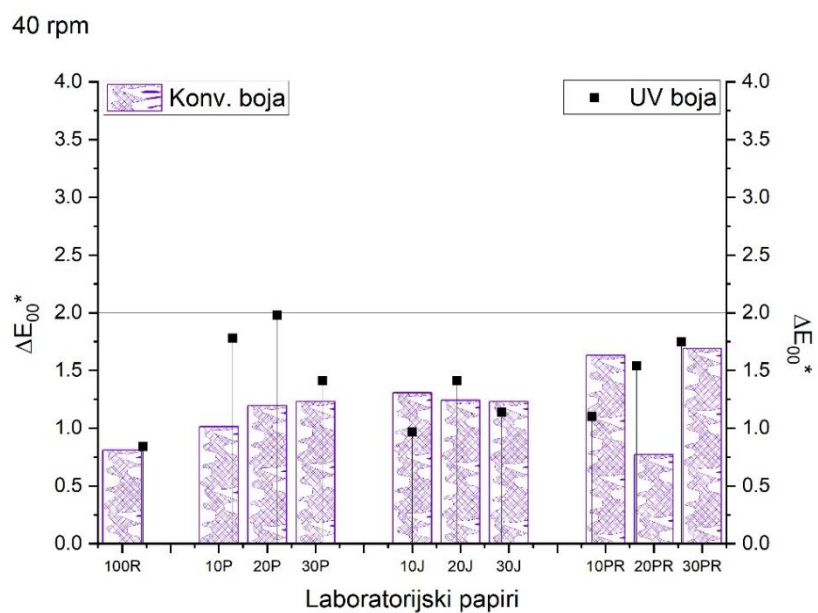




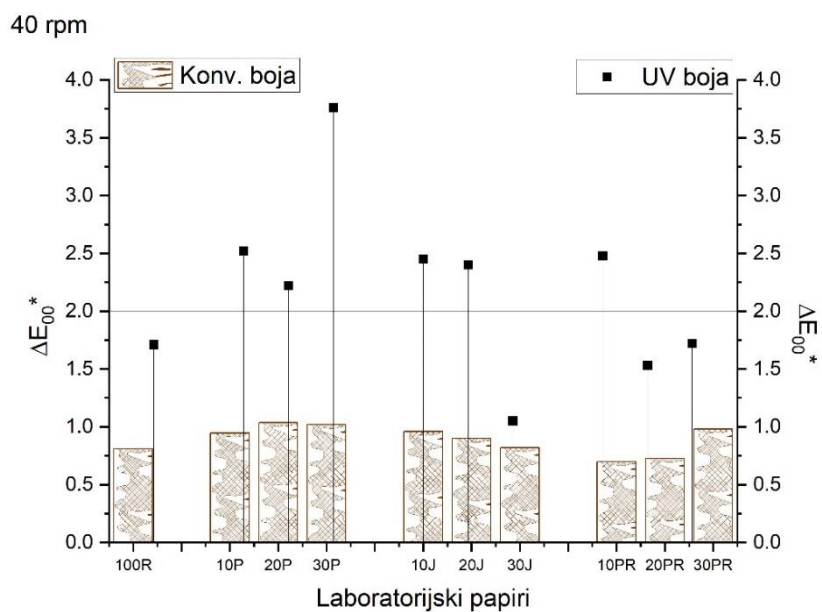
Slika 104. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.



Slika 105. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.



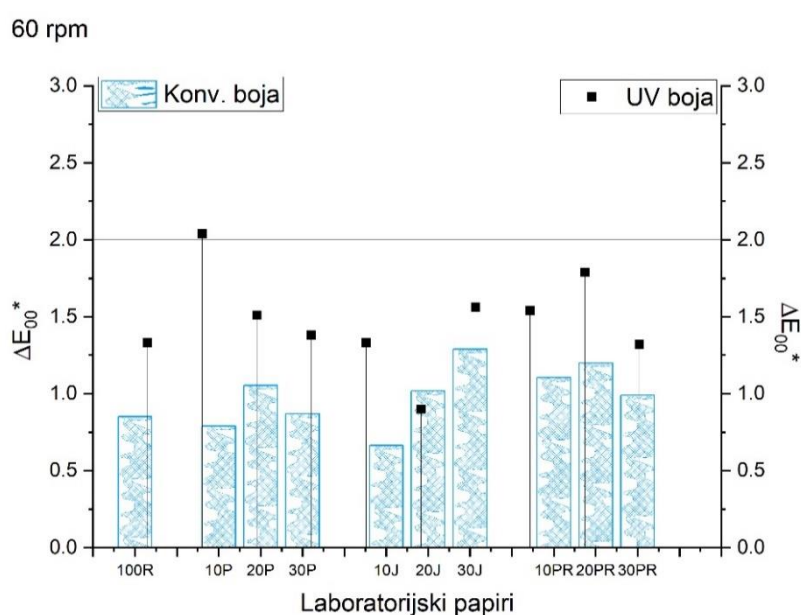
Slika 106. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.



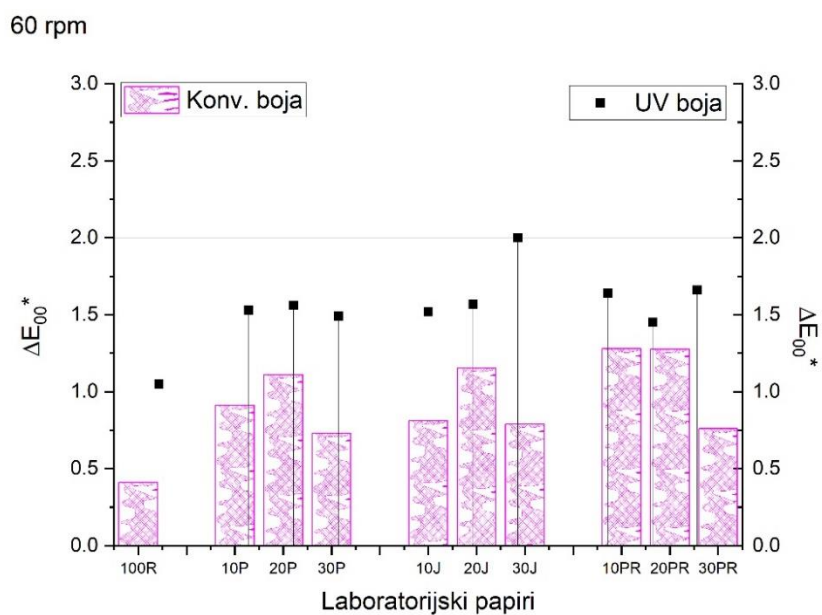
Slika 107. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.

