



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

**Racional 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.

## ŽIVOTOPIS MENTORA

Izv. prof. dr. sc. Irena Bates, rođena je 08. prosinca 1978. godine u Zagrebu. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Zagrebu, 1997. godine upisala je Grafički fakultet u Zagrebu, smjer Tehničko-tehnološki. 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 Sveučilištu u Zagrebu Grafičkom fakultetu 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. godine 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 znanstveni suradnik, 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.godine, a izbor u izvanrednog profesora 10. siječnja 2022. godine.

Bila je suradnica na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske "Studij tehnoloških čimbenika grafičkog dizajna za sustavno unapređenje kvalitete", voditeljica izv. prof. dr. sc. Igora Zjakića (2007.-2013.). 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 radom

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 kroz 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 7.03.2023. 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 znanstvenih radova 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 se mentorici izv. prof. dr. sc. Ireni Bates na prijateljskom odnosu, pomoći i podršci te nesebičnom dijeljenju znanja i savjeta svih ovih godina i prilikom izrade doktorskog rada. Hvala svim članicama našeg projektnog tima, bilo je divno raditi s vama. Zahvaljujem se i članovima Povjerenstva doc. dr. sc. Ivani Plazonić, prof. dr. sc. Igoru Zjakiću i prof. dr. sc. Zdravku Schauperlu na savjetima kojima su doprinijeli kvaliteti rada. Hvala Hrvoju Duvančiću iz Radin 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 Santi i Aron 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 i pšenoraži te recikliranog papira. Istraživanje je podijeljeno na nekoliko faza: kvalitativnu evaluaciju otiska, stabilnost otiska 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 unutar tiskovne podloge 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 koristiti 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 and 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 and 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, ie 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, ie 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 and 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. ZNAČAJNOST PAPIRA I SIROVINE ZA PROIZVODNJU.....	6
2.2.1. Celulozna vlakna.....	6
2.2.2. Hemiceluloza .....	7
2.2.3. Lignin.....	7
2.2.4. Celulozna vlakna.....	8
2.2.5. 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. Pigmenti i bojila u tiskarskim bojama .....	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. Spektrofotometrijska mjerenja.....	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 unutar tiskovne podloge .....	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 unutar tiskovne podloge .....	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 .....	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 rpm .....	98
4.2.3.2. Broj okretaja: 40 rpm .....	102
4.2.3.3. Broj okretaja: 60 rpm .....	107
5. ZAKLJUČCI.....	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 ili kao dodatak primarnim drvnim vlaknima [8]. U oba slučaja umanjuje se 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 nedrvenim vlakancima pokazala su da se doista kvalitetni papiri mogu proizvesti s različitim nedrvenim biomasama. Ovisno o regiji gdje se alternativni izvori vlakana mogu sakupljati u velikim količinama, neke vrste koje se upotrebljavaju u proizvodnji papira diljem svijeta su bagasse (vlakna šećerne trske dobivena kao nusprodukt procesa rafiniranja šećera), bambus, kenaf i rižina slama. Pokazalo se da se 10–15 % drvene pulpe može zamijeniti nedrvenom 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 nedrvenih materijala poput bagasse, kukuruzne slame, bambusa, trske, trave, jute, lana, sisala i slično. U Indiji i Kini 70% sirovina koje se upotrebljavaju u industriji celuloze potječe iz nedrvenih biljaka. Posljednjih godina se najčešće upotrebljavaju nedrvna vlakna od slame 46%, bagasse 14% i bambusa 6%. Ostali izvori nedrvenih vlakna, 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 nižim dozama kemikalija te s poljoprivrednog gledišta izrada pulpe od nedrvenih 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 pruža 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 s 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 doprinijeti povećanju iskoristivosti ekološki prihvatljivih sirovina u izradi budućih grafičkih proizvoda primjenom objektivnih metoda ispitivanja kvalitete reprodukcije fleksografskih otisaka na laboratorijskim papirima oplemenjenim 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 omogućiti će se jednaka kvaliteta reprodukcije jednotonskih i višetonskih 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. godine. Te je godine dvorski službenik Ts'ai Lun službeno prijavio izum caru [18]. Prije toga Kinezi su pisali na svili, a zbog njezine skupe izrade tragali su za novim zamjenskim materijalima. Kao sirovinu koristili su vlakna raznih biljaka poput rižine slame, konoplje, bambusa, trske, kore dudova drveća 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 vlakanaca. Vlažan list se zatim skidao sa sita, sušio, te se prešao s jednostavnim drvenim napravama. Premazivanjem ljepilom, 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 proizvodnje papira. Arapi su koristili kao osnovni materijal lanene krpe, lan i druge vlaknaste biljke te su unaprijedili proizvodnju korištenjem novih uređaja. Koristili su škrob pšeničnog brašna kako bi poboljšali svojstva papira te su izradili sito od metalnih niti umjesto svile što je omogućilo dužu 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 koristi na nekoliko mjesta na Himalaji te u nekim mjestima u Kini i jugoistočnoj Aziji [20].

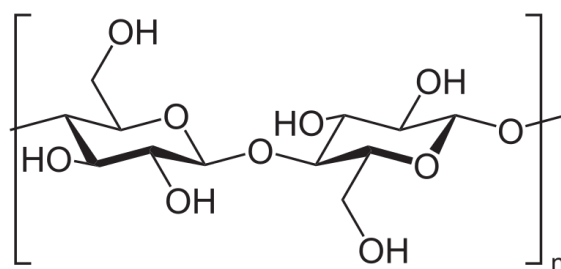
## 2.2. ZNAČAJNOST PAPIRA I SIROVINE ZA PROIZVODNJU

U suvremenom životu značajnost papira je jasna. Papir omogućuje bilježenje, pohranu i širenje informacija. Gotovo svo pisanje i ispis obavlja se na papiru. Najčešće je korišten materijal za umatanje i pakiranje, ima važne strukturalne primjene te igra izrazito značajnu 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 postojećim tržištima [21].

Materijali i pomoćna sredstva koja se koriste 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 koriste se i sintetska vlakna [19].

### 2.2.1. Celulozna vlakna

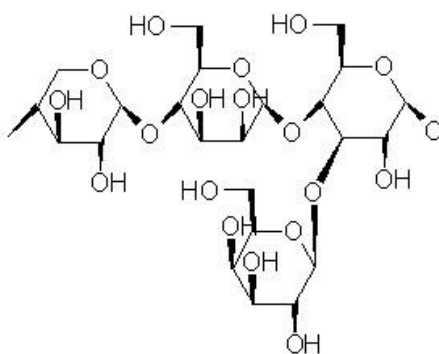
Naziv celuloza potječe od latinske riječi *celula*, što znači biljna stanica [22]. Najrasprostranjeniji je organski spoj u prirodi, jer su stijenke biljnih stanica izgrađene od celuloze. Celuloza je kruta tvar, bez okusa i mirisa. Netopiva je u uobičajenim organskim otapalima, razrijeđenim kiselinama, lužinama i blagim sredstvima te je vrlo otporna prema atmosferskim utjecajima. Po kemijskom sastavu i strukturi, celuloza (Slika 1) je prirodni polimer koji pripada skupini polisaharida, a izražava se atomskom skupinom  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , što znači da je spoj ugljika, dušika i kisika. Celulozno vlakno drveta 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 drveta i do 50% celuloze [19]. Celulozna vlakna posjeduju niz svojstava koja su povoljna za proizvodnju papira. Najidealnije 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 svoju fleksibilnost i moć vezivanja. Hidrofilna priroda celuloznih vlakana igra 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].



Slika 1. Kemijski spoj celuloze [23]

### 2.2.2. Hemiceluloza

Naziv hemiceluloze (Slika 2) potječe od grčke riječi *hemi*, što znači pola. Time se želi naglasiti njihova sličnost celulozi. One su jedan od triju glavnih komponenti drva. To su polisaharidni pratioci celuloze, nastali u biljnim stanicama koji su topivi 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], [24].



Slika 2. Hemiceluloza [25]

### 2.2.3. Lignin

Naziv potječe od latinske riječi *lignum*, što znači drvo. To je drvena komponenta koja ima zadatak da pojača i ukruti 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 promjeni i degradira čim se na njega djeluje kemikalijama. Analiza

strukture tvari provodi se spektralnom analizom, kromatografijom, elektronskim mikroskopom i dr. Lignin je teško izdvojiti u obliku u kojem se nalazi u drvu, no dio koji se može izdvojiti jest 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 iz lignina i anorganskih tvari u obliku tzv. ligninske soli te spaljuje [22]. Lignin je nepoželjan u tiskovnim podlogama jer ih čini lomljivim 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. Celulozna vlakna

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 nedrvnih biljaka. Sekundarna vlakna se proizvode reciklacijom iskorištenog papira. Upotreba jednogodišnjih nedrvnih biljaka između ostalog i od poljoprivrednih ostataka 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 veliki utjecaj na kvalitetu celuloznih vlakana proizvedenih od iste biljne vrste. Četinjače kao što su bor i smreka daju duža vlakna s većim karakteristikama 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 drveta. Korištena u približno jednakim omjerima, pulpa listopadnog drva sa svojim kraćim vlaknima daje papiru visok opacitet, glatkoću i izdržljivost na savijanje, dok mu duža vlakna crnogoričnog drva daju snagu [26].

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

Za proizvodnju papira širom svijeta koriste se razne biljke kao što su bambus, rižina slama, kenaf, bagasse, lan, konoplja i listovi banane, ovisno o regiji u kojoj se papir proizvodi [9], [11]–[13]. Slama od 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 drveta, no papiru daje neka vrlo važna svojstva te se upravo zato koristi 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 vlakana za proizvodnju papira. Može se koristiti 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. Jedne od najčešće uzgajanih žitarica u Hrvatskoj su pšenica (*Triticum spp.*), ječam (*Hordeum vulgare L.*) i pšenoraž (*Triticale sp.*). Slama tih žitarica dobar je vlaknasti material koja 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 ukupne 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 koristiti kao sekundarnu ambalažu, etikete i manje kvalitetne publikacije [27]–[29].

## 2.3. RECIKLIRANJE PAPIRA

Europsko vijeće za recikliranje papira (EPRC) osnovano je kao samoinicijativa 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 koristi za izradu papira od primarnih vlakana, ali, budući da je papir za recikliranje već korišten, 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 rezultirajuća pulpa 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, mogu se dodati određene količine pulpe s primarnim vlakancima. Neki papiri, kao što su novinski papir i kartonska valovita ljepenka, mogu se napraviti od 100% recikliranih vlakanca [30].

## 2.4. GLATKOĆA I HRAPAVOST POVRŠINE

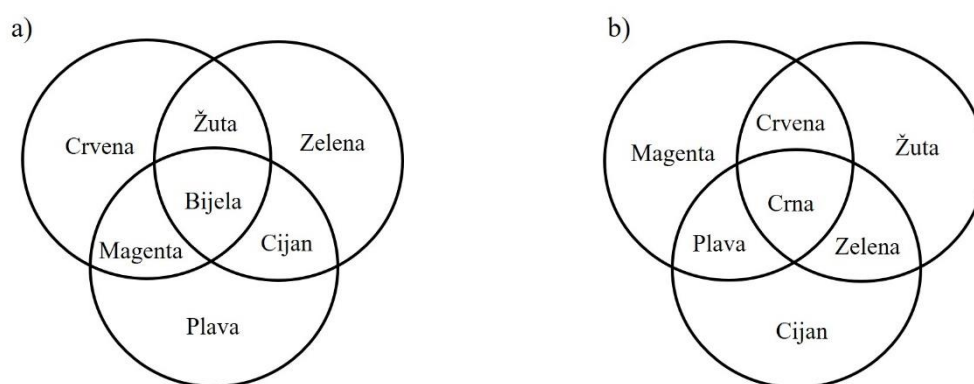
Glatkoća i hrapavost površine svrstavaju se među najvažnije pokazatelje tiskarskih osobina svakoga papira i kartona. Uspješnost u tiskarskoj reprodukciji direktno je ovisna o glatkoći površine tiskovne podloge. Uz različite vrijednosti i vrste hrapavosti, razlikuju se *slobodna glatkoća* i *glatkoća 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 više gladak papir s velikom tvrdoćom. Glatkoća ne ovisi samo o glačanju već je uvjetovana i stupnjem mljevenja vlakna, vrstom i količinom punila te površinskim premazom papira. Za određivanje stupnja hrapavosti površine poznate su egzaktno 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 ( $1 \text{ kp/cm}^2$ ) 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 igra 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 rezultirajući učinak. U nedostatku bilo kojeg od njih, može se tvrditi da boja ne postoji. Vidljivo svjetlo odnosi se na područje elektromagnetskog spektra na koje su naše oči osjetljive i odgovara zračenju unutar vrlo uskog raspona valnih duljina 360 nm - 780 nm. Izvan ovog raspona su ultraljubičasto (UV) područje spektra (ispod 360 nm) i infracrveno (IR) područje (iznad 780 nm). Normalno bijelo svjetlo sadrži cijeli ovaj 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 neophodna za život. Umjetna rasvjetna tijela, kao što su volframove i fluorescentne svjetiljke koje se koriste 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 na koja se to može postići; *aditivno* i *subtraktivno* miješanje boja. Aditivno miješanje boja, kao što naziv implicira, odnosi se na miješanje svjetla u boji, tako da se izvor osvjetljenja promatra izravno okom. Suptraktivno miješanje 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 3 a), aditivno miješanje crvene i plave daje magenta boju, plava i zelena daje cijan, dok kombiniranje crvene i zelene aditivno daje žutu. Kada se sve tri primarne boje pomiješaju na ovaj 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 prenose 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 ili prenose. To čini osnovu za *subtraktivno* miješanje boja. Ova vrsta miješanja boja događa se kada se boje i pigmenti miješaju. Subtraktivne primarne boje su žuta,

magenta i cijan. To su, na primjer, tri tiskarske boje koje se obično koriste za proizvodnju višebojnog tiskanog materijala s kojim se susrećemo u svakodnevnom životu, kao što su ambalaža, časopisi, poster, novine, itd. prikazano na Slici 3 b). Sve se ove 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 bijelim. Ako se svjetlost ne reflektira, prepoznamo je kao crnu. Ako objekt apsorbira konstantan dio upadne svjetlosti kroz vidljivo područje, izgleda sivo. Bijela, crna i siva stoga se nazivaju akromatskim jer u tim slučajevima nema selektivne apsorpcije svjetlosti [31].



Slika 3. a) aditivno miješanje boja i b) subtraktivno 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 drveću, lišću, travi i cvijeću. Sintetičke boje koriste 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 koristili boju još od pretpovijesti, na primjer za ukrašavanje tijela, bojanje krzna i kože koje su nosili te za oslikavanje špiljskih nastambi. Tada su boje koje su se koristile potjecale iz prirodnih resursa. Boje koje su se koristile za bojanje 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 ovo odnosi samo na pigmente proizvedene iz osnovnih primjena anorganske kemije. Ovi vrlo rani sintetički pigmenti proizvedeni su i korišteni 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 koji datiraju iz oko 1000. pr (Slika 4). Kr. Možda najstarije sintetičko bojilo koje se i danas uvelike koristi je „Prussian blue“ (prusko plava), čija je struktura utvrđena kao željezov(III) heksacijanoferrat(II). Proizvodnja ovog 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 prilikom tiska tako i pri kontaktu s tiskovnom podlogom. Moraju se sušiti brzinom koja je srazmjerna velikoj brzini otiskivanja. Trebaju biti prikladne za širok raspon podloga uključujući papir, karton, polimere, keramiku i metale. Kako bi se sve to postiglo, bojila se općenito sastoje od dvije glavne komponente: pigmenta i veziva [26].

### 2.5.1. Pigmenti i bojila u tiskarskim bojama

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 pigmenta i podloga na koju se otiskuje. Pigmenti trebaju imati, dobru čvrstoću boje, dobru postojanost na svjetlost, stabilnost prema kemijskom vezivanju, finu veličinu čestica i disperzibilnost u vezivima boje [26] Tiskarske boje se sastoje od: pigmenta ili bojila i veziva. Svrha pigmenta ili bojila je pružiti kontrast slike na podlozi plus 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 dalje podijeliti na kemijske vrste: organske i anorganske. Većina pigmenta i bojila koje su korisne u tiskarskim bojama su organske vrste. Koristi li se 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. titanov dioksid, pigmente čađe te porculansku glinu i kalcijev karbonat (kreda). Pigmenti koji se koriste 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 koristiti unutar tiskarske boje 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 korištenje pigmenta je bitan 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 koristi se u sustavima koji koriste tečljive tiskarske boje, manje viskoznosti, npr. fleksografiji, bakrotisku i ink-jet 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 koristiti u fleksografskim tiskarskim bojama u kombinaciji s nitroceluloznim smolama, jer dovode do nepovoljne kemijske reakcije [35].

## 2.6. FLEKSOGRAFSKE TISKARSKJE BOJE

Fleksografski tisak koristi *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 se koristi 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 koristeći otapalo 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 boje. 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 prenosi 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. Posljedično, nanosi boje su mali, između 0,75 i 2  $\mu\text{m}$ , a pigmenti koji se koriste moraju biti intenzivno obojeni [26]. Boje koje se obično koriste 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 poželja 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

Pritisci za korištenjem tiskarskih boja na bazi vode porasli su posljednjih godina s povećanjem pritiska za očuvanjem okoliša da se smanji upotreba otapala. Budući da korištenje boja na bazi vode eliminira ili smanjuje upotrebu organskih otapala, njihovo korištenje predstavlja poboljšanje radnog okruženja i smanjenje troškova povezanih s korištenjem otapala i izdvajanjem njihovih para. Konvencionalne boje na bazi vode već dugi niz godina pronalaze primjenu u fleksografskom tisku [26]. 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 niti dobru mehaničku otpornost. Većina fleksografskih boja na bazi vode sada

se izrađuju 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 koriste 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 one nastaviti povećavati svoj 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 onečišćivale atmosferu, ove se boje smatraju ekološki prihvatljivijim. UV boje zasigurno 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 visoko reaktivnih slobodnih radikala. Rezultirajuće fotokemijske reakcije doista su vrlo brze, što dovodi do polimerizacije i trenutno osušenog sloja boje. Postoje različite vrste UV izvora svjetlosti koje imaju drugačije spektralne emisije:

UV-A: 380 nm - 315 nm,

UV-B: 315 nm - 280 nm i

UV-C: 280 nm - 100 nm.

Energija fotona raste sa smanjenjem valne duljine, a korištenje tri UV veza povećava raspon materijala sposobnih za fotopolimerizaciju. Fotoinicijator apsorbira UV energiju i proizvodi reaktivne radikale, koji zauzvrat pokreću lančanu polimerizaciju prikladne nezasićene molekule kako bi se dobila trodimenzionalna polimerna struktura. Iako može postojati određena zabrinutost oko toksikologije određenih sirovina, same UV boje smatraju se ekološki prihvatljivijim jer ne sadrže hlapljive organske spojeve (VOC). Potpuno polimerizirani filmovi

su inertni i netoksični [26]. Postoje 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 koji određuju površinske karakteristike boje, oligomeri, koji su smola koja daje bazu i vezivna svojstva boji i fotoinicijatori koje su kemikalije koje reagiraju na zračenje i pokreću reakciju sušenja, odnosno stvrdnjavanja (Tablica 1) [39].

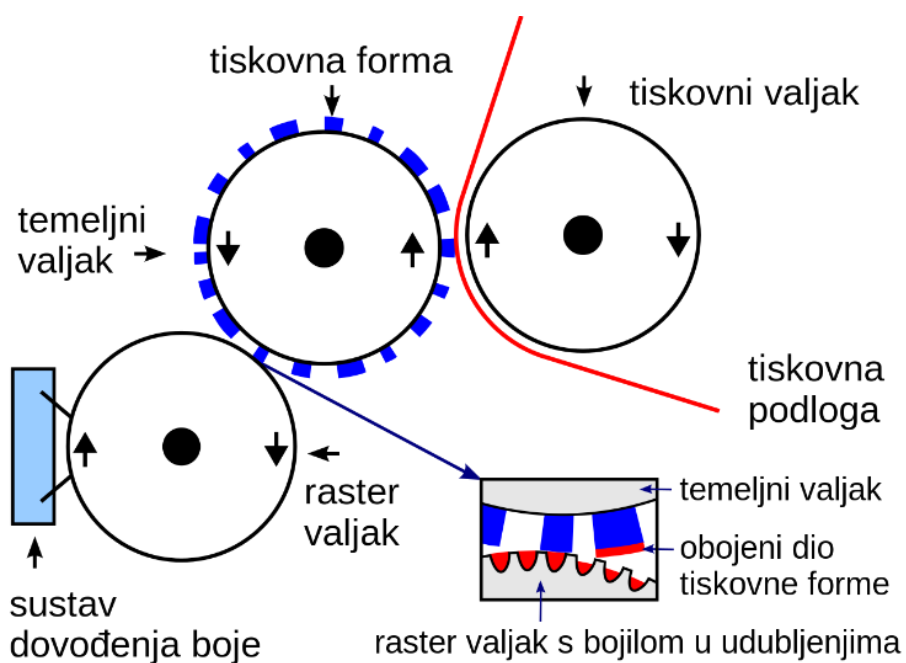
Tablica 1. Sastav konvencionalnih i UV sušećih boja [39]

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 ostao je zadržan sve do 1951. godine kada je promijenjen u fleksografski tisak. [1]. Razvoj tehnologija fotopolimernih tiskovnih formi od 1970-ih godina doveo je do procesa koji je sposoban za kvalitetnu reprodukciju koji je našao vrlo snažnu primjenu u industriji ambalaže. Fleksografski tisak je učinkovita, isplativa i svestrana metoda tiska [2]. Fleksografski tisak je reljefni proces prilikom kojeg se koristi tiskovna forma načinjena od fleksibilne gume i polimera. 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 (Slika 5). Porozniji papiri zahtijevaju aniloks valjak koji prenosi više bojila i obrnuto. Dakle, za razliku od klasičnog visokog tiska koji zahtjeva glatke, dobro premazane papire, fleksibilna tiskovna forma sposobna je tiskati i na grubljim papirima lošije kvalitete [26], [40].

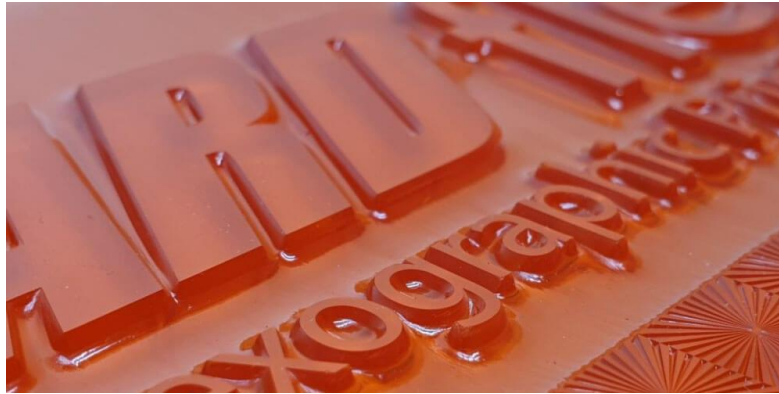


Slika 5. Princip rada fleksografskog tiska [41]



Slika 6. Rastrirani (aniloks) valjak [42]





Slika 7. Tiskovna forma za fleksografski tisak [43]

Karakteristike i prednosti fleksografskog tiska [2]:

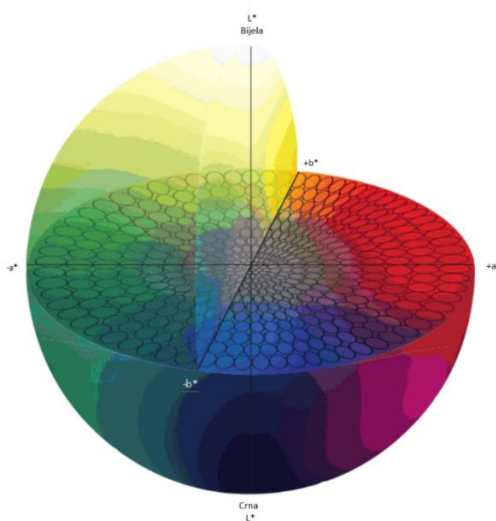
- Omogućuje otiskivanje na upijajućim i neupijajućim podlogama.
- Otiskivanje na poledini rastezljivih, prozirnih folija.
- Otiskivanje pomoću gumene ili fotopolimerne tiskovne forme što omogućuje otiskivanje milijunskih naklada.
- Omogućuje otiskivanje 10 ili više boja zbog više tiskovnih jedinica.
- Može postići brzinu otiskivanja od  $10,16 \text{ ms}^{-1}$  ili više.
- Koristi 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 brzo vrijeme prelaska između poslova, odnosno kratko vrijeme izmjene radnih naloga.
- Može učiniti male naklade profitabilnim.

## 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 ispuniti rok koji odredi kupac. Kvaliteta je pojam koji ima različito značenje za svaki tiskarski posao. Kvaliteta proizvoda ovisi o kontekstu, vremenu i uspješnosti korištenja 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 ovaj sustav broječanog opisivanja boja koji se danas koristi 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 Lab, gdje 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 lab 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:

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

gdje je  $R$  – stupanj refleksije svjetlosti s otisnute podloge.

## 2.8.3. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona

Neravnomjerna pokrivenosti tiskovne podloge s bojom definira se kao nehomogenost bojila na tiskovnoj podlozi. Prema standardu ISO 13660 analiza neravnomjerne pokrivenosti tiskovne podloge s bojom dijeli se na dvije razine. Na mikro razinu ( $>42 \mu\text{m}$  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 makro razinu ( $>1270 \text{ mm}$ ) 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  $i$ ,  $i$  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 koristi se suptraktivna metoda miješanja boja, pri čemu se različiti tonovi otiska postižu otiskivanjem punih tonova ili polutonova jedan 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 prilikom višebojnog tiska izračunavaju se pomoću jednadžbe:

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

gdje 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 [26], [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, koristi se nekoliko metoda simulacije prirodnog procesa starenja. Jedna od metoda je prema standardu ASTM D 6789-02 [46] koji je korišten i za

testiranje u ovom radu. Analiza procesa starenja predstavlja složenu problematiku budući da se kemijska i mehanička svojstva papira i boje istovremeno mijenjaju tijekom procesa starenja. Optička stabilnost papira iznimno je važna u grafičkoj industriji jer najviše pridonosi cjelokupnom izgledu i privlačnosti papira [26], [47], [48]. Od papirne ambalaže se očekuje da će pakiranje biti privlačno i informirati kupce te zaštititi proizvode (kao što su hrana, pića, kozmetika) od kemijskog, mikrobiološkog i fizičkog propadanja. Papirna i kartonska ambalaža koristi se u širokom temperaturnom rasponu, od skladištenja smrznute hrane do temperatura kipuće vode i zagrijavanja u mikrovalnim i konvencionalnim pećnicama tako da moraju 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 koristiti, posebice u ambalažnoj industriji, mora između ostalih svojstava osigurati odgovarajuću kemijsku i mehaničku stabilnost otiska. Neprihvatljivo je da otisak bude izgreban, 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 korištenjem raznim metodama ispitivanja, a jedan od njih je standard BS 3110:1959 [51] na temelju kojeg 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 iskoristivnost 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 recikliranog komercijalnog papira. Pri izradi laboratorijskih papirnih tiskovnih podloga s pulpom slame svake vrste žitarice korišteni su slijedeći 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.

