

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

MAJA MIŠIĆ

**POSTOJANOST INK JET OTISAKA
NASTALIH TERMALNIM
TRANSFEROM NA TKANINE**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2011.

SAŽETAK

Primjena tehnike Ink Jet otiskivanja sve je češća pri otiskivanju na tkanine. Pritom je moguće primijeniti dva osnovna principa: direktno otiskivanje na tkanine i indirektno otiskivanje sa posredstvom transfera na tkanine. U ovom radu analiziran je indirektni termalni transfer koji se izvodi u 2 koraka: Ink Jet otiskivanjem na transfer medij te termalnim transferom na tkaninu. Pritom je korištena karakteristična transferna folija Iron On, koja je prilagođena za prihvatanje bojila na vodenoj bazi. Cilj ovog rada je određivanje razlike u obojenju između otisnute folije i transferirane folije na tkaninu kao i ponašanje tkanine nakon većeg broja pranja. Objektivna ocjena kvalitete reprodukcije postignuta je spektrofotometrijskom mjernom metodom (CIE LAB) na temelju koje je izračunata razlike u obojenju CIE ΔE_{2000} . Rezultati prikazuju da će obje otisnute folije koje se transferiraju na pamučnu tkaninu svoje najveće promjene doživjeti nakon samog transfera. Nakon toga promjene koje se događaju ovise o temperaturi i broju pranja koji utječu na njih. Tako je uočeno da će otisci koji su prani na $T=40^{\circ}\text{C}$ svoje najveće promjene doživjeti nakon 3. pranja, dok će kod otisaka koji su prani na $T=90^{\circ}\text{C}$ najveća promjena nastati već nakon prvog pranja.

Ključne riječi: transferni tisak na tkanine, postojanost otiska nakon pranja, CIE ΔE_{2000}

ABSTRACT

Ink jet printing technique is increasingly getting used when printing on fabrics. By doing that, two basic principles can be used: direct printing on fabrics or indirectly printing by means of fabric transfer. In this paper, we analyze indirect thermal transfer which is done in two steps: Ink Jet printing on transfer media and thermal transfer on fabric. Characteristic transfer foil - Iron On - is used in this process. This foil is adapted for dyestuff reception on water base. Purpose of this paper is determining a difference in dyeing between printed foil and transferred foil on fabrics, as is fabric reaction after multiple washes. Objective grade of reproductive quality is determined by spectrophotometric measuring method (CIE LAB). By using this method we can calculate difference in dyeing - CIE ΔE_{2000} . Results are showing that both printed foils transferred on cotton fabric are bound to get their biggest changes immediately after the transfer itself. Changes that occur afterwards are dependable and affected by temperature and

number of washes. It is measured that printings washed on temperature $T=40^{\circ}\text{C}$ receive its biggest changes after the third wash, and printings washed on temperature $T=90^{\circ}\text{C}$ immediately after the first wash.

Key words: transfer printing on textile, time stability of prints, CIE ΔE_{2000}

SADRŽAJ:

UVOD	1
1. SVRHA RADA	
1.1. Problem	2
1.2. Ciljevi i zadaci istraživanja	2
2. TEORIJA	3
2.1. Kontinuirani Ink Jet	4
2.2. Ink Jet koji radi principom kapanja na zahtjev	7
2.2.1. Termalni princip Ink Jet otiskivanja	8
2.2.2. Piezo Ink Jet način otiskivanja	10
2.2.3. Elektrostatski Ink Jet	11
2.2.3.1. Elektrostatski Ink Jet po Taylorovom efektu	11
2.2.3.2. Elektrostatski Ink Jet s kontrolom prstenastog grijača	12
2.2.3.3. Elektrostatski Ink mist Jet	13
2.3. Konstrukcija Ink Jet glava	15
2.4. Bojila za Ink Jet	18
2.4.1 Dye bojila	19
2.4.2 Pigmentna bojila	20
2.5. Tiskovne podloge za Ink Jet	22
3. EKSPERIMENTALNI RAD	27
3.1. Plan eksperimenta	27
3.2. Korišteni uređaji i strojevi	29
1.2.1. X – Rite DTP 20	29
1.2.2. Epson Stylus Photo R2400	31
4. REZULTATI I DISKUSIJA	32
5. ZAKLJUČAK	54
6. LITERATURA	55
7. PRILOZI	56

UVOD

Jedan od čestih načina digitalnog otiskivanja je Ink Jet. Tehnika Ink Jeta temelji se na beskontaktnom nanašanju kapljičnog bojila direktno na tiskovnu podlogu. Pritom se koriste tekuća bojila koja prolaze kroz sklopove sitnih mlaznica (mogu sadržavati i do nekoliko milijuna otvora), koje u konačnici rezultiraju s kapljicama veličine oko 5 pl.

Tijekom otiskivanja tiskovni elementi (kapljice) formiraju se na dva načina: principom kontinuiranog štrcanja CIJ (Continuus Ink Jet) ili principom štrcanja na zahtjev DoD (Drop on Demand). Osnovni princip kontinuiranog špricanja baziran je na konstantom strujanju bojila, pri čemu se željene kapljice skreću sa svoje putanje. Razlikuje se 2 tipa kontinuiranih Ink Jet-ova: Binarno skretajući Ink Jet i Višestruko skretajući Ink Jet. DoD Ink Jet tisak formira kapljice u točno određenom trenutku. Pritom se bojio iz spremnika direktno šprica na tiskovnu podlogu te ne postoji povrat bojila kao u CIJ. Prema načinu formiranja jedne kapljice razlikuju se slijedeće DoD tehnike ispisivanja: Piezo Ink Jet, Termalni Ink Jet i Elektrostatski Ink.

Zbog postupka pri kojem se bojila ne mijenjaju (zagrijavaju) otiskivanje u Piezo Ink Jet-u najviše je u uporabi. Pritom je moguće otiskivanje sa različitim formulacijama bojila kao i na različitim tipovima tiskovnih podloga. Osnova takvog otiskivanja bazirana je na principu piezo električnog efekta, gdje je piezo električni kristal osnova ispisne glave. Izlaganjem piezo električnog kristala električnom polju, doći će do mehaničke deformacije kristala (rastezanja). Time se direktno utječe na volumen komore, odnosno stvaranja pritiska unutar kapilarne komore. Rezultat toga djelovanja je stvaranje meniskusa na mlaznom otvoru, koji će prestankom djelovanja napona piezo kristal vratiti se u početni oblik. Pritom dolazi do oslobađanja kapljice i novog punjenja komore.

Prilikom višebojnog otiskivanju Piezo Ink Jet pisači mogu koristiti 4 tipa bojila: Ink Jet bojila na vodenoj bazi, Ink Jet bojila na bazi organskih otapala, pigmentirano-uljna Ink Jet bojila i UV sušeća (curing) Ink Jet bojila.

1 SVRHA RADA

1.1 PROBLEM

Razvojem novih tehnika otiskivanja (Ink Jet) omogućeno je otiskivanje i na ne klasične tiskovne podloge. Jedna od takvih je porozan tekstilni materijal koji je nastao ispreplitanjem tankih niti. Sastav može biti različit ali uglavnom je temeljen na prirodnom vlaknu kao što je pamuk.

Otiskivanje na pamučnu tkaninu moguće je danas izvršiti i novom metodom indirektnog termalnog transfera. Takve tkanine otiskuju se s novom formulacijom likvidnih Ink Jet bojila koje su uglavnom bazirane na pigmentu (nosiocu obojenja) te vodi kao otapalu.

Održavanje čistoća tekstilnog otiska vrlo je važan čimbenik. Zbog toga se tkanine vrlo često podvrgavaju djelovanju deterdženta i zagrijane vode koje na žalost negativno utječu na kolornu postojanost takvih otisaka.

1.2 CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Od mnogih faktora koji definiraju kvalitetu pamučnih otisaka (stupanj penetracije, mekoća, krutost, čvrstoća, svjetlostalnost) vrlo je važno obojenje na tkanini. S korištenjem tekstilnih proizvoda (majice, kape, šalovi, zastave, ...) dolazi i do izbjeljivanja otiska.

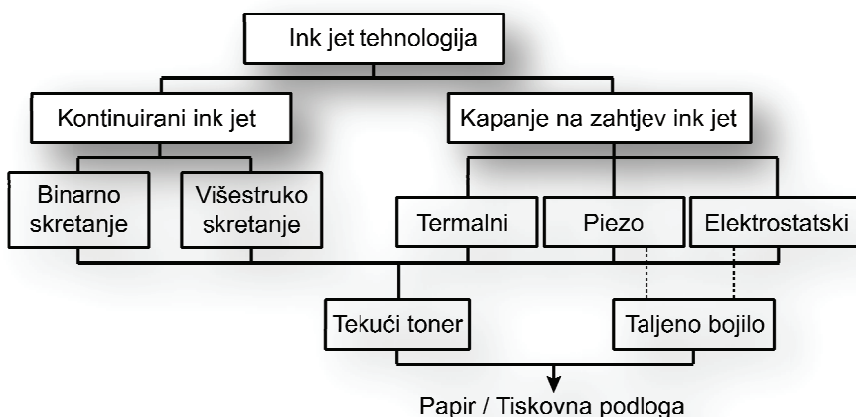
U ovom radu cilj nam je utvrditi postojanost na pranje pamučnih otiska nastalih termalnim transferom. Pritom je izvršeno 7 ne standardiziranih eksperimentalnih pranja (pranje u klasičnoj perilici rublja) s dvije temperature 40°C i 90°C. Djelovanje deterdženta i vode utjecati će se na promjenu obojenja, što će biti promatrano standardnim spektrofotometrijskim metodama. Ovakvom mjernom metodom ustanovit će se sve devijacije unutar višebojne reprodukcije pri čemu će se doći do spoznaje kako pojedina boja reagira na eksperimentalno pranje.

2 TEORIJA

Pisač je izlazni uređaj s kojim se ispisuje digitalni zapis iz računala na neku tiskovnu podlogu. Postoji više vrsta printera ovisno o načinu na koji ispisuje informacije, a to su iglični, laserski, Ink Jet i termalni printeri. Prvi brzi printer za komercijalnu upotrebu (na Univac računalu) razvio je Remington 1953. godine.

U početnoj fazi od 1976. – 1988. godine razvoj Ink Jet tehnologije nije puno korišten. Međutim danas uslijed masovne proizvodnje i niske cijene je često u upotrebi. Zbog velikog broja prednosti kojih ima (poput brzog otiskivanja, visokokvalitetnih otisaka, jednostavnog bojila, tiska na različitim podlogama) mnogo velikih kompanija (Canon, Hewlett – Packard, Apple, Brother, Epson, Samsung, Xerox,..) svakodnevno unapređuje tu tehnologiju.

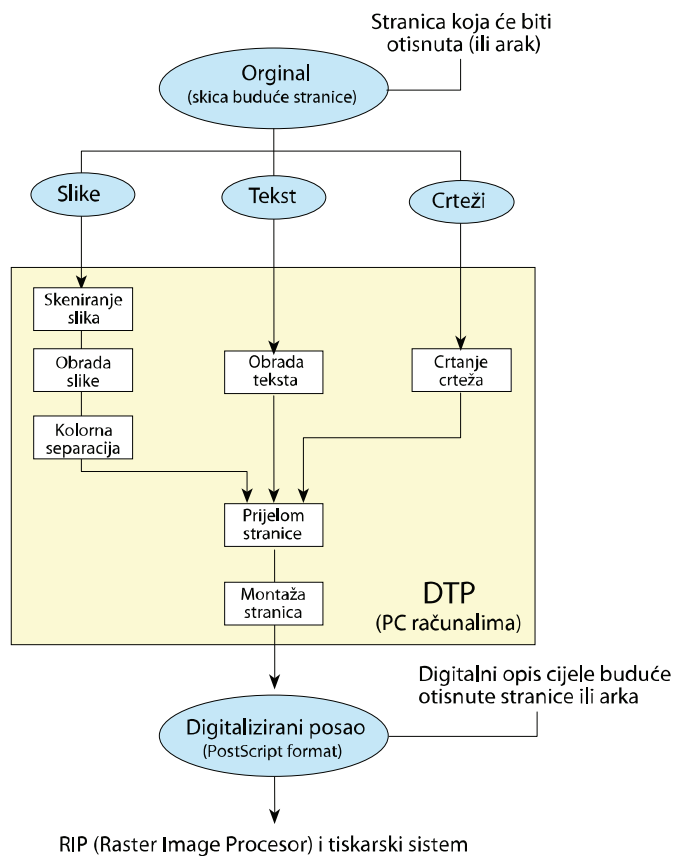
Ink Jet je bez kontaktna tehnika otiskivanja koja ne zahtjeva posrednika između tiskovne forme i tiskovne podloge. U ink jetu boja se prenosi direktno na papir. Osnovno se može podijeliti na kontinuirani Ink Jet i Ink Jet koji izvodi kapanje na zahtjev (drop on demand) Ink Jet. Bojilo za Ink Jet je u većini slučajeva tekuće. Druga alternativa su taljiva (hot-melt) bojila koja postanu tekuća zagrijavanjem, nakon čega se šprica na podlogu gdje se stvrdnjava nakon hlađenja. Pregled Ink Jet tehnologija i procesa možemo vidjeti na slici 1:



Slika 1. Shematski prikaz Ink Jet tehnologije

Ink Jet predstavlja najjednostavniju tehnologiju ispisa na papirnu podlogu. Na temelju slikovnog signala potrebno je samo generirati kapljice boje i direktno nanijeti na podlogu bez ikakvog posrednika. To je tipična tehnologija (computer to Print – otisak direktno iz

komputera) u kojoj se boja šprica iz mlaznica, što znači da klasična tiskovna forma nije potrebna. Na slici 2 prikazan je pripadajući proces koji prethodi Ink Jet otiskivanju.



Slika 2. Proces za Computer to print tehnologiju

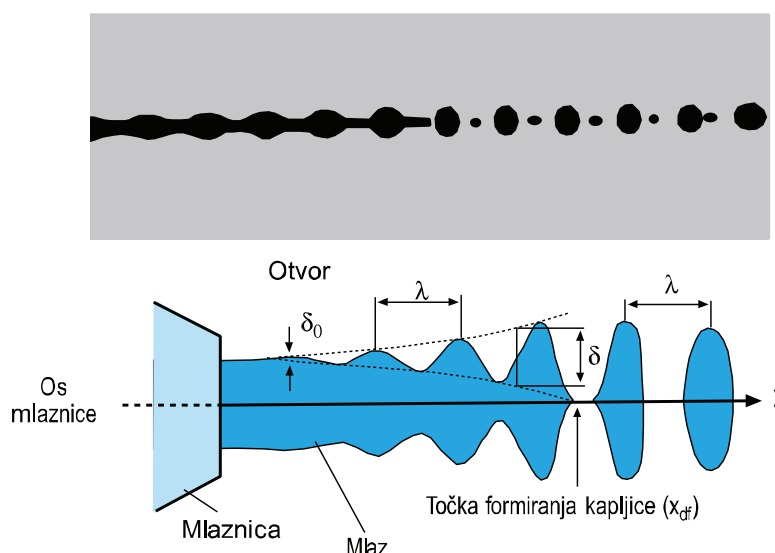
2.1 KONTINUIRANI INK JET

Ideja za patent potječe od Williama Thomsona (1867.), dok je pravi komercijalni model predstavljen 1951 u Siemensovom eksperimentalnom laboratoriju. Kod ovakvog otiskivanja stvaraju se elektronički kontrolirane sitne kapljice boje koje se usmjeravaju prema tiskovnoj podlozi. Nabijene kapljice se skreću s pravca pomoću eklektičnog polja, dok nenabijene kapljice završavaju na papiru. Ovo znači da signal za nabijanje kapljica odgovara negativskoj slici. Generalno samo mali dio volumena kapljica bojila dođe na tiskovnu podlogu, dok se veliki dio vraća natrag u sustav. Time se sprečava sušenje tinte na mlaznicama i njihova blokada. Takva tehnika otiskivanja zahtjeva vrlo likvidna bojila (niski dinamički koeficijent viskoznosti) te je zbog toga razvijen veliki broj bojila koje moraju biti prilagođene tiskovnim podlogama.

U daljem vremenskom periodu razvila su se dva principa. To su: CIJ sa *binarnim otklonom* i CIJ sa *višestrukim otklonom*.

Kod CIJ sa binarnim otklonom za istiskivanje kapljica tinte koristi se piezoelektrični kristal. Takvom tehnologijom omogućeno je stvaranje visokofrekventnog niza kapljica frekvencije od 1 MHz. Likvidna boja dolazi u kontakt sa piezoelektričnim kristalom čije visokofrekventno sažimanje uzrokuje razdvajanje mlaza u kapljice (slika 3). Kretanje mlaza moguće je u dva smjera. U skladu sa binarnim ulaznim signalom (pločica pod visokim naponom) nabit će kapljice koje će skrenuti prema tiskovnoj podlozi, dok se kapljice bez naboja odvede u odvod (gutter). Prilikom ovakvog procesa moguće je stvoriti i veće kapljice (međusobnim spajanjem sitnih kapljica). Pritom veličina kapljica može varirati što će utjecati na konačnu reprodukciju.

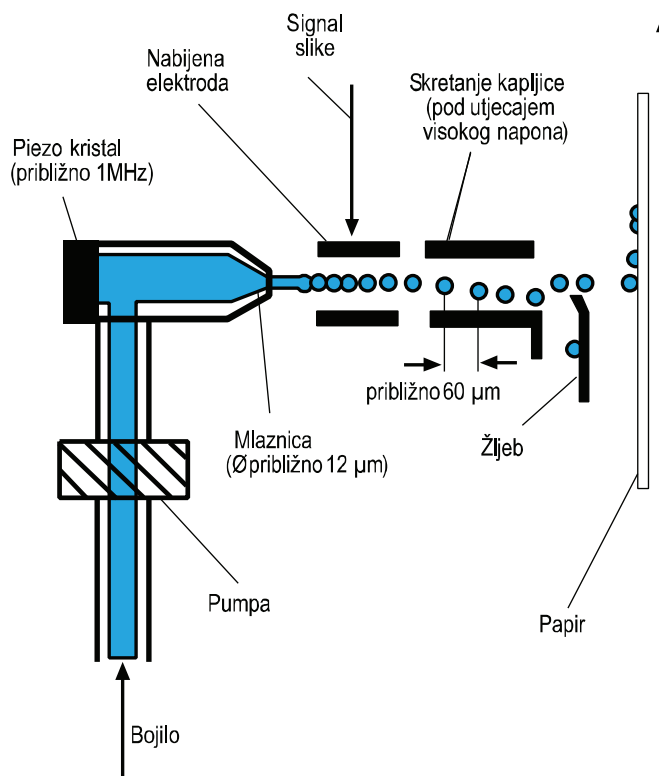
Slika 3 grafički pokazuje čimbenike koji utječu na formiranje kapljice. To su: promjer mlaznice, viskoznosti boje, površinskoj napetosti boje, i o frekvencija pobuđenosti.



Slika 3. Parametri bitni za nastanak kapljice boje

Prednost Ink Jet tehnologije je to što nema kontakta. Između glave za pisanje i tiskovne podloge postoji razmak oko 1 mm što omogućava otiskivanje i po neravnim površinama. Boja mora imati temperaturu od 5 – 45°C (idealno je 25°C). Provodljivost ovakvog bojila iznosi oko 1000 μ S/cm (pri T=25°C) dok je površinska napetost 22 – 45 N/m.

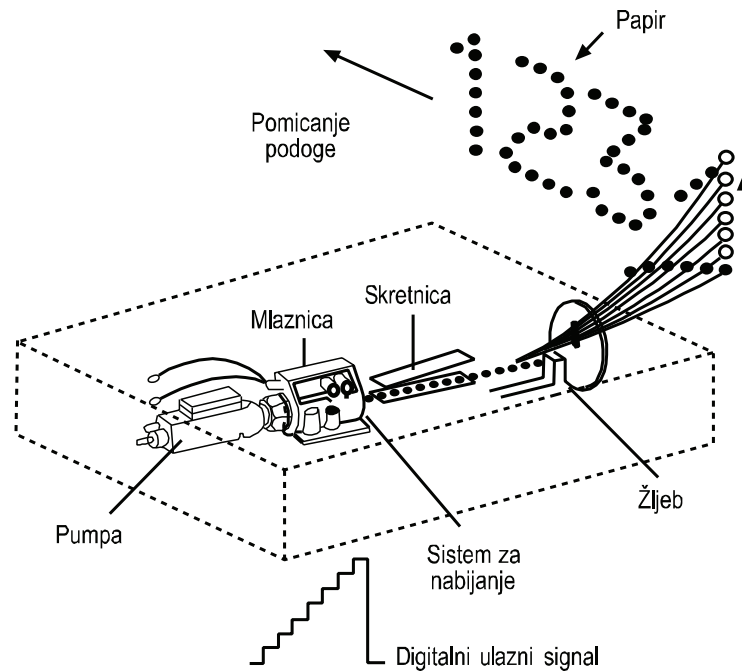
Karakteristike ovakvog Ink Jeta su: frekvencija kapanja od 1 MHz, brzina kapljice od 40 m/s, volumen kapljice od 4 pl i formirani promjer kapljice od 20 μm .



Slika 4. Shematski prikaz rada binarnog kontinuiranog Ink Jeta

Kod CIJ sa višestrukom otklonom kapljice će se elektronski nabijati različitim nabojsima. Kod 1bit CIJ postoje 2 stanja (nabijeno i nenabijeno stanje). Samim time se određuje otklon kapi između ploča deflektora, ovisno o primijenjenom naboju. Tiskovni elementi stvoreni kontinuiranim mlazom mogu se reproducirati u šesnaest različitih pozicija čime se postiže otiskivanje linije debljine od 10 μm . Pod kontroliranim tlakom u mlaznici ulazi tekuća boja koja se pretvara u seriju individualnih kapljica preko pulsirajućih istezanja keramičkog elementa. Putanja kapljica boje od mlaznice do tiskovne podloge kontrolirana je elektrostatskim silama. Pritom kontrolirani naponski impulsi daju svakoj kapljici naboj željenog intenziteta. Elektrostatske sile otklanjaju kapljicu vertikalno za iznos koji je proporcionalan njenom naboju, dok se kapljice bez naboja ne otklanjaju i odlaze u žlijeb.

Kod ovakvog sistema visina ispisane slike će se povećavati sa povećanjem razmaka između dviju skretnica pri čemu će se rezolucija smanjiti. Rezolucija u smjeru otiskivanja je određena brzinom podloge i frekvencijom kapanja. Minimalna matrična struktura za uočavanje digitalnih znakova iznosi 7x6 točkica (visina x širina). Sistemi sa dvodimenzionalnim skretanjem kapljica su također mogući. U tom slučaju skretnice djeluju u dva smjera tako da se tiskovni elementi mogu otisnuti iako je podloga statična.



Slika 5. Shematski prikaz rada CIJ sa višestrukim skretanjem

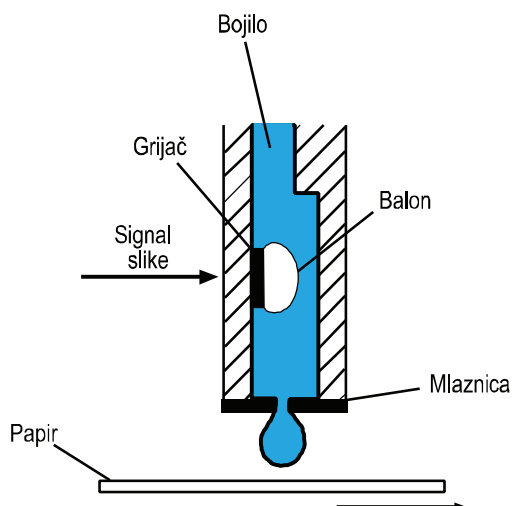
2.2 INK JET KOJI RADI PRINCIPOM KAPANJA NA ZAHTJEV

Sa tehnologijom kapanja na zahtjev (drop on demand), kapljica se generira samo kada je potrebno (na tom području tiskovne podloge može doći do nanosa bojila). Pritom će se istisnuti točno onoliko kapljica boje koliko je potrebno da se formira otisak. Tekuće bojilo se najčešće izbacuje piezo ili termalnom tehnologijom ispisivanja. Ovakva tehnologija se naziva još i visoko rezolucijska jer može otisnuti i do 1200 dpi.

Posebnu skupinu čine pisači koji ne koriste tekuće bojilo nego vosak. Obojeni vosak je pri sobnoj temperaturi u krutom agregatnom stanju, dok će zagrijavanjem preći u tekućinu. Kod DoD Ink Jet tehnologija u mikro komorama su smješteni elektronički elementi koji su direktno spojeni s računalom čime se osigurava formiranje kapljica.