#### 4.2.3.3. Broj okretaja: 60 okretaja u minuti

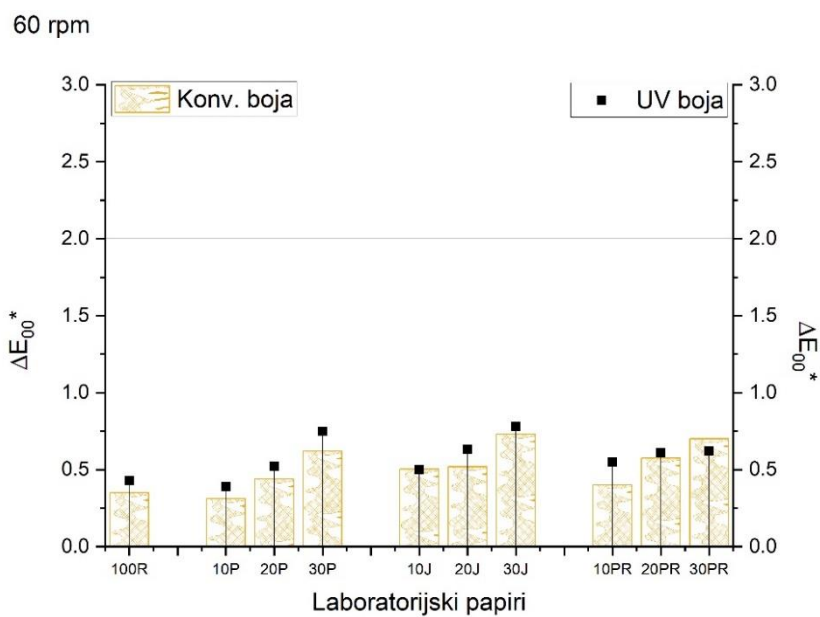
Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju kako su svi otisci stabilni nakon djelovanja pritiska s brojem okretaja od 60 rpm jer svi imaju vrijednosti  $\Delta E_{00}^*$  ispod referentne linije. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama također uglavnom imaju niske vrijednosti  $\Delta E_{00}^*$ , unutar preporučenih, osim laboratorijskog papira s dodatkom 20 % pulpe slame pšenoraži (20 PR) otisnutog cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{20 PR} = 2,27$ ) (slika 114.) i laboratorijskog papira s dodatkom 10 % pulpe slame ječma (10 J) otisnutog žutom, cijanom i magentom ( $\Delta E_{00}^*_{10 J} = 2,48$ ) (slika 115.) [28].



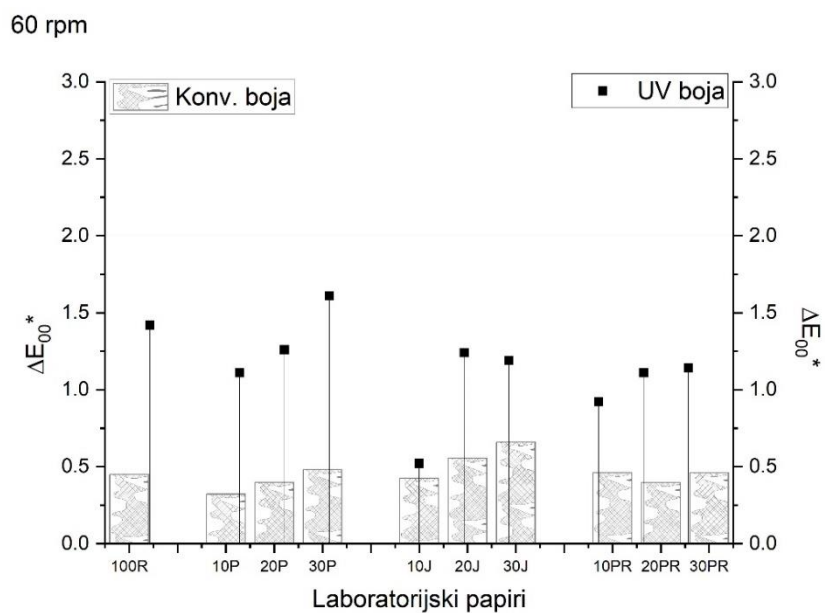
Slika 108. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.



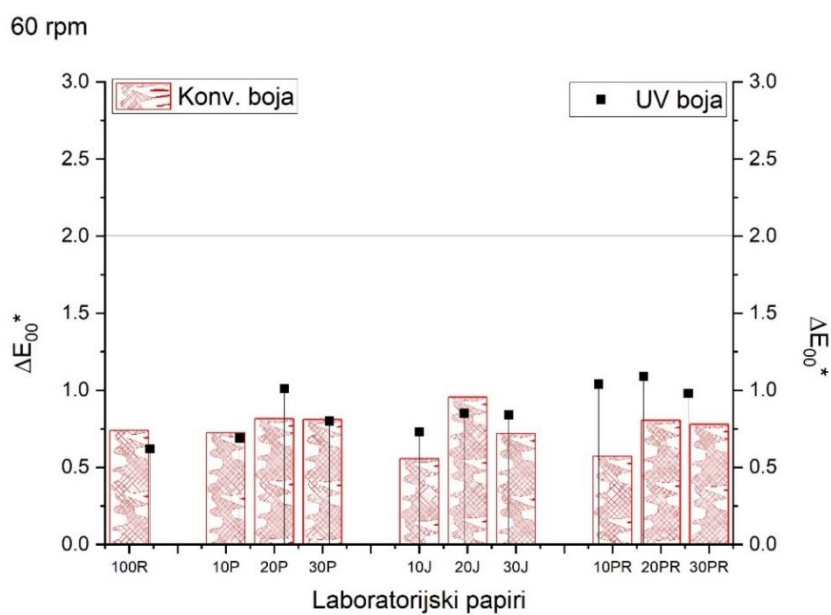
Slika 109. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.



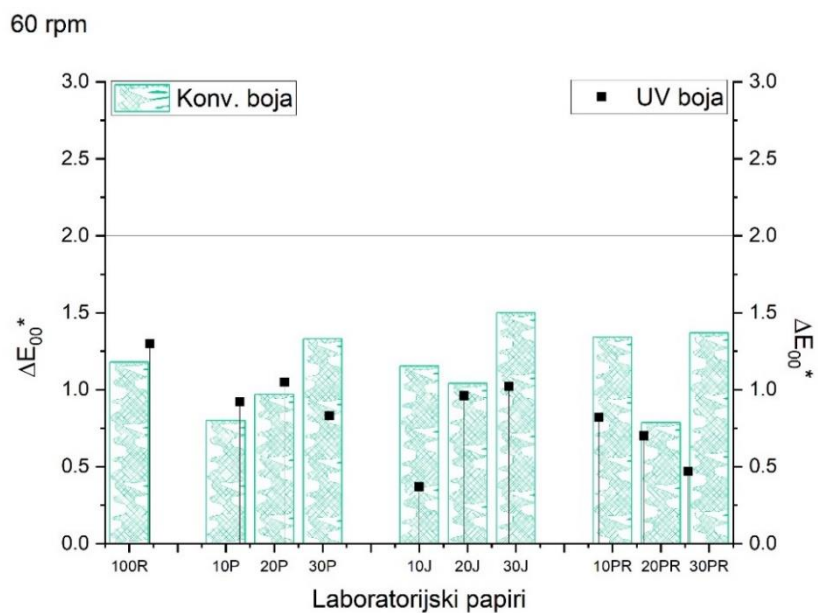
Slika 110. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.



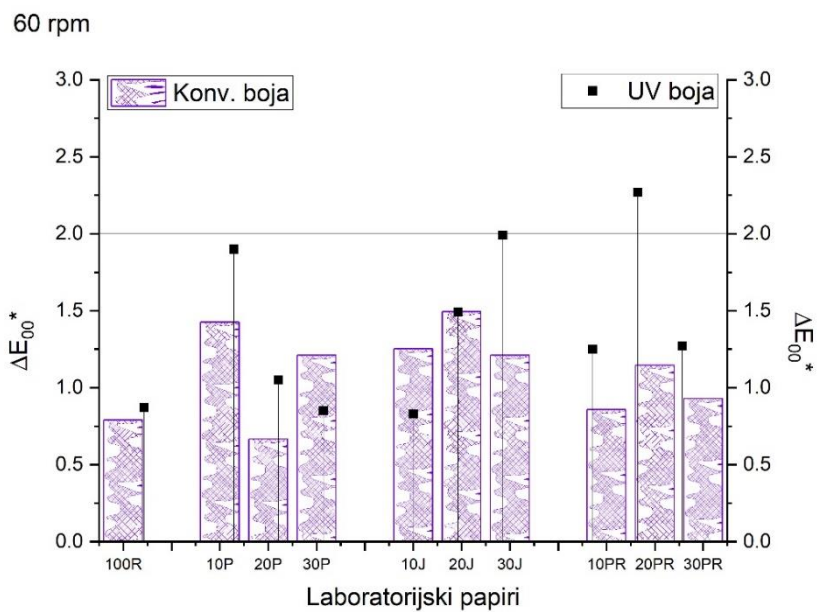
Slika 111. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.