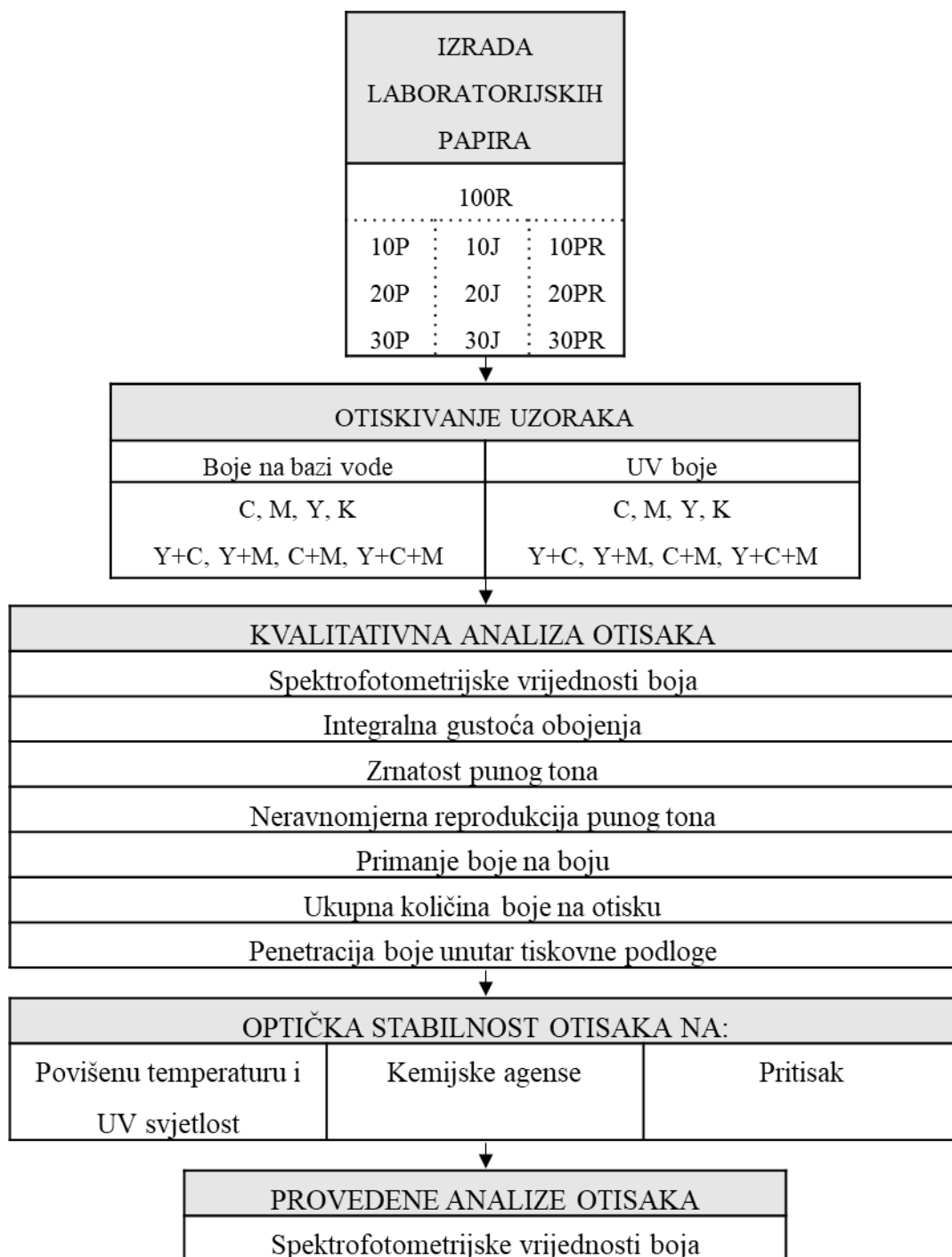
Provedena kvalitativna mjerenja za analizu kvalitete reprodukcije dobivenih otisaka su: spektrofotometrijske vrijednosti boje, zrnatost punog polja, nejednolika reprodukcija punog polja, integralna gustoća obojenja, ukupna količina boje na otisku, primanje boje na boju i penetracija boje unutar tiskovne podloge. Provedena je i evaluacija stabilnosti otisaka nakon ispitivanja na povišenu temperaturu i UV svjetlost, na djelovanje pritiska te na djelovanje 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 korištene u radu i njihovo značenje.

Tablica 2. Kratice korištene za označavanje uzoraka

100R	Laboratorijski papir od 100% pulpe recikliranih drvnih vlakana (referentni uzorak)
10P	Laboratorijski papir od 90% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10% pulpe slame pšenice
20P	Laboratorijski papir od 80% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20% pulpe slame pšenice
30P	Laboratorijski papir od 70% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 30% pulpe slame pšenice
10J	Laboratorijski papir od 90% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10% pulpe slame ječma
20J	Laboratorijski papir od 80% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20% pulpe slame ječma
30J	Laboratorijski papir od 70% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 30% pulpe slame ječma
10PR	Laboratorijski papir od 90% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 10% pulpe slame pšenoraži
20PR	Laboratorijski papir od 80% pulpe recikliranih drvnih vlakana i 20% pulpe slame pšenoraži
30PR	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
48h Konv.	Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode nakon starenja u periodu od 48 sati

48h UV	Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama nakon starenja u periodu od 48 sati
96h Konv.	Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode nakon starenja u periodu od 96 sati
96h UV	Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama nakon starenja u periodu od 96 sati
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 po minuti
40 rpm	40 rotacija po minuti
60 rpm	60 rotacija po minuti
Konv. boja	Konvencionalna boja na bazi vode
UV boja	UV boja (koja suši UV zračenjem)





Slika 9. Shema eksperimentalnog dijela rada

### 3.2. IZRADA LABORATORIJSKIH PAPIRA

Korištena pulpa za izradu laboratorijskih listova papira je dobivena 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.

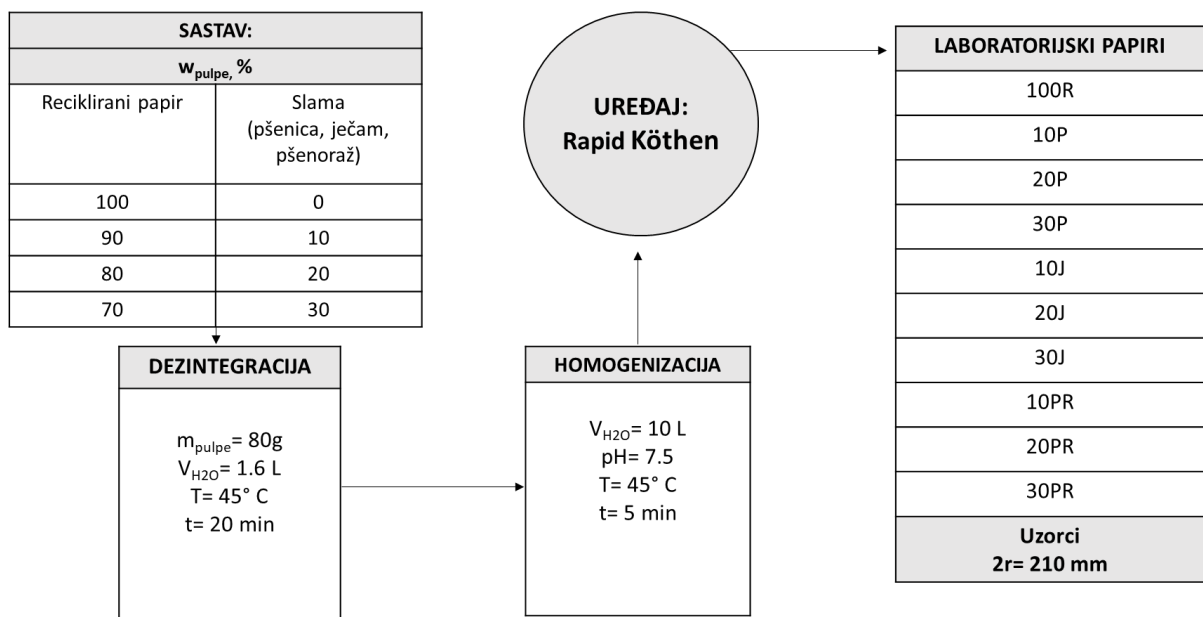
Proces proizvodnje laboratorijskih listova papira prikazan je na Slici 11. Prema sastavu, načinjeno je 10 različitih vrsta laboratorijskih papira, a ukupno je izrađeno 160 listova papira.



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 (Machine direction (MD))	$2,576 \pm 0,319$
	Poprečni tok vlaknaca (Cross machine direction (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]. Glatkost 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 sa 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)	Glatkost (Srednja vrijednost (sek); standardna devijacija)	
		Pustena strana	Sitova strana
100R	$0,094 \pm 0,001$	$9,40 \pm 0,06$	$17,41 \pm 0,61$
10P	$0,098 \pm 0,000$	$9,42 \pm 0,03$	$16,48 \pm 0,54$
20P	$0,092 \pm 0,002$	$9,53 \pm 0,10$	$14,89 \pm 0,74$
30P	$0,102 \pm 0,001$	$8,74 \pm 0,11$	$11,78 \pm 0,89$
10J	$0,100 \pm 0,001$	$9,70 \pm 0,11$	$15,53 \pm 0,31$
20J	$0,100 \pm 0,000$	$9,52 \pm 0,06$	$15,59 \pm 0,35$
30J	$0,121 \pm 0,001$	$8,94 \pm 0,15$	$12,57 \pm 0,56$
10PR	$0,093 \pm 0,001$	$9,45 \pm 0,05$	$14,49 \pm 0,30$
20PR	$0,096 \pm 0,008$	$8,40 \pm 0,12$	$14,88 \pm 0,46$
30PR	$0,099 \pm 0,000$	$8,00 \pm 0,13$	$13,58 \pm 0,81$



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

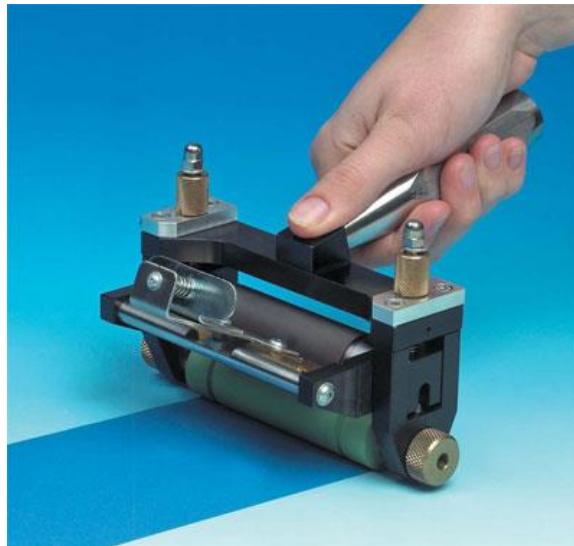


Slika 13. Uređaj za mjerenje glatкости papira PTI Austria GmbH PTA line BEKK tester

### 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, te 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 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 rasteriranog 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 zatim 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. Spektrofotometrijska mjerenja

Spektrofotometrijska mjerenja dobivenih otisaka provedena su spektrofotometrom Spectroeye, proizvođača X-rite. Spectroeye (Slika 17) je uređaj koji se koristi za kvantitativno mjerenje faktora refleksije uzorka u ovisnosti o valnoj duljini. Služi za mjerenje i kontrolu otiskivanja s konvencionalnim i specijalnim bojama. Ima raspon valnih duljina od 380 nm do 730 nm, optičku razlučivost 10 nm (interno 3,3 nm), geometriju 45°/0°: ISO 13655:2009; DIN 5033, mjernu površinu Ø4,5 mm, denzitometrijski standarde ISO Status A, ISO Status E, Isto Status I, ISO Status T, DIN 16536, DIN 16536 NB i SPI, standardni promatrač 2°/10° te standardne izvore svjetla A, C, D50, D65, D75, F2, F7, F11 i F1 [58]. Za potrebe istraživanja u ovom radu korišten je standard ISO Status A, standardni promatrač 2° te izvor svjetla D50.





Slika 17. Uređaj X-Rite SpectroEye Spectrophotometer

### 3.4.2. Zrnatost i neravnomjerna reprodukcija punog tona

Zrnatost punog tona i nejednolika 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 na širokom rasponu 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.

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

Gdje  $\Delta L^*$  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 unutar tiskovne podloge

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  $\mu$ m i 1  $\mu$ m, proizvođača Struers. Poprečni presjek uzoraka snimljen je pomoću svjetlosnog mikroskopa Olympus GX 51 (Slika 22) programom analySIS pri povećanju od 200x te analiziran programom ImageJ. Pomoću programa za slikovnu analizu ImageJ definirana je penetracija boje unutar tiskovne podloge. Na Slici 24 je prikazana penetracija boje unutar višebojnog laboratorijskog papira s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice otisnutog žutom i cijan UV bojom.



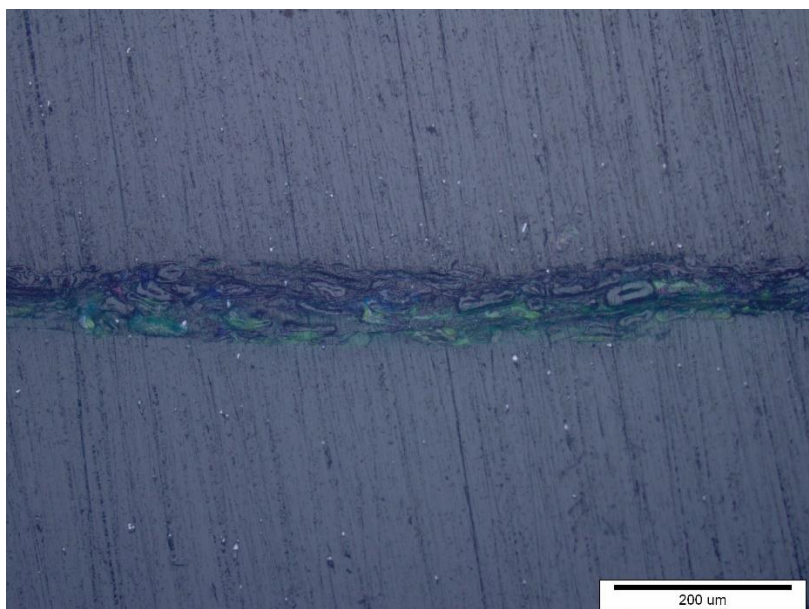
Slika 20. Rotacijski mikrotom uređaj



Slika 21. Otisnuti uzorci u epoksi smoli



Slika 22. Svjetlosni mikroskop Olympus GX 51 [62]



Slika 23. Penetracija boje unutar laboratorijskog papira s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice (10P) otisnutog žutom i cijan UV bojom (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 sa 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. Korišteni 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	$24,8^{\circ}\text{C}$ , 54,7 % RV	$23,5^{\circ}\text{C}$ , 47,4 % RV
Filter	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 izgubiti, razmazati ili na bilo koji način biti pod utjecajem rukovanja, transporta ili korištenja nakon otiskivanja. Analiza stabilnosti otisaka prema otiranju odnosno na pritisak promatrana je temeljem 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 korištenom 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, gdje je broj filter papira definiran vrstom korištenog agensa. Na kraju je gornja staklena ploča postavljena na vrh i fiksirana utegom od 1 kg (Slika 26). Nakon određenog vremena kontakta otisaka sa agensom, otisci u stavljeni na sušenje u sušionik Memmert UNB 400 u specifičnom vremenskom periodu i temperaturi. Za procjenu stabilnosti etanola postupak je drugačiji. Uzorci su uronjeni 5 minuta u staklenu epruvetu koja je sadržavala etanol (Slika 27). Nakon čega su stavljeni na sušenje. Uzorci koji su bili u kontaktu



s kiselinama i lužinom su prije sušenja ispirani deioniziranom 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	Filter papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	24 h	30 min, 40°C
Natrijeva lužina	Filter papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	10 min	30 min, 40°C
Octena kiselina	Filter papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	30 min	30 min, 50°C
Limunska kiselina	Filter papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	60 min	30 min, 50°C
Etanol	-	-	5 min	10 min, 40°C
Sojino ulje	Filter papir	1 kg on 54 cm <sup>2</sup>	24 h	30 min, 40°C



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



Slika 27. Prikaz procedure testiranja kemijske otpornosti otisaka na etanol

# 4. REZULTATI I RASPRAVA

## 4.1. KVALITATIVNA ANALIZA OTISAKA

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

Spektrofotometrijske  $L^*a^*b^*$  vrijednosti neatisnutih 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 (100R) je u  $b^*$  vrijednosti. Ova razlika u spektrofotometrijskim vrijednostima je očekivana s obzirom da se u laboratorijskim papirima nalazi neizbjeljena pulpa primarnih vlakanca slame žitarica.

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

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

Tablica 10. Spektrofotometrijske L\* a\*b\* vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnom cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode

Laboratorijski papir		C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	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
10P	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
20P	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
30P	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
10J	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
20J	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
30J	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
10PR	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
20PR	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
30PR	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 žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojama na bazi vode.

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)
100R	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
10P	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
20P	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
30P	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
10J	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
20J	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
30J	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
10PR	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
20PR	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
30PR	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 su identični kao i na otiscima s 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 cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom

Laboratorijski papir		C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	$L^*$	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
10P	$L^*$	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
20P	$L^*$	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
30P	$L^*$	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
10J	$L^*$	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
20J	$L^*$	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
30J	$L^*$	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
10PR	$L^*$	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
20PR	$L^*$	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
30PR	$L^*$	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 žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojama

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)
100R	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
10P	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
20P	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
30P	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
10J	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
20J	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
30J	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
10PR	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
20PR	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
30PR	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 svim otisnutim podlogama nanoseni su isti ili vrlo slični nanosi boje. Raspon nanosa boje kreće se od 1,054 do 1,180 za konvencionalnu cijan boju te od 1,196 do 1,264 za UV cijan boju. 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 otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode.

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	1.222 ± 0.012	1.243 ± 0.010	1.049 ± 0.006	1.145 ± 0.011
10P	1.200 ± 0.008	1.234 ± 0.014	1.049 ± 0.008	1.151 ± 0.008
20P	1.262 ± 0.009	1.247 ± 0.007	0.961 ± 0.010	1.137 ± 0.005
30P	1.220 ± 0.012	1.239 ± 0.016	0.968 ± 0.012	1.129 ± 0.014
10J	1.210 ± 0.011	1.230 ± 0.004	0.962 ± 0.011	1.139 ± 0.009
20J	1.253 ± 0.013	1.227 ± 0.011	0.950 ± 0.006	1.098 ± 0.006
30J	1.223 ± 0.004	1.229 ± 0.013	0.998 ± 0.008	1.125 ± 0.012
10PR	1.264 ± 0.011	1.271 ± 0.010	0.966 ± 0.010	1.150 ± 0.010
20PR	1.210 ± 0.009	1.237 ± 0.010	0.981 ± 0.007	1.133 ± 0.015
30PR	1.196 ± 0.015	1.262 ± 0.013	0.996 ± 0.026	1.103 ± 0.008

Tablica 15. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom.

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	1,158 ± 0,012	1,191 ± 0,010	1,057 ± 0,007	1,242 ± 0,008
10P	1,083 ± 0,009	1,121 ± 0,007	1,034 ± 0,008	1,217 ± 0,004
20P	1,054 ± 0,006	1,094 ± 0,011	0,964 ± 0,010	1,195 ± 0,007
30P	1,167 ± 0,019	1,190 ± 0,011	0,943 ± 0,014	1,166 ± 0,014
10J	1,068 ± 0,008	1,122 ± 0,010	1,007 ± 0,018	1,204 ± 0,006
20J	1,066 ± 0,006	1,098 ± 0,010	0,974 ± 0,011	1,212 ± 0,007
30J	1,155 ± 0,006	1,169 ± 0,015	0,961 ± 0,007	1,143 ± 0,008
10PR	1,063 ± 0,006	1,126 ± 0,014	1,030 ± 0,009	1,221 ± 0,006
20PR	1,075 ± 0,008	1,096 ± 0,009	1,029 ± 0,007	1,193 ± 0,005
30PR	1,180 ± 0,005	1,186 ± 0,009	0,056 ± 0,009	1,163 ± 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 (20J) otisnutoj cijan bojom, dok je najniža vidljiva na podlozi s 30% pulpe slame pšenoraži otisnutoj žutom bojom. Kod podloga otisnutim 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 otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	0,100 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,047 ± 0,005	0,060 ± 0,000
10P	0,080 ± 0,000	0,118 ± 0,004	0,043 ± 0,005	0,049 ± 0,003
20P	0,090 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,048 ± 0,004
30P	0,109 ± 0,004	0,118 ± 0,006	0,052 ± 0,004	0,057 ± 0,005
10J	0,079 ± 0,000	0,132 ± 0,004	0,052 ± 0,004	0,050 ± 0,000
20J	0,800 ± 0,000	0,110 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,047 ± 0,007
30J	0,112 ± 0,005	0,113 ± 0,005	0,053 ± 0,007	0,060 ± 0,000
10PR	0,080 ± 0,000	0,120 ± 0,005	0,060 ± 0,000	0,050 ± 0,000
20PR	0,114 ± 0,000	0,124 ± 0,005	0,060 ± 0,000	0,050 ± 0,000
30PR	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 otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	0,100 ± 0,000	0,131 ± 0,013	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
10P	0,099 ± 0,003	0,102 ± 0,004	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20P	0,129 ± 0,022	0,111 ± 0,006	0,041 ± 0,002	0,061 ± 0,003
30P	0,149 ± 0,042	0,105 ± 0,008	0,040 ± 0,000	0,063 ± 0,006
10J	0,119 ± 0,015	0,100 ± 0,003	0,040 ± 0,000	0,054 ± 0,005
20J	0,147 ± 0,012	0,105 ± 0,005	0,040 ± 0,000	0,057 ± 0,005
30J	0,118 ± 0,016	0,102 ± 0,004	0,045 ± 0,005	0,060 ± 0,000
10PR	0,152 ± 0,023	0,101 ± 0,002	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20PR	0,121 ± 0,022	0,106 ± 0,012	0,040 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30PR	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 otisnutim bojama na bazi vode i UV bojama. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona su gotovo identične na svim laboratorijskim podlogama. Na podlogama otisnutim 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 otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	0,115 ± 0,006	0,118 ± 0,004	0,061 ± 0,003	0,068 ± 0,004
10P	0,091 ± 0,003	0,120 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,060 ± 0,000
20P	0,090 ± 0,000	0,113 ± 0,000	0,056 ± 0,005	0,055 ± 0,005
30P	0,112 ± 0,004	0,115 ± 0,005	0,062 ± 0,004	0,066 ± 0,005
10J	0,090 ± 0,000	0,118 ± 0,000	0,059 ± 0,003	0,060 ± 0,000
20J	0,090 ± 0,000	0,120 ± 0,000	0,050 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30J	0,118 ± 0,007	0,116 ± 0,005	0,062 ± 0,000	0,065 ± 0,005
10PR	0,090 ± 0,000	0,118 ± 0,000	0,059 ± 0,003	0,060 ± 0,000
20PR	0,101 ± 0,003	0,121 ± 0,000	0,060 ± 0,000	0,060 ± 0,000
30PR	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 otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom

Laboratorijski papir	C (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	M (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	Y (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)	K (Srednja vrijednost; Standardna devijacija)
100R	0,110 ± 0,000	0,111 ± 0,009	0,058 ± 0,006	0,065 ± 0,005
10P	0,104 ± 0,005	0,114 ± 0,006	0,056 ± 0,005	0,066 ± 0,005
20P	0,127 ± 0,018	0,116 ± 0,006	0,057 ± 0,005	0,065 ± 0,005
30P	0,170 ± 0,076	0,112 ± 0,011	0,056 ± 0,005	0,072 ± 0,007
10J	0,125 ± 0,014	0,113 ± 0,006	0,056 ± 0,005	0,070 ± 0,002
20J	0,133 ± 0,007	0,115 ± 0,005	0,054 ± 0,005	0,066 ± 0,005
30J	0,126 ± 0,020	0,129 ± 0,004	0,060 ± 0,00	0,062 ± 0,004
10PR	0,155 ± 0,035	0,110 ± 0,004	0,058 ± 0,004	0,068 ± 0,004
20PR	0,126 ± 0,026	0,121 ± 0,018	0,055 ± 0,005	0,069 ± 0,004
30PR	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 otisnutim 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 (100R), osim na podlogama otisnutim žutom i cijan bojom na bazi vode (Y+C). Slično se pokazalo i na podlogama otisnutim UV bojama (Tablica 21). Vrijednosti su smanjene zbog laboratorijske proizvodnje papira, odnosno zbog izostanka završnih faza obrade površine koje se uobičajeno provode u komercijalnoj proizvodnji papira. Vrijednosti primanja boje na boju na laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim bojama na bazi vode kreću se od 30,47 do 100,69 te od 35,95 do 94,99 na papirima otisnutim UV bojama. Promatrajući rezultate može se zaključiti kako višebojne podloge otisnute s žutom i cijan bojom (Y+C), konvencionalne na bazi vode i UV, imaju najbolje, odnosno najviše vrijednosti primanja boje na boju. Višebojne podloge otisnute cijan i magenta (C+M) konvencionalnim bojama na bazi vode imaju najniže vrijednosti primanja boje na boju što se može povezati i s njihovim spektrofotometrijskim vrijednostima (Tablica 11) gdje je vidljivo da ti otisci imaju najveće promjene, odnosno velike oscilacije u  $b^*$  koordinati. Višebojne podloge otisnute cijan i magenta UV bojama također imaju najniže vrijednosti primanja boje na boju.

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

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)
100R	95,65 ± 2,23	99,39 ± 2,82	37,99 ± 1,48	49,81 ± 3,89
10P	89,01 ± 2,46	100,43 ± 2,01	30,47 ± 3,07	34,44 ± 2,41
20P	89,60 ± 2,21	100,66 ± 1,03	34,25 ± 1,47	37,78 ± 1,32
30P	91,17 ± 3,93	100,73 ± 2,54	34,19 ± 1,45	42,79 ± 3,05
10J	86,87 ± 1,39	99,92 ± 1,22	35,74 ± 1,08	34,31 ± 2,48
20J	89,05 ± 3,38	100,12 ± 1,36	35,58 ± 1,32	35,60 ± 1,80
30J	84,06 ± 1,72	100,51 ± 0,84	31,72 ± 2,05	42,91 ± 3,67
10PR	87,76 ± 3,09	100,64 ± 1,08	36,47 ± 1,58	35,22 ± 2,37
20PR	85,95 ± 1,53	100,69 ± 1,35	33,44 ± 1,58	35,40 ± 1,27
30PR	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 otisnutim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojama

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)
100R	82,96 ± 4,41	90,76 ± 2,40	40,73 ± 2,32	94,99 ± 18,69
10P	80,53 ± 2,35	88,85 ± 0,82	44,47 ± 3,05	68,12 ± 26,77
20P	81,13 ± 3,38	85,40 ± 1,27	36,33 ± 2,43	52,41 ± 17,17
30P	77,87 ± 1,92	93,26 ± 1,83	39,25 ± 1,95	73,24 ± 28,40
10J	77,75 ± 1,83	88,72 ± 1,28	43,31 ± 2,97	85,27 ± 26,18
20J	76,42 ± 2,29	84,43 ± 1,30	36,35 ± 1,15	72,48 ± 21,87
30J	73,68 ± 1,72	85,98 ± 1,75	35,95 ± 1,62	51,74 ± 16,87
10PR	93,07 ± 3,66	84,06 ± 1,06	39,51 ± 3,11	53,77 ± 16,79
20PR	78,06 ± 2,55	88,48 ± 1,37	37,12 ± 1,16	56,67 ± 16,91
30PR	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 otisnutim bojama na bazi vode i UV bojama. Vrijednosti Euklidske razlike kreću se od 3,46 do 11,53 na laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim bojama na bazi vode te od 7,56 do 50,86 na laboratorijskim papirima otisnutim UV bojama. Promatranjem parametara podtona na uzorcima otisnutim s konvencionalnim bojama na bazi vode (Tablice 22-23), uzorci s dodatkom 10% pulpe slame žitarica imaju najmanje vrijednosti u odnosu na referentni uzorak (100R) 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 otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode

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

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

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

Tablica 24. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom.

