

Usporedba rezultata razlika u boji u digitalnom tisku, definiranih različitim matematičkim jednadžbama

Prstačić Vuković, Ajna

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:201:515155>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO

DIPLOMSKI RAD

**PROBLEMATIKA LOMA OTISKA DIGITALNO OTISNUTIH
TKANINA PRI UPORABI I NJEZI PROIZVODA**

AJNA PRSTAČIĆ VUKOVIĆ

Zagreb, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO
TEKSTILNA KEMIJA, MATERIJALI I EKOLOGIJA

DIPLOMSKI RAD

**PROBLEMATIKA LOMA OTISKA DIGITALNO OTISNUTIH
TKANINA PRI UPORABI I NJEZI PROIZVODA**

MENTOR:

Prof. dr. sc. MARTINIA IRA GLOGAR

STUDENT:

AJNA PRSTAČIĆ VUKOVIĆ

Zagreb, rujan 2020.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju, Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta pod mentorstvom prof. dr. sc. Martinie Ire Glogar te stručnoj pomoći doc. dr. sc. Tihana Dekanić za dio njege tekstila. Dio ispitivanja vezan uz ispitivanja fizikalnih svojstava uzoraka proveden je u Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u suradnji s izv. prof. dr. sc. Sanjom Ercegović Ražić.

Zahvala

Prvo, zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Martinii Iri Glogar na profesionalnom vodstvu, podršci i iznimno velikom trudu, te na svom prenesenom znanju i iskustvu koji su neizmjereno pomogli u realizaciji ovog rada.

Iskreno zahvaljujem doc. dr. sc. Tihani Dekanić i izv. prof. dr. sc. Sanji Ercegović Ražić na utrošenom vremenu, pomoći i stručnom pristupu u realizaciji ovog rada.

Posebno zahvaljujem asistentu Ivanu Beretiću, mag. ing. tech. text. i asistentici Anji Ludaš, mag. ing. tech. text. na ogromnom strpljenju, trudu, savjetima i pomoći.

Zahvaljujem se i svim djelatnicima Zavoda za tekstilnu kemiju i ekologiju na pristupačnosti i osjećaju da sam uvijek dobrodošla.

Na kraju, ali nikako manje važno, posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, sinu i supruhu na bezuvjetnoj ljubavi, beskonačnom strpljenju, razumijevanju i neizmjerenoj podršci, te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija.

Veliko HVALA svima!

Ajna Prstačić Vuković

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Institucija u kojoj je izrađen diplomski rad: Sveučilište u Zagrebu
Tekstilno – tehnološki fakultet
Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

Jezik teksta: hrvatski

Broj stranica: 90

Broj slika: 59

Broj tablica: 36

Broj literaturnih izvora: 22

Voditelj diplomskog rada: Prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar

Članovi povjerenstva:

1. Doc. dr. sc. Tihana Dekanić – predsjednica povjerenstva
2. Prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar – članica
2. Izv. prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić – članica
4. Izv. prof. dr. sc. Ana Sutlović – zamjenica članice

SAŽETAK

U radu će se provesti analiza utjecaja strukture i fizikalnih svojstava te načina predobrade tekstilnih materijala na parametre otiska, na dvije vrste pamučne tkanine različite po svojim površinsko strukturnim karakteristikama. Analizirat će se uzorci nastajanja lomova otisnutih površina i oštećenja otiska u ovisnosti o površinsko strukturnim karakteristikama pamučnih tkanina, fizikalnim parametrima i količini pigmenta koja je definirana karakteristikom boje, a u uvjetima uporabe i njege otisnutih tkanina. Provedena su ispitivanja: pH tkanine, debljina plošnog proizvoda, gustoća plošnog proizvoda, plošna masa, poroznost, dimenzijska stabilnost, spektrofotometrijsko mjerenje, mikroskopiranje Dino – Lite digitalnim mikroskopom (tip Premier), uvjeti pranja u Turbomat, P 4502, Mathisu te je analiza postojanosti na različite uvjete pranja provedena na temelju rezultata ukupne razlike u boji (dE_{CIE76}), dobivene usporedbom uzoraka prije i poslije pranja. Rezultati su prikazani slikama, tablično i grafički.

Ključne riječi: *Digitalni pigmentni tisak, spektrofotometrijsko mjerenje, Dino-Lite mikroskopiranje, postojanost na pranje*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Karakteristike digitalnog tiska	4
2.2. Karakteristike digitalnog pigmentnog tiska	11
2.2.1. Karakteristike pigmentnih tiskarskih boja	11
2.3. Ostale formulacije tiskarskih boja	15
2.3.1. Kisela bojila	16
2.3.2. Direktna bojila	17
2.3.3. Modificirana direktna bojila	17
2.3.4. Reaktivna bojila	18
2.3.5. Disperzna bojila	19
2.4. Najnovija postignuća na području digitalnog tiska	19
2.4.1. Tekstilni Ink Jet strojevi s jednim prolazom	20
2.4.2. Tekstilni Ink Jet strojevi skenirajućeg tipa	22
2.5. Ispitivanje postojanosti i kontrola kvalitete reprodukcije boje u digitalnom tisku	25
2.5.1. Kontrola reprodukcije boje u digitalnom tekstilnom tisku	25
2.5.2. Osnove njege digitalno otisnutog tekstila	30
3. EKSPERIMENTALNI DIO	32
3.1. Izbor tekstilnog materijala	32
3.2. Karakterizacija tekstilnog materijala	33
3.2.1. Mjerenje pH tkanine	34
3.2.2. Debljina plošnog proizvoda	34
3.2.3. Gustoća plošnog proizvoda	35
3.2.4. Plošna masa	35
3.2.5. Poroznost	36
3.2.6. Analiza binarnih prikaza uzoraka	36

3.2.7. Dimenzijska stabilnost	38
3.3. Digitalna Ink Jet tehnika tiska.....	39
3.3.1. Tekstilni printer TEX PRO	39
3.3.2. Tiskarska boja	41
3.3.3. Vezivo	41
3.4. Spektrofotometrijska i mikroskopska analiza otisaka.....	41
3.4.1. Spektrofotometar.....	42
3.4.2. Dino-Lite Digital Microscope Premier	43
3.5. Uvjeti procesa pranja	44
3.5.1. Sredstva za pranje	44
3.5.2. Uređaj za oplemenjivanje i bojadisanje - Turbomat P4502, Mathis.....	44
4. REZULTATI I RASPRAVA	46
4.1. Ispitivanje fizikalnih svojstava uzoraka.....	47
4.2. Digitalni tisak uzoraka	51
4.3. Analiza otisaka - prije pranja	53
4.4. Analiza otisaka - poslije pranja.....	66
5. ZAKLJUČAK	88
6. LITERATURA	89

1. UVOD

Uvođenje digitalne tehnologije u industrijske procese općenito, snažno se i dinamično razvija. Ta činjenica je vidljiva u rapidnom razvoju tehnologije tiska zasnovane na integraciji tiskarskog stroja i računala. Digitalizacija u dosadašnjem razvoju izazvala je brojne promjene koje su vidljive u svakoj proizvodnji tiskanog tekstila u kojoj se primjenom Ink Jet tehnologije otiskivanja (dominantnih tehnika digitalnog tiska) ostvaruju mogućnosti personaliziranog otiskivanja i tiska na zahtjev. Bez procesa digitalizacije i digitalnog tiska nije moguće zamisliti današnje poslovne aktivnosti i njihov napredak [1]. Biti u mogućnosti naručiti personalizirani uzorak materijala, visoke kvalitete, a u kratkom vremenu, stvarno je nešto novo. Prije je to ovisilo o kompliciranom tehnološkom procesu koji je u maloj nakladi bio neisplativ. Sada to predstavlja velike poslovne mogućnosti za probitak na tržištu i njegovo profitabilno osvajanje. Na svjetskom tržištu od 2012. godine, potreba za ovom vrstom tiska intenzivno raste. U modnoj industriji je sveprisutan, a njegovi brojni praktični i kreativni aspekti su sve više privlačni dizajnerima. Uz uvođenje digitalnog tiska, broj uzoraka koji se mogu tiskati u malim količinama je beskonačan. Za ispis na tekstil, važno je razumjeti kako raditi s određenim tekstilnim materijalima i bojilima za što kvalitetniji krajnji proizvod. Tiskarska boja je tu najvažnija za kvalitetan otisak, a kako bi se postigla trajnost proizvoda treba istražiti koja bojila mogu odoljeti vanjskim utjecajima, svjetlu i pranju, a da su u isto vrijeme pogodna za reprodukciju dizajna na sve vrste tekstilnih materijala [2]. Cilj rada bio je istražiti postojanost i kvalitetu digitalnog pigmentnog tiska u ovisnosti o karakteristikama tekstilne podloge te uvjetima uporabe i održavanja. Za eksperiment su odabrane dvije vrste pamučne tkanine različite po svojim površinsko strukturnim karakteristikama u platno vezu 1:1, istog sirovinskog sastava (100 % pamuk). Na uzorcima su provedena ispitivanja karakterizacije tekstilnih materijala: mjerenje pH, debljina plošnog proizvoda, gustoća, plošna masa, poroznost, analiza binarnih slika i dimenzijska stabilnost. Nakon digitalnog tiska, provedena je analiza spektrofotometrijskim mjerenjem i mikroskopiranjem Dino – Lite digitalnim mikroskopom. Uzorci na kojima je otisnuta plava boja oprani su s dva različita komercijalna deterdženta na dvije različite temperature. Spektrofotometrijska i mikroskopska mjerenja ponovljena su nakon 1. i 5. ciklusa pranja te su analizirani uzroci nastajanja lomova otisnutih površina i oštećenja otiska u ovisnosti o površinsko strukturnim karakteristikama pamučnih tkanina, fizikalnim parametrima i količini pigmenta koja je definirana karakteristikom boje, a u uvjetima uporabe i njege otisnutih tkanina.

2. TEORIJSKI DIO

Kreativnost ljudi može se smatrati pokretačem promjena, jer ona gura čovječanstvo na bitke s novim izazovima te probija granice nečega što se prije činilo nedohvatnim. Veliki trud i vrijeme uloženo u istraživanje, ukoliko se pogleda kroz povijest, posvećeno je pronalaženju načina kako pigmente vezati za tekstilni materijal [3].

Tisak tekstila kao umjetnost je vjerojatno star koliko i sama ljudska civilizacija. Iskopavanja u Egiptu dovela su do otkrića velikih kamenih blokova koji su služili za tisak iz oko 400 – 600 godine. U 13. i 15. stoljeću, Indija se posebno isticala u tiskarstvu, a nedugo zatim u sjeverozapadnoj Engleskoj (Landschire) u procvatu je bilo novo doba tiska.



(izvor: <http://www.postcardsfromyonder.com/mission-textiles-guide-hand-block-printing-jaipur/>)

Slika 1. Blokovi ručni za tekstilni tisak (Indija)

Austrijanac Peter Zimmer izumio je 1963. rotacijski stroj za sitotisak dok je prije toga većina printera funkcionirala na ručni pogon. Uvođenje CAD-a sustava dovelo je do bolje kvalitete i fleksibilnosti u razvoju tekstilnog dizajna. U ovom trenutku tekstilni tisak zauzima vrlo veliki udio na tržištu, točnije oko 28 milijardi tona materijala otisne se na godišnjoj razini diljem svijeta. Nasuprot razvoja, rotacijski sitotisak kao najzastupljeniji način tiska tekstila ima nekoliko nedostataka kao što su: promjena boje i uzorka iziskuju previše vremena za uspostavu procesa, pripreme zaslona su spore i skupe, a ekrani imaju veoma kratak vijek trajanja te zahtijevaju veliku memoriju za pohranu podataka. To je dovelo do potrebe za razvojem novih tehnologija tiska tekstilnih materijala koje mogu pratiti učestale promjene mode i boja te uz

minimalno vrijeme prilagodbe na te promjene. Pronađena je tehnika tiska „Ink Jet print“ kao revolucionarna jer može udovoljiti tim zahtjevima [4].

Ranih 1960-ih započeo je razvoj Ink Jet tehnologije tiska s godinom 1951. kada je Siemens patentirao prvi praktični mlazni uređaj, a kasnije 1970-ih razvio je tehnologiju Ink Jet printera [5]. Krajem 70-ih dolazi do značajnijeg razvoja Ink Jet tehnologije, ali pada potražnje, dok danas tržište Ink Jet tehnologije godišnje prelazi iznos od 10 milijardi dolara [6]. Lord Rayleigh je 1878. opisao prvi mehanizam pomoću kojeg se tinta ili tekućine prevodi u kapljice. Tehnika Ink Jet strojeva „kapljica na zahtjev“ pojavila se na tržištu 1977. godine nakon što je predstavljen Simensovog printera PT-80. Ispis „kapljica na zahtjev“ temelji se na primjeni impulsa napona, a kapljice tiskarske boje izbacuju se tlačnim valom koji se stvara mehaničkim gibanjem piezoelektrične keramike te se ispisuju isključivo po potrebi [5].

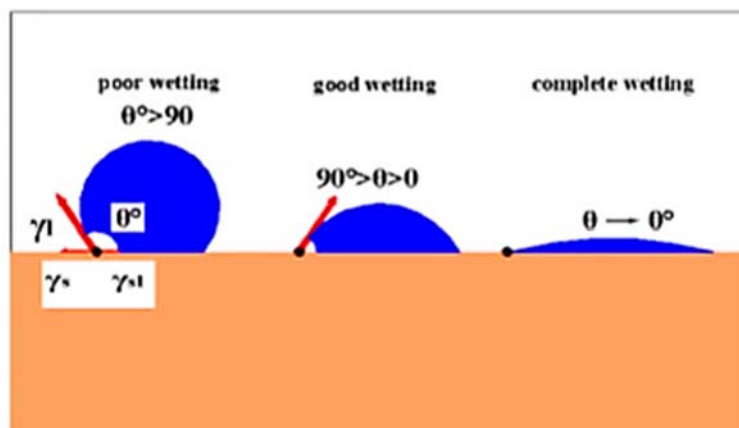
Većina digitalnih sustava za grafički tisak koristila je tiskarske boje na bazi tekućih bojila sve do 1993. godine kada je Hewlett Packard na tržištu uredskih pisača predstavio novitet, prvi pigmentni Ink Jet pisac s ispisom „kapljica na zahtjev“. Od tada značajan tehnološki razvoj doveo je do brojnih primjena pigmentnih bojila za kontinuirani protok i Ink Jet tisak „kapljica na zahtjev“ kako bi se zadovoljile potrebe i želje kupaca i korisnika. Stork i Iris uveli su Hertz Ink Jet strojeve s kontinuiranim protokom i tiskarskim bojama na bazi vode te su tiskali na tekstil i papir. Prednost takvih digitalnih Ink Jet strojeva je bila u kvaliteti reprodukcije boje, no manjkavost je bila u maloj brzini i visokoj cijeni ispisa. Canon razvija Ink Jet stroj s „kapljicama na zahtjev“ koji je služio isključivo tisku na tekstil te se temeljio na njihovom izumu specifične tehnologije formiranja kapljice, tzv. BubbleJet. Na tim strojevima se tiskalo kontinuirano (tzv. tisak na rolu), a tiskarske boje su bile na bazi tekućih bojila. Najučinkoviti razvoj bio je Seriensin razvoj integriranog sustava dizajna i ispisa koji je koristio tisak u boji i postupak s tiskarskim bojama na bazi tekućih bojila prilagođenim vrsti podloge, a tiskale su se ograničene serije. Navedeni sustavi koristili su mlazni sustav spremnika za tiskarsku boju (kontinuirani protok), a bojila su bila iz grupe reaktivnih bojila te je otisak zahtijevao naknadni postupak fiksiranja parom i pranje prije krojenja i šivanja u gotove odjevne komade [6].

Razvojem digitalnih tehnika tiska kontinuirano se rješavalo nekoliko ključnih stvari kao što su povećanje brzine ispisa, povećanje kvalitete tj. rezolucije ispisa, smanjenje troškova ispisa te smanjenje prodajnih cijena digitalnih tiskarskih strojeva, te se na kraju radilo na razvoju višebojnih ispisa. Tekstilni Ink Jet strojevi s većom razlučivosti ispisa i mogućnosti više tonova

postali su dostupniji uz povoljnije cijene. Krajem osamdesetih radi niskih troškova, male veličine, tihog načina rada, a izrazito veće mogućnosti šireg aspekta boja, toplinski Ink Jet ili piezo tiskarski strojevi postali su izvediva alternativa za manje tvrtke. Nedostatak tekstilnih Ink Jet strojeva je njegovo skuplje održavanje. Karakteristika svih Ink Jet sustava je u korištenju mikroprodukcije elektroničkih, termoelektričnih i elektroakustičnih elemenata. U posljednjih oko 25 godina provedena su brojna istraživanja na području primjene Ink Jet tehnologije tekstilnoga tiska s temeljnom temom poboljšanja u razvoju tiskarske glave kao ključnog elementa. Činjenica je kako još uvijek nije pronađeno rješenje jedinstvene tiskarske glave te nije uspostavljena jedinstvena tehnologija ispisa [7, 8].

2.1. Karakteristike digitalnog tiska

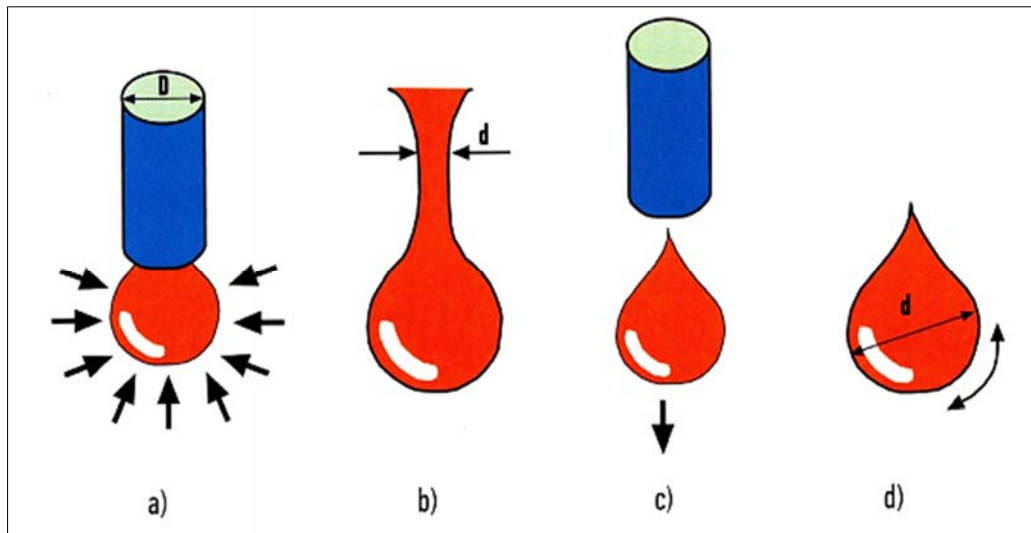
Kapljice tiskarske boje izbačene na tkanine ulaze u njihove strukture kako bi popunile slobodne prostore između pređa i vlakana. Brzina kretanja tiskarske glave i brzina kretanja podloge imaju važnu ulogu u načinu na koji pojedine kapljice putuju iz mlaznice u supstrat. Što je veća brzina ispisa, veća mora biti brzina pada u glavi za ispis. Brzine ispisa kapljica variraju od 2-5 m/s (elektromagnetski vetil), 5-20 m/s (DOD tiskarska glava); 20-40 m/s (CIJ tiskarska glava). Brzina ispisa tiskarske boje može se ubrzati ukoliko se podloga ne vlaži dovoljno brzo (pr. visoka viskoznost tiskarske boje, a čvrsta tkanina- digitalni tisak tepiha). Prodor tiskarske boje u velikoj mjeri ovisi o preobradi kojoj je podvrgnuta tkanina te njezinoj strukturi. Značajni utjecaj na ponašanje tiskarske boje imaju reološka svojstva onda kada kapljica dotakne podlogu. Viskoznost tiskarske boje smanjuje na vrijednost pri kojoj je stvaranje kapljice olakšano pod utjecajem pritiska mlaznice. Kada kapljica izađe iz mlaznice te kapne na tkaninu, viskoznost i površinska napetost tiskarske boje olakšavaju prodiranje u njezinu strukturu. Karakterizacija ponašanja pri vlaženju para tekućina-krutina može se izvesti putem kontaktnog kuta para kapljica-tkanina. Korištenjem različitih metoda, ali na istom osnovnom principu koji se temelji na tome da se svaki čvrsti materijal ispituje putem niza tekućina te im se mjeri kontaktni kut. Parametri dobiveni ovim testovima kvantificiraju karakteristike podloge. Kritična površinska napetost ili površinska energija dobivena na ovaj način mogu se smatrati površinskom napetošću krute podloge, što je karakteristično svojstvo krutine na isti način kao što je površinska napetost za tekućinu. Manji je kontaktni kut, lakše je prodiranje i veća je trajnost ispisa. Iduća faza je fiksiranje tiskarske boje na vlaknima. Fiksiranje se odvija prema različitim mehanizmima i formira veze između molekula tiskarske boje i vlakana [9].



Slika 2. Formiranje kontaktnog kuta na krutoj površini [9]

S obzirom da je digitalni tisak tehnologija u kojoj nema kontakta između tiskarske glave i podloge (tekstilnog materijala) stvaranje slike isključivo ovisi o fizikalno-kemijskoj vezi širenja i prodiranja tiskarske boje u podlogu. Na tu vezu utječe nekoliko faktora: karakteristike tiskarske boje (njezina površinska napetost i viskoznost), predobrade kojima su podvrgnuti tekstilni materijali (fizikalno-kemijske veze između tiskarske boje i vlakna) i struktura tekstilnog materijala. Prodor tiskarske boje intenzivno je proučavan dok je tek vrlo malo studija provedeno na tekstilnim materijalima. Prodor mlaznog digitalnog tiska nastaje zbog uzjecaja sitnih kapljica tiskarske boje na prethodno obrađenom tekstilnom materijalu, a razumijevanje površinskih sila koje su uzrok prodiranja u kapilarnu strukturu je temelj za optimizaciju karakteristika ispisa. Ranije provedeno istraživanje o prodoru tiskarske boje otkrilo je da je granična vrijednost kontaktnog kuta ovisi o veličini kapljice te može biti puno veći od 90° . Pronađena je povezanost između penetracije tiskarske boje i optičkih karakteristika otiska na podlozi. Utvrđeno je da se za određenu količinu tiskarske boje, ispis s penetracijom tiskarske boje ima veću refleksiju od onih bez prodora. Stoga je raspon tiskarskih boja za tiskarski ispis smanjen zbog prodora tiskarske boje u podlogu. Učinak prodora tiskarske boje može se razvrstati u dvije kategorije: pomicanje tiskarske boje i smanjenje njezine zasićenosti. Na tekstilnim podlogama povećana penetracija tiskarske boje daje manje zasićenost boja od onih s manjom penetracijom. Istraživanja nisu potvrđena za sva tekstilna vlakna koja koriste različite uvjete digitalnog tiska. Provedena su istraživanja i za raspodjelu tiskarske boje unutar tekstilnih vlakana te je taj učinak povezan s mehanizmom i vremenom sušenja tijekom kojeg dolazi do prodiranja i širenja tiskarske boje. Uključuje dva mehanizma: prvi mehanizam je ispiranje koje je osjetljivo na fizikalne karakteristike površine podloga, a drugi je prodiranje i širenje koje je osjetljivo na predobrade tekstilnih podloga. Veliku važnost ima utjecaj kemikalija i njihova koncentracija u predobradi tekstilnih materijala prije digitalnog tiska jer

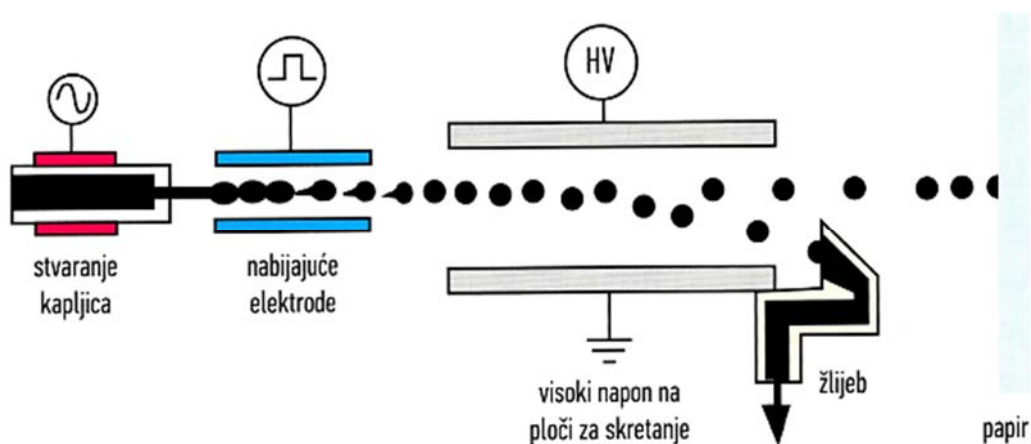
utječe na prodor tiskarske boje. Za velike tehničke zasluge i korisnosti za optimizaciju postupka potrebno je razumijevanje ovisnosti tiskarske boje o karakteristikama njezine penetracije. Za mjerenje prodora tinte korišteno je nekoliko tehnika poput porometrije i ultrazvučnih tehnika. Drugi pristup je mjerenje kuta kontakta kapljice, tj. Svojstvo prodiranja tiskarske boje. Prve tehnike nisu korištene na tekstilnim podlogama, a druge su korištene za procjenu vlažnosti i ponašanja vlaženja tekstilnih materijala i tkanina [9].