Slika 112. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.

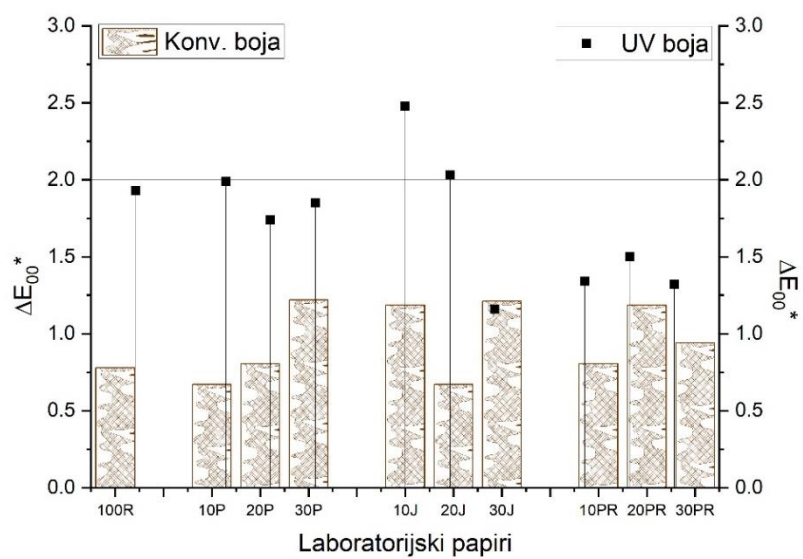


Slika 113. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.



Slika 114. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.

60 rpm



Slika 115. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.

# 5. ZAKLJUČAK

## 5.1. UKUPNA KVALITETA OTISAKA

Izmjerene spektrofotometrijske  $L^*a^*b^*$  vrijednosti, kako među neotisnutim tako i među otisnutim laboratorijskim uzorcima papira, pokazuju male razlike, što je i očekivano budući da se u laboratorijskim papirima nalaze nebijeljena primarna vlakanca slame žitarica u malim masenim udjelima.

Na temelju vrijednosti integralne gustoće obojenja može se zaključiti kako su dobiveni isti ili vrlo slični nanosi boje na svim laboratorijskim papirima kao tiskovnim podlogama neovisno o njihovom sastavu. Nešto veće vrijednosti su dobivene kod UV boja cijana i magente u odnosu na konvencionalne boje na bazi vode, dok je za žutu i crnu obrnuto.

Zrnatost punog tona otisaka na svim laboratorijskim papirima je podjednaka, no vrijednosti su nešto veće na podlogama otisnutima UV bojama, dok su vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona gotovo identične na svim laboratorijskim podlogama, neovisno o sastavu tiskovne podloge i vrsti fleksografske boje.

Na temelju analize vrijednosti primanja boje na boju vidljivo je da je njezina vrijednost na laboratorijskim papirima s dodatkom pulpe slame nešto umanjena u odnosu na referentni uzorak, što je očekivano budući da su papiri proizvedeni laboratorijski te su izostavljene završne faze, koje se obično provode u komercijalnoj izradi papira. Najviše vrijednosti su zabilježene na višebojnim podlogama otisnutima žutom i cijan (Y + C) konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom.

Vrijednosti ukupne količine boje (podtona) na laboratorijskim papirima su nešto veće od prihvatljivih, pogotovo kod laboratorijskih papira otisnutih UV bojama, pri čemu se ističu visoke vrijednosti kod višebojnog tiska dvjema ili trima bojama.

Penetracija boje u tiskovnu podlogu podjednaka je kod laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama te kod nijednog uzorka nije došlo do potpune penetracije boje.



## 5.2. UKUPNA STABILNOST OTISAKA

### 5.2.1. Stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost

#### *Nakon 48 sati djelovanja povišene temperature i UV svjetlosti*

Svi otisci na laboratorijskim papirima, jednobojni i višebojni, dobiveni konvencionalnom bojom na bazi vode pokazuju izvrsnu optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja povišenoj temperaturi i UV svjetlosti u periodu od 48 sati. Sve su vrijednosti euklidske razlike ispod  $\Delta E_{00}^* \leq 2$ , što je u skladu s preporukama struke.

Dok otisci na laboratorijskim papirima dobiveni UV bojama magentom i žutom te višebojni otisci dobiveni UV bojama žutom i magentom te žutom i cijanom pokazuju vrlo dobru stabilnost, laboratorijski papiri otisnuti crnom bojom nisu pokazali zadovoljavajuću optičku stabilnost reprodukcije, kao ni dio laboratorijskih papira otisnutih cijanom. Među njima su iznimka svi laboratorijski papiri s dodatkom pulpe pšenoraži, te laboratorijski papiri s dodatkom 20 % i 30 % pulpe slame ječma. Višebojno otisnuti laboratorijski papiri otisnuti UV žutom, cijanom i magentom (Y + C + M), te svi laboratorijski papiri višebojno otisnuti UV bojama cijanom i magentom (izuzevši laboratorijske papire s dodatkom od 10 % pulpe slame pšenice) nemaju zadovoljavajuću stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost nakon perioda izlaganja od 48 sati.

#### *Nakon 96 sati djelovanja povišene temperature i UV svjetlosti*

Nakon podvrgavanja otisnutih laboratorijskih papira povišenoj temperaturi i UV svjetlosti može se zaključiti kako svi jednobojni i višebojni otisci dobiveni otiskivanjem laboratorijskih papira konvencionalnim bojama na bazi vode imaju vrlo dobru stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost, čak i u dvostruko duljem vremenskom intervalu. Iznimka su višebojni otisci dobiveni žutom i cijanom, pri čemu su uglavnom sve vrijednosti  $\Delta E_{00}^*$  iznad preporučene vrijednosti.

Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama s dobrom optičkom stabilnošću reprodukcije su jednobojni otisci magente i žute te višebojni otisci žute i magente (Y + M). Laboratorijski papiri otisnuti crnom UV bojom te višebojni otisci dobiveni UV bojama cijanom i magentom (C + M) te žutom, cijanom i magentom (Y + C + M) imaju lošiju stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost.

### 5.2.2. Stabilnost na djelovanje raznih kemijskih agensa

Promatrajući vrijednosti euklidske razlike na otiscima nakon izlaganja raznim kemijskim agensima može se zaključiti sljedeće:

#### *Voda*

Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju dobru optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja vodi, dok kod laboratorijskih papira otisnutih UV bojama najbolju stabilnost pokazuju jednobojni otisci žute i crne te višebojni otisci žute i magente (Y + M) te žute i cijana (Y + C).

#### *Natrijeva lužina*

Nakon izlaganja svih otisnutih laboratorijskih papira natrijevoj lužini može se zaključiti kako jednobojni žuti i crni otisci dobiveni konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom imaju najbolju optičku stabilnost reprodukcije, odnosno otpornost na natrijevu lužinu.

#### *Octena kiselina*

Većina laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama pokazuje dobru stabilnost na octenu kiselinu, izuzevši laboratorijske papire otisnute UV bojom cijan te višebojne otiske dobivene žutom, cijanom i magentom (Y + C + M). U slučaju laboratorijskih papira otisnutih UV bojama cijan i magenta (C + M) nestabilnost je vidljiva samo na laboratorijskom papiru s dodatkom 30 % pšenice.