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

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

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

#### 4.1.7. Penetracija boje unutar tiskovne podloge

Tablice 26-29 prikazuju vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih bojama na bazi vode i UV bojama. Analizu penetracije boje na uzorcima otisnutim crnom konvencionalnom i UV bojom nije bilo moguće izmjeriti na svjetlosnom mikroskopu radi refleksije svjetlosti koja ometa definiranje, odnosno razlikovanje boje od tiskovne podloge. Penetracija boje unutar tiskovne podloge (Tablice 26-27) kreće se u rasponu od 41  $\mu\text{m}$  do 82  $\mu\text{m}$  u laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim bojama na bazi vode te od 46,20  $\mu\text{m}$  do 81,26  $\mu\text{m}$  (Tablice 28-29) u laboratorijskim papirima otisnutim UV bojama pri čemu nije vidljiva veća razlika između laboratorijskih uzoraka i referentnog uzorka (100R). Kako je debljina svih analiziranih papira u rasponu od 92  $\mu\text{m}$  do 120  $\mu\text{m}$  (Tablica 5), uočava se da se kod ni jednog uzorka nije dogodila potpuna penetracija boje. Kod nekih uzoraka vrijednosti penetracije su jako velike što izravno utječe i na povećane vrijednosti podtona.

Tablica 26. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih konvencionalnom cijan, magenta i žutom bojom na bazi vode.

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



Tablica 27. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih konvencionalnom žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojom na bazi vode.

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

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

Tablica 29. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojom.

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

## 4.2. OPTIČKA STABILNOST REPRODUKCIJE

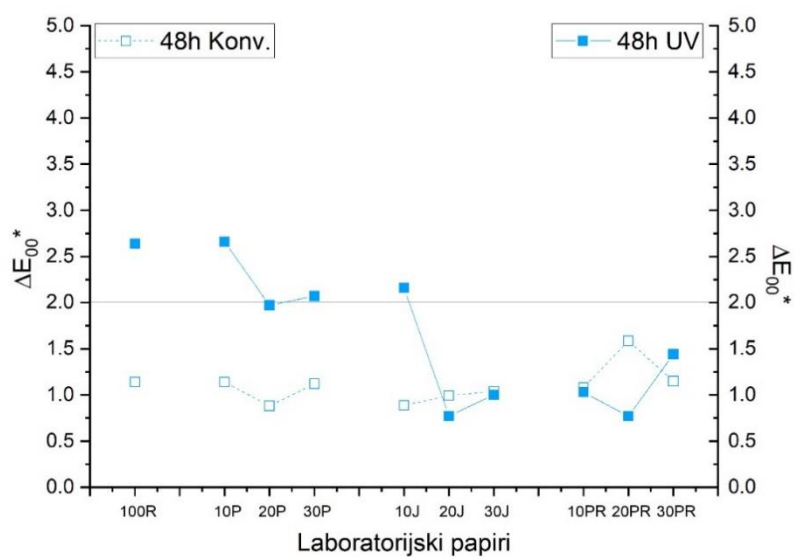
### 4.2.1. Stabilnost otisaka na povišenu temperaturu i uv svjetlost

Slike 28-35 prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijan, magenta, žuta i crna te višebojnim otiscima žuta i magenta, žuta i cijan, cijan i magenta te žuta, cijan i magenta otisnutim 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.

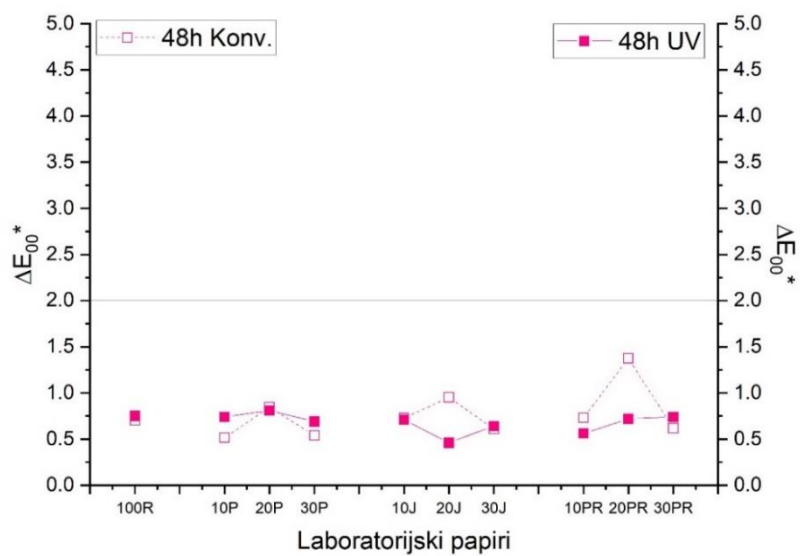
Na slikama 28-35 kolorimetrijske razlike u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) prikazane su simbolima ispunjenim bijelim za podloge otisnute konvencionalnim bojama na bazi vode, dok su podloge otisnute UV bojama prikazane istim simbolima ali ispunjenima bojom.

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 100R, 10P, 20P i 30P te 10J otisnuti UV cijan bojom (Slika 28) pokazuju povišene vrijednosti Euklidske razlike u obojenju koje se nalaze iznad preporučene referentne vrijednosti ( $\Delta E_{00}^*_{10P \max} = 2,66$ ). Svi laboratorijski papiri otisnuti crnom UV bojom (Slika 31) imaju visoke vrijednosti kolorimetrijskih razlika, sve iznad referentne linije.

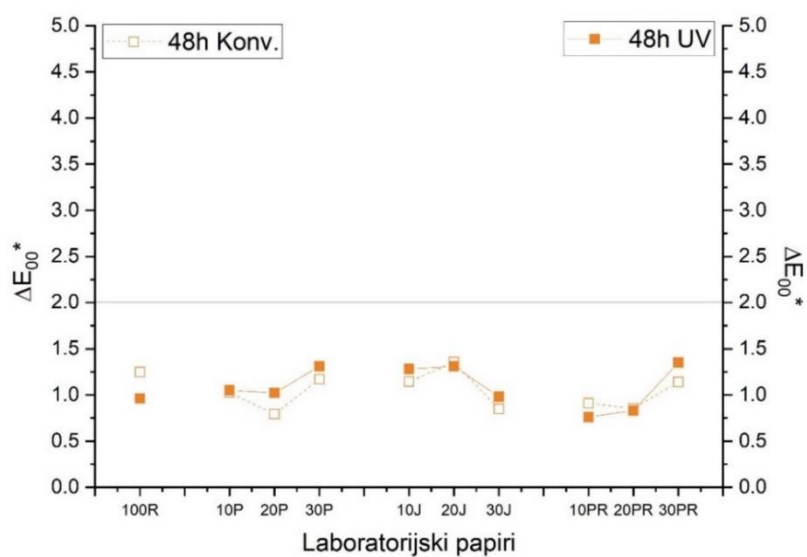
Na Slikama 32-35 je vidljivo kako svi laboratorijski papiri otisnuti žutom i magenta (Slika 32) te žutom i cijan bojom (Slika 33) imaju niske vrijednosti Euklidske razlike što znači da imaju visoku stabilnost na temperaturu i UV zračenje. Svi laboratorijski papiri osim 100R i laboratorijski papiri s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



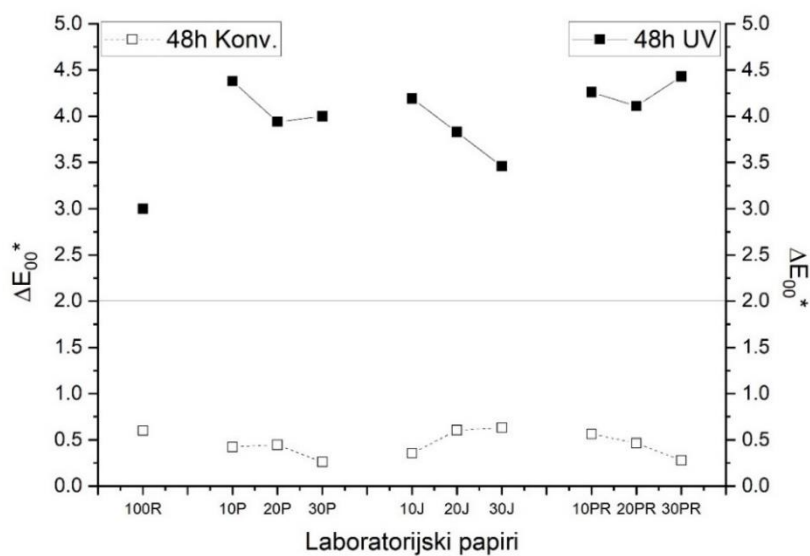
Slika 28. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati



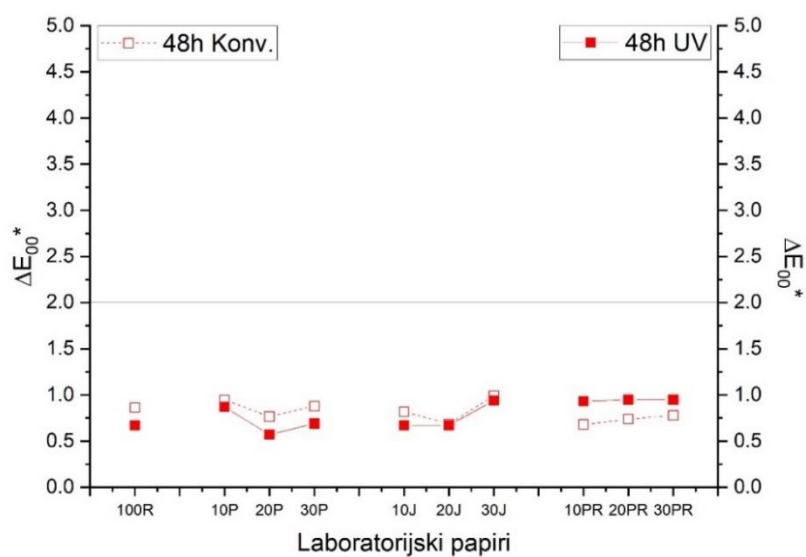
Slika 29. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati



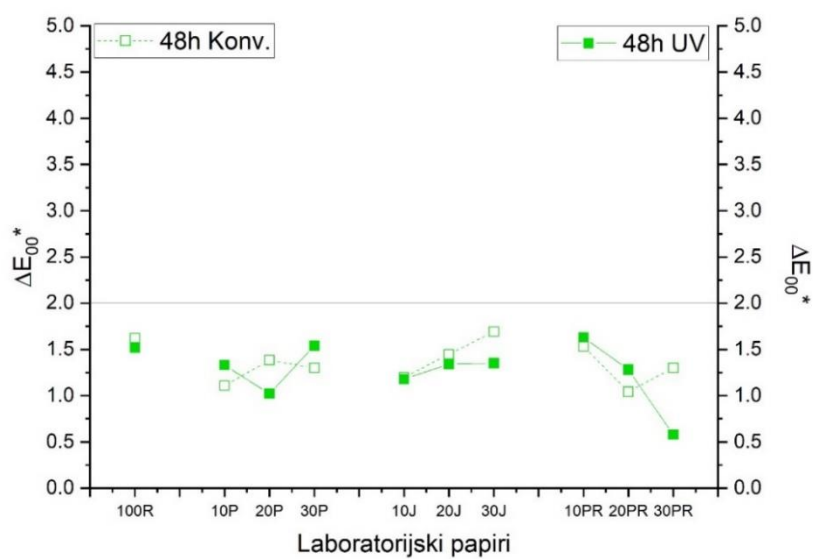
Slika 30. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati



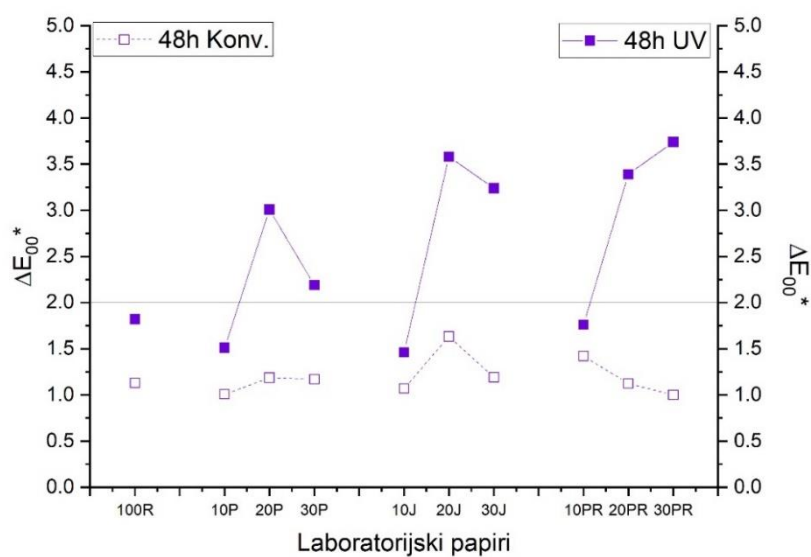
Slika 31. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati



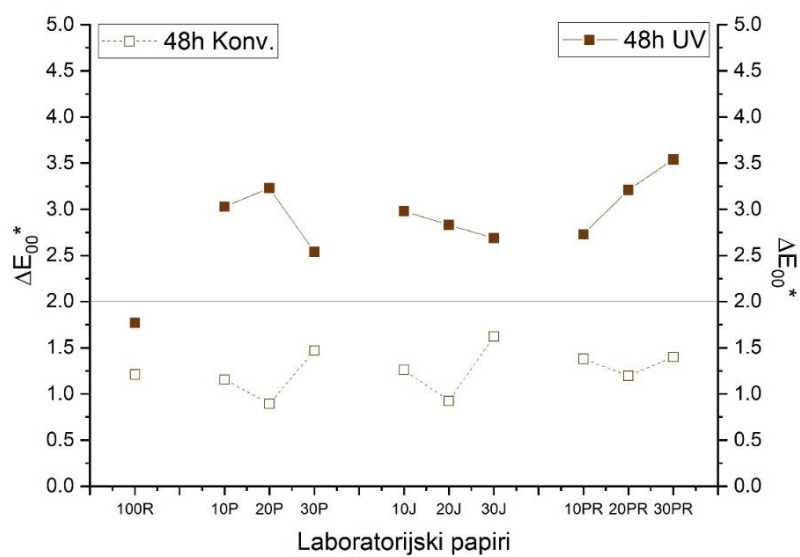
Slika 32. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati



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

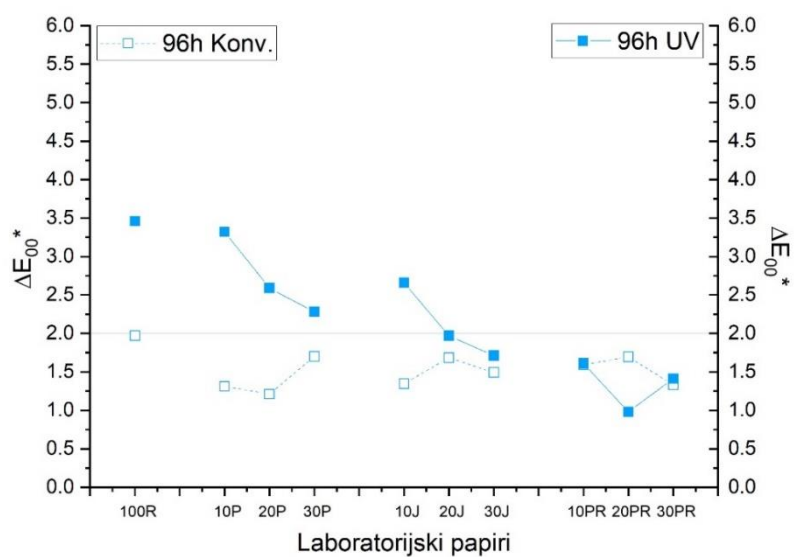


Slika 35. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 48 sati

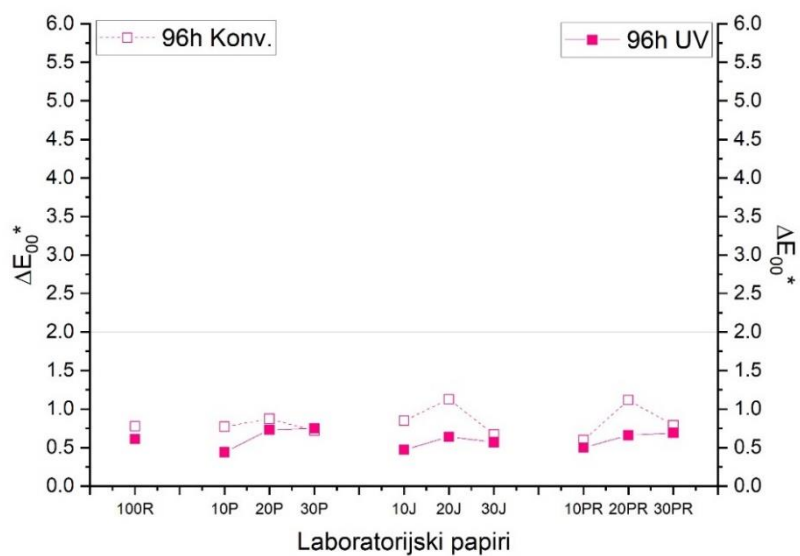
Slike 36-43 prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijan, magenta, žuta i crna te višebojnim otiscima žuta i magenta, žuta i cijan, cijan i magenta te žuta, cijan i magenta otisnutim konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim papirima nakon 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 magenta (Slika 37) i žutom (Slika 38) konvencionalnom i UV bojom najstabilniji. Laboratorijski papiri 100R, 10P, 20P, 30P i 10J otisnuti cijan UV bojom (Slika 36) pokazuju nestabilnost ( $\Delta E_{00}^*_{100R \max}=3,46$ ). Svi laboratorijski papiri otisnuti UV crnom bojom (Slika 39) pokazuju vrijednosti Euklidske razlike iznad preporučene vrijednosti što ukazuje na njihovu nestabilnost ( $\Delta E_{00}^*_{10P,10PR \max}=4,30$ ), dok su laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode stabilni.

Laboratorijski papiri otisnuti žutom i magenta bojom (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 ( $\Delta E_{00}^*_{30J \max}=3,60$ ). Laboratorijski papiri otisnuti UV cijan i magenta ( $\Delta E_{00}^*_{30PR \max}=4,56$ ) (Slika 42) te žutom, cijan i magenta bojom ( $\Delta E_{00}^*_{30PR \max}=5,51$ ) (Slika 43) imaju visoke vrijednosti Euklidske razlike u obojenju, sve iznad preporučene vrijednosti.

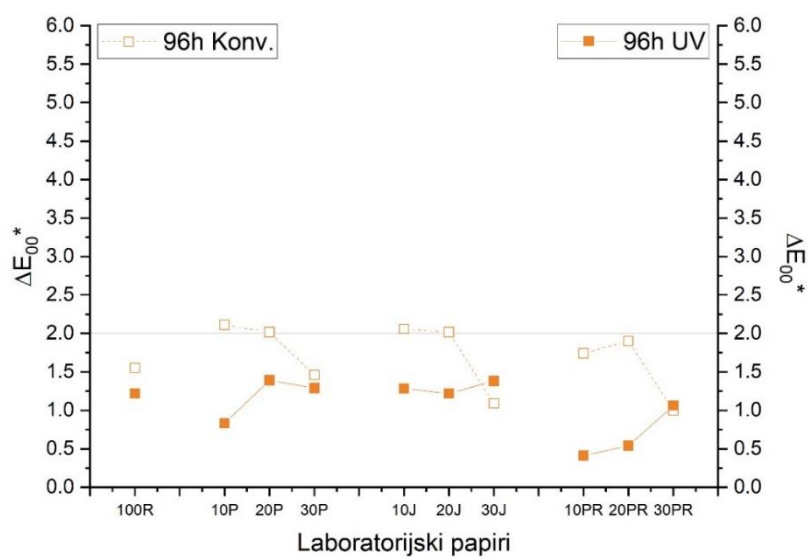


Slika 36. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati

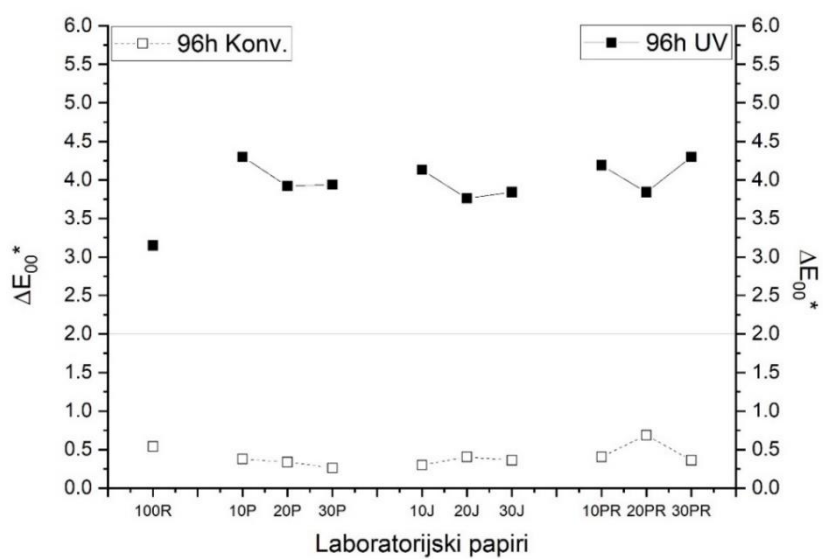


Slika 37. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati

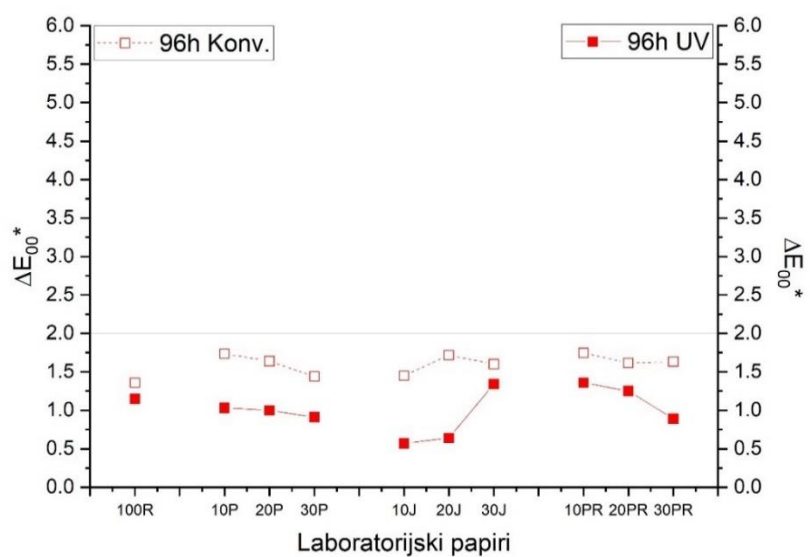




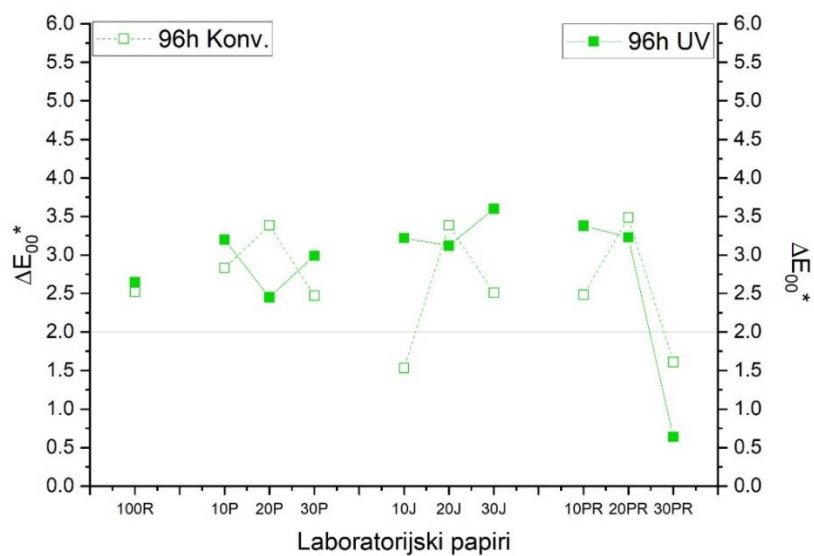
Slika 38. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati



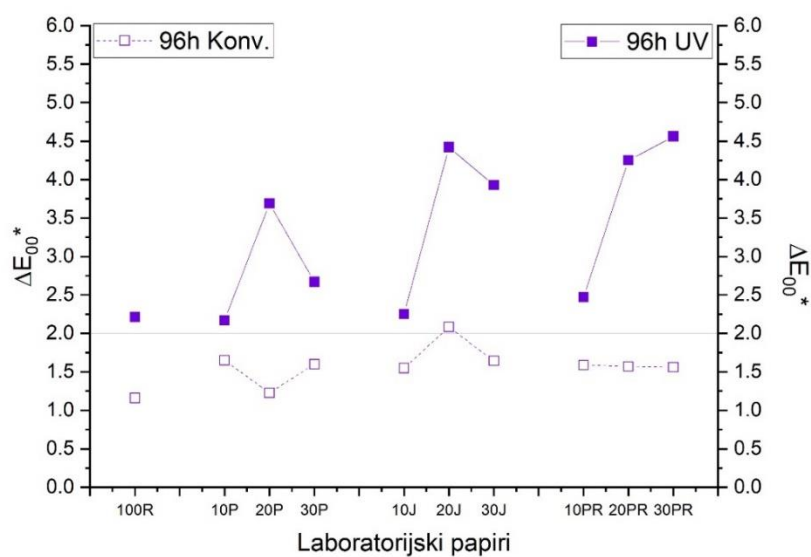
Slika 39. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati



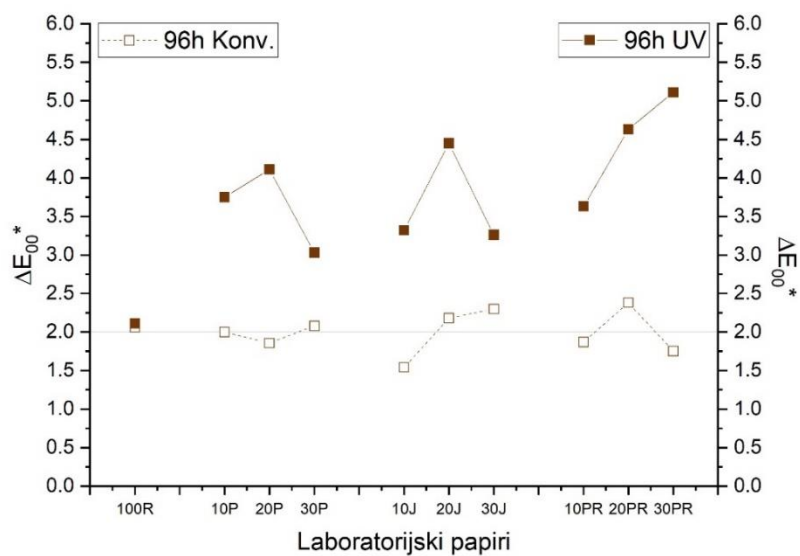
Slika 40. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon tretmana u periodu od 96 sati



Slika 41. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih žuta, 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

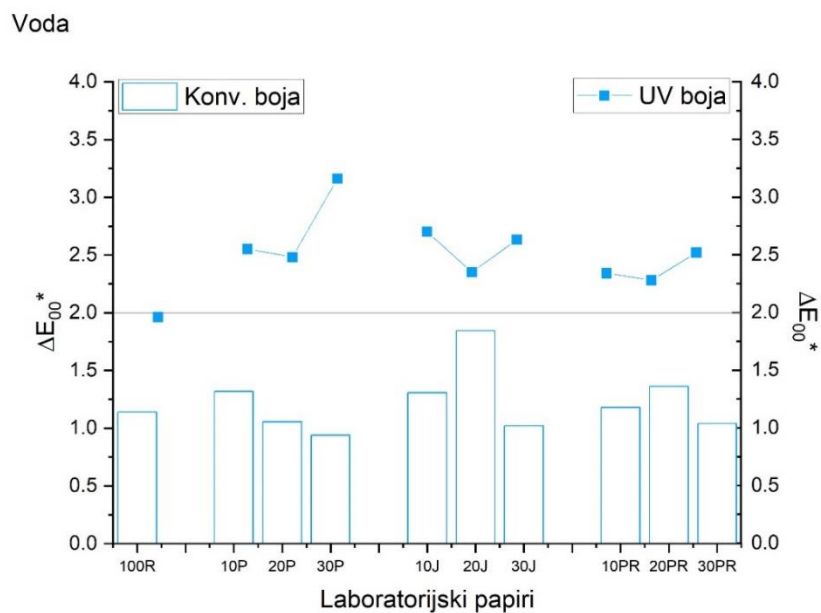
Slike 44-91 prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijan, magenta, žuta i crna te višebojnim otiscima žuta i magenta, žuta i cijan, cijan i magenta te žuta, cijan i magenta otisnutim fleksografskim konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama, na svim laboratorijskim 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 ispunjenim bijelim za podloge otisnute konvencionalnim bojama na bazi vode, dok su podloge otisnute UV bojama prikazane istim simbolima ispunjenima bojom.