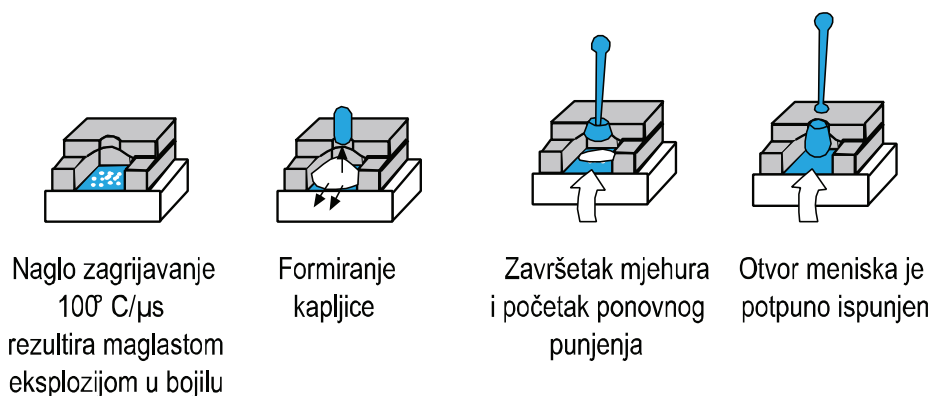
2.2.1 TERMALNI PRINCIP INK JET OTISKIVANJA

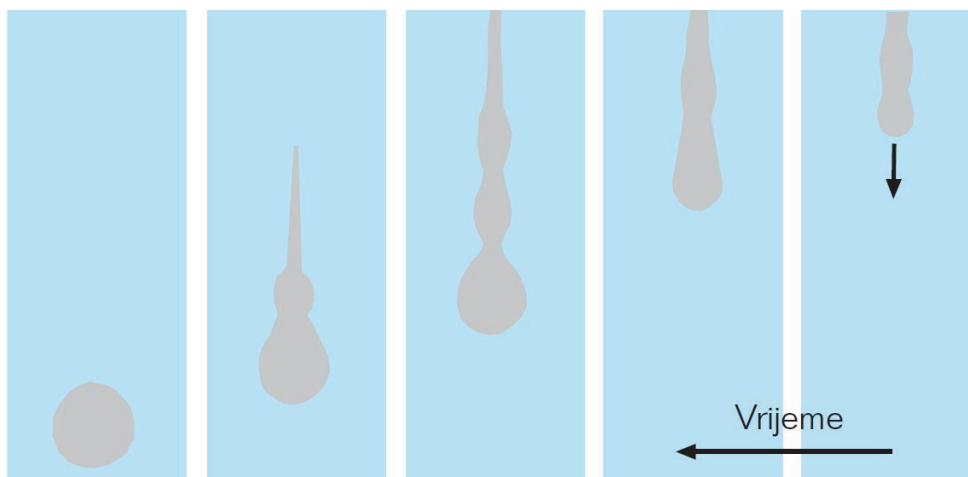
Kod termalne Ink Jet tehnologije kapljice boje nastaju djelovanjem kratkog i preciznog pulsiranja toplinske energije. Toplina nastaje kad električni signal prođe kroz grijač uzrokuje isparavanje boje i formiranje plinskog mjehura. Rezultat je pritisak koji dovodi do izbacivanja kapljice kroz mlaznicu. Prestankom zagrijavanja mjehurić nestaje, kapljica se odvoja te kapilarna sila usisava svježe bojilo u komoru s mlaznicom. Ova tehnologija je poznata i kao *bubble jet* (eng. bubble - mjehurić).



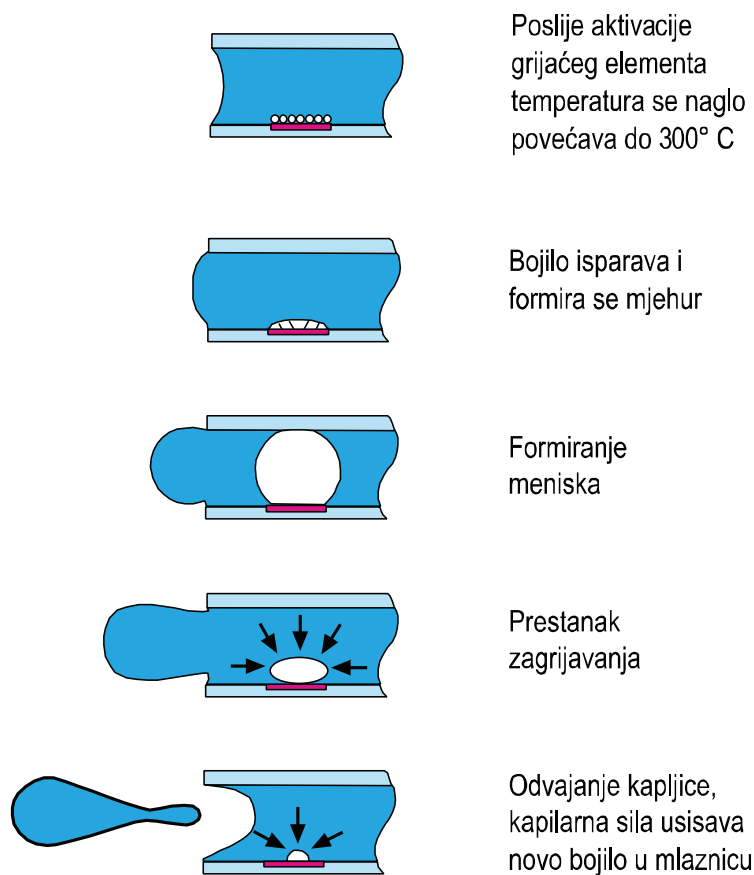
Slika 6. Shematski prikaz Termalnog ink jeta

Slika 7 i 8 pokazuju pojednostavljeni oblik formiranja kapi u vremenskoj ovisnosti. Temeljem postojećih termalnih ink jet tehnologija moguće je postići volumen kapljice od 23 pl. Frekvencije kapanja kreću se u rasponu od 5 do 8 kHz.





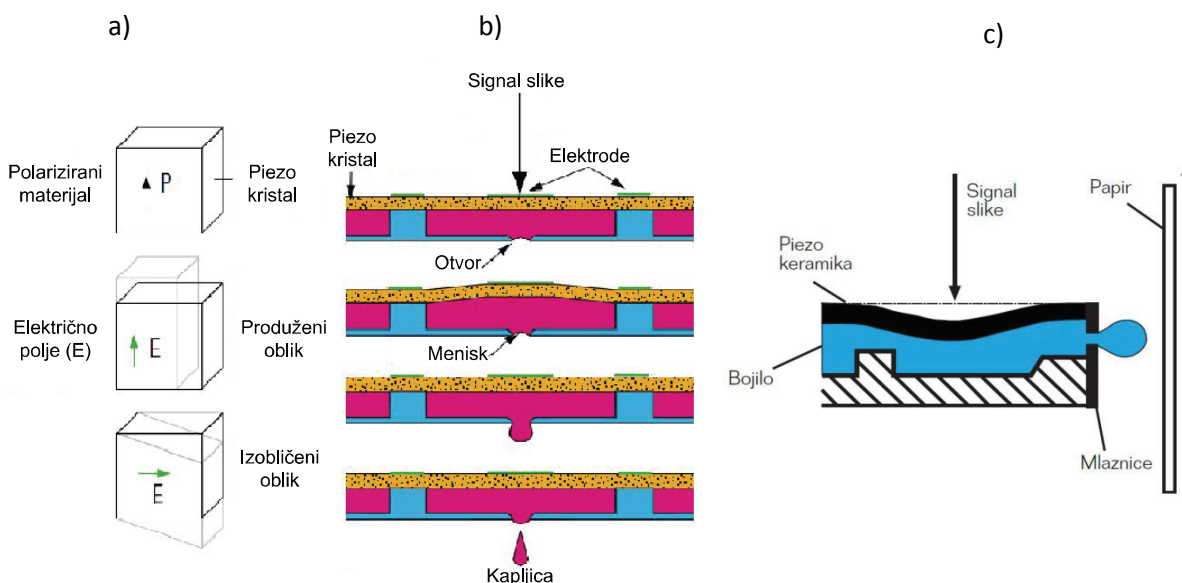
Slika 7. Vremenski raspon formiranja kapi kod termalnog ink jeta



Slika 8. Princip nastajanja kapljice boje kod termalnog ink jeta

2.2.2 PIEZO INK JET

Kod piezo Ink Jeta izbacivanje kapljice se generiraju mehaničkom deformacijom mlaznice komore. Slanjem signala iz računala formirat će se električno polje koje će aktivirati piezo električni kristal. Tada će se on pomaknuti te smanjiti volumen u mlaznoj komori. Smanjenjem volumena u komori povećava se pritisak koji rezultira izbacivanjem bojila kroz mlaznicu.



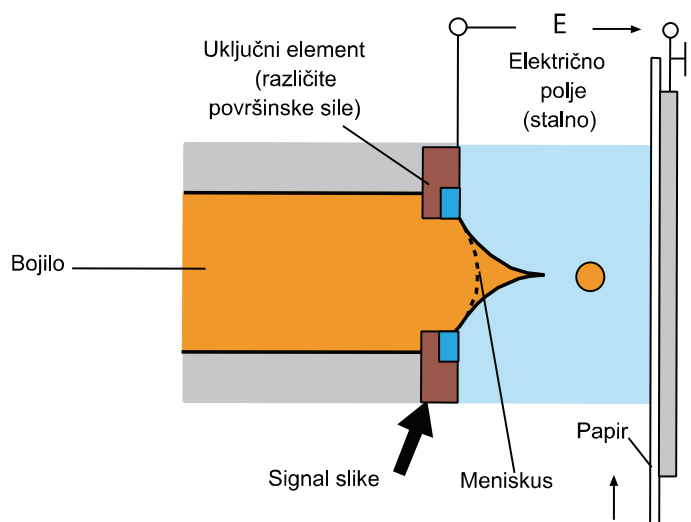
Slika 9. Piezo Ink Jet: a) deformacija piezo kristala; b,c) deformacija piezo kristala tijekom otiskivanja

Kapljice koje su dobivene jednakovog su volumena. Piezo Ink Jet pisači koriste rijetka bojila dinamičke viskoznosti od 1 do 10 mPa·s. Bojilo se sastoji od sićušnih pigmenata, organskog otapala i izvorno obojene tekućine kao dodatni nosioci obojenja. Nakon nanašanja na tiskovnu podlogu bojilo se suši kombinacijom penetracije i isparivanja. Nanos bojila na tiskovnoj podlozi uobičajeno je nizak te iznosi oko 0,5 μm . Piezo Ink Jet može koristiti i druge tipove bojila, poput bojila na bazi organskih otapala kao i brzосуšeće UV boje. Karakteristična obilježja piezo Ink Jet tehnike otiskivanja su: volumen kapljice od 14 pl, frekvencija kapanja od 10 – 20 kHz, dijametar formirane kapljice od 30 μm .

Da bi postigao bolji otisak tiskovna podloga mora biti specijalno pripremljena. Te podloge moraju imati veću upojnost da ne bi došlo do efekta „površinskog mrljanja“. Na žalost otisci su nedovoljno otporni na vlagu, povišenu temperaturu i svjetlo.

2.2.3 ELEKTROSTATSKI INK JET

Kod elektrostatske Ink Jet tehnologije ispisivanja između mlaznica i tiskovne podloge postoji električno polje. Kapljice tinte nastaju samo tijekom djelovanja napona. Aktivacijom električnog polja mijenja se odnos površine sa napetosti između boje i mlaznice. Djelovanjem električnog polja dolazi do odvajanja kapi, povećanja površinske napetosti koja se usmjerava prema suprotno nabijenoj tiskovnoj podlozi. Primjenom jačih struja stvoriti će se mlaz odnosno kapljica.



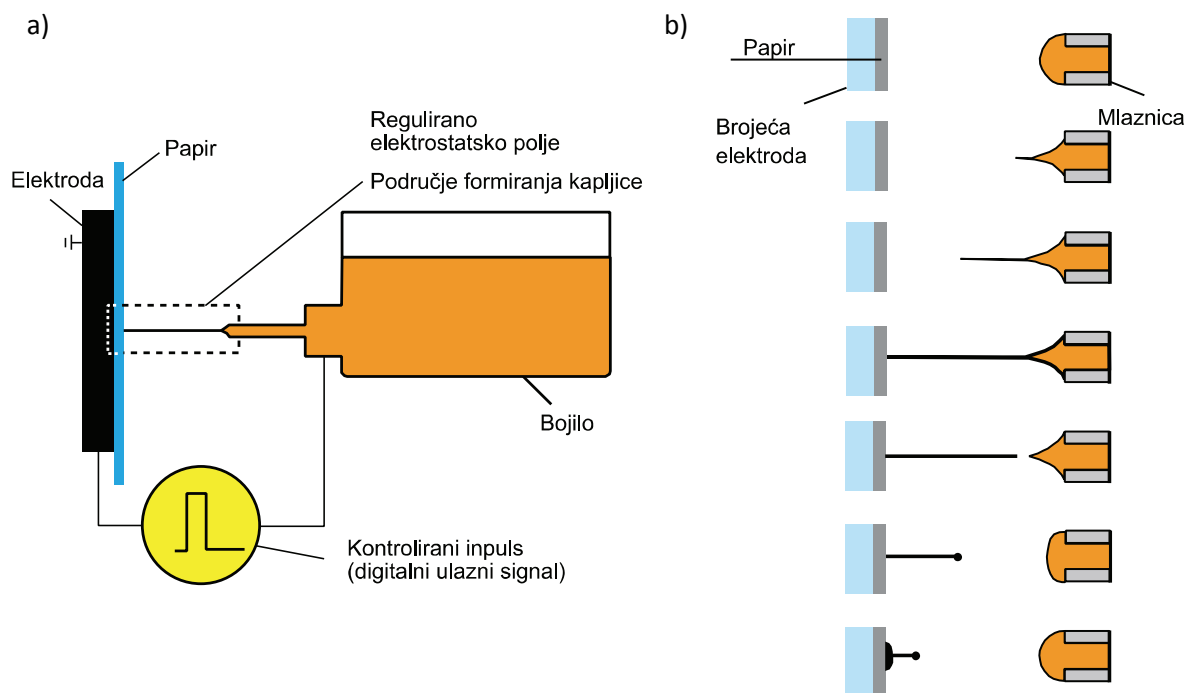
Slika 10. Princip Elektrostatskog ink jeta

Do sad su javnosti predstavljene tri vrste elektrostatskog Ink Jeta. To su: Elektrostatski Ink Jet sa Taylorovim efektom, Elektrostatski Ink Jet s kontrolom prstenastog grijača, Elektrostatski mist Ink Jet.

2.2.3.1 ELEKTROSTATSKI INK JET SA TAYLOROVIM EFEKTOM

Sa mlaznicom odgovarajućeg oblika formira se mlaz boje puno manjeg promjera od samog otvora mlaznice. On se još naziva i Taylorov stožac (slika 11). Prednost koja je

tako postignuta su vrlo male kapljice koje se generiraju sa većim mlazom. Pritom se može postići veliki broj kolornih nijansi po svakom pikselu. Kapi su generirane u skladu sa pozicijom tiskovnog elementa i jačinom električnog polja. Volumen kapljice je tako određen dužinom trajanja kontroliranog električnog impulsa.



Slika 11. a) Elektrostatski ink jet po Taylorovom efektu; b) kronološki prikaz formiranja otiska principom elektrostatskog ink jeta.

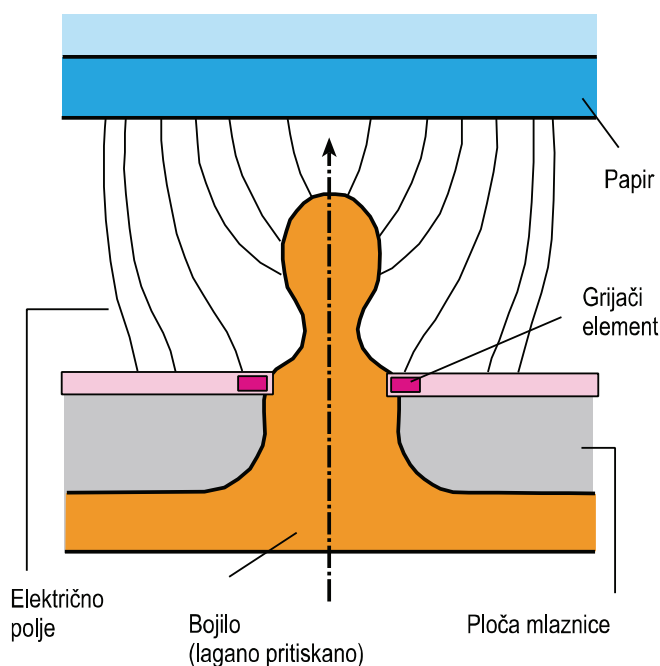
Kod ovog koncepta dijametar ispisne mlaznice je oko 40 μm dok razmak između mlaznice i tiskovne podloge njih realan i manji je od 1 mm. Slaganjem mlaznica u nekoliko redova (jedan iza drugih) u stanju su postići rezoluciju od 600 dpi.

2.2.3.2 ELEKTROSTATSKI INK JET S KONTROLOM PRSTENASTOG GRIJAČA

Posebnost ovog načina špricanja je relativno jednostavne struktura koja se temelji na kontroli mlaznica. Kao što je prikazano na slici 12, likvidno bojilo je pod malim nadtlakom pri čemu je na vrhu spremnik prekriven sa tzv. „prstenastom mlaznicom“. U osnovnom stanju nadtlak u boji i električno polje između mlaznica i tiskovne podloge mora biti u ravnoteži. Sve mlaznice imaju prstenaste grijače koji se mogu zasebno temperaturno

kontrolirati. Regulacijom jačine ispisnog signala utječe se na temperaturu grijača koja će izazivati promjenu površinske napetosti. Tada će doći i do formiranja kapljice bojila.

Konstruktor je ovu tehnologiju nazvao LIFT kapanje na zahtjev. To ime zasniva se na činjenici da se tijekom otiskivanja koristi veći broj mlaznica podloženih u redove koji će moći otisnuti i veće površine. S tim se može omogućiti da će mlaznica proizvesti malu kapljicu čime broj mlaznica više nije ovisan o rezoluciji. Ovoj tip omogućuje masovno montiranje mlaznica pri čemu su međusobni razmaci od 10 do 20 μm . Za postizanje boljeg obojenja po pikselu može se koristiti specijalna tehnika rastriranja. Građa mlaznica temelji se na bazi silikona koji služi kao prevencija dok ne dođe do začepljenja mlaznica.



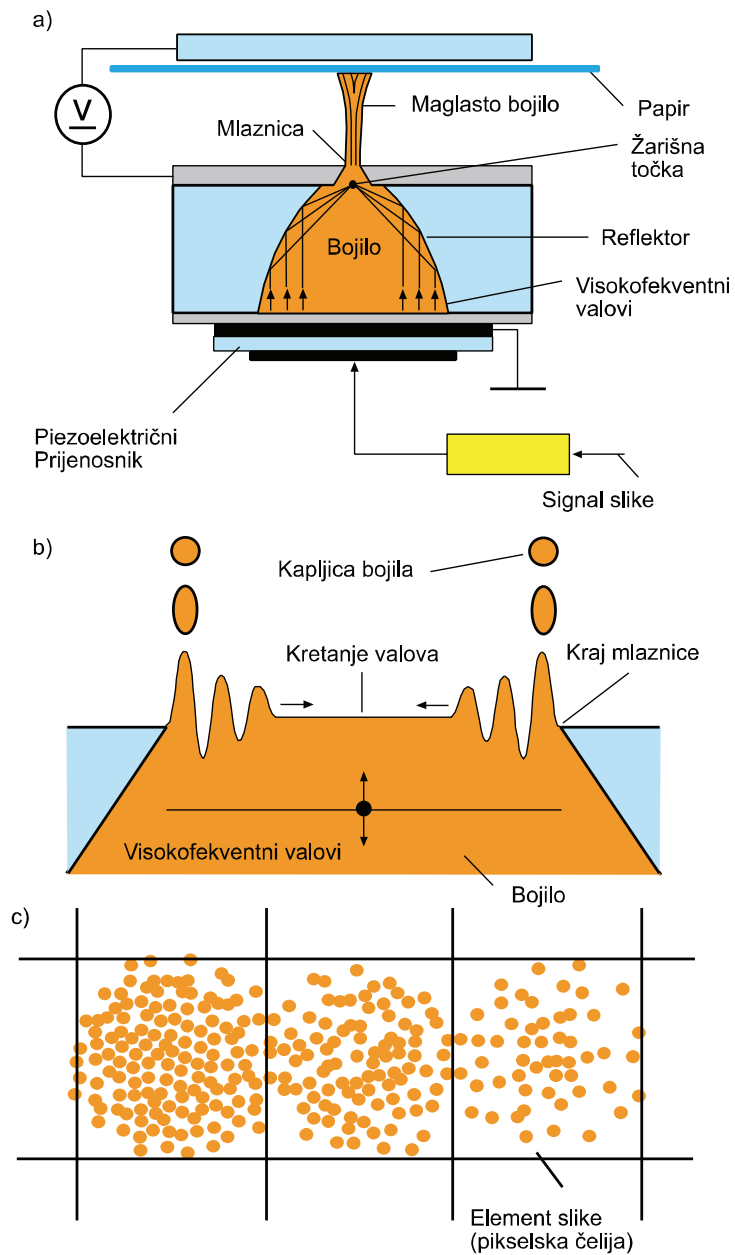
Slika 12. Princip rada Elektrostatskog ink jeta s kontrolom prstenastog grijača

2.2.3.3 ELEKTROSTATSKI MIST INK JET

Elektrostatski mist Ink Jet je novi način otiskivanja koji stvara vrlo male kapljica boje (aerosol stanje). Pri čemu se primjenjuju ultrazvučni valovi (slika 13). Ultrazvučni valovi se usmjeravaju prema otvoru mlaznice što će dovesti do nastanka površinskih valova na ispusnom otvoru mlaznice. Kao posljedica toga je izbacivanje vrlo sitnih kapljica bojila.

Prijenos boje na tiskovnu podlogu potaknut je vizualnim signalom i može se kontrolirati u različitim kombinacijama elektromagnetskog zračenja (frekvencija 20 kHz). Ovom

tehnikom se u eksperimentima moglo reproducirati slika u rezoluciji od 300 dpi, pri čemu se po jednom tiskovnom elementu mogu generirati 32 kolorne nijanse.

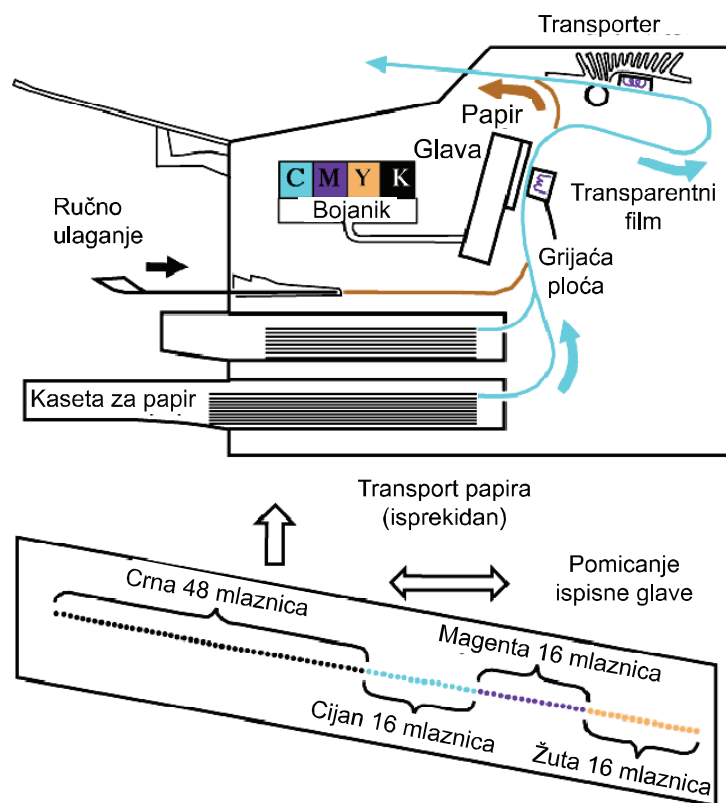


Slika 13. Princip rada i izgled mlaznice Elektrostatskog mist Ink Jeta- a) Princip, b) ispusni otvor mlaznice, c) reprodukcija nastala primjenom mist Ink Jeta.

2.3 KONSTRUKCIJA INK JET GLAVA

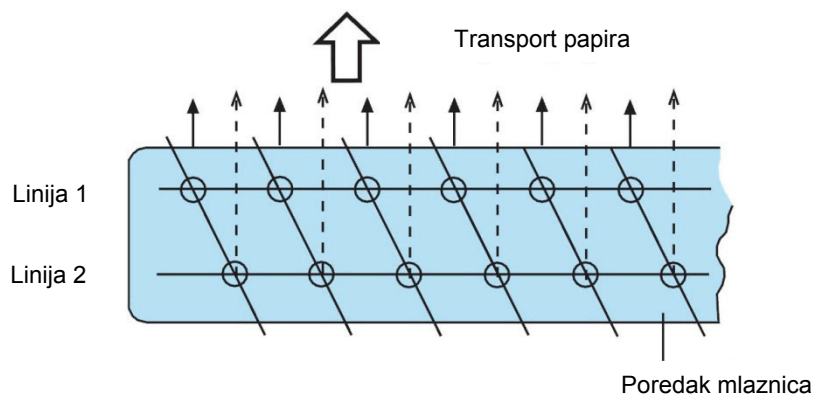
Da bi se stvorio Ink Jet sustav visoke produktivnosti, ispisna glava mora sadržavati veći broj mlaznica koje se umnažaju i redaju u niz. Pri radu ispisne glave Ink Jet pisača mogu se kretati na dva načina. Kod prvog načina glava je fiksirana (stoji na jednom mjestu) te se iz nje bojilo izbacuje u različitim smjerovima na tiskovnu podlogu, dok se kod drugog načina glava pomiče lijevo – desno i skeniranjem se bojilo nanosi linija po linija.

Tipičan pisač koji radi pomicanjem ispisne glave prikazan je na slici 14. U tom slučaju za otiskivanje 1 linije se koristi 96 ispisnih mlaznica (48 za crnu, 16 za cijan, 15 za magentu i 16 za žutu boju). Pisač može ispisati rezoluciju od 300 dpi i pri čemu su mlaznice razmaknute 500 μm . Ovakav tip konstrukcije je vrlo jednostavan te mu je i cijena proizvodnje niska.