#### *Limunska kiselina*

Rezultati analize otisaka nakon izlaganja limunskoj kiselini pokazuju kako gotovo svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode imaju dobru stabilnost na limunsku kiselinu, što ne uključuje laboratorijske papire s 10 % i 20 % pulpe slame svih žitarica otisnute u dva nanosa cijana i magente (C + M) te laboratorijske papire s 10 % i 20 % pulpe slame pšenice te 20 % pulpe slame ječma otisnute u tri nanosa žutom, cijanom i magentom (Y + C + M). Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama s najboljom optičkom stabilnošću reprodukcije su jednobojni žuti i crni otisci te višebojni otisci žute i cijana (Y + C).

### *Etanol*

Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode, jednobojni te gotovo svi višebojni (osim višebojnog otiska u tri nanosa žutom, cijanom i magentom (Y + C + M) na laboratorijskim papirima s 30 % pulpe pšenice i ječma) imaju izvrsnu optičku stabilnost reprodukcije nakon izlaganja etanolu. Uzorci otisnuti UV bojama pokazuju različite rezultate, pri čemu su jednobojni otisci magente, crne i žute te višebojni otisci žute i magente (Y + M) pokazali vrlo dobru stabilnost na etanol, dok su jednobojni otisci cijana te višebojni otisci žute i cijana (Y + C) te žute, cijana i magente (Y + C + M) pokazali manju stabilnost prema etanolu.

### *Sojino ulje*

Većinom svi laboratorijski papiri otisnuti UV bojama pokazuju dobru stabilnost na sojino ulje, uz mala odstupanja kod višebojnih otisaka na papirima s 30 % pulpe slame pšenice otisnutima cijanom i magentom (C + M) te s 20 % pulpe slame ječma i 20% pulpe slame pšenoraži otisnutima žutom, cijanom i magentom (Y + C + M). Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju slabu stabilnost na sojino ulje, pri čemu su najveću stabilnost pokazali laboratorijski papiri s dodatkom 30 % pulpe slame svih žitarica.

### 5.2.3. Stabilnost na pritisak

Rezultati nakon testiranja otisaka na pritisak pokazali su kako su većinom svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim i UV bojama stabilni prema otiranju nakon 20, 40 i 60 rotacija po minuti. Odkakanje od preporučene vrijednosti, odnosno manja optička stabilnost reprodukcije, vidljiva je samo kod otisaka u tri nanosa žutom, cijanom i magentom (Y + C + M), konvencionalnim i UV bojama, u slučaju svakog broja okretaja.

### 5.3. HIPOTEZE

**H1: Na laboratorijskim papirima s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma i pšenoraži fleksografskom tehnikom tiska omogućit će se jednaka kvaliteta reprodukcije jednobojnih i višebojnih boja u odnosu na otiske na papiru od reciklirane drvene pulpe.**

Na temelju kvalitativne analize može se zaključiti kako je na laboratorijskim papirima s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma i pšenoraži fleksografskom tehnikom tiska s obje vrste boja dobivena zadovoljavajuća kvaliteta jednobojnih i višebojnih reprodukcija. Preporuka je da se izradi papir veće gramature kako bi se postigle manje vrijednosti euklidske razlike podtona te se smanjila penetracija boje u tiskovnu podlogu i da se uvedu završne faze obrade površine papira.

**H2: Fleksografski otisci na laboratorijskim papirima s pulpom slame žitarica imat će optimalnu optičku stabilnost pri kontroliranoj povišenoj temperaturi i UV zračenju, kao i pri djelovanju mehaničkog pritiska i raznih kemijskih agensa.**

Fleksografski otisci na laboratorijskim papirima s pulpom slame žitarica otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode imaju vrlo dobru optičku stabilnost reprodukcije nakon utjecaja povišene temperature i UV zračenja u periodu od 48 sati, dok daljnji utjecaj do 96 sati dovodi do kolorimetrijskih promjena koje nisu optimalne na višebojnim otiscima dobivenima cijanom i žutom bojom.

Također, većina laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode ima optimalnu kemijsku stabilnost, dok je smanjena optička stabilnost uzorkovana natrijevom lužinom u slučaju svih tiskovnih podloga i otisnutih boja. Najveću kemijsku stabilnost su pokazali laboratorijski papiri otisnuti žutom i crnom konvencionalnom bojom na bazi vode, dok su svi otisci pokazali lošu stabilnost na sojino ulje. Otisci su također pokazali izvrsnu stabilnost, odnosno otpornost na mehanički pritisak, osim laboratorijskih papira otisnutih s tri nanosa boje.

Otisci na laboratorijskim papirima s pulpom slame žitarica otisnuti UV bojama pokazuju veću nestabilnost u odnosu na otiske s konvencionalnim bojama na bazi vode. Utjecaj povišene temperature i UV zračenja nakon 48 i 96 sati ukazuje na optički najstabilnije jednobojne otiske na laboratorijskim papirima otisnutima magentom te žutom bojom.

Nakon izlaganja raznim kemijskim agensima može se zaključiti kako su kemijski najstabilniji laboratorijski papiri otisnuti UV žutom i UV crnom bojom na djelovanje svih kemijskih agensa, osim nakon izlaganja otisaka sojinom ulju, pri čemu su svi otisci pokazali zadovoljavajuću stabilnost, osim laboratorijskih papira otisnutih u tri nanosa boje. Također, laboratorijski papiri otisnuti trima nanosima boje pokazali su slabiju otpornost na otiranje, dok su laboratorijski papiri sa svim ostalim bojama pokazali izvrsnu mehaničku stabilnost nakon izlaganja otisaka pritisku.

**H3: Laboratorijski papiri s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma i pšenoraži podjednako su prikladni za otiskivanje bojama koje se suše UV zračenjem kao i konvencionalnim bojama na bazi vode.**

Laboratorijski papiri s dodatkom pulpe slame svih žitarica nisu podjednako dobri za otiskivanje UV bojama i konvencionalnim bojama na bazi vode. Svaka boja na laboratorijskim papirima s dodatkom pulpe slame svih žitarica pokazuje prednosti ili nedostatke u raznim situacijama. Jednako je, naravno, i kod komercijalnih papira koji se upotrebljavaju u industriji za proizvodnju raznih grafičkih proizvoda. Važno je znati koja će se boja otiskivati na koji papir kako bi svrha krajnjeg proizvoda bila ispunjena. S obzirom na to da većina laboratorijskih papira s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma ili pšenoraži otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode ima dobru otpornost na povišenu temperaturu, kemijske agense i pritisak, uz dodatnu doradu površine te povećanje gramature takvi novonastali papiri s dodatkom nedrvenih vlakana mogli bi se upotrebljavati u razne svrhe: za određenu vrstu prehrambene ambalaže koja ne sadrži ulja ili alkalne proizvode, duhansku ambalažu, papirnate vrećice, vrećice, fascikle, uredski papir, knjige i razne publikacije. Laboratorijski papiri s dodatkom pulpe slame svih žitarica otisnuti UV bojama pokazali su najbolju stabilnost u slučaju otiskivanja žutom i crnom bojom te izvrsnu mehaničku stabilnost. Iako se ne preporučuju za uporabu kao primarna prehrambena ambalaža, mogli bi se upotrebljavati za tisak raznih publikacija i etiketa.

Slama žitarica kao ekološki prihvatljivija sirovina za proizvodnju pulpe i papira, racionalnijom uporabom kao izvor primarnih vlakana u pulpi za proizvodnju recikliranog papira mogla bi se iskoristiti i za tiskovne podloge namijenjene otiskivanju konvencionalnim fleksografskim bojama na bazi vode.