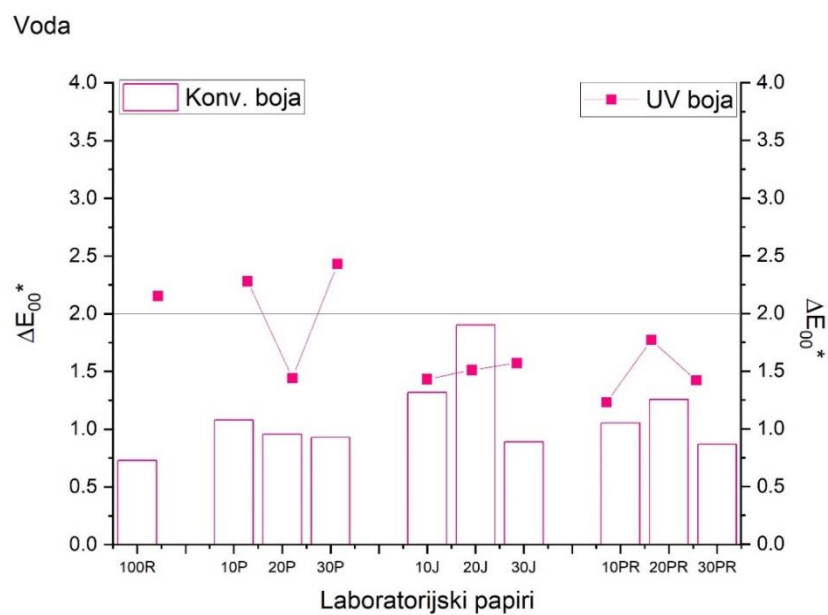
##### 4.2.2.1. Kemijski agens: Voda

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 otisnutim UV cijan bojom ( $\Delta E_{00}^*_{30P \max} = 3,16$ ) (Slika 44) te samo laboratorijski papiri 100R, 10P i 30P otisnuti magenta bojom ( $\Delta E_{00}^*_{30PR \max} = 2,43$ ) (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 30P otisnut cijan i magenta UV bojama ( $\Delta E_{00}^*_{30P \max} = 2,87$ ) (Slika 50) te 10J i 20J otisnut žutom, cijan i magenta UV bojama ( $\Delta E_{00}^*_{20J \max} = 3,5$ ) (Slika 51).

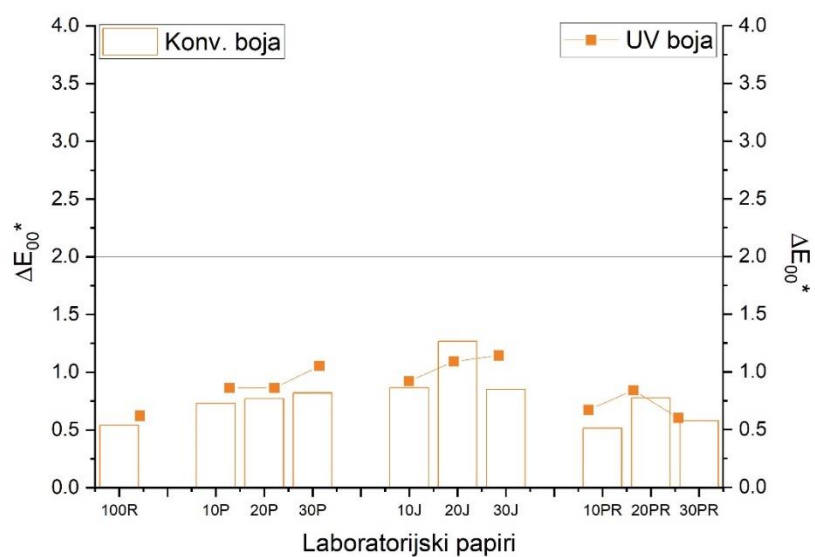


Slika 44. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode



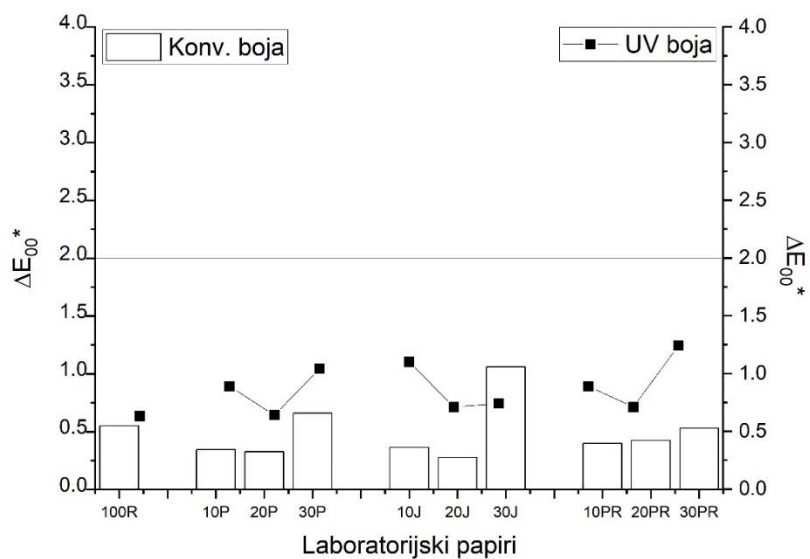
Slika 45. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode

Voda

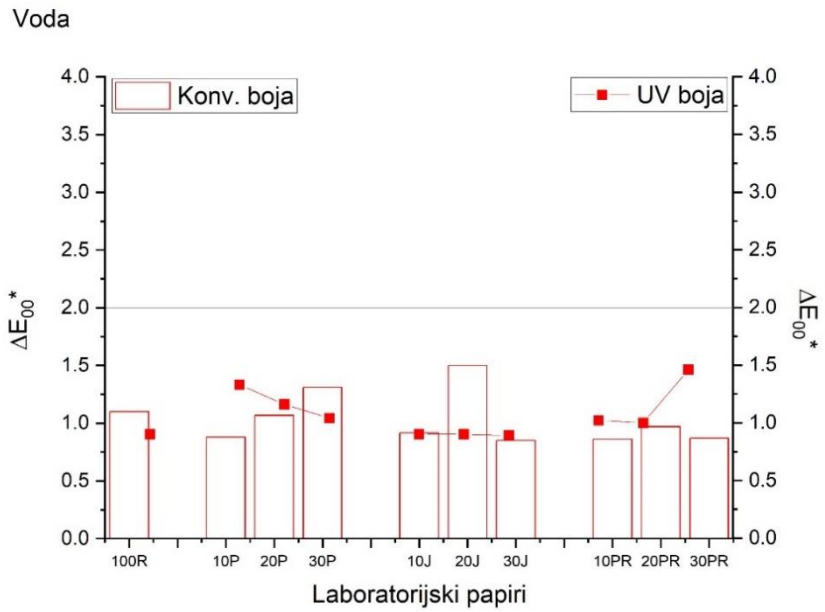


Slika 46. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode

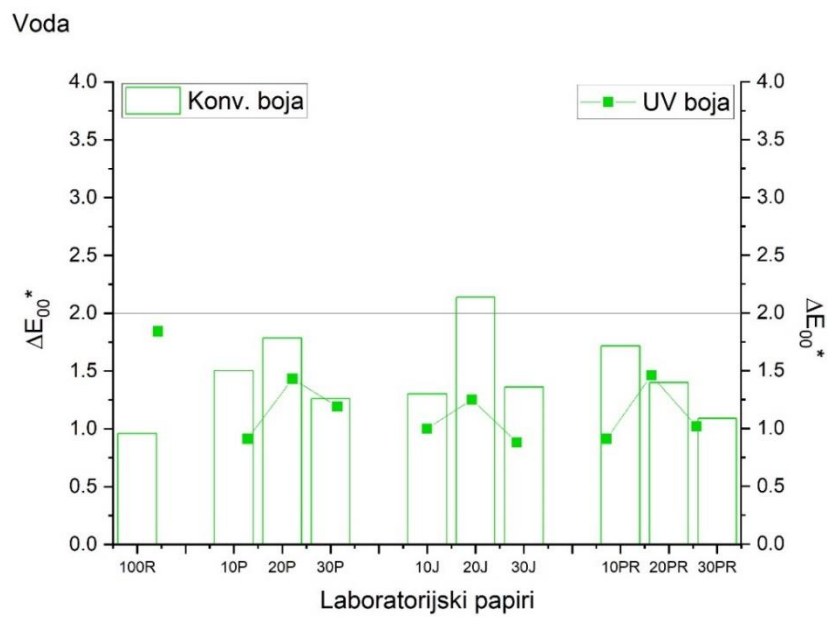
Voda



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

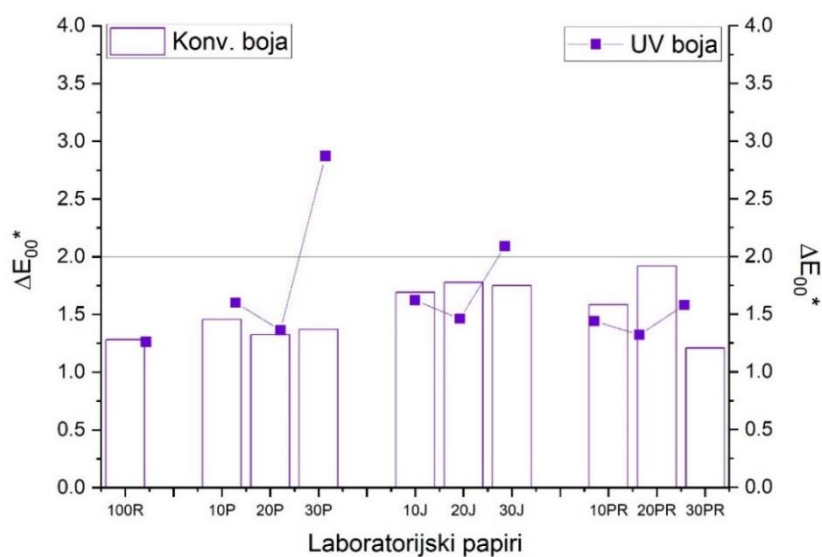


Slika 48. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode



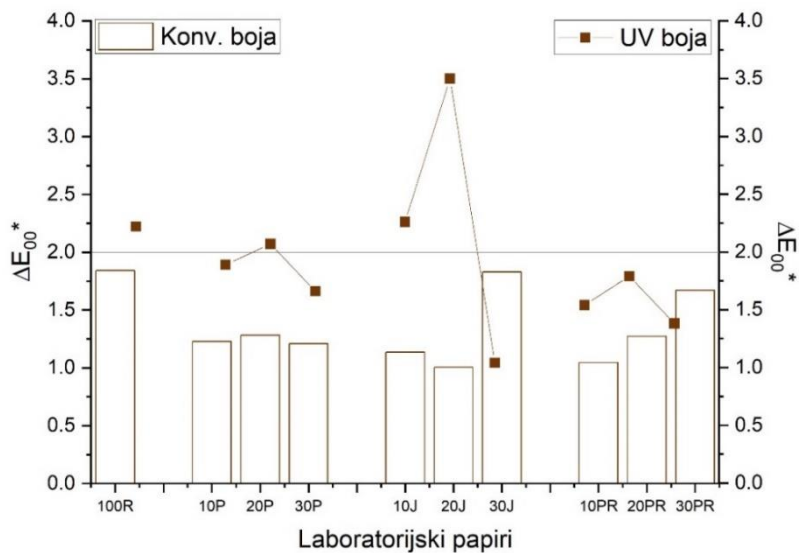
Slika 49. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode

Voda



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

Voda

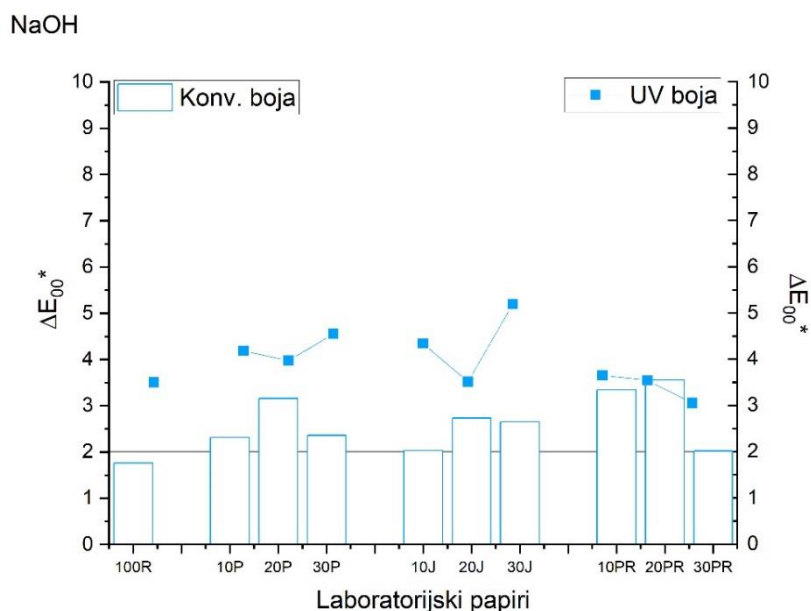


Slika 51. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja vode



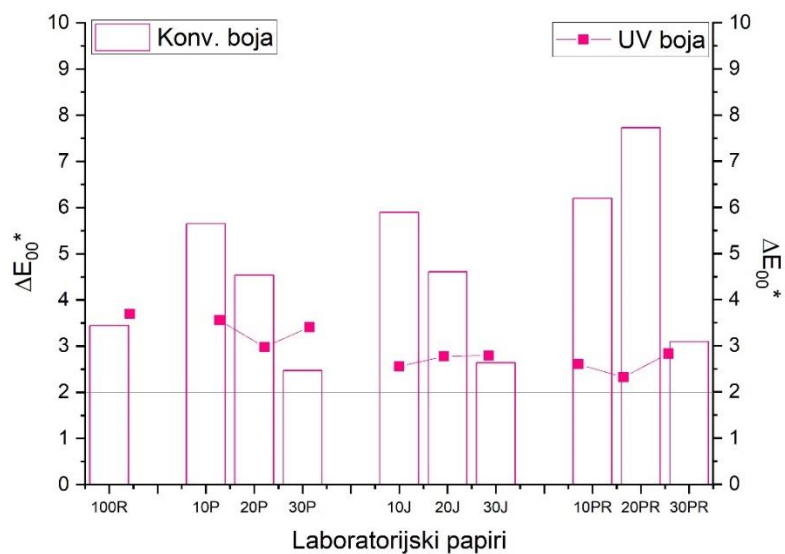
#### 4.2.2.2. Kemijski agens: Natrijeva lužina (NaOH)

Kod laboratorijskih papira koji su bili izloženi natrijevoj lužini vidljivo je kako papiri otisnuti žutom i crnom bojom (Slike 54 i 55), konvencionalnom i UV, imaju najbolju stabilnost ( $\Delta E_{00}^* = <2$ ). Laboratorijski papiri otisnuti cijan (Slika 52) ( $\Delta E_{00}^*_{30J \max} = 5,19$ ) i magenta (Slika 53) ( $\Delta E_{00}^*_{20PR \max} = 7,73$ ) bojama nisu pokazali dobru stabilnost 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 ( $\Delta E_{00}^*_{20J \max Y+M} = 8,60$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20J \max Y+C} = 6,10$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20J \max C+M} = 9,94$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20J \max Y+C+M} = 9,20$ ) [28]. Veću stabilnost pokazuju samo laboratorijski papiri otisnuti cijan i magenta (Slika 58) UV bojom gdje samo 30P i 20J imaju vrijednosti Euklidske razlike iznad referentne linije.



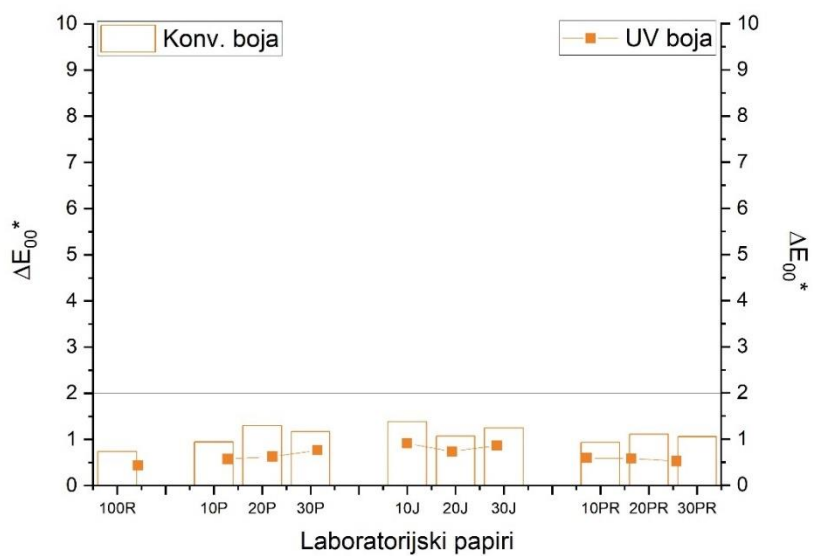
Slika 52. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine

NaOH

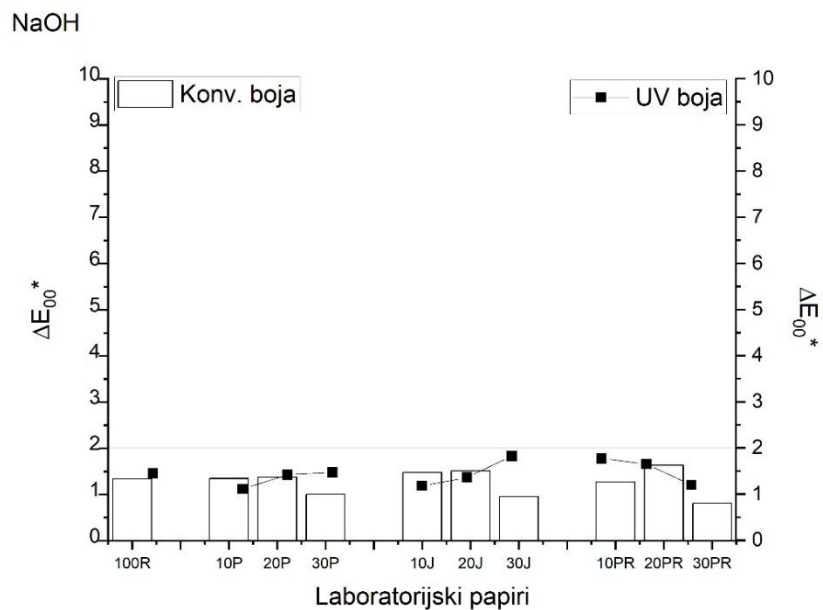


Slika 53. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine

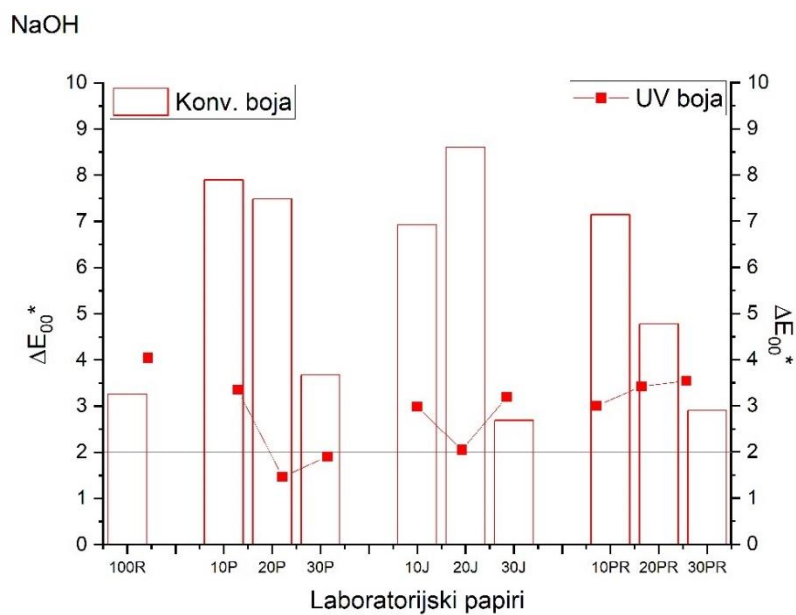
NaOH



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

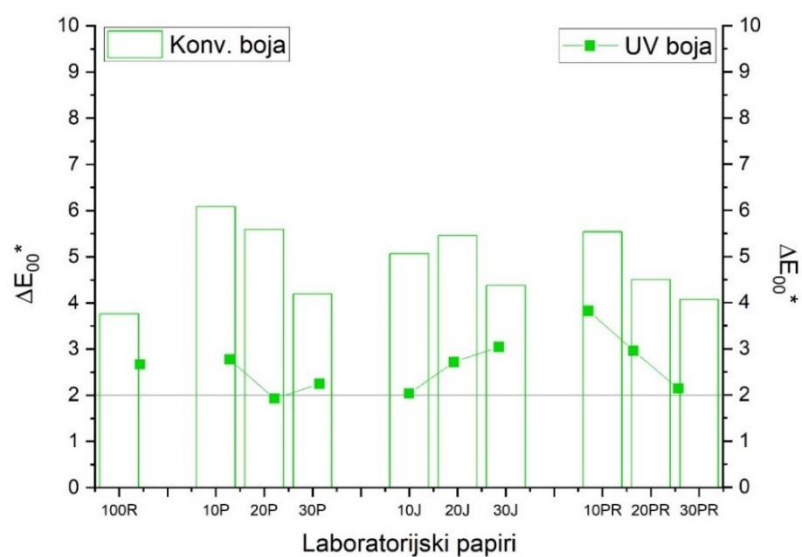


Slika 55. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine



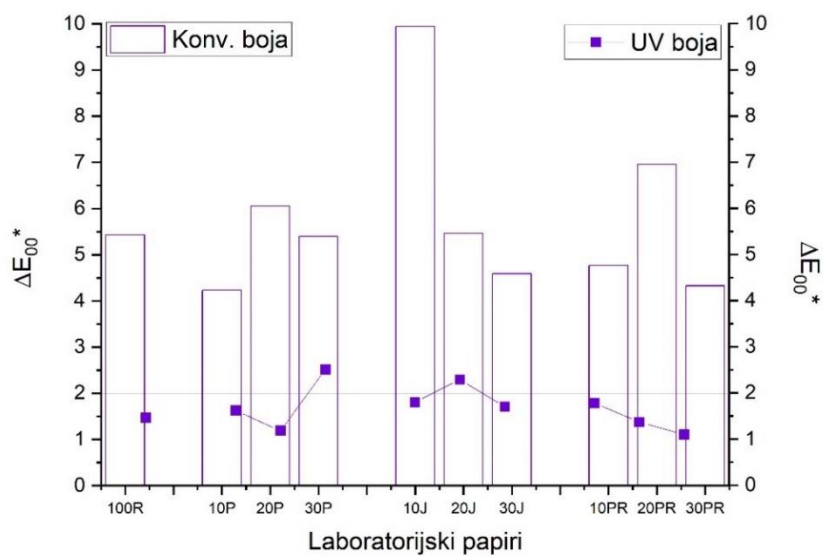
Slika 56. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine

NaOH

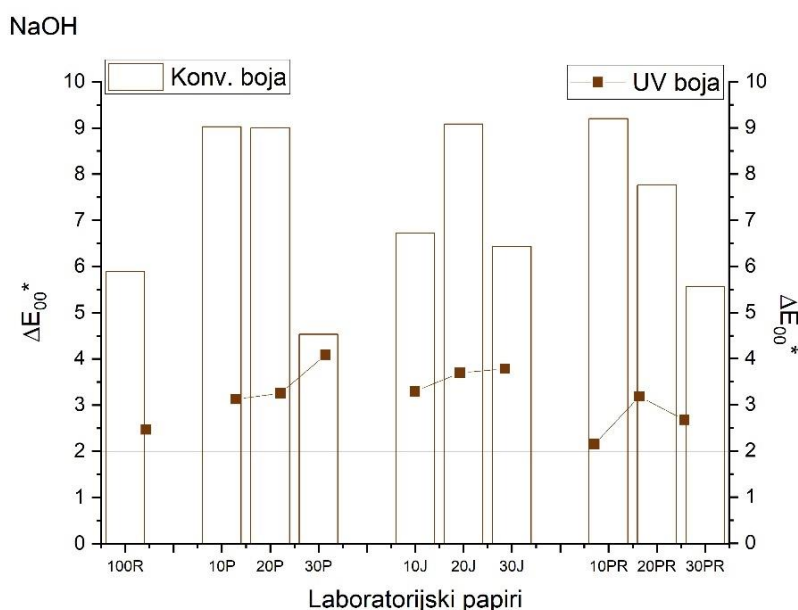


Slika 57. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine

NaOH



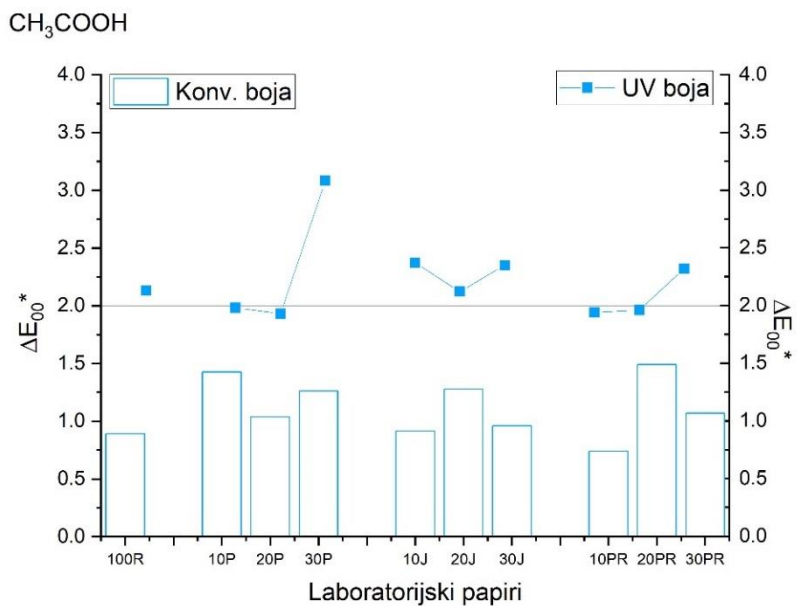
Slika 58. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine



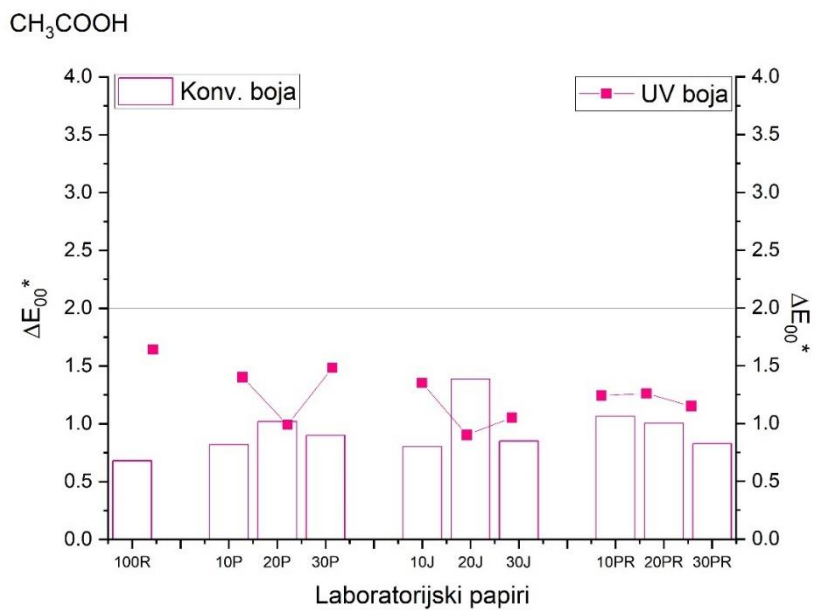
Slika 59. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja lužine

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

Vrijednosti Euklidske razlike na laboratorijskim papirima otisnutim žutom (Slika 62) i crnom (Slika 63) konvencionalnom i UV bojom pokazuju vrlo dobru stabilnost nakon izlaganja otisaka octenoj kiselini. Svi laboratorijski uzorci otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju niske vrijednosti Euklidske razlike, odnosno dobru stabilnost (Slike 60-66), jedino višebojni laboratorijski uzorak 30J otisnut žutom, cijan i magenta bojama pokazuje visoku vrijednost ( $\Delta E_{00}^*_{20J_{\max}}=2,41$ ), iznad preporučene vrijednosti (Slika 67). Laboratorijski papiri otisnuti UV cijan bojom (Slika 60) pokazuju povišene vrijednosti Euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*_{30P_{\max}}=3,10$ ). Također, većina višebojnih laboratorijskih papira s dodatkom pulpe slame svih žitarica otisnutih UV bojama žutom, cijan i magentom (Slika 67) pokazuju povišene vrijednosti Euklidske razlike ( $\Delta E_{00}^*_{20J_{\max}}= 2.9$ ), većinom iznad referentne linije, isto tako i laboratorijski papir s dodatkom od 30% pulpe pšenice otisnut UV cijan i magenta bojama ( $\Delta E_{00}^*_{30P_{\max}}=3,21$ ) (Slika 66).

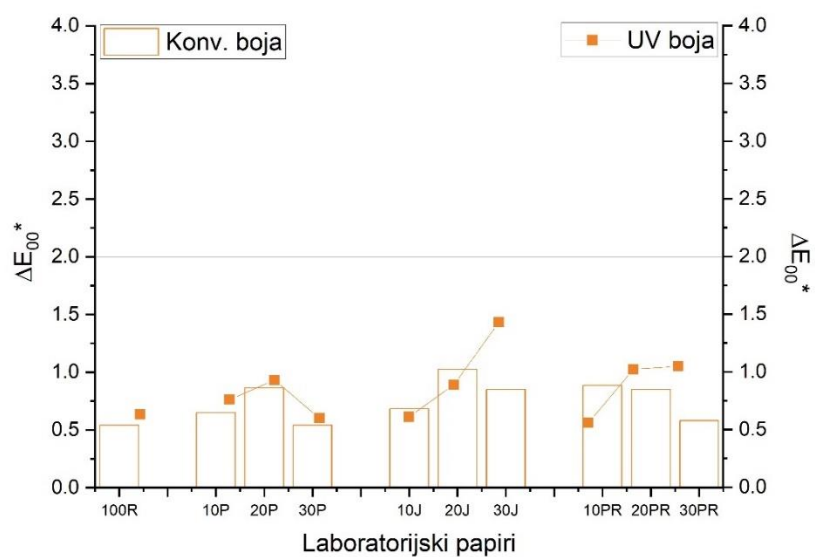


Slika 60. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline



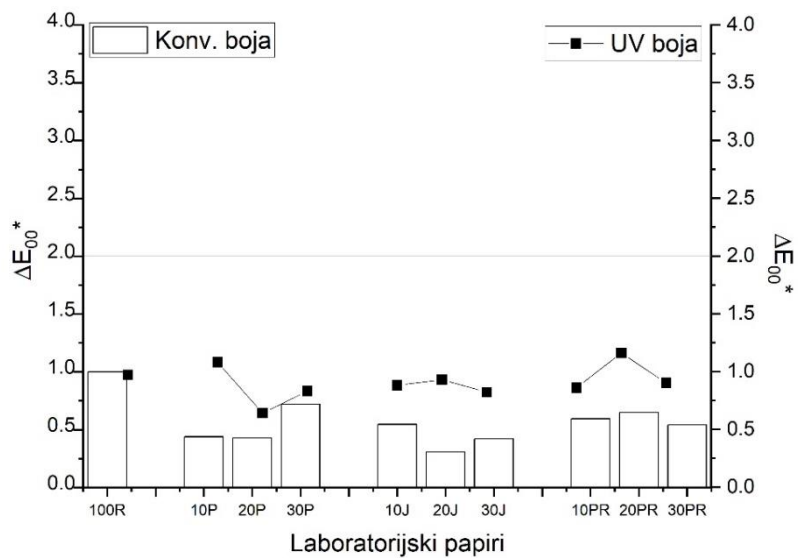
Slika 61. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline

CH<sub>3</sub>COOH



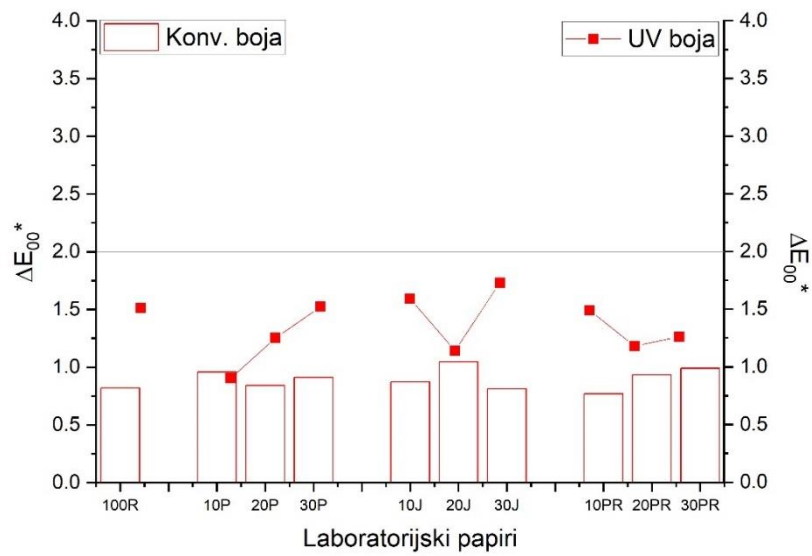
Slika 62. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline

CH<sub>3</sub>COOH



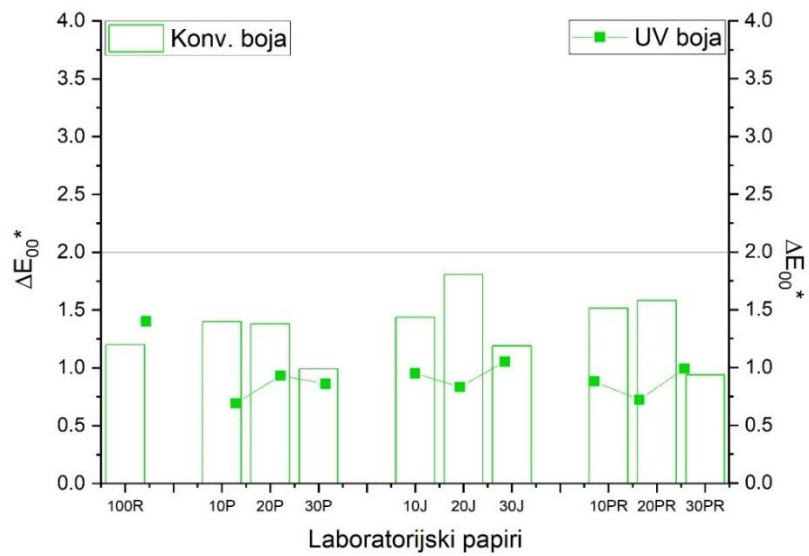
Slika 63. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline

CH<sub>3</sub>COOH



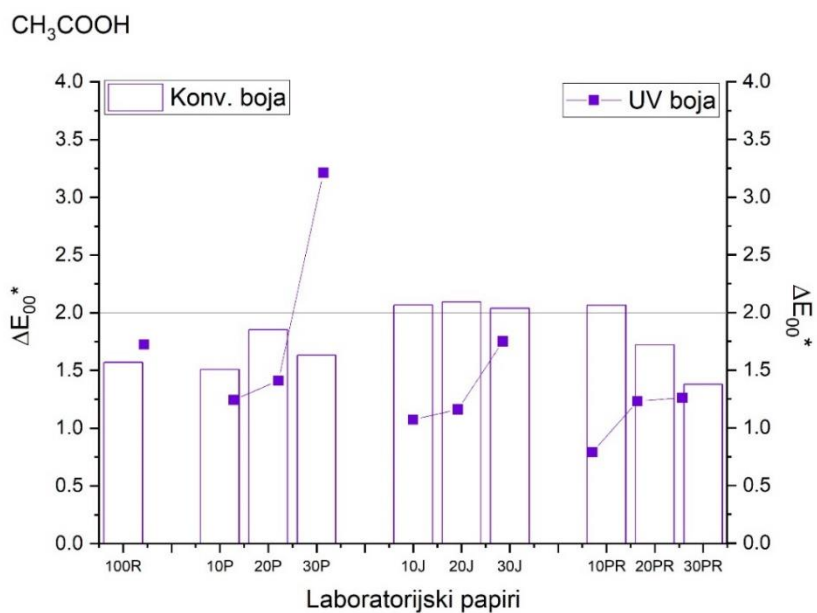
Slika 64. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline

CH<sub>3</sub>COOH

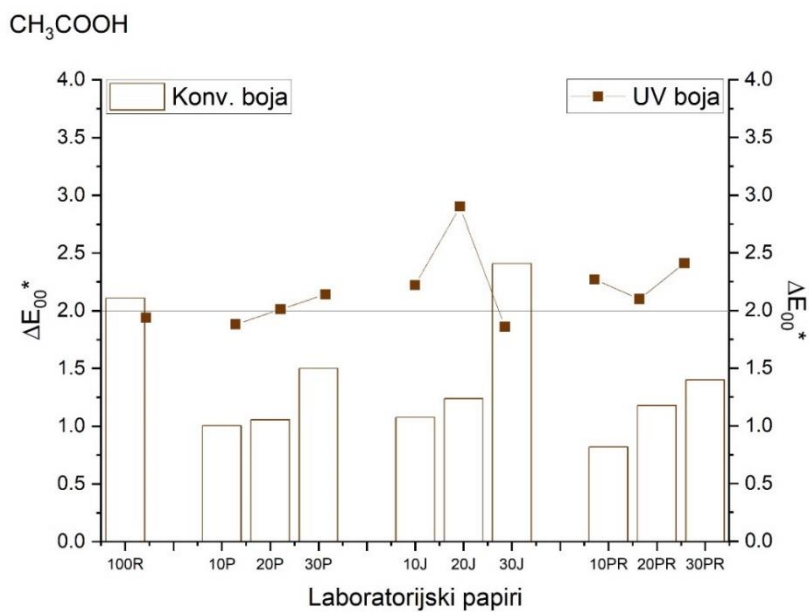


Slika 65. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline





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

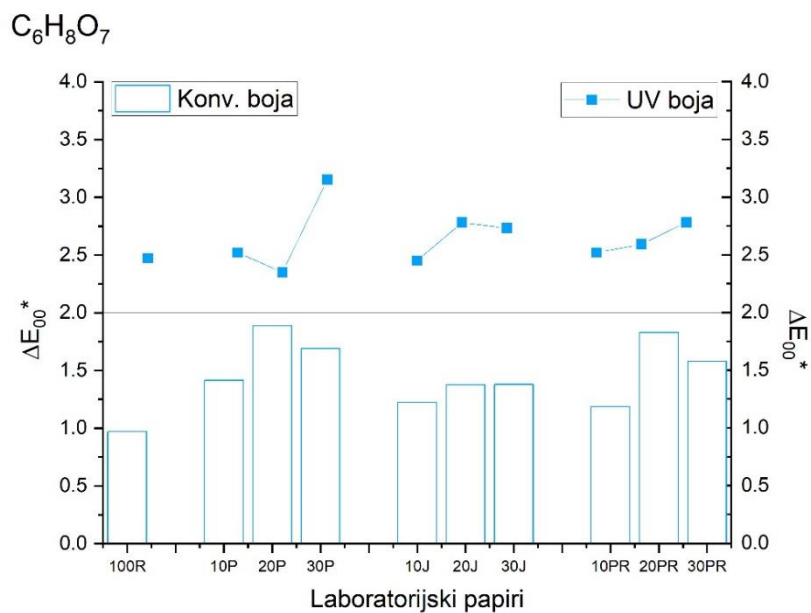


Slika 67. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja octene kiseline

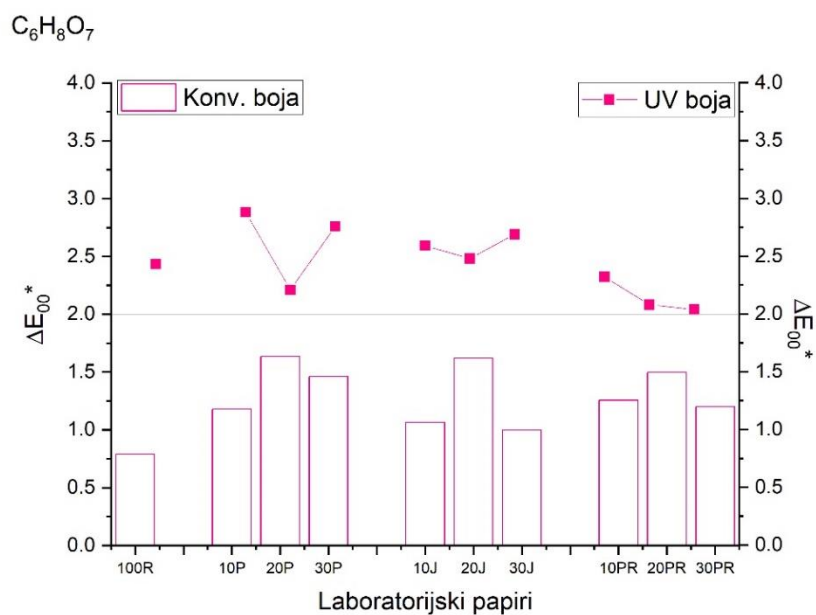
#### 4.2.2.4. Kemijski agens: Limunska kiselina ( $C_6H_8O_7$ )

Slike 68-71 pokazuju kako svi laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode cijan, magenta, žuta 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 stabilnost nakon izlaganja limunskoj kiselini ( $\Delta E_{00}^*_{30P_{max} C} = 3,15$ ,  $\Delta E_{00}^*_{10P_{max} M} = 2,88$ ) [28].

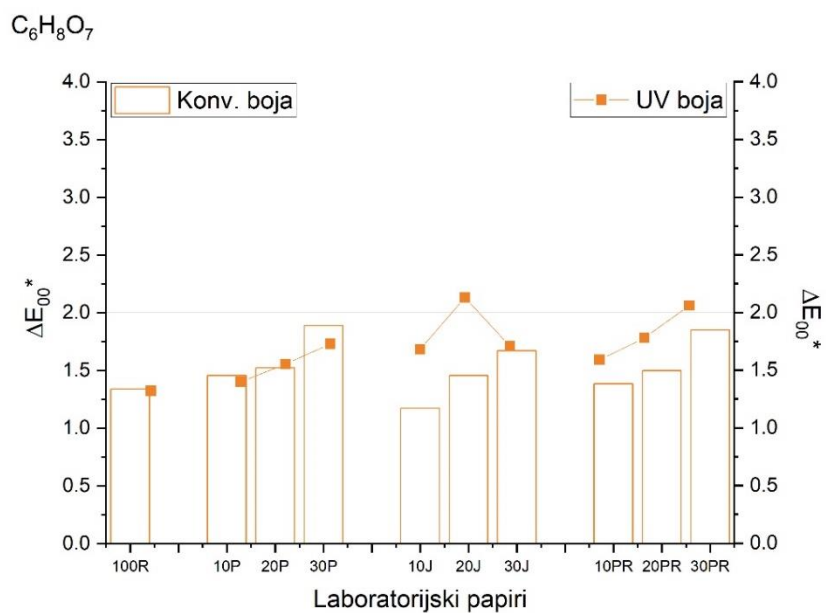
Višebojni laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode otisnuti žutom i magenta bojama (Slika 72) te žutom i cijan (Slika 73) bojom pokazuju niske vrijednosti Euklidske razlike u obojenju, odnosno dobru stabilnost, dok na laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim cijan i magenta bojama (Slika 74) niske vrijednosti imaju samo papiri s dodatkom 30% pulpe slame ( $\Delta E_{00}^*_{20J_{max}} = 3,98$ ). U slučaju otisaka otisnutih konvencionalnom žutom, cijan i magenta bojama (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 ( $\Delta E_{00}^*_{20J_{max}} = 2,29$ ). Laboratorijski papiri otisnuti UV žutom i cijan bojama (Slika 73) imaju dobru stabilnost nakon izlaganja limunskoj kiselini, dok laboratorijski papiri otisnuti UV žutom, cijan i magenta bojama (Slika 75) imaju visoke vrijednosti Euklidske razlike, sve iznad referentne linije ( $\Delta E_{00}^*_{20J_{max}} = 3,81$ ). Niske vrijednosti Euklidske razlike, odnosno unutar preporučene vrijednosti, vidljive su samo na laboratorijskim papirima s 30% pulpe pšenoraži otisnutim UV cijan i magenta bojama (Slika 74).



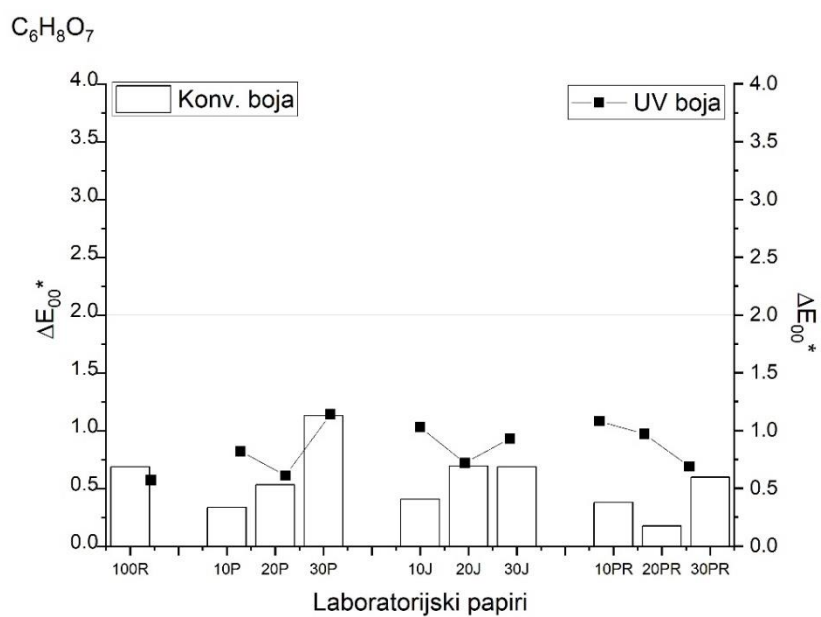
Slika 68. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline



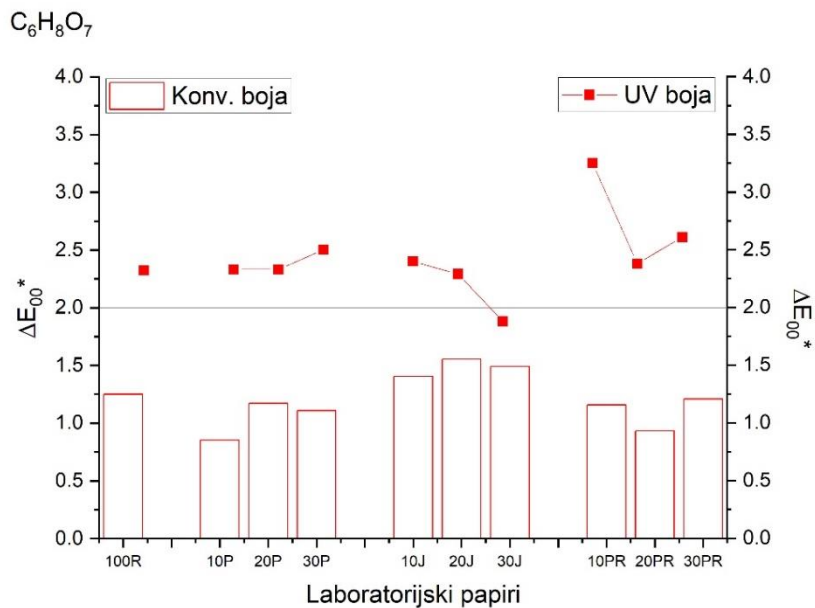
Slika 69. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline



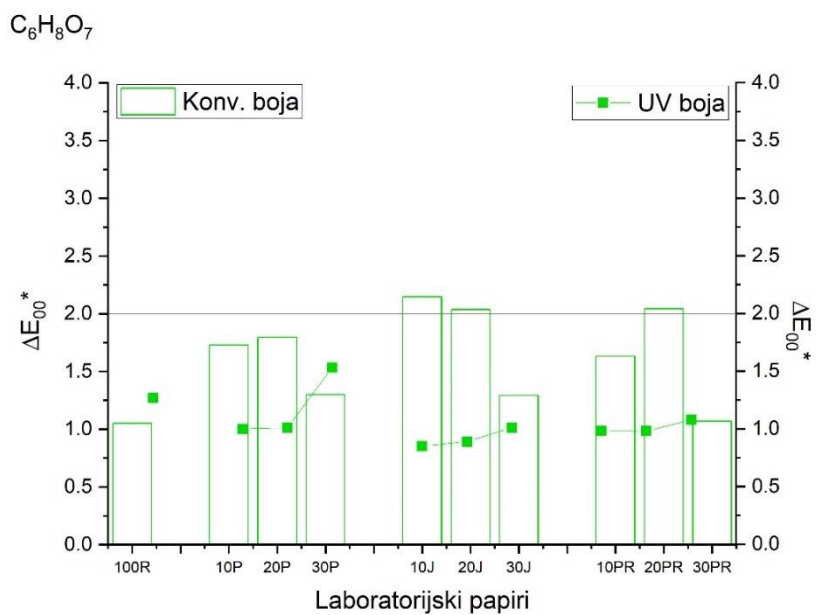
Slika 70. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline



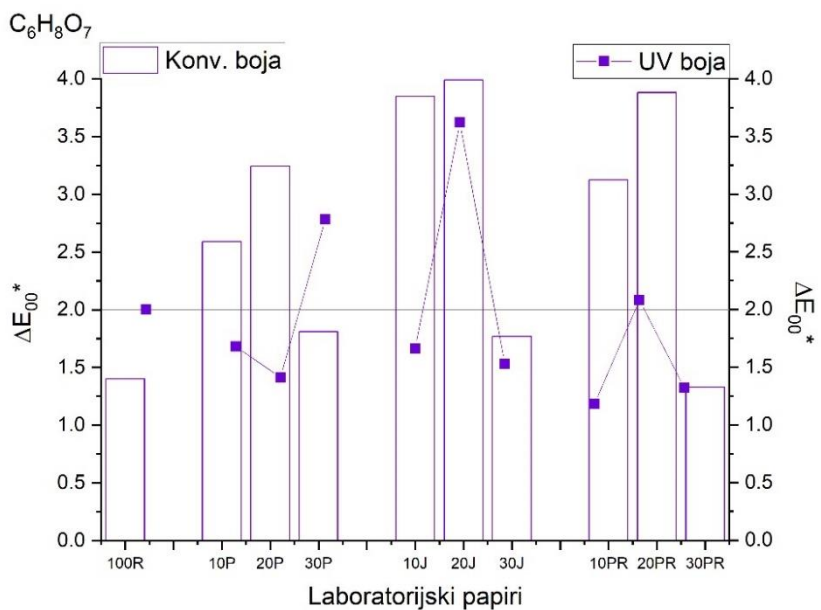
Slika 71. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline



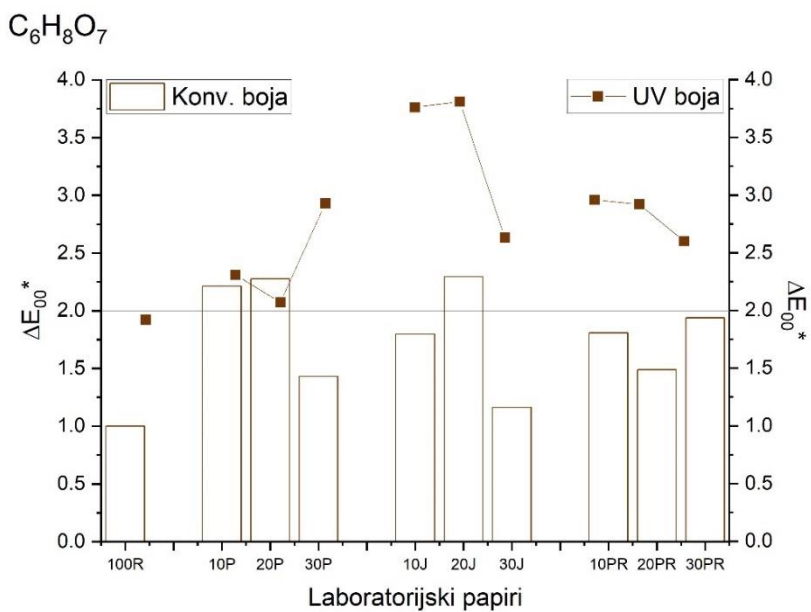
Slika 72. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline



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

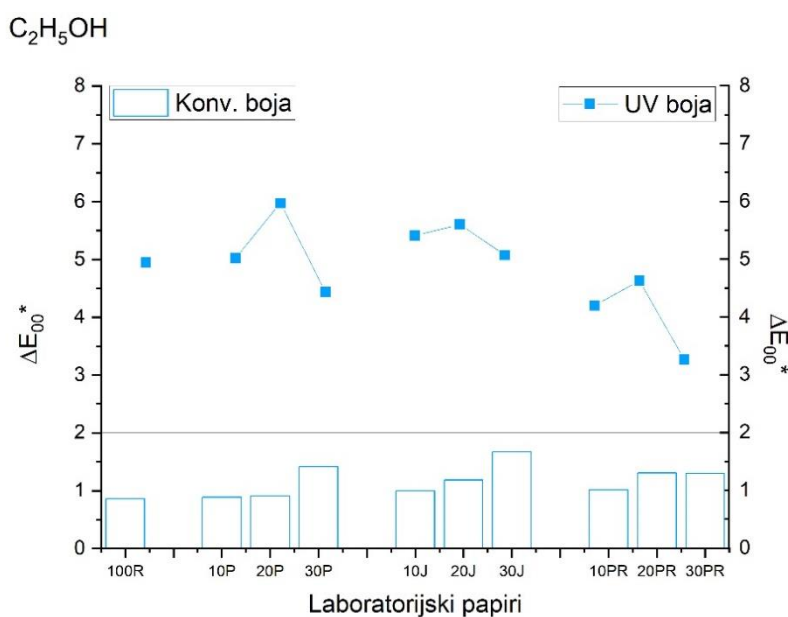


Slika 75. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja limunske kiseline

#### 4.2.2.5. Kemijski agens: Etanol ( $C_2H_5OH$ )

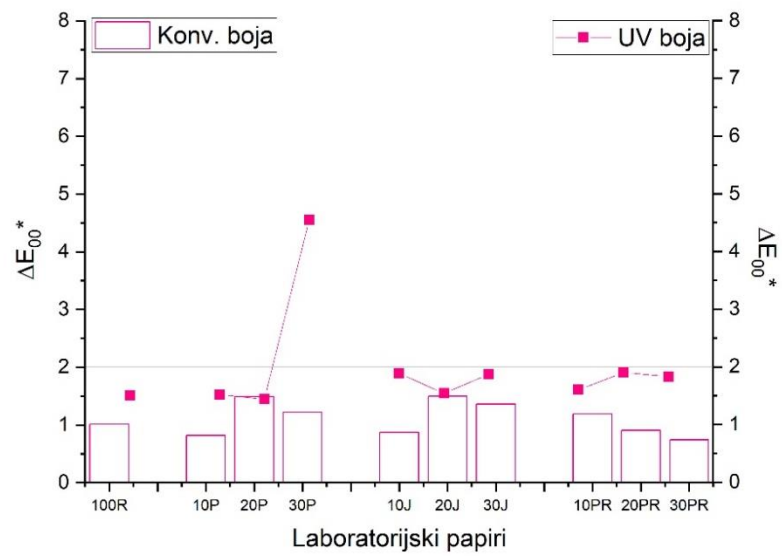
Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode svi imaju izvrsnu stabilnost nakon izlaganja etanolu, odnosno niske vrijednosti Euklidske razlike u obojenju, osim laboratorijskog papira 100R te laboratorijskih papira s dodatkom 30% pulpe pšenice (30P) i ječma (30J) otisnutih žutom, cijan i magenta bojama (Slika 83) ( $\Delta E_{00}^*_{100Rmax}=3,2$ ).

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



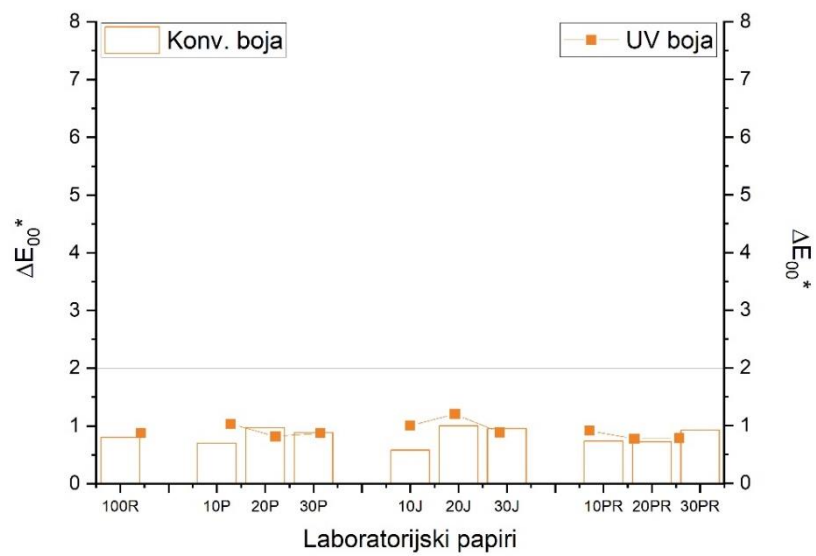
Slika 76. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola

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



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

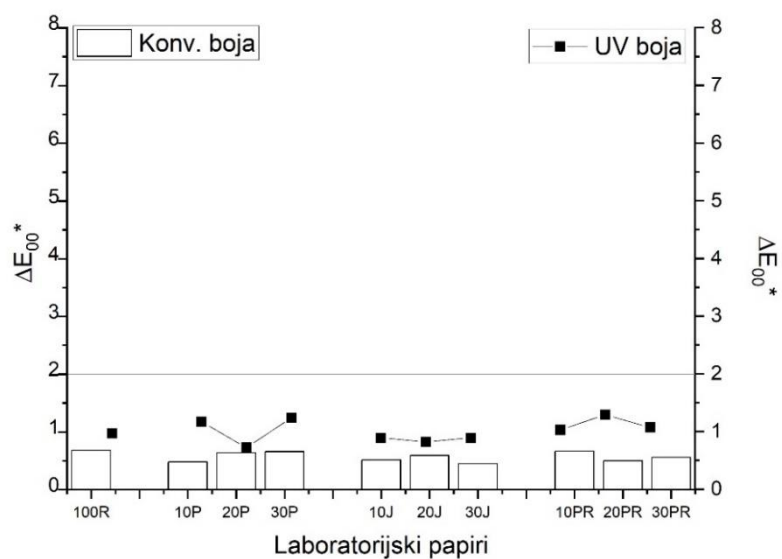
C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH



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

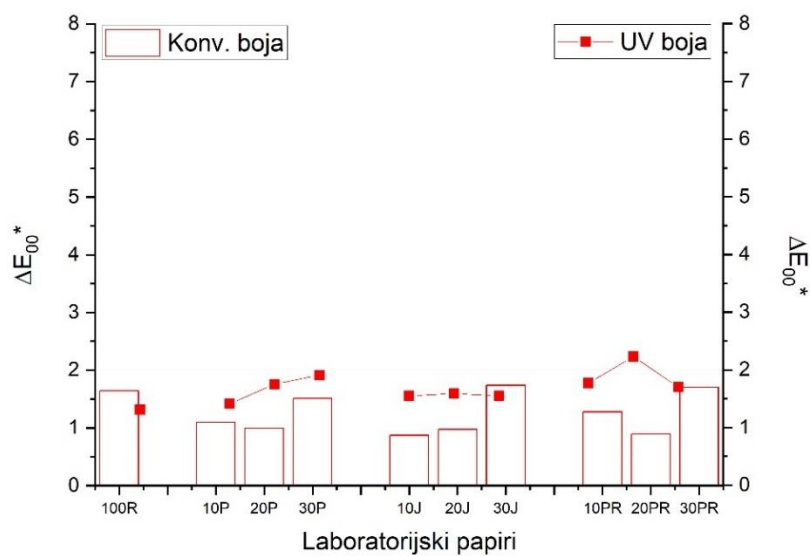


C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH



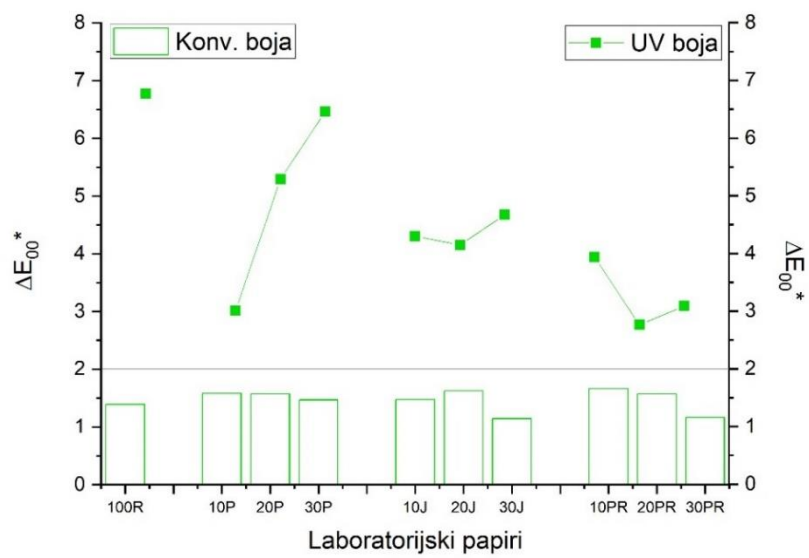
Slika 79. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola

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



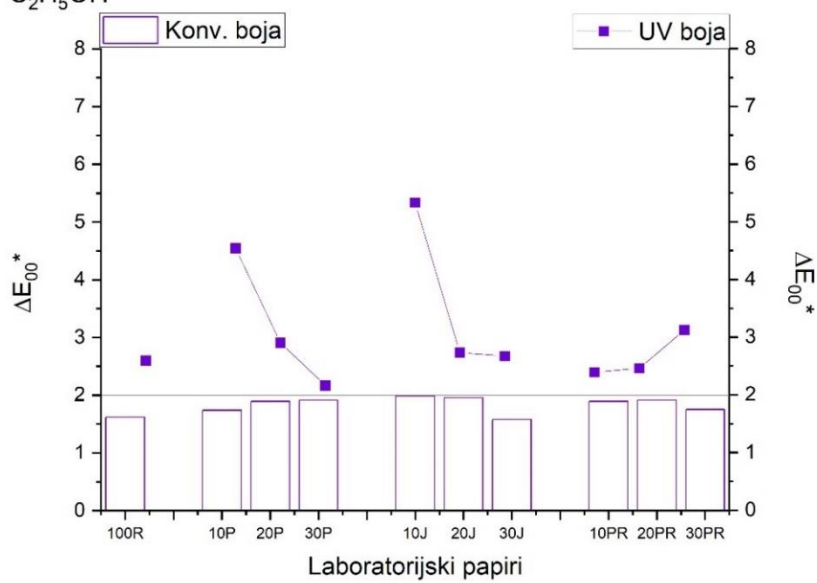
Slika 80. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola

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

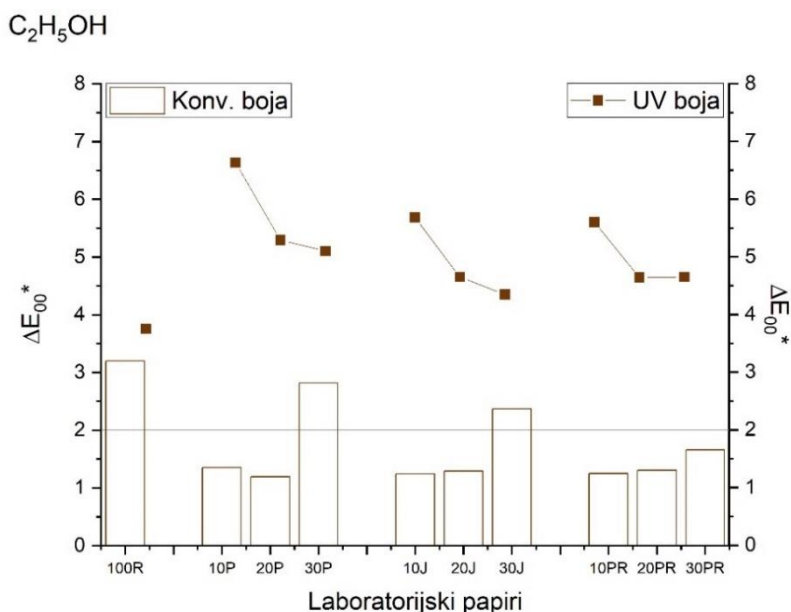


Slika 81. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola

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



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

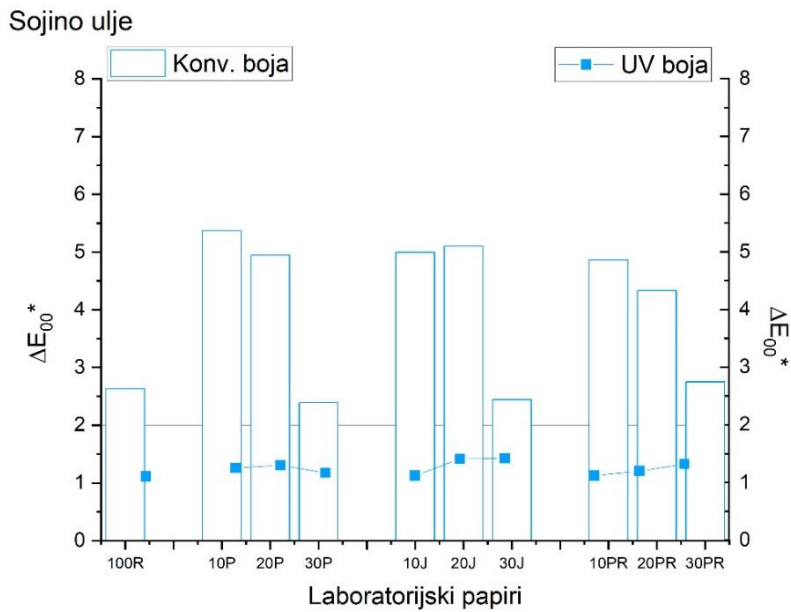


Slika 83. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja etanola

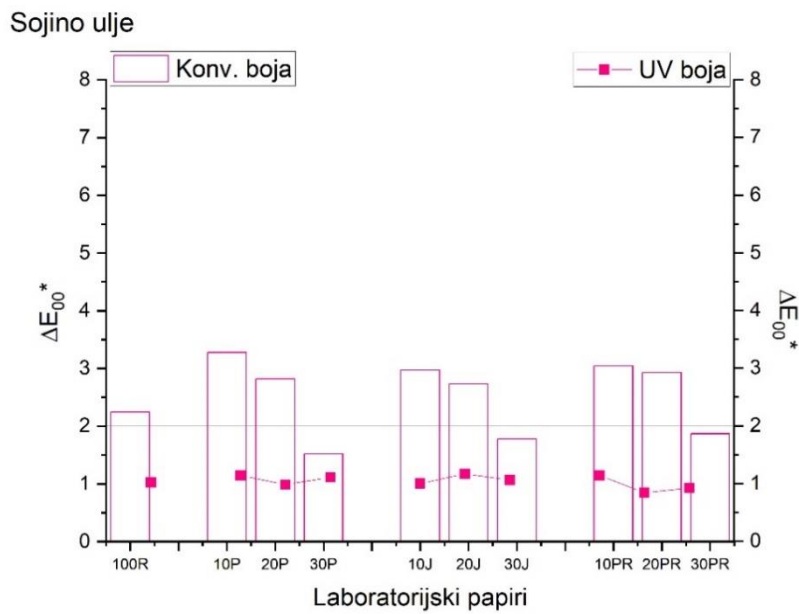
#### 4.2.2.6. Kemijski agens: Sojino ulje

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

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

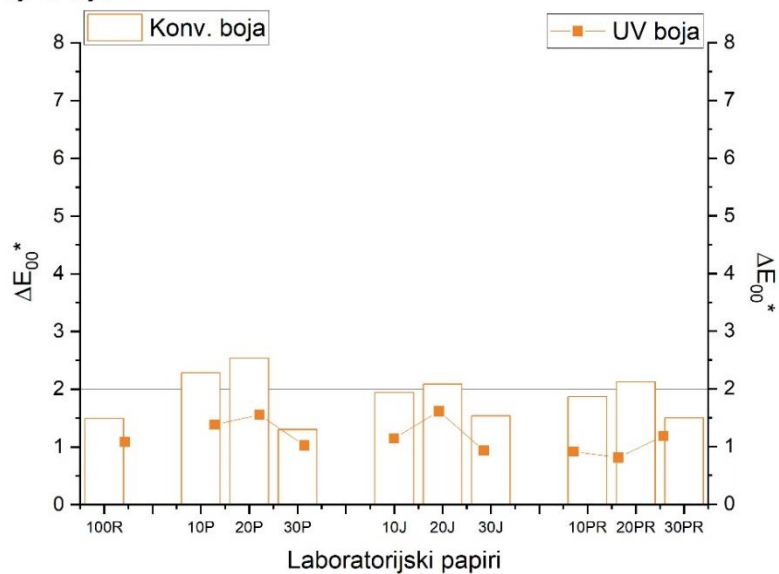


Slika 84. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja



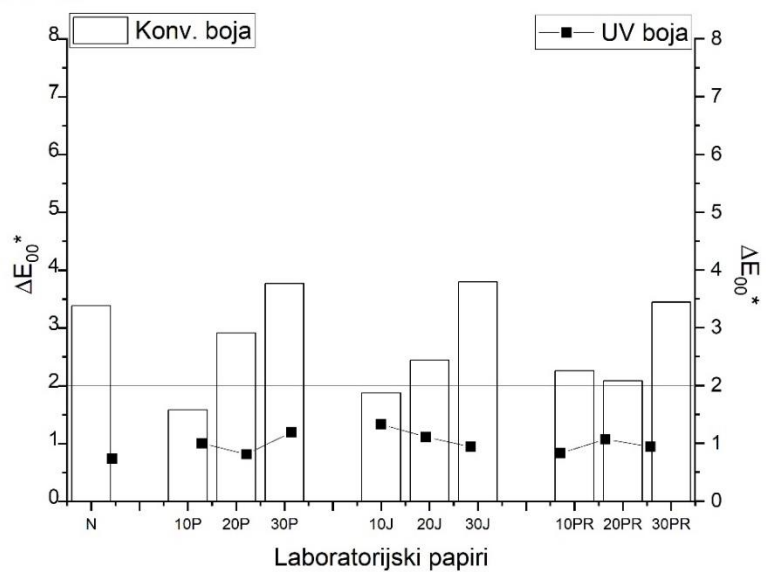
Slika 85. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja

Sojino ulje



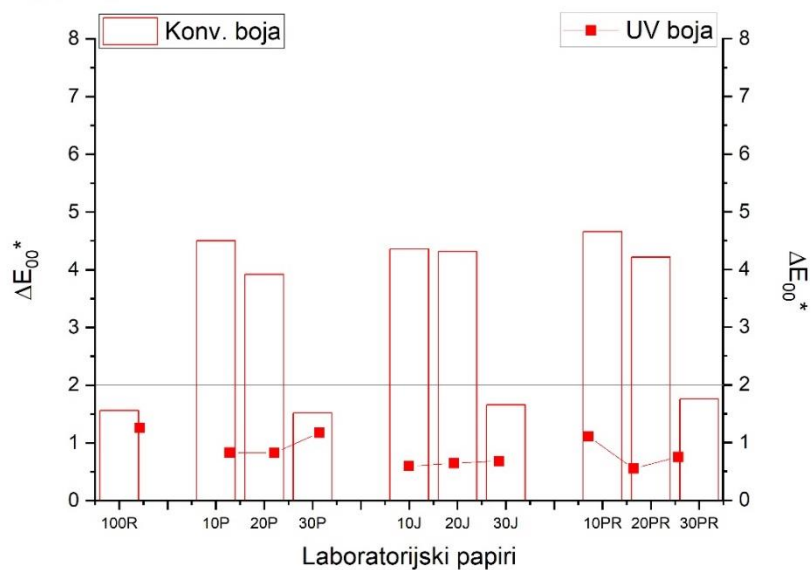
Slika 86. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja

Sojino ulje



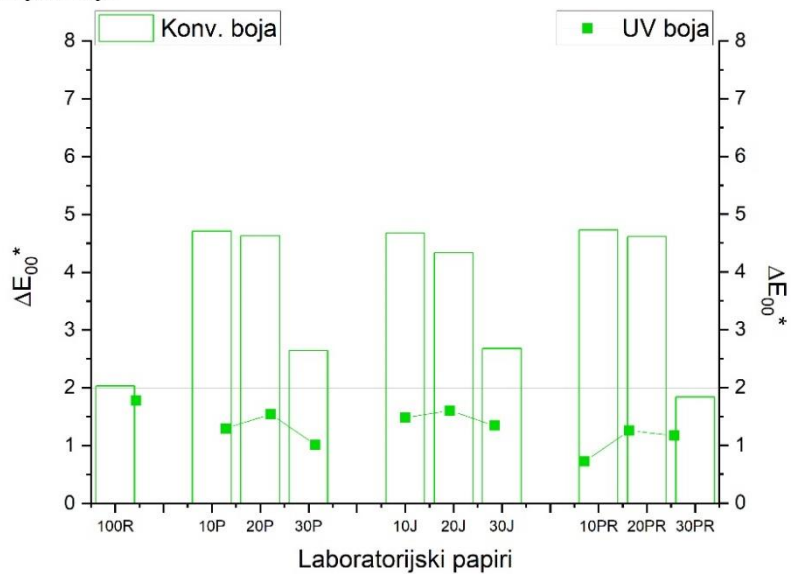
Slika 87. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja

Sojino ulje

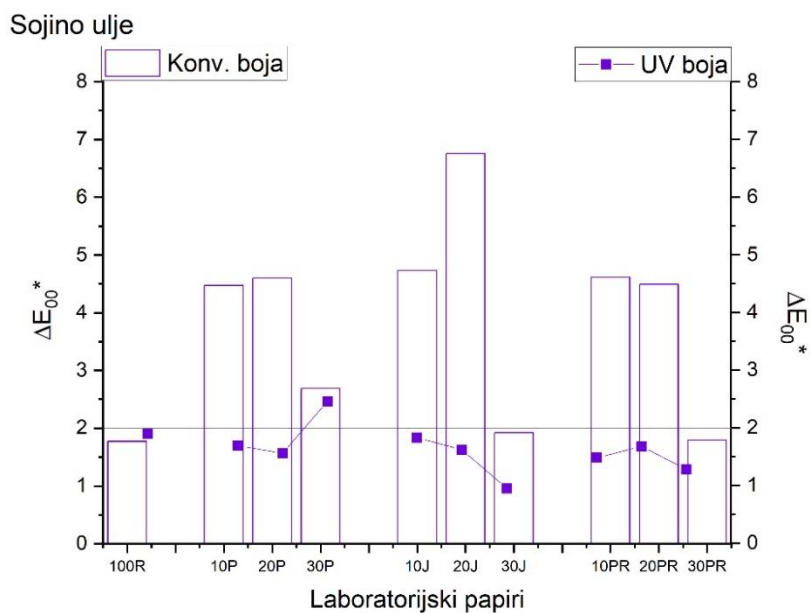


Slika 88. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja

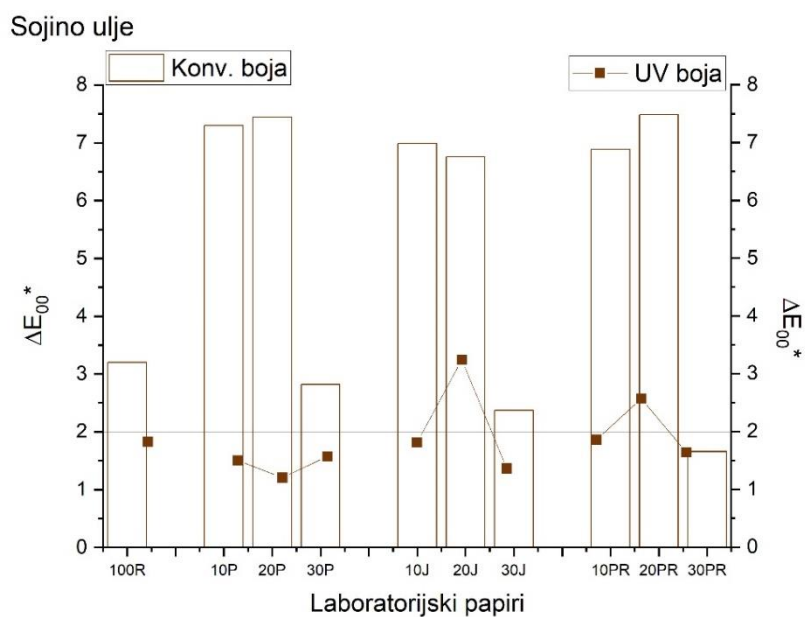
Sojino ulje



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



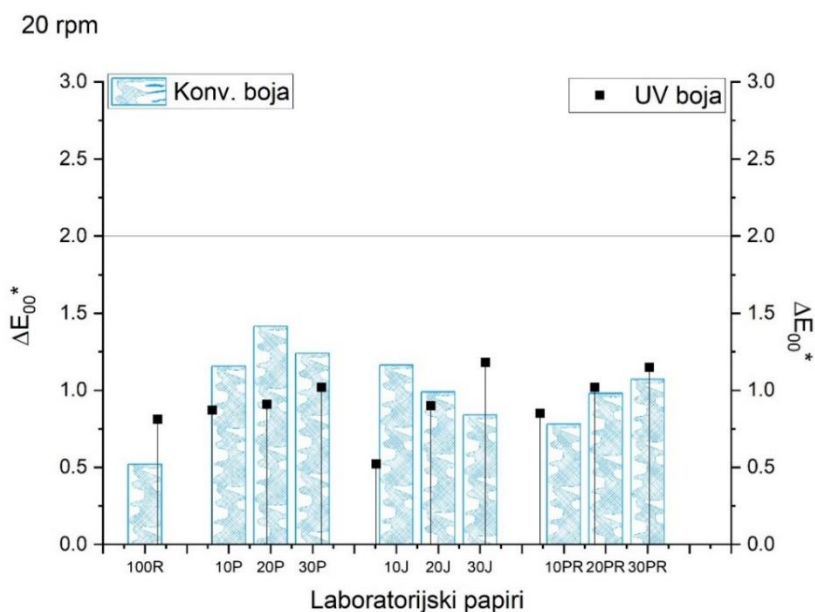
Slika 91. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja sojinog ulja

### 4.2.3. Stabilnost otisaka na pritisak

Slike 92-115 prikazuju vrijednosti kolorimetrijskih razlika na jednobojnim otiscima cijan, magenta, žuta i crna te višebojnim otiscima žuta i magenta, žuta i cijan, cijan i magenta te žuta, cijan i magenta otisnutim 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).

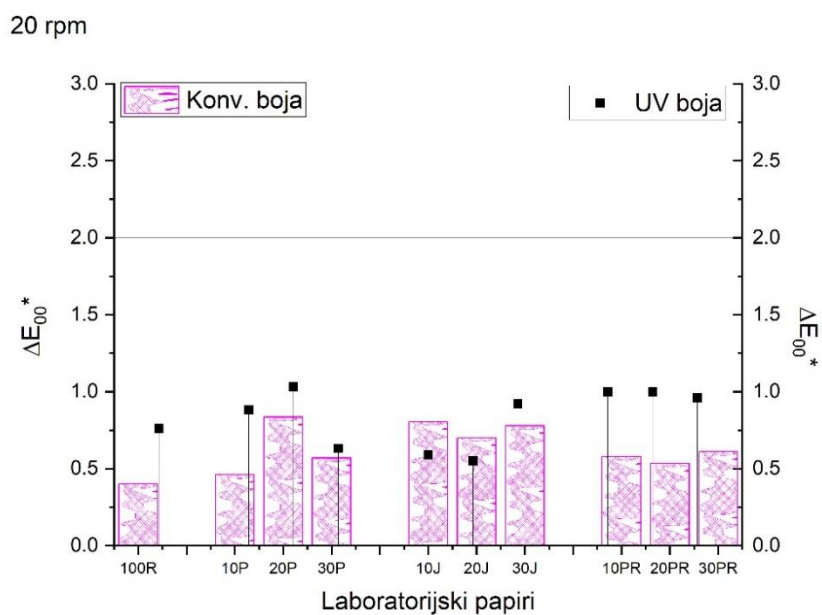
#### 4.2.3.1. Broj okretaja: 20 rpm

Svi laboratorijski papiri, otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama imaju vrlo dobru stabilnost 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]. Jedino laboratorijski papir s dodatkom 10% pulpe pšenoraži (10PR) otisnut žutom i magenta UV bojom (Slika 96) i laboratorijski papir s dodatkom 20% ječma (20J) otisnut žutom, cijan i magenta bojom (Slika 99) pokazuju blago povišene  $\Delta E_{00}^*$  vrijednosti ( $\Delta E_{00}^*_{30PRmax Y+M}=2,08$ ,  $\Delta E_{00}^*_{20Jmax Y+C+M}=2,9$ ).

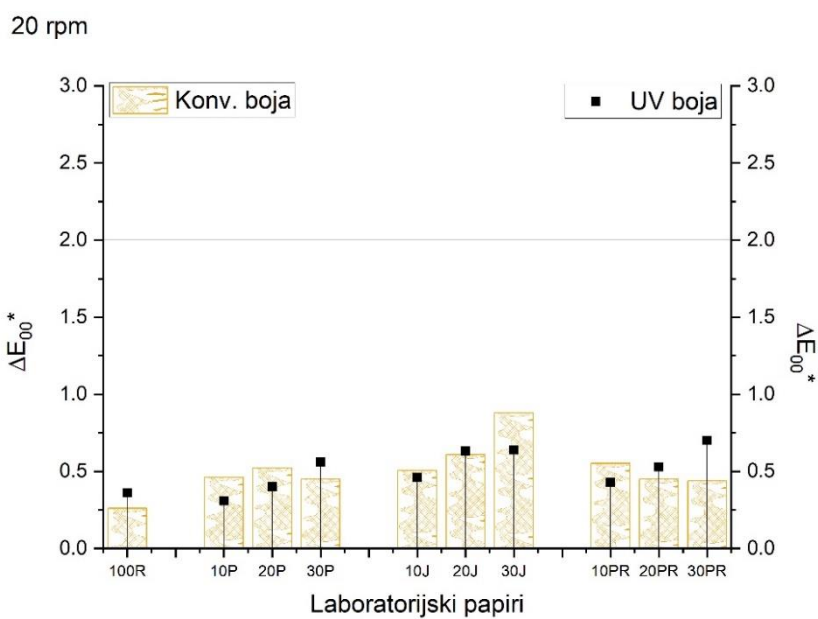


Slika 92. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm

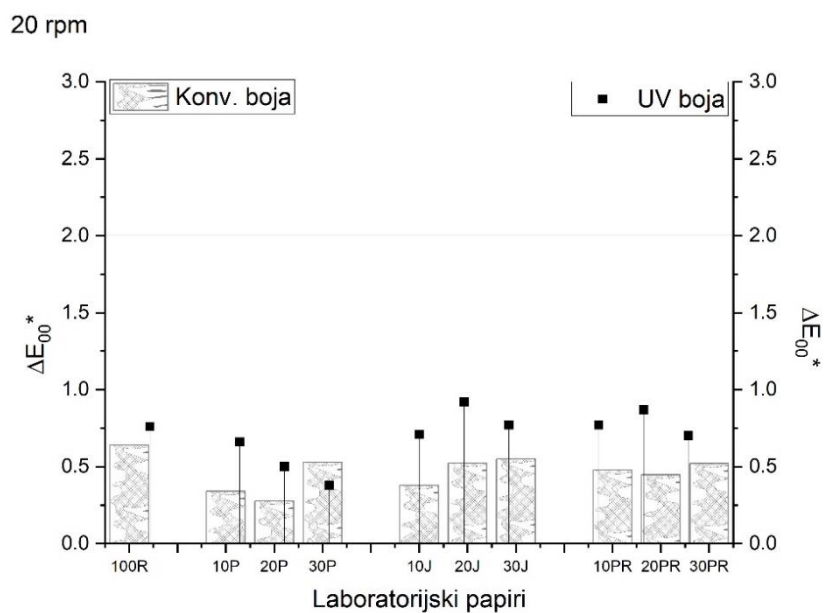




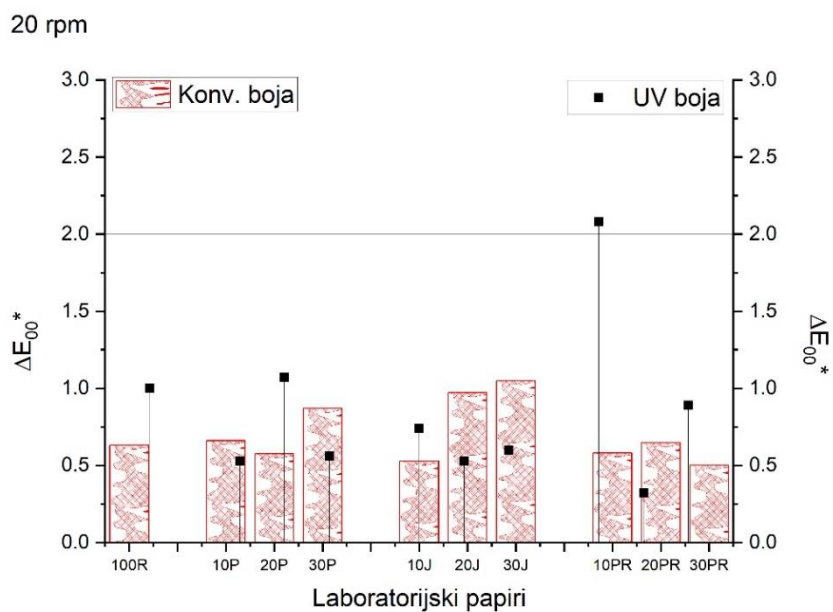
Slika 93. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm



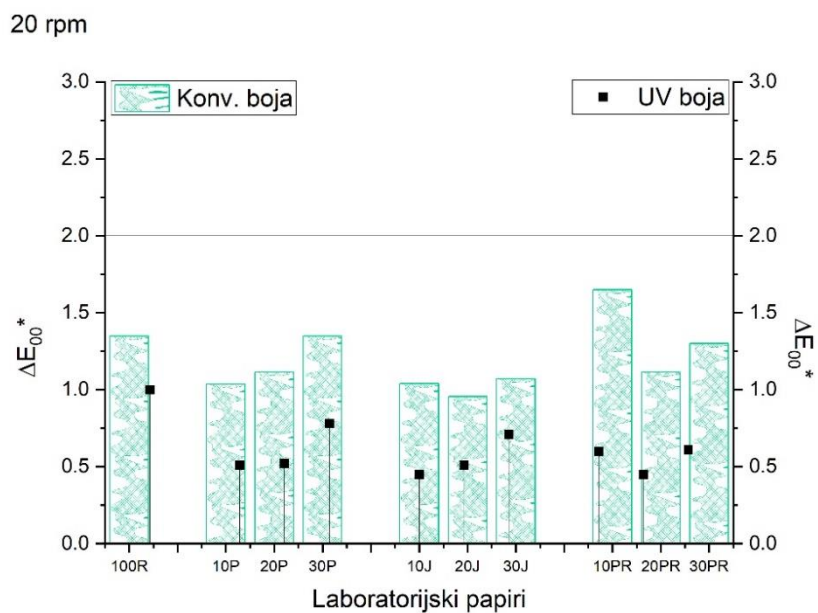
Slika 94. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm



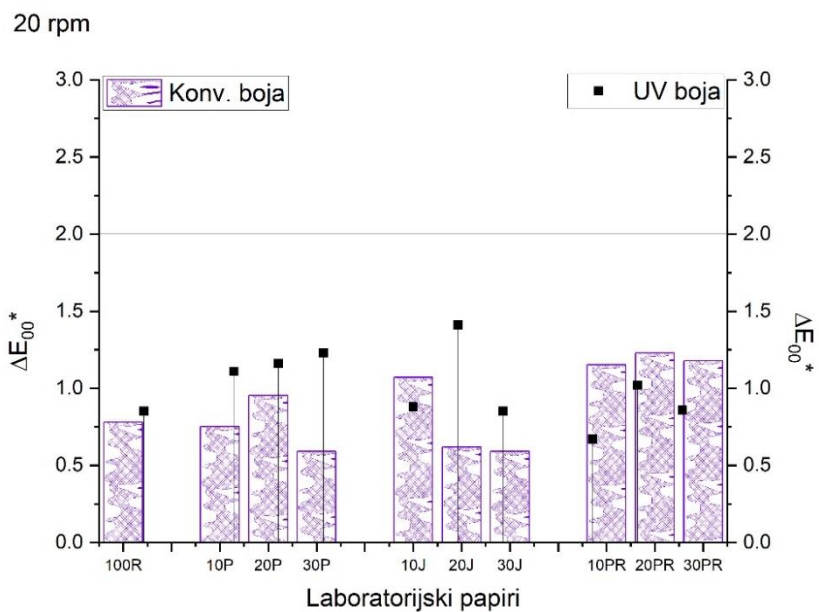
Slika 95. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm



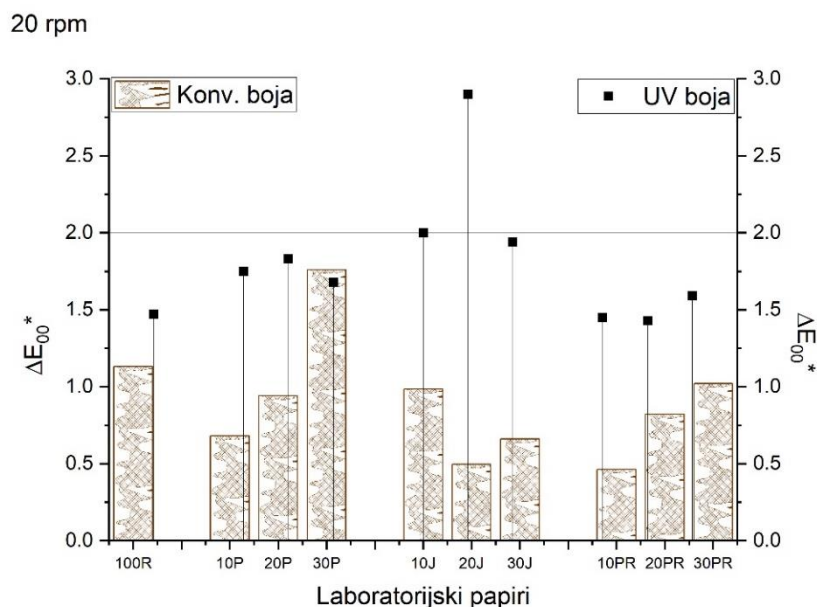
Slika 96. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm



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



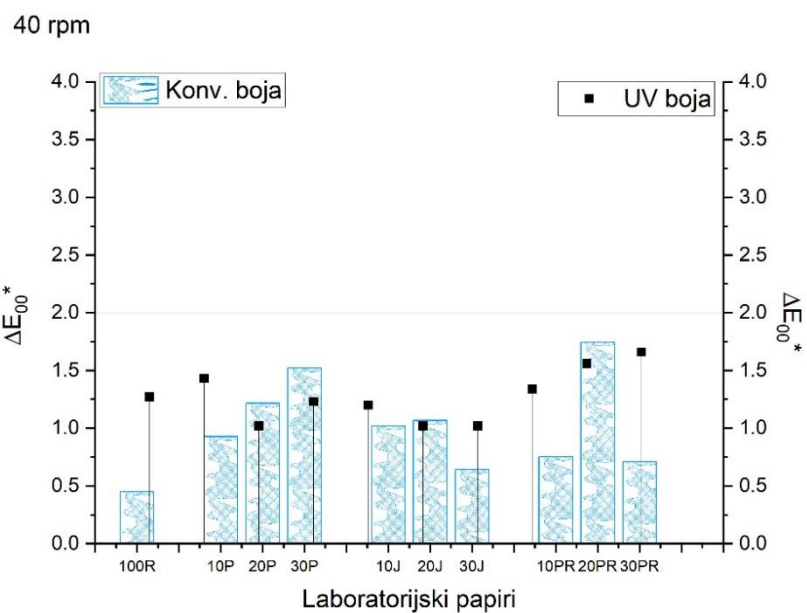
Slika 98. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm



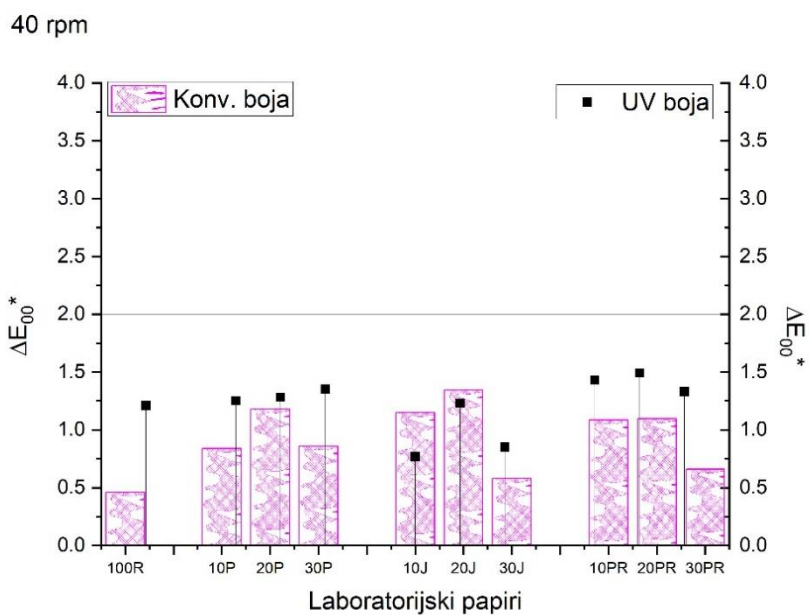
Slika 99. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 20 rpm

#### 4.2.3.2. Broj okretaja: 40 rpm

Vrijednosti Euklidske razlike u obojenju na laboratorijskim papirima otisnutim 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 (10P, 20P, 30P), 10% i 20% pulpe slame ječma (10J, 0J) te 10% pulpe slame pšenoraži (10PR) otisnutih žutom, cijan i magenta bojom (Slika 107) ( $\Delta E_{00}^*_{30Pmax}=3,76$ ) [28].

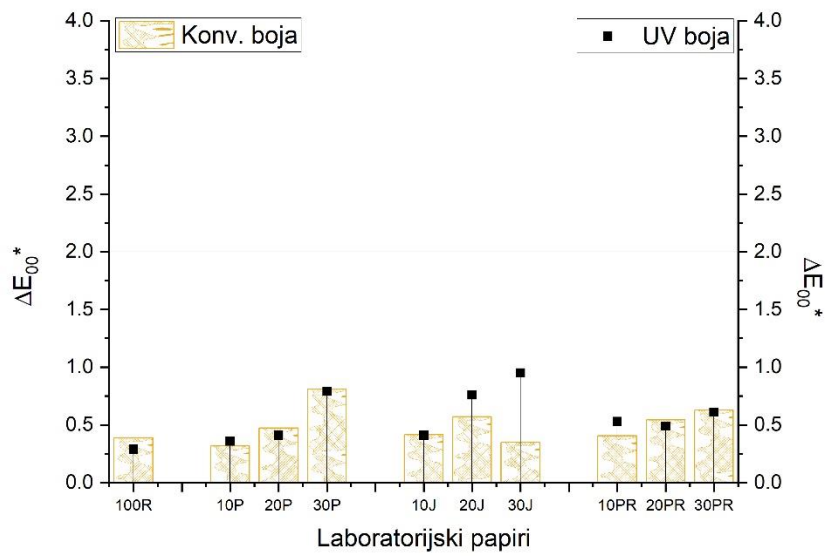


Slika 100. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm



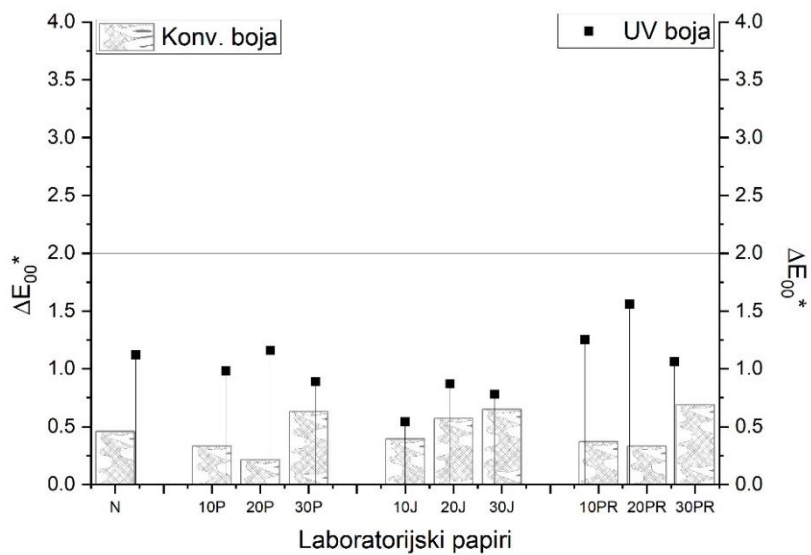
Slika 101. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm

40 rpm

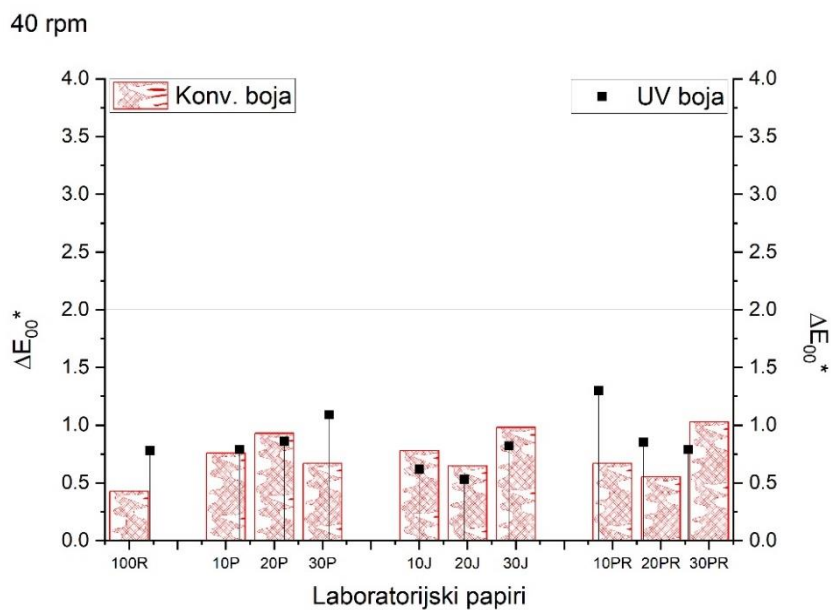


Slika 102. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm

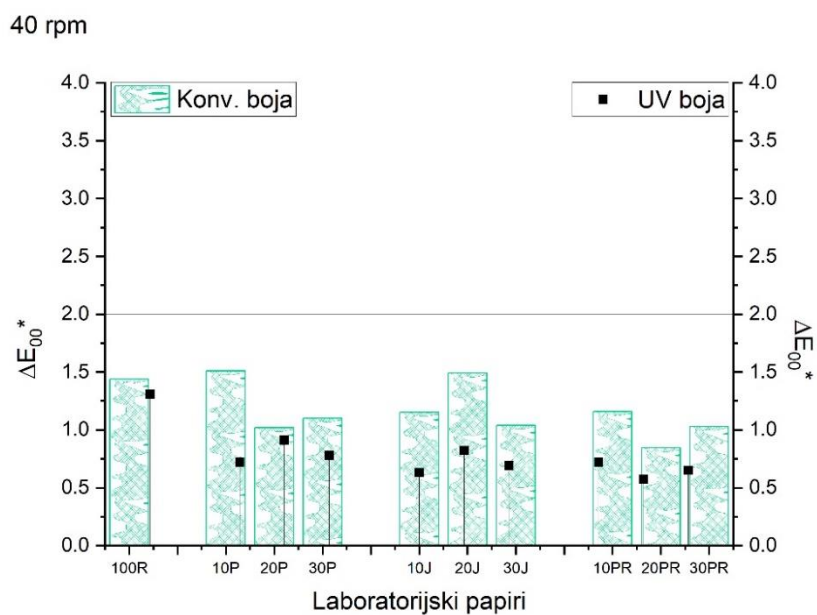
40 rpm



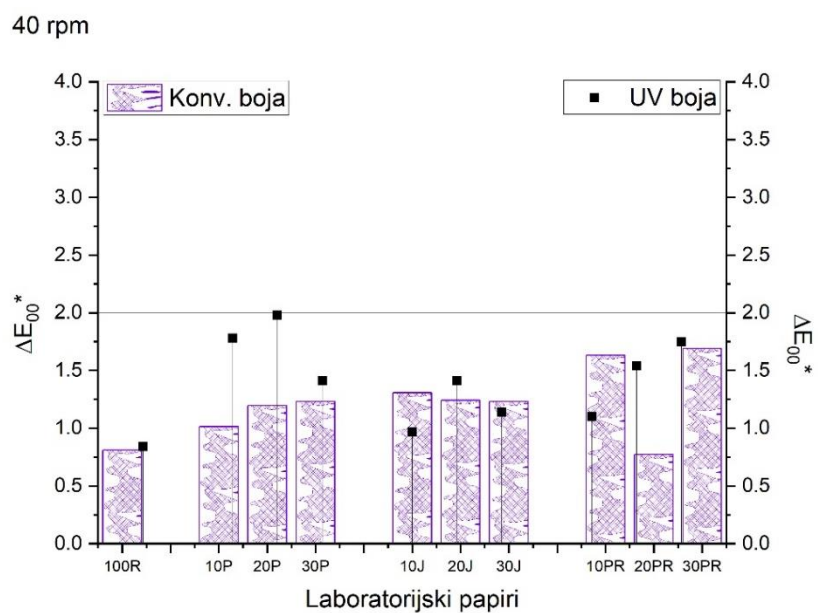
Slika 103. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm



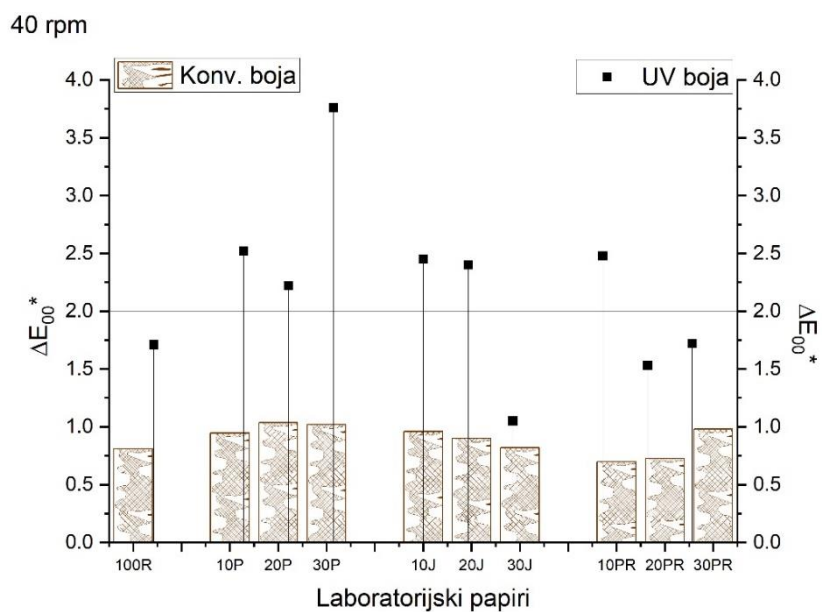
Slika 104. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žuta i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm



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

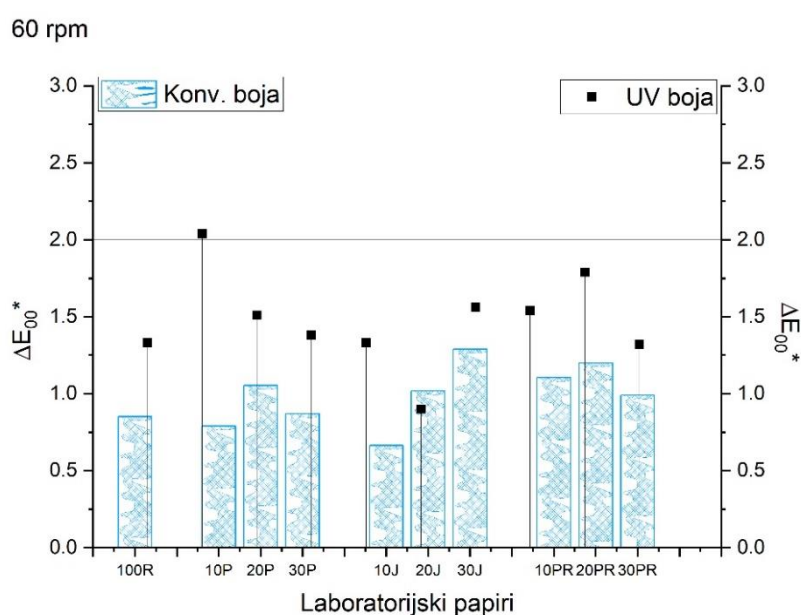


Slika 107. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom, cijan i magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 40 rpm