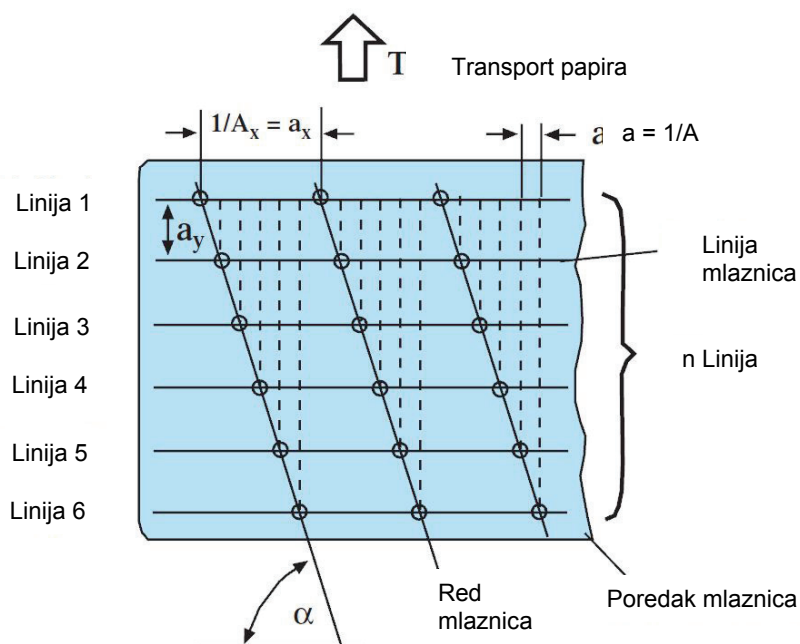
Slika 14. Primjer Ink Jet pisača sa 96 mlaznica

Da bi se rezolucija udvostručila ispisnoj glavi se mora dodati još jedan red mlaznica koji mora biti malo otklonjen u stranu (druga linija mlaznica mora biti pomaknut u stranu kako ne bi došlo do preklapanja sa mlaznicama iz prve linije) (Slika 15).



Slika 15. Poredak mlaznica u dvije linije

Moguće je dodavati i više od dvije linije mlaznica. Pri tom će rezolucija ispisa ovisiti o osnovnom razmaku između mlaznica u jednom redu. Razmak između mlaznica definiran je kao $1/A_x = a_x$ pri čemu je A_x rezolucija linije (obično 100 dpi), n je Broj linija (obično 6), a_y je razmak između linija. Na slici 16 je pokazan primjer sa šest redova. S time se može postići rezoluciju od 600 dpi pri čemu svaki red mlaznica može postići maksimalnu rezoluciju od 100 dpi. Za konačnu kvalitetu otiska bitan je razmak između mlaznica u ispisnoj glavi. On je ovisan o broju linija mlaznica $a = 1/A$.

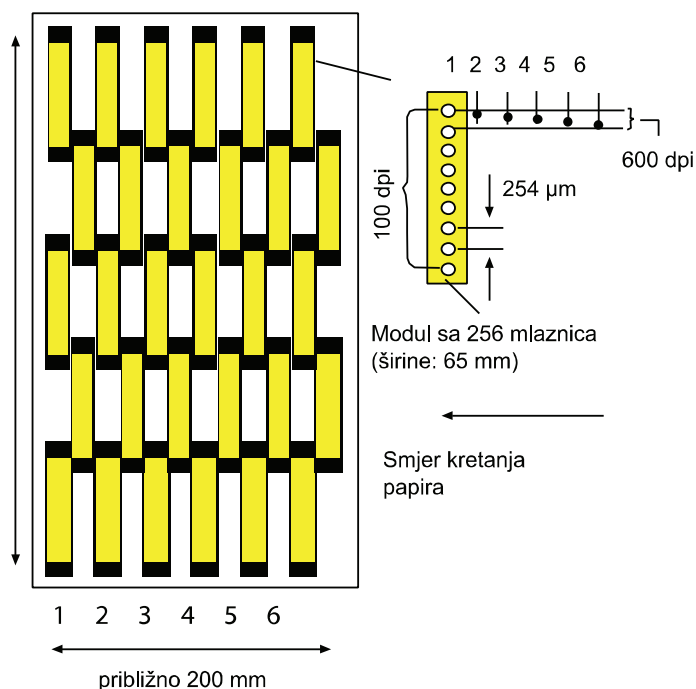


Slika 16. Poredak mlaznica u 6 linija

Rezolucija ispisa se tako može povećati ako je gustoća poretka unutar jednog reda velika (manji broj ispisnih linija) ali i rijetkim poretkom unutar jedne linije ali s sa većim brojem linija. $B = (m - 1) \cdot a^* \cdot \sin\beta$ (m je broj mlaznica po redu). Pritom je ispisna rezolucija definirana kao $A = A^* / \sin\beta = 1 / (a^* \cdot \sin\beta) = 1 / a$.

Kod sistema sa više linija mlaznica mora se uzeti u obzir da se pri povećanju rezolucije mora prilagođavati i veličine piksela. Za veću ispisnu rezoluciju pikseli moraju biti manji.

Potpuno drugačija je takozvana modularna konstrukcija. Položaj mlaznica je pritom konstantan i pokriva čitavu širinu ispisa. Primjeri takve ispisne glave mogu biti sastavljene od trideset modula da bi se ostvarila rezolucija od 600 dpi i širina otiskivanja od 325 mm. Svaki modul ima 256 mlaznica koje su međusobno udaljene $254 \mu\text{m}$. S jednim modulom možemo postići rezoluciju od 100 dpi. Moduli su postavljeni u šest redova tako da maksimalna rezolucija iznosi 600 dpi. Ovaj sistem zahtjeva izuzetno precizno usklađivanje i mehaničku preciznost kod kontrole svakog modula. Ovakvom konstrukcijom postiže se velika brzina otiskivanja manjih formata i mogućnost povećanja ispisnog formata (dodavanjem novih modula).



Slika 17. Prikaz modularnog ispisa glave rezolucije od 600 dpi

2.4 BOJILA ZA INK JET

Bojila za Ink Jet se dijele na tekuća i taljiva bojila. Tekuća bojila se dijele na standardna (bojila na bazi vode i bojila na bazi otapala) i UV boje. U Ink Jet tehnologiji otiskivanja uglavnom se koriste tekuća bojila iako neki sustavi Drop On Demand Ink Jeta mogu koristiti taljeno bojilo.

Treba istaknuti činjenicu da se sa tekućim bojilom može ostvariti vrlo tanak nanos boje. Bojilo koja će se koristiti u Ink Jetu bitno je određeno svojstvima tiskovne podloge, mjestu korištenja i procesom sušenja. Važni parametri bojila su viskozitet te površinska napetost.

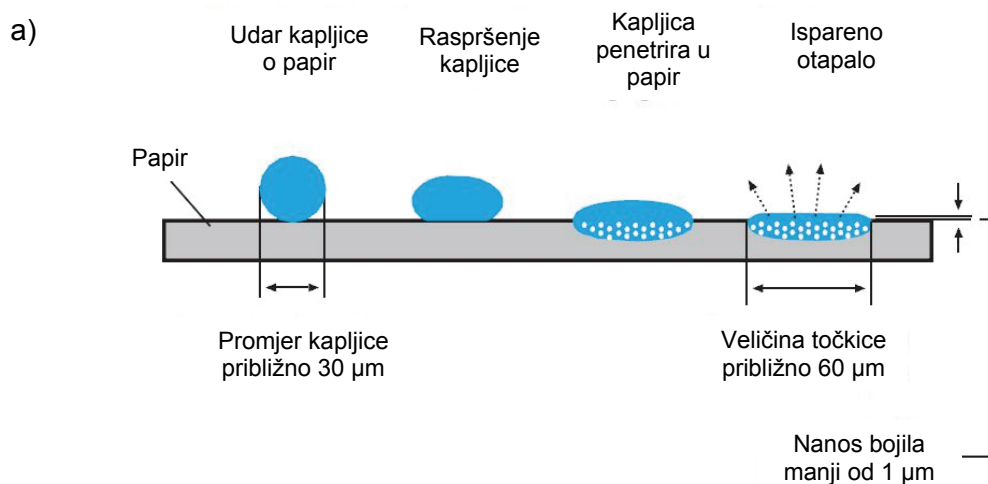
Ako se koriste bojila sa niskom viskoznošću, proces sušenja se događa kroz isparavanje i apsorpciju. Proces isparavanja se može ubrzati primjenom topline. Kod UV sušećih boja u procesu sušenja uključuje se UV svjetlost koja je neophodna za skrućivanje. Takva bojila koja se suše odmah nakon procesa tiska (fotoinicijatori započinju s procesom polimerizacije).

Tablica 1: Ink Jet bojila i njihov mehanizam sušenja

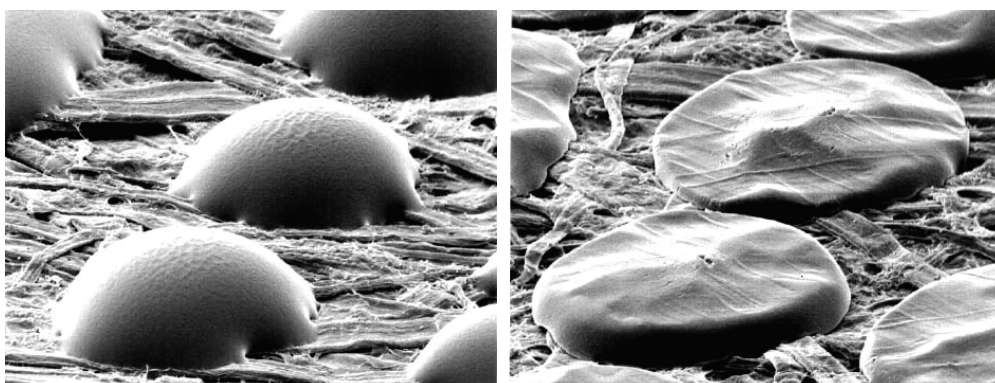
Bojilo	Ispisna glava	Mehanizam sušenja
Dye bojilo	Termalna / Piezo	Kontinuirana apsorpcija / Upijanje i isparavanje
Bojilo na bazi ulja	Kontinuirani Piezo	Apsorpcija / Upijanje
Solventno bojilo	Kontinuirani Piezo	Isparavanje
Taljivo bojilo	Piezo	Stvrdnjivanje
UV bojilo	Kontinuirani Piezo	Polimerizacija

Različita interakcija bojila i tiskovne podloge dati će različitu debljinu nanosa. To uvelike utječe na otiske u višebojnom tisku. Ako se koriste tekuća Ink Jet bojila, debljina nanosa boje kreće se oko 0.5 μm . U slučaju UV boja i taljivih bojila debljina nanosa kreće se između 10 i 15 μm . Deblji nanos stvara takvu reljefnu strukturu koja može utjecati na konačni vizualni dojam.

Interakciju jedne kapljice bojila sa papirnom tiskovnom podlogom pokazuje slika 18. Površinska svojstva papira određuju raspršivanje i upijanje u podlogu. Bojila na bazi vode i bojila na bazi organskih otapala sadržavaju nosioce obojenja i veziva stvarajući vrlo tanak nanos (manji od 1 μm). On nastaje nakon isparavanja i upijanja tekućeg dijela bojila nakon čega slijedi isparavanje.



b)

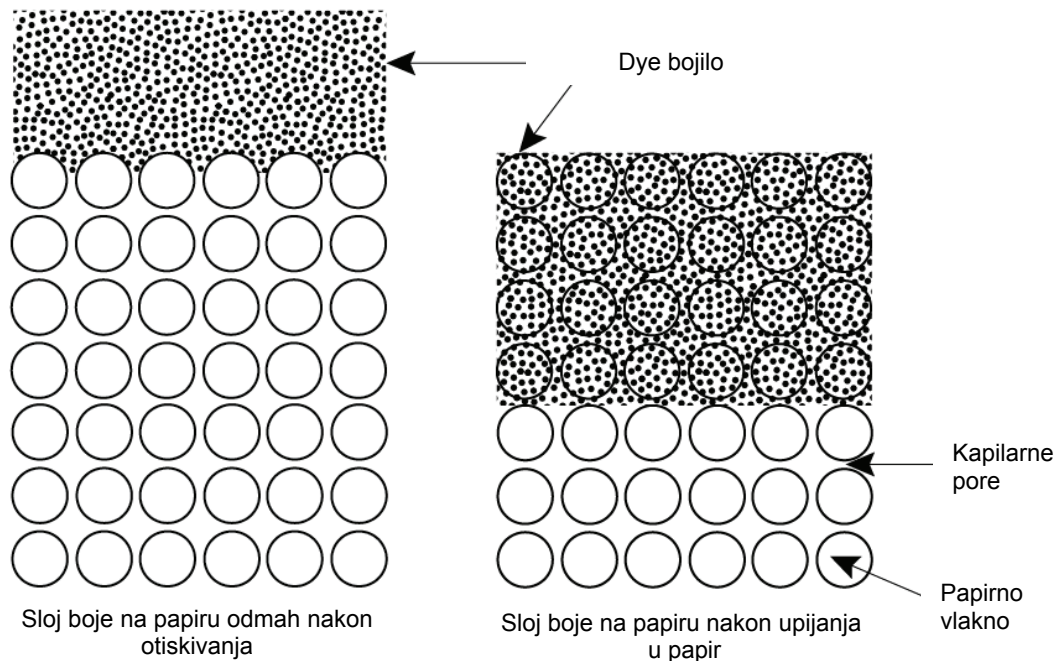


Slika 18. Primjer interakcije kapljice bojila s papirom u Ink Jet tehnologiji: a) Početak interakcija boje i tiskovne podloge, b) Završetak interakcije procesa sušenja jednog rasterskog elementa

2.4.1 DYE BOJILA

Dye bojila su najuobičajenija kod Ink Jet tehnike otiskivanja. Kolorno gledano ona su kvalitetnija od pigmentiranih bojila jer se mogu dobiti intenzivnije nijanse. Ona se sastoje od: demineralizirane vode, alkohola (ubrzava sušenje tinte) i izvorno obojene tekućine nastale otapanjem pigmenata u otopini (engl. dye). Dye bojila nisu skupa i omogućavaju dobar otisak visoke rezolucije i širokog kolornog gamuta. Glavni nedostatak im je to što je glavna komponenta voda koja se pri većem nanosu razlijeva i daje lošu kvalitetu otiska. Za rješavanje ovog problema dye bojilima dodaju se otapala koja brzo hlape.

Za rješavanje tog problema moguć je točan odabir tiskovne podloge. Dye bojila su vrlo osjetljiva na vrstu papira na koji se otiskuje. Naravni papiri posjeduju mnoštvo vlakana koja upijaju bojilo u cijelosti. Kolorna vrijednost je reducirana jer je celulozno vlakno upilo glavninu koloranta. Rezultat toga je razlijevanje u rubnim zonama otisnutog tiskovnog elementa. Pri tom je površinska napetost tiskovne podloge presudna. Ako je površinska napetost tiskovne podloge manja od površinske napetosti ona će privući bojilo i zadržavati će ga na mjestu sve dok se tekuća komponenta boje ne upije u tiskovnu podlogu. Dodatna prednost otiska nastala sa dye bojilima je da molekule bojila kemijski reagiraju s sastojcima. To znači da se postiže bolja optička jasnoća te dodaci međusobno bolje reagiraju i povećavaju intenzitet. Nedostatak dye bojila je to što brzo blijede pogotovo djelovanjem UV zračenja.



Slika 19. Sušenje dye bojila na tiskovnoj podlozi

2.4.2 PIGMENTNA BOJILA

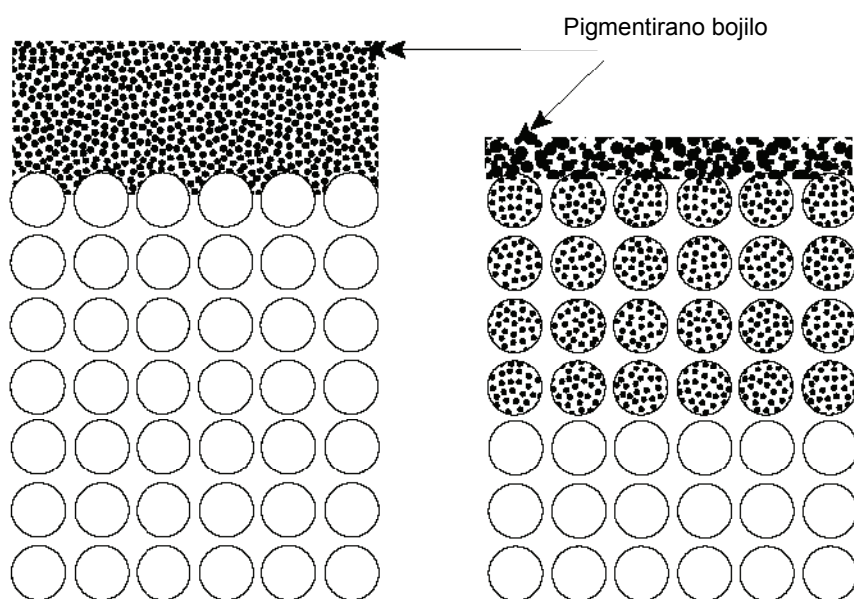
Umjesto izvorno obojene tekućine pigmentirana bojila sadrže kapsulirane čestice pigmenta koje su raspršene u otapalu. Pigmentna bojila daju otisake koji je više otporniji na vlagu od otisaka sa dye bojilima. Pigmentirana bojila imaju i svojih nedostataka. Crno bojilo sadrži crni ugljikov pigment i samo uistinu dobre disperzije mogu dati pravi crni ton. Vrlo je važno da čestice pigmenta budu sitne (200 nm i manje). U slučaju postojanja većih

čestica može doći do začepjenja mlaznica, lošeg nanosa bojila na tiskovnu podlogu i oštećenja Ink-Jet ispisne glave.

Proizvodnja pigmentnih bojila se odvija u dvije faze:

- Nakupine pigmenta se razbijaju u pojedinačne čestice koristeći pritom mehaničku miješalicu, nakon toga se dodatno usitnjavaju kako bi čestice bile što manje
- Sitne čestice pigmenta raspršuju se u odgovarajućem otapalu

U proizvodnji vrlo je važno da se primjeni otapalo koje zadržava svoju stabilnost tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Otiskivanje sa pigmentnim bojilima je skuplje od ostalih Ink Jet bojila, te se ovakva tehnologija koristi kod grafičkih proizvoda koji moraju biti otporni na vodu. Standardno pigmentirano bojilo se duže suši i u principu nije u potpunosti pogodno za tisak na neupojne materijale.



Slika 20. Sušenje pigmentiranog bojila na tiskovnoj podlozi

Tijekom otiskivanja otapalo je nosioc pigmenata. U kontaktu sa tiskovnom podlogom ono penetrira dok će gušće čestice pigmenata ostati akumulirana na površini tiskovne podloge. Kolorit otiska je zbog toga i veći.

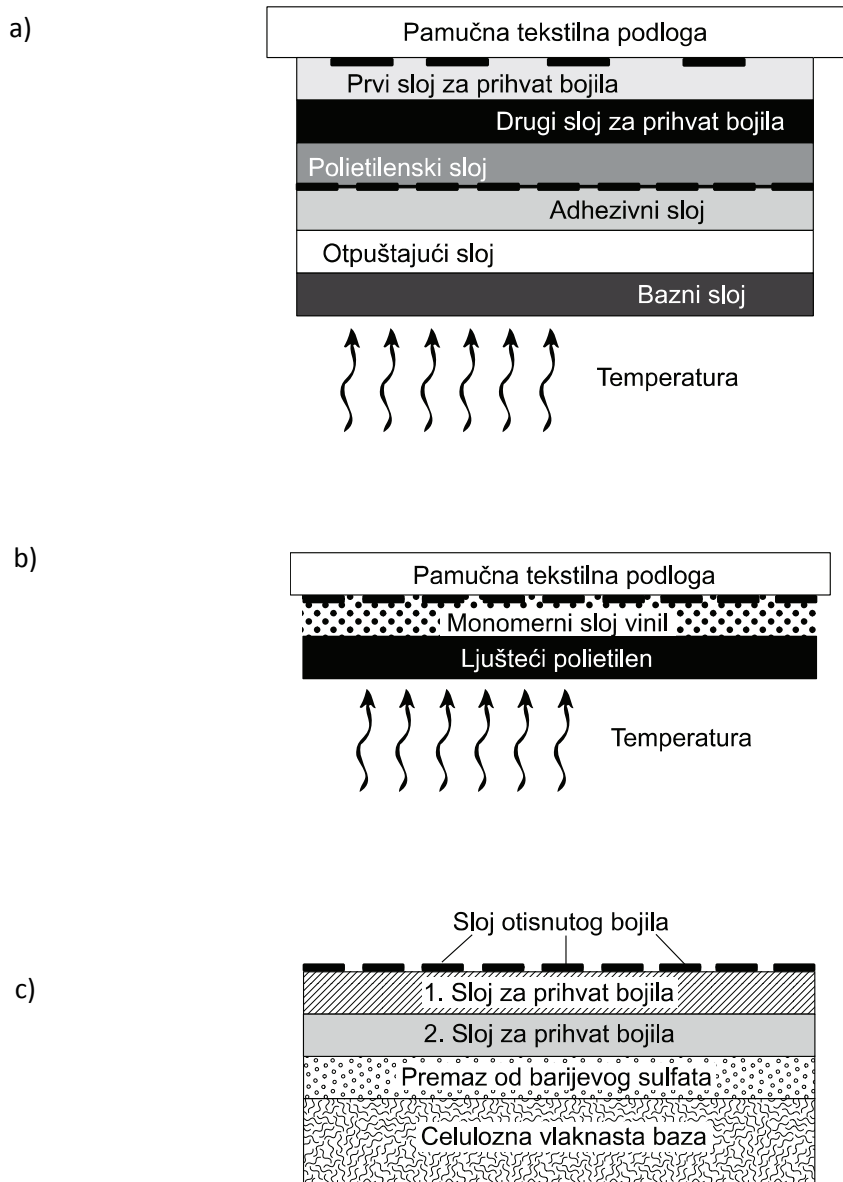
2.5 TISKOVNE PODLOGE ZA INK JET

Da ne bi došlo do problema prilikom otiskivanja Ink Jet bojila (dye i pigmentirana) zbog svojeg sastava moraju koristiti i specijalne tiskovne podloge.

Za postizanje visoko kvalitetnih reprodukcija, dye bojila se otiskuju na specijalnom papiru. Takav papir sadrži: papirnu celuloznu bazu, sloj barijevog sulfata i dva površinska prihvaćajuća sloja (slika 21c). Barij sulfat je izvrsno želatinsko vezivo koje čini dobru osnovu za premazivanje dva apsorbirajuća sloja. Usto barij sulfat posjeduje visoke akromatske vrijednosti te omogućava visoku refleksiju sa njegove površine. Time je postignut visoki tonski raspon nanesenih bojila.

Pigmentiranih bojilima moguće je lako postići kvalitetan otisak na neupojnim materijalima kao što su folije za transforni tisak na tkanine. Pritom se koriste jednostavni višeslojni prozirni materijali koji sadrže dva osnovna sloja: polietilenska folija (donji sloj) i monomerni vinilski (gornji sloj). Oni su međusobno povezani s termostabilnim ljepilom (slika 21b).

Folije za transforni tisak koji se otiskuju sa Ink Jet bojom na bazi vode složenijeg su sastava. Osnovni sloj čini premazani papir čija gramatura iznosi od 15 do 250 g/m². Na osnovu je nanesen 10 µm debeli otpuštajući sloj čija je osnova silikonski premaz (polietilenski i amidni vosak, teflon puder). Iznad premaza nalazi se ljepljivi sloj (amino – modificirano silikonsko ulje) koji posjeduje veliku osjetljivost na pritisak. Nakon toga slijedi centralni sloj za prihvat bojila, čiji je indeks taljenja vrlo nizak (unutar područja od 20° do 300° C što ovisi o upotrjebljenim spojevima: na bazi polietilena, etil akrilne kiseline, etilen vinil acetata, vinil acetata i etilen metakrilatnih kopolimer). Na kraju slijedi sloj prajmera na koji se može nanijeti dodatni sloj za prihvaćanje boje (slika 21a).



Slika 21. Presjeci osnovnih tiskovnih podloga prilagođenih za Ink Jet otiskivanje

Folije za termalni transfer na tkanine su materijali koji se mogu otiskivati na Ink Jet printerima, nakon čega se pod utjecajem temperature i tlaka prenose na tkaninu. Ink Jet transferne folije mogu se pronaći u dvije varijante: a) za svjetlo obojenu tkaninu ili b) za tamno obojenu tkaninu. Za svijetle tkanine ne može se koristiti transferna folija za tamnu tkaninu jer je njegov osnovan sloj transparentan. Standardni Ink Jet printer ne može tiskati bijelu boju, tako da na takvim otiscima dominira tekstilna podloga. Ink Jet transferna folija za tamne tkanine nije transparentna već bijela. U ovom slučaju bijela pozadina će biti na slobodnim površinama te će tkanina u potpunosti biti prekrivena (struktura tkanine neće biti vidljiva). Otpornost na pranje tekstilnog otiska nastalog sa Ink Jet transfernom folijom

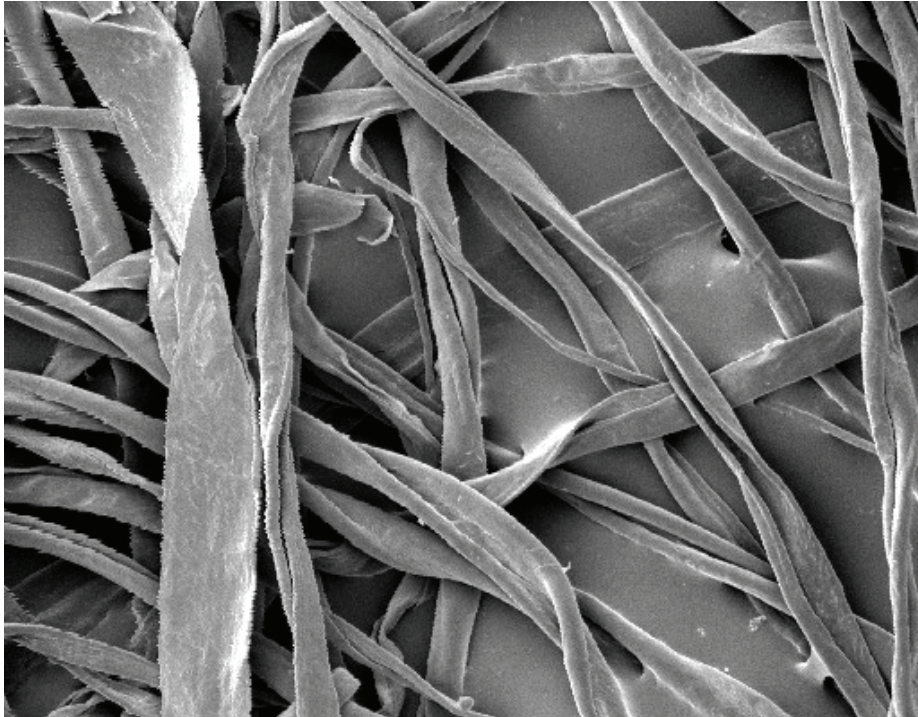
nije dobra kao za otiske otisnute tehnikom sitotiska. Međutim, slijedeći upute za primjenu transfernih folija izdržljivost će se znatno povećati.