## 6. LITERATURA

- [1] S. Horvatić, *Fleksotisak tisak ambalaže*. Zagreb: Markulin, 2011.
- [2] G. Cusdin, “Flexography: Principles and practices,” 1999. [Online]. Dostupno na: <http://www.fta-ffta.org>
- [3] H. Kipphan, *Handbook of Print Media*. Berlin: Springer, 2001.
- [4] “Održivi razvoj, Leksikon održivog razvoja, Društveno odgovorno poslovanje u Hrvatskoj”, 2010. <http://www.dop.hr/?p=700> (pristupljeno 17. 2. 2022.).
- [5] Hrvatska banka za obnovu i razvitak, „Zaštita okoliša i održivi razvoj, Održivo korištenje prirodnih resursa.” <https://www.hbor.hr/tema/zastita-okolisa-odrzivi-razvoj/> (pristupljeno 17. 5. 2020.).
- [6] Agencija za odgoj i obrazovanje, *Obrazovanje za održivi razvoj*. Zagreb, 2011. Pristupljeno: 6. 4. 2020. [Online]. Dostupno na: <https://www.azoo.hr/>
- [7] European Commission, “European semester thematic factsheet resource efficiency,” Nov. 13, 2017. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-semester\\_thematic-factsheet\\_resource-efficiency\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-semester_thematic-factsheet_resource-efficiency_en_0.pdf) (pristupljeno 23. 1. 2020).
- [8] I. Plazonić, „Slama žitarica kao alternativni izvor vlakanaca u izradi papira za novinski tisak”, Doktorski rad, 2014.
- [9] A. Ashori, “Nonwood fibers - A potential source of raw material in papermaking,” *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, vol. 45, no. 10, pp. 1133–1136, 2006, doi: 10.1080/03602550600728976.
- [10] Z. Liu, H. Wang, and L. Hui, “Pulping and Papermaking of Non-Wood Fibers,” *IntechOpen*, Oct. 2018, doi: 10.5772/intechopen.79017.
- [11] T. Fagbemigun, O. Fagbemi, F. Buhari, E. Mgbachiuo, and C. Igwe, “Fibre Characteristics and Strength Properties of Nigerian Pineapple Leaf (*Ananas cosmosus*), Banana Peduncle and Banana Leaf (*Musa sapientum*) – Potential Green Resources for Pulp and Paper Production,” *J Sci Res Rep*, vol. 12, no. 2, pp. 1–13, Jan. 2016, doi: 10.9734/jsrr/2016/29248.
- [12] L. Sheng, H. Emmclan, M. H. Zakaria, and J. S. Bujang, “Utilization of Aquatic Weeds Fibers for Handmade Papermaking,” *Bioresources*, vol. 13, no. 3, pp. 5684–5701, doi: 10.15376/biores.13.3.5684-5701.
- [13] G. Lavrič, T. Pleša, A. Mendizza, M. Ropret, I. Karlovits, and D. Gregor-Sveteč, “Printability characteristics of paper made from a japanese knotweed,” in *Proceedings of 9th International Symposium on Graphic Engineering and Design*, Nov. 2018, pp. 99–102. doi: 10.24867/GRID-2018-p11.
- [14] I. Plazonić, I. Bates, and Ž. Barbarić-Mikočević, “The Effect of Straw Fibers in Printing Papers on Dot Reproduction Attributes,” *Bioresources*, vol. 11, no. 2, pp. 5033–5049, 2016, Pristupljeno: Feb. 17, 2020. [Online]. Dostupno na: [https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes\\_11/BioRes\\_11\\_2\\_5033\\_Plazonic\\_B\\_M\\_Effect\\_Straw\\_Fibers\\_Printing\\_Substrate\\_Dot\\_Reprod\\_Attributes\\_8687.pdf](https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_11/BioRes_11_2_5033_Plazonic_B_M_Effect_Straw_Fibers_Printing_Substrate_Dot_Reprod_Attributes_8687.pdf)
- [15] I. Bates, I. Plazonić, V. Radić Seleš, and Ž. Barbarić-Mikočević, “Determining the quality of paper substrates containing triticale pulp for printing industry,” *Nord Pulp Paper Res J*, Apr. 2020.
- [16] V. Radić Seleš, I. Bates, I. Plazonić, M. Rudolf, K. Petric Maretić, and V. Džimbeg-Malčić, “Optical stability of laboratory papers with wheat pulp printed by digital technique after artificial ageing,” in *Proceedings of 3rd International printing technologies symposium Istanbul Turkey*, 2019, pp. 195–202.

- Pristupljeno: 21. 2. 2022. [Online]. Dostupno na: [http://zaklada.grf.hr/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/Printistanbul\\_Bildiri\\_Kitabi\\_2019\\_Sep.pdf](http://zaklada.grf.hr/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/Printistanbul_Bildiri_Kitabi_2019_Sep.pdf)
- [17] I. Bates, I. Plazonić, K. Petric Maretić, M. Rudolf, and V. Radić Seleš, "Measurement Of The Ink Penetration Into Laboratory Papers With Wheat Pulp And Its Influence On Print Quality," in *Proceedings of 3rd International Printing Technologies Symposium Istanbul Turkey*, 2019, pp. 287–295. Pristupljeno: 19. 2. 2022. [Online]. Dostupno na: [http://zaklada.grf.hr/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/Printistanbul\\_Bildiri\\_Kitabi\\_2019\\_Sep.pdf](http://zaklada.grf.hr/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/Printistanbul_Bildiri_Kitabi_2019_Sep.pdf)
- [18] D. Hunter, *Papermaking, The history and technique of an ancient craft*. New York: Dover publications, INC, 1978.
- [19] M. Rešetar, *Papir: Proizvodnja, svojstva, primjena*. Osijek: Društvo grafičkih inženjera i tehničara Osječko-baranjske županije, 2001.
- [20] H. Holik, *Handbook of Paper and Board*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KgaA, 2006.
- [21] G. A. Smook, *Handbook for Pulp & Paper Technologists*, Third edition. Vancouver/Bellingham: Agnus Wilde Publications Inc., 2002.
- [22] F. Kljajić, *Tehnologija celuloze i drvenjače*, Prvo izdanje. Zagreb: Školska knjiga, 1984.
- [23] B. Thompson, *Printing Materials: Science and Technology*, 2nd edition. UK: Pira International, 2004.
- [24] S. enciklopedija Wikipedija, „Celuloza”, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Celuloza#/media/Datoteka:Cellulose\\_Sessel.svg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Celuloza#/media/Datoteka:Cellulose_Sessel.svg).
- [25] S. Horvatić, *Grafika papiri i kartoni 1*. Zagreb: Grafička škola u Zagrebu, 2009.
- [26] S. E. Wikipedija, „Hemiceluloza”, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hemiceluloza#/media/Datoteka:Hemicellulose.png>.
- [27] I. Plazonić, Ž. Barbarić-Mikočević, and A. Antonović, "Chemical Composition of Straw as an Alternative Material to Wood Raw Material in Fibre Isolation," *Drvna Industrija*, vol. 67, no. 2, pp. 119–125, Jun. 2016, doi: 10.5552/drind.2016.1446.
- [28] V. Radić Seleš, I. Bates, I. Plazonić, M. Rudolf, and I. Zjakić, "Chemical and mechanical print stability of substrates containing alternative non-wood fibres," *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 56, no. 3–4, 2022.
- [29] V. Radić Seleš, I. Bates, I. Plazonić, and I. Majnarić, "Analysis of optical properties of laboratory papers made from straw pulp and coated with titanium dioxide white ink," 2020.
- [30] European Paper Recycling Council, "The Recycling Process," 2022.
- [31] R. M. Christie, *Colour Chemistry*. UK: The Royal Society of Chemistry, 2001.
- [32] Ancient Origins, "Egyptian Blue-Oldest artificial pigment ever produced," <https://www.ancient-origins.net/ancient-technology/egyptian-blue-oldest-artificial-pigment-ever-produced-001745>.
- [33] H. J. Wolfe, *Printing and Litho Inks*, 6th Edition. New York: Macnair-Dorland Company, 1967.
- [34] NIIR Board, *The Complete Technology Book on Printing Inks*. India: Asia Pacific Business Press Inc., 2003.
- [35] R. E. Todd, *Printing Inks, Formulation principles, manufacture and quality control testing procedures*. UK: Pira International, 1994.
- [36] N. R. Eldred, *What the printer should know about ink*, Third edition. Pittsburgh: GATFPRESS, 2001.