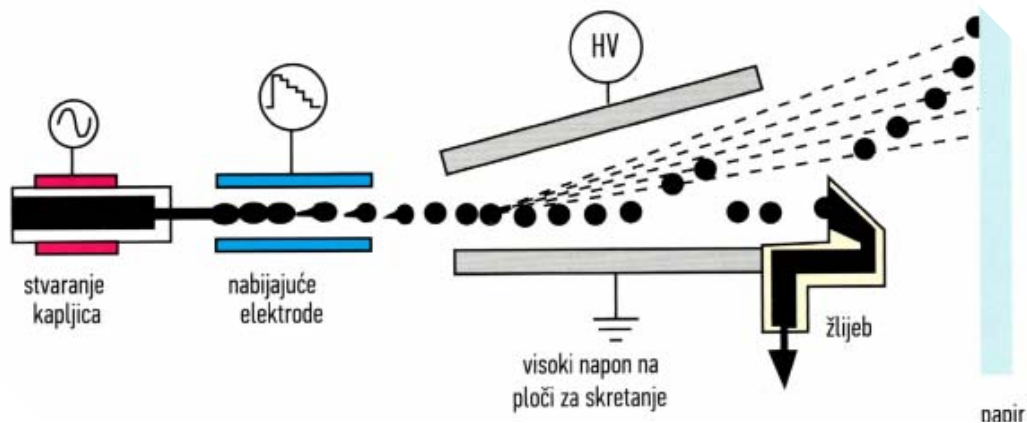
Slika 3. Faze karakteristične za nastajanje jedne kapljice:
a) kapljica povezana s mlaznicom; b) disipacija (rasipanje) kapljice;
c) odvajanje kapljice od mlaznice; d) potpuno oslobođena kapljica [1]

Trenutni trendovi u istraživanju i razvoju tehnologije pisaćih glava, idu paralelno u nekoliko smjerova:

1. Tehnologija kontinuiranog toka s binarnim otklonom
2. Tehnologija kontinuiranog toka s višestrukim otklonom

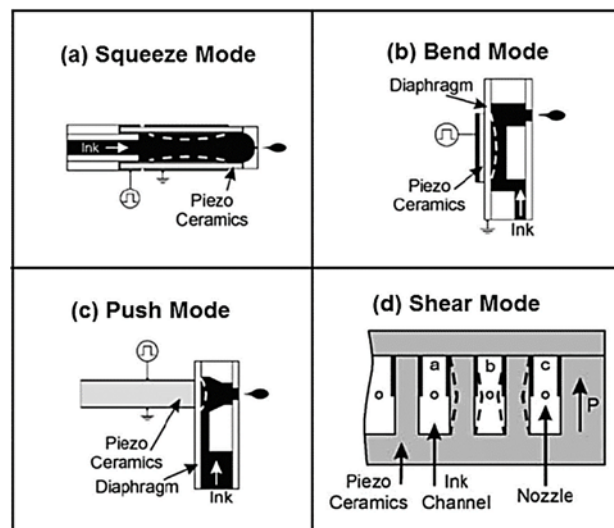


Slika 4. Princip rada binarnog kontinuiranog InkJet-a [1]



Slika 5. Princip rada višestruko skrećućeg kontinuiranog InkJeta [1]

3. Tehnologija diskontinuiranog toka – termalni InkJet („DOD” tehnologija)
4. Tehnologija diskontinuiranog toka – piezo („DOD”) tehnologija



(izvor: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-90362-0_14)

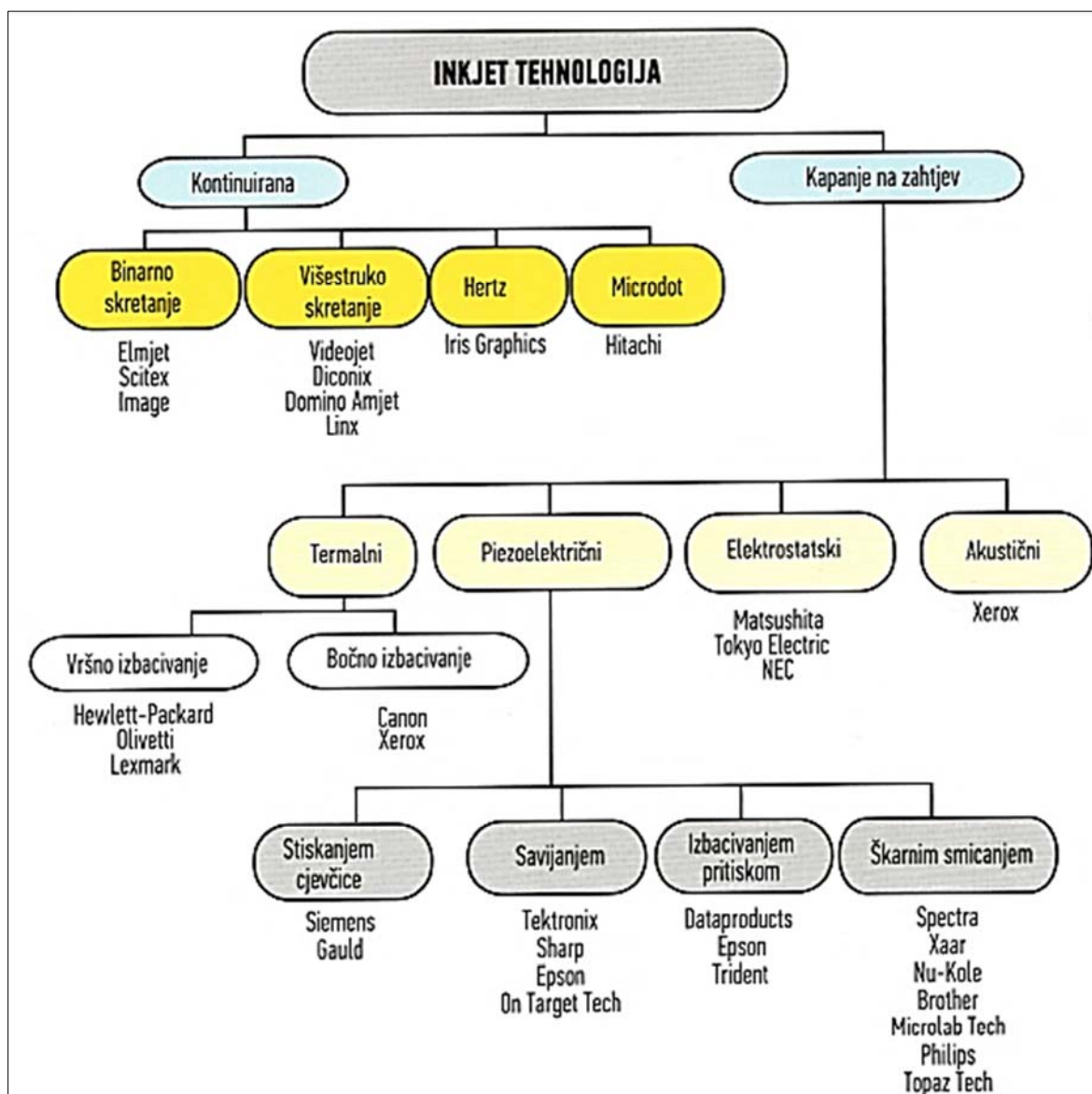
Slika 6. Različiti tipovi tiskarskih glava kod “piezo” digitalnog tiskarskog stroja

5. Tehnologija diskontinuiranog toka – elektrostatsko formiranje kapi („DOD”)

Trenutno, još uvijek nije postignuta globalna komercijalizacija InkJet tehnologije u tekstilnom tisku. Komercijalno uspostavljeni sustavi su:

- Tisak malih serija
- Tisak u izradi prototipova
- Komadni tisak na dijelove odjevnog predmeta

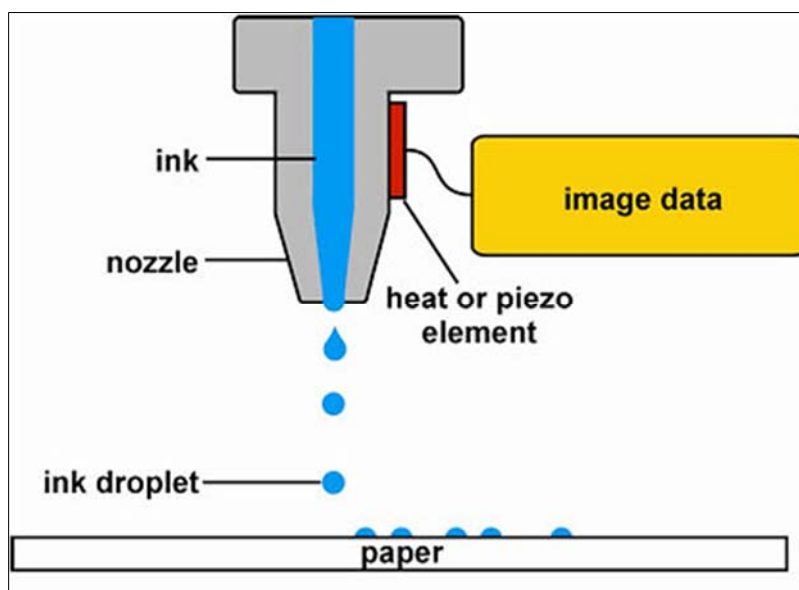
- Tisak na pamučne tkanine i pletiva tiskarskim bojama na vodenim bazama i pigmentnom bojilu [7, 8].



Slika 7. Opća podjela tehnologije otiskivanja InkJetom zajedno s proizvođačima koji je primjenjuju i razvijaju [1]

Kod tehnologije Ink Jet tekstilnog tiska višebojni uzorak formira bez-kontaktom nanosom bojama pomoću sustava kontroliranih i strogo definiranih serija kapljica točno određene veličine (rezolucije). Sustav boja kojim se proizvodi višebojni uzorak je CMYK sustav (sustav od četiri primarne boje: C (cijan), M (magenta), Y (žuta), K (crna)). Rezolucija otiska definira se kao dpi – broj točkica (kapljica) po inču ili lpi – broj linija po inču. Uzorak se ispisa preko Ink Jet glave koja uzima boju iz spremnika u uređaju i prenosi je na podlogu na principu tehnologije diskontinuiranog toka – piezo („DOD”) tehnologija. To je tehnologija ispisa u

kojoj se kapljice bojila generiraju ovisno o potrebama ispisa, odnosno tehnologija isprekidanog mlaza (tzv. drop on demand tehnika) [10].



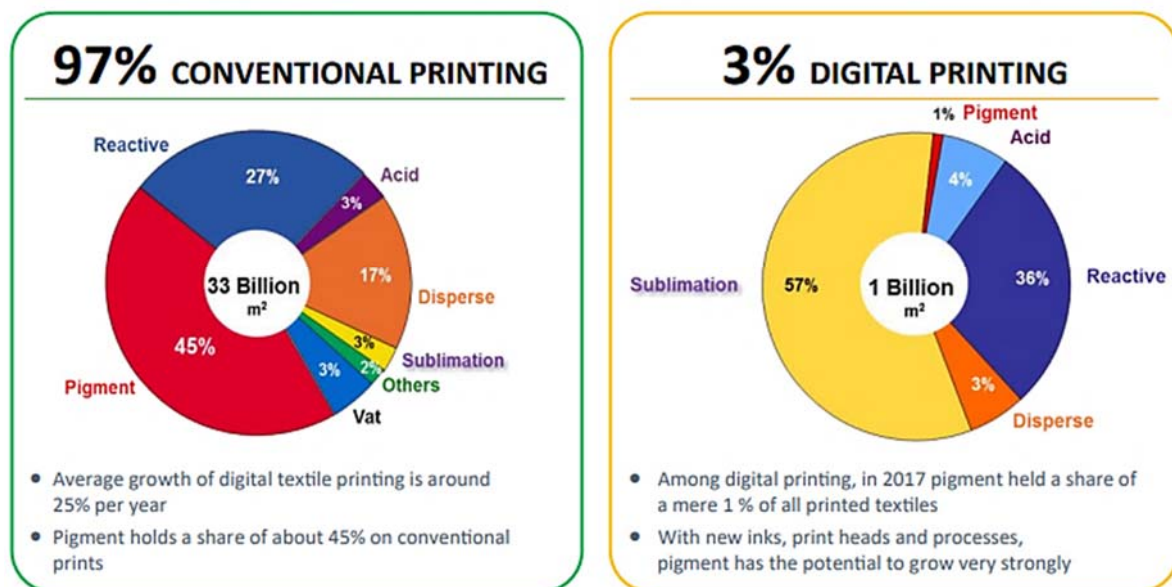
Slika 8. Bezkontaktni nanos bojila Ink Jet tiska [10]

Kod termalnog Ink Jeta, kapljice bojila nastaju djelovanjem toplinske energije. Tijekom aktiviranja grijača temperatura se povećava na 300°C. Upravo u toj karakteristici leži i osnovni nedostatak ove tehnologije, jer uslijed djelovanja visoke temperature, može doći do sušenja i skrutnjavanja paste u mlaznicama čime se trajno oštećuje i skraćuje vijek trajanja uređaja (tiskarske glave) ili može doći do poremećaja funkcionalnosti i stabilnosti određenih komponenti u tiskarskoj pasti. Koriste se uglavnom vodene ili djelomično vodene otopine koje moraju biti otporne na djelovanje visoke temperature karakteristične za ovu tehnologiju. Piezo Ink Jet tehnologiju karakterizira formiranje kapljice bojila mehaničkom deformacijom mlazne komore koju omogućavaju titrajući piezo kristali.

Prednosti ove tehnologije uključuju mogućnost korištenja široke palete tiskarskih boja temeljene na vodenim bazama ili na bazama organskih otapala te dobru pouzdanost i vijek trajanja ključnih dijelova uređaja (tiskarske glave). A nedostatak je relativno visoka cijena tiskarske glave uređaja što onemogućuje primjenu ove tehnologije u tzv. low cost proizvodnjama. Također, kakvu god boju koristili, ona mora biti otporna na toplinu zbog toga što se proces fiksiranja temelji na zagrijavanju [11].

Većina digitalnih tiskarskih strojeva na tisak na zahtjev djeluje skeniranjem po cijeloj širini podloge. Razlike u silama izbacivanja kapi i promjera mlaznica kroz koje se ispušta tiskarska boja dovode do izražene razlike u veličini i brzini kapi koja pada na tekstilni materija. Digitalni piezo tisak ili digitalni bubblejet tisak zahtijevaju prethodnu predobradu tekstilnih materijala otopinama veziva (ili sredstvima za olakšavanje apsorpcije i fiksiranje tiskarske boje), nakon čega slijedi njihovo sušenje. Zbog toga se kapljice tiskarske boje bolje apsorbiraju na površinska vlakna i dobivaju jači i oštiri otisak. Kao rezultat toga, bočno širenje otiska radi kapilarnih sila je minimalno radi činjenice da tiskarska boja ima vrlo nisku viskoznost (5-10 mPas). Tiskarske boje koje se koriste za mlazni ispis mnogo su skuplje od konvencionalnih tiskarskih boja koje znatno lakše udovoljavaju zahtjevima krajnjih korisnika. Trenutno u prodaji su rasponi tiskarskih boja za digitalni Ink Jet tisak su: reaktivne boje za celulozna vlakna, disperzne boje za poliester, kisele boje za najlon, svila i vuna, s posebnom bojom pigmentata i sustavom polimernih veziva u razvoju [12].

COMPARISON BETWEEN CONVENTIONAL AND DIGITAL PRINTING



(izvor: www.zimmer-austria.com)

Slika 9. Usporedba konvencionalnog i digitalnog tiska

Slika 9. prikazuje usporedbu konvencionalnog analognog i digitalnog tiska, gdje je vidljivo da je u 2017. godini konvencionalni tisak zastupljen 97% u odnosu na 3% digitalnog tiska. Prosječni rast digitalnog tiska na tekstil iznosi oko 25% godišnje, a udio pigmentnih tiskarskih boja u konvencionalnom tisku iznosi 45%, dok u digitalnom tisku iznosi samo 1% od

cjelokupnog tiska na tekstilu. S novim pigmentnim tiskarskim bojama, tiskarskim glavama i poboljšanim procesima digitalni tisak ima potencijal za rast.

2.2. Karakteristike digitalnog pigmentnog tiska

Posljednih godina je u porastu trend korištenja pigmentnih tiskarskih boja u tekstilnoj industriji. Novorazvijeni tekstilni Ink Jet strojevi dolaze s jedinicom za ispis i jedinicom za završnu obradu (kalander ili oparivač), a u mogućnosti su ispisivanje i nekoliko tisuća kvadrata tkanine na sat. Najčešće se koriste za digitalni tisak na pamučne tkanine u rolama za: modnu industriju, proizvodnju kućnog tekstila, posteljina, zavjesa, tkanina za tapeciranje namještaja i slično [13]. Različite tekstilne podloge imaju različite zahtjeve kod tekstilnog tiska radi razlike u načinu interakcije tiskarske boje s podlogom. Jedinstveni skup tiskarskih boja koje se mogu koristiti za ispis većine tekstilnih podloga, posebno tkanina od mješavine vlakana, imat će prednosti kao što su niži troškovi proizvodnje, bolja produktivnost, poboljšano predviđanje tonova boje, njihova obnovljivost te manji volumen otpadnih voda. Jedan od pristupa bio je razviti univerzalni set tiskarskih boja koje omogućuju mlazni ispis na kemijski raznolikim tekstilnim materijalima. Drugi je pristup bio razviti tiskarske boje na bazi pigmenta, jer su pigmenti neovisni o podlozi i mogu se primijeniti na većini tekstilnih materijala. S poboljšanjima u primjeni pigmenta, očekuje se brzi rast sustava tiskarskih boja na bazi pigmenta. Od 24 milijarde četvornih metara tkanina otisnutih širom svijeta u 2002. godini, 48% je otisnuto pigmentnim tiskarskim bojama. Izvedeno pomoću pigmenta kao izvora boje. U SAD-u je taj broj bio iznad 90%. Nedavno istraživanje tvrtke BASF predviđa da će se digitalni INK Jet tisak tekstila s pigmentnim tiskarskim bojama povećati s 11 milijardi četvornih metara u 2002. na 15 milijardi četvornih metara do 2012. Stoga, razvoj tiskarskih boja na bazi pigmenta i procesa fiksiranja imat će prednosti konvencionalnog pigmenta kao što su jednostavnost nanošenja, jednostavno učvršćivanje stvrdnjavanjem i uklanjanje skupih procesa pranja i parenja. Učinkovitost i ekonomičnost ink jet tiska na tekstil mogu se uvelike poboljšati upotrebom boja na bazi pigmenta i postupaka za njihovo učvršćivanje [14].

2.2.1. Karakteristike pigmentnih tiskarskih boja

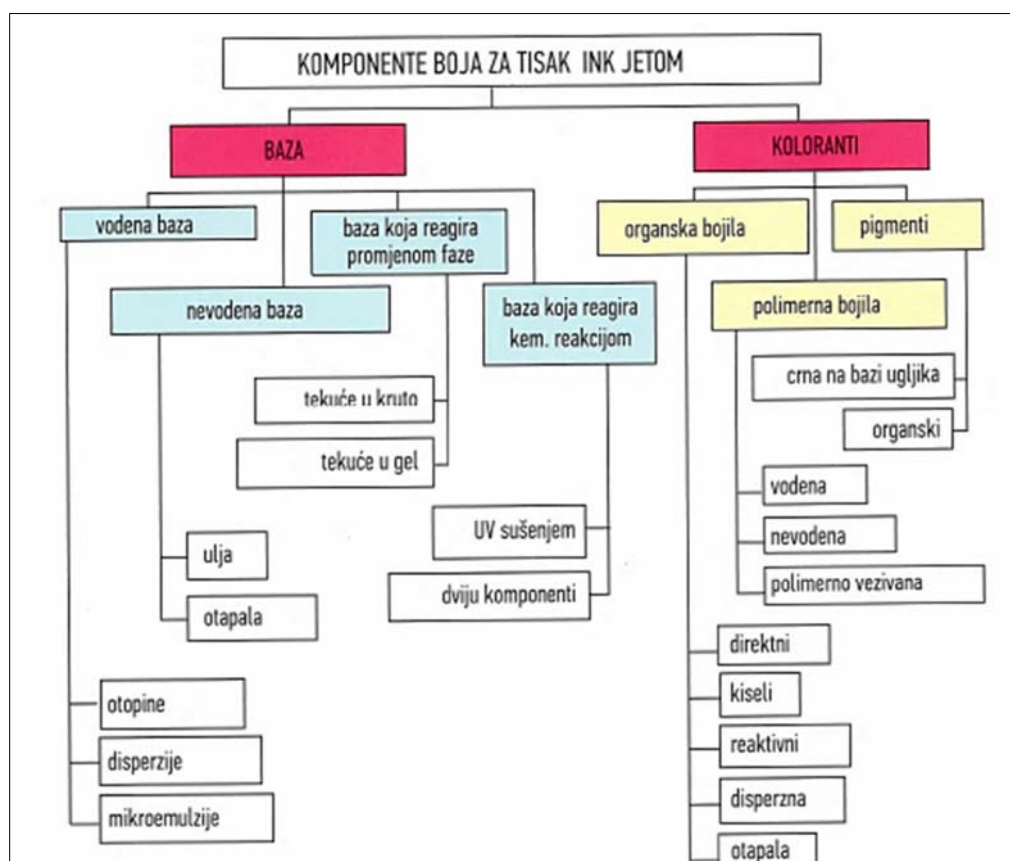
U Ink Jet tehnologiji tiska najzahtjevnija komponenta je bojilo. Kvalitetu otiska diktiraju kemizam bojila i formulacija tiskarske boje te određuju karakteristike oslobođenih kapljica i

pouzdanost tiskarskog sustava. S obzirom da postoji mogućnost nanošenja u velikim brzinama i na različitim tipovima tiskovnih podloga potrebne su brojne modifikacije u kemijskom sastavu tiskarske Ink Jet boje.

Tiskarske Ink Jet boje sadrže dvije komponente:

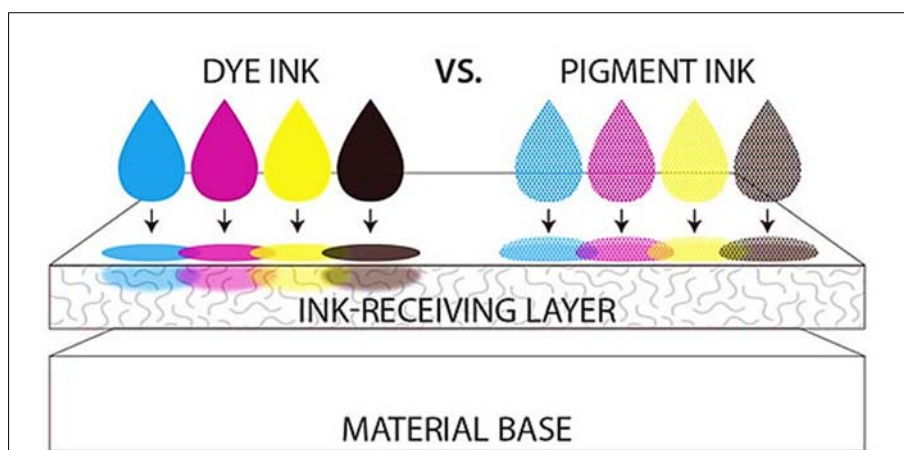
1. Bojila ili pigmente (koji daju željeno obojenje)
2. Bazu (koja određuje reološka svojstva)

S obzirom na zahtjevani niski viskozitet tiskarskih boja, potreban je veći udio nosača bojila (baze) koji može biti voda, otapalo ili ulje. Osnovna zadaća nosača bojila (baze) je formiranje malih kapljica tiskarske boje, odnosno ostvarivanje pravilne distribucije iz ispisne glave digitalnog tiskarskog stroja. Druga zadaća nosača bojila (baze) je osigurati dobro prijanjanje Ink Jet tiskarske boje na tiskovnu podlogu [1].



Slika 10. Opća podjela boje u Ink Jet tisku po sastavu [1]

Pigmentne tiskarske boje su netopljive te se moraju primjenjivati kao sitne čestice dispergirane na tekstilnom materijalu. Imaju vrlo dobru postojanost, ali nemaju afinitet prema tekstilnim materijalima na koje se nanose [15].



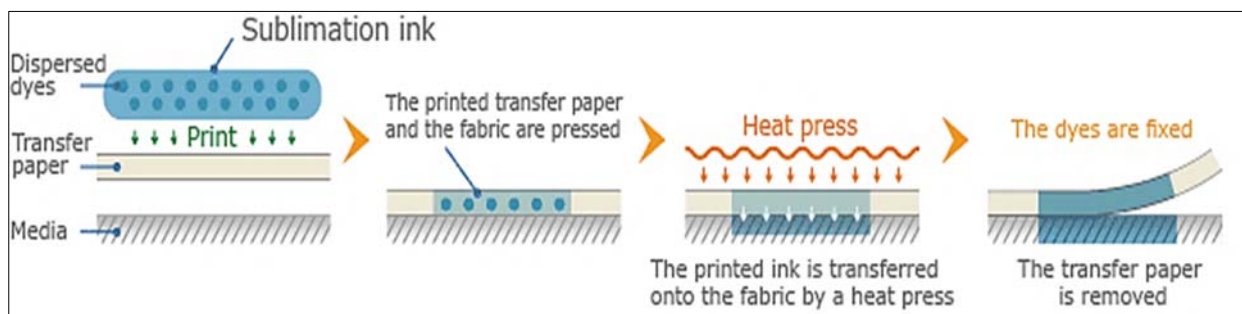
(izvor: <http://www.ruxolabels.co.za/demo-5/>)

Slika 11. Razlika između tiskarske boje i pigmentne tiskarske boje

Pigmentne tiskarske boje relativno su nove u svijetu digitalnog tiska. Od 1996. godine pigmentne tiskarske boje postale su komercijalno dostupne. Njihova glavna prednost je što nije potrebna mokra obrada prije i nakon tiska što dovodi do smanjenja troškova materijala i procesa u usporedbi s drugim bojama. Dok je nedostatak pigmentnih tiskarskih boja što imaju tendenciju stvaranja krutih tekstilnih materijala nakon tiska zbog prisutnosti veziva u njima. Visoka koncentracija “krute” pigmentne tiskarske boje i njezina veličina čestica su drugi nedostatak jer mogu začepiti mlaznice te uzrokovati kvarove u mlazu. No, s obzirom na postojanost, mogućnost pranja i jednostavnost upotrebe, pigmentne tiskarske boje postaju traženije bez obzira na nedostatke složene formulacije, troškove i ograničen raspon tonova boja. Kod pripreme pigmentnih tiskarskih boja zahtjev za određenom veličinom čestica koje utječu na stabilnost tiskarske boje. Manja veličina pigmenta daje širu paletu tonova ukoliko se tiskaju na više vrsta podloga. Glavne tehnike koje se koriste za digitalni tisak sa pigmentnim tiskarskim bojama su: disperzija polimera, disperzija surfaktanata, mikrokapsulacija i površinske modifikacije. Osim istraživanja novih sredstava za raspršivajne i optimizaciju disperznog sustava, prilagođavaju se karakteristike pigmentnih tiskarskih boja kao što su raspodjela veličine čestica, površinski naboj, polaritet, morfologija i čistoća. Kao rezultat dolazi do mogućnosti poboljšanja željenih karakteristika pigmentnih tiskarskih boja: prozirnost, nijansa, viskoznost i stabilnost skladištenja (bez floskulacije ili sedimentacije), uklanjanje kogacije ili abrazije u tiskarskoj glavi. Proizvođači pigmentnih tiskarskih boja proizveli su stabilne, pouzdane i učinkovite tiskarske boje s veličinom čestica manjom od 0,2 μm . Provedene su različite tehnike za ocjenu performansi pigmentnih tiskarskih boja kao što

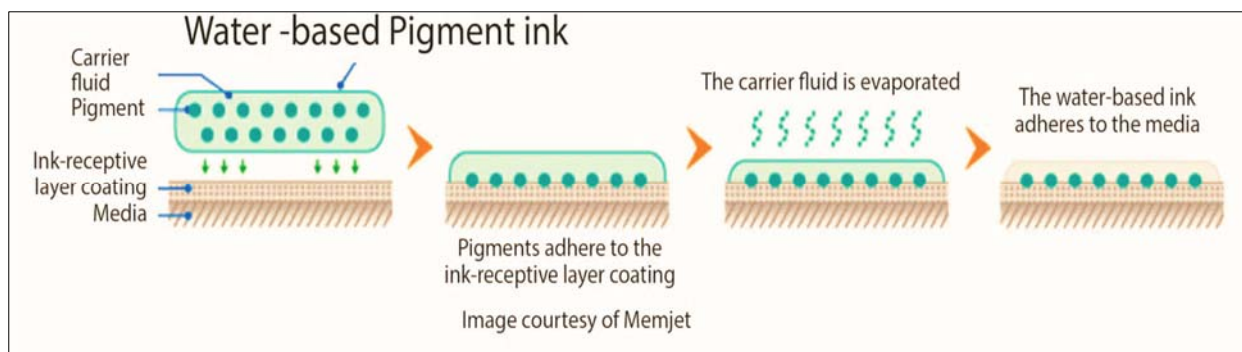
su elektronska mikroskopija u presjeku i analiza sedimentacije. Istraživanja su provedena za pigmentne tiskarske boje prilagođene za svilu, poliesterske i celulozne materijale [9].

Kod pigmentnih tiskarskih boja talože se veće čestice na podlogu te uzrokuju raspršenje svjetlosti. Kako bi se izbjegla flokulacija potrebno je osigurati izvrstan sustav za disperziju pigmentnih tiskarskih boja jer inače dolazi do taloženja i potencijalnog začepljenja mlaznica. Taj disperzni sustav mora biti vrlo stabilan, prilagođen pigmentu i tiskarskog glavi kako bi se omogućio čvrst i pouzdan sustav digitalnog tiska. Nakon dizajniranja visokokvalitetne pigmentne tiskarske boje potrebno je riješiti problem njezinog povezivanja s tekstilnim materijalima. Za razliku od ispisa na papiru gdje nakon sušenja tiskarske boje ona daje dovoljno trajnu sliku, kod tekstilnih materijala zahtjevi za trajnošću su mnogo veći. Potrebno je osigurati mehanizam za vezanje vrlo sitnih čestica pigmenta kako bi se popunila prazna mjesta u tekstilnom materijalu. U pigmentnim tiskarskim bojama za sitotisak koriste se veziva dok to nije nužno kod digitalnog Ink Jet tiska [6]. Pigmentne tiskarske boje imaju nisku viskoznost jer Ink Jet tehnologija ispisa zahtjeva niske viskozitet tiskarskih boja te da im viskozitet ne bude veći od 5 mPas. Optimalni viskozitet prema literaturnim podacima je 2,3-4,4 mPas [4].