PAMUČNA TKANINA

Pamuk je mekano, pahuljasto i sortirano vlakno koje nastaje oko sjemenki biljke *Gossypium barbadense*. Zbog specifičnih klimatskih uvjeta biljka pamuk uspijeva u suhim i tropskim predjelima sjeverne i južne hemisfere. Njih karakteriziraju duga razdoblja bez mraza, umjerene kiši i obilje sunca.

Vlakna se predu, nižu i kako bi se napravila mekana, prozračna tekstilna tvorevina. Primjenu je pronašlo u današnjoj izradi odjevnih predmeta. Pamuk je jeftin i savitljiv materijal i od njega se lako može napraviti končana tvorevina koja se dobro pere i dugo traje. Kemijski sastav sirovog pamuka relativno je jednostavan. Osnovne komponente su celuloza (80 – 90%) i voda (6 – 8%). U sirovom pamuku moguće je pronaći još voskove i masti (0,5 – 1%), bjelančevine (0 – 1,5%), hemicelulozu i pektin (4 – 6%) i pepeo (1 – 1,8%). Kod izbora pamuka koji će se upotrijebiti u tekstilnoj industriji moraju se uzeti sljedeći parametri: količine vlakanaca, vrsta vlakanaca, nečistoće, boja, sjaj, maksimalna i srednja dužina vlakana i čvrstoća vlakanaca.

Najkvalitetnija vlakna se koriste za proizvodnju fine tkanine, dok se kraća koriste većinom za industrijsku proizvodnju (konac, vrpce). Kada pamuk podvrgnemo impregnaciji onda se on može koristiti za izradu vodonepropusnih proizvoda (kišobrani i kabanice). Pamuk kao tiskovna podloga je: mekan, dobro upija, zadržava boju, te su na njemu otisci dobri, strojno je periv, ima dobra mehanička svojstva i može se kemijski čistiti.



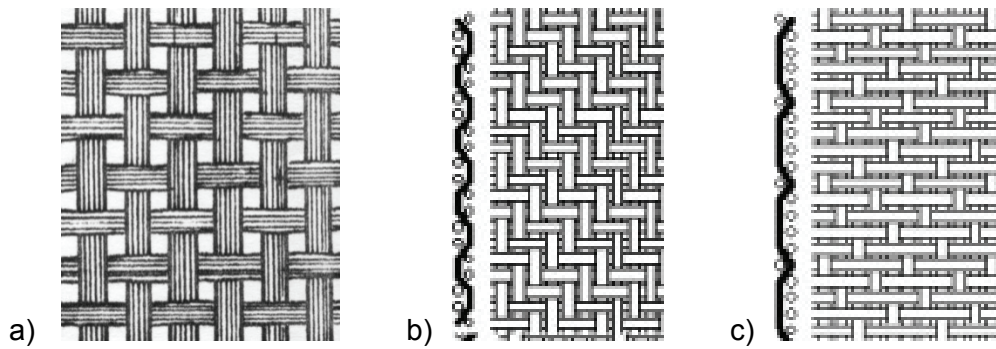
Slika 22. Prikaz uvećanih vlakna pamuka

Pletenjem ili tkanjem pamuk se može napraviti u odjevne predmete pritom je tkanje osobito važno za definiranje budućih svojstva tkanine. Postoje više vrsta tkanja, a najčešće korištena su: jednostavno tkanje, keper tkanje i saten tkanje.

Jednostavno (obično) tkanje koristi se za 80% pletenih tkanina i tehnički je najjednostavnije za izradu (slika 23a). Pamučne niti isprepliću se jedna ispod druge stvarajući tako jednostavne tkanine (sukno, platno i muslin).

Keper tkanje nastaje kada više osnovnih vertikalnih niti prelazi preko većeg broja horizontalnih niti vršeci pritom ispreplitanje (slika 23b). Ovakvo tkanje najčešće se koristi za izradu traperica. Ako se bolje pogleda uzorak mogu se vidjeti dominantne linije koje se protežu materijalom. Ovakav tip kepera još se zove i 2/1 (dvije osnovne niti i samo jedna sporedna). Ostali uzorci veza mogu biti kao riblja kost i slomljeni keper.

Satensko tkanje vrlo je komplicirano. Takvo tkanje može se prepoznati jer je lice tkanine skoro u potpunosti napravljeno od osnovnih niti (vertikalnih). U satenskom tkanju, vertikalne niti idu ispod četiri horizontalne niti (slika 23c). Ovo tkanje daje glatkoću satenu i čišću prednju stranu tkanice. Primjeri satenskog tkanja su baronet saten, krep saten i svileni saten.



Slika 23. Vrste tkanja pamučnih vlakana: a) jednostavno tkanje, b) keper tkanje, c) satensko tkanje

Da bi se smanjila ovisnost o teškim pesticidima izvršena je genetska modifikacija pamuka. Dodatkom Bt toksina nastaje biljka Guspu koja sama proizvodi insekticid u svojim tkivima. Glavne štetočine su ličinke leptira koje se uništavaju prisustvom Bt proteina. S ovim postupkom smanjuje se korištenje insekticida što dovodi do povećanja proizvodnje (danas 90% pamuka je dobiveno ovim načinom).

3 EKSPERIMENTALNI RAD

3.1 PLAN EKSPERIMENTA

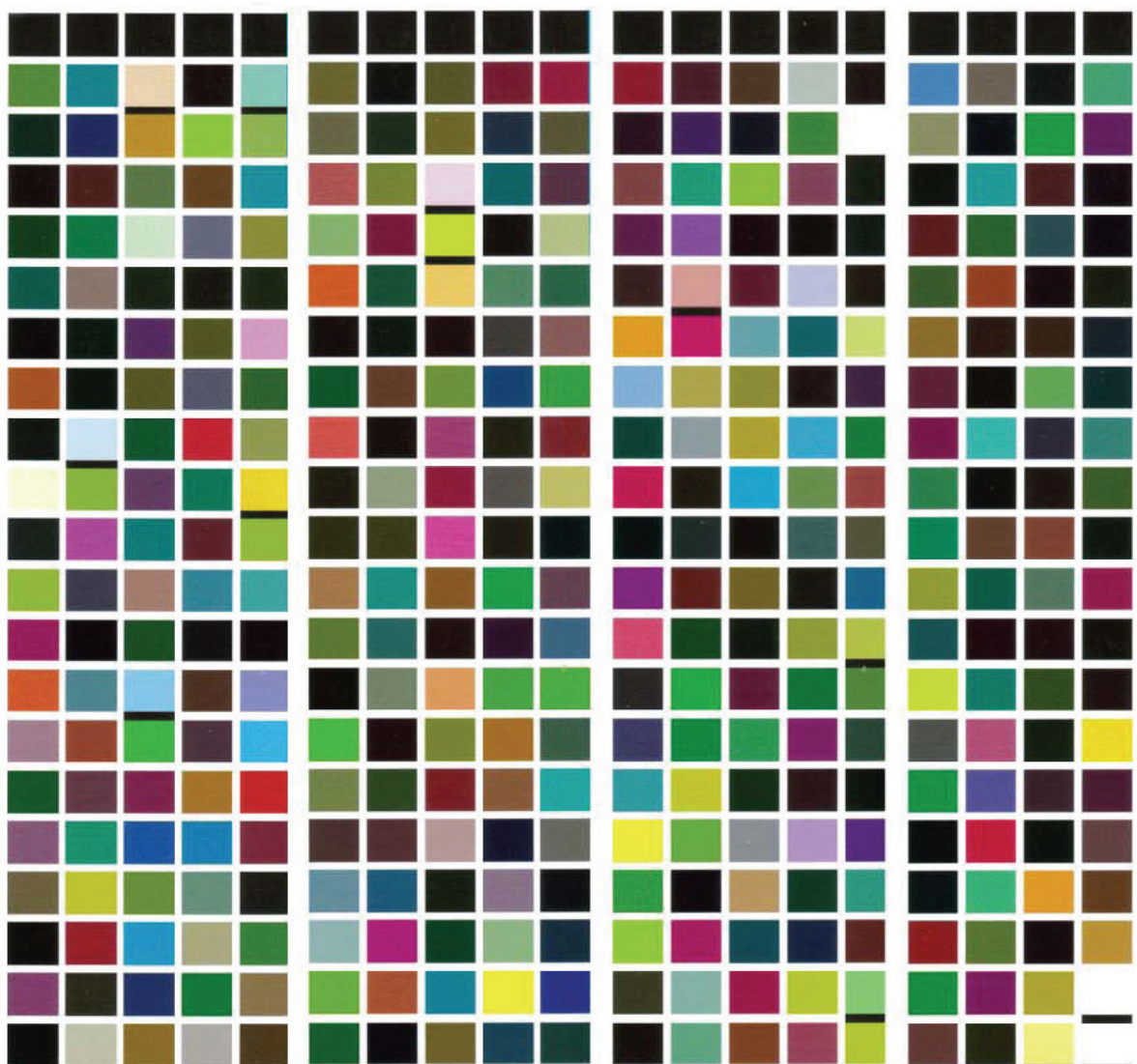
Otiskivanje na bijele pamučne tkanine moguće je izvršiti na 2 načina: direktnim Ink Jet tiskom te indirektnim termalnim transferom Ink Jet folija na tkaninu. Za otiskivanje eksperimentalnih uzoraka koristi se pisač Epson R2400 Photo. Da bi se postiglo kolorimetrijski kontrolirano otiskivanje, tiskovna forma provodi se u specifičan rasterski oblik. Pritom je za pisač korišten softverski EFI RIP, pri čemu je primijenjen kolor menagment sa ICC Profilom: ISO coated. Sa rezolucijom od 1440 dpi ispisana je tiskovna forma na foliju Iron On (Uzorak 1). Na dobivenim otiscima istražiti će se promjena u boji nakon transfera na pamučnu tkaninu i nakon 9 pranja u perilici za rublje Gorenje WA 543 pri temperaturama od 40 i 90°C.

U ovom radu analiziran je indirektni termalni transfer Ink Jet otisaka nastalih sa pigmentiranim bojama na bazi vode. Samim time istražena je kolorna promjena (CIE ΔE) nastala termalnim transferom. Pritom je korištena SwingMan termalna preša površine 40x50 cm, pritisaka od 25900 Pa, temperature $T=80^{\circ}\text{C}$.. Pritom u trajanju od $t= 20$ sekundi nastali su Uzorci 2 (tkanina sa apliciranom Iron On folijom).

Za ovo istraživanje izrađena je digitalizirana tiskovna forma koja sadrži ECI formu od 378 polja pomoću kojih je napravljen ICC profil i 3D gamut. Za precizniju analizu korištena su karakteristična polja. To su: Osnovne procesne boje u punom tonu (CMY) i RGB boje u punom tonu, osnovne procesne boje s rasterom od 25% za CMY, i 33% za K.

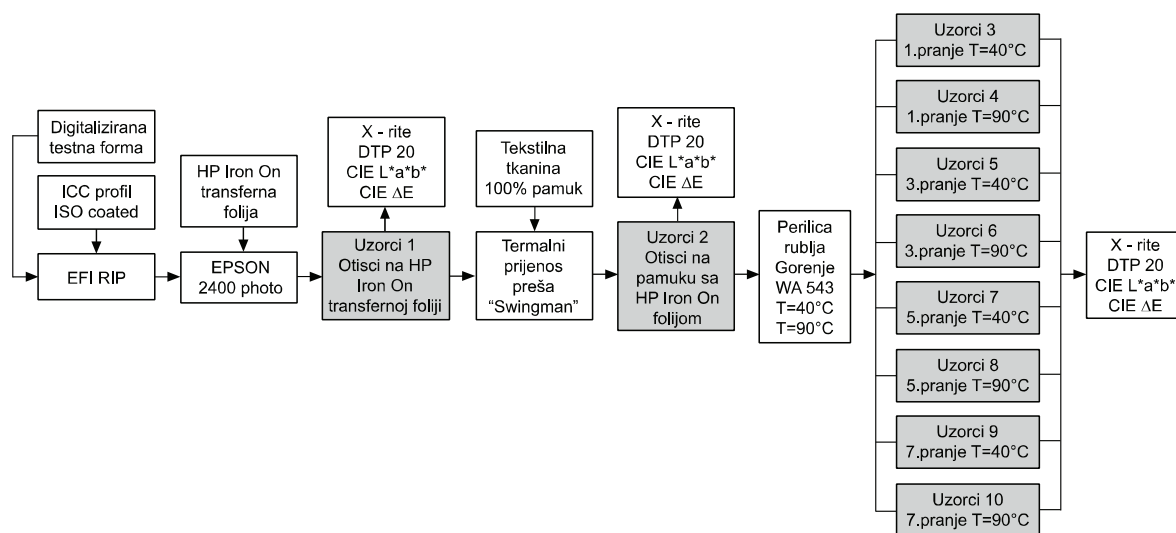
Faktor pranja transferiranih tkanina utječe na kvalitetu obojenja. Većim brojem pranja dolazi do kemijske i mehaničke degradacije transferne folije zajedno sa slojem otisnute boje. U ovom radu biti će istražena količina degradacije koja nastati tijekom klasičnih pranja. Pritom će se primijeniti kolorimetrijska mjerna metoda.

Za mjerenje otisaka korišten je spektrofotometar X – Rite DTP 20 koji radi s aplikacijom ColorShopX. Rezultati tih mjerenja prikazani su u $L^*a^*b^*$ dijagramima iz kojih je moguće izračunati razlike u obojenju ΔE , razliku u svjetlini ΔL i ΔC razliku u kromatičnosti.



Slika 24. Tiskovna forma korištena za ovo ispitivanje

Za vizualnu kontrolu dobiveni rezultati su prikazani i pomoću slikovne analize sa uređajem Personal IAS pri čemu su otisci uvećani 10x.



Slika 25. Razvijena shema eksperimenta

3.2 KORIŠTENI UREĐAJI I STROJEVI

3.2.1 X – RITE DTP 20

X – Rite je spektrofotometar kojim na precizan način može odrediti obojenje. Uređaj ima kapacitet za spremanje mjerenja od 256 bez da je spojen s računalom (portable).

Komuniciranje između uređaja i računala vrši se uz pomoć programa ColorShopX s kojim je moguće dobiti sljedeće podatke: Lab, XYZ, xyY, LCh, RGB, PANTONE uzoraka, gustoća obojenja statusom A, gustoća obojenja statusom E, gustoća obojenja statusom M, gustoća obojenja statusom T, RTV-a, razlika između uzoraka, spektralne refleksije i spektralne transmisije.



Slika 26. Spektrofotometar X – Rite DTP 20 „Pulse“

Tablica 2. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite DTP 20

Uređaj	X –Rite DTP 20
Točnost	<1ΔE max., <5 prosjek
Spektralni senzor	DRS tehnologija
Spektralni opseg mjerenja	400 – 700 nm
Ponovljivost	0,2 ΔE max ± 0,01 D max
Brzina mjerenja	2 s po mjerenju
Interno instrumentsko slaganje	<1ΔE max., <0,5 prosjek
Mjerna geometrija	0/45° ANSI i ISO standard
Izlaz	31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T,I,A,M i E)
Dimenzije / masa	6,9 x 7,6 x 13,7 cm / 340 g
Izvor svjetlosti	A, C, D ₅₀ , D ₅₅ , D ₆₅ , D ₇₅ , F ₂ , F ₇ , F ₁₁ , F ₁₂
Kut promatranja po CIE	2°, 10°
Mjerni zaslon	4 mm

3.2.2 EPSON STYLUS PHOTO R2400

Ink Jet printer Epson Stylus Photo R2400 otiskuje visokokvalitetne otiske u koloru i akromatski. Pisač koristi pigmentirane tinte (Ultrakrome K3) koje uključuju tri akromatske boje (K, LK, LLK), dva cijana (C, LC), dvije magente (M, LM) i žutu (Y). To postavlja novi standard u visokokvalitetnom ispisu fotografija. Ovisno o sjajnoj ili mat podlozi ovisi i izbor crne (sjajna crna ili mat crna).

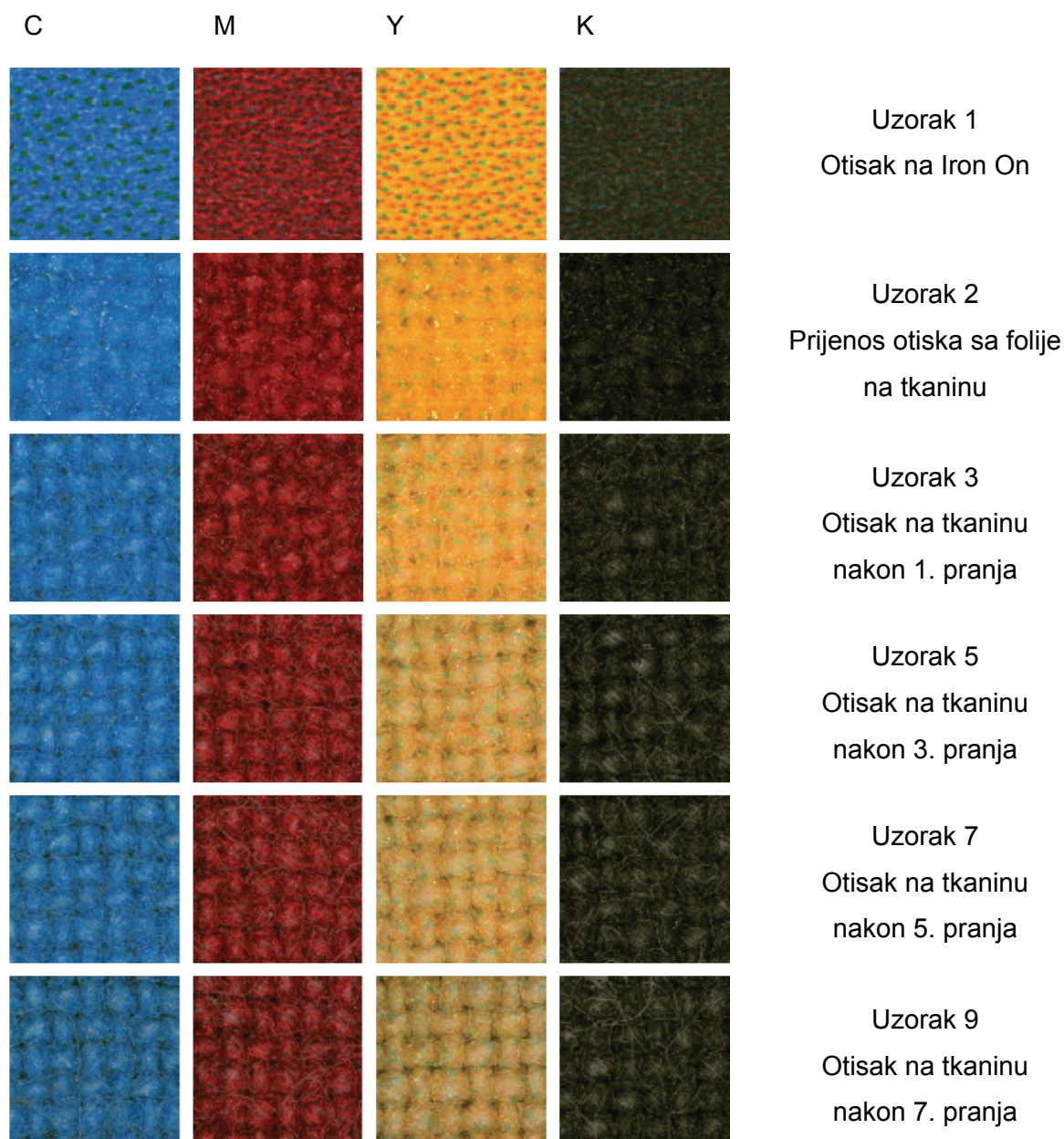
Brzina otiskivanja maksimalne površine (27,9 x 35,5 cm) je 1 minuta i 47 sekundi. Printer može ispisivati na različite papirne podloge, role, umjetničke i kartonske medije.

Tablica 3. Karakteristike Epson Stylus Photo R2400 printera:

Vrsta tiskovne glave	Piezo Ink Jet
Max veličina otiska	A3+
Min veličina kapljice	3 – 5 pl
Max širina role	33 cm
Max debljina papira	1 – 1,3 mm
Postojanost	Foto papir: u boji (70 god.), crno-bijeli (100 god.)
Razina buke	47 dB (A) max
Ekološki uvjeti	Temperatura: 10 – 35 °C (u radu) Vlažnost: 20% - 80% (u radu)
Potreban napon	220 V DC
Potrošnja struje	Oko 20 W u radu; 2 W u pripravnosti
Memorija	64 KB
Vrsta veze	USB 2.0, FireWire
Ulaz papira	Arci su ručno uloženi sa prednje strane ili se automatski dovode
Debljina arka kod automaskog dovoda	0,08 – 0,27 mm
Debljina role papira	0,29 – 0,48 mm
Debljina araka kod ručnog ulaganja	1,3 mm

4 REZULTATI I DISKUSIJA

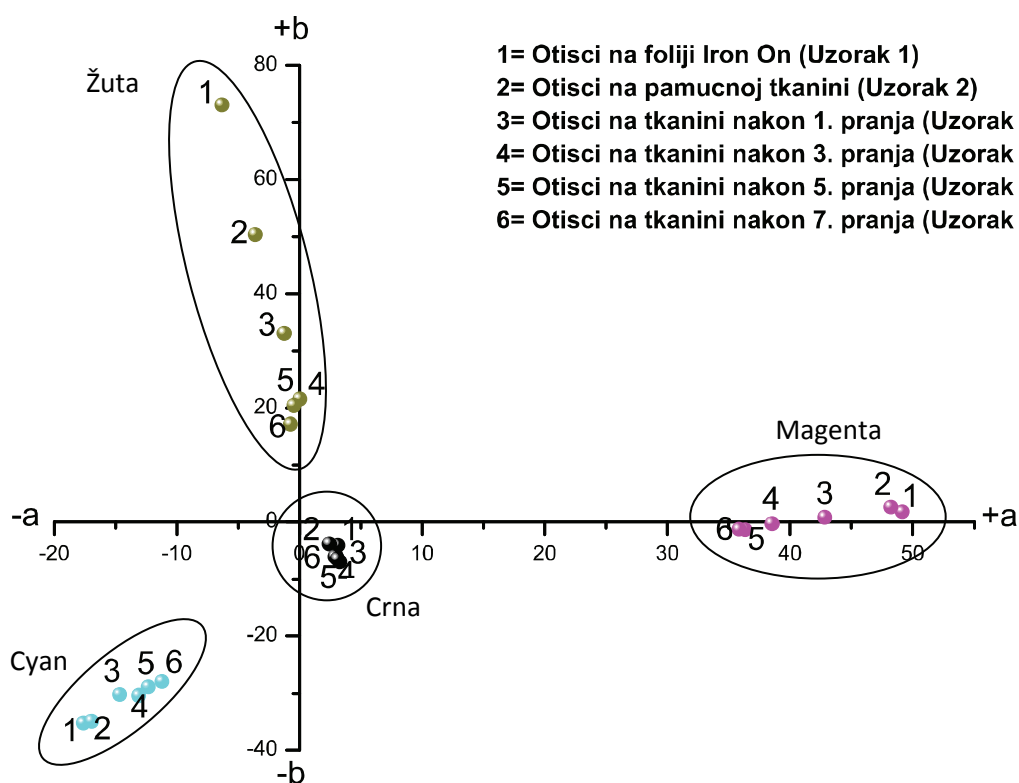
Opće poznato je da mehaničkim i kemijskim djelovanjima transferirane tkanine najviše utječemo na obojenje. To je izraženo tijekom pranja. Uzastopnim pranjem doći će do degradacija otisnutih transfernih folija. Rezultati prenašanja Iron On folije na pamučnu tkaninu kao i utjecaj različitog broja pranja ($T=40^{\circ}\text{C}$) prikazani su na slikama od 27 do 44. Pri eksperimentu je izvršeno ukupno 7 pranja od kojih su prikazana samo karakteristična.



Slika 27. Mikroskopske fotografije (uvećana 10x) punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x

Na slikama 27, 30 i 33 su prikazane izvorne fotografije dok su na slikama 28, 31 i 34 prikazani dvodimenzionalni rezultati, te slike 29, 32 i 35 prikazuju 3D rezultate. Uvećani prikaz uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 27. Bez obzira što se otiskuje puni ton EFI RIP printera ugrađuje u njega i rasterske elemente ostalih procesnih boja stvarajući tako toplije tonove. Otisci na tkanini pranjem gube određeni sloj boje čime dolazi do uočavanja strukture tkanine (nastale ispreplitanjem pamučnih vlakana). Sa većim pranjem taj uzorak postaje vidljiviji, a nanos boje slabiji.

Promjene osnovnih procesnih boja u punom tonu nastale tijekom sedam eksperimentalnih pranja (temperatura od 40°C) prikazane su na slici 28.



Slika 28. CIE ab dijagram kromatičnosti za pune tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Početna faza eksperimenta temelji se na Ink Jet otiskivanju na transfernu foliju Iron On. Pritom su dobiveni tonovi (oznaka 1) koji su kromatski najintenzivniji, pritom je udaljenost od akromatskog centra najveća. Općenito to vrijedi za sve kolorne boje (C, M, Y).

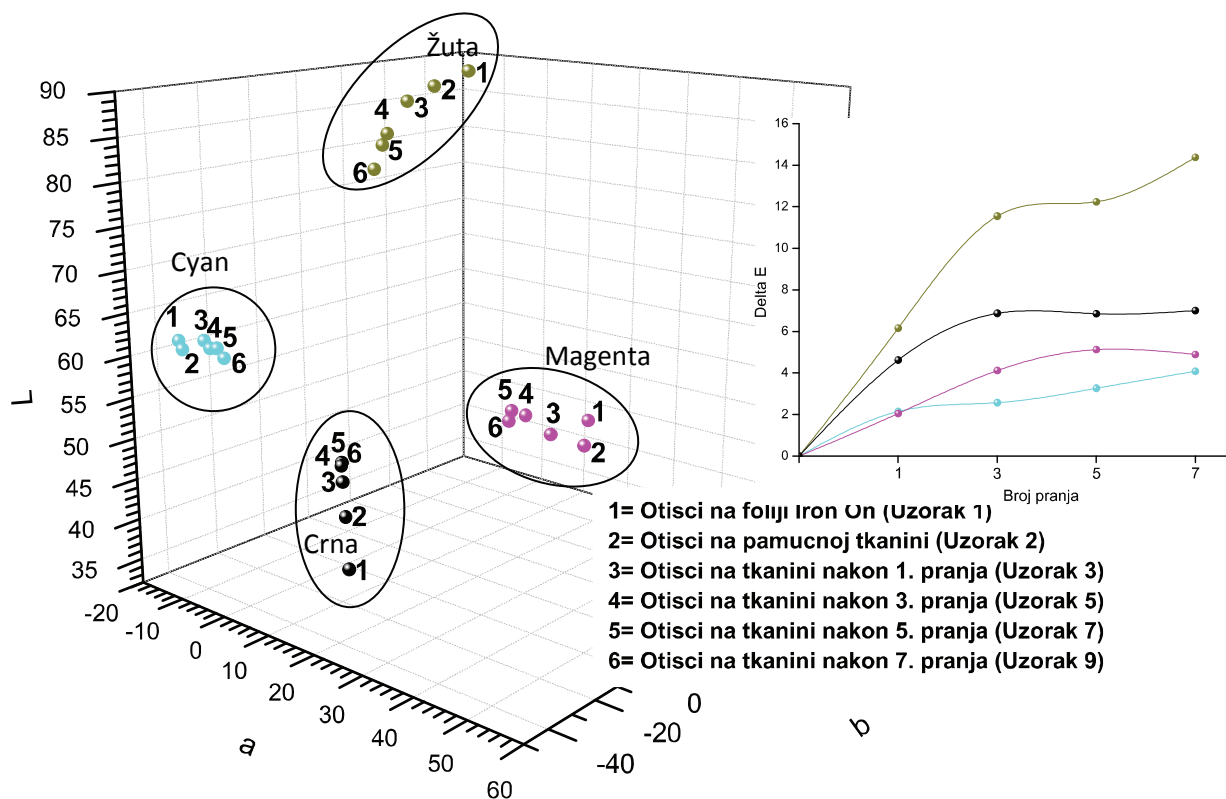
Nakon toga izvršenog termalnog transfera na pamučnoj tkanini dobiven je (uzorak 2). Pritom dolazi do pada u kromatičnosti koji je najizraženiji kod žute boje ($\Delta C_{Y1-Y2} = 6,03$) dok je znatno manji kod magente ($\Delta C_{M1-M2} = 0,28$) i cijana ($\Delta C_{C1-C2} = 0,15$). Crna boja kromatski se ne mijenja zbog svoje specifične građe (čisti ugljik ima nisku ujednačenu reflektanciju po čitavom vidljivom spektru) $\Delta C_{K1-K2} = 0,74$.

Prvim pranjem (uzorak 3,) dogodit će se pad u kromatičnosti koji nije jednak za sve boje. Najveće promjene nastale su kod žute $\Delta C_{Y2-Y3} = 6,04$ te slijedi magenta $\Delta C_{M2-M3} = 1,79$ i cijan $\Delta C_{C2-C3} = 1,67$. Crna boja pranjem se kromatski ne mijenja $\Delta C_{K2-K3} = 0,7$.

Nakon trećeg pranja (uzorak 5) nastavit će se tendencija pada u kromatičnosti pri čemu žuta doživljava promjenu od $\Delta C_{Y2-Y4} = 11,05$, magenta $\Delta C_{M2-M4} = 3,31$ i cijan $\Delta C_{C2-C4} = 1,82$. Najveću promjenu u kromatičnosti između uzorak 3 i uzorka 5 uočava se kod žute boje $\Delta C_{Y3-Y4} = 5,01$. Kod crne boje karakteristično je to da se daljnjim pranjima neće utjecati na promjenu kromatičnosti. Nakon petog pranja (uzorak 7) nastavljen je pad kromatičnosti kod svih boja u podjednakoj mjeri: $\Delta C_{M2-M5} = 4,10$, cijana $\Delta C_{C2-C5} = 2,45$ i žute $\Delta C_{Y2-Y5} = 11,59$.

Posljednjim pranjem (uzorak 9) pad kromatičnosti je vrlo malen (kao i kod petog pranja) a najviše se vidi kod žute ($\Delta C_{Y2-Y6} = 13,24$, cijana $\Delta C_{C2-C6} = 2,85$ i magente $\Delta C_{M2-M6} = 4,31$). Razlika između uzorka 7 i 9 instrumentalno je vidljiva kao $\Delta C_{Y5-Y6} = 1,65$. Nakon trećeg pranja otisnuta tkanina kromatski se značajnije ne mijenja. Otisci pritom posjeduju najmanju kromatičnost i obojenje uzorka vrlo je loše. Osim kromatskim vrijednošću obojenje uzoraka je definirano i parametrom svjetline (L). Pogodni prikaz promjene svjetline može se prikazati u 3D grafikonu. Pri tome možemo izračunati i razliku u obojenju ΔE_{2000} .

Otiskivanjem na Iron On foliji sa Piezo Ink Jetom dobit će se početne vrijednosti čija je kromatičnost i svjetloća (L) vrlo visoka (uzorak 1). Termalnim prijenosom dobiva se (uzorak 2) pri čemu dolazi i do pada u obojenju. Najveće promjene vidljive su u žutoj $\Delta E_{Y1-Y2} = 6,09$ te u magenti $\Delta E_{M1-M2} = 2,85$ i cijan $\Delta E_{C1-C2} = 0,95$. Pritom je vidljivo da u kolornim reproduciranim tonovima dolazi i do pada svjetloće. Akromatska crna pokazuje potpunu suprotnu tendenciju te se ona termalnim transferom mijenja $\Delta E_{K1-K2} = 5,54$ pri čemu dolazi i do porasta u svjetlini.



Slika 29. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Prvim pranjem (uzorak 3) osnovne procesne boje doživljavaju sljedeće promjene u obojenju: žuta $\Delta E_{Y2-Y3} = 6,16$, cijan $\Delta E_{C2-C3} = 2,15$ i magenta $\Delta E_{M2-M3} = 2,05$. Pritom promjena po svjetlini nije značajna. Crna doživljava vrlo veliku razliku u obojenju ($\Delta E_{K2-K3} = 4,62$) pri čemu ta promjena nastaje samo po svjetloći $\Delta L_{K2-K3} = 4,24$.

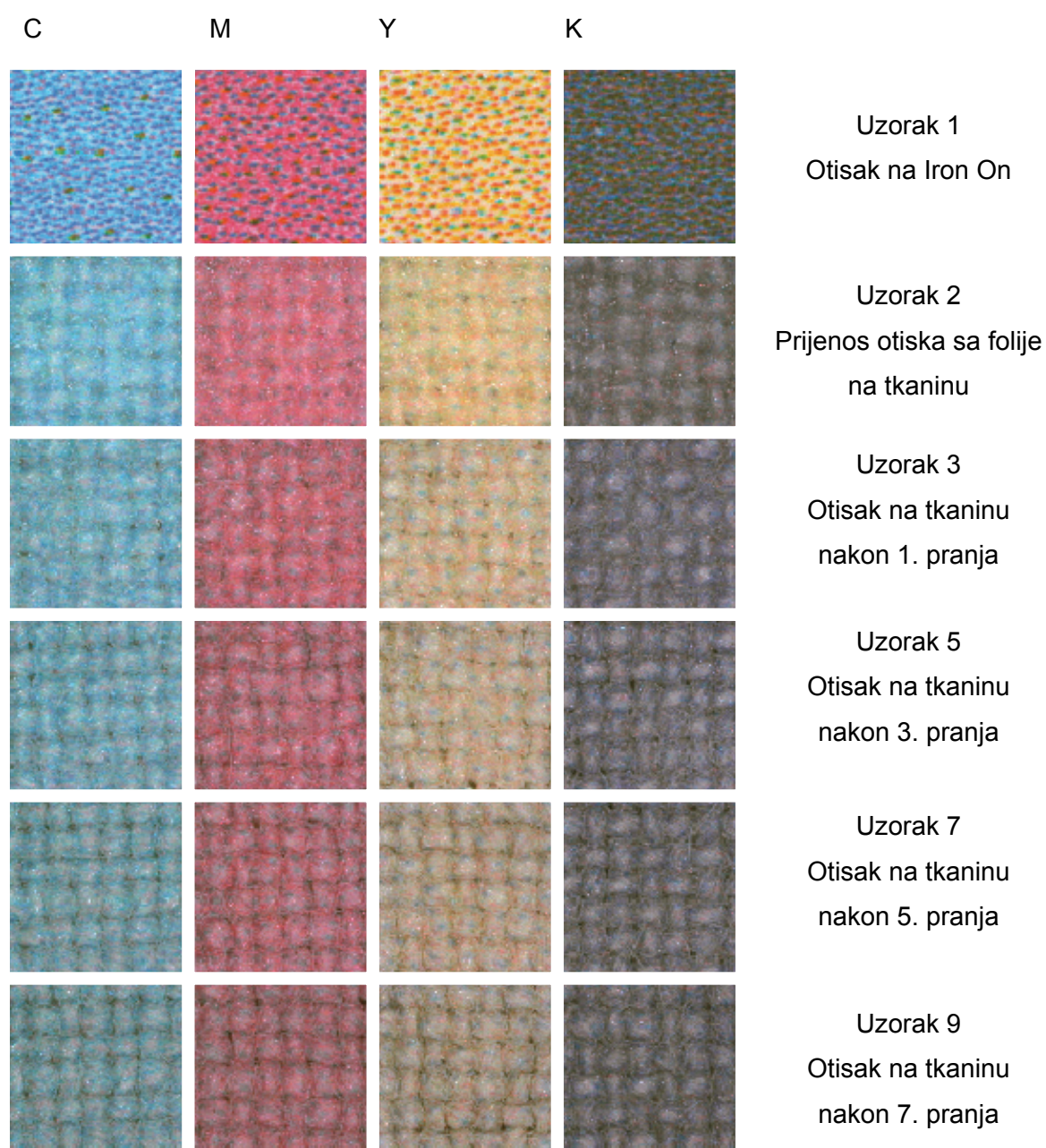
Trećim pranjem (uzorak 5) kod procesnih boja je došlo do sljedećih daljnjih promjena u obojenju: žuta $\Delta E_{Y2-Y4} = 11,55$, magenta $\Delta E_{M2-M4} = 4,12$ i cijan $\Delta E_{C2-C4} = 2,57$. Pritom se svjetloća ne mijenja. Iznimka je žuta kod koje je došlo do veće promjene u svjetlini $\Delta L_{Y2-Y4} = 2,80$. Kod akromatske crne nije došlo do veće promjene u obojenju ($\Delta E_{K2-K4} = 6,87$) pri čemu je od startne vrijednosti svjetlina porasla za $\Delta L_{K2-K4} = 6,34$.

U odnosu na referenti uzorak 2, peto pranje (uzorak 7) neće učiniti veće promjene (magenta $\Delta E_{M2-M5} = 5,12$, cijan $\Delta E_{C2-C5} = 3,26$, žuta $\Delta E_{Y2-Y5} = 12,23$ i $\Delta E_{K2-K5} = 6,85$). Između 3 i 5 pranja minimalno će se utjecati na obojenje tkanine (magenta $\Delta E_{M4-M5} = 1,0$, cijan $\Delta E_{C4-C5} = 0,69$, žuta $\Delta E_{Y4-Y5} = 0,68$ i $\Delta E_{K4-K5} = 0,51$), što je okom vidljivo.

Nakon posljednjeg sedmog pranja (uzorak 9) dolazi do najveće kolorne promjene (žuta $\Delta E_{Y2-Y6} = 14,38$, cijan $\Delta E_{C2-C6} = 4,08$ i magenta $\Delta E_{M2-M6} = 4,89$). Pritom u odnosu na 5 pranje

jedino je kod žute boje došlo do veće promjene i u obojenju i svjetlini $\Delta L_{Y5-Y6} = 1,84$. Akromatska crna doživjela je ukupnu promjenu u obojenju od ($\Delta E_{K2-K6} = 7,0$). Pritom se promijenjena ukupna svjetlina za $\Delta L_{K2-K6} = 6,63$, dok je promjena nastala nakon 7 i 9 pranja $\Delta L_{K5-K6} = 0,06$.

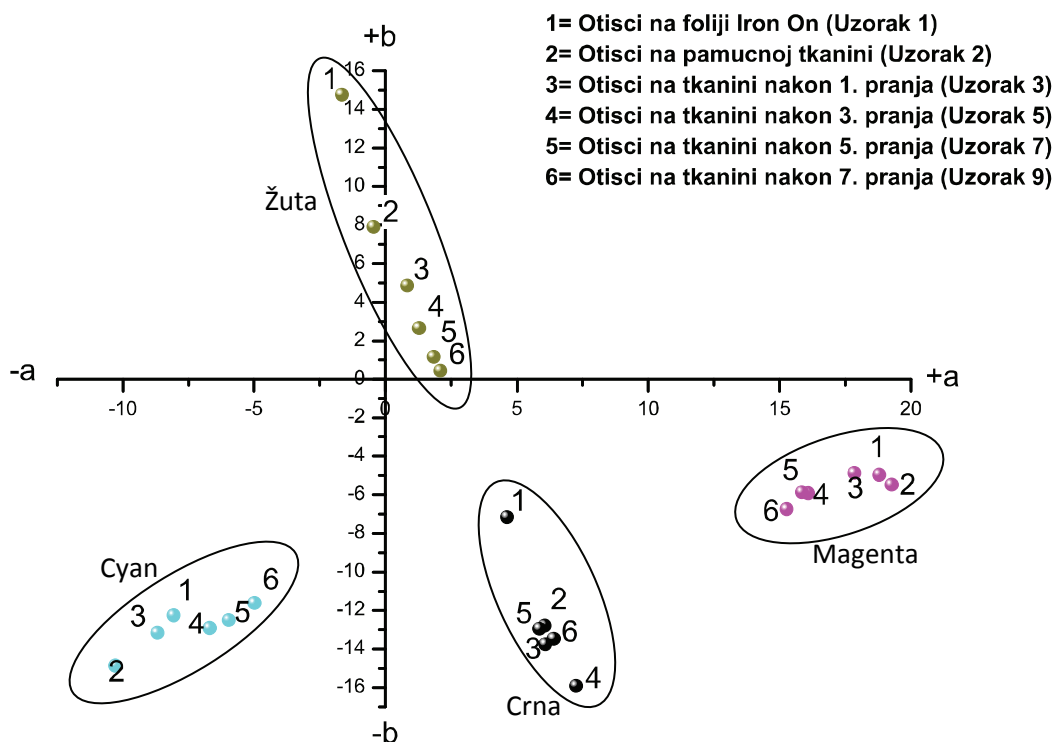
Uvećani prikaz rastriranih uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 30.



Slika 30. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^\circ$

Rasterske površine mnogo su složenije za reprodukciju. One osim rasterskih elemenata sadržavaju i određeni postotak slobodnih površina. Upravo zbog toga sitni tiskovni elementi su više osjetljivi na kemijsko i mehaničko djelovanje.

Tijekom transfera rastera boja se sjedinjuje s tkaninom pri čemu se gubi struktura rastera unutar strukture tkanja. Mikroskopski to se dobro uočava, doslovno se obrisi rasterskih elemenata gube i prelaze u kontinuirani ton. Vizualnom kontrolom tokom pranja struktura tkanine postaje sve vidljivija (točke preklapanja niti postaju sve veće i veće). Kromatske promjene nastalih procesnih boja u rasterskom tonu (25% za CMY i 33% za K) nastale tijekom eksperimentalnog pranja (temperatura od $T=40^{\circ}\text{C}$) prikazane su na slici 31.



Slika 31. CIE ab dijagram kromatičnosti za rasterske tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Prva faza u eksperimentu temelji se na Ink Jet otiskivanju na transfernu foliju Iron On. Pritom su dobiveni rasterski tonovi žute, magente i cyana (uzorak 1). Nakon izvršenog termalnog transfera dobiven je otisak na pamučnoj tkanini (uzorak 2). Tijekom termalnog

transfera doći će do pada kromatičnosti koja je najizraženija kod žute ($\Delta C_{Y1-Y2} = 4,63$) dok je gotovo minimalna kod magente ($\Delta C_{M1-M2} = 0,33$). Cijan se ponaša potpuno drugačije te njegova kromatičnost raste ($\Delta C_{C1-C2} = 2,18$). Akromatska crna iako nema kolornih nosioca obojanje također će se kromatski mijenjati ($\Delta C_{K1-K2} = 3,59$).

Prvim pranjem (uzorak 3) nastati će pad u kromatičnosti koji nije jednak za sva rasterska polja. Najveće promjene nastale su kod žute $\Delta C_{Y2-Y3} = 2,27$ te slijedi cijan $\Delta C_{C2-C3} = 1,47$ i magenta $\Delta C_{M2-M3} = 0,92$. Crna pranjem se kromatski ne mijenja znatnije $\Delta C_{K2-K3} = 0,46$.

Nakon izvršenog trećeg pranja (uzorak 5) tendencija pada kromatičnosti se nastavlja pri čemu je novonastala promjena žute od $\Delta C_{Y2-Y4} = 3,75$, cijan $\Delta C_{C2-C4} = 2,54$ i magenta $\Delta C_{M2-M4} = 1,92$. Kod crne kromatičnost također raste ($\Delta C_{K2-K4} = 1,97$) te je trećim pranjem tako došlo i do degradacije crnog uzorka mnogo više od očekivanog.

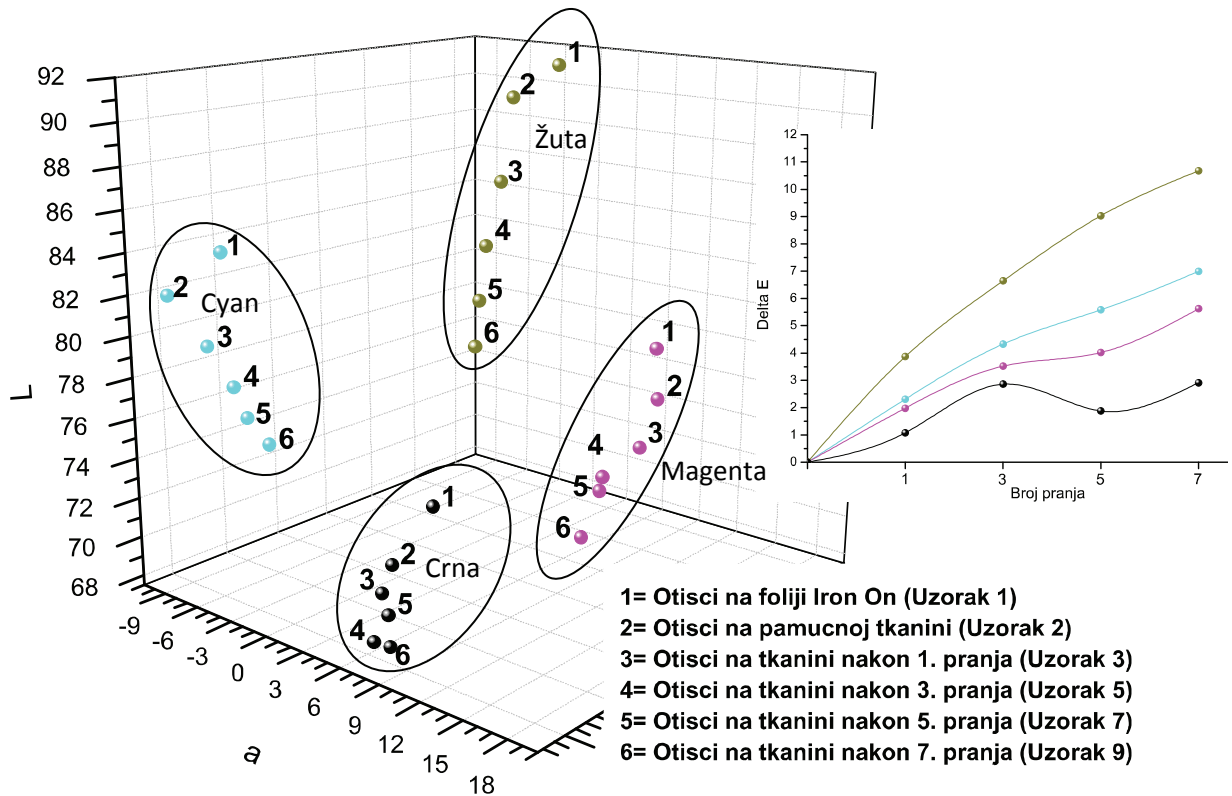
Nakon petog pranja rasterskih uzoraka nastavlja se gubitak kolorita (uzorak 7) te je došlo do slijedećih promjena: cijan $\Delta C_{C2-C5} = 3,08$, magenta $\Delta C_{M2-M5} = 2,09$ i žuta $\Delta C_{Y2-Y5} = 3,99$. Iz toga je vidljivo da će se između 3 i 5 pranja uočiti mali pad kromatičnosti kod svih boja u podjednakoj mjeri ($\Delta C_{C4-C5} = 0,54$, magente $\Delta C_{M4-M5} = 0,17$ i žute $\Delta C_{Y4-Y5} = 0,24$). Crna doživljava promjenu od $\Delta C_{K4-K5} = 1,96$.

Posljednjim eksperimentalnim pranjem (uzorak 9) su nastale sljedeće sveukupne promjene: cijan $\Delta C_{C2-C6} = 3,98$, magenta $\Delta C_{M2-M6} = 2,33$, žuta $\Delta C_{Y2-Y6} = 3,85$ i crna $\Delta C_{K2-K6} = 0,49$. Međutim u odnosu na prethodna pranja pad u kromatičnosti više nije toliko velik što nam govori da je došlo do određene stabilizacije otiska (otisak je toliko izbijeljen da se bojilo zadržalo samo u područjima između pamučnih vlakana). To je najviše vidljivo usporedbom između uzorka 7 i 9 (cijan $\Delta C_{C5-C6} = 0,9$, magenta $\Delta C_{M5-M6} = 0,24$ a kod žute je zanemarivo $\Delta C_{Y5-Y6} = 0,14$).

Kao i kod punog tona nakon trećeg pranja otisnuta tkanina se kromatski više ne mijenja. Otisci su izgubili svoju početnu kromatičnost i obojenje uzorka blijedi. Samim time je deterdžent u dobrom dijelu isprao površinski sloj bojila na bazi vode.

Prikaz svjetline zajedno sa kromatičnošću moguće je prikazati u Lab grafikonu. Na temelju ova 3 parametra moguće je izračunati i razliku u obojenju ΔE_{2000} . Otiskivanjem i spektrofotometrijskim mjerenjem otisnute Iron On folije dobit će se rezultati čije su koordinate svjetloće najudaljenije od ishodišta (uzorak 1). Termalnim prijenosom nastaje (uzorak 2) pri čemu dolazi i do sljedećih promjene u obojenju: žuta $\Delta E_{Y1-Y2} = 4,74$, cijan

$\Delta E_{C1-C2} = 2,59$, magenta $\Delta E_{M1-M2} = 1,45$ i crne $\Delta E_{K1-K2} = 4,13$. Djelovanjem temperature i tlaka doći će do promjene obojenja za koje je odgovoran pad po kordinati L (svjetloća).



Slika 32. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^\circ$

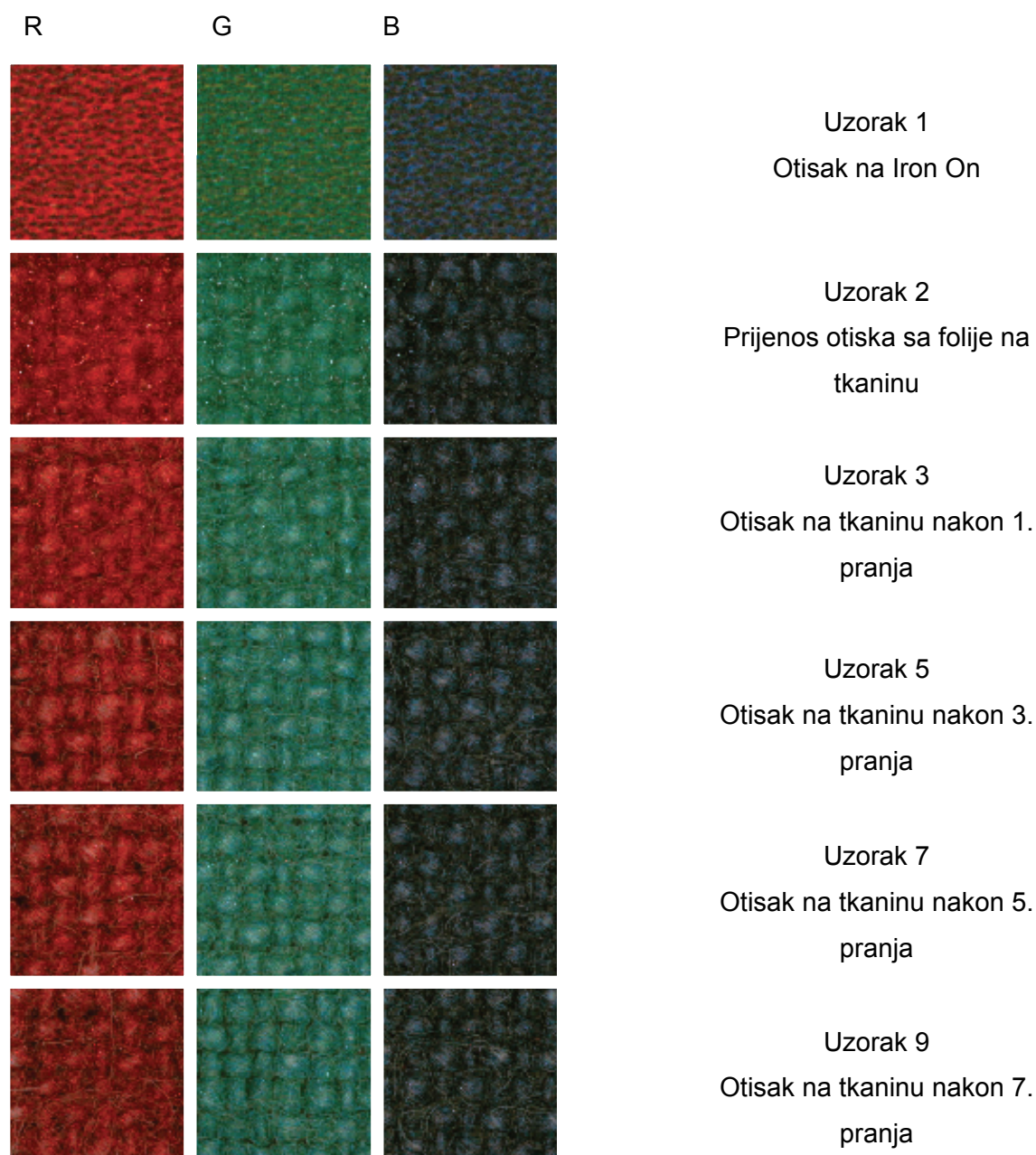
Prvim eksperimentalnim pranjem (uzorak 3) osnovne procesne boje doživjeti će okom vidljive promjene u obojenju (žuta $\Delta E_{Y2-Y3} = 3,87$, cijan $\Delta E_{C2-C3} = 2,31$ i magenta $\Delta E_{M2-M3} = 1,98$). Pritom je nastala promjena uglavnom po svjetlini. Akromatska crna doživljava promjenu u obojenju od $\Delta E_{K2-K3} = 1,08$.

Trećim djelovanjem deterdženta i temperature (uzorak 5) će se utjecati na daljnja odstupanja u svjetloći ΔL . Naravno, to će djelovati i na veliku promjenu u obojenju 25% rastera: žuta $\Delta E_{Y2-Y4} = 6,65$, cijan $\Delta E_{C2-C4} = 4,33$ i magenta $\Delta E_{M2-M4} = 3,52$. Pritom se kod svih novonastalih tonova uočava promjena po svjetlini: žuta $\Delta L_{Y2-Y4} = 4,33$, $\Delta L_{C2-C4} = 2,96$, $\Delta L_{M2-M4} = 2,80$. Kod crne nije došlo do neke velike razlike u obojenju ($\Delta E_{K2-K4} = 2,86$), što je rezultat malog pada po svjetlini $\Delta L_{K2-K4} = 2,01$.

Petim pranjem (uzorak 7) nastavit će se tendencija nestanka obojenja (žuta $\Delta E_{Y2-Y5} = 9,03$, cijan $\Delta E_{C2-C5} = 5,58$ i magenta $\Delta E_{M2-M5} = 4,02$). Posljednjim pranjem (uzorak 9) otisnute tkanine doživjele su svoju najveću promjenu u obojenju kod procesnih boja: žuta $\Delta E_{Y2-Y6} =$

10,68, magenta $\Delta E_{M2-M6} = 5,62$ i cijan $\Delta E_{C2-C6} = 6,99$. To su velike kolorne promjene >5 što znači da je u potpunosti došlo do promjene tona. Pritom je kod žute ($\Delta L_{Y2-Y6} = 7,51$) i magente ($\Delta L_{M2-M6} = 4,82$) došlo do veće promjene i u svjetlini. Kod crne boje nije došlo do toliko ekstremne promjene u obojenja ($\Delta E_{K2-K6} = 2,91$) i svjetloće ($\Delta L_{K2-K6} = 2,87$).

Uvećani prikaz uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 33.

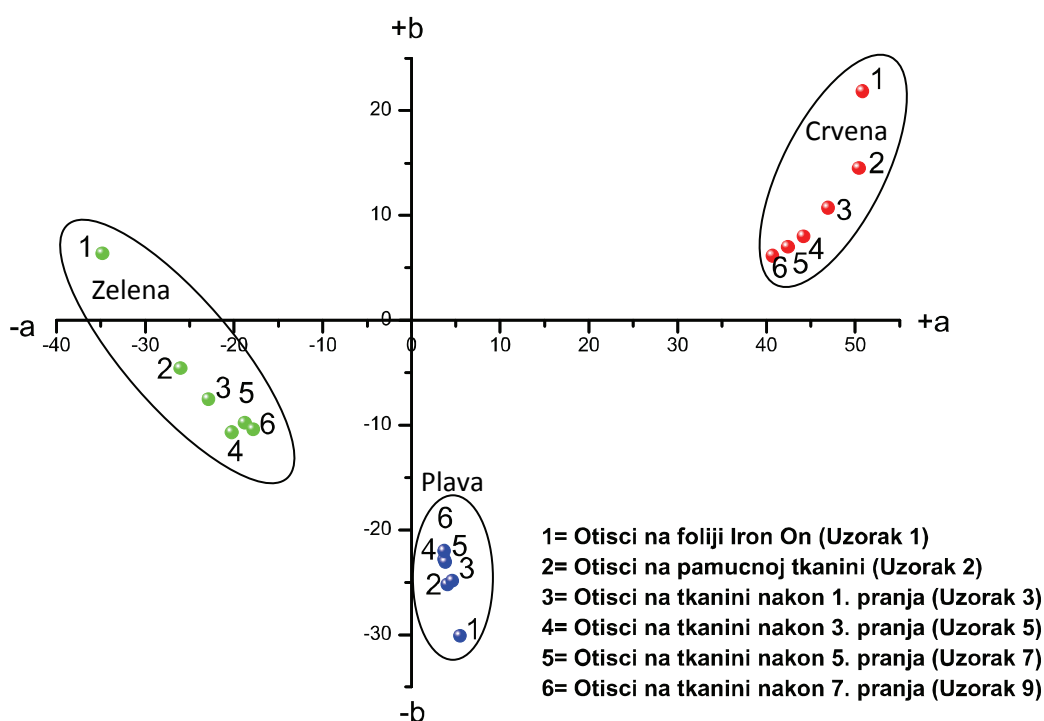


Slika 33. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^\circ$

Osim procesnih boja na otiscima se reproduciraju i ostali tonovi. Najčešće to su crvena, zelena i ljubičastoplava koje nastaju pretiskivanjem osnovnih procesnih boja. Pritom se stvaraju i veći nanosi na tiskovnoj podlozi.

Bez obzira što se otiskuje puni RGB tonovi, RIP printera dodaje i rasterske elemente ostalih boja. To je karakteristika Ink Jet printera koji koristi i svijetle boje (LC, LM, LK, LLK). Pranjem na tkanini deblji sloj boje će se više ispirati što dovodi do uočavanja mrežne strukture tkanine. Većim brojem pranja uzorak isprepletenih niti tkanine postaje sve vidljiviji, a nanos boje slabiji.

Kromatske promjene (RGB punih tonova) nastale tijekom eksperimentalnog pranja na temperaturi od 40°C prikazane su na slici 34.



Slika 34. CIE ab dijagram kromatičnosti za RGB boje nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na T=40°

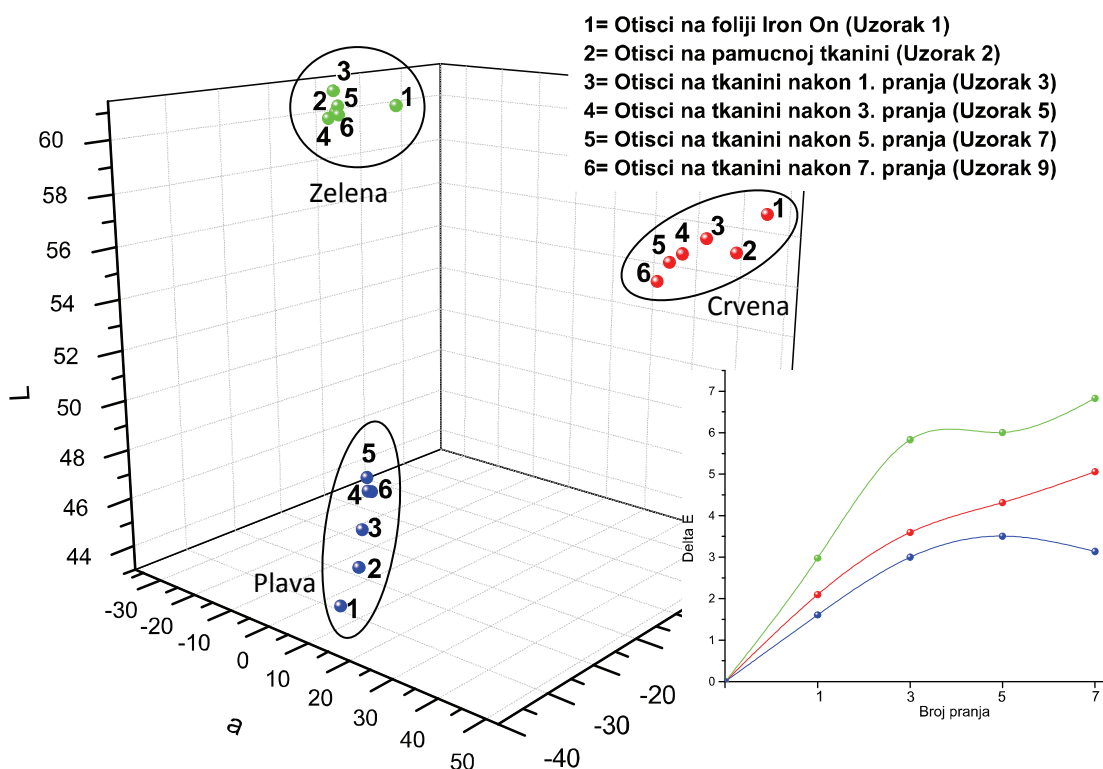
Ink Jet otiskivanjem na na transfernu foliju Iron On nastao je uzorak 1. Pritom su dobiveni tonovi crvene, zelene i ljubičastoplave kromatski vrlo visoki. Termalnim transferom folije na tkaninu stvoren je uzorak 2. Pritom transferu dolazi do pada kromatičnosti koji je najizraženiji kod zelene ($\Delta C_{G1-G2} = 4,91$), plave ($\Delta C_{B1-B2} = 1,45$) i crvene ($\Delta C_{R1-R2} = 0,85$).

Izvorna zelena boja u potpunosti je izgubila žutu komponentu (+b) te je prešla u ljubičasto plavo područje (-b). Ton tako postaje tamniji.

Nakon transfera izvršena su eksperimentalna pranja. Prvim pranjem (uzorak 3) nastao je pad u kromatičnosti koji nije identičan za sve boje. Najveće devijacije nastale su kod crvene $\Delta C_{R2-R3} = 1,30$, zelena $\Delta C_{G2-G3} = 1,25$. Kod ljubičastoplave boje promjene su nikakve $\Delta C_{B2-B3} = 0,01$.

Nakon trećeg pranja (uzorak 5) nastavlja se pada u kromatičnosti pri čemu crvena doživljava veću promjenu od ostalih ($\Delta C_{R2-R4} = 2,36$, zelena $\Delta C_{G2-G4} = 2,06$ i plava $\Delta C_{B2-B4} = 0,81$). Petim pranjem (uzorak 7) daljnji pad je najveći u zelenoj boji ($\Delta C_{G2-G5} = 3,01$, crvena $\Delta C_{R2-R5} = 3,0$ i plava $\Delta C_{B2-B5} = 0,70$).

Kod uzorka 9 koji je nastao nakon 7. pranja pad kromatičnosti nije velik. On sada iznosi: crvena $\Delta C_{R2-R6} = 3,64$, zelena $\Delta C_{G2-G6} = 3,42$ i ljubičastoplava $\Delta C_{B2-B6} = 1,11$. Nakon trećeg pranja (uzorci 7 i 9) tkanina se kromatski previše ne mijenja. Otisci tako u Lab kromatskom sustavu posjeduju najmanju kromatičnost i ton uzorka vrlo je loš.



Slika 35. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

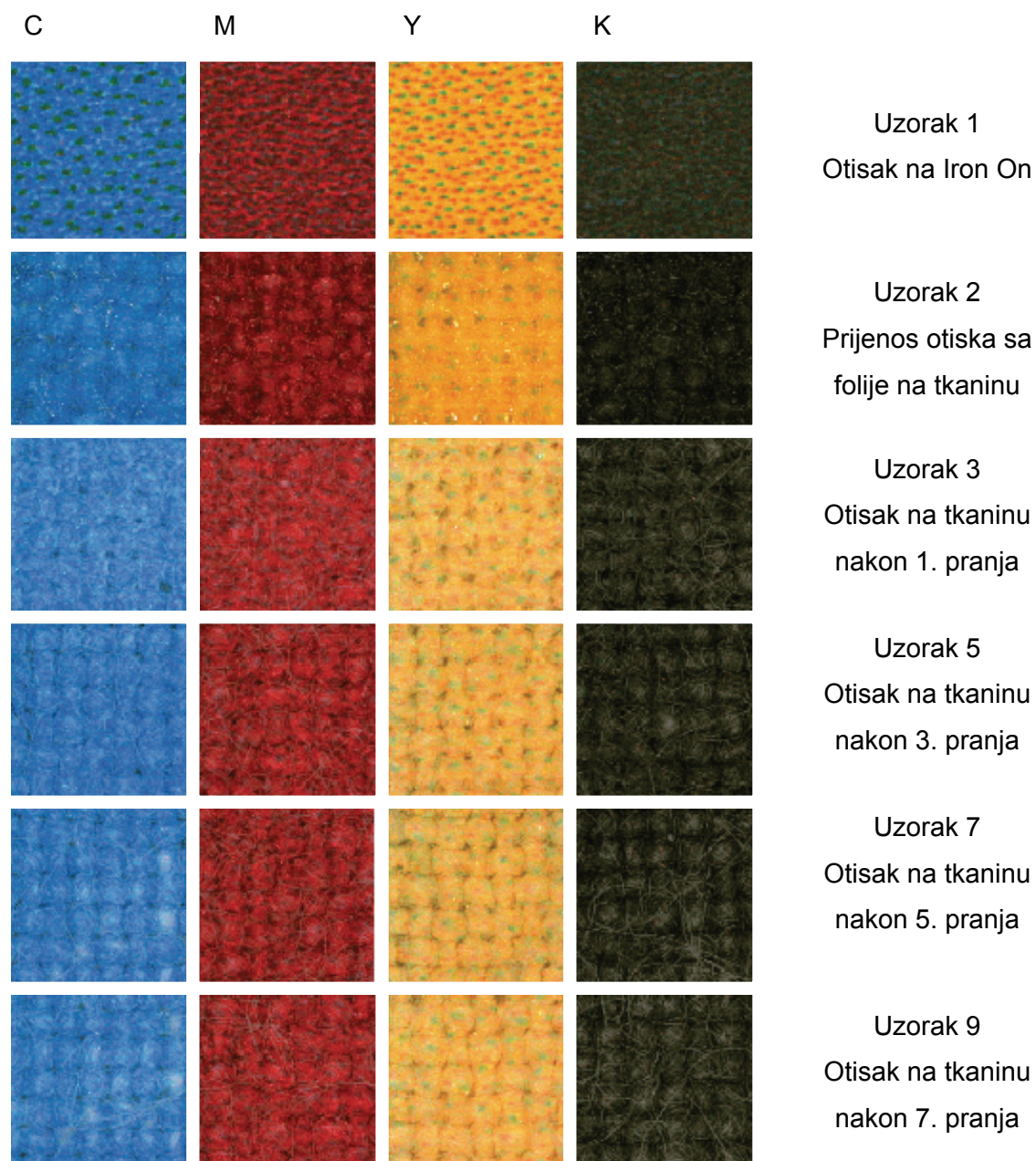
Otiskivanjem na Iron On foliji u tehnici Piezo Ink Jeta dobit će se početne vrijednosti čija je kromatičnost visoka dok je svjetloća (L) visoka kod crvene, nešto niža kod zelene a vrlo niska kod plave boje (uzorak 1). Termalnim prijenosom (uzorak 2) dolazi do promjene u obojenju: zelena $\Delta E_{G1-G2} = 13,48$, crvena $\Delta E_{R1-R2} = 4,05$ i plava $\Delta E_{B1-B2} = 2,15$. Kod zelene je došlo do jako velike promjene u obojenju ali samo po kromatičnosti, dok je kod crvene ($\Delta L_{R1-R2} = 1,08$) i plave ($\Delta L_{B1-B2} = 0,97$) došlo do pada svjetloće.

Prvim pranjem (uzorak 3) RGB boje doživljavaju sljedeće promjene u obojenju: zelena $\Delta E_{G2-G3} = 2,98$, crvena $\Delta E_{R2-R3} = 2,10$ i plava $\Delta E_{B2-B3} = 1,61$. Trećim pranjem (uzorak 5) došlo je do daljnjih promjena u obojenju: zelena $\Delta E_{G2-G4} = 5,83$, crvena $\Delta E_{R2-R4} = 3,60$ i plava $\Delta E_{B2-B4} = 3,0$. Petim i sedmim pranjem (uzorak 7 i 9) dolazi do zanemarive promjene obojenja i svjetloće kod svih boja, tj. dolazi do sljedećih promjena u obojenju: zelena $\Delta E_{G2-G6} = 6,83$, crvena $\Delta E_{R2-R6} = 5,06$ i plava $\Delta E_{B2-B6} = 3,14$.

Iz ovoga je vidljivo da će kod reproduciranih spotnih boja prvim pranjem doći do izbjeljivanja otiska koje će se narednim pranjima nastaviti samo kod ljubičastoplave boje. Svijetli tonovi (zelena i crvena) će zbog gubljenja žute postajati sve tamniji, pri čemu će na njima sve više utjecati pamučna podloga. Zbog pranja ostalih odjevnih predmeta uzorci većim brojem pranja postaju sve tamniji pri čemu boja podloge doživljava promjenu od $\Delta E = 7,22$.

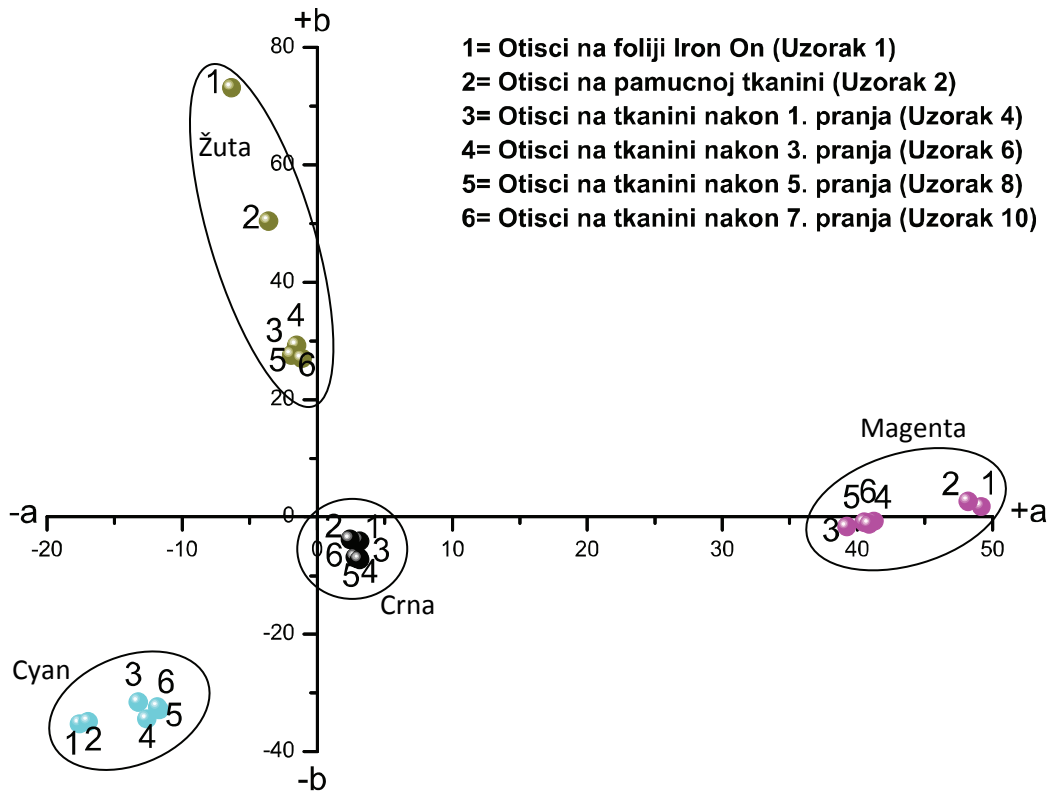
Rezultati prijenosa Iron On folije na pamučnu tkaninu kao i različit broj pranja (pri temperaturi $T = 90^\circ\text{C}$) prikazani su na slici 36, 39 i 42, dvodimenzionalnim grafikonima – 2D na slici 37, 40 i 43 te i na trodimenzionalnim grafikonima – 3D na slici 38, 41 i 44. Pri tome je izvršeno ukupno 7 pranja od kojih su prikazana samo karakteristična. (1., 3., 5. i 7.)

Uvećani prikaz uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 36. Iako se otiskuje puni ton, EFI RIP samog printer ugradi i rasterske elemente ostalih boja. Otisci koji su preneseni na tkaninu sa sve većim brojem pranja postaju sve slabiji te se počinje uočavati struktura pamučne tkanine. Kromatske promjene osnovnih procesnih boja u punom tonu nastale tijekom eksperimentalnog pranja na temperaturi od 90°C prikazane su na slici 37.



Slika 36. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Prvim pranjem (uzorak 4) dogodit će se pad u kromatičnosti koji nije jednak za sve boje. Najveće promjene nastale su kod žute $\Delta C_{Y2-Y3} = 8,10$, magente $\Delta C_{M2-M3} = 3,05$ i cijana $\Delta C_{C2-C3} = 1,39$. Crna boja pranjem se kromatski znatnije ne mijenja $\Delta C_{K2-K3} = 0,5$.



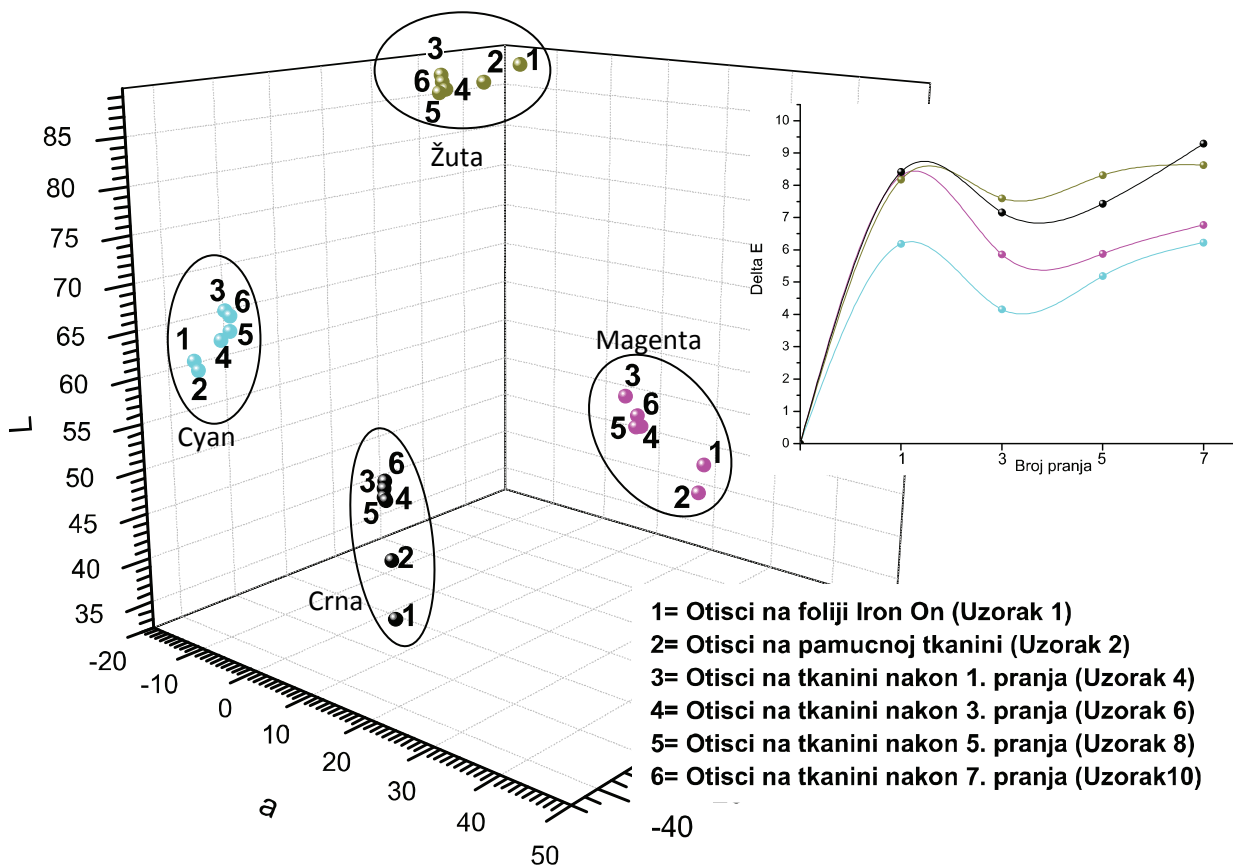
Slika 37. CIE ab dijagram kromatičnosti za pune tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Trećim pranjem dobiti ćemo uzorak 6 gdje dolazi do malih promjena u kromatičnosti. Pritom cijan doživljava promjenu od $\Delta C_{C2-C4} = 0,34$, magenta $\Delta C_{M2-M4} = 2,35$ i žuta $\Delta C_{Y2-Y4} = 7,58$. Promjene s obzirom na prvo pranje bolje se vidi kod razlike uzorka 4 i uzorka 6: cijan $\Delta C_{C3-C4} = 1,05$, magenta $\Delta C_{M3-M4} = 0,73$ i žuta $\Delta C_{Y3-Y4} = 0,43$. Na crnu se daljnjim pranjima (5. i 7.) neće znatno utjecati na promjenu kromatičnosti.

Petim pranjem (uzorak 8) iznova podjednako dolazi do manjeg pada kromatičnosti (žuta $\Delta C_{Y4-Y5} = 0,73$, cijan $\Delta C_{C4-C5} = 0,55$ i magenta $\Delta C_{M4-M5} = 0,23$). Razlika u kromatičnosti s obzirom na referentni uzorak 2 iznosi: cijan $\Delta C_{C2-C5} = 0,89$, magenta $\Delta C_{M2-M5} = 2,58$ i žuta $\Delta C_{Y2-Y5} = 8,31$.

Sedmim pranjem (uzorak 10) pad kromatičnosti je vrlo malen kao i kod prethodnog pranja a najviše se vidi kod žute $\Delta C_{Y2-Y6} = 8,57$, cijana $\Delta C_{C2-C6} = 1,07$ i magente $\Delta C_{M2-M6} = 2,47$. Da je kromatičnost mala bolje se uočava iz razlike uzorka 8 i 10 koji iznose: žuta $\Delta C_{Y5-Y6} = 0,26$, cijan $\Delta C_{C5-C6} = 0,18$ i magenta $\Delta C_{M5-M6} = 0,11$.

Nakon trećeg pranja (uzorak 8 i 10) boje na tkanini se previše ne mijenjaju kromatski. Otisci posjeduju najmanju kromatičnost i obojenje uzorka je puno lošije od početnog. Osim kromatskim vrijednošću obojenje je definirano i svjetlinom (L). Promjene svjetline može se prikazati u 3D grafikonu. Pri tome možemo izračunati i razliku u obojenju ΔE .

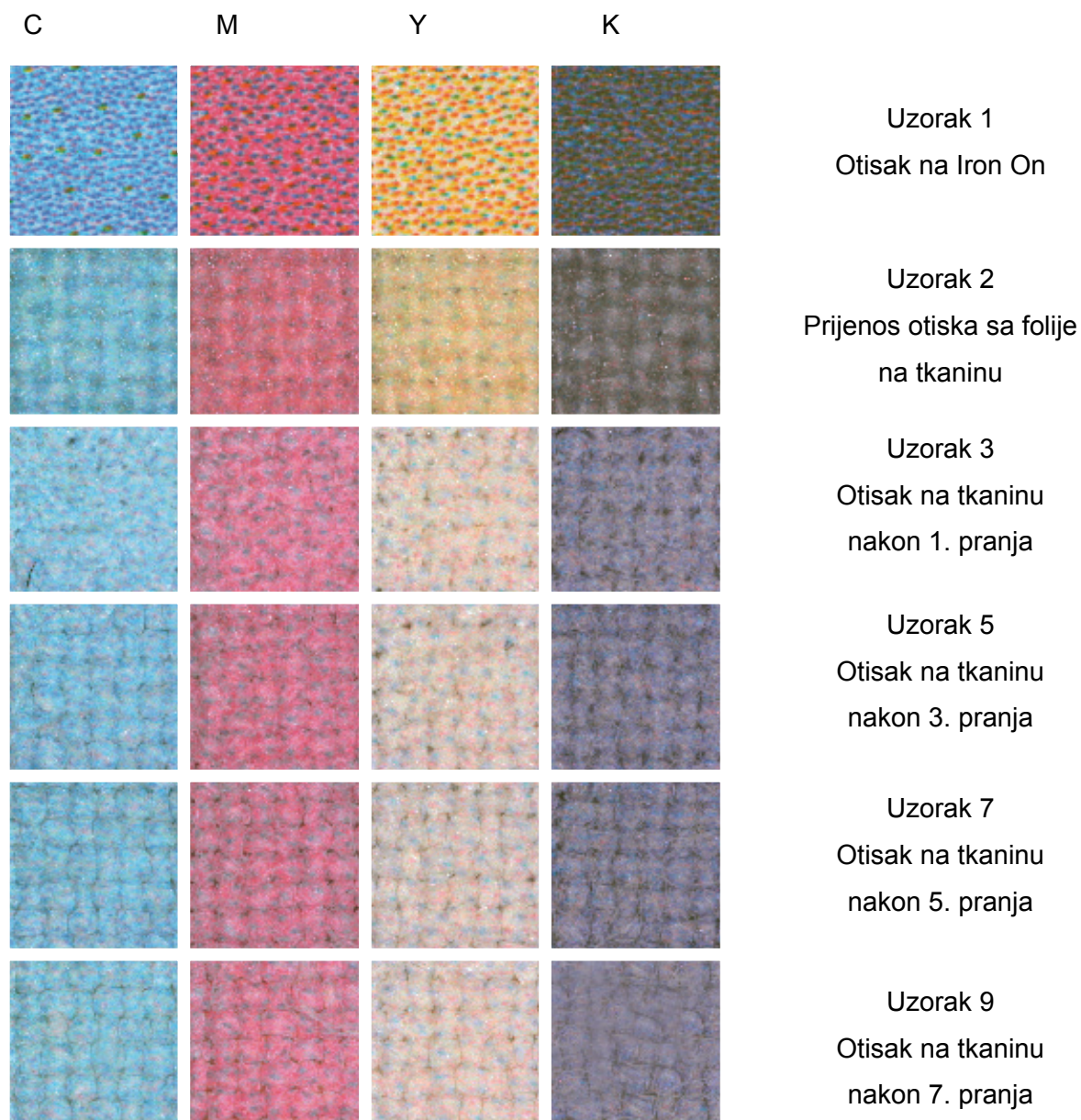


Slika 38. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7xgh

Prvim pranjem (uzorak 4) osnovne procesne boje doživljavaju sljedeće promjene u obojenju: magenta $\Delta E_{M2-M3} = 8,30$, žuta $\Delta E_{Y2-Y3} = 8,18$, i cijan $\Delta E_{C2-C3} = 6,19$. Pritom promjena po svjetlini je značajna kod magente ($\Delta L_{M2-M3} = 7,38$) i cijana ($\Delta L_{C2-C3} = 5,74$) te je ona porasla dok se kod žute značajna promjena dogodila samo kod obojenja. Akromatska crna doživljava vrlo veliku razliku u obojenju ($\Delta E_{K2-K3} = 8,42$) pri čemu ta promjena nastaje i po svjetloći $\Delta L_{K2-K3} = 8,02$. Trećim pranjem (uzorak 6) kod kolornih boja je došlo do sljedećih promjena u obojenju: magenta $\Delta E_{M2-M4} = 5,86$, cijan $\Delta E_{C2-C4} = 4,16$ i žuta $\Delta E_{Y2-Y4} = 7,60$ gdje je opet kod magente ($\Delta L_{M2-M4} = 5,08$) i cijana ($\Delta L_{C2-C4} = 3,35$) došlo do veće promjene u svjetlini ali ovoga puta svjetloća pada. Kod akromatske crne nije došlo do velike razlike u obojenju, s obzirom na prethodni uzorak 4 ($\Delta E_{K3-K4} = 0,58$), niti u

svjetlini te se ona smanjila za $\Delta L_{K3-K4} = 0,98$. Petim pranjem (uzorak 8) se nije dogodila niti jedna značajnija promjena kod kolornih boja, kao ni kod akromatske crne: cijan $\Delta E_{C2-C5} = 5,19$, žuta $\Delta E_{Y2-Y5} = 8,31$, magenta $\Delta E_{M4-M5} = 5,88$ i $\Delta E_{K2-K5} = 7,43$.

Sedmim pranjem (uzorak 10) kod kolornih boja došlo je do sljedećih promjena u obojenju: cijan $\Delta E_{C2-C6} = 6,23$, magenta $\Delta E_{M2-M6} = 6,77$ i žuta $\Delta E_{Y2-Y6} = 8,63$ i gdje je jedino kod cijan boje došlo do veće promjene u obojenju i svjetlini $\Delta L_{C2-C6} = 5,45$. Kod akromatske crne došlo je do sljedeće promjene u obojenju ($\Delta E_{K2-K6} = 9,29$) i svjetloći ($\Delta L_{K2-K6} = 8,86$).

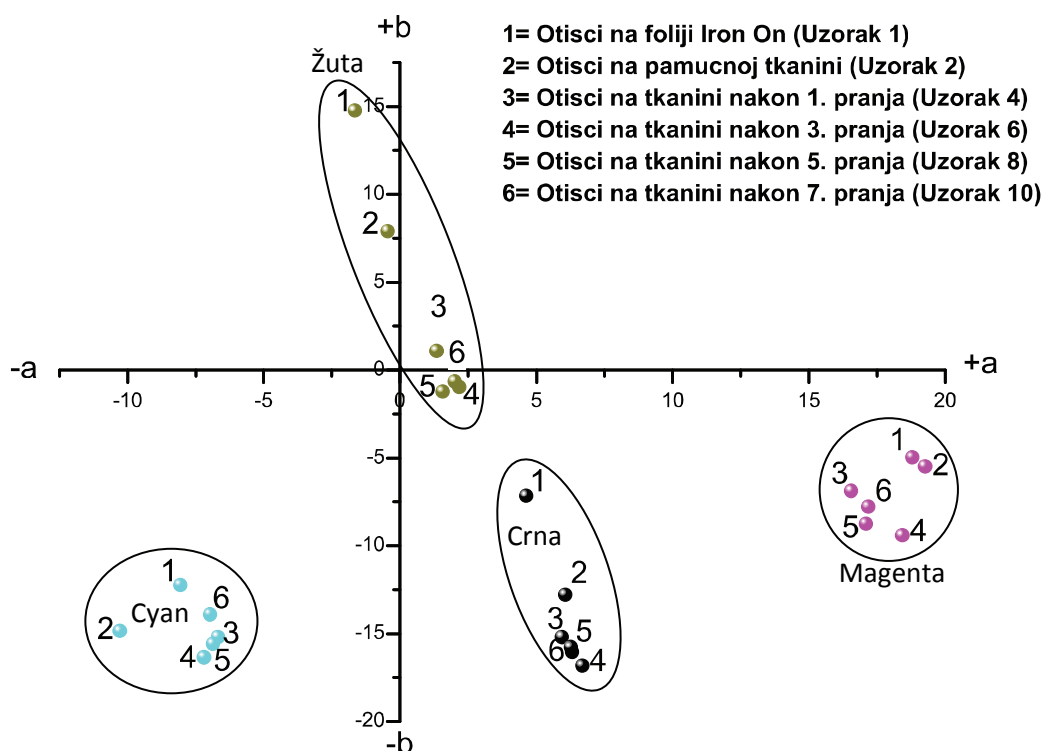


Slika 39. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^\circ$,

Uvećani prikaz uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 39.

Tijekom transfera otiska s folije na pamučnu tkaninu boja se sjedinjuje sa tkaninom gdje se više ne vidi raster nego dominira tekstilna podloga te struktura tkanja pamuka postaje sve vidljivija.

Kromatske promjene osnovnih procesnih boja u rasterskom tonu nastale tijekom eksperimentalnog pranja na temperaturi od 90°C prikazane su na slici 40.



Slika 40. CIE ab dijagram kromatičnosti za rasterske tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na T=90°

Prvim pranjem (uzorak 4) dogodit će se pad u kromatičnosti koji nije jednak za sve boje. Najveće promjene nastale su kod žute $\Delta C_{Y2-Y3} = 4,60$ pa kod magenta $\Delta C_{M2-M3} = 1,48$ i cijan $\Delta C_{C2-C3} = 1,37$. Crnoj boji daljnjim pranjima kromatičnost raste te se povećava za $\Delta C_{K2-K3} = 1,06$.

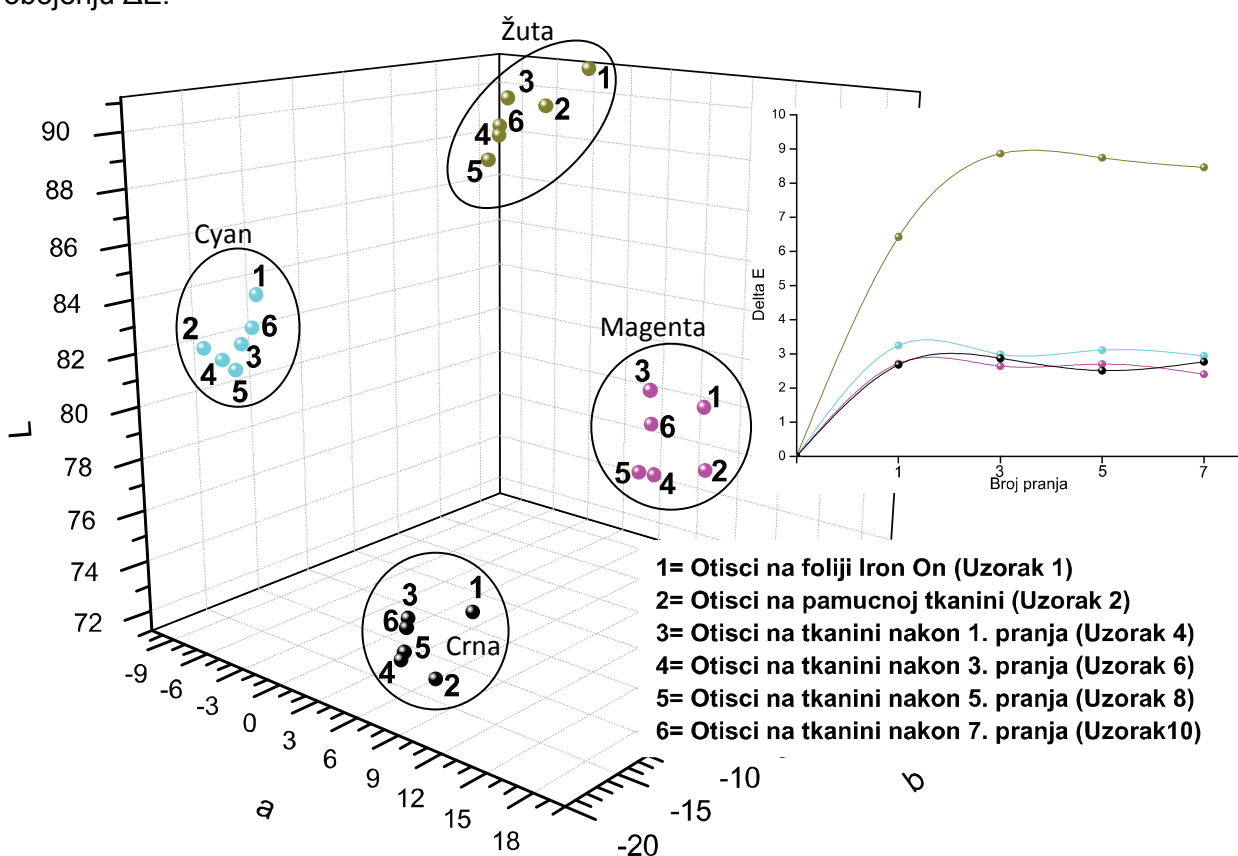
Trećim pranjem (uzorak 6) došlo je do sljedećih promjena u kromatičnosti: žuta $\Delta C_{Y2-Y4} = 3,64$, cijan $\Delta C_{C2-C4} = 0,59$ i magenta $\Delta C_{M2-M4} = 0,05$. Kromatičnost ovoga puta ne pada kod

svih boja. Pad kromatičnosti (razlike između uzorka 4 i uzorka 6) uočen je kod žute ($\Delta C_{Y3-Y4} = 0,96$), magente ($\Delta C_{M3-M4} = 1,53$) i cijana ($\Delta C_{C3-C4} = 0,78$). Kod crne kromatičnost raste te dolazi do promjene od $\Delta C_{K2-K4} = 2,12$.

Daljnijim petim pranjem (uzorak 8) dolazi do pada kromatičnosti kod svih boja: magenta $\Delta C_{M2-M5} = 0,84$, žuta $\Delta C_{Y2-Y5} = 4,30$ i cijan $\Delta C_{C2-C5} = 1,09$. Crnoj boji se događa promjena od $\Delta C_{K2-K5} = 1,60$ pri čemu joj pada kromatičnost.

Zadnjim sedmim pranjem (uzorak 10) pad kromatičnosti nije velik kao i kod prethodnog petog pranja. Najviše se uočava kod cijana gledajući na grafikonu s obzirom na prethodno pranje (uzorak 8) $\Delta C_{C2-C6} = 1,92$, žute $\Delta C_{Y2-Y6} = 3,92$. Kod magente je zanemarivo $\Delta C_{M2-M6} = 0,96$. Nakon posljednjih pranja (uzorak 8 i 10) tkanina se kromatski ne mijenja puno.

Osim kromatskim vrijednošću, obojenje je definirano i svjetlinom (L). Pogodni prikaz promjene svjetline može se prikazati u 3D grafikonu. Pri tome se može izračunati razliku u obojenju ΔE .



Slika 41. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

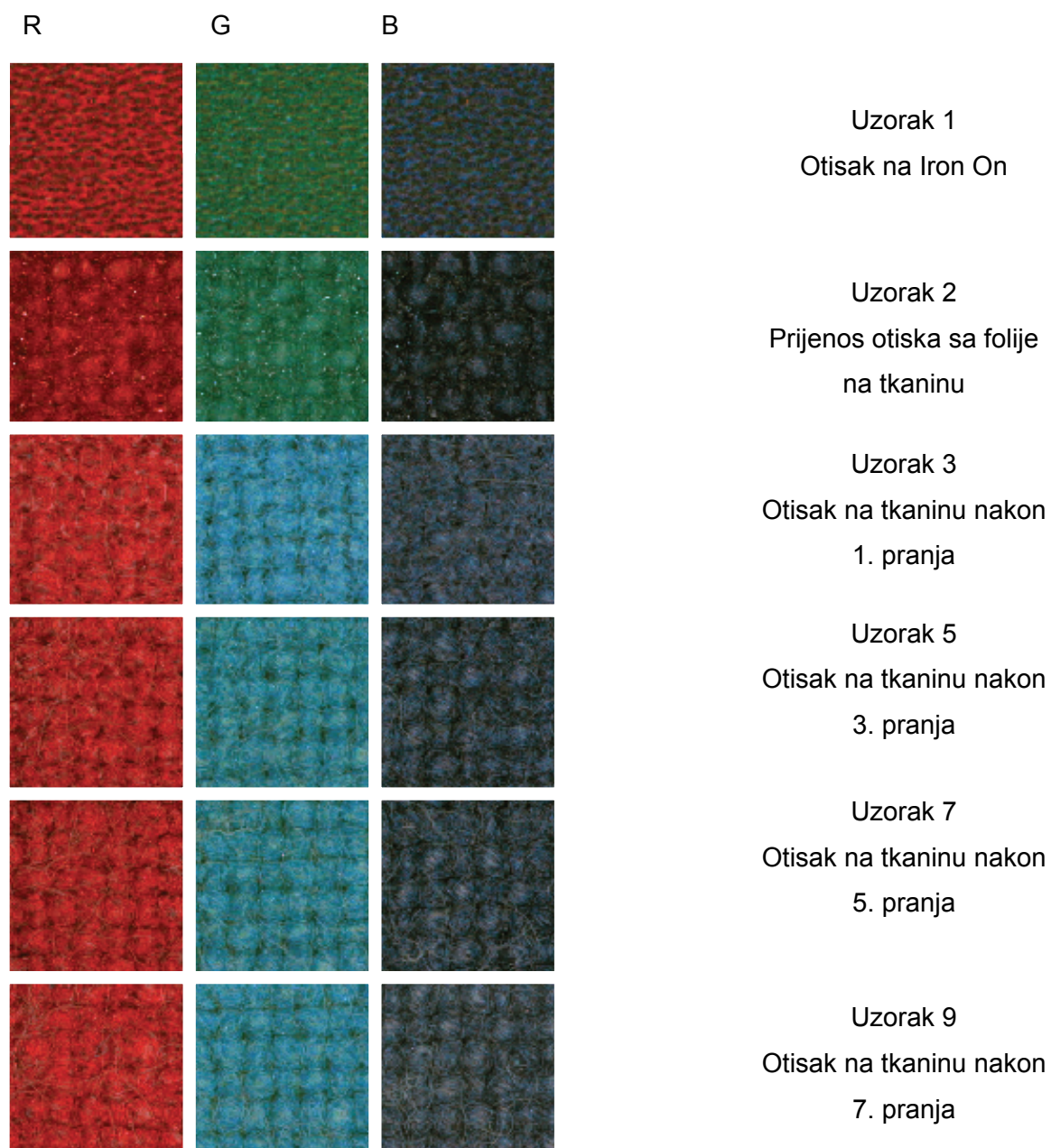
Prvim pranjem (uzorak 4) osnovne procesne boje doživljavaju sljedeće promjene u obojenju žuta $\Delta E_{Y2-Y3} = 6,42$, cijan $\Delta E_{C2-C3} = 3,24$ i magenta $\Delta E_{M2-M3} = 2,72$. Pritom promjena po svjetlini je vrlo značajna i povećana kod magente $\Delta L_{M2-M3} = 1,74$. Crna doživljava razliku u obojenju od $\Delta E_{K2-K3} = 2,68$ a promjena po svjetlini je $\Delta L_{K2-K3} = 2,04$.

Trećim pranjem (uzorak 6) je došlo do sljedećih promjena u obojenju: žuta $\Delta E_{Y2-Y4} = 8,86$, cijan $\Delta E_{C2-C4} = 2,99$ i magenta $\Delta E_{M2-M4} = 2,64$ gdje je jedino kod magente ($\Delta L_{M3-M4} = 1,57$) došlo do veće promjene i smanjenja svjetline s obzirom na prethodni uzorak 4. Kod crne je došlo do zanemarive razlike u obojenju ($\Delta E_{K2-K4} = 2,87$) dok se svjetlina smanjila za $\Delta L_{K2-K4} = 1,22$.

Petim pranjem (uzorak 8) došlo je do zanemarivih promjena u svjetlini i obojenju. Malo odstupanje po svjetlini uočava se kod žute boje $\Delta L_{Y2-Y5} = 0,87$. Sedmim pranjem (uzorak 10) dolazi do promjene obojenja kod kolornih boja: žuta $\Delta E_{Y2-Y6} = 8,46$, magenta $\Delta E_{M2-M6} = 2,40$ i cijan $\Delta E_{C2-C6} = 2,94$ gdje je kod svih došlo do promjene u svjetlini: magenta ($\Delta L_{M2-M6} = 1,09$), žuta ($\Delta L_{Y2-Y6} = 0,10$) i cijan ($\Delta L_{C2-C6} = 0,70$). Kod crne boje je isto tako došlo do promjene obojenja ($\Delta E_{K2-K6} = 2,77$) i svjetloće ($\Delta L_{K2-K6} = 1,91$).

Uvećani prikaz uzoraka nastalih tijekom eksperimenta od otiska folije do transfera na pamuk zajedno sa svim pranjima prikazane su na slici 42. Bez obzira što se otiskuje puni ton RGB boja, RIP printera mu dodaje i rasterske elemente ostalih boja. Otiscima boja slabi te se mijenja što se najbolje može uočiti kod zelene boje.

Zbog skidanja određenih slojeva tijekom utjecaja mehaničkih i kemijskih djelovanja počinje dominirati cijan unutar zelene. Uzorak pamučne podloge sa svakim pranjem postaje sve uočljiviji i bolje se razaznaju prepletene niti. Kromatske promjene RGB boja u punom tonu nastale tijekom eksperimentalnog pranja na temperaturi od 90°C prikazane su na slici 43.

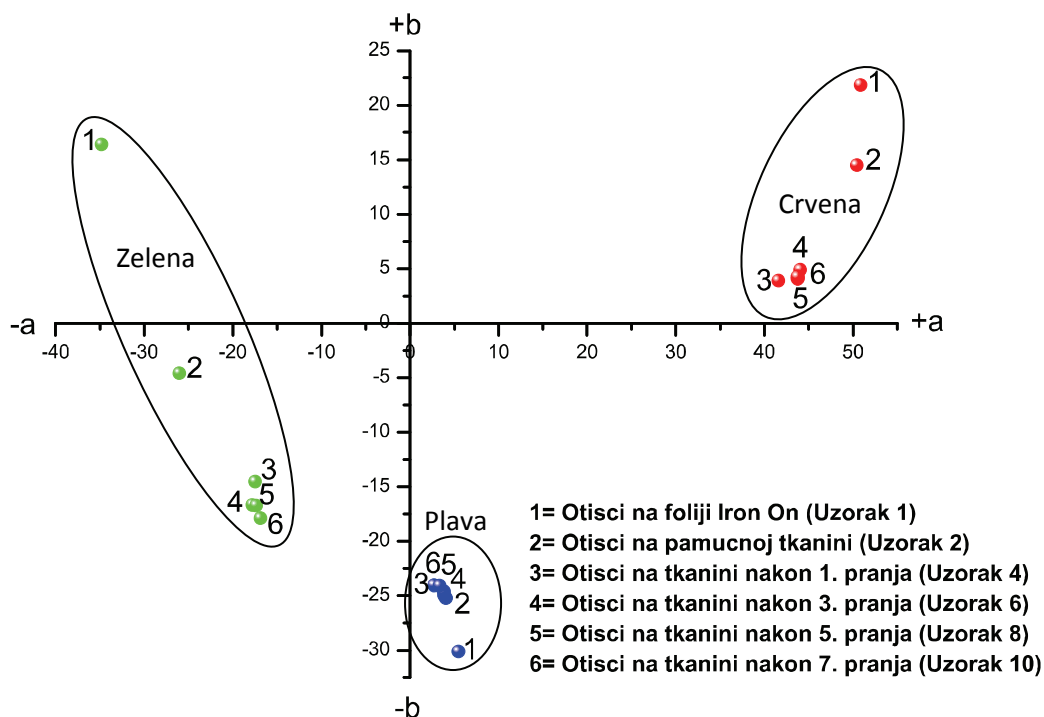


Slika 42. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Prvim pranjem (uzorak 4) dogodit će se pad u kromatičnosti koji nije jednak za sve boje. Najveće promjene nastale su kod crvene $\Delta C_{R2-R3} = 3,41$ i zelene $\Delta C_{G2-G3} = 2,46$, dok su kod ljubičastoplave zanemarive ($\Delta C_{B2-B3} = 0,62$).

Trećim pranjem (uzorak 6) nastavlja se tendencija pada po kromatičnosti kod svih boja: crvena $\Delta C_{R2-R4} = 2,55$, zelena $\Delta C_{G2-G4} = 1,63$ i plava $\Delta C_{B2-B4} = 0,10$. Petim pranjem

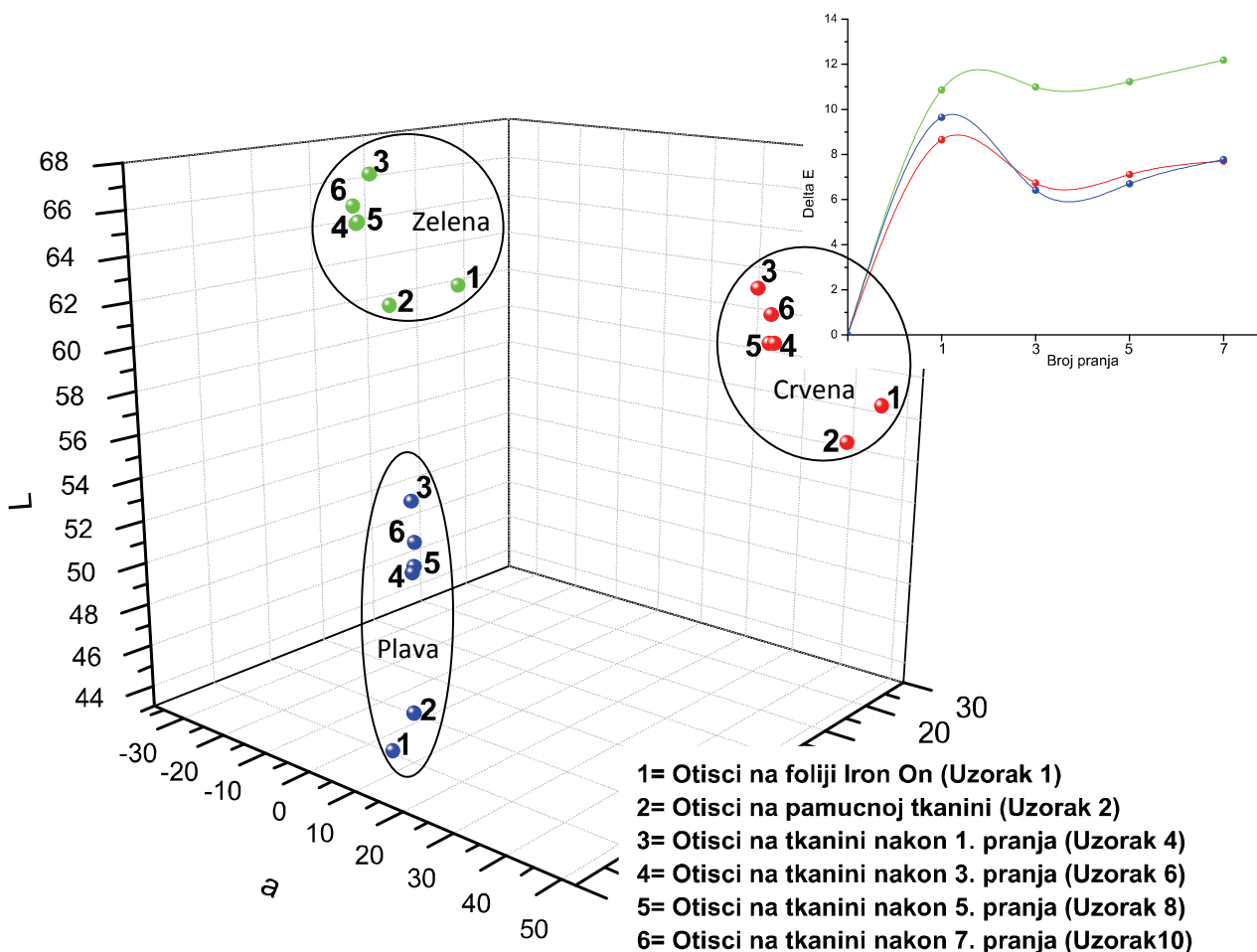
(uzorak 8) iznova dolazi do pada kromatičnosti kod svih boja u podjednakoj mjeri: zelena $\Delta C_{G2-G5} = 1,81$, crvene $\Delta C_{R2-R5} = 2,68$ i plave $\Delta C_{B2-B5} = 0,22$.



Slika 43. CIE ab dijagram kromatičnosti za RGB boje nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^\circ$

Sedmicim pranjem (uzorak 10) pad kromatičnosti ostaje isti te više ne dolazi do značajnih promjena. Stoga možemo reći da je došlo do stagnacije opadanja kromatičnosti, što nam mogu potvrditi minimalne razlike između uzorka 8 i uzorka 10: plava $\Delta C_{B5-B6} = 0,26$, zelena $\Delta C_{G5-G6} = 0,2$ i crvena $\Delta C_{R5-R6} = 0,01$. Nakon trećeg pranja kromatičnost boja se znatno ne mijenja, otisak ima malu kromatičnost i zbog toga ne izgleda dobro.

Osim kromatskim vrijednošću obojenje je definirano i svjetlinom (L). Pogodni prikaz promjene svjetline može se prikazati u 3D grafikonu. Pri tome možemo izračunati i razliku u obojenju ΔE .



Slika 44. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Prvim pranjem (uzorak 4) RGB boje doživljavaju sljedeće promjene u obojenju: zelena $\Delta E_{G2-G3}= 10,86$, plava $\Delta E_{B2-B3}=9,65$ i crvena $\Delta E_{R2-R3}= 8,65$. Promjena po svjetlini je vrlo visoka kod svih boja: plava $\Delta L_{B2-B3}= 9,61$, crvena $\Delta L_{R2-R3}=6,30$ i zelena $\Delta L_{G2-G3}= 5,68$.

Trećim pranjem (uzorak 6) došlo je do sljedećih promjena u obojenju: plava $\Delta E_{B2-B4}=6,42$, crvena $\Delta E_{R2-R4}= 6,73$ i zelena $\Delta E_{G2-G4}= 10,99$. Kod svih boja uz promjenu obojenja došlo je do pada svjetline: plava $\Delta L_{B2-B4}=6,42$, crvena $\Delta L_{R2-R4}= 4,31$ i zelena $\Delta L_{G2-G4}= 3,95$.

Petim pranjem (uzorak 8) dolazi do zanemarive promjene obojenja i svjetloće kod svih boja te su točke gotovo identične. Sedmim pranjem (uzorak 10) dolazi do sljedećih promjena u obojenju: plava $\Delta E_{B2-B6}=7,77$, zelena $\Delta E_{G2-G6}= 12,18$ i crvena $\Delta E_{R2-R6}= 7,71$. Kod svih boja dolazi do podjednake promjene i u svjetlini i u obojenju te u ovom slučaju svjetlina raste: crvena $\Delta L_{R2-R6}= 5,38$, plava $\Delta L_{B2-B6}= 7,75$ i zelena $\Delta L_{G2-G6}= 4,68$.

5 ZAKLJUČAK

Metodom termalnog transfera moguće je postići zadovoljavajuće kolorno obojenje na pamučnim podlogama. Na Iron On transfernoj foliji (bojilo na bazi vode) kromatski najintenzivniji otisci dobiveni su na nakon samog tiska. Termalnim transferom bojila sa Iron On folije dobiti će se otisak na pamučnoj tkanini gdje dolazi do najveće kolorne promjene.

Uspoređujući sve dobivene rezultate osnovnih procesnih boja u punom tonu pri $T=40^{\circ}\text{C}$ i $T=90^{\circ}\text{C}$ uočeno je da će žuta doživjeti najveće promjene bez obzira na temperaturu ($\Delta E_{\text{max}40^{\circ}\text{C}}=11,39$, $\Delta E_{\text{max}90^{\circ}\text{C}}=8,32$) dok će cijan doživjeti najmanju promjenu $\Delta E_{\text{min}40^{\circ}\text{C}}=3,08$, $\Delta E_{\text{min}90^{\circ}\text{C}}=5,25$. Promatrajući akromatsku crnu uočena je minimalna razlika uzimajući u obzir temperaturu pranja kod srednjih vrijednosti ($\Delta E_{40^{\circ}\text{C}}=6,30$, $\Delta E_{90^{\circ}\text{C}}=7,98$) dok je kod ostalih procesnih boja došlo do znatno veće razlike.

Daljnijim promatranjem srednjih vrijednosti osnovnih procesnih boja u rasterskom tonu dolazimo do istih zaključaka vezanih uz žutu boju kao što je bilo i kod punih tonova. Žuta doživljava najveće promjene te one iznose $\Delta E_{\text{max}40^{\circ}\text{C}}=7,97$, $\Delta E_{\text{max}90^{\circ}\text{C}}=8,52$. Jedina veća promjena odnosi se na akromatsku crnu koja doživljava minimalne razlike $\Delta E_{\text{min}40^{\circ}\text{C}}=2,32$, $\Delta E_{\text{min}90^{\circ}\text{C}}=2,72$.

Dobivenim srednjim vrijednostima promatranih RGB boja dobiven je zaključak da se zelena boja najviše mijenja ($\Delta E_{\text{max}40^{\circ}\text{C}}=5,85$, $\Delta E_{\text{max}90^{\circ}\text{C}}=10,40$) što se najbolje uočava na uvećanim mikroskopskim slikama gdje se vidi da je izvorna zelena u potpunosti izgubila svoju žutu komponentu i prešla u ljubičasto plavo područje. Crvena doživljava srednje promjene $\Delta E_{40^{\circ}\text{C}}=3,88$, $\Delta E_{90^{\circ}\text{C}}=7,54$ dok plava kod obje temperature ima najmanja odstupanja $\Delta E_{40^{\circ}\text{C}}=2,71$, $\Delta E_{90^{\circ}\text{C}}=7,50$.

Usporedbom svih rezultata može se zaključiti da (osnovne procesne boje u punom i rasterskom tonu i RGB boje) žuta boja ima najveća odstupanja i doživljava najveće promjene bez obzira na temperaturu i broj pranja. Općenito promatrajući uz to je još zaključeno da se sve boje više troše pri $T=90^{\circ}\text{C}$ te je došlo do većih promjena i razlika nego pri $T=40^{\circ}\text{C}$.

6 LITERATURA

1. Golubović A.; Tiskarske podloge i tiskarske boje koje se koriste u digitalnom tisku, Zbornik radova 7. Znanstvenog stručnog simpozija hrvatskih grafičara "Blaž Baromić", Z.(Ed) Bolanča, Senj, 11 – 20, 2003.
2. J. A. Dalvey et al., Image Transfer Sheet, United States Patent 6,753,050 B1,. June 2004.
3. Kiphan H.; Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.
4. Komparacija ink-jet otisaka dobivenih s dye tintama i pigmentnim disperzijama, igor sinđić¹, eugen dobrić², zbornik radova 2005, savjetovanje bb
5. Croprint, rujan 3/2009, strana 48-51
6. http://www.epson.com/cgi-bin/Store/consumer/consDetail.jsp?BV_UseBVCookie=yes&infoType=Specs&oid=53540920&category=Products – Printer Epson Stylus photo R2400
7. <http://www.trustedreviews.com/printers/review/2006/05/19/Epson-Stylus-Photo-R2400/p1> – Printer Epson Stylus photo R2400
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/Iron-on> - Iron on folija
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Transfer_paper - Transferni papir
10. [Http://ahyco.ffri.hr/seminari2005/printeri/povijest.htm](http://ahyco.ffri.hr/seminari2005/printeri/povijest.htm) - Printeri
11. <http://www.cra-pro.com/inkjet.html> - Boje za ink jet

7 PRILOZI

Popis slika i tabela

Slika 1. Shematski prikaz Ink Jet tehnologije

Slika 2. Proces za Computer to print tehnologiju

Slika 3. Parametri bitni za nastanak kapljice boje

Slika 4. Shematski prikaz rada binarnog kontinuiranog Ink Jeta

Slika 5. Shematski prikaz rada CIJ sa višestrukim skretanjem

Slika 6. Shematski prikaz Termalnog ink jeta

Slika 8. Princip nastajanja kapljice boje kod termalnog ink jeta

Slika 9. Piezo Ink Jet: a) deformacija piezo kristala; b,c) deformacija piezo kristala tijekom otiskivanja

Slika 10. Princip Elektrostatskog ink jeta

Slika 11. a) Elektrostatski ink jet po Taylorovom efektu; b)kronološki prikaz formiranja otiska principom elektrostatskog ink jeta.

Slika 12.Princip rada Elektrostatskog ink jeta s kontrolom prstenastog grijača

Slika 13. Princip rada i izgled mlaznice Elektrostatskog mist Ink Jeta- a) Princip, b) ispusni otvor mlaznice, c) reprodukcija nastala primjenom mist Ink Jeta.

Slika 14. Primjer Ink Jet pisača sa 96 mlaznica

Slika 15. Poredak mlaznica u dvije linije

Slika 16. Poredak mlaznica u 6 linija

Slika 17. Prikaz modularnog ispisa glave rezolucije od 600 dpi

Tablica 1: Ink Jet bojila i njihov mehanizam sušenja

Slika 18. Primjer interakcije kapljice bojila s papirom u Ink Jet tehnologiji: a) Početak interakcija boje i tiskovne podloge, b) Završetak interakcije procesa sušenja jednog rasterskog elementa

Slika 19. Sušenje dye bojila na tiskovnoj podlozi

Slika 20. Sušenje pigmentiranog bojila na tiskovnoj podlozi

Slika 21. Presjeci osnovnih tiskovnih podloga prilagođenih za Ink Jet otiskivanje

Slika 22. Prikaz uvećanih vlakna pamuka

Slika 23. Vrste tkanja pamučnih vlakana: a) jednostavno tkanje, b) keper tkanje, c) satensko tkanje

Slika 24. Tiskovna forma korištena za ovo ispitivanje

Slika 25. Razvijena shema eksperimenta

Slika 26. Spektrofotometar X – Rite DTP 20 „Pulse“

Tablica 2. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite DTP 20

Tablica 3. Karakteristike Epson Stylus Photo R2400 printera:

Slika 27. Mikroskopske fotografije (uvećana 10x) punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x

Slika 28. CIE ab dijagram kromatičnosti za pune tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 29. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 30. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 31. CIE ab dijagram kromatičnosti za rasterske tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 32. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 33. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 34. CIE ab dijagram kromatičnosti za RGB boje nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 35. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=40^{\circ}$

Slika 36. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 37. CIE ab dijagram kromatičnosti za pune tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 38. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x

Slika 39. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$,

Slika 40. CIE ab dijagram kromatičnosti za rasterske tonove nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 41. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E rasterskih tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 42. Mikroskopska fotografija (uvećana 10x) punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 43. CIE ab dijagram kromatičnosti za RGB boje nastale termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Slika 44. CIE Lab dijagram otisaka i Delta E punih RGB tonova nastalih termalnim transferom na pamučnu tkaninu koja je prana 1x, 3x, 5x i 7x na $T=90^{\circ}$

Pregled korištenih tablica

Cyan 100% - $T = 40^{\circ}\text{C}$

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	2,1589	-0,8394	1,8447	-0,7438
Uzorak 3	60,9	-14,66	-30,23				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	2,5700	-0,1758	1,8238	-1,8022
Uzorak 5	60,14	-13,09	-30,45				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	3,2630	-0,1495	2,4544	-2,1449
Uzorak 7	60,11	-12,31	-28,91				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	4,0831	0,8152	2,8545	-2,8034
Uzorak 9	59,02	-11,24	-27,95				

Magenta 100% - $T = 40^{\circ}\text{C}$

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	2,0543	-0,5272	1,7910	0,8570
Uzorak 3	55,67	42,81	0,86				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	4,1205	-1,9814	3,3160	1,4343
Uzorak 5	57,24	38,5	-0,23				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	5,1276	-2,2371	4,1053	2,1057
Uzorak 7	57,52	36,35	-1,34				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	4,8948	-1,0778	4,3112	2,0521
Uzorak 9	56,26	35,81	-1,25				

Žuta 100% - $T = 40^{\circ}\text{C}$

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	6,1603	0,6733	6,0443	0,9813
Uzorak 3	87,04	-1,26	33,11				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	11,5524	2,8080	11,0584	1,8123
Uzorak 5	83,78	0,02	21,56				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	12,2325	3,7190	11,5941	1,1740
Uzorak 7	82,42	-0,48	20,44				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	14,3800	5,5505	13,2486	0,6706
Uzorak 9	79,74	-0,72	17,12				

Crna 100% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	4,6236	-4,2408	-1,7006	0,7078
Uzorak 3	43,85	3,01	-5,99				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	6,8730	-6,3475	-2,4483	0,9763
Uzorak 5	46,08	3,26	-6,98				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	6,8561	-6,5784	-1,7115	0,8947
Uzorak 7	46,32	2,89	-6,14				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	7,0049	-6,6363	-2,0568	0,8932
Uzorak 9	46,38	3,09	-6,50				

Cyan 25% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	2,3185	1,7562	1,4739	-0,3441
Uzorak 3	79,18	-8,69	-13,14				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	4,3340	2,9604	2,5461	-1,8809
Uzorak 5	77,47	-6,70	-12,90				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	5,5809	4,0130	3,0827	-2,3536
Uzorak 7	76,00	-5,97	-12,49				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	6,9918	4,9650	3,9857	-2,8893
Uzorak 9	74,69	-4,99	-11,61				

Magenta 25% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	1,9870	1,7539	0,9250	-0,1285
Uzorak 3	77,45	17,84	-4,87				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	3,5215	2,8000	1,9202	0,9347
Uzorak 5	75,99	16,09	-5,91				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	4,0207	3,3001	2,0937	0,9441
Uzorak 7	75,30	15,84	-5,84				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	5,6259	4,8230	2,3336	1,7156
Uzorak 9	73,23	15,27	-6,74				

Žuta 25% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	3,8723	2,4160	2,2706	2,0005
Uzorak 3	86,28	0,83	4,87				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	6,6537	4,3383	3,7509	3,3737
Uzorak 5	83,36	1,27	2,65				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	9,0337	5,9941	3,9989	5,4487
Uzorak 7	80,91	1,83	1,16				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	10,6836	7,5155	3,8517	6,5437
Uzorak 9	78,71	2,08	0,43				

Crna 33% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	1,0812	0,8439	-0,4667	0,4889
Uzorak 3	70,15	6,08	-13,74				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,8639	2,0124	-1,9718	0,5139
Uzorak 5	68,65	7,25	-15,90				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	1,8850	1,8632	0,0164	0,2853
Uzorak 7	68,84	5,86	-12,94				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,9164	2,8746	-0,4912	0,0174
Uzorak 9	67,56	6,40	-13,45				

Crvena 100% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	2,1041	-0,5570	1,3067	1,5523
Uzorak 3	56,61	46,96	10,74				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	3,6077	-0,0559	2,3648	2,7239
Uzorak 5	56,07	44,17	8,03				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	4,3212	0,2429	3,0000	3,1005
Uzorak 7	55,75	42,42	7,02				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	5,0699	0,9397	3,6405	3,4011
Uzorak 9	55,01	40,67	6,17				

Zelena 100% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	2,9868	-0,8350	1,2511	-2,5804
Uzorak 3	61,28	-22,88	-7,51				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	5,8353	-0,0088	2,0620	-5,4588
Uzorak 5	60,33	-20,26	-10,68				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	6,0117	-0,4276	3,0106	-5,1859
Uzorak 7	60,81	-18,82	-9,77				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	6,8340	-0,1574	3,4220	-5,9134
Uzorak 9	60,5	-17,83	-10,36				

Zelena 100% - T = 40°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	1,6107	-1,4585	-0,0107	-0,6836
Uzorak 3	45,77	4,58	-24,81				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	3,0008	-2,7555	0,8191	-0,8608
Uzorak 5	47,11	3,7	-22,81				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	3,5104	-3,3249	0,7110	-0,8730
Uzorak 7	47,69	3,83	-23,04				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	3,1491	-2,6773	1,1130	-1,2289
Uzorak 9	47,03	3,68	-21,99				

Cyan 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	6,1928	-5,7477	1,3982	-1,8330
Uzorak 4	66,78	-13,23	-31,54				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	4,1676	-3,3588	0,3410	-2,4437
Uzorak 6	63,86	-12,62	-34,39				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	5,1968	-4,1956	0,8933	-2,9336
Uzorak 8	64,87	-11,7	-32,87				
Uzorak 2	59,94	-16,96	-34,91	6,2391	-5,4581	1,0730	-2,8255
Uzorak 10	66,42	-11,82	-32,4				

Magenta 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	8,3049	-7,3856	3,0500	2,2631
Uzorak 4	63,42	39,2	-1,63				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	5,8693	-5,0844	2,3520	1,7508
Uzorak 6	60,72	41,19	-0,75				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	5,8804	-4,9452	2,5865	1,8529
Uzorak 8	60,56	40,52	-0,93				
Uzorak 2	55,11	48,2	2,68	6,7737	-5,9642	2,4739	2,0471
Uzorak 10	61,74	40,83	-1,27				

Žuta 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	8,1801	-1,0444	8,1079	0,2912
Uzorak 4	89,74	-1,71	28,05				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	7,6084	-0,0638	7,5890	0,5399
Uzorak 6	88,19	-1,53	29,29				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	8,3176	0,1661	8,3157	0,0515
Uzorak 8	87,83	-1,92	27,55				
Uzorak 2	88,09	-3,61	50,43	8,6329	-0,6223	8,5726	0,8058
Uzorak 10	89,07	-1,13	27				

Crna 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	8,4215	-8,0211	-2,2194	1,2872
Uzorak 4	47,8	2,9	-6,96				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	7,1616	-6,6942	-2,2900	1,1101
Uzorak 6	46,44	3,07	-6,91				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	7,4348	-7,0040	-2,1232	1,3087
Uzorak 8	46,76	2,83	-6,87				
Uzorak 2	39,13	2,45	-3,83	9,2998	-8,8644	-2,5244	1,2392
Uzorak 10	48,65	3,11	-7,26				

Cyan 25% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	3,2433	-0,3998	1,3711	-2,9119
Uzorak 4	82,32	-6,69	-15,18				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	2,9900	-0,0544	0,5911	-2,9305
Uzorak 6	81,81	-7,20	-16,34				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	3,1153	0,2451	1,0998	-2,9044
Uzorak 8	81,37	-6,88	-15,57				
Uzorak 2	81,73	-10,29	-14,85	2,9474	-0,7031	1,9293	-2,1144
Uzorak 10	82,77	-6,97	-13,89				

Magenta 25% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	2,7234	-1,7422	1,4877	1,4725
Uzorak 4	82,50	16,55	-6,86				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	2,6410	-0,1798	-0,0527	2,6344
Uzorak 6	80,21	18,42	-9,40				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	2,7051	-0,0484	0,8406	2,5707
Uzorak 8	80,02	17,09	-8,74				
Uzorak 2	79,95	19,27	-5,47	2,4045	-1,0918	0,9614	1,9146
Uzorak 10	81,54	17,17	-7,76				

Žuta 25% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	6,4266	-0,4492	4,6078	4,4573
Uzorak 4	90,79	1,34	1,10				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	8,8672	0,2886	3,6431	8,0790
Uzorak 6	89,61	2,17	-0,95				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	8,7426	0,8759	4,3026	7,5600
Uzorak 8	88,68	1,56	-1,21				
Uzorak 2	90,07	-0,46	7,93	8,4614	0,1002	3,9247	7,4954
Uzorak 10	89,91	2,00	-0,63				

Crna 33% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,6865	-2,0483	-1,0615	1,3764
Uzorak 4	73,98	5,94	-15,17				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,8787	-1,2233	-2,1209	1,5141
Uzorak 6	72,87	6,69	-16,83				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,5179	-1,2831	-1,6061	1,4539
Uzorak 8	72,95	6,31	-16,02				
Uzorak 2	71,25	6,05	-12,77	2,7742	-1,9153	-1,4689	1,3676
Uzorak 10	73,80	6,26	-15,76				

Crvena 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	8,6528	-6,3090	3,4143	4,8385
Uzorak 4	63,14	41,6	3,93				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	6,7304	-4,3103	2,5599	4,4908
Uzorak 6	60,8	44,03	4,92				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	7,1185	-4,3624	2,6881	4,9414
Uzorak 8	60,86	43,73	4,08				
Uzorak 2	56,01	50,39	14,51	7,7136	-5,3862	2,6784	4,8285
Uzorak 10	62,05	43,74	4,28				

Zelena 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	10,8600	-5,6872	2,4625	-8,9181
Uzorak 4	67,12	-17,5	-14,51				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	10,9918	-3,9528	1,6360	-10,1251
Uzorak 6	64,98	-17,81	-16,65				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	11,2350	-4,0432	1,8117	-10,3245
Uzorak 8	65,09	-17,36	-16,72				
Uzorak 2	60,32	-26,01	-4,57	12,1897	-4,6801	1,6136	-11,1392
Uzorak 10	65,87	-16,9	-17,86				

Plava 100% - T = 90°C

Boja	L	a	b	ΔE_{00}	ΔL_{00}	ΔC_{00}	ΔH_{00}
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	9,6518	-9,6115	0,6210	0,6242
Uzorak 4	53,87	2,71	-24,04				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	6,4234	-6,4225	0,1063	0,0195
Uzorak 6	50,77	3,85	-24,94				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	6,7031	-6,6989	0,2250	-0,0726
Uzorak 8	51,04	3,77	-24,6				
Uzorak 2	44,23	4,01	-25,19	7,7729	-7,7577	0,4808	0,0636
Uzorak 10	52,07	3,34	-24,07				