- [37] R. Ragni, “Why are water-based inks increasingly used in flexographic printing?,” 2020. <https://www.acelli.it/en/blog/why-are-water-based-colors-increasingly-used-in-flexographic-printing> (pristupljeno Oct. 17, 2021).
- [38] R. H. Leach, R. J. Pierce, E. P. Hickman, M. J. Mackenzie, and H. G. Smith, *The Printing Ink Manual*, Fifth Edition. Netherlands, 1993.
- [39] J. M. Adams and P. A. Dolin, *Printing Technology*, Fifth Edition. New York: Delmar Cengage Learning, 2002.
- [40] I. Bates, „Studija specifičnih parametara reprodukcije fleksografskog tiska”, Doktorski rad, 2013.
- [41] S. enciklopedija Wikipedia, „Princip rada fleksotiska.” <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fleksotisak#/media/Datoteka:Fleksotisak.svg> (pristupljeno Feb. 24, 2022).
- [42] Dhiman Metallizers, “Anilox Roller, For Printing Industry.” <https://www.indiamart.com/proddetail/anilox-roller-20397667948.html> (pristupljeno Mar. 19, 2022).
- [43] Vosprofil, “Guide on Ways to Mantain a Flexo Printing Plate.” <https://vosprofil.com/guide-on-ways-to-maintain-a-flexo-printing-plate/> (pristupljeno Apr. 05, 2022).
- [44] XRite, “Tolerancing in Flexo and Offset Printing.” <https://www.xrite.com/pt-pt/blog/tolerancing-in-flexo-and-offset-printing> (pristupljeno Oct. 18, 2021).
- [45] I. Bates, I. Plazonić, K. Petric Maretić, M. Rudolf, and V. Radić Seleš, “Assessment of the UV inkjet ink penetration into laboratory papers within triticale pulp and its influence on print quality,” *Coloration Technology*, vol. 138, no. 1, 2022, doi: 10.1111/cote.12563.
- [46] The American Society for Testing & Materials, “ASTM D 6789-02, Test Method for Accelerated Light Aging of Printing and Writing Paper by Xenon-Arc Exposure Apparatus .” 2002.
- [47] B. Havlínová, D. Babiaková, V. Brezová, M. Ďurovič, M. Novotná, and F. Belányi, “The stability of offset inks on paper upon ageing,” *Dyes and Pigments*, vol. 54, no. 2, pp. 173–188, Aug. 2002, doi: 10.1016/S0143-7208(02)00045-1.
- [48] N. Pauler, *Paper Optics- Optical and colour science related to the pulp an paper industry*. Sweden: AB Lorentzen & Wettre, 2012.
- [49] MJ. Kirwan, *Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology*. John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [50] A. Ozcan, A. Tozluoglu, E. Arman Kandirmaz, A. Tutus, and H. Fidan, “Printability of variative nanocellulose derived papers,” *Cellulose*, vol. 28, no. 8, pp. 5019–5031, May 2021, doi: 10.1007/s10570-021-03861-3.
- [51] BSI Group, “BS 3110:1959, Methods for measuring the rub resistance of print.” 1959.
- [52] ISO Std 2836, “Graphic technology, Prints and printing inks, Assessment of resistance of prints to various agents,” 2004.
- [53] ISO, “Pulps- Preparation of laboratory sheets for physical testing- Part 2: Rapid Köthen method.” [Pristupljeno: 3. 3. 2022. \[Online\]. Dostupno na: https://www.iso.org/standard/39341.html](https://www.iso.org/standard/39341.html)
- [54] ISO, “ISO 534:2011 Paper and board — Determination of thickness, density and specific volume,” 2011. <https://www.iso.org/standard/53060.html> (pristupljeno Jun. 03, 2022).
- [55] ISO, “ISO 5627:1995 Paper and board — Determination of smoothness (Bekk method),” 1995. <https://www.iso.org/standard/20129.html> (pristupljeno 3. 6. 2022.).



- [56] RK PrintCoat Instruments Ltd, "Esiproof." <http://www.agegraphics.ae/rkprint.html> (pristupljeno Apr. 19, 2022).
- [57] Technigraf, "Aktiprint L 10-1." <http://en.technigraf.de/portfolio/aktiprint-l/> (pristupljeno 28. 2. 2022.).
- [58] Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, *Katalog opreme*. Zagreb: Grafički fakultet, 2013.
- [59] V. Radić Seleš, „Usporedba optičke stabilnosti uzoraka otisnutih s UV bojom i s konvencionalnom bojom.” Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, 2017.
- [60] M. R. Luo, G. Cui, and B. Rigg, *The Development of the CIE 2000 Colour Difference Formula: CIEDE2000*. UK: Colour & Imaging Institute, University of Derby.
- [61] I. Zjakić, *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada, 2007.
- [62] Olympus, "Olympus GX 51." [https://www.google.com/search?q=svjetlosni + mikroskop + Olympus + GX + 51&sxsrf = APq-WBt1cvYssAa9PDsjpN3MnStvTsb5eg:1650363798912&source = lnms&tbm = isch&sa = X&ved = 2ahUKEwiL0ef9J\\_3AhWZNuwKHfzvDSgQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw = 1536&bih = 754&dpr = 1.25#imgrc = b51vswkNSh5CPM](https://www.google.com/search?q=svjetlosni+mikroskop+Olympus+GX+51&sxsrf=APq-WBt1cvYssAa9PDsjpN3MnStvTsb5eg:1650363798912&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiL0ef9J_3AhWZNuwKHfzvDSgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgrc=b51vswkNSh5CPM) (pristupljeno Apr. 20, 2022).

# 7. PRILOZI

## Popis tablica

Tablica 1. Sastav konvencionalnih i UV sušćih boja [39].	17
Tablica 2. Kratice upotrijebljene za označavanje uzoraka.	25
Tablica 3. Uvjeti izrade pulpe [8].	28
Tablica 4. Svojstva komercijalnog recikliranog drvnog papira (UPM) [14].	29
Tablica 5. Svojstva laboratorijskih papira [14].	31
Tablica 6. Kriteriji za toleranciju u odstupanju boja.	37
Tablica 7. Uvjeti u komori za ubrzano starenje.	40
Tablica 8. Uvjeti testiranja na kemijske agense.	43
Tablica 9. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih neotisnutih laboratorijskih papira.	45
Tablica 10. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.	46
Tablica 11. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.	47
Tablica 12. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.	48
Tablica 13. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.	49
Tablica 14. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.	50
Tablica 15. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.	50
Tablica 16. Vrijednosti zrnitosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.	51
Tablica 17. Vrijednosti zrnitosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.	52
Tablica 18. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.	53
Tablica 19. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom.	53
Tablica 20. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.	54
Tablica 21. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.	55
Tablica 22. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom, žutom i crnom.	56
Tablica 23. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta.	56

Tablica 24. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: cijanom, magentom, žutom i crnom. ....	57
Tablica 25. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutima UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta. ....	57
Tablica 26. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnutu konvencionalnim bojama na bazi vode: cijanom, magentom i žutom.....	58
Tablica 27. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnutu konvencionalnim bojama na bazi vode: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta. ....	59
Tablica 28. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih UV bojama: cijanom, magentom i žutom.....	59
Tablica 29. Vrijednosti penetracije boje u tiskovnu podlogu otisnutu UV bojama: žuta + magenta, žuta + cijan, cijan + magenta i žuta + cijan + magenta. ....	59