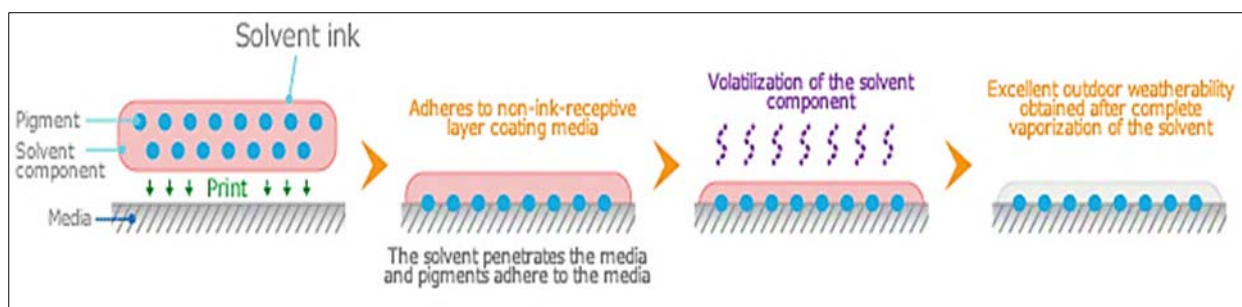
(izvor: <https://www.mimakiaus.com.au/supply/ink/sublimation.html>)

Slika 12. Ink Jet tisak tiskarskim sublimacijskim bojama



(izvor: <https://inkjetinsight.com/knowledge-base/shift-happens-aqueous-ink-chemistry/>)

Slika 13. Ink Jet tisak tiskarskim bojama na vodenoj bazi



(izvor: <https://www.mimakiaus.com.au/supply/ink/solvent.html>)

Slika 14. Ink Jet tisak tiskarskim bojama na bazi otapala

2.3. Ostale formulacije tiskarskih boja

S obzirom da se tehnologija Ink Jet tiska najčešće koristi u tekstinoj industriji razvijene su različite mlaznice za pisane glave Ink Jet stoja koje su prilagođene različitim tiskarskim bojama. Kod odabira tiskarske boje interakcija između tiskarske boje i medija mora biti dobro definirana kako bi se postigla trajnost budućeg otiska. Tiskarske boje mogu biti: kisela bojila, direktna bojila, reaktivna bojila, disperzna bojila topiva u otapalima ili pigmenti. Bojila moraju biti otopljeni ili dispergirani u bazi (voda, otapalo ili ulje) te se zatim putem mlaznica nanose na tekstilni materijal. Ključna interakcija se odvija na površini tekstilnog materijala te prodor i fiksiranje tiskarske boje igra najvažniju ulogu pri određivanju kvalitete otiska [15].

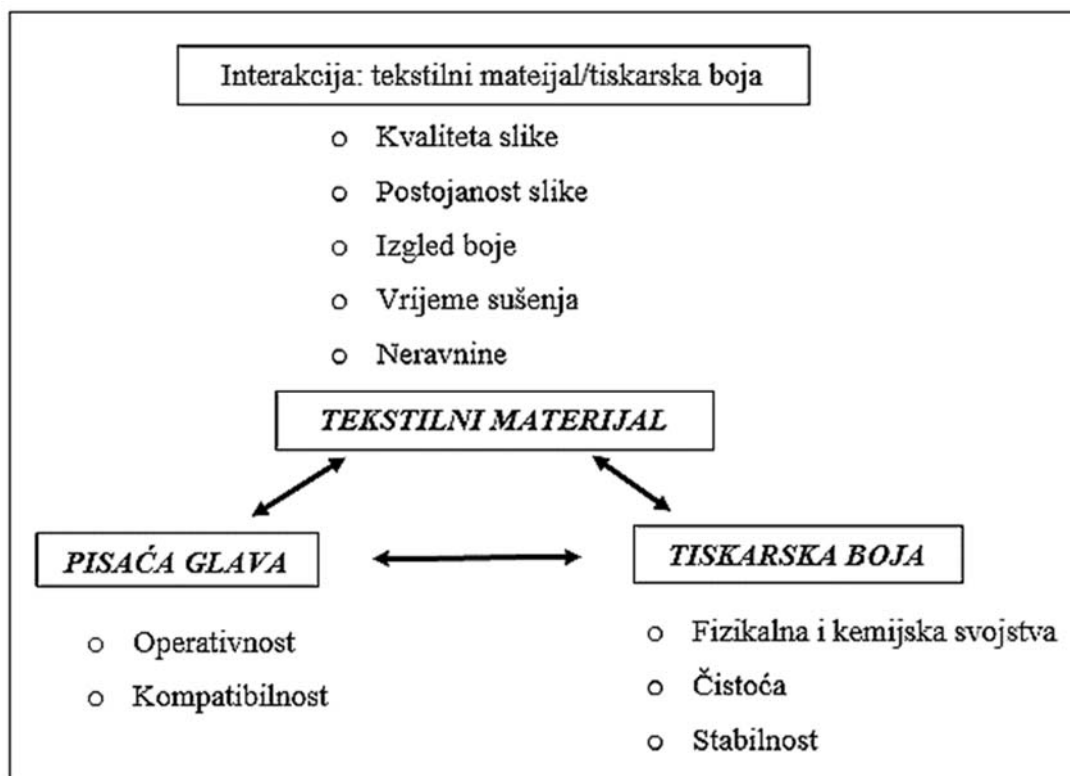
Tablica 1. Preporuka bojila za određene sirovinske sastave tekstilnih materijala

(izvor: <https://www.slideshare.net/MikeRaymond/digital-textile-printing-20150206-v11>)

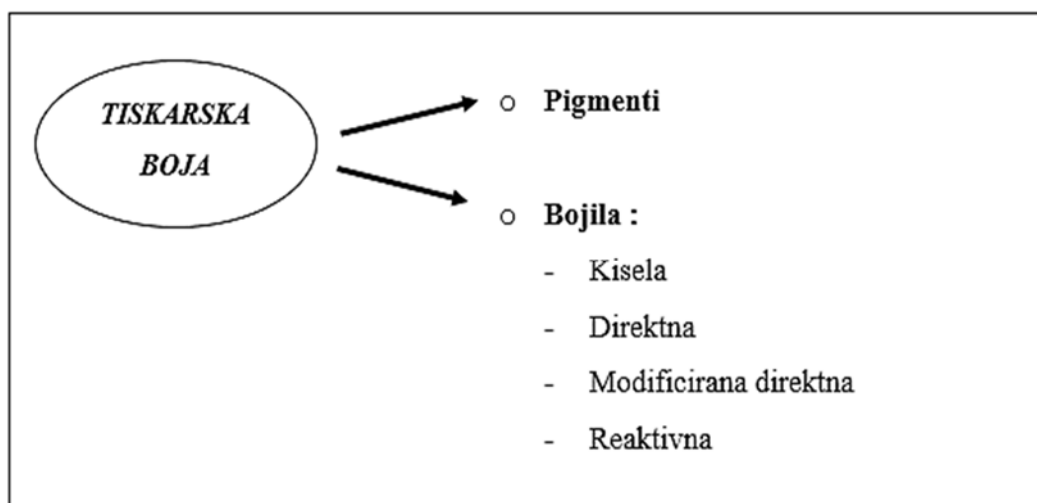
	kiselo bojilo	disperžno bojilo	pigmentno bojilo	reaktivno bojilo
najlon	✓	o	o	o
najlon/likra	✓	o	o	o
poliester		✓	o	
svila	✓		o	o
pamuk			✓	✓
pamuk/poliester			o	
viskoza/rayon			o	✓
lan			✓	✓
vuna	✓		o	

✓ Preporučena uporaba

o Potencijalna uporaba



Slika 15. Interakcija tri ključne komponente uključene u proizvodnju Ink Jet slike [15]

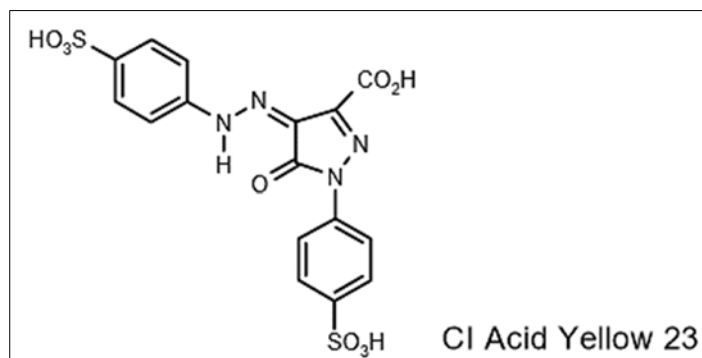


Slika 16. Tiskarska bojila koja se koriste u Ink Jet tehnologiji [15]

2.3.1. Kisela bojila

Anionska bojila male molekulske mase i dobre topljivosti u vodi, koriste se za bojadisanje proteinskih i poliamidnih vlakana. Mogu se koristiti kao tiskarsko bojilo u tekstilnim Ink Jet strojevima zbog visokog intenziteta obojenja. Tiskarsko bojilo se karakteristično brzo širi kroz tekstilni materijal te ima niski afinitet prema supstratu. Zbog loše trajnosti otisnute slike (postojanost na vlagu i postojanost na svjetlo) kisela bojila mijenjaju se drugim vrstama

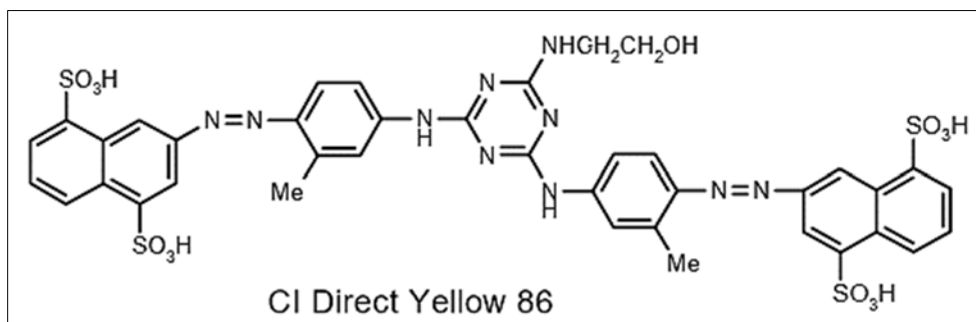
tiskarskih boja. Krajnji korisnici očekuju i traže realističnije otiske većih formata koje kisela bojila ne mogu ispuniti stoga se sve manje upotrebljuju za korištenje u Ink Jet tehnologiji tiska [15].



Slika 17. Kemijska struktura kiselog bojila [15]

2.3.2. Direktna bojila

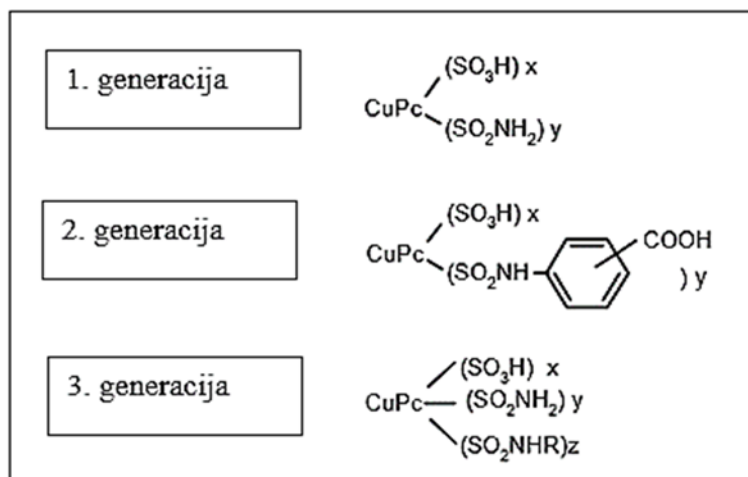
Direktna bojila imaju veću molekularnu masu i veće molekule od kiselih bojila što povećava njihov afinitet prema celuloznom materijalu. Uglavnom su dobro topljiva u vodi te ih karakteriziraju velike planarne aromatske strukture. Nisu sjajne poput kiselih bojila, ali imaju bolju postojanost na vlagu te postojanost na svjetlo [15].



Slika 18. Kemijska struktura direktnog bojila [15]

2.3.3. Modificirana direktna bojila

Modificirana direktna bojila proizvedena su u tvrtki Zeneca Specialist Colors radi bolje trajnosti otiska u tehnologiji Ink Jet tiska. Nazvana su “modificiranim direktnim bojilima” radi opisivanja noviteta u razvoju bojila čije strukture dodaju bojilima karakteristike koje poboljšavaju interakcije s tekstilnim materijalima. Strukture bojila 1., 2. i 3. generacije prikazane su na slici 19. gdje su prikazane modifikacije kemijskih struktura [15].

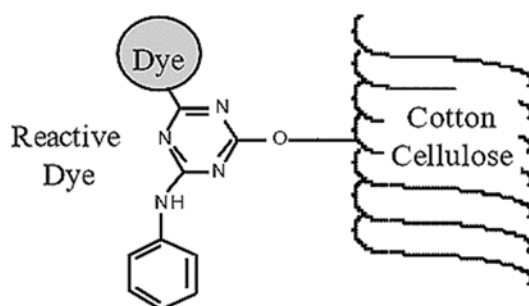


Slika 19. Kemijske strukture modificiranih direktnih bojila za Ink Jet tehnologiju tiska [15]

Modifikacijama se postižu poboljšane karakteristike bojila u Ink Jet tehnologiji tiska. Kod 2. generacije sulfonske kiseline su zamijenjene karboksilnim kiselinama koje imaju dobru topljivost u vodi pri visokom pH, ali im se topljivost smanjuje snižavanjem pH što dovodi do taloženja bojila na površini tekstinog materijala. U bojilima 3. Generacije, kromofori imaju dodatnu funkcionalnost za povećanje afiniteta molekula bojila prema tekstilnim materijalima, naročito onima od celuloznih vlakana [15].

2.3.4. Reaktivna bojila

Reaktivna bojila imaju visoku zasićenost (C), dobro su topljiva u vodi te u kemijskoj strukturi imaju reaktivnu skupinu koja se dobro veže na materijale od celuloznih i proteinskih vlakana. Reaktivnih skupina ima puno, no monoklororiazin koji se upotrebljava u Zenecinovim bojilima omogućuje da se ta bojila mogu koristiti u većem rasponu mlaznica različitih pisaćih glava u tehnologiji Ink Jet tiska. Glavna prednost kod korištenja tih bojila je ta što formiraju kovalentne veze s tekstilnim materijalima (slika 20.).

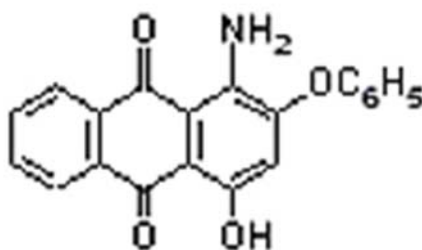


Slika 20. Formiranje kovalentne veze iz reaktivnog bojila s celuloznim materijalom [15]

Na taj način se dobiva svijetliji izdržljiviji otisak u boji na tekstilnom materijalu. Za fiksiranje bojila potrebni su visoka temperatura i visoki pH stoga se takav način vezivanja ne može provesti na drugim medijima kao što su papir ili film [15].

2.3.5. Disperzna bojila

Disperzna bojila (slika 21.) su gotovo netopljiva u vodi, ali su topljiva u drugim otapalima. Bojilo se nanosi u fino dispergiranim česticama na bazi vodenog bojila na tekstilni materijal. Imaju visoku zasićenost (C) i dobru postojanost otiska. Najčešće se koriste za hidrofobne materijale kao što je poliester [15].



Slika 21. Kemijska struktura disperznog bojila [9]

2.4. Najnovija postignuća na području digitalnog tiska

Na najvećem svjetskom sajmu tekstilnih i odjevnih strojeva, ITMA 2019, prikazane su najnovije inovacije u digitalnom tisku od ranih inovatora do novih korisnika na tržištu.



(izvor: <https://www.spintrak.com/aspex-incorporated-participates-in-itma-2015-milan-show/>)

Slika 22. ITMA 2019.

Gotovo 30 godina kasnije nakon što je prvi put predstavljen digitalni tiskarski tekstilni stroj na sajmu ITMA, 2019. godine su predstavljeni tekstilni Ink Jet stojevi koji postižu brzine od 90 m/min. Ta tehnologija postala je visoka konkurencija rotacijskom sitotisku radi brzine koje su

iste ili u nekim slučajevima veće nego brzine rotacijskih ploča, a tekstilni tintni tisak ima konkurentnu prednost nad njima jer nema proces pripreme zaslona i nudi mogućnost čuvanja podataka o ispisu u digitalnom formatu do proizvodnje. Ink Jet tisak pruža veću fleksibilnost pri ponavljanju ispisa, omogućuje veći broj boja bez povećanja troškova, pruža mogućnost preciznijih linija te smanjuje potrošnju vode i energenata. Preciznost i veći broj boja omogućuju ispis fotografija na tekstilnim podlogama. Dizajner može dizajnirati ispis unutar određenih omjera, oblika i optimalnog položaja tekstinog proizvoda time stvarajući nove kategorije proizvoda. Digitalni Ink Jet tisak razvija ovu tehnologiju jer proizvođači traže nove načine kako što brže odgovoriti na zahtjeve tržišta. Promjene u konfiguraciji sustava dovele su do povećanja brzina digitalnih Ink Jet strojeva što je omogućilo veći broj mlaznica. Digitalni InkJet strojevi koji tiskaju s jednim prolazom imaju veće brzine od onih koji imaju sustav gdje tiskarske glave stoje, a tekstilni materijal postavljen ispod njih kreće se kontinuiranom brzinom. Kod tiska s jednim prolazom svaka mlaznica tiskarske glave tiska jednu boju CMYK-a (cijan, magenta, žuta, crna) uz mogućnost dodavanja četiri dodatne mlaznice s drugim bojama (plava, zelena, ljubičasta, siva, crvena ili narančasta) [16].

2.4.1. Tekstilni Ink Jet strojevi s jednim prolazom

Na sajmu ITMA 2019. prikazano je pet jednopropusnih tiskarskih InkJet strojeva, a danas ih je već na desetine instalirano širom svijeta.

1. Talijanski EFI Reggiani - podružnica Electronics For Imaging (EFI) Inc., Fremont, Kalifornija - predstavio je najnoviji digitalni tiskarski stroj s jednim prolazom, Reggiani BOLT. Stroj širine 1,8 metara, koji može postići brzinu ispisa od 90 m/min s rezolucijom od 600 x 600 dpi. Inovativna, neobavezna karakteristika digitalnog tiskarskog stroja Bolt je mogućnost dodavanja jedne ili više integriranih analognih stanica za ispis koje koriste posebne efekte [16].



(izvor: <https://www.texintel.com/press-room/itma-2019-efi-show-the-reggiani-bolt-the-fastest-digital-textile-printer-in-the-world>)

Slika 23. Tekstilni Ink Jet stroj
Reggiani BOLT

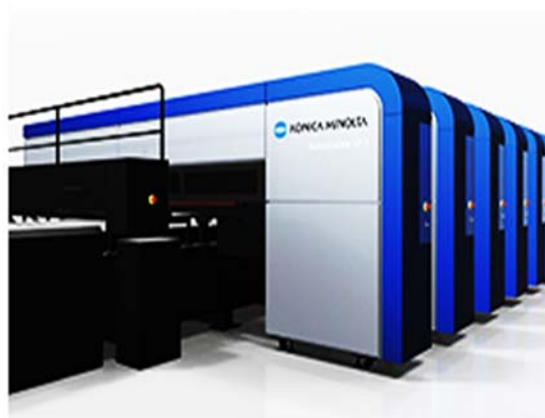
2. MS Printing Solutions, tvrtka Dover, ima 27 Lario digitalnih tiskarskih strojeva instaliranih širom svijeta od kojih se 24 koriste za izravni tisak tekstilnih materijala. Modeli Lario imaju proizvodne brzine ispisa od 75 m/min za tekstilne podloge što omogućuje 20.000 do 80.000 metara dnevno otisnutih tekstilnih materijala. Na ITMA-u je MS pokazao inovativnu linijsku metodu predobrade [16].



(izvor: <https://www.msitaly.com/00/p00000015/lario.html>)

Slika 24. Tekstilni Ink Jet stroj MS Lario

3. Tvrtka Konica Minolta razvila je vlastitu tiskarsku glavu koja omogućuje fleksibilnost u podešavanju tiskarske boje kako bi se tijekom procesa ispisa kombinirali tamni i svijetli tonovi. Digitalni tiskarski stroj može programirati za korištenje istovremeno do devet boja s mogućnošću korištenja reaktivnih, disperznih ili kiselih bojila.



(izvor: https://www.konicaminolta.com/inkjet/textile_printers/nassenger_sp1/spec.html)

Slika 25. Tekstilni Ink Jet stroj Nassenger SP-1

Model Nassenger SP-1 ispisuje otiske visoke rezolucije uz veoma dobar prodor tiskarske boje s lica na naličje tekstilnog materijala. Još jedna njegova istaknuta karakteristika je automatsko čišćenje tiskarskih glava i sustav za detektiranje praznih mlaznica koji omogućuje održivost stabilne proizvodnje te skraćuje vrijeme. Nassenger SP-1 može postići brzinu ispisa od 60 m/min [16].

4. Digitalni tiskarski stroj Pike, tvrtke SPG Prints, postiže brzine ispisa od 40 do 90 m/h koje ovise o željenoj kvaliteti i rezoluciji slike. Sadrži recirkulirajući kanal koji sprečava začepljenje tinte, a tiskarska glava održava toplinsku stabilnost tijekom trajanja ispisa. Tiskarske glave za ispis smještene su 2 do 3 milimetra iznad podloge dok kod Pike-a se one mogu postaviti od 3 do 6 milimetara visine čime se umanjuje

rizik udarca glave od tekstilni materijal. Obično su glave za ispis smještene 2 do 3 mm iznad podloge, što predstavlja opasnost za glavu printera ako se tkanina nabora [16].



(izvor: <https://www.spgprints.com/products/printing-equipment/digital-textile/pike>)

Slika 26. Tekstilni Ink Jet stroj Pike

5. Atexcov brzi printer Vega One s jednom brzinom može ispisati 80 m/min, s proizvodnim kapacitetom od 8.000 do 10.000 metara dnevno. Karakteristika koja ga čini vrijednijim od drugih je mogućnost ispisa na licu i naličju tekstilnog materijala. Ta nova karakteristika pogodna je za dvostrani ispis proizvoda kao što su npr. zastave i šalovi jer može riješiti probleme slabe penetracije tiskarske boje [16].



(izvor: <https://atexco.en.made-in-china.com/product/RjQJuWhgOMkY/China-Atexco-Vega3250p-Digital-Sublimation-Printer-for-Max-2600mm-Home-Textile.html>)

Slika 27. Tekstilni Ink Jet stroj Vega one

2.4.2. Tekstilni Ink Jet strojevi skenirajućeg tipa

Na sajmu ITMA 2019. Godine istaknute su povećane brzine proizvodnje jednopropusnih digitalnih tiskarskih strojeva te njihovo poboljšano skeniranje. Novitet na tržištu posebnog tiska, Twine Solutions Ltd. (Izrael), premijerno je predstavio stroj za tiskanje šivaćih niti na

zahtjev. Te niti mogu biti bojadisane u bezbroj različitih boja istoga trena ili na zahtjev, stvarajući na taj način jedinstvene boje, sjene pa čak gradijente. Noviteti na tržištu digitalnih tiskarskih strojeva, Hewlett-Packard Co. (HP), Palo Alto, Kalifornija – pokazali su seriju digitalnih tiskarskih strojeva STITCH S za disperzni tisak, transfer tisak te tisak na role tekstila [16].

1. Austrijska tvrtka Zimmer Austria Inc. predstavila je COLARIS 96-3400 – digitalni tiskarski tekstilni stroj s pigmentnom tiskarskom bojom, širine 3,4 metra s mogućnošću opreme do 96 tiskarskih glava. Ovaj vodeći printer pogodan je za tekstilnu primjenu i omogućuje kapacitet veći od 1000 m²/h.



(izvor: <https://www.zimmer-kufstein.com/en/content/colaristextile-printer>)

Slika 28. Tekstilni Ink Jet stroj COLARIS 96-3400

Tvrtka Zimmer predstavila je linijski sustav sušenja koji koristi jedinstvenu infracrvenu tehnologiju u kombinaciji sa sustavom vakuumske usisavanja za očvršćivanje pigmentne tiskarske boje. Colaris digitalni tiskarski strojevi koriste reaktivna, disperzna, kisela i pigmentna bojila. Podloge na koje se nanosi ispis mogu biti malih do vrlo velikih gustoća i debljina (tepisi, ručnici, automobilske i dekorativne tkanine). Colaris serija digitalnih tiskarskih strojeva kreće se od 2,2 do 5,2 metra širine ispisa, dok je COLARIS-NF jednopropusni stroj namjenjen samo za uske tkanine. Također imaju mogućnost dodatnih linijskih sustava koji služe poboljšanju kvalitete ispisa i povećanju penetracije tiskarske boje. Tiskarske glave dostupne su u četiri modela s različitim mogućnostima ispisa [16].

2. Tvrtka KARAJet je na sajmu predstavila svoju tehnologiju pisaćih glava namjenjenih za digitalni tisak na tekstu. Linija KERAtex MP digitalnih tiskarskih strojeva sadrži tri stoja različitih širina ispisa: KERAtex MP 3400 sa širinu ispisa do 3,4 metra; KERAtex MP 2400 sa širinu ispisa do 2,4 metra i KERAtex MP 1800 sa širinu ispisa do 1,8 metara.



Slika 29. Tekstilni Ink Jet stroj KERAtex [16]

Svi modeli iz linije su prilagodljivi na do 10 tiskarskih boja bez obzira jesu li na bazi vode ili pigmenta, do osam tiskarskih glava i imaju otvorene platforme za proces bojadisanja i rasterskih slika (RIP) [16].



Slika 30. Tekstilni Ink Jet stroj HP Stitch [17]

3. Na sajmu 2019. godine HP je predstavio novu seriju HP Stitch S digitalnih tiskarskih strojeva koje karakterizira brzo i precizno usklađivanje tiskarskih boja te učinkoviti i pojednostavljeni procesi. HP Stitch je HP-ova inovacija dizajnirana za što lakše i brže usvajanje komercijalnog digitalnog tiska.

“Trendovi u primjeni dekorativnog i modnog tekstila te porast proizvodnje na zahtjev i unikatnost potiču rast digitalnog tiska”, izjavio je Santi Morera, voditelj odjela za grafička rješenja u HP-u [17].

Seriya digitalnih tiskarskih strojeva Stitch ima rezoluciju od 1.200 dpi za jarke boje i duboke crne nijanse. Tvrtka HP je istražila i razvila digitalne tiskarske strojeve s termalnim tiskarskim glavama s proizvodnim brzinama do 220 m²/h. Termička tiskarska glava omogućuje brzo zagrijavanja tiskarske boje stvarajući mjehuriće koji istiskuju tiskarsku boju kroz mlaznicu. Osim toga, HP je uspio razviti disperznu

tiskarsku boju koja je prikladna za termičku tiskarsku glavu s više mlaznica nego je to uobičajeno. Takva tiskarska glava omogućuje isušivanje u zoni ispisa, odnosno sušenje tiskarske boje odmah nakon taloženja na tekstil. Model Stitch S1000 može ispisati do 3,2 metra širine brzinom od 10 m/h za šest prolaza, a najkvalitetniji ispis i do 18,7 m/h maksimalnom brzinom. U digitalni tiskarski stroj ugrađen je spektrofotometar koji omogućuje kalibraciju putem mreže za više printera bez obzira gdje se oni nalazili.

Istraživanja i razvoj u strojarstvu se nastavljaju u smjeru rukovanja tkaninama, sposobnosti i pokretljivosti pisaće glave, mehanizmima kontrole kvalitete za kvar i mlaznice te sustavima za otkrivanje nabora na tekstilnim materijalima; uključujući bojadisanje i druge predobrade [16].

2.5. Ispitivanje postojanosti i kontrola kvalitete reprodukcije boje u digitalnom tisku

Kvaliteta ispisa u digitalnom tisku tekstila može se podijeliti u sljedeće kategorije:

1. Izgled (definiranje linija, kvaliteta teksta, rezolucija, šum slike, optička gustoća, reprodukcija tona, sjaj)
2. Boja (raspon boja, podudaranje svjetlosti, registracija boja)
3. Stabilnost (postojanost na svjetlost, vodoodbojnost)
4. Upotrebljivost (prisutnost nedostataka)

Većina kategorija kvalitete digitalnog otiska zajednička su i konvencionalnim i digitalnim tehnikama tiska. Međutim, digitalni tisak donosi niz svojih individualnih problema kao što je npr. pojava rasterskog rasipanja boje koje rezultira mrljama na rubovima, pojava neotisnutih dijelova un obliku linija koje prekidaju kontinuitet uzorka i nekontrolirano ispuštanje dodatnih kapljica boje uslijed čega nastaju neželjene nakupine boje. Kako bi digitalni tisak tekstila napredovao trebaju se postići dodatna znatna poboljšanja kvalitete njegovog otiska [18].

2.5.1. Kontrola reprodukcije boje u digitalnom tekstilnom tisku

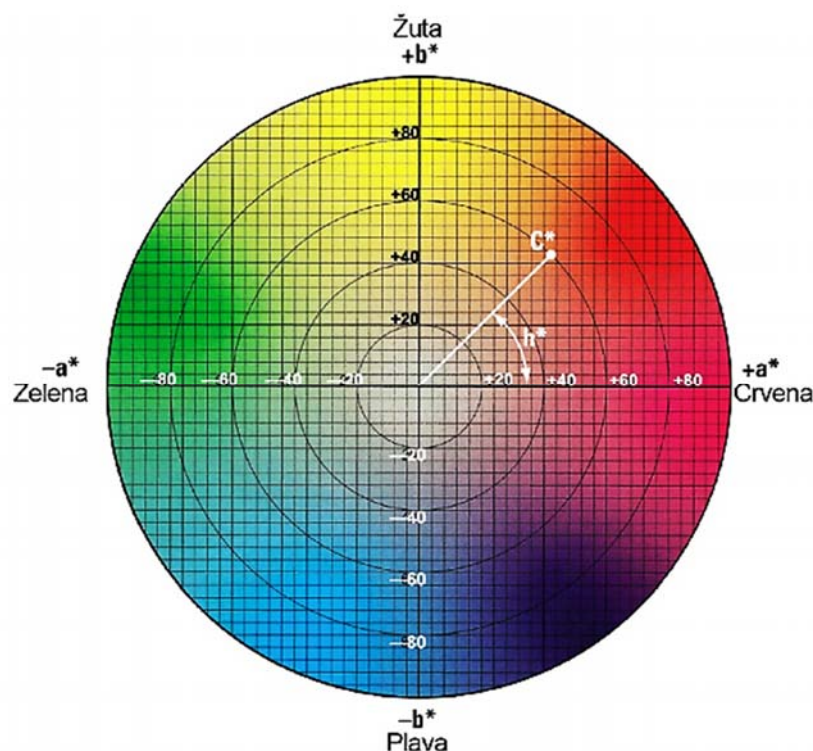
Reprodukcija boje također je jedan od parametara kvalitete u tehnologiji digitalnog tiska. Instrumenti za mjerenje boja i industrijski prihvaćeni sustavi razlika u boji, široko se koriste u prihvatljivosti boja u industriji. Kolorimetrija se koristi za nadopunu postupka vizualne evaluacije, jer omogućuje dosljedno kvantificiranje razlika u boji i time olakšava upravljanje

tolerancijama boja u proizvodu. Sustavi za toleranciju boja koriste se u upravljanju aktivnostima proizvodnje i prihvatljivosti kupaca. Sustavi tolerancije koji se raspravljaju u ovim podatkovnim činjenicama su: CIELAB (CIE $L^*a^*b^*$ i CIE $L^*C^*h^*$), CMC, CIE94, CIEDE2000. Ti sustavi temelje se na CIELAB 1976 $L^*a^*b^*$ kolorimetrijskom sustavu [19].

Prostor boje je definiran jednakim razmakom vrijednosti svjetline, L^* os, s pripadajućim koordinatama boje a^* , b^* , i odgovara vizualnoj percepciji boje. Prikazom u koordinatnom sustavu a^*/b^* , dobiva se položaj boje i zasićenost (kroma) tona na svakom nivou svjetline. Sustav definira vrijednost svjetline koja se označava sa L^* . L^* = skala od 0 = crno do 100 = bijelo. Za neutralne boje (bijela, siva i crna) $a^* = 0$, $b^* = 0$.

U CIELAB prostoru boje, svaka boja definirana je $L^*a^*b^*$ koordinatama, odnosno $L^*C^*h^*$ vrijednostima:

- a^* – koordinata predstavlja crveno – zelenu os
- b^* – koordinata predstavlja žuto – plavu os
- L^* – svjetlina
- C^* – kromatičnost ili zasićenost boje
- h^* – ton boje



Slika 31. Položaj boja i definiranje tona i zasićenosti u $L^*a^*b^*$ dijagramu
(Izvor: predavanje: Kontrola boja - od percepcije do mjerenja dr.sc. Maja Strgar Kurečić)

L^* , a^* , b^* koordinate, izračunavaju se na temelju tristimulus vrijednosti X , Y i Z boje prema sljedećim matematičkim izrazima:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h = \arctg(b^*/a^*)$$

(0 = crvena, 90° = žuta, 180° = zelena, 270° = plava)

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad [21]$$

Radi veoma izražene nejednolikosti prostora boje u CIE dijagramu kromatičnosti česte su nejasnoće oko velikih razlika između različitih kombinacija boja. U takvim slučajevima najpouzdanije je podatke o boji prevesti u odgovarajuće koordinate CIELAB sustava boja. Tako se raspored boja predstavlja kao dvodimenzionalni prikaz na a^*b^* dijagramu koji predstavlja projekciju trodimenzionalnog prostora boja. Kao gruba provjera može li se određen željeni ton tiskarske boje uskladiti, potrebno je provesti spektrofotometrijsko mjerenje kako bi se dobije vrijednosti a i b . Ako su vrijednosti unutar granica raspona boja CIELAB sustava trebalo bi biti moguće podudaranje željenog tona boje [12].

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L_1^* - L_0^*$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_0^*$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_0^*$$

$$\Delta C_{ab}^* = C_{ab,1}^* - C_{ab,0}^* = (a_1^{*2} + b_1^{*2})^{1/2} - (a_0^{*2} + b_0^{*2})^{1/2}$$

$$\Delta H_{ab}^* = [(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2]^{1/2}$$

Dogovorene vrijednosti granica tolerancije za tekstil:

- $\Delta L^* = 0$ do 1,2 (eventualno do 2)
- $\Delta C^* = 0$ do 0,8 (eventualno do 1,5)

- $\Delta H^* = 0$ do 0,5 (eventualno do 0,8)
- $\Delta E^* = 0$ do 1 (eventualno do 2)

CMC (1:c) formula za razliku u boji temelji se na kolorimetrijskim načelima sustava CIE76. CMC (1:c): 1984.g. Colour Measurement Committee za izračunavanje ukupne razlike u boji uvodi parametre tolerancije za svjetlinu, ton i zasićenost (S_L , S_C , S_H) koji definiraju veličinu tolerancije prema standardu, obzirom na koordinate svjetline, zasićenosti i tona. Formula CMC (1:c) temelji se na razlikama CIE svjetline (ΔL^*), zasićenosti (ΔC^*) i tona (ΔH^*).

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{c \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H}\right)^2}$$

$$S_C = \frac{0,0638 \cdot C_s^*}{1 + 0,0131 \cdot C_s^*} + 0,638$$

$$S_H = S_C \cdot (T \cdot f + 1 - f)$$

$$S_L = \begin{cases} 0,511 & \text{ako } L_s^* < 16 \\ \frac{0,040975 \cdot L_s^*}{1 + 0,01765 \cdot L_s^*} & \text{inače} \end{cases}$$

CMC (1:c) matematički izraz uključuje dva dodatna faktora za kvantificiranje tolerancije razlika u svjetlini i zasićenosti, l i c, uzimajući u obzir i razlike u tonu za dane vrijednosti. U finalnoj verziji sustava faktor tolerancije razlika u svjetlini, l, utvrđen je s vrijednošću “2” tako da je odnos faktora tolerancije l:c = 2:1, obzirom da je oko osjetljivije na kromu nego na svjetlinu. Time je osigurana dvostruko veća tolerancija u razlikama svjetline u odnosu na razlike u kromi – elipsoidni prostor razlika u boji [20].

Obično se koristi kao sustav tolerancije boje u industrijskim primjenama. CMC (1:c) razlika u boji pokazala se korisnom mjerom komercijalne prihvatljivosti obojenih proizvoda. CMC (1:c) razlika u boji često se koristi u aplikacijama za izradu boja, pri čemu se može utvrditi i iskoristiti jedinstvena numerička tolerancija kako bi se donosile odluke o prihvatljivosti. Važna prednost CMC (1:c) je da kada se tolerancija uspješno implementira za proizvod, jednaka tolerancija može se pokazati primjenjivima i za druge boje proizvedene pod sličnim komercijalnim uvjetima [19].

Daljnijim razvojem i modifikacijom CIE76 sustava, 1994. godine, nastaje novi CIE matematički model pod nazivom CIE94 ($k_L:k_C:k_H$), skraćeno CIE 94. Matematički izraz proširen je faktorima za parametre svjetline, tona i zasićenosti S_L , S_C , S_H . Uključuje tri parametra, k_L , k_C , k_H , za vrijednosti svjetline, tona i zasićenosti (konstantne vrijednosti - $k_L = 2$, k_C , $k_H = 1$. Precizna vrijednost navedenih faktora utvrđena je u svrhu točnijeg određivanja utjecaja pojedinih parametara boje s obzirom na njihovu ulogu u vizualnom ocjenjivanju razlike u boji [20].

$$\Delta E = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + (0,045 C^*)$$

$$S_H = 1 + (0,015 C^*)$$

CIEDE200 formula objavljena je od CIE 2001. godine, razvijena od strane članova Tehničkog odbora CIE. Formula daje poboljšani postupak za izračunavanje industrijskih razlika u boji. Temelji se na principima CIE76 sustava uključujući modificirane matematičke izraze za izračunavanje faktora parametara svjetline, tona i zasićenosti S_L , S_C , S_H , te uključujući novu matematičku formulu faktora R_T koja uključuje vrijednosti tona i kromatičnosti čime se unapređuju primjenjivost matematičkog modela naročito u području plavih tonova.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H} \right)}$$

U CIEDE2000 uvedene su pet pozicijskih korekcija CIELAB-a:

- Nova funkcija S_L
- Ista S_C funkcija koju predlaže CIE94
- Nova S_H funkcija ovisna o C^*_{ab} i h_{ab}
- Rok valjanosti R_T
- Nova a^* skala (samo za razlike u boji)

Ukupnom razlikom u boji ΔE prema ISO 105 standardu daju se i ocjene postojanosti obojenja (na pranje, znoj, trenje, itd.) uspoređene s ocjenjivanjem prema sivoj skali (subjektivna ocjena). Ovo ocjenjivanje je objektivnije s većim brojčanim vrednovanjem [21].

2.5.2. Osnove njege digitalno otisnutog tekstila

Najvažniji vizualni aspekt tkanine je njezina obojenost. S obzirom da boja s vremenom i upotrebom može izbljediti, glavna problematika je njezino zadržavanje za vrijeme predviđene uporabe tekstilnog materijala te njegove namjene. Promjene boje nastale nakon proizvodnje tekstilnog materijala mogu biti rezultat brojnih čimbenika kao što su postupak nanošenja bojila, predobrada ili naknadna obrada gotovog tekstilnog proizvoda, loša njega, nepredviđena ili pretjerana upotreba. Jedan od glavnih problema s digitalnim tiskom na tekstilne materijale odnosi se na predviđanje i postojanost boja. Radi složenosti kompjuterizirane boje razlikuju se boje na zaslonu računala i na tiskanim tekstilnim materijalima. Računala koriste RGB (crvena, zelena i plava) boja, dok se izlaz tekstilnog Ink Jet stroja temelji na CMYK (cijan, magenta i žuta). Dodatno, fiksiranjem tiskanih tekstilnih materijala boje se posvjetljuju, a pranjem dolazi do uklanjanja nekih boja. Stoga je od iznimne važnosti znanstveno kvantificirati ponašanje digitalno otisnutih boja radi olakšavanja predviđanja konačnog tona. Proces digitalnog tiskanja tekstila uključuje tri različite faze:

- 1) priprema tkanine (predobrada i podloga po potrebi)
- 2) ispis digitalne slike izravno na tkaninu pomoću digitalnog pisača tkanine, i
- 3) naknadnu obradu tkanine fiksiranjem

Fiksiranje je neophodno je za prodiranje boje u unutrašnjost strukture tkanine i za postizanje povoljnih rezultata. Iako ova nova tehnologija ima obećavajući potencijal za tekstilnu industriju, promjena tehnologije tekstilnih Ink Jet strojeva, predobrada tkanine, fiksiranje i drugi procesi dorade neke su od varijabli koje predstavljaju izazov u predviđanju i kontroli boja. Potrebno je provesti istraživanje kako bi se utvrdile karakteristike performansi digitalno otisnutih tkanina, posebno njihova postojanosti boja. Obrada digitalno otisnutih tkanina dovodi do određenih promjena u boji. Isparavanje pojačava boju, a pranje uzrokuje gubitke boje. Rezultati istraživanja su ukazali na to da se digitalno otisnute tkanine mogu prati ručno ili strojno, bez utjecaja na gubitak boje. Promjena boje se povećavala intenzitetom pranja, a gubitak boje je veći kad je tkanina izložena ubrzanom pranju i sušenju. Dodatkom komponente sušenja može se utjecati na postojanost boje. Dokazano je da je digitalizirana pamučna tkanina

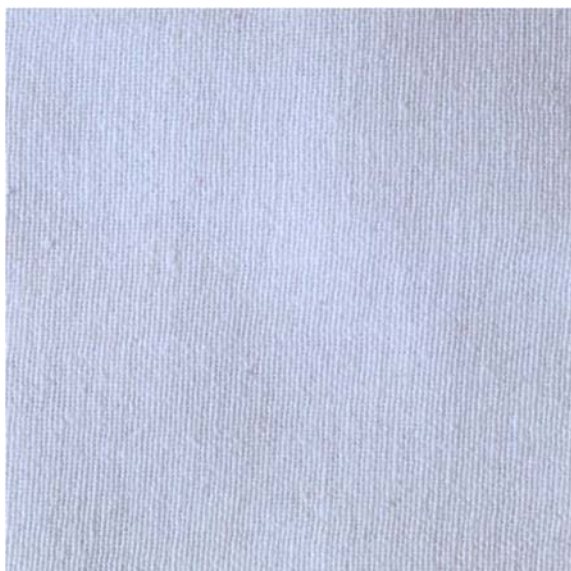
umjereno postojana u boji za komercijalno / kućno pranje. Više blijedenja je očekivano kod strojnog sušenja. Boja tkanine mijenja se od faze tiska, fiksiranja i obrade te tijekom testiranja. Nakon fiksiranja boja je postala izraženija. Daljnji gubitak boje dogodio se zbog ispiranja nakon fiksiranja. Rezultati ispitivanja otpornosti na boju pokazali su da je opći gubitak boje prilikom pranja tkanina, ali ne i prelazak boje na druge tkanine. Što znači da se digitalno otisnute tkanine mogu sigurno prati s drugim tkaninama. Gubitak boje uslijed ručnog pranja nije se značajno razlikovao od gubitka boje zbog kućnog / komercijalnog strojnog pranja. Rezultati studije pokazuju da su pamučne tkanine s digitalnim tiskom umjereno postojane u bojama i ne zahtijevaju posebno pranje. Mogu se prati u stroju bez značajnijeg gubitka boje u usporedbi s drugim osjetljivim metodama. Ubrzano pranje i sušenje uzrokuje veći gubitak boje od ručnog ili strojnog pranja. Stupanj sive skale od 2-3 ukazuje na veliki gubitak boje. Ubrzani ciklus pranja i sušenja standardiziran je od strane AATCC za ispitivanje skupljanja kako bi se simulirali stvarni učinci pranja i sušenja na dimenzijsku stabilnost tkanina [22].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom radu provedena je analiza utjecaja strukture i fizikalnih svojstava te načina predobrade tekstilnih materijala (pamučnih tkanina) na parametre otiska. Ispitivane pamučne tkanine različite su po svojim površinsko strukturnim karakteristikama. Cilj rada bio je ispitati i istražiti sve aspekte postojanosti i kvalitete digitalnog pigmentnog tiska u odnosu na karakteristične tekstilne podloge i uvjete uporabe i održavanja.

3.1. Izbor tekstilnog materijala

Za eksperiment odabrana su dva tekstilna materijala, u platno vezu P 1/1 sirovinskog sastava 100% pamuk. Na slikama 32. i 33. prikazani su skenirani uzorci tkanina, a na slici 34. a) i 34. b) prikazane su snimke strukture dobivene Dino – Lite digitalnim mikroskopom (tip Premier). Oba tekstilna materijala izrađena su od identične pređe, a različitost površinsko-strukturnih i fizikalnih karakteristika proizlazi iz različitih gustoća i pozicioniranja pređe osnove i potke (slika 32. i 33. te 34. a) i b)). Kod uzorka na slici 32. i 34. a) kao potka je korištena dvonitna pređa u odnosu na jednonitnu osnovu, a kod uzorka na slici 33. i 34. b), snovanjem u različitoj gustoći dobivena je prugasta struktura.



Slika 32. Optički bijeljeni uzorak platno veza 1:1



Slika 33. Optički bijeljeni uzorak platno veza 1:1 s uzorkom pruga



a)



b)

Slika 34. Kemijski bijeljeni uzorak platno veza 1:1 snimljen digitalnim Dino-Lite mikroskopom (a-jednolike strukture; b – prugaste strukture)

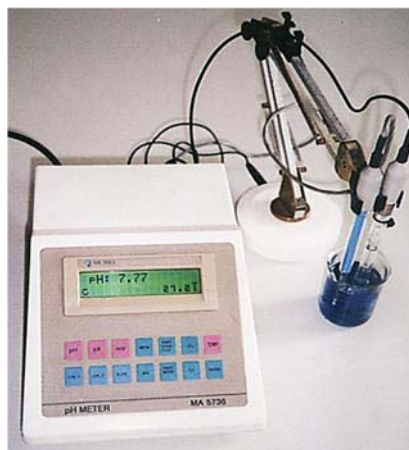
Prikazani materijali proizvedeni su u tvornici Boriskomerc u Arilju (Srbija) od sirove pamučne pređe. Za potrebe istraživanja u ovom diplomskom radu, dio proizvedenih materijala je optički bijeljen u istoj tvornici (Boriskomerc, Arilje, Srbija), a dio je kemijski i optički bijeljen u tvornici Čateks d.o.o., Čakovec, Hrvatska. Optičko bijeljenje u obje tvornice je provedeno s 3g/l optičkog bijelila, u tvornici Čateks d.o.o. (Čakovec, Hrvatska) optičkim bjelilom trgovačkog naziva Tecowhite NAB, a u tvornici Boriskomerc (Arilje, Srbija) optičkim bjelilom trgovačkog naziva Sunwhite BYU.

3.2. Karakterizacija tekstilnog materijala

Ispitivanja fizikalnih svojstava na uzorcima provedena su u kondicioniranom laboratoriju sa standardnom atmosferom za kondicioniranje i ispitivanje: $65 \pm 4\%$ vlažnosti zraka te temperaturom od $20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.1. Mjerenje pH tkanine

Mjerenje pH provedeno je na pH metru, određivanjem elektromotorne sile u ćeliji između indikatorske (radne) i referentne elektrode. Uzorci su odstajali 24 sata u destiliranoj vodi koja je dekantirana te je mjeren njezin pH na pH metru MA 5736 (slika 35.) uz bilježenje temperature otopine. Rezultati mjerenja nalaze se u tablici 6.



Slika 35. pH metar MA 5736

3.2.2. Debljina plošnog proizvoda



Slika 36. Debljinomjer

Debljina tekstilnih materijala izmjerena je prema HRN EN ISO 5084:1996, pomoću instrumenta debljinomjera (slika 36.), koji osigurava preciznost rezultata na 0,01 mm. Debljina plošnog proizvoda se definira kao razmak između dvije metalne ravne paralelne ploče razdvojene tekstilnim materijalom koja se nalazi pod određenim pritiskom. Na svakom uzorku provedeno je 5 mjerenja na različitim dijelovima. Kao rezultat mjerenja daje se njihova srednja vrijednost prikazana u tablici 7.

3.2.3. Gustoća plošnog proizvoda

Gustoća tekstilnih materijala definirana je prema HRN EN ISO 1049-2:2003 kao broj niti osnove i potke na dužini od 10 centimetara. Mjerenje je provedeno pomoću ručne lupe (tekstilnog povećala, slika 37.) i paranjem na epruvetu veličine 50x50 mm. Provedeno je 5 mjerenja, a kao rezultat se daje srednja vrijednost zaokružena na $\frac{1}{2}$ niti. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 8.



Slika 37. Ručna lupa (tekstilno povećalo)

3.2.4. Plošna masa

Prema HRN EN ISO 3801:2003, plošna masa predstavlja masu 1 kvadratnog metra plošnog proizvoda izraženu u gramima, tj. jedinica za plošnu masu je g/m^2 . Posebnim uređajem za rezanje epruveta načinjenje su epruvete kružnog oblika površine 100 cm^2 . Mjerenja su provedena na analitičnog vagi (slika 38.) s preciznošću od $\pm 0,0001 \text{ g}$, za svaki uzorak po 2 mjerenja te kao rezultat dobivena je njihova srednja vrijednost. Masa kvadratnog metra materijala izračunava se pomoću formule:

$$M_A = M_K \times 100 [\%] \quad (1)$$

gdje je : M_A - plošna masa ispitivanog materijala [g/m^2]

M_K - masa kondicioniranog uzorka [g]

Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 9.



Slika 38. Analitička vaga s točnošću od $\pm 0,0001 \text{ g}$

3.2.5. Poroznost

Kako je poroznost ili volumna masa plošnog proizvoda direktno ovisna o debljini plošnog proizvoda može se izračunati prema izrazu:

$$\rho_{Rx} = m_A / (1000 \times d_x) \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (2)$$

gdje je: m_A =plošna masa iskazana u g/m²

d_x =debljina plošnog proizvoda izmjerena uz određeni pritisak iskazana u mm

Poroznost, V_{px} [%] je mjera za volumni udio šupljina u plošnom proizvodu. Ako je poznata gustoća vlakana ρ_v i volumna masa plošnog proizvoda, poroznost se izračunava prema izrazu:

$$V_{px} = [(\rho_v - \rho_{Rx}) / \rho_v] \times 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

3.2.6. Analiza binarnih prikaza uzoraka

U svrhu procjene popunjenosti tekstilnih tkanina, korištenih za rad, provedena je i analiza odnosa veznih točaka, slobodnih niti i veznih razmaka. Podatak o popunjenosti tekstilne tkanine iznimno je važan u procesima digitalnog tiska jer direktno utječe na kvalitetu reprodukcije otiska. Analiza je provedena sistemom analize binarne, crno bijele slike dobivene računalnom transformacijom mikroskopske slike (digitalni mikroskop Dino-Lite Microscope Primer). Slike su spremljene u nekomprimiranom TIFF formatu u 24-bitnoj dubini boje i razlučivosti 1024 x 768 piksela. Pretvorene u 8-bitne slike sive skale. Na 8-bitnim slikama sive ljestvice postoji 256 različitih vrijednosti sive skale: od 0 (crno) do 255 (bijelo) za svaki piksel slike. Napisani su MATLAB programi pomoću kojih su te slike analizirane. Sve slike sive skale pretvorene su u jednobojne slike pomoću vrijednosti praga. Pragovi su tehnika odvajanja prednjeg plana (objekta) slike od pozadine pretvorbom svih piksela ispod nekih pragova na nulu i svih piksela iznad tog praga na jedan. Pragovi su dizajnirani da izvedu prihvatljivu objektivnost za čvrsto tkane tkanine, a fiksirani su prema algoritmu 1. Da bi se izmjerile sve šupljine koje gotovo u potpunosti propuštaju svjetlost, izvršene su konverzije od 8-bitnih slika sive skale do jednobojnih slika s jednakom vrijednošću praga od 223. Vrijednosti sive skale između 223 i 255 predstavljene su bijelim pikselima, a vrijednosti sive ljestvice između 0 i 222 crnim pikselima.



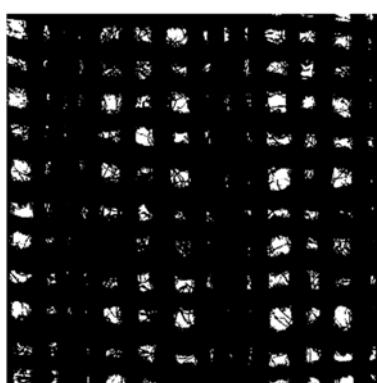
KBČ



KBČU



OBČ



OBČU



OBA



OBAU

Slika 39. Binarne slike ispitivanih uzoraka

Na temelju ovako dobivenih slika, računalno je određen postotni udio bijelih i crnih piksela, što predstavlja odnos postotnog udjela popunjenosti strukture pređom i udjela veznih razmaka (šupljina), čime je zapravo definiran porozitet tkanine. Rezultati postotnih udjela prikazani su u tablici 11.

3.2.7. Dimenzijska stabilnost

Prema normi HRN EN ISO 3759:2011 se priredi uzorak dimenzija 500 x 500 mm, koji je kondicioniran i položen u raširenom stanju bez zatezanja te se na njemu koncem označe točke mjerenja u smjeru osnove i potke - međusobno udaljene minimalno 350 mm, a od rubova najmanje 50 mm. Pripremljeni uzorak se podvrgava ispitivanju prema normi *HRN EN ISO 6330:2012 (Pranje i sušenje u kućanstvu u svrhu ispitivanja tekstila)*. Dimenzijska stabilnost tekstilnih plošnih proizvoda se nakon određenog postupka njege ocjenjuje utvrđivanjem skupljanja odnosno širenja u smjeru osnove (niza) i potke (reda) na pripremljenim uzorcima definirane veličine prema normi *HRN EN ISO 5077:2008*.

Ispitivanje se vrši u standardnim perlicama rublja (tip A, B, C), na različitim programima pranja (30-90°C). Prema preporukama za naš uzorak pranje je provedeno na temperaturi od 40°C sa standardnim deterdžentom bez fosfata u trajanju od 60 minuta. U perlicu je dodano 2 kilograma balastne tkanina radi popunjavanja bubnja i što pravilnijeg rada perilice. Nakon odrađenog programa pranja, ispitivani uzorci se suše na zraku u obješenom stanju. Postotak promjene dimenzija materijala, odnosno skupljanje/širenje izračunava se zasebno za smjer duljine i širine pomoću formule:

$$S_{d,s} = \frac{l_l - l_o}{l_o} \times 100 [\%] \quad (4)$$

gdje je:

l_o - početna duljina uzorka (širina između parova oznaka) [mm]

l_l - duljina između parova oznaka posle obrade uzorka [mm]

Negativan predznak ukazuje na skupljanje, pozitivan predznak ukazuje na širenje materijala.

3.3. Digitalna Ink Jet tehnika tiska

3.3.1. Tekstilni printer TEX PRO

Tisak uzoraka proveden je Ink Jet tehnologijom tekstilnog tiska pomoću uređaja Azona Tex Pro prikazanog na slici 40. gdje se također vidi i shema za tisak. Specifikacije uređaja prikazane su na slici 42.



Slika 40. Tekstilni printer TEX PRO

Nakon provedenog digitalnog tiska, uzorci su fiksirani vrućim zrakom kontaktnim postupkom pomoću termo preše na 110°C u vremenu 60 sekundi. Na slici 41. prikazana je termo preša u postupku fiksiranja uzoraka.



Slika 41. Fiksiranje vrućim zrakom pomoću termo preše

TEX PRO

AZON TEX PRO

Tex Pro - tekstilni inkjet printer za prekrasne otiske u boji

Bijela boja na razvijena je na vodenoj bazi kao podložna boja za kolor ispis na tamnim tkaninama. Bijeli sloj se nanosi direktno na željeno mjesto na tkanini time omogućavajući gotovo istovremeni nanos CMYK sloja. Više nema potrebe za velikim serijama kako bi ispis bio profitabilan. Azon Tex Pro omogućuje isplativost malih i srednje velikih serija, kao i tisak personaliziranih motiva ili niza varijabilnih podataka. Nakon testnog ispisa eventualne promjene ili korekcije moguće su gotovo trenutno bez ikakvih odogoda.

TEKSTILNI PRINTER S MOGUĆNOŠĆU ISPISA NA SVIJETLE I TAMNE MAJICE



Tekstilni inkjet printer s mogućnošću direktnog ispisa na majice brzinom od 50 svijetlih ili 15 tamnih majica na sat. Također može ispisivati u boji na svjetle i tamne tekstile poput ručnika, traperi, pregača, torbi i ostalih sa zadovoljavajućom upojnošću boje.

- > Ispis na sve tkanine
- > Razne veličine stola
- > Maksimalna rezolucija ispisa 1440 dpi



Model	Azon Tex Pro
Tehnologija ispisa	Ink-jet (Micro Piezo Glava)
Maksimalna dimenzija ispisa	Maksimalno 420 x 600 mm
Konfiguracija boja	C, M, Y, K + 4W
Vrsta boje	Vodena baza
Brzina ispisa	50 svijetlih ili 15 tamnih majica na sat
Rezolucija ispisa	Maksimalno 1440 dpi
Zahtjevi napajanja	AC 220 V, 59 W (u standby modu 5W)
Sučelja	USB, Mrežno
Uvjeti radne okoline	Temperatura 20 do 30 °C, vlaga 50 do 70 %
Mogući materijali	Pamuk, poliester, svila ...
Dimenzije stroja	890 mm L x 850 mm W x 525 mm H, Masa 95 kg
RIP Software	Azon RIP

dipa

Digital Partner d.o.o.

Telefon / +385 1 6260 200 E-mail / info@digitalpartner.hr

Web adresa / www.digitalpartner.hr

Slika 42. Tehnička specifikacija tekstilnog printera TEX PRO

3.3.2. Tiskarska boja

Specifikacija tiskarskih boja standardiziranih za digitalni tiskarski stroj, Azon Tex Pro, prikazana je u tablici 2., te je vidljivo da se radi o pigmentnoj tiskarskoj boji na vodenoj bazi:

Tablica 2. Specifikacija tiskarske boje

Komponente:	udio [%]
voda	55-95
alifatski alkohol	1-10
etilen glikol	1-10
poliglikol eter	1-10
polimeri	1-10
pigment	1-5

3.3.3. Vezivo

Uzorci su predobrađeni komercijalnim vezivnom *Azon Pigment Pre-treatment Solution* proizvođača Azonprinter d.o.o. Potrebno je naglasiti da je vezivo proizvedeno od strane i korišteno na preporuku proizvođača InkJet uređaja korištenog u ovom radu. Vezivo je nanoseno metodom slobodnim raspršivanjem i uklanjanjem suviška veziva valjkanjem. Specifikacija veziva na bazi vode prikazana je u tablici 3.

Tablica 3. Specifikacija veziva

Komponente:	udio [%]
voda	65-85
anorganski nitrat	10-20
akril polimer	5-15
formaldehid	<0,02

3.4. Spektrofotometrijska i mikroskopska analiza otisaka

Nakon tiska na otisnutim dijelovima provedena je analiza remisijskim spektrofotometrom DataColor® SF 600 UV+CT te mikroskopom Dino-Lite Digital Microscope Premier.

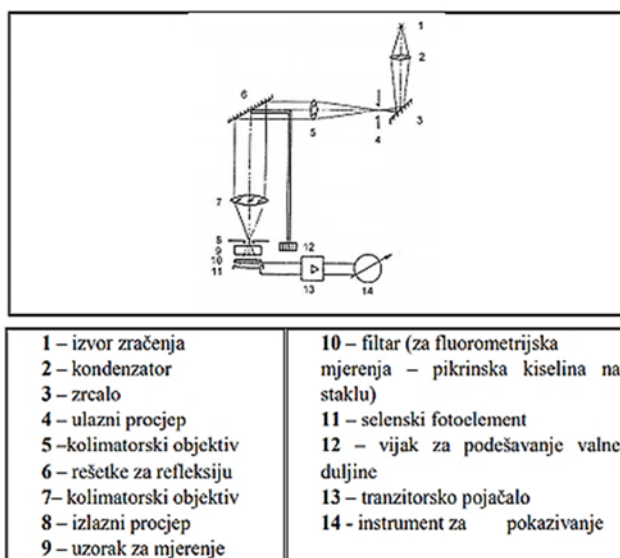
3.4.1. Spektrofotometar

Uzorci su mjereni spektrofotometrijski, remisijskim spektrofotometrom DataColor® SF 600 UV+CT (slika 43.) s konstantnim postavkama mjerenja (D65, mjerni otvor 0,5 cm, geometrija mjerenja d/8°). Navedeni remisijski spektrofotometar posjeduje slijedeće karakteristike:

- software-ski vođen,
- automatizirana zoom-leća, mjerni otvor i UV kontrola,
- višestruki mjerni otvori s automatskim raspoznavanjem promjera blende,
- mogućnost remisijskog i apsorpcijskog mjerenja boje (mjerno područje u vidljivom dijelu spektra 360 – 740 nm),
- mogućnost računalnog receptiranja,
- višestruki izvori svjetlosti.



Slika 43. Remisijski spektrofotometar, Spectraflash SF 600 PLUS-CT, Datacolor



Slika 44. Shema spektrofotometra Spectraflash SF PLUS-CT, Datacolor

Uzorci su mjereni prije i nakon tiska. Neotisnuti uzorci tkanina su mjereni u svrhu određivanja remisijских karakteristika u ovisnosti o površinsko-strukturnim različitostima. Nakon tiska te nakon provedenih 1. i 5. ciklusa pranja mjerene su karakteristike boje te su praćene promjene u obojenju nastale u procesima pranja. Rezultati remisija otisnutih podloga prikazani su na slikama 52. do 57, rezultati mjerenja karakteristika boje su prikazani u tablicama 16. do 18. te histogramima na slikama 58. i 59. Također, izračunate su i razlike u boji prema CIE76 matematičkom modelu, s obzirom na površinske karakteristike i s obzirom na vrstu predobrade u tablicama 19. do 24. te između neopranih uzoraka i uzoraka pranih nakon 1. i 5. ciklusa pranja, prikazane u tablicama 33. do 36.

3.4.2. Dino-Lite Digital Microscope Premier

Dino – Lite digitalni mikroskop (tip Premier) služi za karakterizaciju površina uzoraka u dva različita povećanja (25-50x). Dobivene slike su izvrsne kvalitete, kristalne jasnoće te visoke rezolucije. Dino-Lite mikroskop (slike 45. i 46.) radi na principu povezanosti sa računalom gdje se preko Dino-Capture softvera slike projiciraju izravno na računalo te pohranjuju na njemu.



(Izvor: <http://www.dino-lite.hr/am7915mzt-edge-2/?consent=UTIRK2YNCLRWZEB>)

Slika 45. Dino-Lite Digital Microscope Premier

Odabirom odgovarajućeg povećanja slike površine uzoraka su jasnije (veće povećanje – bolje uočavanje eventualno sitnijih nedostataka, manje povećanje – jasnija cjelokupna slika površine uzorka).



Slika 46. Mjerenje uzoraka pomoću Dino-Lite digitalnog mikroskopa

Digitalnim mikroskopom snimana je površina otisnutih materijala pri čemu su korišteno povećanje 50x. Površinskom karakterizacijom tekstilnih materijala digitalnim mikroskopom uočavaju se razlike u otisnutim površinama na različitim uzorcima. Zahvaljujući automatskom očitavanju razine povećanja, omogućeno je brzo i jednostavno obavljanje mjerenja na uzorcima. S obzirom na izvrsnu kvalitetu slike i vrhunski prikaz boja vrlo dobro su vidljivi rezultati mjerenja različitih uzoraka.

3.5. Uvjeti procesa pranja

3.5.1. Sredstva za pranje

U radu su korištena dva komercijalna deterdženta, jedan praškaste, a drugi tekuće forme bez sadržanih optičkih bjelila. Deterdženti su namjenjeni širokoj potrošnji za pranje šarenog i tamno obojenog tekstila. Omjer kupelji je bio 1:50 (OK) te je konačni volumen kupelji izračunat obzirom na masu materijala, a količina primijenjenog deterdženta prema preporuci proizvođača, preračunato na zadani volumen kupelji. Sastav korištenih komercijalnih deterdženata prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Sastav komercijalnih deterdženata

Komponente (%):	Praškasti deterdžent	Tekući deterdžent
anionske površinske aktivne tvari	5-15	5-15
neionske površinske aktivne tvari	<5	<5
fosfonati	<5	-
polikarboksilati	<5	-
zeoliti	<5	-
enzimi	<5	<5
mirisi	<5	<5

3.5.2. Uređaj za oplemenjivanje i bojadisanje - Turbomat P4502, Mathis

U svrhu ispitivanja postojanosti otisaka na pranje proveden je *Washtest* u laboratorijskom aparatu Turbomat, P 4502, Mathis (slika 47.) , prema normi HRN EN ISO 105-C06:2010: Tekstil - Ispitivanje postojanosti obojenja - Dio C06: Postojanost obojenja pri pranju u kućanstvu i komercijalnom pranju. *Washtest* (slika 48.) je proveden je na dvije temperature: 40°C i 60°C za oba navedena deterdženta. Postupak pranja otisnutih pamučnih uzoraka proveden je kroz 5 ciklusa, u vodovodnoj vodi, u trajanju 30 minuta za obje temperature.

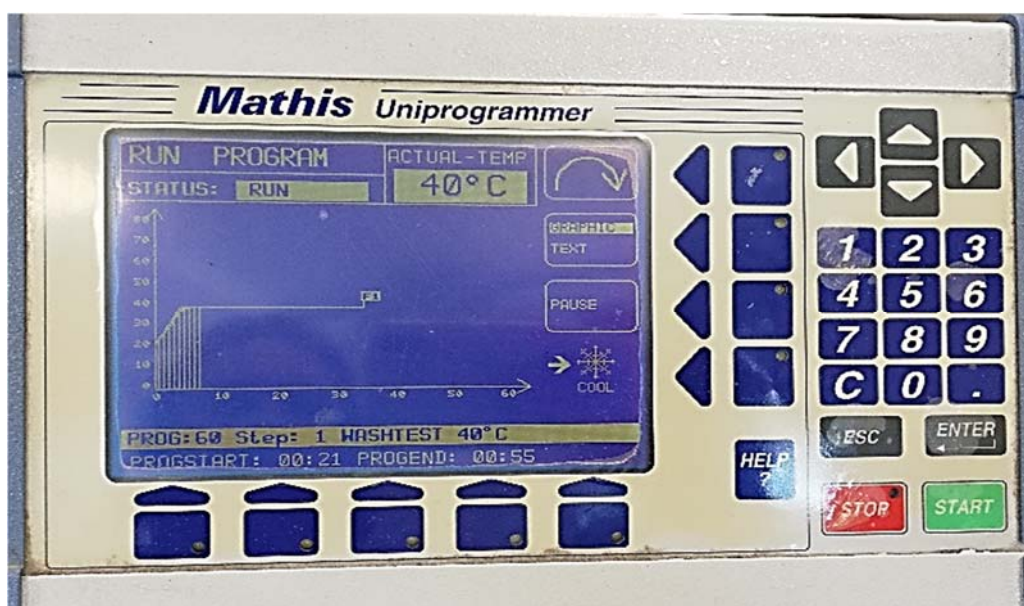


a)



b)

Slika 47. Uređaj za obradu uzoraka Turbomat, P 4502, Mathis, Švicarska: a) vanjski izgled; b) unutarnji dio



Slika 48. Dijagram pranja wash-testa na temperaturi 40°C

Nakon prvog i petog ciklusa pranja na otisnutim uzorcima je provedena analiza Dino-Lite digitalnim mikroskopom i remisijskim spektrofotometrom DataColor® SF 600 UV+CT, a rezultati su prikazani grafički slikama te tablicama s izračunatim razlikama u boji.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Kao što je već navedeno u uvodu, cilj rada bio je je ispitati i istražiti sve aspekte postojanosti i kvalitete digitalnog pigmentnog tiska u odnosu na karakteristične tekstilne podloge i uvjete uporabe i održavanja. Za ispitivanje je odabrana dva tekstilna materijala, u platno vezu 1:1 sirovinskog sastava 100% pamuk. Oba tekstilna materijala izrađena su od identične pređe, a različitost površinsko strukturnih i fizikalnih karakteristika proizlazi iz različitih gustoća i pozicioniranja pređe osnove i potke.

Na neotisnutim podlogama provedena su ispitivanja u svrhu određivanja njihovih fizikalnih svojstava, na Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila, u kondicioniranim uvjetima. Provedena su ispitivanja debljine plošnog proizvoda (tablica 7.), gustoća plošnog proizvoda (tablica 8.), plošna masa uzoraka (tablica 9.), poroznost uzoraka (tablica 10.) i dimenzijska stabilnost uzorka (tablica 12.). Također, provedeno je mjerenje pH uzoraka (tablica 6.) te je određena pokrivenosti binarnih slika (tablica 11.). Nakon što su uzorci digitalno otisnuti pigmentnom bojom i skenirani (slike 49. do 51.), provedena je spektrofotometrijska i mikroskopska analiza otisaka. Mikroskopiranje je provedeno Dino-Lite digitalni mikroskop (tip Premier) za karakterizaciju površina uzoraka (tablice 13. do 15.), a spektrofotometrijska analiza provedena je remisijskim spektrofotometrom DataColor® SF 600 UV+CT. Rezultati su prikazani brojčanim vrednovanjem boja (tablice 16. do 18.), remisijskim grafovima (slike 52. do 57.) i K/S vrijednostima (slike 58. i 59.). Plavo otisnuti uzorci su oprani u uređaju za obradu uzoraka Turbomat, P 4502, Mathis sa dva različita komercijalna deterdženta (tekući, praškasti) i na dvije različite temperature (40°C, 60°C). Nakon 1. i 5. ciklusa pranja ponovljena su spektrofotometrijska i mikroskopska mjerenja otisnutih površina i nastalih oštećenja otisaka. Skenirani uzorci uspoređeni su u tablicama 25. do 28., a mikroskopirani uzorci uspoređeni su tablicama 29. do 32. Spektrofotometrijskom analizom dobiveni su rezultati razlika u boji s obzirom na površinsko-strukturne karakteristike (tablice 33. i 34.) i vrstu predobrade (tablice 35. i 36.).

U svrhu lakšeg praćenja i označavanja rezultata u daljnjem radu, osmišljene su i u tablici 5. prikazane oznake kojima su imenovani pojedini uzorci.

Tablica 5. Imenovanje uzoraka

Redni broj:	Uzorak:	Oznaka uzorka:
PROIZVOĐAČ 1 - Čateks d.d., Čakovec (Hrvatska)		
1.	Kemijski bijeljen uzorak	KBČ
2.	Kemijski bijeljen uzorak s vezivom	KBČV
3.	Kemijski bijeljen uzorak s prugama	KBČU
4.	Kemijski bijeljen uzorak s prugama i vezivom	KBČUV
5.	Optički bijeljen uzorak	OBČ
6.	Optički bijeljen uzorak s vezivom	OBČV
7.	Optički bijeljen uzorak s prugama	OBČU
8.	Optički bijeljen uzorak s prugama s i vezivom	OBČUV
PROIZVOĐAČ 2 - Boriskomerc, Arilje (Srbija)		
9.	Optički bijeljen uzorak	OBA
10.	Optički bijeljen uzorak s vezivom	OBAV
11.	Optički bijeljen uzorak s prugama	OBAU
12.	Optički bijeljen uzorak s prugama i s vezivom	OBAUV

4.1. Ispitivanje fizikalnih svojstava uzoraka

U ovom radu, neotisnuti uzorci su kondicionirani u laboratoriju 24 h u klima-komori u skladu s HRN EN ISO 139:2008 (temperatura 20 ± 2 °C, relativna vlažnost 65 ± 4 %) kako bi bili spremna za daljnja ispitivanja. Ispitivanja fizikalnih svojstava neotisnutih uzoraka značajna su radi uske povezanosti kvalitete otiska i formiranja polimernog sloja veziva i pigmenta. Pokrivenost površine uzoraka uvelike će ovisiti o njihovoj gustoći i poroznosti. Također, jednoličnost prekrivenosti površine tiskarskom bojom je veća ukoliko je poroznost manja te su u manjem postotku prisutni vezni razmaci, što je vidljivo i analizom binarnih slika.

U tablici 6. prikazni su rezultati mjerenja pH ekstrakta uzoraka nakon što su uzorci odstajali 24 sata u destiliranoj vodi. Rezultati oba mjerenja pokazuju da se pH uzoraka nalazi u neutralno do blago kiselom području koje je karakteristično za pamuk čime se potvrđuje njegov sirovinski sastav naveden u deklaraciji proizvođača.

Tablica 6. Mjerenje pH uzoraka

	pH
1. mjerenje	6,01
2. mjerenje	5,86
$\bar{x}$	5,94

U tablicama 7. do 12. prikazani su rezultati ispitivanja fizikalnih svojstava pamučnih uzoraka: debljine, gustoće, plošne mase, poroznosti uzoraka, pokrivenosti binarnih slika, te je ispitana dimenzijska stabilnost uzoraka u uvjetima njege kako bi se ocijenila kvaliteta materijala u uvjetima uporabe.

U tablici 7. prikazani su rezultati ispitivanja debljine plošnog proizvoda gdje je kroz pet ponovljenih mjerenja (propisano normom) na različitim mjestima na uzorku, izračunata srednja vrijednost debljine za svaki ispitivani uzorak, te je utvrđeno da uzorci KBČ, OBČ i OBA imaju veću debljinu od uzoraka s prugama: KBČU, OBČU, OBAU.

Mjerenje stvarne gustoće uzoraka koja je definirana brojem niti osnove i potke po jedinici dužine, dobivena je brojanjem niti osnove i potke na veličini epruvete 50 mm x 50 mm (određene orijentacijskom gustoćom), rezultati kojih su prikazani u tablici 8. Temeljem dobivenih rezultata može se zaključiti da uzorci KBČU, OBČU i OBAU imaju veće vrijednosti stvarne gustoće niti osnove i potke od uzoraka KBČ, OBČ i OBA, uvjetovane prugama dobivenih u procesu snovanja, i koje su većih gustoća niti sa svrhom postizanja estetskog prugastog izgleda.

Za razliku od gustoće uzoraka (tablica 9.), mjerenje plošnih masa možemo povezati s debljinom jer rezultati pokazuju da su uzorci bez uzorka pruga (KBČ, OBČ i OBA) većih plošnih masa od uzoraka s prugama (KBČU, OBČU i OBAU). Najveću plošnu masu ima uzorak i s najvećom debljinom OBA, a najmanju plošnu masu ima uzorak OBČU.

Poroznost uzoraka (tablica 10.) predstavlja volumni udio šupljina u plošnom proizvodu, te se rezultati kod svih uzoraka nalaze u vrlo bliskom rasponu kreću se od 76,69% (KBČU) do 82,27% (OBA). S obzirom da je poroznost uzoraka bitan podatak za digitalni tisak, uzorci su prikazani kao binarne slike (slika 39.), iz kojih se dobivaju podatci (tablica 11.) vezani uz postotni udio veznih točaka i veznih razmaka po uzorku. Iz rezultata se vidi da je najveća pokrivenost vlaknastom strukturom dobivena za uzorak OBAU, dok je najveći udio šupljina dobiven za uzorak OBČV. Potrebno je naglasiti da je procjena poroznosti putem binarnih slika u potpunosti različita metoda od izračuna poroznosti (formula 2 i 3) te rezultati međusobno nisu kompatibilni. Analizom binarnih slika dobiva se podatak o fizičkoj pokrivenosti vlaknastom strukturom dok se izračun poroznosti odnosi na propusnost zraka.

Dimenzijska stabilnost ispitivana je u svrhu utvrđivanja promjena dimenzija uzoraka u uvjetima njege, a rezultati su prikazani u tablici 12. Negativni predznak (-) rezultata ukazuje da je na

materijalu tijekom pranja i sušenja došlo do skupljanja. Vidljivo je da najveće skupljanje ima uzorak OBAU, a najmanje uzorak KBČU. Radi skupljanja većih od 2% od izuzetne važnosti je na deklaraciji konačnog proizvoda navesti ispravno održavanje proizvoda radi stabilnosti dimenzija.

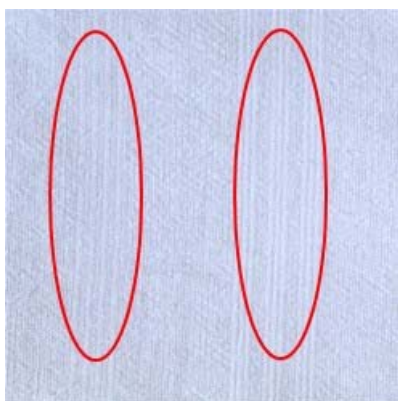
Tablica 7. Debljina plošnog proizvoda, d [mm]

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	d_4 [mm]	d_5 [mm]	$\bar{d}$ [mm]
KBČ	0,41	0,41	0,41	0,40	0,41	0,408
KBČU	0,34	0,35	0,34	0,34	0,35	0,344
OBČ	0,38	0,39	0,39	0,40	0,39	0,390
OBČU	0,37	0,35	0,35	0,34	0,34	0,350
OBA	0,51	0,51	0,51	0,52	0,51	0,512
OBAU	0,40	0,40	0,41	0,40	0,41	0,404

Tablica 8. Gustoća plošnog proizvoda

	OSNOVA					POTKA				
	1.	2.	3.	$\bar{x} / 5 \text{ cm}$	$\bar{x} / \text{cm}$	1.	2.	3.	$\bar{x} / 5 \text{ cm}$	$\bar{x} / \text{cm}$
KBČ	80	80	80	80	16	74	75	75	75	15
KBČU	112	102	99	104	21	95	95	94	95	19
OBČ	80	81	80	80	16	73	72	72	72	14
OBČU	110	104	96	103	21	92	92	94	93	19
OBA	74	75	75	75	15	60	60	60	60	12
OBAU	109	95	85	97	19	99	98	98	98	20

Napomena:



Zbog karakterističnog utkanog uzorka pruga koje se ponavljaju u rasponu širem od 5 cm, te varijabilne gustoće osnove, kod prikazanog tekstilnog materijala, mjerenje gustoće provedeno je na način da su pripremane 3 epruvete u nizu koji obuhvaća cjeloviti raport uzorka te se dobiva povećan raspon gustoće osnove.

Tablica 9. Plošna masa uzoraka, m_A [g/m²]

	m_{A1} [g]	m_{A2} [g]	$\bar{m}$ [g]	$\bar{m}_A$ [g/m ²]
KBČ	1,2993	1,3140	1,3067	130,67
KBČU	1,2522	1,2158	1,2340	123,40
OBČ	1,2523	1,2575	1,2549	125,49
OBČU	1,1920	1,2130	1,2025	120,25
OBA	1,3909	1,4052	1,3981	139,81
OBAU	1,2030	1,2105	1,2068	120,68

Tablica 10. Poroznost uzoraka

	ρ_{Rx} [g/cm ³]	V_{px} [%]
KBČ	0,320	79,22
KBČU	0,359	76,69
OBČ	0,322	79,09
OBČU	0,344	77,66
OBA	0,273	82,27
OBAU	0,299	80,58

ρ_{Rx} [g/cm³]- gustoća uzoraka izražena u [g/cm³]; V_{px} [%]- poroznost uzoraka izražena u [%]; ρ_v (pamuk) = 1,54

Tablica 11. Rezultati pokrivenosti binarnih slika

	<i>Vezni razmak</i> [%]	<i>Vezne točke</i> [%]
KBČ	4,7	95,3
KBČU	6,1	93,9
OBČ	4,8	95,2
OBČU	6,9	93,1
OBA	4,5	95,5
OBAU	3,0	97,0

Tablica 12. Dimenzijska stabilnost uzoraka

	S_d [%]	S_s [%]
KBČ	-4,0	-6,0
KBČU	-1,4	-5,2
OBČ	-2,3	-6,0
OBČU	-3,5	-5,4
OBA	-2,0	-4,9
OBAU	-4,6	-7,2

S_d [%]- skupljanje uzorka po duljini nakon pranja iskazano u %; S_s [%]- skupljanje uzorka po širini nakon pranja iskazano u %

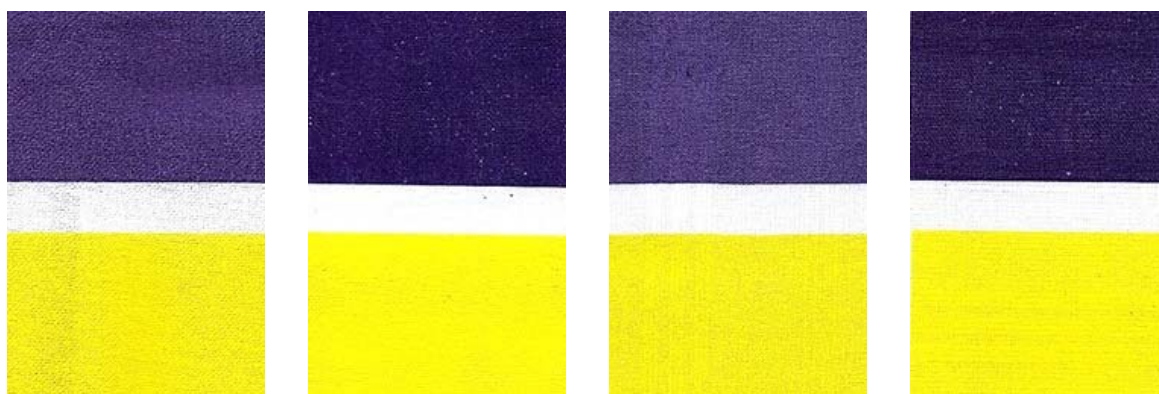
4.2. Digitalni tisak uzoraka

Na slikama 49. do 51. prikazani su skenirani digitalno otisnuti uzorci s plavom i žutom tiskarskom bojom. Na slici 49. su prikazani otisnuti uzorci na kemijski bijeljenim podlogama, bez uzorka pruga pod a) i b), s uzorkom pruga pod c) i d) te su a) i c) prije tiska neobrađeni, dok su b) i d) uzorci predobrađeni komercijalnim vezivnom *Azon Pigment Pre-treatment Solution* proizvođača Azonprinter d.o.o. Vezivo je nanešeno na uzorke u ravnomjerno raspoređenoj količini radi bolje apsorpcije, fiksiranja pigmenta te dobivanja zadovoljavajuće briljantnosti tonova. Stoga je uz minimalnu količinu veziva već sadržanu u samoj tiskarskoj boji, na sam materijal prije tiskanja, dodatno nanešena dodatna količina veziva.

Na slikama 50. i 51. su prikazani otisnuti uzorci na optički bijeljenim podlogama, bez uzorka pruga pod a) i b), s uzorkom pruga pod c) i d) te su a) i c) prije tiska neobrađeni, dok su b) i d) uzorci predobrađeni komercijalnim vezivnom *Azon Pigment Pre-treatment Solution* proizvođača Azonprinter d.o.o.

Vizualnom analizom skeniranih slika vidljivo je kako svi predobrađeni uzorci imaju veću briljantnost boja. Istaknutija razlika vidi se između plavih otisaka, između neobrađenih i predobrađenih čija je briljantnost puno veća. S obzirom da pigmentna tiskarska boja ulazi duboko u strukturu uzoraka takva razlika je očekivana. Manja razlika vidi se u tonovima žutih otisaka jer je žuta boja sama po sebi visoko briljanta radi svoje visoke svjetline te se vizualna razlika slabo vidi.

Kemijski bijeljeni uzorci (slika 49.) imaju dublje, tamnije obojenje otisaka od optički bijeljenih uzoraka (slike 50. i 51.) zato što se optičko bjelilo ponaša kao pigment koji je djelomično popunio slobodna mjesta u strukturi uzoraka te je pigment iz tiskarske boje imao manje slobodnih veznih mjesta unutar strukture. Po skeniranim slikama možemo zaključiti da je na svim uzorcima površina jednolično prekrivena tiskarskom bojom te nema vidljivih nakupljanja boje, tj aglomeracije boje.



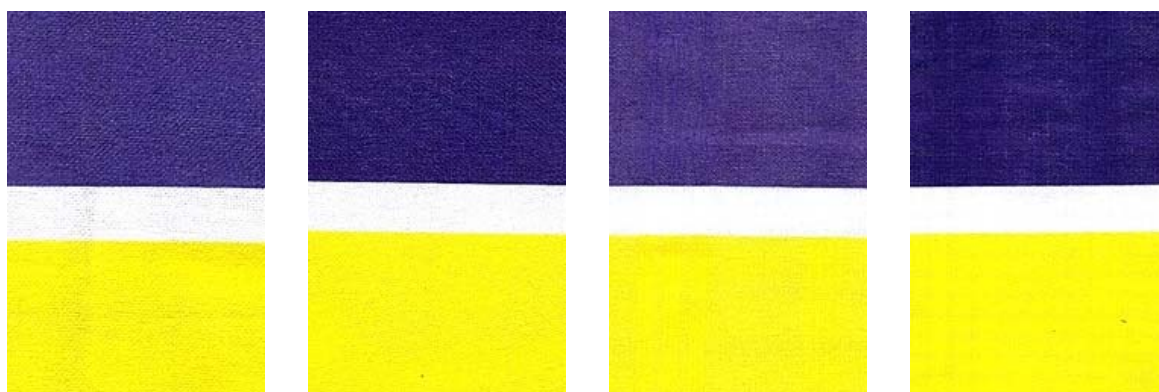
a)

b)

c)

d)

Slika 49. Prikaz otisaka na kemijski bijeljenim uzorcima (a – uzorak bez pruga, bez veziva (KBČ);
b – uzorak bez pruga obrađen vezivom (KBČV); c – s prugama, bez veziva (KBČU);
d – s prugama, s vezivom (KBČUV))



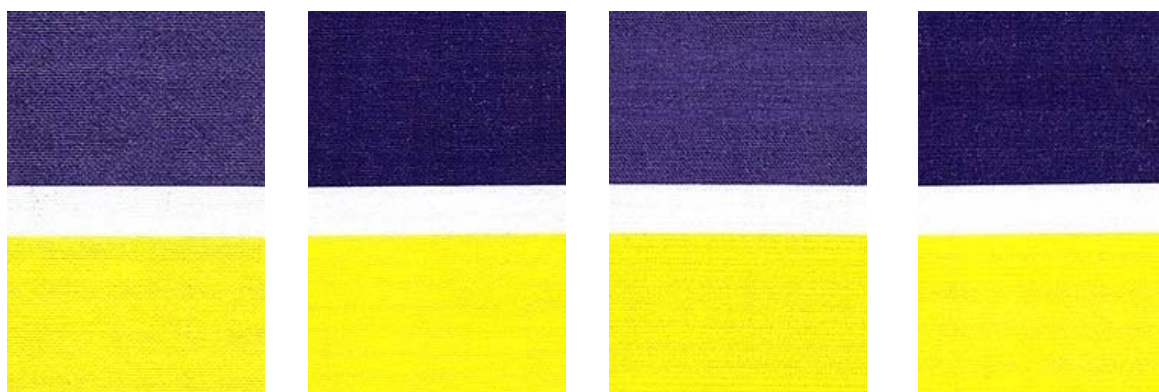
a)

b)

c)

d)

Slika 50. Prikaz otisaka na optički bijeljenim uzorcima (a – uzorak bez pruga, bez veziva (OBČ);
b – uzorak bez pruga obrađen vezivom (OBČV); c – s prugama, bez veziva (OBČU);
d – s prugama, s vezivom (OBČUV))



a)

b)

c)

d)

Slika 51. Prikaz otisaka na optički bijeljenim uzorcima (a – uzorak bez pruga, bez veziva (OBA);
b – uzorak bez pruga obrađen vezivom (OBAV); c – s prugama, bez veziva (OBAU);
d – s prugama, s vezivom (OBAUV))

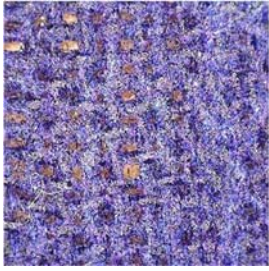
4.3. Analiza otisaka - prije pranja

U svrhu detaljnije analize strukture uzoraka i njenog utjecaja na ponašanje otiska u životnom procesu konačnog proizvoda, provedeno je snimanje mikroskopom Dino-Lite Digital Microscope Premier te su slike uz povećanje 50x prikazane u tablicama 13. do 15. U ovoj fazi istraživanja pratio se otisak u plavoj i žutoj boji, dok je u završnoj fazi rada i ispitivanju postojanosti i izdržljivosti otiska u različitim uvjetima pranja, provedena analiza samo na plavim otiscima. Naime, karakteristika boje definirana odnosom svjetline i zasićenosti, utječe direktno na količinu pigmenta koji se mora vezati za tekstilnu površinu. Što je boja koja se otiskuje svjetlija i/ili manje zasićena, količina pigmenta koji se ispušta iz pisaće glave digitalnog tiskarskog stroja, je manja. Količina pigmenta utječe na fizikalna svojstva polimernog filma koji se formira na površini tekstilnog materijala posredstvom nanešenog veziva. U tablici 13. prikazane su površinske strukture otisnutih tekstilnih uzoraka snimljene digitalnim mikroskopom Dino-Lite, koje pokazuju karakteristike površina bijele podloge te otisaka plave i žute boje na kemijski bijeljenim uzorcima (*Čateks d.d., Čakovec*). Uzorci a) i c) su neobrađeni, a uzorci b) i d) su predobrađeni vezivom prije tiska. Na obrađenim uzorcima, nakon tiska, vidi se stuktura popunjenija pigmentom, nego na neobrađenima. Vizualnom metodom možemo zaključiti kako su kod uzoraka obrađenih vezivom (b) i d)), plavi pigmenti zadržani na površini i imaju veću briljantnost od neobrađenih a) i c) kod kojih je vidljivo da je plavi pigment utonuo duboko u strukturu te je samim time boja zagasitija. Žuta boja je sama po sebi visoko briljantna zbog svoje svjetline te se između tih uzoraka ne mogu vidjeti značajnije razlike.

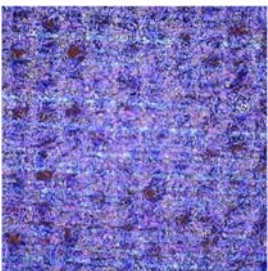
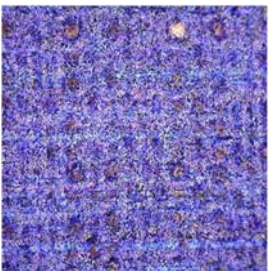
U tablici 14. prikazane su površinske strukture otisnutih tekstilnih uzoraka snimljene digitalnim mikroskopom Dino-Lite, koje pokazuju karakteristike površina bijele podloge te otisaka plave i žute boje na optički bijeljenim uzorcima (*Čateks d.d., Čakovec*), a u tablici 15. su optički bijeljeni uzorci (*Boriskomerc, Arilje*). Mikroskopirani uzorci potvrđuju da plavo otisnuti uzorci čije je podloga optički bijeljena imaju svijetlije obojenje otisaka od uzoraka na kemijski bijeljenim podlogama jer se optičko bjelilo ponaša kao pigment koji je djelomično popunio slobodna mjesta u strukturi uzoraka. U obje tablice (14. i 15.) vidljivo je da uzorci na koje je nanešena predobrada vezivom (OBČV, OBČUV, OBAV, OBAUV) imaju popunjeniju površinsku strukturu od uzoraka koji nisu predobrađeni (OBČ, OBČU, OBA, OBAU) što je uočljivije kod plavih otisaka. Kod uzoraka s prugama (OBČU, OBAU) najveći je gubitak

pigmenta jer uzorci imaju najveći porozitet te nije dobivena zadovoljavajuća dubina tona. Na žutim otiscima (tablica 14. i 15.) vizualno se razlike teško uočavaju čak i na mikroskopskim snimkama zbog karakteristika žute boje koje daju visoka zasićenja na visokim svjetlinama te je žuta boja vizualno stimulativna da praktički nema razlika bez obzira na karakteristike neotisnute podloge.

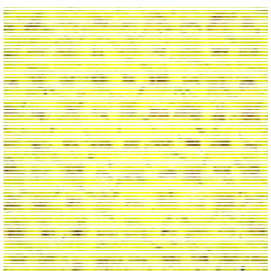
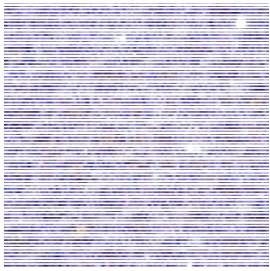
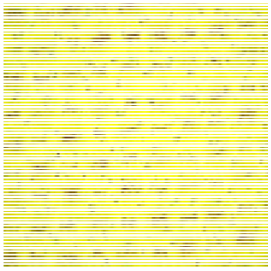
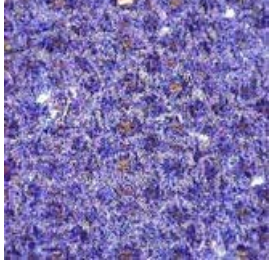
Tablica 13. Mikroskopski snimljeni kemijski bijeljeni uzorci
(Čateks d.d., Čakovec) nakon tiska

	Bijela podloga	Plava boja	Žuta boja
a) KBČ			
b) KBČV			
c) KBČU			
d) KBČUV			

Tablica 14. Mikroskopski snimljeni optički bijeljeni uzorci
(Čateks d.d., Čakovec) nakon tiska

	Bijela podloga	Plava boja	Žuta boja
a) OBČ			
b) OBČV			
c) OBČU			
d) OBČUV			

Tablica 15. Mikroskopski snimljeni optički bijeljeni uzorci
(*Boriskomerc, Arilje*) nakon tiska

	Bijela podloga	Plava boja	Žuta boja
a) OBA			
b) OBAV			
c) OBAU			
d) OBAUV			

Mjerenje spektralnih karakteristika provedeno je remisijskim spektrofotometrom Spectraflash SF 600 PLUS-CT, tvrtke Datacolor. U tablicama 16. do 18. prikazane su vrijednosti parametara boje: svjetline (L^*), zasićenosti (C^*), tona (h) za bijelu neotisnutu podlogu te plavu i žutu otisnutu boju. Kod vrijednosti parametara bijele podloge vidljivo je da je svjetlina u rasponu bez značajnijih odstupanja, dok se kod vrijednosti zasićenosti uočavaju niže vrijednosti kemijski obojenih uzoraka (KBČ, KBČV, KBČU, KBČUV) naspram optički bijeljenih uzoraka što se može objasniti prisutnošću pigmenta optičkog bjelila što vrijedi i za vrijednosti tona (h).

Tablica 16. Vrijednosti parametara (L^* , C^* , h) za bijelu podlogu

	L^*	C^*	h
KBČ	90,26	1,88	55,06
KBČV	89,98	1,79	49,03
KBČU	90,87	2,38	72,92
KBČUV	89,97	2,35	67,47
OBČ	91,47	11,07	293,38
OBČV	91,20	10,37	293,28
OBČU	90,82	11,35	291,69
OBČUV	89,13	8,07	300,46
OBA	90,17	11,96	289,97
OBAV	89,54	11,09	287,80
OBAU	92,03	13,52	287,45
OBAUV	92,04	13,10	285,02

Tablica 17. Vrijednosti parametara (L^* , C^* , h) za plavu boju

	L^*	C^*	h
KBČ	36,09	14,44	292,13
KBČV	25,90	16,64	297,02
KBČU	37,11	14,91	291,51
KBČUV	25,01	17,11	299,36
OBČ	37,45	20,44	289,19
OBČV	27,36	23,05	294,48
OBČU	37,52	22,66	293,26
OBČUV	26,67	24,35	293,89
OBA	35,92	21,67	291,65
OBAV	26,84	21,23	292,80
OBAU	37,10	23,27	291,97
OBAUV	24,70	21,68	297,51

Parametri plave boje su većih svjetlina (L^*) za sve uzorke bez veziva (KBČ, KBČU, OBČ, OBA, OBAU) iz čega se zaključuje, kao i kod vizualne analize, da je došlo do dubokog prodiranja pigmenta u strukturu uzoraka te su samim time svjetline veće, dok je kod uzoraka s predobradom veziva (KBČV, KBČUV, OBČV, OBAV, OBAUV) pigment zadržan površinski te su svjetline manje. Vrijednosti zasićenosti (C^*) su dobivene veće za uzorke s vezivom u

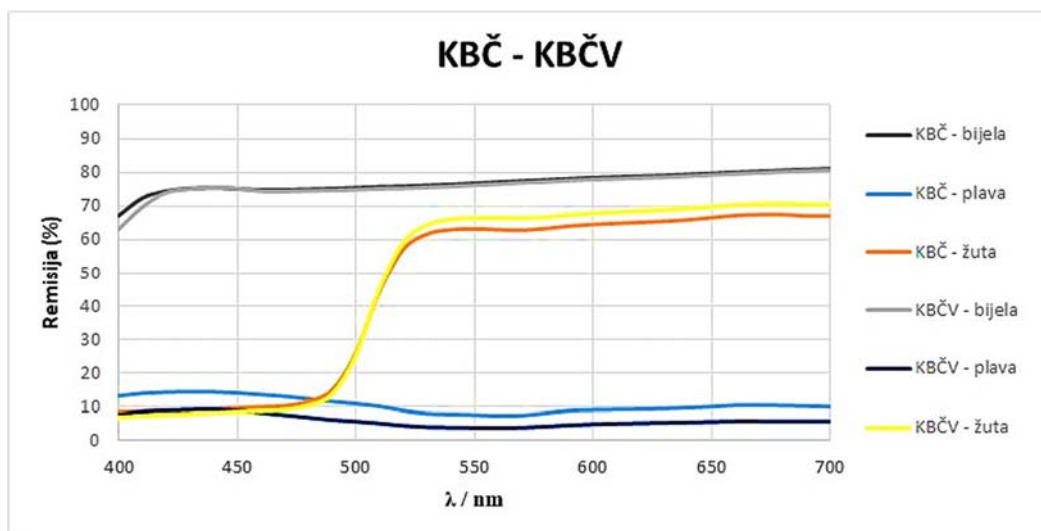
odnosu na uzorke bez predobrade što potvrđuje zaključak o prodiranju u strukturu i zadržavanju pigmenta na površini uzorka. Nema značajnijih promjena tona (h) čime se potvrđuje konzistentnost otiska u smislu spektralne karakteristike same boje.

Tablica 18. . Vrijednosti parametara (L*,C*,h) za žutu boju

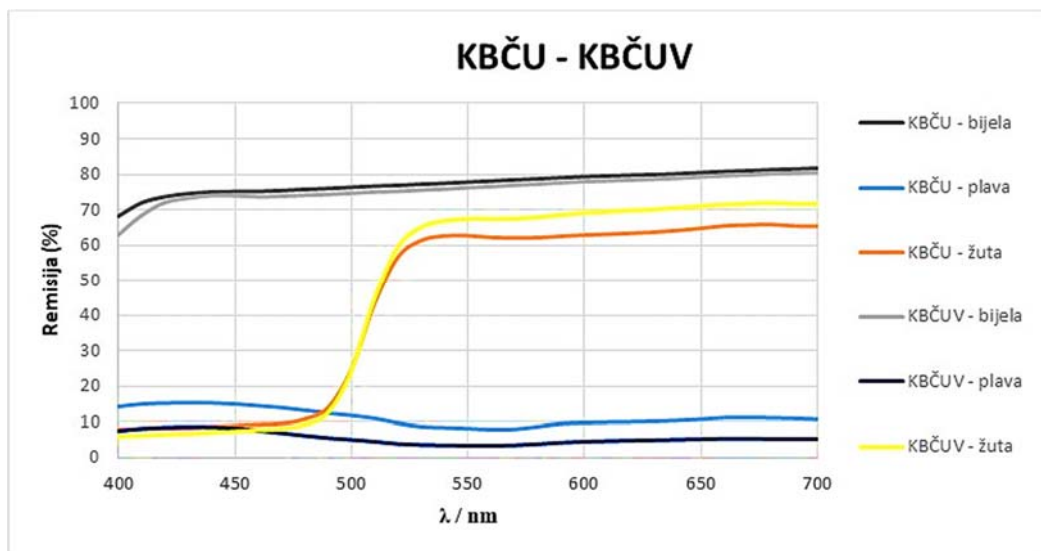
	L*	C*	h
KBČ	78,83	67,70	92,29
KBČV	80,30	74,00	91,93
KBČU	78,44	69,11	92,84
KBČUV	80,57	77,39	91,64
OBČ	79,75	68,92	93,18
OBČV	80,93	68,28	92,29
OBČU	76,13	63,33	93,27
OBČUV	80,47	73,37	91,23
OBA	79,95	56,24	92,68
OBAV	80,91	63,78	91,99
OBAU	80,10	62,63	92,93
OBAUV	81,06	67,16	91,82

Promjene vrijednosti parametara za žutu boju su s manjim rasponima. Tako su vrijednosti svjetline (L*) neznatnih razlika između uzoraka bez veziva nižih svjetlina i uzoraka s vezivom viših svjetlina. Malo veće razlike uočavaju se kod parametra zasićenosti (C*) kod kojih su uzorci također nižih vrijednosti uzorci bez veziva (KBČ, KBČU, OBČ, OBČU, OBA, OBAU). Najmanje razlike vrijednosti parametara su između uzoraka OBČ i OBČV za žutu boju.

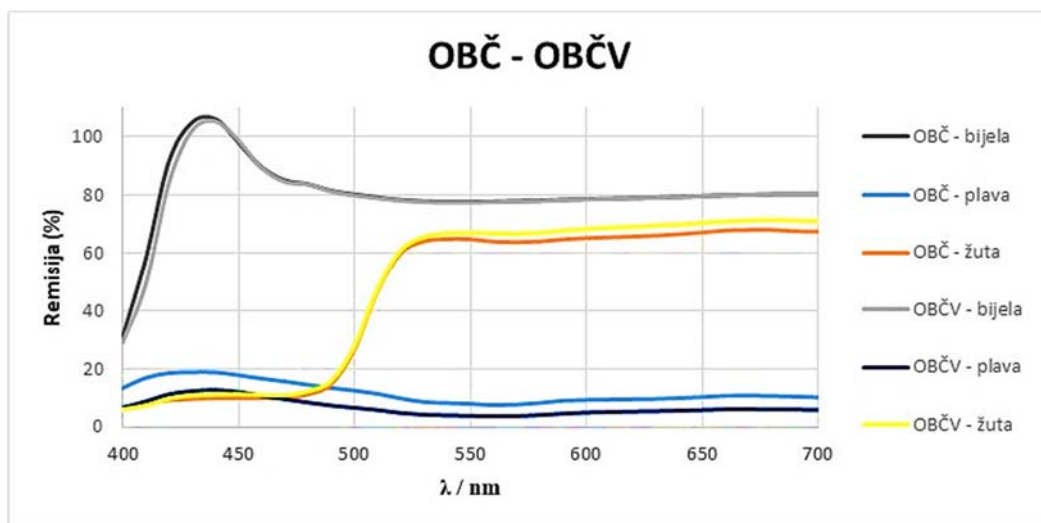
Na remisijskim grafovima (slike 52. do 57.) uspoređene su remisijske krivulje uzoraka istih početnih podloga s razlikom u predobradi. Remisijske krivulje proizlaze iz utjecaja površinske strukture odnosno iz promjena u odnosu refleksije, apsorpcije i raspršenja upadnog svjetla. Na slikama 54. do 57., na remisijskim krivuljama optički bijeljenih neotisnutih podloga, vide se pikovi karakteristični za optičko bjelilo koji se nalaze u plavom dijelu spektra ($R > 100\%$ „bjelje od bijelog“). Na svih šest grafova razlike u remisijama (%) obzirom na predobradu, izraženi su za plave otiske u odnosu na žute. Zaključuje se da predobrada vezivom više utječe na ukupnu remisiju plavih nego žutih tonova. Rezultati objektivnog vrednovanja plave boje potvrđuju subjektivnu ocjenu na izgledu skeniranih i mikroskopiranih uzoraka. To se može objasniti prirodom same boje što je usko povezano s vrijednošću dubine obojenja, a time i s količinom pigmenta potrebnom za postizanje određene dubine i karakteristike boje. Naime, kao što je već rečeno, žuta svojim specifičnim odnosom svjetline i zasićenosti koji rezultira visokim intenzitetom, zahtjeva manju količinu pigmenta, te zbog visoke briljantnosti nije izražen utjecaj podloge.



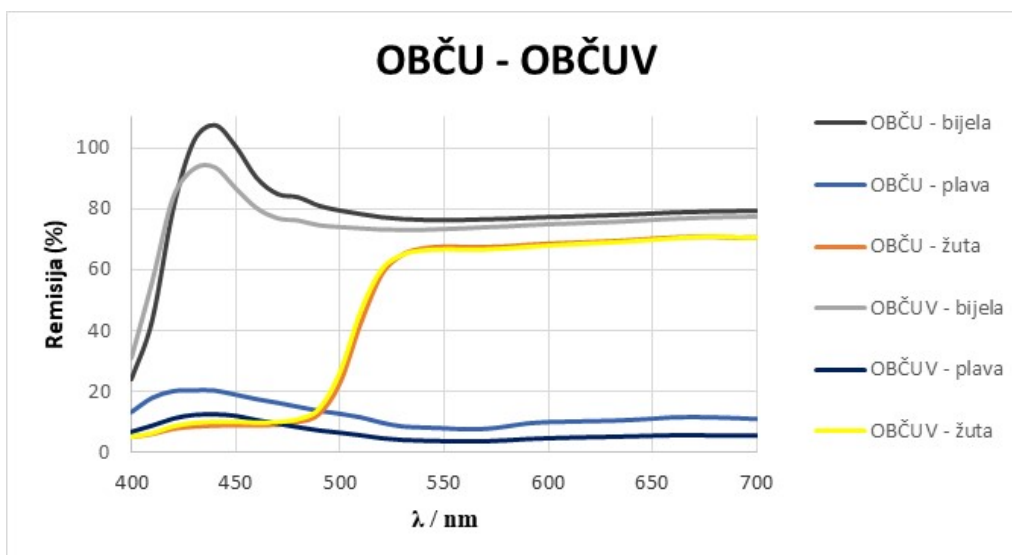
Slika 52. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka KBČ i KBČV



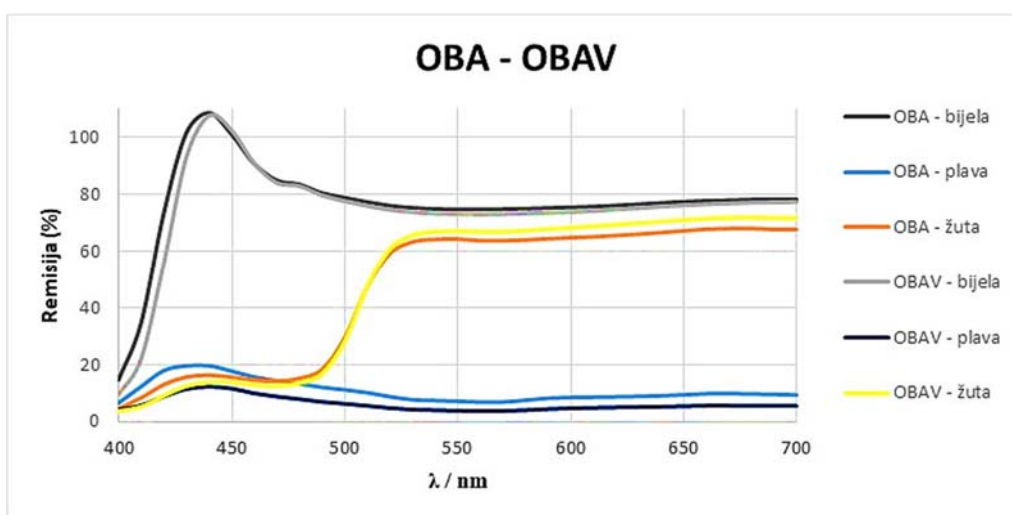
Slika 53. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka KBČU i KBČUV



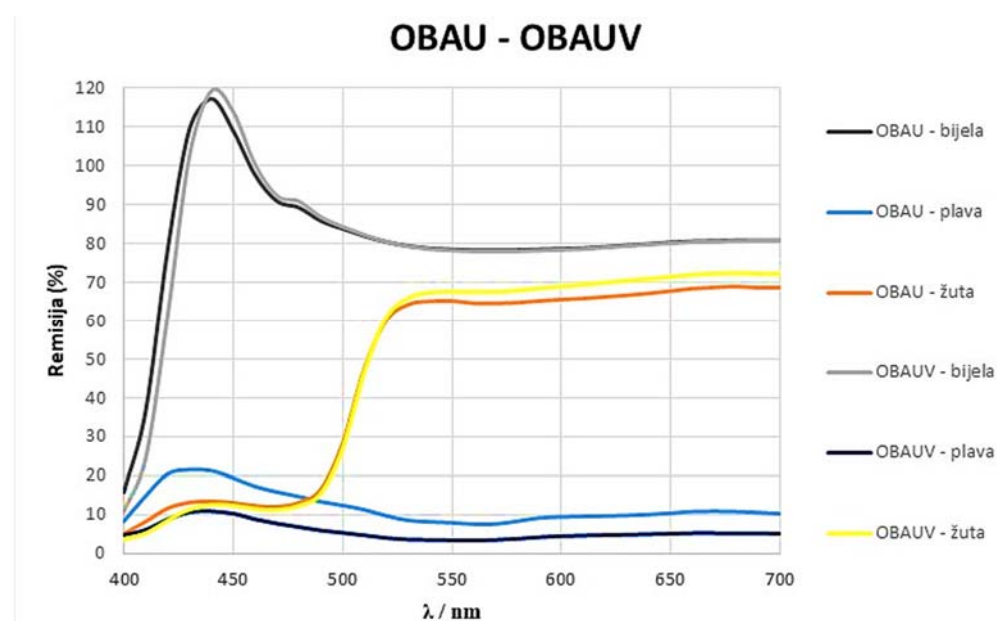
Slika 54. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka OBČ i OBČV



Slika 55. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka OBČU i OBČUV

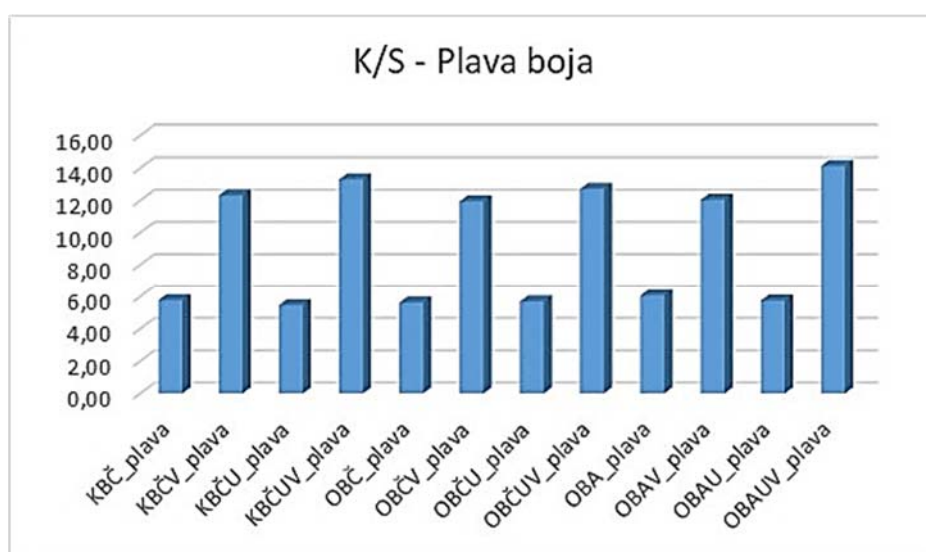


Slika 56. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka OBA i OBAV

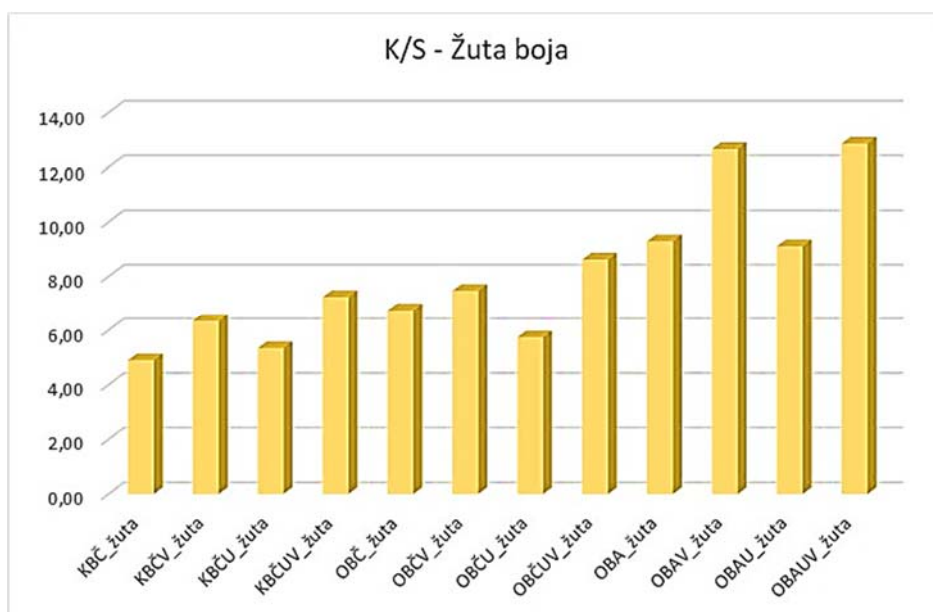


Slika 57. Remisijski dijagram usporedbe uzoraka OBAU i OBAUV

K/S je mjera za dubinu obojenja koja direktno proizlazi iz količine prekrivenosti uzoraka. Na slikama 58. i 59. prikazani su histogrami za plavu i žutu digitalno otisnutu boju. K/S za plavu boju se razlikuje u većem rasponu od K/S za žutu boju, između uzoraka bez veziva (KBČ, KBČU, OBČ, OBA, OBAU) koji imaju niži K/S od uzoraka koji su predobrađeni vezivom (KBČV, KBČUV, OBČV, OBAV, OBAUV). K/S za žutu boju, prikazan na grafu 8., prikazuje da su dubine obojenja za sve uzorke usporedno i ovisno o predobradi veće za uzorke s nanešenim vezivom. Najveće razlike u dubinu obojenja su između uzoraka OBA i OBAV te OBAU i OBAUV. Usporedbom uzoraka obzirom na njihovu strukturu i fizikalna svojstva, ne uočavaju se značajne razlike u vrijednosti dubine obojenja K/S.



Slika 58. K/S histogram za plavu boju



Slika 59. K/S histogram za žutu boju

Nakon provedene analize pojedinačnih vrijednosti kolorističkih i spektralnih parametara za neotisnutu podlogu i boje (plavu i žutu), u daljnjem radu, pristupilo se izračunu razlika u boji. Razlike u boji izračunate su pomoću matematičke jednadžbe CIE76. Granica tolerancije razlike u boji (dE) definirana je: $dE < 1$ – razlike su unutar granica tolerancije, a $dE > 2,1$ – razlike su vizualno primjetljive (izvan granica tolerancije).

Prikaz razlika u boji (tablice 19. do 24.) s obzirom na površinsko-strukturne karakteristike i vrstu predobrade, za otisnute uzorke prije pranja:

a) Usporedba s obzirom na površinske karakteristike (tablice 19. do 21.)

U tablici 19. koja prikazuje razlike u boji na neotisnutoj bijeloj podlozi, malo izvan granica tolerancije su razlike između optički bijeljenih uzoraka OBČV i OBČUV (Čateks d.d.) te OBA i OBAU, OBAV i OBAUV (Boriskomerc, Arilje).

Tablica 20. prikazuje razlike u boji na otisnutoj plavoj boji gdje se uočavaju najveće razlike u boji između optički bijeljenih uzoraka OBČ i OBČU ($dE = 11,61$) te OBČV i OBČUV ($dE = 10,18$). Te razlike su i vizualno vidljive što je dokazano matematičkim izračunom. Razlog ovakvog skoka vrijednosti ukupne razlike u boji sigurno leži i u specifičnosti konstrukcije uzorka iz čega proizlazi specifična strukturiranost površine. U tisku dolazi do potpuno drugačije raspodjele pigmenta na različito strukturiranim uzorcima te, za razliku od neotisnutih uzoraka, utjecaj površinske strukture dolazi jače do izražaja. Razlike se uočavaju i vizualno, uzorak OBČU karakteriziraju specifične utkane pruge koje su dobivene u procesu tkanja te je na tim mjestima obojenje vizualno svjetlije i manje zasićeno. Ovakav rezultat odlično ilustrira važnost površinske strukture u procesima digitalnog tiska te se utjecaj površinske strukture smatra fundamentalnim mehanizmom koji definira kvalitetu otiska. Važno je napomenuti da, bez obzira na njenu važnost, uloga površinske strukture tekstilnog materijala tek je nedavno prepoznata kao jedan od temeljnih čimbenika kvalitete otiska te postizanja optimalnog gamuta boja.

U tablici 21. su prikazane razlike u boji dobivene usporedbom uzoraka otisnutih žutim pigmentom. Ističu se razlike između uzoraka OBČV i OBČUV, OBA i OBAU, za koje je dobivena vrijednost ukupne razlike u boji (dE) izvan granica tolerancije. Naglašena razlika dobivena je između uzoraka OBČA i OBAU ($dE = 6,40$) te se može zaključiti

da kod navedena dva uzorka razlike između površinskih karakteristika najviše utječu na pojavu razlika u boji.

Tablica 19. Razlike u boji na neotisnutoj bijeloj podlozi

<i>NEOTISNUTA - BIJELA PODLOGA</i>					
Kemijski bijeljani (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU_{uzorak}	0,48	0,50	0,66	0,95
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV_{uzorak}	-0,01	0,56	0,66	0,86
Optički bijeljani (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU_{uzorak}	-0,65	0,28	-0,33	0,78
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV_{uzorak}	-2,07	-2,29	1,15	3,29
Optički bijeljani (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU_{uzorak}	1,86	1,56	-0,56	2,49
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	2,50	2,00	-0,59	3,26

Tablica 20. Razlike u boji na otisnutoj plavoj boji

<i>OTISNUTA - PLAVA BOJA</i>					
Kemijski bijeljani (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU_{uzorak}	1,02	0,47	-0,16	1,13
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV_{uzorak}	-0,88	0,48	0,69	1,22
Optički bijeljani (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU_{uzorak}	-10,77	3,91	1,83	11,61
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV_{uzorak}	10,16	-0,39	-0,48	10,18
Optički bijeljani (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU_{uzorak}	1,18	1,61	0,13	2,00
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	-2,14	0,44	1,77	2,81

Tablica 21. Razlike u boji na otisnutoj žutoj boji

<i>OTISNUTA - ŽUTA BOJA</i>					
Kemijски bijeljени (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU_{uzorak}	-0,39	1,41	0,65	1,60
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV_{uzorak}	0,27	3,39	-0,38	3,42
Optički bijeljени (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU_{uzorak}	0,81	1,25	-1,26	1,95
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV_{uzorak}	-0,45	5,09	-1,31	5,27
Optički bijeljени (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU_{uzorak}	0,36	6,39	0,26	6,40
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	0,15	3,38	-0,19	3,39

b) Usporedba s obzirom na vrstu predobrade (tablice 22. do 24.)

Rezultati razlika u boji obzirom na vrstu predobrade prikazani su u tablicama 22. do 24. U tablici 22., kod razlika u boji na neotisnutoj bijeloj podlozi granicu tolerancije prelaze uzorci OBČU i OBČUV što ukazuje na veći utjecaj veziva nego kod ostalih uzoraka.

Tablica 23. prikazuje razlike u boji uzoraka tiskanih plavim pigmentom, gdje svi uzorci imaju velika odstupanja od tolerancije, a najveće odstupanje je između uzoraka OBAU i OBAUV te iznosi dE= 12, 69, a najmanje je između OBA i OBAV koje iznosi dE= 9,10. Može se zaključiti kako kod plave boje vrsta predobrade uvelike utječe na razlike u boji što se može povezati i sa vrijednostima parametrima plave boje, ali i sa specifičnim utjecajem površinske strukture na formiranje polimernog filma.

U tablici 24. su razlike u boji za uzorke tiskane žutim pigmentom, a obzirom na vrstu predobrade te su svi uzorci izuzev OBČU i OBČUV (dE= 1,71) izvan granica tolerancije. To ukazuje na stupanj intervencije u površinskoj strukturi koja se događa nanosom veziva. Pogrešno je podrazumijevati da će nanos veziva u prekriti površinu u smislu da na svakoj podlozi stviti jednakomjerni sloj. Obzirom da se radi o nanostupanjskim emulzijama veziva, formira se vrlo tanak sloj za koji se ne može predvidjeti način raspodjele i pokrivanja površine.

Sveukupno gledano veće razlike u boji imaju uzorci s obzirom na vrstu predobrade od razlika u boji s obzirom na površinske karakteristike iz čega se zaključuje da vrsta predobrade više utječe na razlike u boji.

Tablica 22. Razlike u boji na neotisnutoj bijeloj podlozi

<i>NEOTISNUTA - BIJELA PODLOGA</i>					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCV_{uzorak}	-0,28	-0,09	-0,19	0,35
	KBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCUV_{uzorak}	-0,77	-0,03	-0,22	0,80
	OBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBCV_{uzorak}	-0,27	-0,70	-0,02	0,75
	OBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBCUV_{uzorak}	-1,69	-3,27	1,46	3,96
	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV_{uzorak}	-0,63	-0,87	-0,44	1,16
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arlje)	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	0,01	-0,42	-0,56	0,70

Tablica 23. Razlike u boji na otisnutoj plavoj boji

<i>OTISNUTA - PLAVA BOJA</i>					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCV_{uzorak}	-10,19	2,19	1,32	10,51
	KBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCUV_{uzorak}	-12,09	2,20	2,19	12,49
	OBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBCV_{uzorak}	-10,09	2,62	2,00	10,61
	OBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBCUV_{uzorak}	10,84	-1,69	-0,26	10,98
	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV_{uzorak}	-9,08	-0,43	0,43	9,10
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arlje)	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	-12,40	-1,60	2,17	12,69

Tablica 24. Razlike u boji na otisnutoj žutoj boji

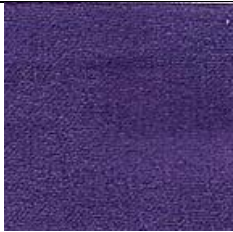
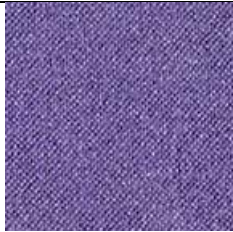
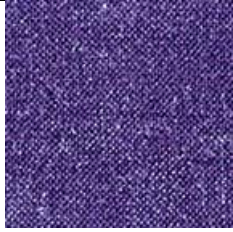
<i>OTISNUTA - ŽUTA BOJA</i>					
Kemijски bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČV_{uzorak}	1,47	6,30	-0,45	6,48
	KBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV_{uzorak}	2,13	8,28	-1,52	8,68
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČV_{uzorak}	1,17	-0,64	-1,07	1,71
	OBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV_{uzorak}	-0,09	3,20	-1,14	3,39
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV_{uzorak}	1,17	7,54	-0,72	7,66
	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_{uzorak}	0,95	4,53	-1,25	4,79

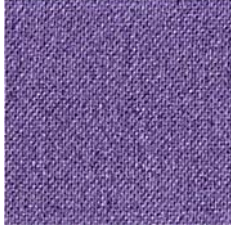
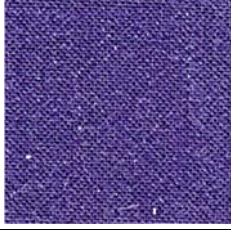
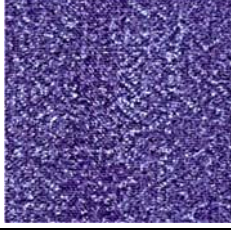
4.4. Analiza otisaka - poslije pranja

Problematika loma digitalnih otisaka na tekstilnim materijalima veže se uz uvjete uporabe i njege proizvoda. Stoga se nakon analize otisnutih uzoraka tkanina pristupilo pranju plavo otisnutih uzoraka s 2 različita deterdženta (tekući i praškasti) na temperaturama 40°C i 60°C. Mjerenja su provedena nakon prvog i petog ciklusa pranja jer se nakon prvog pranja nekog proizvoda vide najveće promjene boje i loma otiska ukoliko do njih dođe. Skenirani uzorci nalaze se u tablicama 25.-28.

U tablici 25. nalaze se skenirani prikazi uzoraka prije pranja, nakon 1. ciklusa pranja te nakon 5. ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 40°C. Vizualnom analizom može se zaključiti da kod svih uzoraka nakon prvog ciklusa pranja dolazi do vidljive promjene tona plave boje, bez lomova otiska što je očekivano jer je tekući deterdžent (bez optičkog bjelila) s pranjem na 40°C ujedino preporuka za njegu digitalno otisnutih proizvoda. Uočava se promjena svjetline tona nakon 5. ciklusa pranja, koja nastaje zbog oštećenja polimernog sloja kao nosača pigmenta odnosno obojenja, naglašenije kod uzoraka koji su predobrađeni vezivom. Izraženije promjene dobivene su za uzorke OBČV i OBAUV za koje je karakteristična naglašenija promjena između 1. i 5. pranja, dok kod ostalih uzoraka dolazi do značajnijih promjena u 1. pranju, ali ne i nakon 5. pranja.

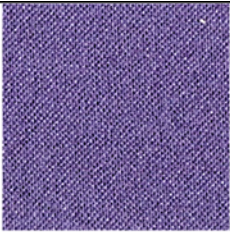
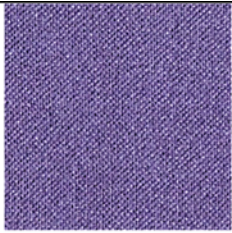
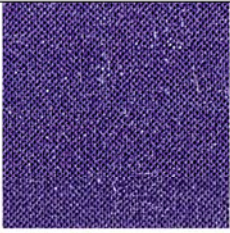
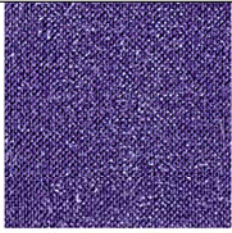
Tablica 25. Skenirani uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 40°C

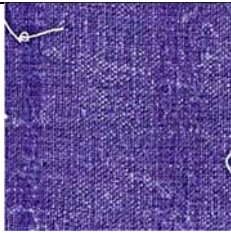
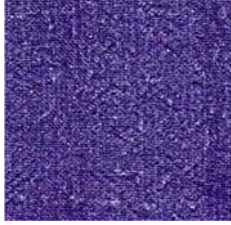
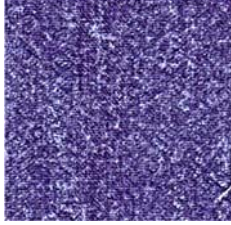
Tekući deterdžent, 40°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			

OBČU			
OBČUV			
OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

Tablica 26. prikazuje uzorke prije pranja, nakon 1. ciklusa pranja i nakon 5. ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 60°C. Dobivene značajnije promjene nakon 5. ciklusa pranja su očekivane jer temperatura 60°C nije primjerena za njegu digitalno otisnutog tekstila te se ne može postići optimalna izdržljivost polimernog filma na toj temperaturi. Uočava se vidljivija promjena tona, naglašenije kod uzoraka s vezivom. Najvidljivije promjene između 1. i 5. ciklusa pranja su kod uzoraka OBAV i OBAUV. Do promjena nakon pranja dolazi zbog vidljivih oštećenja i lomova koji nastaju na polimernom filmu.

Tablica 26. Skenirani uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 60°C

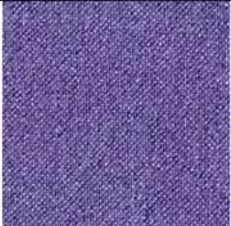
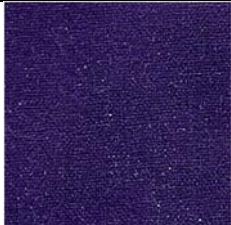
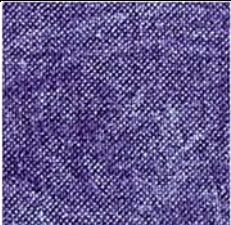
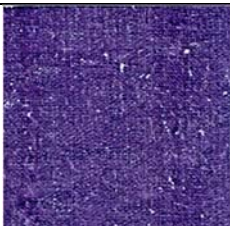
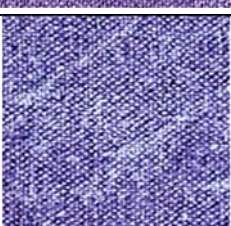
Tekući deterdžent, 60°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			

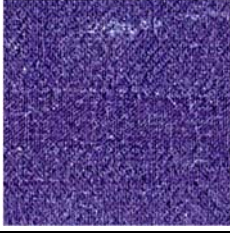
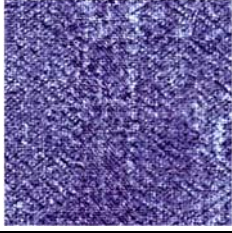
OBČUV			
OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

U tablici 27. prikazane su skenirane slike uzoraka prije pranja, nakon 1. ciklusa pranja te nakon 5 ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 40°C. Potrebno je naglasiti da praškasti deterdžent nije preporučljiv za primjenu u njezi digitalno tiskanog tekstila, no zbog stjecanja uvida što se događa u realnim uvjetima kada je proizvod kod krajnjeg korisnika, proveden je i ovaj dio istraživanja. Vidi se da se kod uporabe praškastog deterdženta, iako je temperatura 40°C apsolutno primjerena za njegu digitalno tiskanog tekstila, već nakon prvog pranja dolazi do znatnog oštećenja pigmentnog nanosa i to, očekivano, kod uzoraka predovrađenih vezivom. Kod svih uzoraka s vezivom (KBČV, KBČUV, OBČV, OBČUV, OBAV, OBAUV) još veća oštećenja su nastala nakon 5. ciklusa pranja. Naime kod tih uzoraka vezivo, odnosno polimerni sloj kojeg formira vezivo, zadržava pigment na površini te je tako izloženiji i osjetljiviji na abrazivna djelovanja praškastih sredstava za pranje. Kod uzoraka tiskanih bez prethodne

obrade vezivom, dolazi do jačeg prodora tiskarske boje u strukturu tekstilnog materijala, odnosno same pređe te, iako je obojenje manje briljantno i niže dubine, pokazalo se da je postojanost u procesima pranja optimalna.

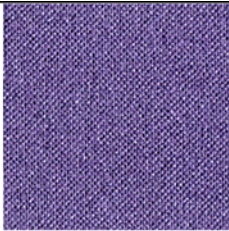
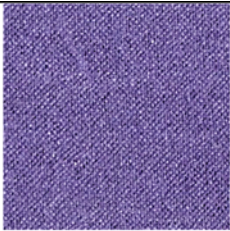
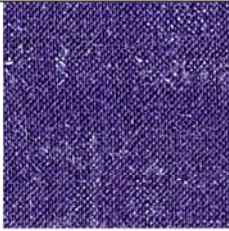
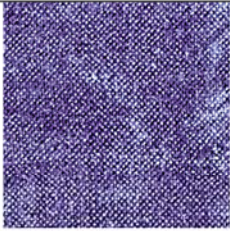
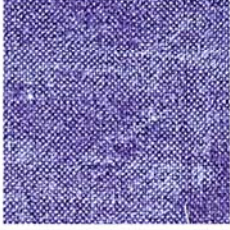
Tablica 27. Skenirani uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 40°C

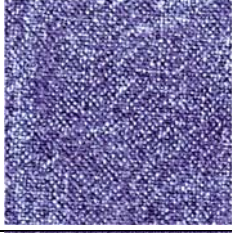
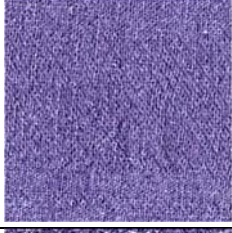
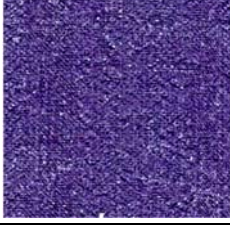
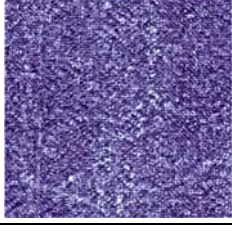
Praškasti deterdžent, 40°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			

OBČU			
OBČUV			
OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

Tablica 28. prikazuje uzorke prije pranja, nakon 1. ciklusa pranja i nakon 5. ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 60°C. Uočava se isti učinak kao i kod uzoraka pranih praškastim deterdžentom na 40°C, s tim da su oštećenja još izraženija. Najveće razlike između 1. i 5. ciklusa pranja vidljive su kod uzoraka KBČUV i OBČV, dok je kod uzorka OBČUV najizraženije oštećenje već nakon 1. ciklusa pranja.

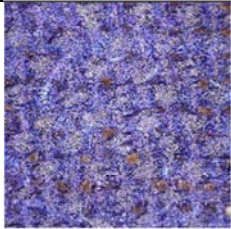
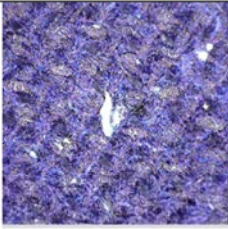
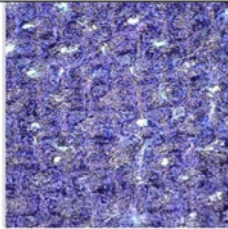
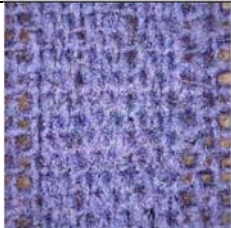
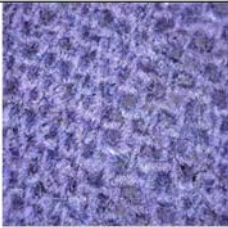
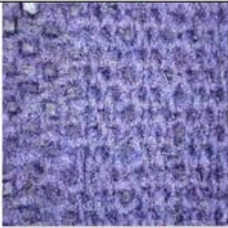
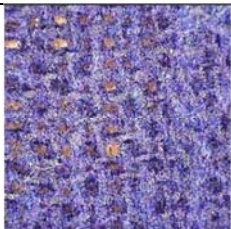
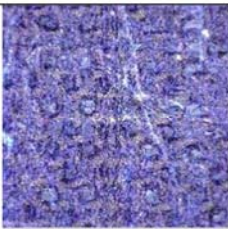
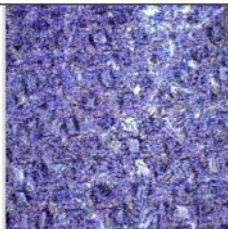
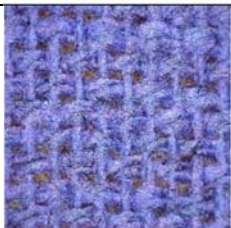
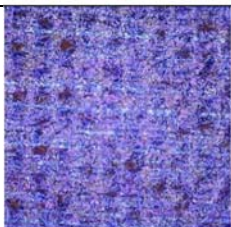
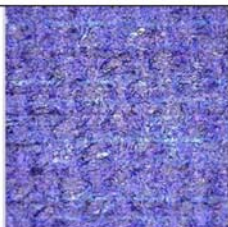
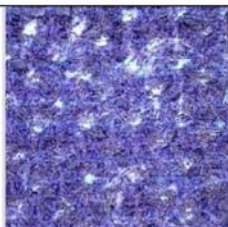
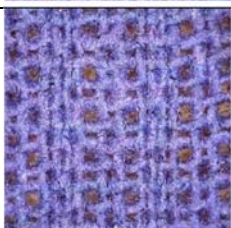
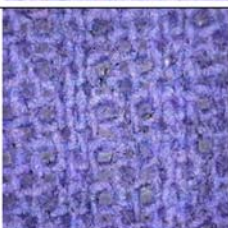
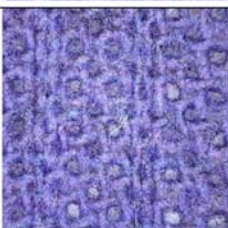
Tablica 28. Skenirani uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 60°C

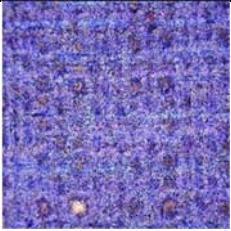
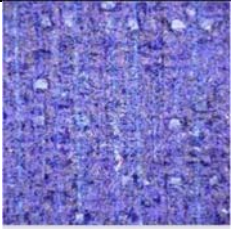
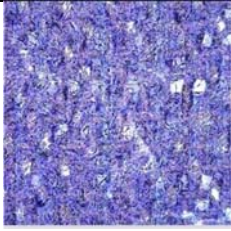
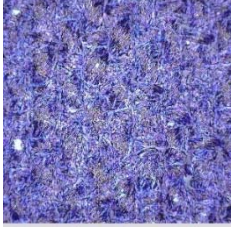
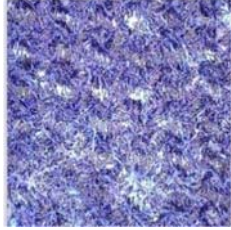
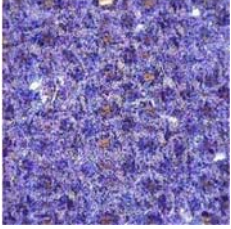
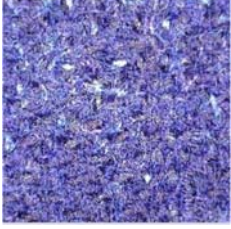
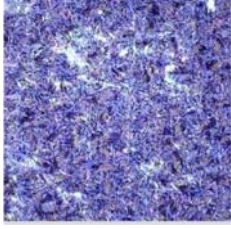
Praškasti deterdžent, 60°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			

OBČUV			
OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

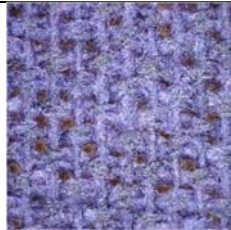
U daljnjoj analizi uzoraka nakon pranja provedeno je mikroskopsko snimanje površine uzoraka, digitalnim mikroskopom DinoLite, također prije pranja te nakon 1. i 5. ciklusa pranja. Mikroskopske snimke potvrđuju dobivene učinke koji se mogu već i vizualno utvrditi temeljem skeniranih površina uzoraka, ali one još preciznije prikazuju stupanj oštećenja (loma) i skidanja polimernog sloja u uvjetima pranja. Mikroskopske snimke prikzane su u tablicama 29. do 32.

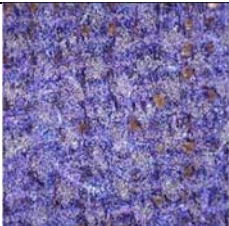
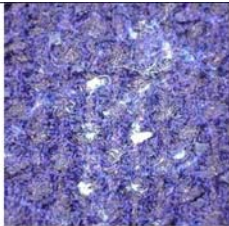
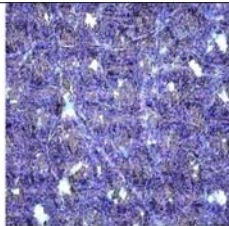
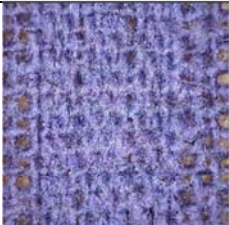
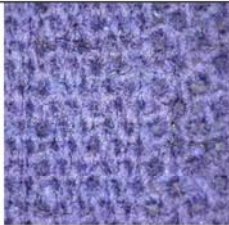
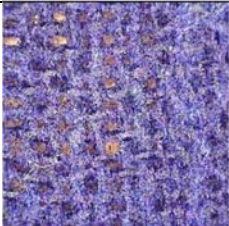
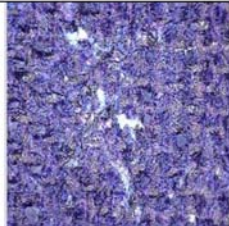
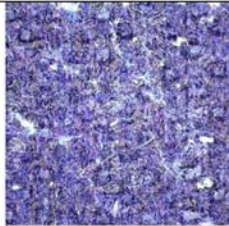
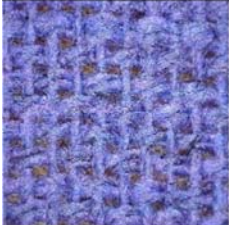
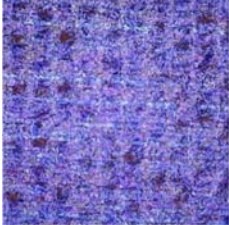
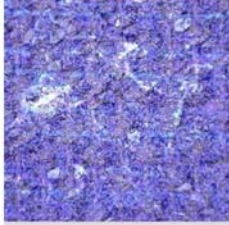
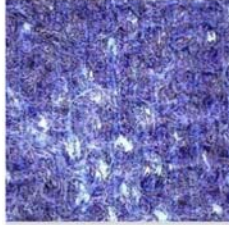
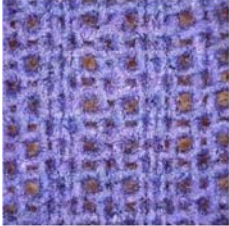
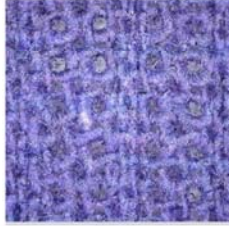
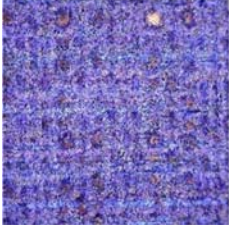
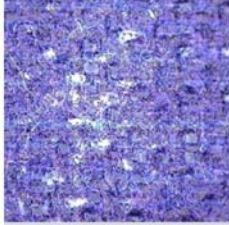
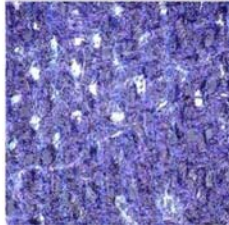
Tablica 29. Mikroskopski snimljeni uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 40°C

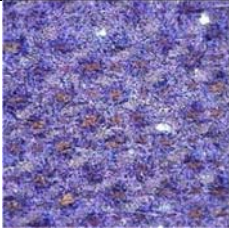
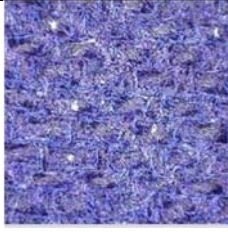
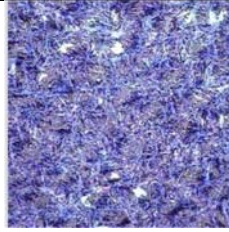
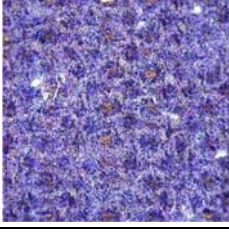
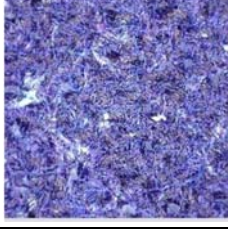
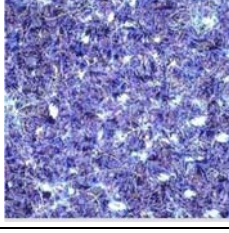
Tekući deterdžent, 40°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			

OBČUV			
OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

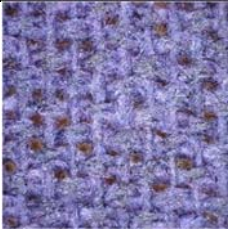
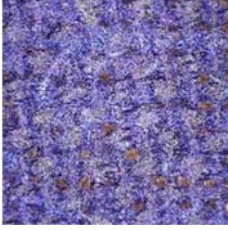
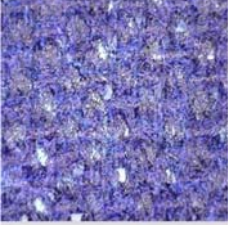
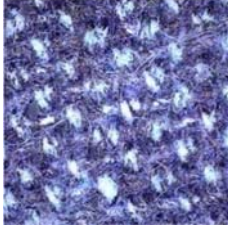
Tablica 30. Mikroskopski snimljeni uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 60°C

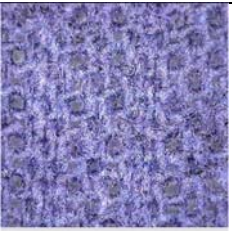
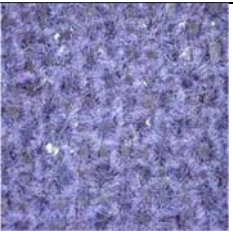
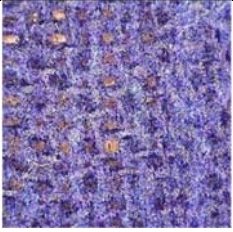
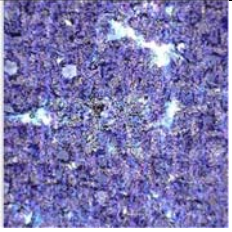
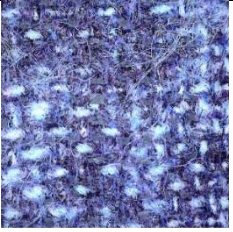
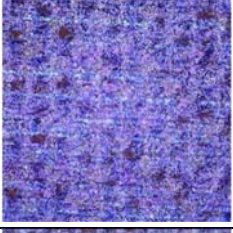
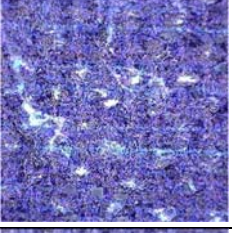
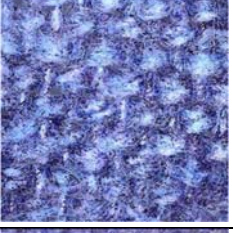
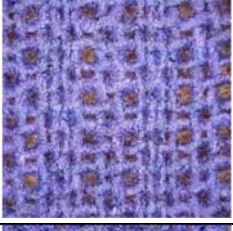
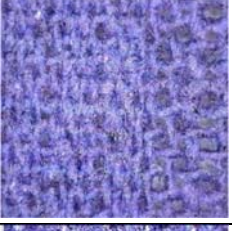
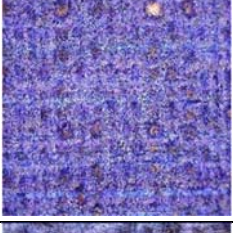
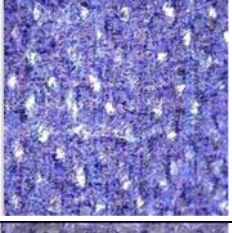
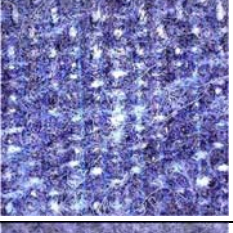
Tekući deterdžent, 60°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			

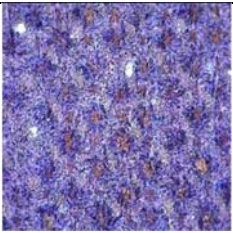
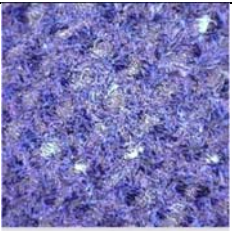
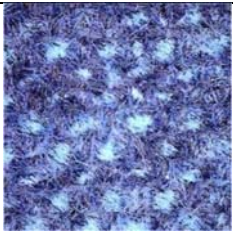
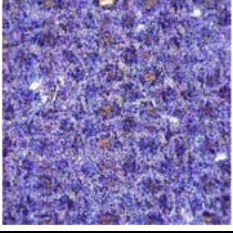
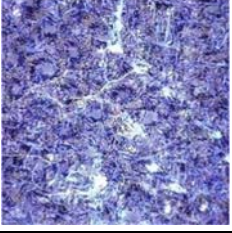
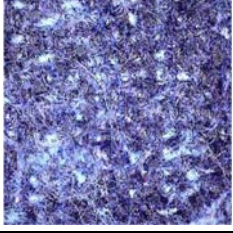
KBČV			
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			
OBČUV			

OBA			
OBAV			
OBAU			
OBAUV			

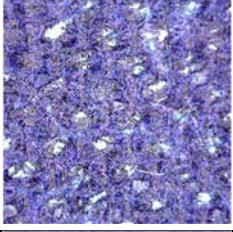
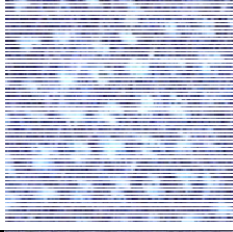
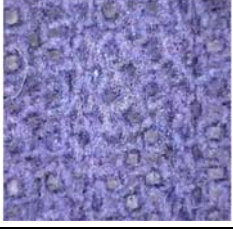
Tablica 31. Mikroskopski snimljeni uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 40°C

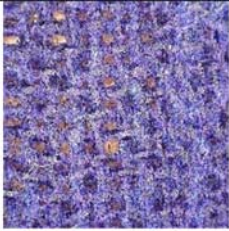
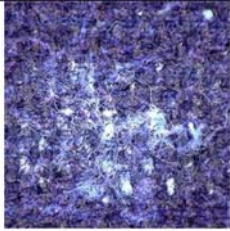
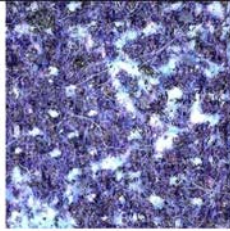
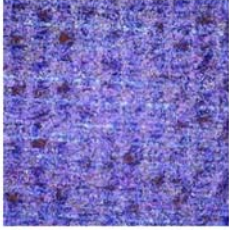
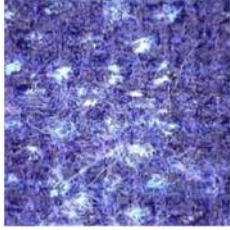
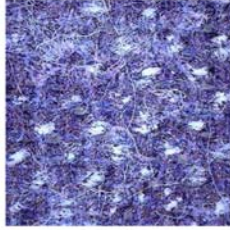
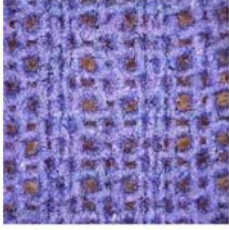
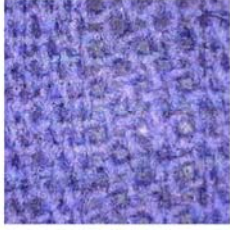
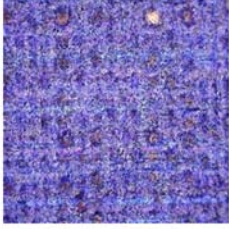
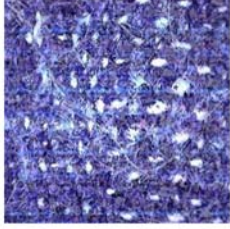
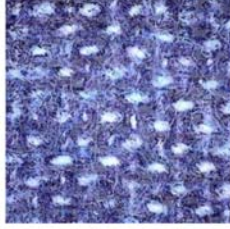
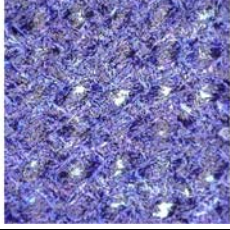
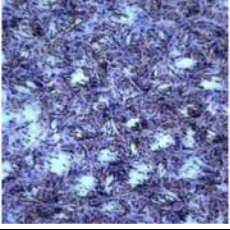
Praškasti deterdžent, 40°C			
	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			

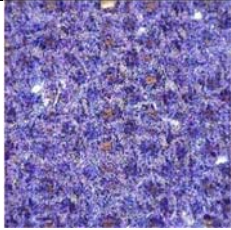
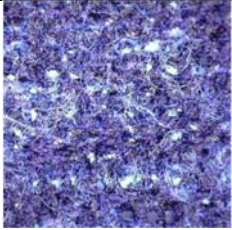
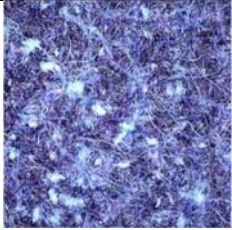
KBČU			
KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			
OBČUV			
OBA			

OBAV			
OBAU			
OBAUV			

Tablica 32. Mikroskopski snimljeni uzorci prije pranja, nakon 1.ciklusa pranja i nakon 5.ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 60°C

Praškasti deterdžent, 60°C			
Uzorak:	Prije pranja	1. ciklus pranja	5. ciklus pranja
KBČ			
KBČV			
KBČU			

KBČUV			
OBČ			
OBČV			
OBČU			
OBČUV			
OBA			
OBAV			

OBAU			
OBAUV			

Razlike u boji koje se već i vizualno mogu utvrditi na temelju slikovnog prikaza i prikaza mikroskopskih snimaka površine uzoraka, objektivno su potvrđene izračunom preciznih brojčanih vrijednosti razlika u boji, koje su definirane prema CIE76 matematičkom sustavu. Rezultati su prikazani u tablicama 33. do 36. Razlike u boji prikazane su obzirom na neoprani uzorak (standard), a unutar iste površinske strukture i iste vrste pedobrade. Mjeren je uvijek isti uzorak prije pranja, zatim nakon 1. pranja te nakon 5. pranja. Rezultati nakon 1. i 5. pranja uspoređeni su s rezultatima neopranog uzorka.

U tablici 33. prikazane su razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 40 °C (preporuka za pranje digitalno otisnutih materijala). Kod otisaka na kemijski bijeljenim podlogama do odstupanja nakon 1. i 5. ciklusa dolazi samo kod uzorak s vezivom (KBČUV), dok kod otisaka na optički bijeljenim podlogama svi rezultati su izvan granica tolerancije s naglaskom da su veća odstupanja kod uzoraka s predobradom gdje je nanešeno vezivo.

Iako se kod uzoraka opranih na 60°C (tablica 34.), temeljem vizualne procjene očekivao porast vrijednosti razlika u boji zbog vidljivijih oštećenja i promjena boje, vrijednosti objektivne procjene razlika za uzorke oprane na 60°C ne razlikuju se značajno od onih dobivenih za uzorke prane na 40 °C tekućim deterdžentom. Uočava se također, da se nešto veće vrijednosti razlika u boji dobivaju kod materijala s prugastim uzorkom. Naime utkani prugasti uzorak formira nešto izraženiju površinsku strukturu, te zbog toga dolazi do nepravilnijeg rasprostiranja i slabije povezanosti tekstilnog materijala i pigmentnog nanosa.

Tablica 33. Razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 40 °C

TEKUĆI DETERDŽENT, 40°C					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČ 1	-0,84	-0,19	0,20	0,88
	KBČ 5	0,63	-0,77	-0,10	1,00
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČV 1	1,45	-0,61	0	1,58
	KBČV 5	4,43	-1,51	-1,07	4,80
	KBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU 1	-1,03	-0,51	0,48	1,24
	KBČU 5	-0,39	-1,36	0,35	1,46
	KBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV 1	3,31	-1,05	-1,04	3,63
	KBČUV 5	4,81	-1,67	-1,34	5,27
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČ 1	-1,99	-3,10	2,76	4,61
	OBČ 5	-0,24	-3,77	2,47	4,52
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČV 1	1,84	1,11	-0,28	2,17
	OBČV 5	8,22	-0,81	-1,91	8,48
	OBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU 1	-8,19	0,45	0,22	8,20
	OBČU 5	-7,64	0,03	0,09	7,64
	OBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV 1	10,20	-2,09	-0,06	10,42
	OBČUV 5	10,78	-3,01	-0,14	11,19
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBA 1	-0,02	-1,70	1,36	2,18
	OBA 5	1,58	-2,92	1,06	3,49
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV 1	2,66	0,11	-0,05	2,66
	OBAV 5	6,15	-0,69	-0,96	6,26
	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU 1	-1,66	-1,73	-0,27	2,41
	OBAU 5	0,77	-2,96	-0,68	3,13
	OBAUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV 1	3,78	-0,09	-1,6	4,11
	OBAUV 5	7,56	-1,08	-2,35	7,99

Tablica 34. Razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja tekućim deterdžentom na 60 °C

TEKUĆI DETERDŽENT, 60°C					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBC₁	-0,92	-0,41	0,13	1,02
	KBC₅	0,98	-1,31	-0,16	1,64
	KBCV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCV₁	1,22	-0,40	0,01	1,29
	KBCV₅	4,36	-1,70	-0,97	4,78
	KBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCU₁	-0,90	-0,75	0,26	1,20
	KBCU₅	0,26	-0,99	-0,02	1,02
	KBCUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBCUV₁	3,06	-1,24	-0,72	3,38
	KBCUV₅	6,47	-2,71	-1,24	7,12
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBC_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBC₁	-1,65	-3,76	2,37	4,74
	OBC₅	1,95	-5,94	1,77	6,50
	OBCV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBCV₁	1,60	1,08	-0,26	1,94
	OBCV₅	3,51	-1,57	-0,52	3,88
	OBCU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBCU₁	-7,22	-0,69	-0,25	7,26
	OBCU₅	-4,11	-2,28	-0,93	5,07
	OBCUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBCUV₁	10,40	-2,28	-0,15	10,65
	OBCUV₅	10,59	-3,28	-0,35	11,09
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBA₁	1,00	-2,04	1,17	2,56
	OBA₅	4,98	-5,07	0,85	7,16
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV₁	1,84	0,41	0,16	1,89
	OBAV₅	5,52	-1,52	-0,73	5,77
	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU₁	-1,65	-1,67	-0,36	2,38
	OBAU₅	-0,12	-4,19	-0,66	4,24
	OBAUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV₁	4,22	0,31	-1,69	4,55
	OBAUV₅	9,00	-1,57	-2,84	9,56

Tablica 35. Razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 40 °C

PRAŠKASTI DETERDŽENT, 40°C					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČ_1	-0,02	0,05	0,04	0,07
	KBČ_5	3,36	-0,23	-0,67	3,43
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČV_1	2,19	-0,47	-0,40	2,28
	KBČV_5	11,18	-1,87	-2,80	11,67
	KBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU_1	-1,59	-1,69	0,50	2,37
	KBČU_5	1,81	-1,88	-0,21	2,61
	KBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV_1	4,06	-1,75	-0,99	4,53
	KBČUV_5	13,4	-3,33	-3,11	14,15
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČ_1	-1,33	-2,96	2,67	4,20
	OBČ_5	1,59	-3,67	2,02	4,48
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČV_1	3,43	0,50	-0,91	3,59
	OBČV_5	21,67	-1,93	-4,11	22,14
	OBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU_1	-4,99	-0,14	-0,47	5,01
	OBČU_5	5,51	-2,52	-1,98	6,37
	OBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV_1	10,44	-1,43	-0,1	10,53
	OBČUV_5	11,88	-2,00	-0,59	12,06
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBA_1	0,05	-1,91	1,38	2,36
	OBA_5	5,08	-3,34	0,74	6,12
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV_1	3,37	-0,05	-0,46	3,4
	OBAV_5	17,45	-0,27	-3,91	17,88
	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU_1	-1,39	-1,32	-0,22	1,93
	OBAU_5	3,41	-2,49	-0,82	4,3
	OBAUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV_1	4,04	-0,57	-1,52	4,35
	OBAUV_5	12,41	-0,85	-3,6	12,95

Tablica 36. Razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 60 °C

PRAŠKASTI DETERDŽENT, 60°C					
Kemijski bijeljeni (Čateks d.o.o.)	KBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČ 1	-0,78	0,12	0,17	0,81
	KBČ 5	2,85	-0,29	-0,51	2,91
	KBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČV 1	2,21	-0,93	-0,24	2,41
	KBČV 5	13,27	-2,34	-3,18	13,85
	KBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČU 1	-1,23	-1,06	0,48	1,69
	KBČU 5	1,40	-0,85	-0,12	1,65
	KBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	KBČUV 1	5,04	-1,74	-1,47	5,53
	KBČUV 5	14,97	-3,25	-3,55	15,73
Optički bijeljeni (Čateks d.o.o.)	OBČ_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČ 1	-1,44	-3,28	2,45	4,34
	OBČ 5	2,21	-4,18	1,74	5,04
	OBČV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČV 1	3,82	0,26	-0,99	3,95
	OBČV 5	15,84	-1,96	-3,22	16,29
	OBČU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČU 1	-2,63	-1,58	-1,54	3,43
	OBČU 5	8,09	-3,65	-3,06	9,39
	OBČUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBČUV 1	9,71	-0,86	-0,16	9,74
	OBČUV 5	11,10	-2,03	-0,64	11,30
Optički bijeljeni (Boriskomerc, Arilje)	OBA_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBA 1	0,75	-1,95	1,30	2,46
	OBA 5	3,97	-3,51	0,88	5,37
	OBAV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAV 1	2,12	0,03	-0,03	2,12
	OBAV 5	14,49	-1,42	-3,29	14,93
	OBAU_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAU 1	-1,36	-1,47	-0,24	2,02
	OBAU 5	2,56	-3,25	-0,99	4,26
	OBAUV_{standard}	dL	dC	dh	dE
	OBAUV 1	4,44	-0,71	-1,47	4,73
	OBAUV 5	14,64	-1,46	-3,77	15,19

U tablicama 35. i 36. prikazane su razlike u boji između neopranih uzoraka s opranim uzorcima nakon 1. i 5. ciklusa pranja praškastim deterdžentom na 40°C i 60°C. Uočavaju se velike razlike između dobivenih razlika u boji nakon 1. te nakon 5. ciklusa pranja. Najveće razlike (na 40°C) između 1. i 5. pranja su kod uzoraka KBČUV, OBČV, OBAV i OBAUV, dok su razlike u boji između otisnutih i prvog pranja blizu granice tolerancije. Uzorci oprani praškastim deterdžentom na 60°C nakon 1. pranja su nešto većih odstupanja od granice tolerancije nego oprani praškastim deterdžentom na 40°C, ali su razlike kod 5. pranja još nešto veće kod svih uzoraka s predobradom nanešenog veziva.

Općenito kod svih pranja, za uzorke predobrađene vezivom dobivene su veće razlike u boji, što ukazuje da s brojem pranja dolazi do sve većih oštećenja polimernog vezivnog sloja. Također, veće razlike u boji dobivaju se za optički bijeljene uzorke u odnosu na kemijski bijeljene. Očekivano, rezultati razlika naglašeniji su i veći za uzorke oprane s praškastim deterdžentom na obje temperature što potvrđuje da praškasti deterdžent djeluje abrazivno na otisnutu površinu tkanina što uzrokuje negativan učinak na čvrstoću pigmentnog nanosa.

5. ZAKLJUČAK

Provedenom analizom utjecaja strukture i fizikalnih svojstava te načina predobrade tekstilnih materijala (pamučnih tkanina) na parametre digitalno otisnutog pigmentnog otiska istražena je njihova postojanost i kvaliteta u ovisnosti o karakteristikama tekstilne podloge te u uvjetima uporabe i održavanja. Ispitivanja fizikalnih svojstava neotisnutih uzoraka značajna su radi uske povezanosti kvalitete otiska i formiranja polimernog sloja veziva i pigmenta, a pokrivenost površine uzoraka uvelike ovisiti o njihovoj gustoći i poroznosti.

Na digitalno otisnutim uzorcima kod uzoraka s prugama veći su gubici pigmenta zbog veće poroznosti te se ne dobivaju zadovoljavajuće dubine tona. Za razliku od plavih otisaka na žutima se vizualno razlike teško uočavaju zbog karakteristika žute boje koje daju visoka zasićenja na visokim svjetlinama te je žuta boja vizualno stimulativna da praktički nema razlika bez obzira na karakteristike neotisnute podloge. Uzorci predobrađeni vezivom imaju veći utjecaj na ukupnu remisiju plavih nego žutih tonova. Objektivnim vrednovanjem plave i žute boje potvrđene su subjektivne ocjene izgleda skeniranih i mikroskopiranih uzoraka. Priroda plave boje je usko povezana s vrijednošću dubine obojenja, a time i s količinom pigmenta potrebnom za postizanje određene dubine i karakteristike boje. Dok žuta boja svojim specifičnim odnosom svjetline i zasićenosti koji rezultira visokim intenzitetom, zahtjeva manju količinu pigmenta, te zbog visoke briljantnosti kod tih otisaka nije izražen utjecaj podloge.

Povećanjem broja pranja digitalno otisnutih uzoraka (tamnih tonova) dolazi do većih oštećenja polimernog vezivnog sloja kod uzoraka koji su na neotisnutim podlogama predobrađeni vezivom. Veće razlike u boji su kod optički bijeljenih uzoraka u odnosu na kemijski bijeljene, a rezultati razlika naglašeniji su i veći za uzorke oprane s praškastim deterdžentom na obje temperature iz čega se zaključuje da praškasti deterdžent djeluje abrazivno na otisnutu površinu tkanina te uzrokuje negativan učinak na čvrstoću pigmentnog nanosa. Potvrđeno je da za komercijalnu njegu bitno držanje uputa te pranje digitalno otisnutih proizvoda preporučenim tekućim deterdžentom na temperaturi do 40°C na standardnom programu za pranje rublja.

6. LITERATURA

- [1] Majnarić I: Osnove digitalnog tiska, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb 2015.
- [2] Print Magazin; <https://www.print-magazin.eu/nove-poslovne-mogucnosti-tiska-na-tekstil/>, od 09.02.2015.
- [3] Print magazin; <https://print-magazin.eu/blog/dobro-investiranje-u-digitalni-tisak/>, od 3.11.2019.
- [4] S. K. Malik i sur.: Review Article, Advances in inkjet printing technology of textiles, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol.30, March 2005, pp. 99-113
- [5] V. Lovell: Ink Jet Inks and Substrates - Novel Approaches for Their Physical and Optical Properties Characterization, Western Michigan University Kalamazoo, Michigan, July 2006, str.5
- [6] Pigment printing's role in Ink Jet Textile printing, Textile Printing, Recent Progress in Ink Jet Technologies II, Chapter 8, pp. 559-560
- [7] Endo I., et al. (1979.): *Liquid jet recording process and apparatus there for*, Great Britain Patent 2007,162
- [8] Vaught J. L., et al. (1984.: Thermal ink-jet printer, U.S. Patent 4,490,728)
- [9] A. W. Kaimouz: An Investigation of the Printing Process for Lyocell and Cotton Fibres Using Inkjet Technology, Heriot – Watt University, The School of Textiles & Design, July-2010, str.14-16, 58-59, 64-65
- [10] Izv. prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar, predavanje s Tekstilno-tehnološkog fakulteta u sklopu kolegija: Specijalne metode tiska, Zagreb 2017.
- [11] Broadbent, A.D.: 21.2 Light sources and illuminants, Basic Principles of Textile Coloration, Society of Dyers and Colourists, ISBN 0901956767, Canada, 2001., str. 428
- [12] T. L. Davson: Ink-jet printing of textiles under the microscope, UMIST, Box 88, Manchester M60 1QD, UK, Vol. 116, february 2000, pp. 52-59
- [13] Print magazin; <https://print-magazin.eu/tema-broja-ink-jet-boje-veljaca-2016/>, 03.03.2016.
- [14] N. H. Momin: Chitosan and improved pigment Ink Jet printing on textiles, Textile Technology, School of Fashion and Textiles, Design and Social Context, RMIT University, March 2008, str.12

- [15] A.Laverly, J.Provost: Color-Media Interactions in Ink Jet Printing, Manchester, UK, Recent Progress in Ink Jet Technologies II, 1999, chapter 6, str. 400-405
- [16] Textile World; <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2020/02/digital-printing-innovations/>, 17.02.2020.
- [17] Print Magazin; <https://print-magazin.eu/hp-ponovno-otkriva-sublimacijski-ispis-lansiranje-hp-stitch-serije/>, 03.05.2019.
- [18] M.-K. Tse i sur.: Measuring Print Quality of Digitally Printed Textiles, Recent Progress in Ink Jet Technologies II, Textile Printing, Chapter 8, str. 549
- [19] Datacolor, Color Differences & Tolerances, Commercial Color Acceptability (http://knowledgebase.datacolor.com/admin/attachments/color_differencestolerances.pdf)
- [20] Izv. prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar, predavanje s Tekstilno-tehnološkog fakulteta u sklopu kolegija: Metrika boje, Zagreb, 2016.
- [21] Sharma G., Wu W., Dalal E.N., The CIEDE2000 Color-Difference, Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations, University of Rochester, Rochester, NY 14627-0126, 2004, Volume 30, Number 1, February 2005, str 21.
- [22] G. N. Namwamba, D. L. Dixon: Colorfastness to crocking and laundering od digitally printed cotton fabrics, Southern University Center for Agricultural Research and Extension, Baton Rouge, LA