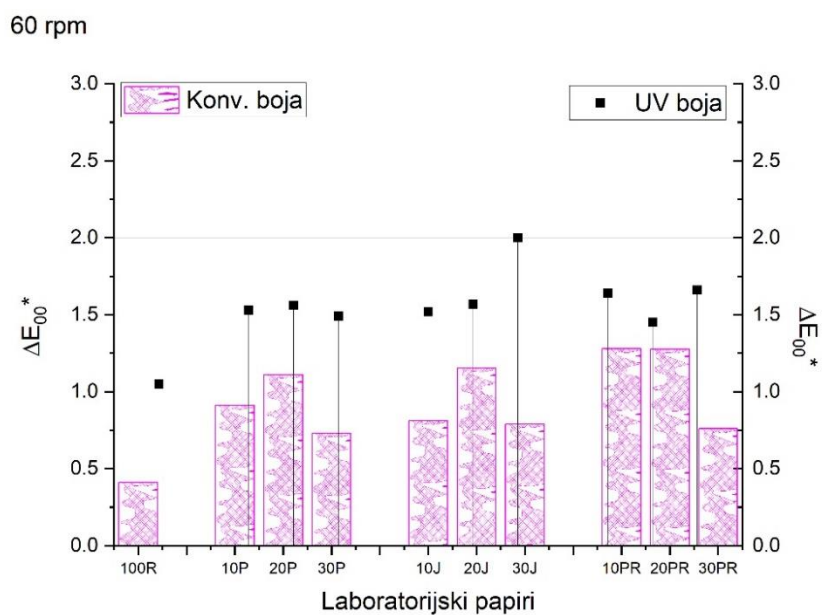


#### 4.2.3.3. Broj okretaja: 60 rpm

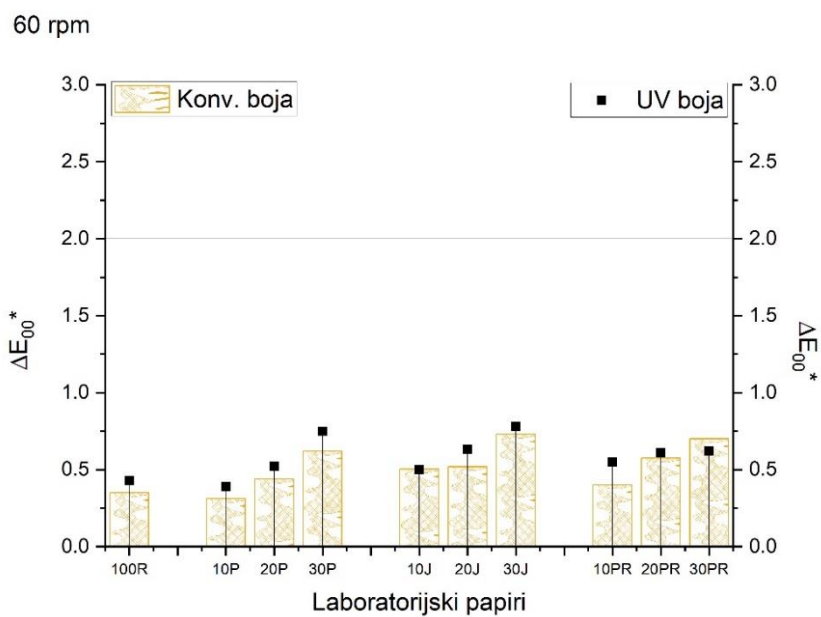
Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju kako su svi otisci stabilni nakon djelovanja pritiska s brojem okretaja od 60 rpm, jer svi imaju vrijednosti  $\Delta E_{00}^*$  ispod referentne linije. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama također uglavnom imaju niske vrijednosti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



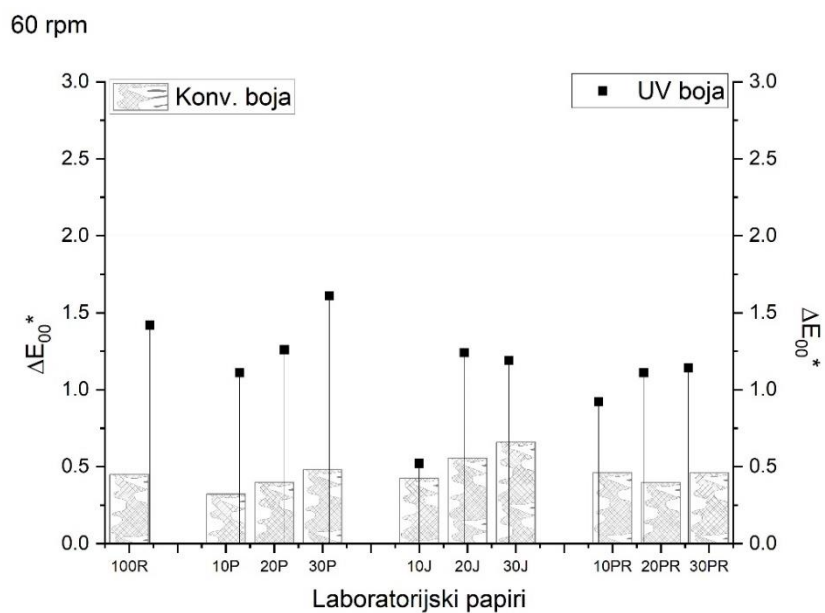
Slika 108. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm



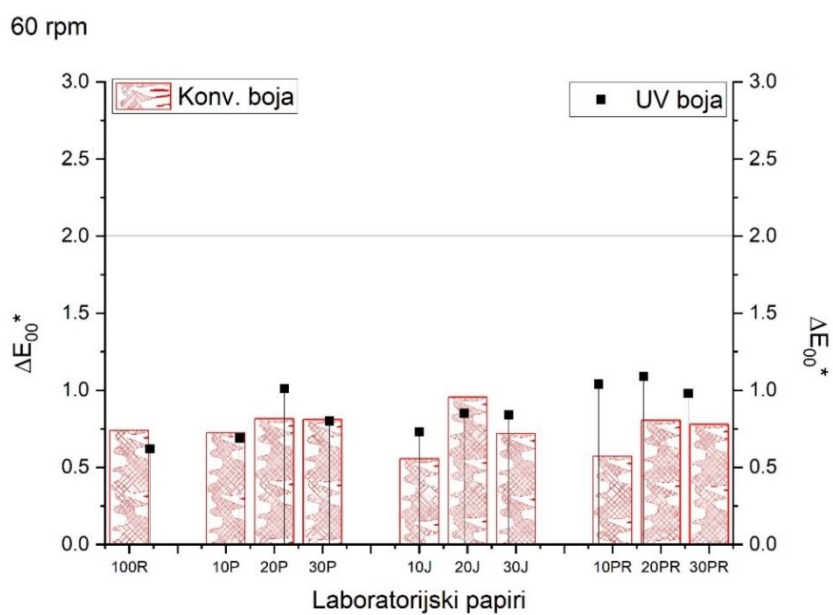
Slika 109. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim magenta konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm



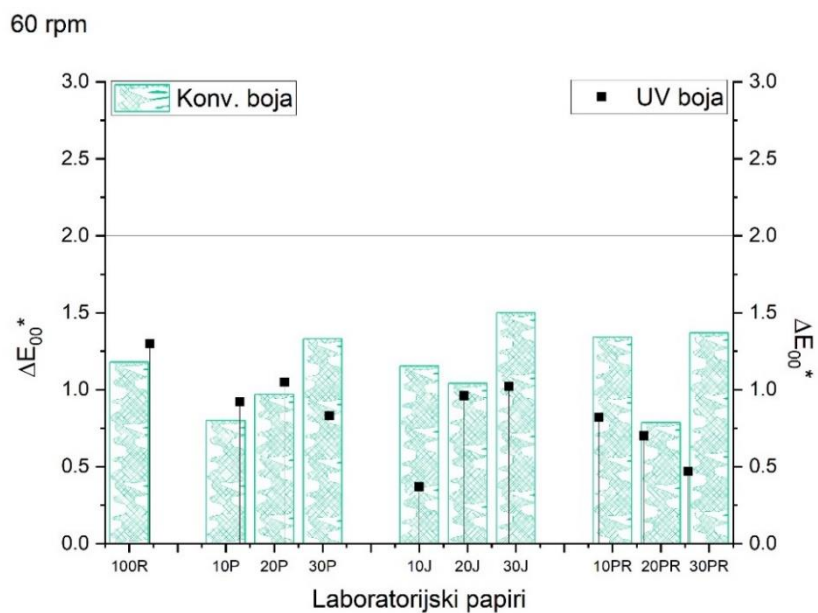
Slika 110. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm



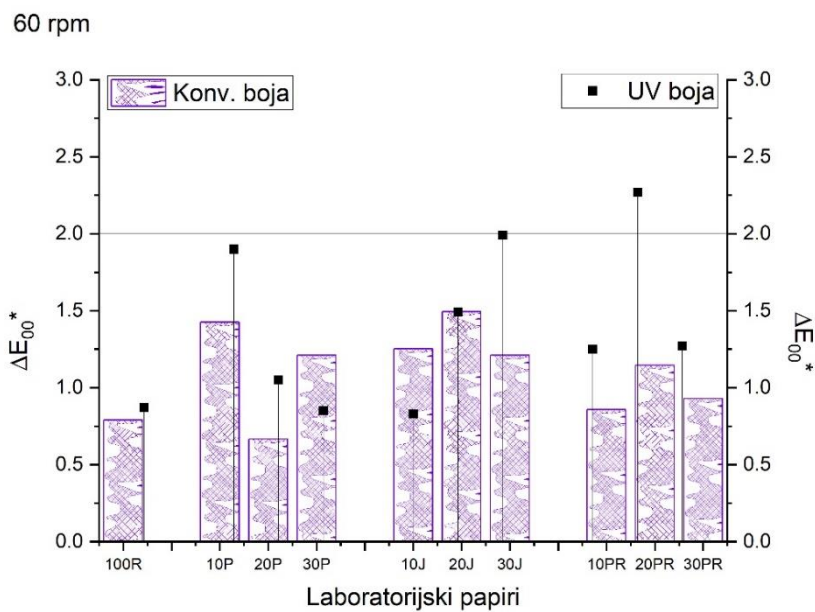
Slika 111. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim crnom konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm



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

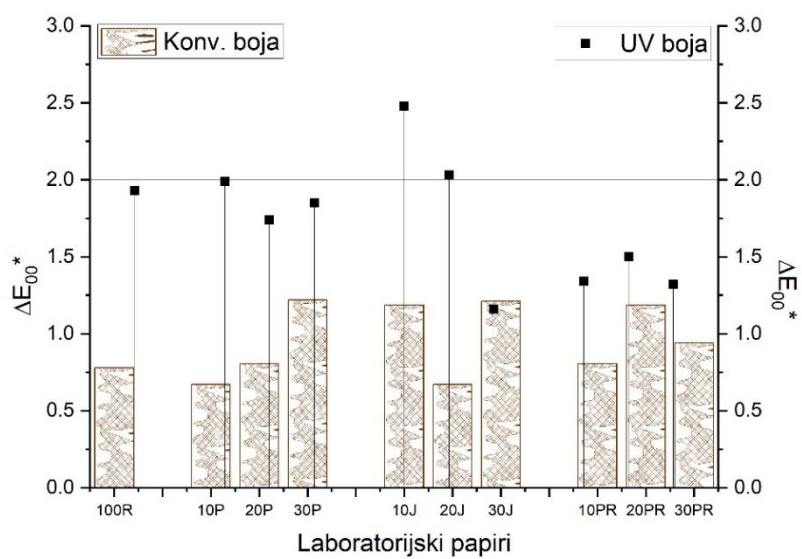


Slika 113. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutim žutom i cijan konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom nakon djelovanja pritiska pri 60 rpm



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

# 5. ZAKLJUČCI

## 5.1. UKUPNA KVALITETA OTISAKA

Dobivene spektrofotometrijske  $L^*a^*b^*$  vrijednosti neotisnutih i otisnutih laboratorijskih uzoraka pokazuju male razlike što je i očekivano s obzirom da se u laboratorijskim papirima nalaze primarna vlakanca žitarica.

Kod dobivenih vrijednosti integralne gustoće obojenja može se zaključiti kako su dobiveni isti ili vrlo slični nanosi boje. Nešto veće vrijednosti su dobivene kod UV cijan i magenta boja u odnosu na konvencionalne, dok je za žutu i crnu obrnuto.

Znatost punog tona otisaka na svim laboratorijskim papirima je podjednaka, no vrijednosti su nešto veće na podlogama otisnutim UV bojama dok su vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona gotovo identične na svim laboratorijskim podlogama.

Na temelju analize vrijednosti primanja boje na boju vidljivo je da je većina vrijednosti nešto umanjena u odnosu na referentni uzorak što je očekivano s obzirom da su papiri proizvedeni laboratorijski te su izostavljene završne faze koje se uobičajeno provode u komercijalnoj izradi papira. Najviše vrijednosti su zabilježene na višebojnim podlogama otisnutim žutom i cijan (Y+C) konvencionalnom bojom na bazi vode i UV bojom.

Vrijednosti ukupne količine boje na laboratorijskim papirima su nešto veće od prihvatljivih, pogotovo kod laboratorijskih papira otisnutih UV bojama gdje se ističu visoke vrijednosti kod višebojnog tiska s dvije ili tri boje.

Penetracija boje unutar tiskovne podloge podjednaka je kod laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama te se kod ni jednog uzorka nije dogodila potpuna penetracija 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 laboratorijski papiri, jednobojni i višebojni, otisnuti konvencionalnom bojom na bazi vode pokazuju izvrsnu stabilnost nakon izlaganja povišenoj temperaturi i UV svjetlosti u periodu od 48 sati. Sve vrijednosti Euklidske razlike su ispod  $\Delta E_{00}^* \leq 2$ , što je u skladu s preporukama struke.

Dok jednobojni laboratorijski papiri otisnuti UV bojama magenta i žutom te višebojni laboratorijski papiri otisnuti UV bojama žutom i magenta te žutom i cijan imaju vrlo dobru stabilnost, laboratorijski papiri otisnuti crnom bojom nisu pokazali zadovoljavajuću stabilnost, kao ni dio laboratorijskih papira otisnutih cijan bojom. Među njima iznimka su svi laboratorijski papiri s dodatkom pulpe pšenoraži, te laboratorijski papiri s dodatkom 20% i 30% pulpe slame ječma. Višebojni otisnuti laboratorijski papiri otisnuti UV žutom, cijan i magenta (Y+C+M) bojama, te svi laboratorijski papiri otisnuti cijan i magenta UV bojama (izuzevši laboratorijske papire s dodatkom od 10% pulpe slame pšenice) nemaju zadovoljavajuću stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost nakon perioda 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 laboratorijski papiri, jednobojni i višebojni, otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode imaju vrlo dobru stabilnost na povišenu temperaturu i UV svjetlost, čak i u duplo dužem vremenskom periodu. Iznimka su višebojni laboratorijski papiri otisnuti žutom i cijan bojom gdje su uglavnom sve vrijednosti  $\Delta E_{00}^*$  iznad preporučene vrijednosti.

Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama sa dobrom stabilnošću su jednobojni magenta i žuta te višebojni žuta i magenta (Y+M). Laboratorijski papiri otisnuti crnom UV bojom te višebojnim UV bojama cijan i magenta (C+M) te žutom, cijan i magenta (Y+C+M) bojom 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 stabilnost nakon izlaganja vodi, dok kod laboratorijskih papira otisnutih UV bojama najbolju stabilnost pokazuju jednobojni otisci žuta i crna te višebojni žuta i magenta (Y+M) te žuta i cijan (Y+C).

#### *Natrijeva lužina*

Nakon izlaganja svih otisnutih laboratorijskih papira natrijevoj lužini, može se zaključiti kako jednobojni laboratorijski papiri otisnuti žutom i crnom bojom, konvencionalnom na bazi vode i UV, imaju najbolju stabilnost, odnosno otpornost na natrijevu lužinu.

#### *Octena kiselina*

Većina laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode i UV bojama pokazuju dobru otpornost na octenu kiselinu, izuzevši laboratorijske papire otisnute UV cijan bojom te višetonske laboratorijske papire otisnute žutom, cijan i magenta (Y+C+M) bojama. U slučaju laboratorijskih papira otisnutih UV cijan i magenta (C+M) bojama, 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 otpornost na limunsku kiselinu, što ne uključuje laboratorijske papire s 10% i 20 % pulpe slame svih žitarica otisnute u dva nanosa cijan i magenta (C+M) bojama te laboratorijske papire s 10% i 20% pulpe slame pšenice te 20% pulpe slame ječma otisnute u tri nanosa žutom, cijan i magenta (Y+C+M) bojama. Laboratorijski papiri otisnuti UV bojama s najboljom stabilnošću su jednobojni žuti i crni otisci te višebojni žuta i cijan (Y+C) otisci.



### *Etanol*

Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode, jednobojni te gotovo svi višebojni (osim višetonskog otiska u tri nanosa žuta, cijan i magenta (Y+C+M) na laboratorijskim papirima s 30% pulpe pšenice i ječma) imaju izvrsnu stabilnost nakon izlaganja etanolu. Uzorci otisnuti UV bojama pokazuju različite rezultate, gdje su papiri otisnuti jednobojni magenta, crnom i žutom te višebojni laboratorijski papir otisnut žutom i magenta (Y+M) pokazali vrlo dobru otpornost na etanol dok je na laboratorijskim papirima otisnutim jednobojni cijan bojom te višebojni žutom i cijan (Y+C) te žutom cijan i magenta (Y+M) bojama pokazali manju otpornost prema etanolu.

### *Sojino ulje*

Većinom svi laboratorijski papiri otisnuti UV bojama pokazuju dobru otpornost na sojino ulje uz mala odstupanja kod višebrojnih otisaka na papirima s 30% pulpe slame pšenice otisnutog cijan i magenta (C+M) bojama te s 20% pulpe slame ječma i 20% pulpe slame pšenoraži otisnutih žutom, cijan i magenta (Y+C+M) bojom. Laboratorijski papiri otisnuti konvencionalnim bojama na bazi vode pokazuju slabu otpornost na sojino ulje gdje 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 stabilnost, je vidljiva samo kod otisaka u tri nanosa, žute, cijana i magente (Y+C+M), konvencionalne i UV, u slučaju svih 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 papir izradi veće gramature kako bi se postigle manje vrijednosti Euklidske razlike podtona te smanjenje penetracije boje unutar tiskovne podloge te da se uvedu završne faze obrade 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 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 laboratorijskim papirima otisnutim cijan i žutom bojom.

Također, većina laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode imaju optimalnu kemijsku stabilnost, dok je manja 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, dok su svi otisci pokazali lošu otpornost na sojino ulje. Otisci su također pokazali izvrsnu stabilnost, odnosno otpornost na 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 konvencionalne boje na bazi vode. Utjecaj povišene temperature i UV zračenja nakon 48 i 96 sati ukazuje na optički najstabilnije otiske na laboratorijskim papirima otisnutim magenta bojom i na laboratorijskim papirima otisnutim žutom bojom.

Nakon izlaganja raznim kemijskim agensima može se zaključiti kako su kemijski najstabilniji laboratorijski papiri otisnuti UV žutom i UV crnom bojom kod svih kemijskih agensa, osim nakon izlaganja otisaka sojinom ulju gdje su svi otisci pokazali zadovoljavajuću stabilnost, izuzev laboratorijskih papira otisnutih u tri nanosa boje. Također, laboratorijski papiri otisnuti s tri nanosa 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 koriste u privredi za proizvodnju raznih grafičkih proizvoda. Važno je znati koja boja će se otiskivati na koji papir kako bi svrha krajnjeg proizvoda bila ispunjena. S obzirom da većina laboratorijskih papira s dodatkom pulpe slame pšenice, ječma ili pšenoraži otisnutih konvencionalnim bojama na bazi vode imaju dobru otpornost na povišenu temperaturu, kemijske agense i pritisak, uz dodatnu doradu površine te povećanja gramature takvi novonastali papiri s dodatkom nedravnih vlakana mogli bi se koristiti u razne svrhe: za određenu vrstu prehrambene ambalaže koja ne sadrži ulja ili alkalne proizvode, duhansku ambalažu, škarnice, 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 nije preporuka da se koriste kao primarna prehrambena ambalaža, mogli bi se koristiti za tisak raznih publikacija i etiketa.

Ekološki prihvatljivije sirovine od slame žitarica koje se koriste u sastavu recikliranog papira omogućuju veliku iskoristivost pri tisku s 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]. Available: <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> (accessed Feb. 17, 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/> (accessed May 17, 2020).
- [6] Agencija za odgoj i obrazovanje, *Obrazovanje za održivi razvoj*. Zagreb, 2011. Accessed: Apr. 06, 2020. [Online]. Available: <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) (accessed Jan. 23, 2020).
- [8] I. Plazonić, “Slama žitarica kao alternativni izvor vlaknaca 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. Mgbachiuzo, 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,” *Journal of Scientific Research and Reports*, 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-Svetec, “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. Plazonic, 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, Accessed: Feb. 17, 2020. [Online]. Available: [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,” *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 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.

- Accessed: Feb. 21, 2022. [Online]. Available: [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. Accessed: Feb. 19, 2022. [Online]. Available: [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] 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).
- [24] S. Horvatić, *Grafika papiri i kartoni 1*. Zagreb: Grafička škola u Zagrebu, 2009.
- [25] S. E. Wikipedija, "Hemiceluloza," <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hemiceluloza#/media/Datoteka:Hemicellulose.png>.
- [26] B. Thompson, *Printing Materials: Science and Technology*, 2nd edition. UK: Pira International, 2004.
- [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> (accessed 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> (accessed Feb. 24, 2022).
- [42] Dhiman Metallizers, “Anilox Roller, For Printing Industry.” <https://www.indiamart.com/proddetail/anilox-roller-20397667948.html> (accessed 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/> (accessed Apr. 05, 2022).
- [44] XRite, “Tolerancing in Flexo and Offset Printing.” <https://www.xrite.com/pt-pt/blog/tolerancing-in-flexo-and-offset-printing> (accessed 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.” Accessed: Mar. 03, 2022. [Online]. Available: <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> (accessed Jun. 03, 2022).

- [55] ISO, "ISO 5627:1995 Paper and board — Determination of smoothness (Bekk method)," 1995. <https://www.iso.org/standard/20129.html> (accessed Jun. 03, 2022).
- [56] RK PrintCoat Instruments Ltd, "Esiproof." <http://www.age-graphics.ae/rkprint.html> (accessed Apr. 19, 2022).
- [57] Technigraf, "Aktiprint L 10-1." <http://en.technigraf.de/portfolio/aktiprint-l/> (accessed Feb. 28, 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&xsrf=APq-WBt1cvYssAa9PDsjpN3MnStvTsb5eg:1650363798912&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiL0e-f9J\\_3AhWZNUwKHfzvDSgQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754&dp r=1.25#imgrc=b51vswkNSh5CPM](https://www.google.com/search?q=svjetlosni+mikroskop+Olympus+GX+51&xsrf=APq-WBt1cvYssAa9PDsjpN3MnStvTsb5eg:1650363798912&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiL0e-f9J_3AhWZNUwKHfzvDSgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754&dp r=1.25#imgrc=b51vswkNSh5CPM) (accessed Apr. 20, 2022).

# 7. PRILOZI

## Popis tablica

Tablica 1. Sastav konvencionalnih i UV sušćih boja [39] .....	17
Tablica 2. Kratice korištene 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. Korišteni 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 konvencionalnom cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode .....	46
Tablica 11. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih konvencionalnim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojama na bazi vode .....	47
Tablica 12. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom .....	48
Tablica 13. Spektrofotometrijske $L^*a^*b^*$ vrijednosti svih laboratorijskih papira otisnutih žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojama .....	49
Tablica 14. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode .....	50
Tablica 15. Vrijednosti gustoće obojenja na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom .....	50
Tablica 16. Vrijednosti zrnitosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode .....	51
Tablica 17. Vrijednosti zrnitosti punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom .....	52
Tablica 18. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode ....	53
Tablica 19. Vrijednosti neravnomjerne reprodukcije punog tona na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom .....	53
Tablica 20. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojama na bazi vode .....	54
Tablica 21. Vrijednosti primanja boje na boju na svim laboratorijskim papirima otisnutim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojama .....	55
Tablica 22. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim cijan, magenta, žutom i crnom bojom na bazi vode .....	56
Tablica 23. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutim konvencionalnim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojama na bazi vode .....	56
Tablica 24. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutim cijan, magenta, žutom i crnom UV bojom .....	57



Tablica 25. Vrijednosti podtona na svim laboratorijskim papirima otisnutim žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojama. ....	57
Tablica 26. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih konvencionalnom cijan, magenta i žutom bojom na bazi vode.....	58
Tablica 27. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih konvencionalnom žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta bojom na bazi vode.....	59
Tablica 28. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih cijan, magenta i žutom UV bojom.....	59
Tablica 29. Vrijednosti penetracije boje unutar tiskovnih podloga otisnutih žuta+magenta, žuta+cijan, cijan+magenta i žuta+cijan+magenta UV bojom.....	59

## Popis slika

Slika 1. Kemijski spoj celuloze [23].....	7
Slika 2. Hemiceluloza [25] .....	7
Slika 3. a) aditivno miješanje boja i b) subtraktivno 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 lab 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 glatkosti 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. Penetracija boje unutar laboratorijskog papira s dodatkom 10 % pulpe slame pšenice (10P) otisnutog žutom i cijan UV bojom (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 procedure testiranja kemijske otpornosti otisaka na razne kemijske agense.....	43
Slika 27. Prikaz procedure testiranja kemijske otpornosti otisaka na etanol.....	44
Slika 28. Euklidska razlika u obojenju ( $\Delta E_{00}^*$ ) na laboratorijskim papirima otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutim 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih 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 otisnutih žuta, 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim žuta 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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 otisnutim 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. godine u Koprivnici, Republika Hrvatska. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Križevcima, 2008. godine upisala je Grafički fakultet u Zagrebu, smjer Tehničko-tehnološki. 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. u koautorstvu s Josipom Mihićem i Antoniom Vuksanović dobila je 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, smjer Tehničko-tehnološki, modul Grafička tehnologija.

Tijekom diplomskog studija stekla je radno iskustvo u tiskari Printera Grupa d.o.o., Sv. Nedelja, na mjestu voditeljice projekata, do lipnja 2017. godine, gdje je između ostalog usvojila vještinu rada u SisTrade® software-u.

Diplomski studij završila je 26. rujna 2017. godine 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 na brojnim međunarodnim i domaćim znanstvenim i stručnim konferencijama 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)