## Popis slika

Slika 1. Kemijski spoj celuloze [24].	7
Slika 2. Hemiceluloza [26].	8
Slika 3. a) Aditivno miješanje boja i b) suptraktivno miješanje boja. [31]	12
Slika 4. Egipatska plava, najstariji poznati sintetički pigment. [32].	13
Slika 5. Princip rada fleksografskog tiska [41].	18
Slika 6. Rastrirani (aniloks) valjak [42].	18
Slika 7. Tiskovna forma za fleksografski tisak [43].	19
Slika 8. CIE L* a* b* prostor boja [44].	20
Slika 9. Shema eksperimentalnog dijela rada.	27
Slika 10. Laboratorijski uređaj za izradu papira Rapid Köthen.	29
Slika 11. Izrada laboratorijskih papira.	30
Slika 12. Uređaj za mjerenje debljine papira Enrico Toniolo S.r.l. DGTB001.	31
Slika 13. Uređaj za mjerenje glatkoće papira PTI Austria GmbH PTA line BEKK tester.	32
Slika 14. Esiproof uređaj RK PrintCoat Instruments Ltd [56].	33
Slika 15. F1-basic printability tester IGT.	33
Slika 16. Technigraf Aktiprint L 10-1 UV sušilica [57].	34
Slika 17. Uređaj X-Rite SpectroEye Spectrophotometer.	35
Slika 18. Digitalni mikroskop PIAS-II.	35
Slika 19. Uređaj X-Rite eXact.	36
Slika 20. Rotacijski mikrotom uređaj.	38
Slika 21. Otisnuti uzorci u epoksi smoli.	38
Slika 22. Svjetlosni mikroskop Olympus GX 51 [62].	39
Slika 23. Mikroskopska slika penetracije boje u laboratorijskom papiru s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice (10 P) otisnutog UV bojama žutom i cijanom (Y + C).	39
Slika 24. Otisnuti uzorci svih podloga pripremljeni za tretman u komori za ubrzano starenje.	41
Slika 25. Laboratorijski uređaj Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester.	42
Slika 26. Prikaz segmenta testiranja kemijske otpornosti otisaka na razne kemijske agense.	43
Slika 27. Prikaz segmenta testiranja kemijske otpornosti otisaka na etanol.	44
Slika 28. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	61
Slika 29. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	61
Slika 30. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	62
Slika 31. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	62
Slika 32. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	63
Slika 33. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	63
Slika 34. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati.	64

Slika 35. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati. ....	64
Slika 36. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	66
Slika 37. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	66
Slika 38. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	67
Slika 39. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	67
Slika 40. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	68
Slika 41. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	68
Slika 42. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	69
Slika 43. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati. ....	69
Slika 44. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	71
Slika 45. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	71
Slika 46. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	72
Slika 47. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	72
Slika 48. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	73
Slika 49. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	73
Slika 50. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	74
Slika 51. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode. ....	74
Slika 52. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	75
Slika 53. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	76
Slika 54. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	76
Slika 55. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	77
Slika 56. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	77

Slika 57. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	78
Slika 58. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	78
Slika 59. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine. ....	79
Slika 60. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	80
Slika 61. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	80
Slika 62. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	81
Slika 63. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	81
Slika 64. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	82
Slika 65. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	82
Slika 66. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	83
Slika 67. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline. ....	83
Slika 68. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	85
Slika 69. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	85
Slika 70. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	86
Slika 71. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	86
Slika 72. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	87
Slika 73. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	87
Slika 74. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	88
Slika 75. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline. ....	88
Slika 76. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	89

Slika 77. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	90
Slika 78. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	90
Slika 79. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	91
Slika 80. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	91
Slika 81. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	92
Slika 82. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	92
Slika 83. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola. ....	93
Slika 84. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	94
Slika 85. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	94
Slika 86. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	95
Slika 87. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	95
Slika 88. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	96
Slika 89. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	96
Slika 90. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	97
Slika 91. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja. ....	97
Slika 92. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	98
Slika 93. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	99
Slika 94. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	99
Slika 95. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	100
Slika 96. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	100
Slika 97. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	101
Slika 98. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm. ....	101

Slika 99. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm.....	102
Slika 100. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm... ..	103
Slika 101. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm. ....	103
Slika 102. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm... ..	104
Slika 103. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm... ..	104
Slika 104. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm. ....	105
Slika 105. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm. ....	105
Slika 106. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm. ....	106
Slika 107. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm.....	106
Slika 108. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm... ..	107
Slika 109. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm. ....	108
Slika 110. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm... ..	108
Slika 111. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm... ..	109
Slika 112. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm. ....	109
Slika 113. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm. ....	110
Slika 114. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm. ....	110
Slika 115. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutima žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm.....	111



## 8. ŽIVOTOPIS AUTORICE

Valentina Radić Seleš, mag. ing. techn. graph., rođena je 24. veljače 1989. u Koprivnici u Republici Hrvatskoj. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Križevcima upisala je Grafički fakultet u Zagrebu, Tehničko-tehnološki smjer. Preddiplomski studij završila je s temom završnog rada „Stabilnost otiska tiskanog zlatnom bojom pri ubrzanom starenju”, pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Igora Zjakića. U akademskoj godini 2013./2014. kao koautor je dobila Rektorovu nagradu za rad pod nazivom „Analiza kemijske otpornosti otisaka za prehrambenu i duhansku ambalažu”.

U listopadu 2015. godine upisala je diplomski sveučilišni studij Grafička tehnologija, Tehničko-tehnološki smjer, modul Grafička tehnologija.

Tijekom diplomskog studija stekla je radno iskustvo u tiskari Printera Grupa d.o.o. u Sv. Nedelji, na mjestu voditeljice projekata, gdje je između ostalog usvojila vještinu rada u SisTrade® softveru.

Diplomski studij završila je 26. rujna 2017. s temom diplomskog rada „Usporedba optičke stabilnosti uzoraka otisnutih s UV bojom i s konvencionalnom bojom” pod vodstvom mentorice doc. dr. sc. Irene Bates.

U prosincu 2018. godine zapošljava se na Sveučilištu u Zagrebu Grafičkom fakultetu kao asistentica, gdje upisuje i poslijediplomski doktorski studij „Grafičko inženjerstvo i oblikovanje grafičkih proizvoda”. Kao suradnica i doktorandica sudjeluje na projektu Hrvatske zaklade za znanost pod nazivom „Otiskivanje, kvaliteta i uporabljivost podloga s ne-drvnim vlakancima” NWF PRINT QUALITY UIP-2017-05-2573, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Irene Bates, u sklopu kojeg je izradila i doktorat.

Sudjelovala je sa znanstvenim radovima na 12 međunarodnih i domaćih znanstvenih i stručnih konferencija te objavila 14 znanstvenih radova u međunarodnim časopisima s međunarodnom recenzijom.

## 8.1. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA I ZNANSTVENE DJELATOSTI

### Znanstveni radovi u časopisima:

1. Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Rudolf, Maja; Zjakić, Igor

Chemical and mechanical print stability of substrates containing alternative non-wood fibres // Cellulose Chemistry And Technology, 56 (2022), 3-4; 379-389 doi:10.35812/CelluloseChemTechnol.2022.56.34 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

2. Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina

Assessment of the UV inkjet ink penetration into laboratory papers within triticale pulp and its influence on print quality // Coloration technology, 138 (2022), 16-27 doi:10.1111/cote.12563 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

3. Plazonić, Ivana; Bates, Irena; Radić Seleš, Valentina; Majnarić, Igor; Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja

TiO<sub>2</sub>-Based Coating for Improving the Quality of Prints on Papers with Supplementary Barley Pulp // Materials Science Forum. Trans Tech Publications, Ltd., 1060 (2022), 149-154 doi:10.4028/p-ugp3sq (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

4. Kurek Mia; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina; Galić, Kata; Petric Maretić, Katja

Effects of Non-Wood Fibres in Printed Paper Substrate on Barrier and Migration Properties // Tehnički glasnik 16, no. 3 (2022): 299-305. <https://doi.org/10.31803/tg-20220203155555>

5. Petric Maretić, Katja; Rudolf, Maja; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Jungwirth, Stella; Bates, Irena

The effects of natural and artificial aging on optical properties of laboratory papers with triticale pulp printed using the uv inkjet technique // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, 15 (2021), 78-88 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

6. Plazonić, Ivana; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Petric Maretić, Katja

Potentials of lignocellulosic agricultural residues in paper production // The Holistic Approach to Environment, 11 (2021), 3; 72-77 doi:10.33765/thate.11.3.1 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

7. Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Majnarić, Igor

Analysis of optical properties of laboratory papers made from straw pulp and coated with titanium dioxide white ink // Cellulose chemistry and technology, 54 (2020), 5-6; 473-483 doi:10.35812/CelluloseChemTechnol.2020.54.48 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

8. Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Barbarić-Mikočević, Željka

Determining the quality of paper substrates containing triticale pulp for printing industry // Nordic pulp & paper research journal, 35 (2020), 2; 272-278 doi:https://.org/10.1515/nppri-2020-0009 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

9. Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja; Bates, Irena; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina; Radovčić, Jakov

The Effect of Acids on the Chemical Stability of UV Inkjet Prints on Papers with Straw Pulp // European Journal of Sustainable Development Research (EJSDR), 4 (2020), 1; 15–21 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

10. Bates, Irena; Petric Maretić, Katja; Rudolf, Maja; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Jungwirth, Stella

Analysis of Natural and Artificial Aging Influence on UV Inkjet Prints on Printing Substrates with Straw Pulp // European Journal of Sustainable Development Research (EJSDR), 4 (2020), 1; 22–28 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

11. Bates, Irena; Petric Maretić, Katja; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Rudolf, Maja

Determining the optical stability of printed laboratory substrates with wheat pulp after ageing treatment // Acta Graphica journal, Journal for Printing Science and Graphic Communications, 30 (2019), 1; 15-24 doi:10.25027/agj2017.28.v30i1.208 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

**12.** Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Rudolf, Maja; Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja

Comparison of Optical Stability of Papers Containing Wheat Pulp Printed with Digital and Flexographic Printing Technique after Accelerated Ageing // European Journal of Engineering and Natural Sciences, 5 (2020), 1; 78-84 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

**13.** Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina

Assessment of Durability of Inkjet Prints on Laboratory Paper Substrates with Wheat Pulp Based on Rub Resistance // European Journal of Engineering and Natural Sciences, 5 (2020), 1; 72-77 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

**14.** Bates, Irena; Mihić, Josip; Radić Seleš, Valentina; Vuksanović, Antonia

Analysis of samples treated by resistance test method exposed to accelerated aging // Acta graphica, 26 (2015), 3; 23-30 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom:

**1.** Bates, Irena; Radić Seleš, Valentina; Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Plazonić, Ivana; Schaperl, Zdravko

The Rub Resistance Assessment Of Offset UV Prints On Substrate Containing Triticale Pulp // Proceedings of 21th International Conference on Materials, Tribology & Recycling MATRIB 2021 / Ćorić, Danko ; Šolić, Sanja ; Ivušić, Franjo (ur.). Zagreb, Hrvatska: HDMT – Hrvatsko Društvo za Materijale i Tribologiju, 2021. str. 46-54 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

2. Plazonić, Ivana; Bates, Irena; Radić Seleš, Valentina; Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Jergović, Mihael

The impact of inorganic acids on colour stability of digital prints made on substrates with wheat pulp // Zbornik radova, Printing&Design 2021 / Žiljak Gršić, Jana (ur.). Zagreb: Fotosoft d.o.o., 2021. str. 90-96 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

3. Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Rudolf, Maja; Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja

Comparison of Optical Stability of Papers Containing Wheat Pulp Printed with Digital and Flexographic Printing Technique after Accelerated Ageing // Proceedings of the IV International Conference on Engineering Technology and Innovation / Çinar, Özer (ur.). Skopje, North Macedonia, 2020. str. 60-66 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

4. Bates, Irena; Petric Maretić, Katja; Rudolf, Maja; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Jungwirth, Stella;

Analysis of Natural and Artificial Aging Influence on UV Inkjet Prints on Printing Substrates with Straw Pulp // Proceedings of the 8th international conference on sustainable development (ICSD) / Çinar, Özer (ur.). Istanbul: CNR Group Publishing, 2020. str. 24-31 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

5. Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina

Assessment of Durability of Inkjet Prints on Laboratory Paper Substrates with Wheat Pulp Based on Rub Resistance // proceedings of the iv international conference on engineering technology and innovation / Çinar, Özer (ur.). Skopje, Makedonija, 2020. str. 54-59 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

6. Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja; Bates, Irena; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina; Radovčić, Jakov

The Effect of Acids on the Chemical Stability of UV Inkjet Prints on Papers with Straw Pulp // Proceedings of the 8th international conference on sustainable development (ICSD) / Çınar, Özer (ur.). İstanbul: CNR Group Publishing, 2020. str. 17-23 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

7. Rudolf Maja; Plazonić Ivana; Petric Maretić Katja; Bates Irena; Radić Seleš Valentina

Rub resistance of ink jet prints on laboratory substrates with wheat pulp // Zbornik radova, Printing&Design 2020 / Žiljak Stanimirović, Ivana (ur.). Zagreb: Fotosoft d.o.o., 2020. str. 126-131 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

8. Radić Seleš, Valentina; Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Džimbeg-Malčić, Vesna

Optical stability of laboratory papers with wheat pulp printed by digital technique after artificial ageing // Proceedings of 3rd International printing technologies symposium Istanbul Turkey / Oktav, Mehmet ; Akgül, Ahmet ; Oğuz, Mehmet ; Özdemir, Lutfi ; Özomay, Zafer ; Sesli, Yasemin (ur.). İstanbul, Turska: Printing Industry Education Foundation, 2019. str. 195-202 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

9. Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Petric Maretić, Katja; Rudolf, Maja; Radić Seleš, Valentina;

Measurement of the ink penetration into laboratory papers with wheat pulp and its influence on print quality // Proceedings of 3rd International Printing Technologies Symposium Istanbul Turkey / Oktav, Mehmet ; Akgül, Ahmet ; Oğuz, Mehmet ; Özdemir, Lutfi ; Özomay, Zafer ; Sesli, Yasemin (ur.). Istanbul, Turska: Printing Industry Education Foundation, 2019. str. 287-295 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

10. Bates, Irena; Radić Seleš, Valentina; Plazonić, Ivana; Rudolf, Maja; Petric Maretić, Katja; Ivkić, Irena

The penetration profiles of inkjet inks into laboratory substrates with barley pulp // Proceedings of 23rd International Conference on Printing, Design and Graphic

Communications Blaž Baromić 2019 / Mikota, Miroslav (ur.). Zagreb: Hrvatsko društvo grafičara, Hrvatska, 2019. str. 28-36 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

**11.** Bates, Irena; Plazonić, Ivana; Radić Seleš, Valentina; Koletić, Bernarda

Degradacija kvalitete otiska pri etiketiranju stezljivim filmom // Proceedings of 21st International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić / Mikota, Miroslav (ur.). Zagreb: Hrvatsko društvo grafičara, 2017. str. 65-71 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)

**12.** Bates, Irena; Mihić, Josip; Vuksanović, Antonia; Radić Seleš, Valentina

Analiza kemijske stabilnosti otisaka na prehrambenoj ambalaži // Proceedings of 18th International conference of Printing, Design and Graphic Communication Blaž Baromić 2014 / Mikota, Miroslav (ur.). Zagreb: Hrvatsko društvo grafičara, 2014. str. 13-24 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni)