

Utjecaj tipa Inkjet bojila na mehanička svojstva otisaka na metalnim zatvračima

Štukar, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:885934>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

IVA ŠTUKAR

Utjecaj tipa Inkjet bojila na mehanička svojstva
otisaka na metalnim zatvaračima

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu
Grafčki fakultet

IVA ŠTUKAR

Utjecaj tipa Inkjet bojila na mehanička svojstva otisaka na metalnim zatvaračima

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:

Iva Štukar

Zagreb, 2016.

Zahvala

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Igoru Majnariću na velikoj pomoći, savjetima, trudu i utrošenom vremenu prilikom stvaranja ovog diplomskog rada. Također se zahvaljujem za sve znanje koje je odlučio nesebično podijeliti sa mnom.

Zahvaljujem se svom bratu, mami, teti i tetku koji su mi bili velika podrška kroz cijeli studij i vjerovali u mene čak i onda kada sama sebi nisam vjerovala.

Najveće hvala ide Luki i Kristijanu koji su mi pokazali što sve mogu i zbog kojih sam postala ono što danas jesam. Hvala im za svaki trenutak kada su bili uz mene onda kada mi je najviše trebalo.

SAŽETAK:

Današnjom UV Inkjet tehnologijom tiska omogućena je alternativa otiskivanja limenih proizvoda. U ovom radu pokazati će se kolika je mehanička čvrstoća otisaka na metalnim čepovima otisnutih tehnikom Inkjeta sa tri različita stroja, odnosno Inkjet boje. Sukladno tome, otisci su podvrgnuti denzitometrijskim i spektrofotometrijskim mjerenjima, a nakon toga i mehaničkom oštećenju vršne površine. Eksperimentalno otisnuti uzorci posebno su konstruirani te sadržavaju veći broj različito obojenih kolornih polja uz varijaciju gradacije rastertonskih vrijednosti (različita tonska pokrivenost). Također, uzorci su sadržavali točno definirane PANTONE nijanse za detaljnije ispitivanje njihove kvalitete prilikom tiska na metal. Denzitometrijska kontrola provedena je kako bi se utvrdila kolorna kvaliteta otiska, odnosno kreirale krivulje reprodukcije. Iz dobivenih krivulja vidljivo je kako je reprodukcija na Roland printeru nešto tamnija, dok su otisci dobiveni na Durst printeru najumjereniji. Kako bi se odredila razlika između Inkjet UV sušćih bojila izvršena je međusobna komparacijska kolorimetrijska analiza. Iz promatranja njihovih različitosti, utvrđeno je da nema pravilnosti između otisaka, te se svaki ponaša osebujno. Nakon mjerenja, otisci su podvrgnuti mehaničkom oštećenju. Točnije, provedeno je ispitivanje Cross Cut testerom, te mehaničko otiranje. Oba ispitivanja su pokazala kako su otisci izuzetno stabilni na metalnoj podlozi, te su njihova oštećenja nakon ispitivanja minimalna.

Ključne riječi: Inkjet, UV bojila, metalna podloga, mehanička oštećenja otisaka

ABSTRACT:

Today's UV Inkjet printing technology has been enabled alternative of printing on metal surfaces. In this work it has been shown how strong are the prints on metal caps printed with Inkjet technology with three different Inkjet printing machines. Accordingly, the prints are primarily subjected to densitometric and spectrophotometric measurements, and then the mechanical surface damage. Experimental samples are specially designed and are contained greater number of differently colored fields to variation of certain dot gradation value (different tone coverage). Also, the samples contained PANTONE tones for a more detailed examination of their quality printing on metal. Densitometric control was conducted to determine the colour quality of the print. From the resulting print curve it has been showed that the reproduction at Roland Inkjet printer is darker, while the prints obtained with Durst Inkjet printer are the most moderate. In order to determine the difference between Inkjet UV inks it has been made mutual comparison colorimetric analysis. From observation of these differences, it was found no regularity between prints. After measurements, prints are subjected to mechanical damage. Specifically, the study was carried out with cross cut test, and were subjected to mechanical rubbing of the prints. Both tests showed that the prints are extremely stable on a metal substrate, and their damage after testing is minimum.

Keywords: Inkjet, UV inks, metal surface, mechanical damage of prints

Sadržaj

| | |
|---|-----------|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada..... | 2 |
| 3. Teoretski dio..... | 3 |
| 3.1. Metali kao tiskovna podloga..... | 3 |
| 3.2. Pločasti materijali za proizvodnju metalne ambalaže..... | 4 |
| 3.3. Tretiranje metalnih površina..... | 5 |
| 3.4. Deformacije metalne ambalaže..... | 6 |
| 3.5. Inkjet boje za otiskivanje na metal..... | 8 |
| 3.5.1. Svojstva Inkjet boja..... | 9 |
| 3.5.2. Boja za Inkjet na bazi bojila..... | 11 |
| 3.5.3. Boja za Inkjet sa pigmentima..... | 14 |
| 3.5.4. Solventna Inkjet boja..... | 16 |
| 3.5.5. UV Inkjet bojila..... | 16 |
| 3.6. Inkjet strojevi za tisak na metal..... | 19 |
| 3.6.1. Flatbed Inkjet strojevi..... | 20 |
| 3.6.2. Princip rada Inkjet piezo ispisnih glava..... | 22 |
| 3.7. Mehaničke deformacije metalnih otisaka..... | 24 |
| 3.7.1. Cross cut test..... | 25 |
| 3.7.2. Otiranje otiska..... | 26 |
| 4. Eksperimentalni dio..... | 28 |
| 4.1. Opis eksperimenta..... | 28 |
| 4.2. Korišteni materijali..... | 30 |
| 4.2.1. Tiskovna podloga..... | 30 |
| 4.3. Tiskarski strojevi..... | 30 |
| 4.3.1. Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC-300..... | 30 |
| 4.3.2. Tiskarski stroj Durst Rho 1012..... | 32 |
| 4.3.4. Tiskarski stroj EFI VUTEk GS2000 _{LX} | 33 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4. Mjerni uređaji..... | 35 |
| 4.4.1. Spektrofotometar x-Rite eXact..... | 35 |
| 4.4.2. Dinolite mikroskop..... | 36 |
| 4.4.3. Fischer Dualscope FMP40..... | 37 |
| 5. Rezultati i diskusija..... | 38 |
| 5.1. Denzitometrijska mjerenja otisaka..... | 38 |
| 5.2. Spektrofotometrijska mjerenja otisaka..... | 40 |
| 5.2.1. Spektrofotometrijska mjerenja procesnih boja..... | 40 |
| 5.2.2. Kolorimetrijska mjerenja baznih PANTONE tonova..... | 43 |
| 5.3. Mehaničko oštećenje otisaka..... | 46 |
| 5.3.1. Deformacija Cross cut testom..... | 46 |
| 5.3.2. Otiranje otiska..... | 51 |
| 6. Zaključak..... | 56 |
| 7. Literatura..... | 58 |
| 8. Prilozi..... | 60 |

1. Uvod

Metalna ambalaža pronašla je svoju primjenu u raznim industrijskim djelatnostima. Razlog tomu pronalazi se u čitavim nizom kvalitetnih svojstava direktno primjenjivim u različitim industrijama. [1]

Sukladno funkcionalnoj namjeni proizašla je potreba za različitim vrstama otisaka na ovakvom tipu ambalaže. Općenito, metal kao tiskovna podloga je izrazito zahtjevan zbog naglašene neupojnosti, a od konvencionalnih tehnika otiskivanja koje su se pokazale kao odgovarajuće za ovakav tip podloge su limotisak (specijalna verzija litografskog ofseta), sitotisak i tampon tisak.[2]

U novije vrijeme, općenitom globalizacijom dolazi do rastuće potrebe za bržom distribucijom gotovih proizvoda, pa samim time i onih izrađenih od metala. Kako bi se uspješno izvršio taj zadatak, potrebno je smanjiti period trajanja proizvodnog procesa izrade limenki i tuba. Tako je nastala ideja o trenutnom sušenju otisaka na neupojnim podlogama pomoću UV tehnologije. Time se direktno skratio proces otiskivanja i nastanka gotovih metalnih proizvoda. Kao isplativa metoda nameće se Inkjet tehnologija koja prvenstveno ne zahtjeva izradu tiskovne forme, već se otisak dobiva direktno iz računala. Također, Inkjet kao prednost može navesti i isplativost za manje naklade, te korištenje tekućih bojila.

S druge strane, postavlja se pitanje kolika je kvaliteta tako dobivenih otisaka na metalnoj ambalaži. Ponajprije se misli na $L^*a^*b^*$ vrijednosti nanesenih boja, ali i na njihovu mehaničku čvrstoću i postojanost na površini metalne tiskovne podloge.

Područje interesa ovog rada bilo je istražiti segment kvalitete kolornih premaza metalnih UV sušećih Inkjet otisaka prilikom površinskih mehaničkih deformacija, te koliko je ostvarena uspješnost prijenosa Inkjet boje na metalnu tiskovnu podlogu. Posebna pažnja posvetila se postojanosti UV sušećih Inkjet boja na tiskovnoj podlozi nakon mehaničkog djelovanja (oštećenja).

2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada

Inkjet tehnologija je jedina prava beskontaktna tehnika otiskivanja te je zbog toga pogodna za otiskivanje na metalnu tiskovnu podlogu. U ovom radu ispitivala se izdržljivost metalnih otisaka otisnutih sa *UV ECO* Inkjet bojom na mehaničko otiranje površine, te utjecaj same podloge na kolorimetrijske vrijednosti otisnutih tonova. Ovdje je riječ o potpuno novim formulacijama Inkjet boja koje su uporabu pronašle prije nekoliko godina za tisak na polimernim tiskovnim podlogama. Samim time postavlja se pitanje mogu li se ovakve Inkjet boje primijeniti na metalu, te kakva je njihova uspješnost vezivanja za tiskarsku podlogu. Otisnuta površina koja se je ispitivala sadržavala je CMYK polja koja se međusobno razlikuju i po površinskoj pokrivenosti, te polja otisnuta baznim PANTONE nijansama. Samim time riječ je o četiri vrste različitih boja u kojima su tvorničke varijante formulacije pigmenata te njegove koncentracije. Otisci su otisnuti na tri različita modela Inkjet stroja, čime ispitavnje postaje kompleksnije i raznovrsnije (UV, LED UV, LED UV + djelovanje inertne atmosfere).

Nakon tiska, otisci su mjereni spektrofotometrom i denzitometrom, te su nakon toga izloženi mehaničkim otiranju površine otiska. Točnije, rotacijskom otiranju i *Cross-cut* testu (metoda za određivanje adhezija boje na krutoj tiskovnoj podlozi).

Samim time nameće se druga hipoteza a to je da li je otisnuta UV Inkjet boja na mjestima većih nanosa bojila (puni ton, 80% RTV) mehanički stabilnija, te ovisi li tehnika sušenja Inkjet stroja na mogući rezultat.

Sukladno tome definiran je i cilj ovog istraživanja, a to je precizno utvrđivanje mehaničke karakteristike površine metalnih otisaka nastalih na tri različita Inkjet stroja (Roland VersaUV LEC-300, Durst Rho 1012 i EFI VUTEK GS2000_{LX}), te njihova međusobna razlika u kolornim promjenama, te otpornost na otiranje.

3. Teoretski dio

3.1. Metali kao tiskovna podloga

Metalne tiskovne podloge mnogo su kompleksnije u odnosu na papirne tiskovne podloge koje se uglavnom upotrebljavaju u grafičkoj tehnologiji. Ipak, svi metali ne mogu se koristiti za proizvodnju ambalaže. Zbog svojih svojstava valjanja i obrade najčešće se koriste: čelik, kositar, aluminij i cink.[3] Metali valjani u ploče potpuno su neupojni te samim time predstavljaju velik problem pri odabiru pravih komponenata koja se dodaju bojama koje suše penetracijom.

Metal kao podloga odlikuje se izrazito dobrim mehaničkim svojstvima. Kao pozitivne karakteristike ističu se nepropusnost za plinove i tekućine, ne reagiranje na elektromagnetsko zračenje, otpornost na mikroorganizme, izvrsna mehanička čvrstoća, te dobra termalna provodljivost. Unatoč navedenim pozitivnim osobinama, mnogi metali ipak podliježu koroziji u prisustvu kiselina i lužina, a neki mogu pokazivati i toksična svojstva. Iz tog razloga metalna ambalaža se nikad ne stavlja u direktan dodir sa proizvodom već se primjenjuju razni postupci barijernog lakiranja i premaza kako bi se sadržaj u potpunosti zaštitio od neželjenih polutanata.

S druge strane, metal na tržištu postiže relativno visoku cijenu zbog svojih ekonomskih i vremenskih troškova obrade. Metal se kao tiskovna podloga tako mora na posebne načine obrađivati, kako bi naposljetku dobio željene karakteristike. On se prvo mora pretvoriti u poluproizvod, izvodeći pritom toplo i hladno valjanje (oblikovanje u metalne folije) koje se još dodatno premazuje i oblikuje u gotov ambalažni proizvod. [2]

Čelik kao materijal obiluje izrazito kvalitetnim mehaničkim svojstvima što je posljedica spajanja željeza sa ugljikom (u različitim omjerima). Izrazito dobro se prerađuje kovanjem, valjanjem, izvlačenjem i drugim obradnim postupcima, te se dobro spaja zavarivanjem, lemljenjem i zakovicama. Bez obzira koliko puta ga se reciklira, on ostaje jak i čvrst, te se može 100% reciklirati. Čelici u svom sastavu mogu sadržavati i druge kovine koje će oplemeniti njegovu strukturu. Takvi čelici nazivaju se legirani čelici. [3] Za izradu metalne ambalaže najpogodniji su niskougljični čelici, tj. čelici sa maksimalnim udjelom ugljika od 0,13%. [2] Bez obzira na mnoga dobra svojstva, čelik ima i lošu otpornost na koroziju, te se lako otapa u slabim kiselinama [4]

Kositar je metal vrlo postojan na zraku, te se zbog svojih svojstava lako oblikuje u tanke listiće (folije). Za razliku od čelika, kositar je postojan prema slabim i srednjim kiselinama, a otapaju ga jače kiseline i lužine. Netoksičan je i pogodan je za proizvodnju prehrambene ambalaže, pa je kao takav prikladan i za pakiranje lijekova, različitih kozmetičkih proizvoda i sredstava za osobnu higijenu. [3] Kositar se danas sve više zamjenjuje znatno jeftinijim aluminijem ali je i dalje obavezan materijal u proizvodnji legiranog bijelog lima. [2]

Legirani bijeli lim se vrlo često spominje kao idealni ambalažni materijal za prehrambene namirnice. On je, u osnovi, čelični lim presvučen tankim slojem kositra. Iako je proces nanašanja kositra na čelični lim poznat već 800 godina, u novije vrijeme je značajno osuvremenjen. Najviše se upotrebljava zbog mogućnosti sterilizacije, tj. za proizvodnju limenki namijenjenih za očuvanje termički tretiranih namirnica. Prije pakiranja, potrebno ga je obraditi slojem laka kako bi mu se još dodatno povećala otpornost na koroziju. [3]

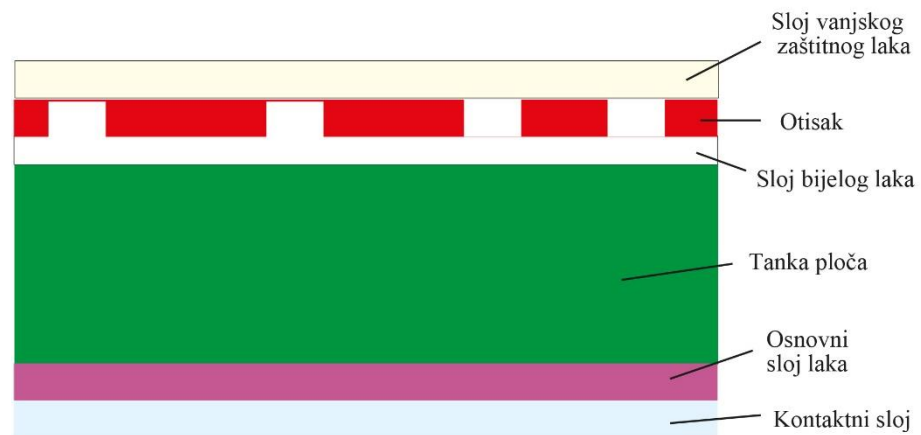
3.2. Pločasti materijali za proizvodnju metalne ambalaže

Metalne podloge koje se koriste za proizvodnju limene ambalaže moraju biti točno definirane debljine. Najčešće se u te svrhe upotrebljava ravna ploča u obliku arka debljine od 0,1 do 0,6 mm. Kako bi se takva metalna ploča obradila za proces tiska, najprije ju je potrebno detaljno odmastiti. [1]

Nakon toga slijedi priprema koja se izvodi elektrolitičkim oslojavanjem cinka. To se provodi kako bi sve neravnine na površini metala uklonile. Ovaj dio pripreme bitan je zbog stvaranja ujednačene površine za otiskivanje, odnosno formiranja ujednačene debljine otisaka (0,8 – 2 μm). Zaštitnu ulogu kod metalnih ploča imaju posebni lakovi i premazi na bazi poliestera ili epoksi smola. Oni se nanašaju u više slojeva. Pritom oni ne smiju sadržavati nikakve arome kako bi se izbjegao utjecaj na budući sadržaj limene konzerve. Završna faza u proizvodnji je rezanje na željene dimenzije te završno oblikovanje valjanjem ili izvlačenjem. [2]

U upotrebi je najzastupljeniji bijeli lim. Krajnja ploča od bijelog lima sastoji se od pet zaštitnih premaza: *osnovni lak (ground)*, *bijeli lak*, *ljepljivi lak (halt)*, *vanjski zaštitni lak (srebrni ili prozirni)* i *unutarnji zaštitni lak*. Stoga, osnovne kemijske skupine zaštitnih

lakova su različite *poliesterske smole*, *poliuretanske smole*, *epoksi-fenolne smole* i *poliakrilatne smole*. Njihovom kombinacijom ostvarujemo različitu zaštitnu funkciju. [4]



Slika 1: Presjek ploče bijelog lima

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), *Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio*, Grafički fakultet, Zagreb)

3.3. Tretiranje metalnih površina

Nanašanje gustih tiskarskih boja i lakova na metalnu ploču vrlo je komplicirano. Zbog toga je za bolju adheziju tiskarske boje na metalnu tiskovnu podlogu potrebno dodatno pripremiti površinu. To se izvodi: *korona tretmanom*, *plazma tretmanom* ili *tretmanom otvorenog plamena*. Ovakvi tretmani mogu se primijeniti samo na neupojnim podlogama, čime se smanjuje površinska napetost, te otklanjaju mogući ostaci organskih nečistoća.

Korona tretman je vidljivo električno pražnjenje koje se pojavljuje kada se visoki napon distribuira kroz elektrodu malog promjera. Pritom je elektroda smještena u neposrednoj blizini elektrizirane površine (nekoliko mm). To "pražnjenje" je poznatije kao *korona pražnjenje*, a uzrokuje djelomičnu ionizaciju okolnog zraka čije se molekule koriste za modificiranje tretirane površine. Prvenstveno se koristi na površinama koje imaju nisku površinsku energiju s ciljem stvaranja negativno nabijenih iona. Ovakvim načinom obrade materijala, površina će ostvariti višu površinsku energiju koja je nužna za dobro prihvaćanje tiskarskih boja i lakova. Obrada površine s ionima plinova (bombardiranjem) odvija se djelovanjem električne struje između anode i katode, pri čemu dolazi do stvaranja ozona (O_3). Ozon se raspada na atomski kisik, koji je negativno nabijen, te ga

privlači pozitivno nabijena elektroda. Na putu do anode atomski kisik reagira sa materijalom i njegovo kretanje završava udaranjem površine obrađivanog materijala. Ovakav tretman provodi se potpuno kontrolirano. [5]

Poput korona tretmana, i **plazma tretman** provodi se u apsolutno kontroliranim uvjetima što također omogućava bolju adheziju tiskarske boje na podlogu. Plazma je plinovito stanje u kojem egzistiraju oslobođene pozitivno ili negativno nabijene čestice. Pri ovom tretmanu površina je izložena ioniziranom plinu koji se stvara u zatvorenoj komori. Na samom kraju na metalu djeluju visoki električni naponi (ioni, elektroni, atomi i slobodni radikali). Nakon tretmana, postignuta je veća napetost tiskovne površine, čime je i adhezija boje na tiskovnu podlogu puno bolja.

Treći proces moguće pripreme metala je **proces obrade otvorenim plamenom**. Tijekom procesa paljenja oslobađa se visoka temperatura pri čemu dolazi do procesa oksidacije površine, te se na taj način stvara bolja (oplemenjena) površina koja omogućava lakšu adheziju tiskarske boje na površinu metala. [6]

3.4. Deformacije metalne ambalaže

Količina proizvedene metalne ambalaže u svijetu konstantno se povećava. Samim time, danas se za ambalažu koriste čisti metali u kombinaciji sa polimernim materijalima (plastičnim masama), formirajući time složene laminate. Ovisno o primjeni tehnologije, metalne limenke se danas proizvode na dva moguća načina: limenke iz tri dijela i limenke koje imaju dva dijela.

Nešto starija tehnologija izrade limenki jest ona koja sadrži tri dijela. To su: plašt (tijelo limenke), drugi dio je dno limenke, a treći je poklopac limenke (slika 2). Proizvodnja ovakvih limenki započinje izradom dna i poklopca. Poklopac i dno obično se ne otiskuju, a tisak se smješta na bočni plašt limenke. Nakon otiskivanja plašta, konzerva se izrezuje na potrebni format, savija se, te se postupkom varenja formira u cijev. Mjesto spajanja sa poklopcem i dnom mora se posebno tretirati. Nakon prilagođavanja dno i poklopac se pripasuju na plašt limenke dvostrukim savijanjem, te se nakon punjenja limenka zatvara za to predviđenim tehnološkim procesom.



Slika 2. Trodijelne limenke bez tiska s mehanizmom za otvaranje

(Izvor: <http://pitaj.online/2016/05/04/hrana-u-konzervi/>)

Dvodijelna limena ambalaža (slika 3) sastoji se od poklopca i dijela koji čini tijelo limenke (izrađeno u jednom komadu zajedno sa dnom limenke). Poklopac se izrađuje posebno, a spaja se sa ostatkom tek prilikom zatvaranja ambalaže. Sama obrada i tehnološki postupci ovise o primjeni limenki, pa se tako na primjer dvodijelne limenke za prehrambenu industriju izrađuju od lakiranih i obojenih limenih ploča. Limenke se oblikuju u posude postupkom dubokog izvlačenja koji se ovisno o obliku izvode u jednom ili više koraka. Nakon izvlačenja provodi se obrezivanje na potrebnu visinu, oblikuje se rub i priprema za zatvaranje limenke. Izrada vanjskog ruba ponekad nije posljednja faza već se limenka zaštićuje vanjskim lakiranjem i perforacijom za lakše otvaranje. Osim tijela, potrebno je izraditi i adekvatni poklopac. Osim za metalne posude, oni se često izrađuju i za posude od stakla. Jednako tako izrađuju se i poklopci za razna pića, gdje se pri izradi moraju prilagoditi obliku osnovne ambalaže, veličini boce i izrađenom navoju. Izrada poklopca mora se prilagoditi konačnom dizajnu, a dizajn se mora prilagoditi tehnološkom procesu izrade i mogućnostima proizvođača samog sadržaja. Otiskivanje se obavezno izvodi prije izrezivanja i prije izrade samog poklopca, odnosno posude izrađene dubokim izvlačenjem. [7]



Slika 3. Dvodijelna limena ambalaža sa tiskom

(Izvor: <http://www.promix.hr/index.php/content/view/limena-ambalaza>)

3.5. Inkjet boje za otiskivanje na metal

Prilikom tiska Inkjet tehnikom, najzahtjevnija komponenta je boja. Glavna uloga Inkjet boje je prijenos kolorne informacije ljudskom oku. Samim time uspješnost njihovog nanašanja očituje se u količini prenesenih nosioca obojenja (pigmenata) na tiskovnu podlogu. Inkjet boja mora ispunjavati mnoge zahtjeve kao što su tečljivost, stabilnost kapanja, gustoća, te odlično prijanjanje uz tiskovnu podlogu. Zbog načina primjene dobar primjer njihove različitosti očituje se i u samoj viskoznost bojila. Tako na primjer, viskoznost bojila za piezoelektrični Inkjet iznosi 8 – 15 cP, dok je za termalni Inkjet ta vrijednost puno manja (ispod 3 cP). S druge strane UV Inkjet boje potpuno su drugi primjer jer prolaze fazu brzog stvrdnjavanja uslijed djelovanja UV svjetlosti. Upravo aktivacijom UV lampi postiže se brzo sušenje otiska, visoka rezolucija otiska, ali i veći nanos bojila. Sama kemijska struktura boje direktno utječe na kvalitetu otiska. Općenito sve boje za Inkjet moraju sadržavati dvije osnovne komponente: kolorante (nosioc obojenja) i baznu osnovu (tekuće sredstvo za ostvarivanje mogućnosti nanašanja boje na tiskovnu podlogu). Bazna osnova volumenom je najzastupljenija komponenta boje, te ju

čine neobojene tekućine niske viskoznosti. Jedna od uloga baze je osiguravanje dobrog formiranja kapljičnog mlaza i njegovo adekvatno fiksiranje za tiskovnu podlogu. Bazna osnova je nosioc točno obojenih molekula i služi za njihov transport do tiskovne podloge. Najčešće bazne osnove koje se koriste su: voda, organska otapala i tekući monomeri. Uz kolorante, bazna osnova obavezno sadrži i određene aditive koji imaju točno određene uloge. Najčešće su to: površinski aktivne tvari, konzervansi i fotoinicijatori.

Koloranti (druga osnovna komponenta Inkjet boje) služe za postizanje vizualnog efekta obojenja. Obično su to organski pigmenti, izvorno obojane tekućine, obojeni polimeri (koji se koriste za tisak na plastične materijale) i UV monomeri (koji se koriste za otiskivanje trodimenzionalnih struktura). Trenutno se u Inkjetu koriste dva tipa koloranata. To su: bojila (izvorno molekularno obojene tekućine organskog ili sintetičkog podrijetla) i pigmenti (sitne obojene čestice dispergirane u odgovarajućem otapalu)

Sva bojila moraju sadržavati određene fizikalno – kemijske karakteristike i kao takva moraju ostati nepromijenjena duži vremenski period. Ono što je zajedničko svim Inkjet bojilima je da iz mlaznice ispisne glave moraju izaći tekuća, viskoznosti ispod 25 cP. [8]
[9]

3.5.1. Svojstva Inkjet boja

Sama izrada Inkjet boja vrlo je složen proces. Pri izradi, prate se sljedeći parametri boje: stabilnost, viskoznost, površinska napetost, pH vrijednost, sastav boje te električna provodljivost boje.

Stabilnost boje se odnosi na mogućnost Inkjet boje da ostane ne promijenjena duži vremenski period. Tako na primjer, kod Inkjet boja koje u svom sadrže topive tvari, nestabilnost nastupa uslijed interakcije između sastojaka. Kod UV sušećih boja ista dolazi zbog polimerizacije na niskim temperaturama. Kod Inkjet boja koje sadrže pigmente problem stvara sedimentacija većih čestica pigmenata, te moguća reakcija sa drugim česticama.

Viskoznost je najbitnija karakteristika Inkjet boje. Iako na nju utječe mnogo parametara, najveći vanjski utjecaj ima temperatura, pri čemu se viskoznost i temperatura odnose

obrnuto proporcionalno. Većina boja ima konstantnu viskoznost koja se kreće ispod 20 cP, a ona ovisi o primjenjenoj ispisnoj glavi.

Površinska napetost Inkjet boje je glavni faktor koji određuje formiranje kapljice kao i njeno raspršenje na površini tiskovne podloge. Ona se kontrolira odabirom odgovarajućeg organskog otapala, pa će tako dodavanje 2- propanola u vodu smanjiti površinsku napetost vode. Površinski aktivne tvari koje se koriste, dodaju se u vrlo malim koncentracijama, čak i manje od 1%. To znači da i manje promjene u koncentraciji mogu izazvati značajne promjene u karakteristikama Inkjet boje.

pH vrijednost Inkjet boje je izrazita bitno u bojama na bazi vode. Njome se izravno utječe na stabilnost dispergiranih pigmenata u boji.

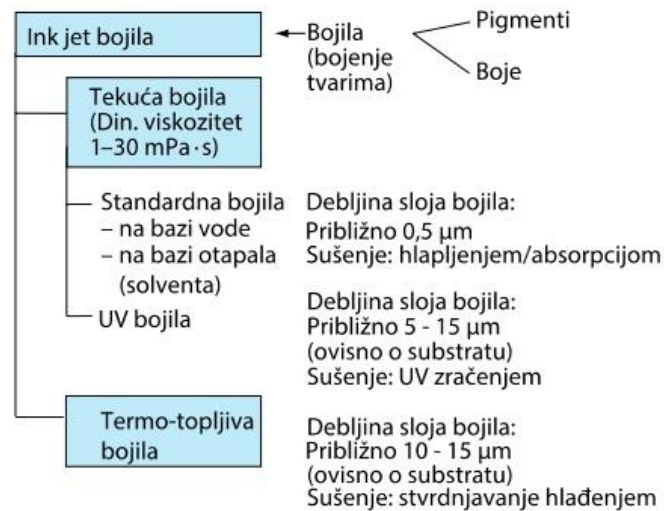
Električna provodljivost Inkjet boja je neophodna karakteristika boja koje se koriste kod kontinuiranog Inkjet sustava. To je zbog toga što se kapljice boje moraju nabiti određenim nabojem i otkloniti u stranu kako bi se ostvarilo selektivno otiskivanje. Dodavanjem agenta za kontrolu naboja omogućeno je takvo nabijanje čestica. Ovako postignuta vodljivost mora se precizno kontrolirati, a najmanje varijacije u vodljivosti mogu spriječiti efikasnost daljnjeg korištenja.

Sastava koloranata također izravno utječe na kvalitetu Inkjet boje. Ako su nositelji obojenja dye molekule (izvorno obojene molekule), tada njihova koncentracija mora biti niža od granice topljivosti. U suprotnom, prilikom skladištenja boje, može doći do taloženja. Optička svojstva Inkjet boje su često pod utjecajem i najmanje varijacije pH vrijednosti, pa tijekom duljeg skladištenja moraju biti posebno ispitana. Konvencionalne Inkjet boje tako sadrže manje od 10% pigmenta kako bi se postigla odgovarajuća optička gustoća.

Jedan od problema u Inkjet sustavima je stvaranje pjene unutar spremnika za boju. To se događa uslijed snažnog mehaničkog mučkanja boje, a rješenje ovog problema je *dodavanje sredstava koji sprječavaju pjenjenje boje*. Kako bi se ovaj problem izbjegao potrebno je dodati vrlo malu količinu sredstava kako bi se eliminirala pjena.

Sve komponente u Inkjet boji podložne su modifikacijama čime se ostvaruje velika varijabilnost. Time je za svaku tiskovnu podlogu (sušenje) i ispisnu glavu (brzina

kapanja) stvorena jedinstvena formulacija. Na slici 4. prikazana je osnovna podjela Inkjet boja te karakteristike nastalih otisaka. [10]



Slika 4. Podjela Inkjet boja

(Izvor: http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=155352)

Zbog primjene Inkjeta u grafičkoj industriji, Inkjet boja ima različitih vrsta. Tako se danas koriste: boje na bazi bojila, sublimacijske boje, boja na bazi pigmenata, solventna boja za otiske koji su izloženi vanjskim uvjetima, uljna boja, taljiva boja, UV sušeća boja, latex boja. [8]

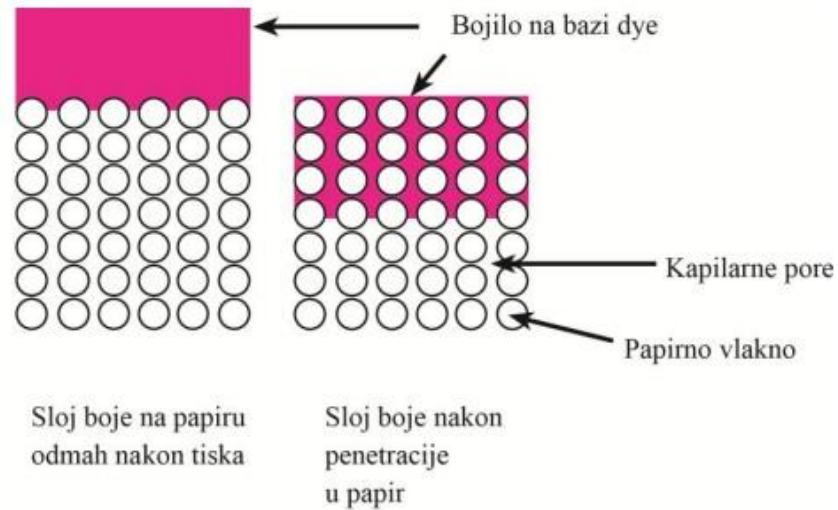
3.5.2. Boja za Inkjet na bazi bojila

Osnovno obilježje ovakve Inkjet boje je što sadržava tekuće nositelje obojenja ("dye"). To automatski znači, da će se u ovakvom tipu boje nalaziti i veći udio vode (od 50% do 90%). Zbog ove karakteristike, ovakva Inkjet boja se često naziva i "boja za Inkjet na vodenoj bazi". U tablici 1 prikazane su komponente koje čine sastava boje na bazi bojila te njihova funkcija.

Tablica 1. Sastav boje na bazi bojila

| Sastojci | Udio | Funkcija |
|-------------------------|-------------|---|
| Voda | 50 – 90% | Otapalo u boji |
| Bojilo kao kolorant | 1 – 15% | Nositelj obojenja |
| Drugo otapalo | 2 – 20% | Vezivo u boji koje sprečava isparavanje |
| Fiksator | 0 – 10% | Pomaže pri vezivanju bojila za podlogu |
| Površinski aktivna tvar | 0,1 – 6% | Regulira površinsku napetost i razlijevanje |
| Smole | 0,2 – 10% | Trajnost otiska i prijanjanje |
| Biocidi | 0,02 – 0,4% | Sprečava rast bakterija u boji |
| Fungicidi | 0,01 – 0,4% | Sprečava stvaranje gljivica u boji |
| Puferi | 0,05 – 1% | Ujednačuje pH vrijednost boje |
| Ostali dodaci | 0,01 – 1% | Određuje specifične karakteristike boje |

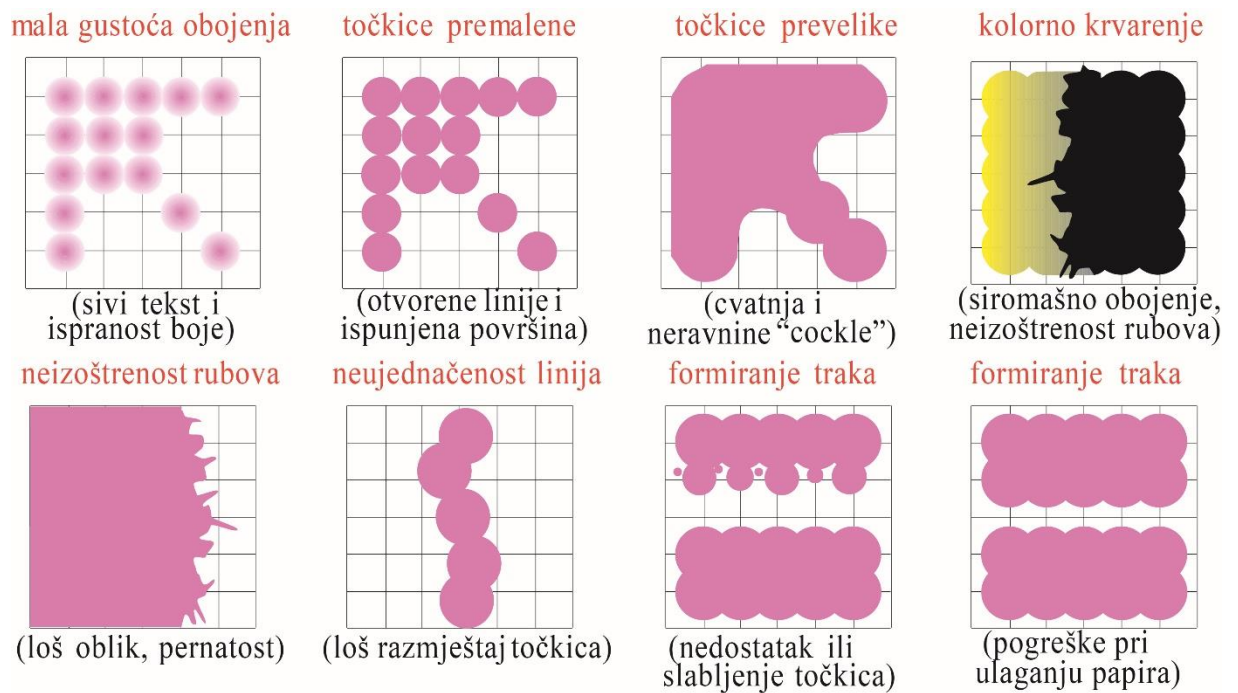
Dye bojila ne sadrže opasna organska otapala, nisu toksična, te ostvaruju intenzivnije nijanse formuliranog nanosa. Cjenovno su dostupnija, a daju otisak visoke kolorne kvalitete. Njihov glavni nedostatak je njihova osnova koju čini voda, zbog koje se boja pri većem nanosu razlijeva i daje mutan otisak. Obzirom da suše penetracijom u tiskovnu podlogu, suše relativno dugo. Kao nedostatak bi se mogla navesti slaba otpornost na atmosferske uvjete zbog čega se koriste za indoor aplikacije. Ukoliko se koriste za outdoor aplikacije, njihova postojanost može se povećati plastificiranjem ili laminiranjem. Princip interakcije dye bojila i papira prikazan je slici 5.



Slika 5. Sušenje dye bojila na tiskovnoj podlozi

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio, Grafički fakultet, Zagreb)

Postupak sušenja Inkjet boje na vodenoj bazi ovisan je procesu penetracije i apsorpcije. Zbog toga, kvaliteta tiska neće biti visoka (ukoliko je površina tiskovne podloge nepremazana boja se širi uzduž vlakanaca papira što smanjuje oštrinu otiska). Kako bi se postiglo visokokvalitetno otiskivanje, potrebno je primijeniti specijalno premazane tiskovne podloge koje sadržavaju adekvatni prihvaćajući sloj. Na taj način boja se zadržava na površini, poboljšava se gustoća obojenja otiska, te se sprečava površinsko razlijevanje i nekontrolirana penetracija u tiskovnu podlogu. Na slici 6. prikazane su najčešće greške koje nastaju prilikom primjene boje na bazi vode. [8]



Slika 6. Greške u Inkjet tisku

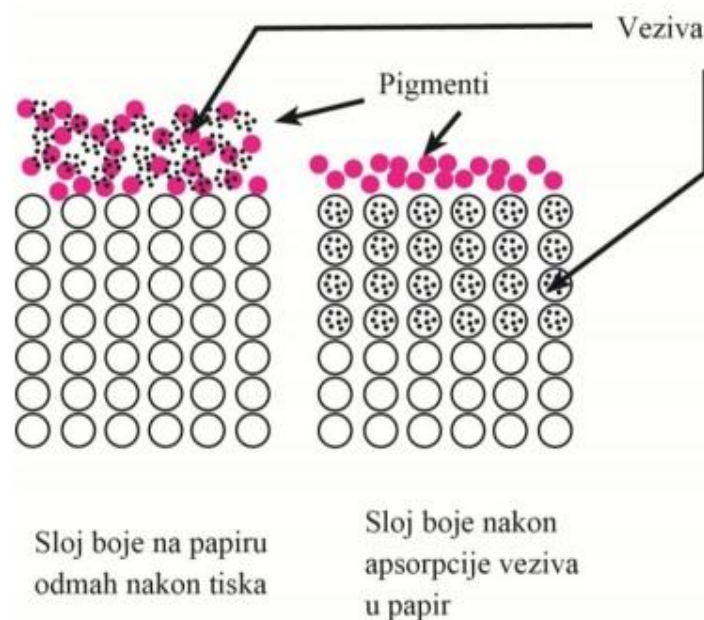
(Izvor: Majnarić, I., (2014.), *Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio*, Grafički fakultet, Zagreb)

3.5.3. Boja za Inkjet s pigmentima

Glavna prednost ovakvih Inkjet boja je njihova kolorna stabilnost. Po svom sastavu ove Inkjet boje se izrazito jednostavne. Čine ih samo tri osnovne komponente a to su otapalo, pigmenti i dodaci. Njihov kvalitetan izbor posebno dolazi do izražaja prilikom djelovanja okolnih atmosferskih čimbenika, a posebno pri utjecaju UV svjetla. Iako ova boja ostvaruje veću gustoću obojenja, ona posjeduje i neke nedostatke. To je nekontrolirano raspršenje čestica pigmenata u tekućoj boji, što u konačnici može dovesti do začepjenja mlaznica. Međutim, današnji trendovi proizvodnja Inkjet boja znatno su se poboljšali, pa je disperzija pigmenata u tekućoj bazi bolja, što dovodi do smanjivanja promjera mlaznica te povećavanjem njihova broja u ispisnoj glavi.

Pigmentirana bojila nastaju disperzijom pigmenata, sitnih krutih čestica mnogo većih od izvorno obojenih tekućina. Takve karakteristike pigmentiranom bojilu daju veću stabilnost, veću postojanost na svjetlo i atmosferske čimbenike. Takva tekućina kolorno

je mnogo stabilnija, no teško ih je održati stabilnom s obzirom da čestice s vremenom sedimentiraju. Na sedimentaciju čestica može utjecati više faktora. Međutim najviše utječe veličina čestica i masa čestica. Veće i teže čestice tako brže sedimentiraju od manjih i lakših. Prevelika količina čestica može uzrokovati njihovo nekontrolirano nakupljanje što može uzrokovati začepljenje ispisne glave. Za razliku od dye Inkjet boja koja su potpuno rastopljena u tekućini, u pigmentnom bojilu su pigmenti raspršeni u odgovarajućoj tekućini. Pigmentno bojilo nešto duže suši, pa se stoga ne preporuča za tisak na neupojne materijale. Interakcija pigmentiranog bojila i papira kao tiskovne podloge prikazan je na slici 7.



Slika 7. Sušenje pigmentiranog bojila na tiskovnoj podlozi

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio, Grafički fakultet, Zagreb)

Kako bi se omogućila pravilna distribucija Inkjet boje, pigmenti su dispergirani u niskoviskoznim tekućinama. Tako se u Inkjet bojama nalaze i lakohlapiva otapala što je bitno kod neupojnih tiskovnih podloga poput metala, plastike, stakla ili keramike. Ovakve

boje suše evaporacijom otapala, što dovodi do oslobađanja komponenata koje su nerijetko opasne za zdravlje ljudi. Time su ekološki nepovoljne i neprihvatljive. [8]

3.5.4. Solventna Inkjet bojila

Idealna tiskarska Inkjet boja je ona koja je dovoljno likvidna da bez poteškoća prođe kroz sapnice ispisne glave. Pritom ne smije uzrokovati njihovo začepljenje uzrokovano zasušivanjem ili neprikladnim izborom veličine pigmenta. Zbog tog razloga solventna bojila su pažljivo filtrirana tijekom proizvodnje kako bi se uklonile sve čestice većih dimenzija. Općenito, Inkjet solventna boja je niskog viskoziteta (4-30 cP) i sastoji se od pigmenta, veziva, aditiva i lakohlapivih otapala. [8] S obzirom na tiskovnu podlogu i primjenu različitih koncentracija otapala u bojilima, razlikujemo tri tipa boje za Inkjet na bazi organskih otapala. To su agresivna solventna boja za Inkjet, slabo agresivna boja za Inkjet i ekosolventna boja za Inkjet. Bez obzira na tip solventne boje, udio pigmenta u svakoj se ne bi smio mijenjati, te se kreće oko 8%. [8]

Pigmenti trebaju imati visoku otpornost na lakohlapiva otapala, izraženu termalnu stabilnost ali i svjetlostalnost. Vezivo se sastoji od jednog ili više polimera prikladno izabranih za kontrolu viskoznosti, čime se osigurava definiran izgled kapljica i omogućuje dobro vezanje boje za tiskovnu podlogu. [12] Uz sve navedeno, dodaju se i razni aditivi koji su potrebni kako bi modificirali likvidnost te kako bi površinska napetost bila veća od >35 mN/m. U tu skupinu spadaju i soli koje omogućavaju električnu provodljivost bojila. Naposljetku, bitno je napomenuti da aditivi čine manje od 1% bojila. Međutim, oni čine važnu razliku između dobrog i lošeg otiska. Agresivna organska otapala će definirati viskoznost, te će utjecati i na mehaničko sušenje. Nanašanjem na tiskovnu podlogu ona će započeti sa isparavanjem pri čemu će na otisku ostati samo krute čestice bojila (vezivo i pigment). [12][13]

3.5.5. UV Inkjet bojila

Zbog jednostavnog procesa, ali i korištene opreme UV tehnologija otiskivanja je doživjela nagli razvitak u posljednjih 20 godina. Za razliku od ostalih boja za Inkjet, UV sušeće boje suše gotovo trenutno, što omogućuje deblji nanos boje. Uspješnost tiska ovisi

o prilagodbi dva osnovna čimbenika: formulacija UV boje te njezina kompatibilnost sa izvorima UV zračenja. Sam proces se bazira na kemijskoj reakciji polimerizacije, odnosno skrućivanja tekućih komponenata pod utjecajem ultraljubičastog elektromagnetskog zračenja. Kako će se UV boja ponašati uvelike ovisi o sastavu i izboru komponenata koji ne smiju narušiti trenutno sušenje. Na tablici 2 prikazane su komponente UV boja za Inkjet, te njihovi udjeli u boji. [8]

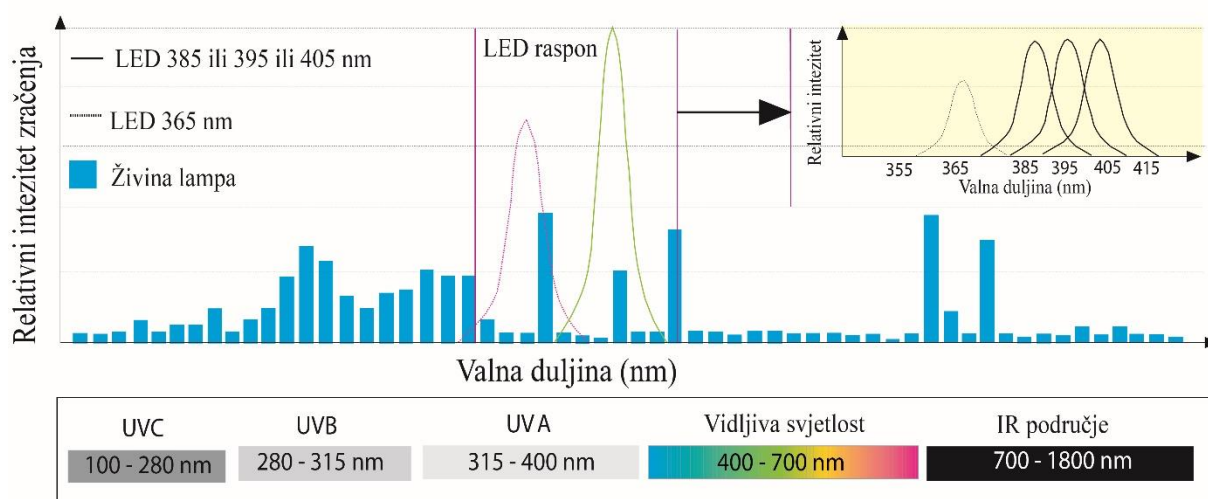
Tablica 2. Sastav UV Inkjet boje

| Komponente | Udio |
|----------------------|----------|
| Pigment | 15 – 20% |
| Prepolimeri | 20 – 35% |
| Monomeri i oligomeri | 10 – 25% |
| Fotoinicijatori | 5 – 10% |
| Dodaci | 1 – 5% |

Jedna od važnijih komponenti u UV boji su fotoinicijatori. Fotoinicijatora postoji više vrsta i u tiskarske boje se dodaje više vrsta (mehanizama zbog sušenja ove boje). Njihova uloga je da nakon apsorpcije UV svjetlosti započnu sa polimerizacijskim procesom. Pritom oni moraju biti usuglašeni sa pigmentima i njihovim oksidacijskim reakcijama. Fotoinicijatori koji se najčešće koriste su: benzil dimetil ketal, 2-hidroksi-metil-1 fenil propan, hidroksicikloheksafenil-keton.

Također jedan od bitnijih čimbenika za ostvarivanje kvalitetnog otiska su izvori UV zračenja. Oni se nalaze u samom tiskarskom stroju, te aktiviraju Inkjet boju kada ona dođe na površinu tiskovne podloge. Djelovanjem ultravioletnog elektromagnetskog zračenja započinje proces polimerizacije unutar samog sloja boje. Iako se najdjelotvornijim pokazalo elektromagnetsko zračenje između 200nm i 380 nm, na fotoinicijatore će djelovati samo određena valna duljina. Zbog toga je napravljena i dodatna podjela na: UV područje A (od 315 do 380 nm), UV područje B (od 280 do 315 nm) i UV područje C (od 200 do 280 nm). Spektar UV zračenja prikazan je na slici 8.

VALNE DULJINE UV LED TEHNOLOGIJE



Slika 8. Spektar UV zračenja

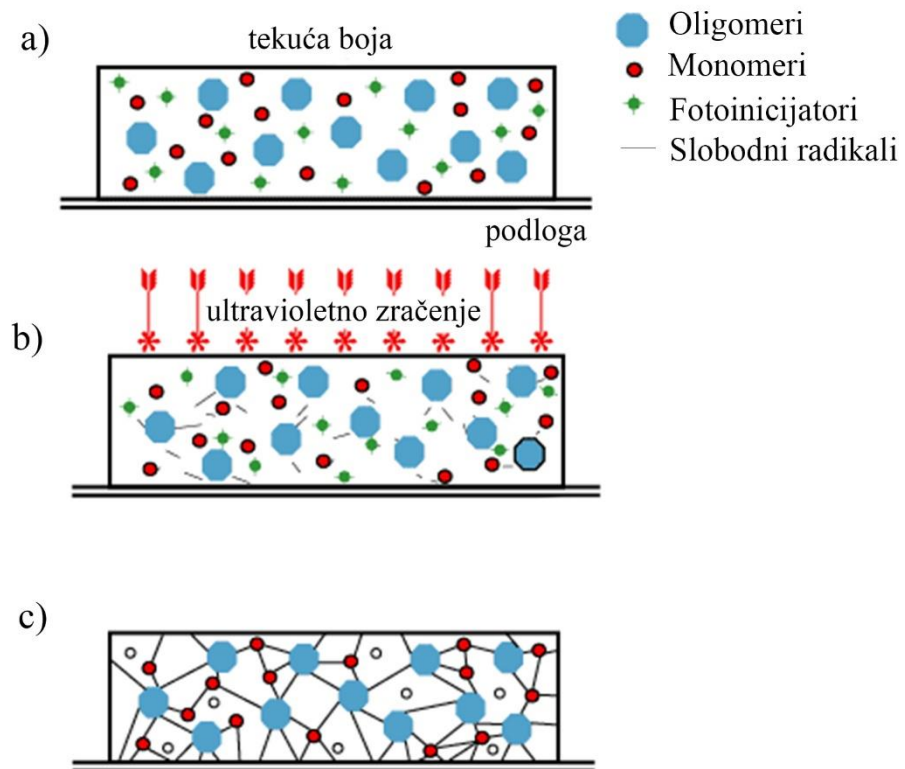
(Izvor: Majnarić, I., (2014.), *Digitalni tisak, predavanje 10. Inkjet I.dio, Grafički fakultet, Zagreb*)

Najveću emisiju u UV elektromagnetskom području imaju živine žarulje, pa se stoga najčešće primjenjuju u UV strojevima za Inkjet tisak (ostvaruju zračenje u UV području C). Osim što je ova emisija štetna za ljudsko zdravlje, nepovoljna je i za okoliš. Tako će u kontaktu sa kisikom stvarati štetni ozon, koji se mora adekvatno zbrinjavati. Upravo to je razlog zašto su se u posljednje vrijeme počele primjenjivati energetski slabiji, ali i ekološko povoljniji LED izvori svjetla. Oni ostvaruju zračenje u manje štetnom UV području A (od 315 do 380 nm).

Za efikasno sušenje potrebno je razumjeti mehanizam sušenja. Ono započinje kratkim izlaganjem tiskarske boje UV zračenju. Na taj način se fotoinicijatori (koji se nalaze u sustavu tiskarske boje) pobuđuju i transformiraju u slobodne radikale. Ti slobodni radikali su reaktivni atomi ili molekule koji su prihvatili oslobođene elektrone. Proces započinje oslobađanjem svjetlosti iz UV izvora i osvjetljavanjem sloja još tekuće boje na tiskovnoj podlozi. Upravo ti slobodni radikali započinju proces polimerizacije međusobno se umrežavajući. Na kraju tog procesa čestice pigmenta ostaju zarobljene u toj strukturi i apsolutno fiksirane za tiskovnu podlogu. Vezivo u Inkjet boji je predstavljeno u obliku oligomera ili monomera koji su jednolično raspršeni unutar UV boje. Polimeriziran otisak

tako je u potpunosti ravan i gladak te otporan na otiranje (razina mehaničkog oštećenja je mala).

Tiskovne podloge na koje možemo otiskivati primjenom UV Inkjet tehnologije su: drvo, staklo, karton, metal, tekstil, papir, keramika, koža, poliester i razne druge neupojne tiskovne podloge. Ova činjenica omogućuje ideju otiskivanja Inkjetom na metalnu ambalažu umjesto sada korištenog limotiska. [14]



Slika 9. Shematski prikaz kemijske reakcije fotopolimerizacije u UV Inkjet boji

a) UV Inkjet boja prije sušenja; b) UV energija aktivira fotoinicijatore; c) molekule se povezuju slobodnim radikalima (osušen otisak)

(Izvor: <http://www.slideshare.net/hpachons/mcs-eagle-uv-inkjet-technology>)

3.6. Inkjet strojevi za tisak na metal

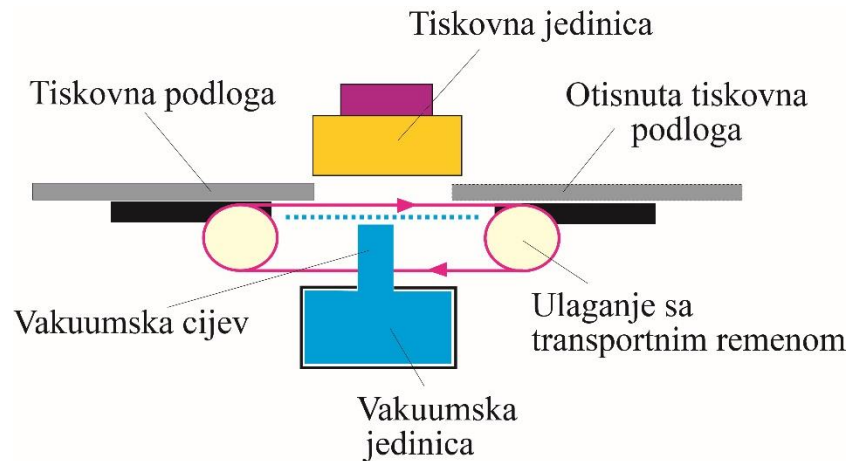
Po složenosti izvedbe od svih digitalnih tehnika otiskivanja, Inkjet tisak pripada skupini najjednostavnijih. Inkjet tisak je potpuno beskontaktna tehnika, gdje se tekuća Inkjet boja

nanosi izravno na tiskovnu podlogu. Osim što ne zahtjeva tiskovnu formu za izradu otiska, Inkjet ne zahtjeva jedinicu za transfer boje. Otisak tehnikom inkjeta nastaje direktnim izbacivanjem sitne kapljice iz otvora mlaznice čije su dimenzije u rasponu od 1 do 100 pikolitara. To zahtjeva boju s dinamičkim koeficijentom vrijednosti oko 0,001 Pa·s. Izvedba Inkjet strojeva tako se temelji na konstantnom (sporum) pomicanju tiskovne podloge te pomicanju male ispisne glave (lijevo – desno). [8]

3.6.1. Flatbed Inkjet strojevi

Zbog krutosti metalnih podloga (ploča), najpovoljnija konfiguracija ulaganja pokazala se je flatbed, pri čemu se podloga ne deformira. To su Inkjet pisači sa MEMS piezoelektričnom tehnologijom koja Inkjet boju raspršenu u zraku prenosi na željenu poziciju. Pritom se tiskovna podloga može otiskivati u jednom ili dva smjera.

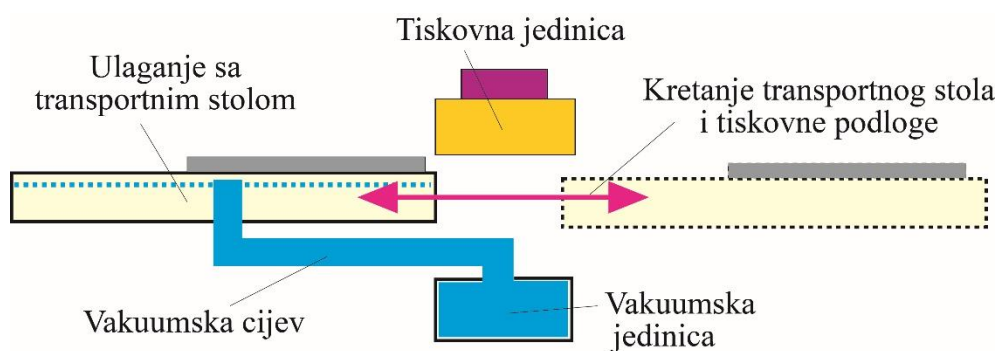
Kod ovako konstruiranih strojeva postoje dva načina ulaganje tiskovne podloge u sami stroj. To su: *ulaganje pomoću transportnih valjaka* i *ulaganje pomoću vakumskog stola*. U oba slučaja, ispod tiskovne podloge djeluje vakuum koji tiskovnu podlogu drži čvrsto na mjestu. Razlika je samo u području djelovanja vakuuma. Kod ulaganja pomoću valjaka, tiskovna podloga je na ulagačem stolu potpuno slobodna te dolazi pod djelovanje vakuuma tek u zoni tiska. Tada se privremeno fiksira i smanjuje se mogućnost njenog pomicanja (točan registar). Samim time, ovakvo ulaganje i izlaganje pogodno je za tanje pločaste materijale kao što su papir, karton ili ljepenka. Princip rada ovakvog stroja prikazan je na slici 10.



Slika 10. Ulaganje transportnim valjcima

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio, Grafički fakultet, Zagreb)

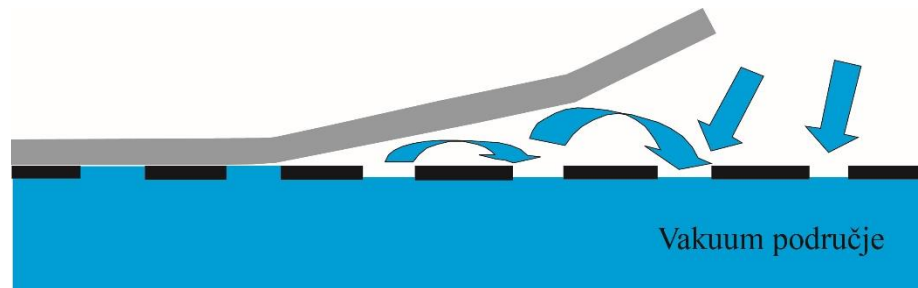
Kod ulaganja pomoću vakumskog stola, tiskovna podloga biti će cijelo vrijeme pod konstantnim djelovanjem vakuma. Tek po završetku tiska vakuum prestaje djelovati. Na taj način je tiskovna podloga fiksirana za ulagači stol i prije samog proces tiska. Ovakvom konstrukcijom omogućeno je otiskivanje zahtjevnijih tiskovnih podloga čije bi pomicanje tijekom tiska moglo izazvati halvariju (ozbiljno oštećenje tiskarskog stroja). Takve tiskovne podloge su ploče velikih debljina ili ravni predmeti koji se ne mogu ujednačeno kreirati valjanjem. Princip rada ovakvog ulagačkog stola prikazan je na slici 11.



Slika 11. Princip ulaganja pomoću vakumskog stola

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio, Grafički fakultet, Zagreb)

Oba ova načina se koriste kako bi tiskovna podloga bila što bolje fiksirana tokom transporta kroz tiskarski stroj, ali uz racionalnost potrošnje zraka. Na sredini tiskovne podloge Tako se obično koriste manje sile vakuuma, dok će rubovi trebati veće privlačne sile. Dobro podešen protok zraka neće dozvoliti da rubovi tiskovne podloge strše sa površine ulagaćeg stola (slika 12.)

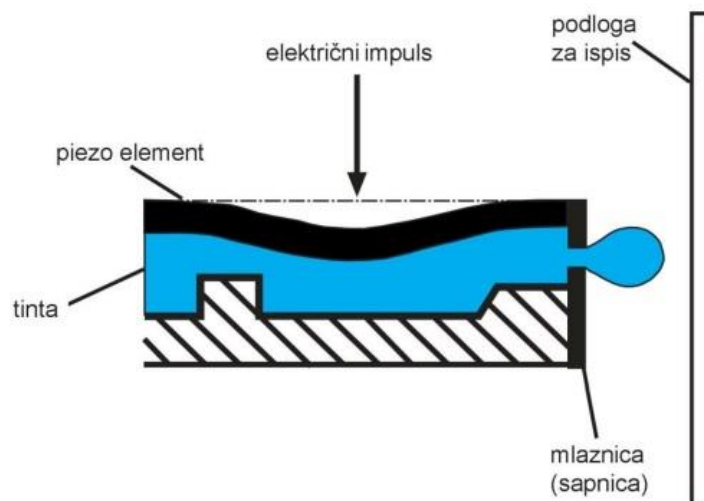


Slika 12. Problemi prilikom fiksiranja tiskovne podloge na ulagaći stol

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), Digitalni tisak, predavanje 11. Inkjet II.dio, Grafički fakultet, Zagreb)

3.6.2. Princip rada Inkjet piezo ispisnih glava

Za tisak na metalnu galanteriju uglavnom se koriste piezo ispisne glave, koje se i u grafičkoj industriji često primjenjuju. Ovaj način otiskivanja dobio je naziv po pomičnom piezoelektričnom kristalu, koji je izuzetno stabilan i cijenom povoljan. Osim toga, njegova najveća prednost je u mogućnosti primjene uz svaki tip Inkjet boje. Piezoelektrična glava mora sadržavati piezokeramički element, cirkonijsku dijafragmu, pretkomoru, dovodnu cijev i pritisnu mikrokomoru sa vršnim mlaznim otvorom. Na slici 13 prikazan je uvećani shematski prikaz jedne Inkjet mlaznice.

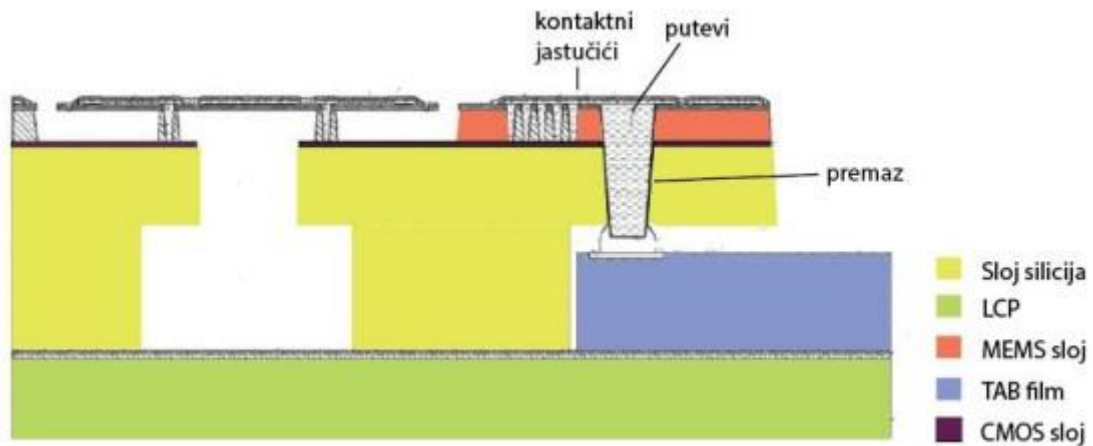


Slika 13. Prikaz piezoelektrične ispisne glave

(Izvor: Majnarić I., Osnove digitalnog tiska, 2015., Zagreb)

Prilikom otiskivanja piezoelektričnom glavom, dotok tekuće boje mora biti konstantan i bez prisutnosti zraka. Kapljica Inkjet boje nastaje deformacijom piezokeramičkog materijala. Njegovom deformacijom, smanjuje se volumen u mikromori, te pritisak tjera kapljicu iz mlaznice, sve do tiskovne podloge. Deformacije piezokristala mogu biti različite, a to su: deformacije po širini i dužini, radijalna deformacija i škarna deformacija. [8]

Poput različitih deformacija, upotrebljavaju se i različiti piezokristali. Bez obzira na njihovu vrstu, oni moraju imati veliku mehaničku elastičnost. To mogu biti pojedinačni kristali, superiorne piezoelektrične legure i piezoelektrične keramike. Za sve njih karakteristična je pravilna kristalna struktura. Djelovanjem električnog polja na piezoelektrični materijal dolazi do električne polarizacije tj. odvajanja u centru na pozitivni i negativni naboj. Polarizacija uzrokuje korisno ponašanje kao što je pretvorba mehaničke energije u električnu (direktni piezoelektrični efekt). Ona se temelji i na promjeni polarizacije dielektričnog materijala pod djelovanjem naprezanja. Samim time mehanizam pretvorbe električne energije u mehaničku (inverzni piezoelektrični efekt) uključuje interakciju između primijenjenog električnog polja i dielektričnog materijala. Prikaz jedne tipične MEMS Inkjet glave može se vidjeti na slici 14. [9] [11]



Slika 14. Uvećani presjek jedne MEMS ispisne glave

(Izvor: Majnarić, I., (2014.), *Digitalni tisak, predavanje 10. Inkjet I.dio*, Grafički fakultet, Zagreb)

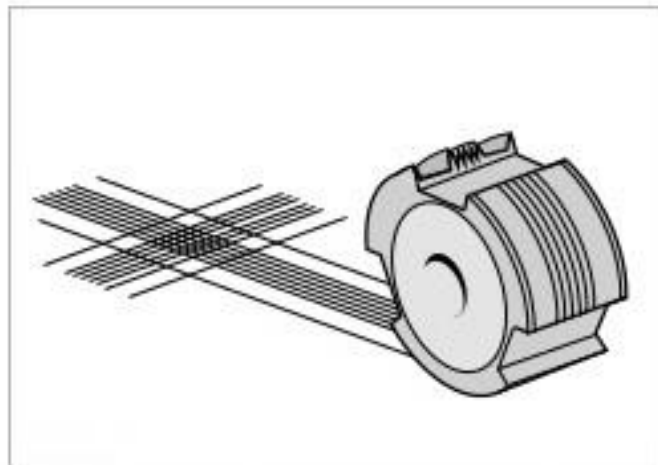
Većina strojeva predviđenih za ovakav tip otiskivanja mogu tiskati osnovne procesne boje (cijan, magenta, žuta i crna), svjetle varijante bojila (Lc, Lm), bijelu Inkjet boju te dodatne lakove završnog ili primarnog (primer) karaktera. Takvi strojevi mogu koristiti i druge vrste bojila od kojih se najčešće koriste sublimacijska Inkjet bojila, Inkjet bojila na bazi vode i ECO-UV Inkjet bojila. Sve navedene tekućine se spremaju u spremnike od 220 mL i kontrolirane su računalom. Kod UV Inkjet boje sušenje se obavlja sa UV lampama. Rezolucije otiskivanja su zavidne, od 1440 do 2800 dpi, a formati koji se mogu otisnuti su ovisni o veličini strojeva (mogu iznositi od 420 x 800 mm pa sve do 2000 x 3000 mm.) [14][15][16]

3.7. Mehaničke deformacije metalnih otisaka

Osim kvalitete obojenja otisaka, vrlo je važna i njegova otpornost na otiranje. To znači da će dovoljno dobro prihvaćeno bojilo omogućiti dugotrajno korištenje. Dvije često korištene metode ispitivanja kvalitete nanašanja Inkjet bojila na metalne podloge su: Cross cut test i metoda rotacijskog otiranja.

3.7.1. Cross Cut test

Ova metoda se primjenjuje za testiranje premaza na krutim tiskovnim podlogama. Test se izvodi tako da šest paralelno poredanih oštrih sječiva prolaze po podlozi, te samim time ostavljaju žlijebove na podlozi. *Cross-Cut test* setovi su dostupni u dvije različite verzije oštrica; multi-cut oštrica sa 6 sječivih rubova i one-cut oštrica sa samo jednim sječivim rubom. Rubovi su međusobno udaljeni od 1 do 2 mm što formira uniforman uzorak (slika 15).








Slika 15. Prikaz Cross-Cut noževa

(Izvor: http://www.bloch.at/web/fizikai_tesztkeszulekek.html)

Cross-Cut test oštrice izrađene su od legure kaljenog čelika. Noževi su ciljano dizajnirani za dugotrajno zadržavanje oštine sječiva kako bi se smanjila učestalost zamjene oštrica. Rezultati *Cross-Cut* testa se evaluiraju prema određenoj shemi koja je zasnovana na procijeni količine bojila koja se odvojila od tiskovne podloge. U slučaju sumnje u ispravnost količine odvajanja bojila, upotrebljava se četka ili adhezivna traka kako bi se očistili zaostali dijelovi bojila. Za definiranje konačnih rezultata, uzorak se dodatno izlaže samoljepljivoj traci koja dodatno uklanja oštećene površine. Ovisno o oštećenju, otisci se vizualno rangiraju u pet kategorija (tablica 3) [17]

Tablica 3: Tablica za vizualno ocjenjivanje oštećenja nastalih Cross cut testom

| Ocjena | Opis | Primjer |
|--------|--|---|
| 0 | Rubovi reza su potpuno glatki, nema naznaka deformacije |  |
| 1 | Primjećuju se male mrlje na križanjima rezova. Nije oštećeno više od 5% |  |
| 2 | Otisak je oštećen uz rubove reza. Oštećenja su veća od 5%, ali manja od 15% |  |
| 3 | Kvadrati između rezova su oštećeni u većoj mjeri. Oštećenje je veće od 15%, ali manje od 35% |  |
| 4 | Gotovi cijeli kvadrati između rezova su oštećeni. Oštećenje je veće od 35%, ali manje od 65% |  |
| 5 | Bilo koji oblik oštećenja koji ne spada pod ocjenu 4 | |

3.7.2. Otiranje otisaka

Glavni dio uređaja za otiranje čine dva diska koja imaju različiti polumjer, te su prilikom ispitivanja u direktnom dodiru. Veći donji disk rotira tijekom ispitivanja, dok manji miruje i na njemu se nalazi ispitni uzorak. Da bi se dobio vidljivi rezultat, na većem disku nalazi se čista tiskovna podloga (bez otiska). Tlak među njima regulira se postavljanjem utega različitih masa na gornji disk, što ovisi o tipu primijenjenog bojila i vremenu izvođenja otiranja (vrijeme sušenja). U tablici 4 prikazane su preporučene mase i pritom ostvarene sile. Prikazane su različite vrijednosti utega s kojim se može djelovati na otisak.

Tablica 4: Mase utega korištene za otiranje otisaka

| | Masa 1 | Masa 2 | Masa 3 |
|------------|--------|--------|--------|
| Sila (psi) | 0.5 | 1.0 | 2.0 |
| Sila (kPa) | 3.45 | 6.89 | 13.79 |

Prilikom rotacije i djelovanja utega, boja koja se skida sa otiska i prenosi se na neotisnutu tiskovnu podlogu. U skladu s time određuje stupanj otiranja. Cijev sa odvodom zraka uklanja čestice prašine koje nastaju prilikom otiranja otiska, a nakon definiranog broja okreta uređaj se zaustavlja. Za ispitivanje na papiru, uobičajeno je koristiti 10, 20 ili 40 okretaja. No, s obzirom da je ispitivanje vršeno na metalu i metalnim otiscima, eksperimentalni broj okretaja uređaja povećan je na 60. [18]

Nakon izvršenog mjerenja, otisci se vizualno ocjenjuju. Pri tome se gleda koliko je boje sa otiska preneseno na neotisnutu tiskovnu podlogu. Otisak najveće otpornosti dobiva ocjenu 0, dok uzorak najmanje otpornosti dobiva ocjenu 4, koje su prikazane na tablici 5.

Tablica 5. ocjene za vizualno ocjenjivanje otisaka nakon otiranja

| Opis | Ocjena |
|-------------------------------|--------|
| neprijetno otiranje otiska | 0 |
| male naznake otiranja otiska | 1 |
| vidljivo otiranje otiska | 2 |
| izraženo otiranje otiska | 3 |
| vrlo izraženo otiranje otiska | 4 |



Slika 16: Uređaj za ispitivanje otpornosti otisaka na otiranje Wallace

(Izvor: <http://www.producttestingapparatus.com/>)

4. Eksperimentalni dio

4.1. Opis eksperimenta

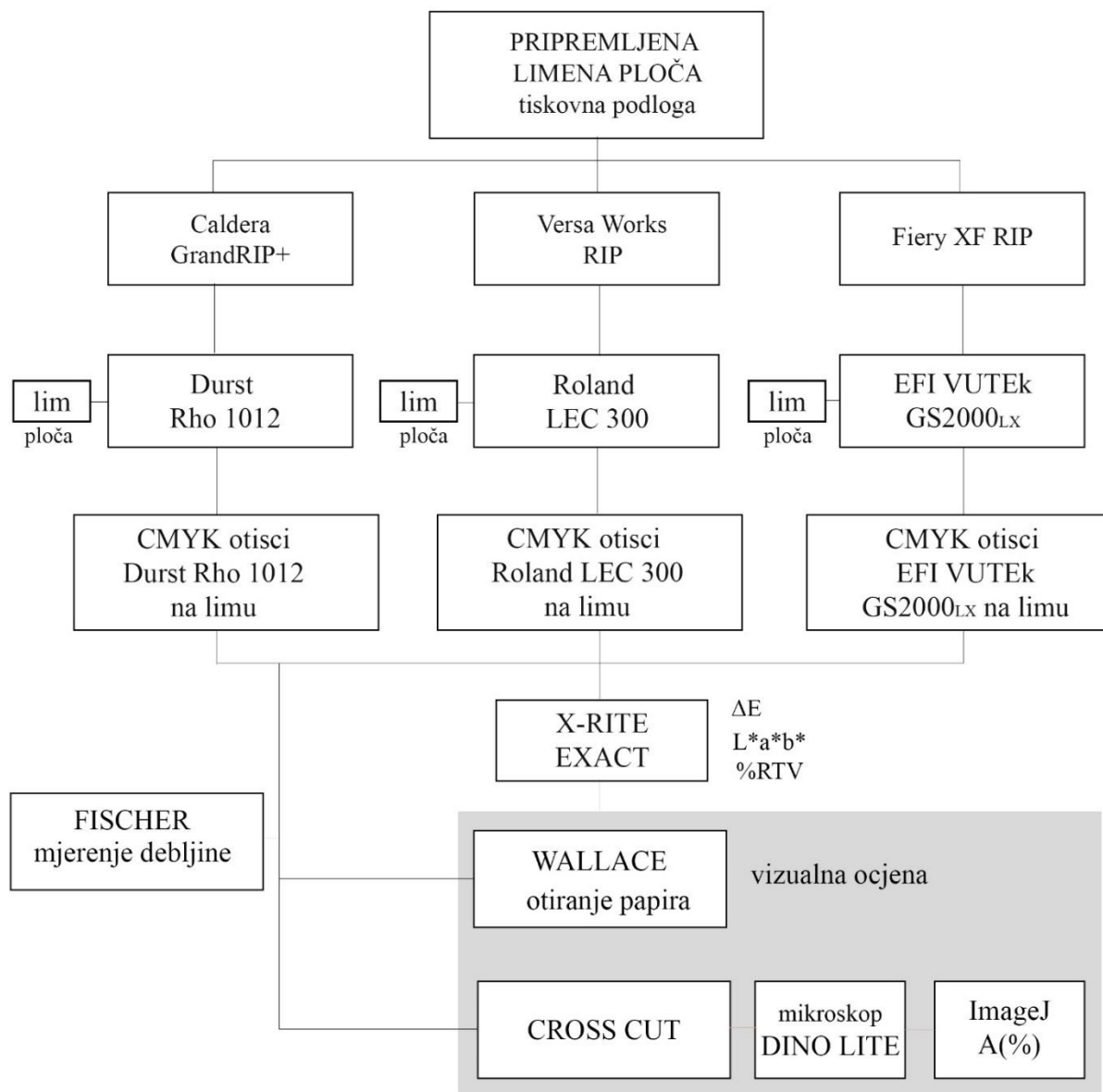
U prvoj fazi rada, izrađen je testni uzorak u programu *Adobe Illustrator*. Digitalno izrađeni uzorci su i multiplicirani tako da primjerci poklopaca sadržavaju CMYK raspon boja, PANTONE tonove, fotografiju, tekst te linije različitih debljina. Dodatno su otisnuti i poklopci punog tona procesnih boja s ciljem izvođenja *Crosscut testa*. Specijalno izrađeni PDF file je nakon toga obrađen u *RIP-u Roland Versa Work* pri čemu je primjenjen profil za ispis *Euroscale Coated*. Tako pripremljen file otisnut je u tiskarskom stroju *Roland LEC 300* koji primjenjuje *LED UV Inkjet* boju. Tiskovna podloga bila je polupripremljena čelična ploča debljine 160 μm koja je sa poledine obrađena sa zaštitnim lakom (10 μm) i bijelim lakom na vršnoj površini (5 μm).

Na identičnu podlogu otiskivano je sa još dvije tvorničke Inkjet boje, Rho Pop Plus Ink i EFI VUTEk GS 3M™ Premium UV Ink. One su otisnute uz identičan profil na strojevima Durst Rho 1012 i EFI VUTEk GS2000_{LX} (*Caldera GrandRIP+* i *Fiery XF RIP*)

Otiskivanjem je tako dobiveno trideset i dva različita uzorka na tri različita stroja. Nakon otiskivanja uzorci su mjereni kolorimetrijski i denzitometrijski, pri čemu je svako mjerenje (za svaku boju) ponovljeno pet puta. Iz dobivenih $L^*a^*b^*$ vrijednosti, izračunata je međusobna razlika u obojenju ΔE_{2000} koja su prikazana i grafički. Dvodimenzionalni grafovi generirani su pomoću programa *OriginPro 8.*, dok je iz dobivenih denzitometrijskih mjerenja napravljena je krivulja reprodukcije.

Dodatno je istražena kvaliteta vezivanja boje za tiskovnu podlogu. Pritom se primijenio tester *BYK 5122* za *Cross-cut test*. Nakon provedenog testa uzorci su očišćeni i podvrgnuti čupanju selotejp traka testom (proizvođača TESA). Rezultati mehaničkih oštećenja slikani su mikroskopom *Dinolite* čije je povećanje iznosilo 60x. Analiza otiska izvršena je vizualnom ocjenom čiji su rezultati rangirani ocjenama od 1 do 5. Za dobivanje prihvatljivih rezultata otiskivanja, izvršena je slikovna analiza, te je u programu *ImageJ* izračunata površinska pokrivenost oštećenih uzoraka.

Za površinsko istraživanje kvalitete vezivanja boje za tiskovnu podlogu, provedeno je testiranje otiranja otiska na puni tonovima. Pritom je korišten uređaj za otiranje Wallace, nakon čega su uzorci skenirani pri rezoluciji od 300 dpi i također vizualno ocijenjeni.

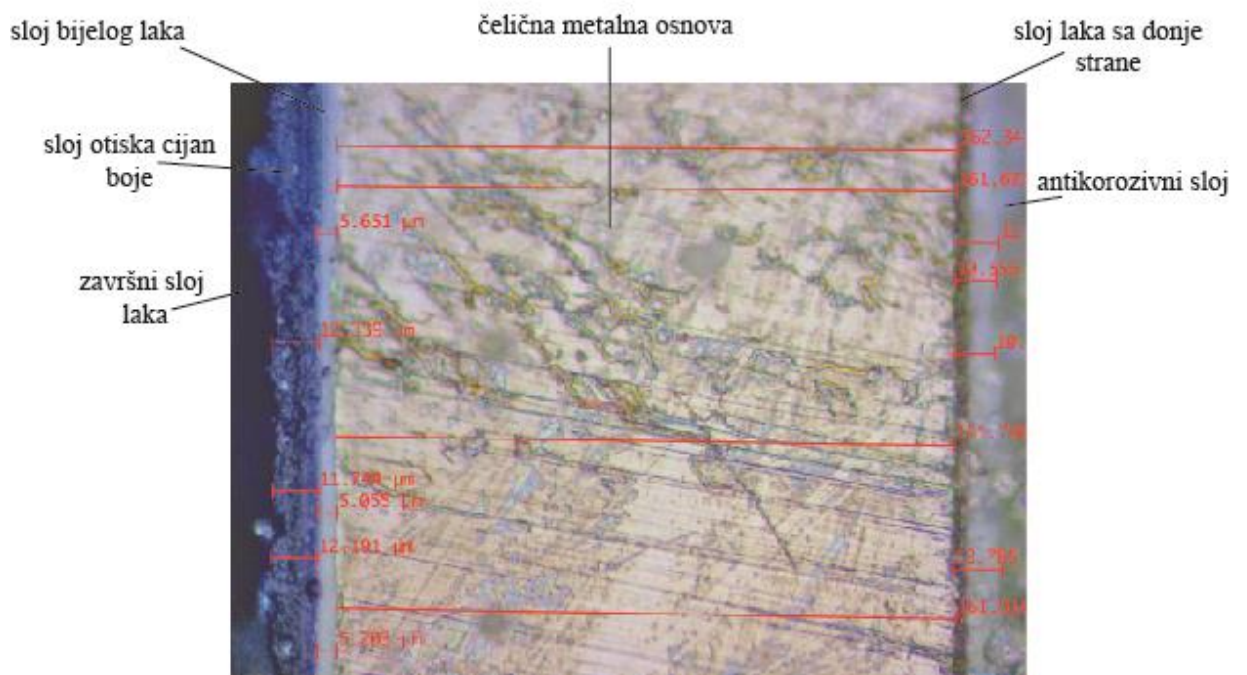


Slika 17. Kronologija eksperimentalnog rada

4.2. Korišteni materijali

4.2.1. Tiskovna podloga

Kao tiskovna podloga korišten je bijeli lim debljine 160 μm sastavljen od tri sloja. Presjek takve limene ploče prikazan je na slici 18. Osnovu čini tanka čelična ploča na koju je nanesen sloj laka fleksografskim postupkom. Sa donje strane je nanešen deblji zaštitni sloj laka, a sa gornje strane se nalazi tanji sloj bijelog laka na kojem se vrši otiskivanje. [19]



Slika 18. Prikaz metalne ploče za korištene za eksperiment

4.3. Tiskarski strojevi

4.3.1. Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC – 300

Za otiskivanje prvog dijela otisaka koristio se tiskarski stroj *Roland VersaUV LEC-300* koji radi na principu piezo Inkjet tehnologije. *Roland VersaUV* pruža opciju direktnog razrezivanja uzoraka, te općenito ima mogućnost tiska iz role ili na arke. Uz standardnih pet boja (CMYK + bijela) pruža mogućnost otiskivanja dodatnog laka. Za potrebe ovog

rada otisci su tiskani samo u četiri boje u rezoluciji od 720 x 720 pt, te automatski sušeni UV LED lampama (bijela je otisnuta prilikom izrade metalne ploče). [20]



Slika 19. Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC-300

(Izvor: <https://www.rolanddga.com/products/printers/versauv-lec-series-uv-printer-cutters>)

Tablica 6. Specifikacije Roland VersaUV LEC-300

| Karakteristike stroja | Roland VersaUV LEC 300 |
|-------------------------|---|
| Načina tiska | Rola i iz arka |
| Rezolucija | 1440 dpi |
| Boje | CMYK+ bijela |
| Boja | ECO-UV |
| Softver/RIP | Roland VersaWorks Rip |
| Brzina | 9.38 m ² /h (minimalna rezolucija) |
| Maksimalna dužina tiska | Ovisi o dužini tiskovne podloge |
| Maksimalna širina tiska | 76,2 cm |

ECO-UV Inkjet boja je posebno formulirana za *Versa LED UV* sušće sisteme. Zbog trenutnog sušenja *ECO-UV* je prikladno za sve brzine otiskivanja, pritom dajući otisak visoke rezolucije. Vrlo dobro prijanja na širok raspon tiskovnih podloga (folija, papira, film, vinil, itd.). Boja posjeduje visok stupanj elastičnosti što dozvoljava mogućnost primjene otisaka na buduće zakrivljene plohe bez pucanja. Bezbojni lak poboljšava otpornost na mehaničke utjecaje i atmosferilije te daje završni otisak visokog sjaja koji ujedno utječe pozitivno na estetski doživljaj podloge.

Komponente boje izražene u postocima su slijedeće: *akrilni esteri* 30-40%, *titan dioksid* 10-20%, *heksametilen diakrilat* 10-20%, *glikol diakrilat* 10-20%, *tripropilen* 10-20%, *derivati fosfin oksida* 5-15%, *sintetičke smole* 0.5-15% i *ostali fotoosjetljivi monomeri* 0-5%. Boje su izvorno tekućine viskoznosti od 6 do 8 mPa·s, te su vrlo nestabilne pod utjecajem topline i svjetla. [20]

4.3.2. Tiskarski stroj Durst Rho 1012

Za otiskivanje drugog dijela otisaka koristio se stroj Durst Rho 1012 koji također radi na principu Inkjet tehnologije. Njegova produktivnost je uzrokovana ispisnom glavom koja stvara kapljice veličine 12 pikolitara (pri rezoluciji od 1000 dpi). Također, jedna od specifičnosti je njegovo lako uključivanje u proizvodnu liniju. Jednako kao i Roland VersaUV LEC-300, ima mogućnosti tiska iz role ili na arke.



Slika 20. Tiskarski stroj Durst Rho 1012

(Izvor: <http://www.durst.it>)

Tablica 7. Specifikacije Durst Rho 1012

| | |
|-------------------------|--|
| Karakteristike stroja | Durst Rho 1012 |
| Načina tiska | Rola i iz arka |
| Rezolucija | Do 1000 dpi |
| Boje | CMYK+ svijetla cijan, svijetla magenta Dodatne opcije: narančasta, zelena i ljubičasta |
| Boja | UV LED |
| Softver/RIP | Linux/Caldera |
| Brzina | Do 490 m ² /h |
| Maksimalna dužina tiska | Ovisi o dužini tiskovne podloge |
| Maksimalna širina tiska | 250 cm |

Inkjet boja Rho POP Plus je posebno formulirana za Rho 1000 seriju. Takva boja je posebno osmišljena za printere velikog volumena, te se očituje odličnom adhezijom na neupojnu tiskovnu podlogu. Pogodna je za PVC materijale, mekane podloge, te različite vrste papirnih tiskovnih podloga. Tipične karakteristike koje se vežu za ovu boju jesu visoki završni sjaj otiska, visoka tvrdoća površine otiska (ali i manja fleksibilnost nanesenog sloja). Time je ostvarena garancija dugotrajne svjetlostalnosti na otvorenom. [21]

4.3.3. Tiskarski stroj EFI VUKETk GS2000_{LX}

Pri otiskivanju trećeg uzorka, koristio se stroj EFI VUTEk GS2000_{LX}. Kao i prethodna dva stroja i on radi na principu Inkjet tehnologije. Ovaj pinter primjenjuje LED tehnologiju sušenja koja se odlikuje sa mogućnošću otiskivanja na materijale debljine i do 5,08 cm. Također se uz stroj isporučuje i "pomični" stol koji se po potrebi može pričvrstiti uz tiskovnu jedinicu. Između ostalog, EFI VUKTEk GS2000_{LX} je izrazito ekološki prihvatljiv, bez opasnih VOC spojeva, te sa manje proizvodnog štetnog otpada te manjom potrošnjom energije.

Inkjet boje koje primjenjuje su smještene u 5-litarnim spremnicima. One su otporne na vlagu te ne blijede uslijed djelovanja svjetlosti. Ne sadrže štetne VOC spojeve, neovisne su o tiskovnim medijima na koje se otiskuju. Između ostalog, brzo se suše te time pridonose produktivnosti samog stroja. [22]



Slika 21. Tiskarski stroj EFI VUTEk GS2000_{LX}

(Izvor: <http://www.efi.com/products/inkjet-printing-and-proofing/vutek-superwide-printers/high-volume/versatile-hybrid-flatbed-roll-fed/efi-vutek-gs2000lx-pro/overview/>)

Tablica 8. Specifikacije EFI VUTEk GS2000_{LX}

| Karakteristike stroja | EFI VUTEk GS2000 _{LX} |
|-------------------------|---|
| Načina tiska | Rola i iz arka |
| Rezolucija | Do 1000 dpi |
| Boje | CMYK+ svijetla cijan, svijetla magenta, svijetla žuta, svijetla crna i bijela |
| Boja | UV LED |
| Softver/RIP | Fiery XF RIP |
| Brzina | Do 186 m ² /h |
| Maksimalna dužina tiska | Ovisi o dužini tiskovne podloge |
| Maksimalna širina tiska | 200 cm |

4.4. Mjerni uređaji

4.4.1. Spektrofotometar X-Rite eXact

Spektrofotometar *X-Rite eXact* služi za mjerenja vrijednosti boje u tisku i laboratorijima za miješanje tiskarske boje. Ključne značajke spektrofotometra su zaslon u boji osjetljiv na dodir, automatska kalibracija, podržavanje svih načina mjerenja koji su u skladu s ISO standardima (M0, M1, M2, M3), funkcija za određivanje zadovoljavajućeg otiska te softver za upravljanje instrumentima i slanje mjerenja direktno u računalo. [23]

Datoteka izvršenih mjerenja povezana je sa Microsoft Excel-om, gdje su ponavljaju L*a*b* vrijednosti za cijan, magentu, žutu i crnu. Posebna mogućnost je usporedba sa PANTONE tonovima. [23]



Slika 22. Spektrofotometar X-Rite eXact

(Izvor: <http://www.xrite.com/exact>)

Tablica 9. Specifikacije spektrofotometra X-Rite eXact

| Karakteristike uređaja | X-Rite eXact |
|--------------------------------------|---------------------|
| Minimalna veličina skeniranog uzorka | 3 x 3 mm |
| Maksimalna dužina skeniranog uzorka | 112 cm |
| Veličina otvora | 1.5, 2, 4, 6 |
| Dodatne opcije | PANTONELive Support |

4.4.2. DinoLite mikroskop

DinoLite je digitalni mikroskop koji pruža formiranje slike visoke rezolucije. Senzor omogućava prikaz slike s mikroskopa direktno na zaslon računala. Model mikroskopa konstrukcijski je riješen tako da se čvrsto montira na kućište koje osigurava zaštitu od oštećenja. Softver *DinoCapture 2.0* omogućava spremanje slika i videozapisa, izradu snimki tehnikom „*timelapse*“. To omogućuje precizno mjerenje promatranog predmeta što pogoduje znanstvenim istraživanjima i radu u laboratorijima. U ovom radu koristili smo *DinoLite* za detaljnu analizu rasterske reprodukcije. Uzorci su slikani pomoću kamere i objektivna sa povećanjem od 60x. [24]



Slika 23. Digitalni mikroskop *DinoLite*

(Izvor: <http://www.dino-lite.hr/>)

Tablica 10. Specifikacije digitalnog mikroskopa *DinoLite*

| Karakteristike uređaja | DinoLite |
|------------------------|-----------------------------------|
| Dimenzije | 10,5 x 3,2 cm |
| Povećanja | 10 – 70x; 200x |
| Rezolucija | 5,0 megapixelsa |
| USB | 2.0 |
| LED | 8 |
| Dodatne opcije | Kalibracija, mjerenje, microtouch |

4.4.3. Fischer Dualscope FMP 40

Dualscope FMP 40 mjerni je uređaj koji mjeri nanos boje na tiskovnoj podlozi. Koristi dvije metode mjerenja: magnetsko induktivnu i metodu koja koristi vrtložnu struju. Posebnost ovog uređaja je što omogućuje mjerenje premaza i nanosa i na metalnim tiskovnim podlogama, za razliku od slični uređaja koji koriste samo magnetsko induktivnu metodu te stoga nisu pogodni za mjerenja na metalima. [25]



Slika 24. Mjerni uređaj Dualscope FMP40

(Izvor: <http://www.fischer-technology.com/>)

Tablica 11. Specifikacije mjernog uređaja Dualscope FMP 40

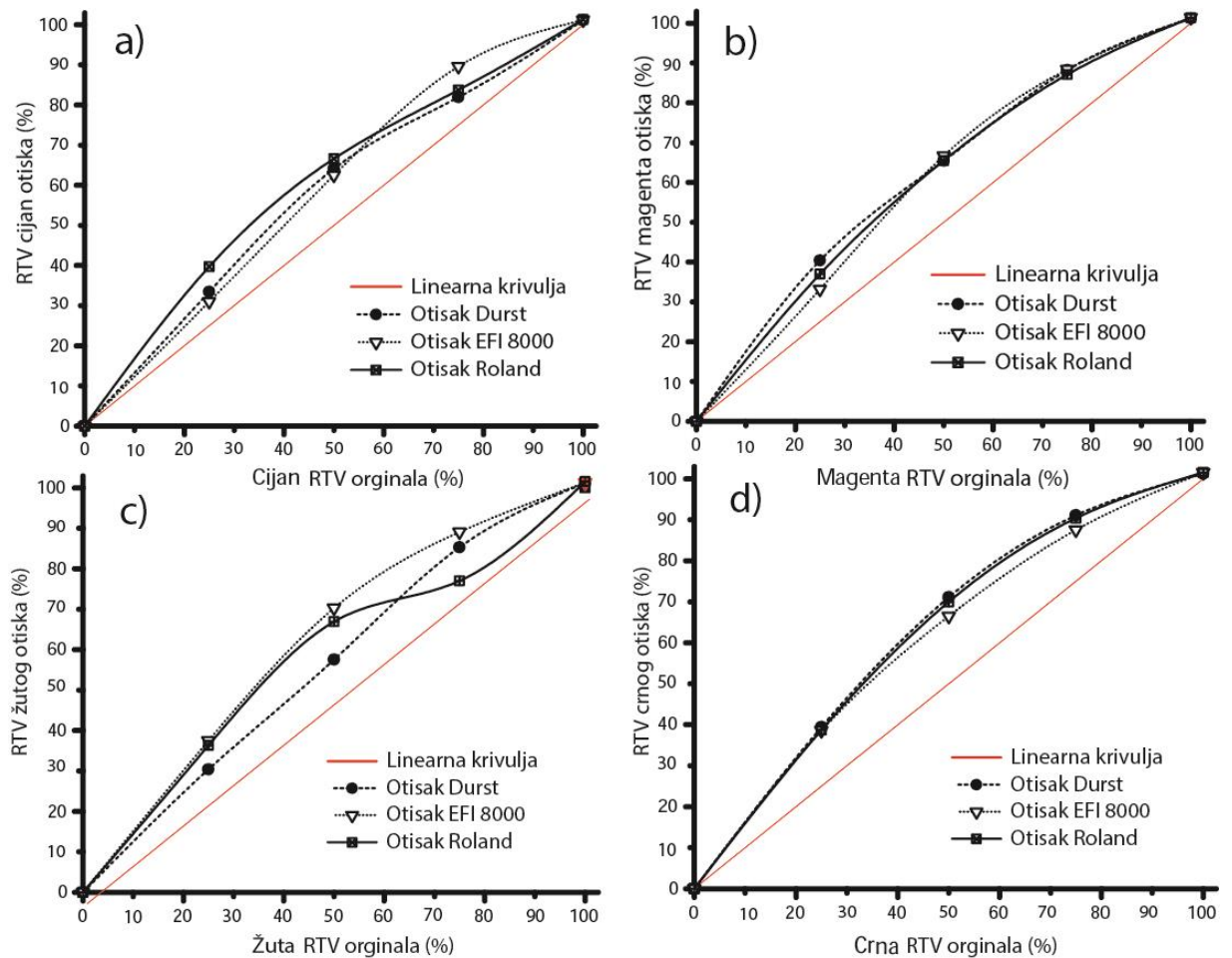
| | |
|------------------------|---------------------|
| Karakteristike uređaja | Dualscope FMP 40 |
| Dimenzije | 17.7 x 8.8 x 3.8 cm |
| Ekran | 240 x 160 px |
| Proizvođač | Fischer Technology |
| Napajanje | Četiri AA baterije |

5. Rezultati i diskusija

Ovisno o odabranom Inkjet stroju za tisak, otisci mogu biti različitih kolornih i mehaničkih svojstava. To znači da promjenom tiskarskog sustava direktno utječemo na kvalitetu i postojanost gotovih otisaka. Sve devijacije nastale tijekom eksperimentalnog procesa tiska moguće je detektirati spektrofotometrijskim, denzitometrijskim i kolorimetrijskim mjerenjima. Odnosno, otisnuti slojevi boje različito se ponašaju uslijed djelovanja različitih naprava za mehanička oštećenja.

5.1. Denzitometrijska mjerenja otisaka

U grafičkoj industriji za određivanje kvalitete otisaka često se koristi optička denzitometrija, odnosno konstruiranje krivulje reprodukcije. Pri tome se denzitometrijski mjere minimalno pet karakterističnih područja: tiskovna podloga, 25% RTV, 50% RTV, 75% RTV, 100% RTV (puni ton). Na slici 18 prikazane su krivulje reprodukcije za otisaka dobivenih na tri različita stroja: Roland VersaUV LEC-300, EFI VUTEk GS2000_{LX} i Durst Rho 1012.



Slika 25. Densitometrijska mjerenja eksperimentalnih otisaka otisnutih na limu:
 a) cijan separacija, b) magenta separacija, c) žuta separacija, d) crna separacija

Kod svih kolornih separacija koje su otisnute na metalnoj podlozi zamjećuju se vidljive razlike u krivulji reprodukcije. Kod cijan otisaka, uočena je maksimalna devijacija svijetlih tonova od $\Delta Z_{25\%RTV} = 14,7$. Samim time je reprodukcija na Rolandu tamnija. Tamni rastertonski tonovi doživjeli su promjenu koja je najuočljivija kod EFI otisaka ($\Delta Z_{EFI\ 75\%RTV} = 14,6$). Durst otisci su najujednačeniji, te se oni ponašaju najidealnije u odnosu na krivuljom reprodukcije.

Krivulje reprodukcije magenta otisaka prikazane su na slici 25b. Na njima je vidljivo da su postignuti najujednačeniji rezultati, te da ne postoji veća razlika između tri odabrana stroja. Jedino odstupanje vidljivo je na području od 25% RTV gdje maksimalna razlika u prirastu iznosi $\Delta Z_{srednje} = 15,4$.

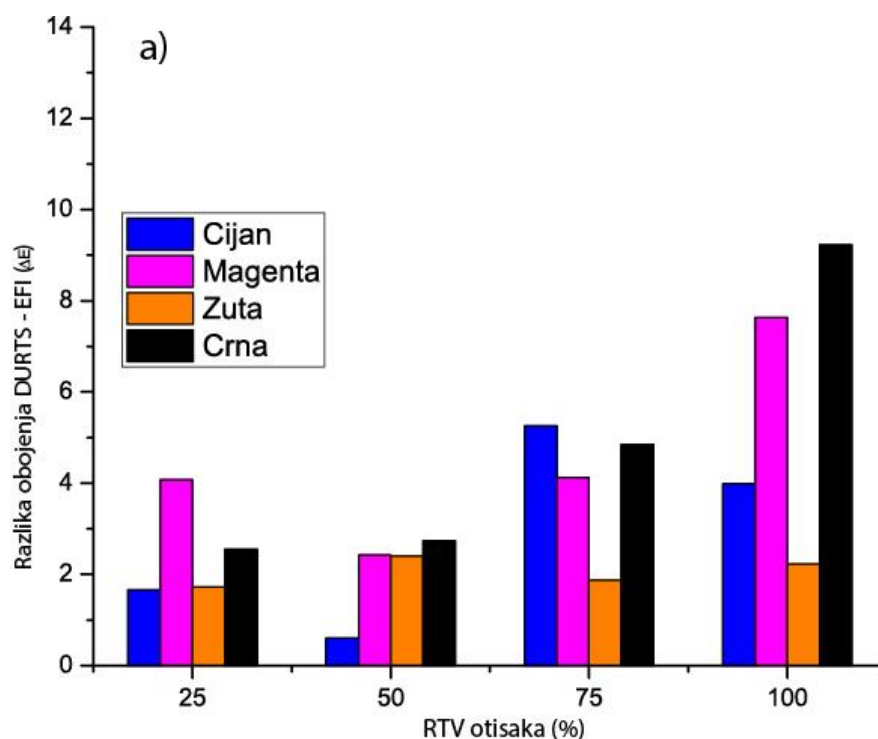
Kod žute separacije najveći prirast RTV imat će EFI printer. On iznosi: $\Delta Z_{25\%RTV} = 11,3$; $\Delta Z_{50\%RTV} = 20,3$; $\Delta Z_{75\%RTV} = 14,1$. Najmanji prirast ostvarit će Inkjet stroj Durst. U odnosu na ostale reprodukcije, kod manje produktivnog Rolanda ponovno postoji nepravilnost. On u višetonskim vrijednostima gotovo nema prirasta ($\Delta Z_{75\%RTV} = 77,0$).

Kod crnih kolornih separacija vidljive su minimalne razlike u prirastu kod svih strojeva. Pritom su uočeni maksimalni prirasti u sljedećim separacijama koje iznose $\Delta Z_{25\%EFI} = 13,6$; $\Delta Z_{50\%DURST} = 21,1$; $\Delta Z_{75\%ROLAND} = 15,4$.

5.2. Spektrofotometrijska mjerenja otisaka

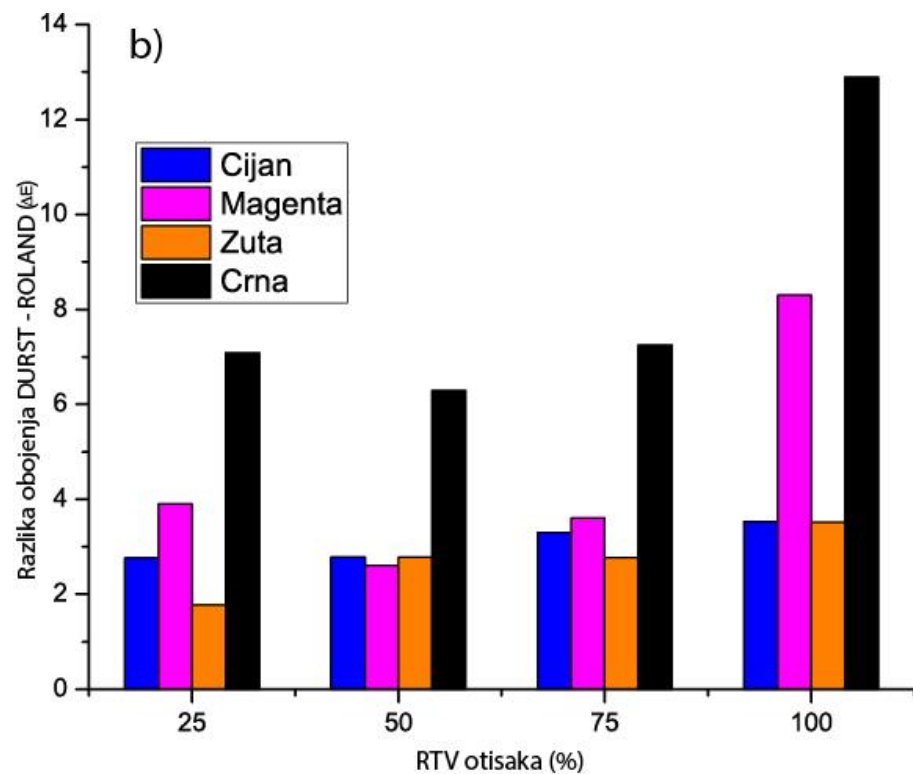
5.2.1. Spektrofotometrijska mjerenja procesnih boja

Da bi se precizno odredila razlika između Inkjet UV sušećih boja izvršena je međusobna kolorimetrijska komparacija. Na slici 26. prikazan je odnos CMYK otisaka nastalih radom Durst Rho 1012 printera, EFI VUTEk GS2000_{LX} i Roland VersaUV LEC-300 i to za četiri referentne RTV vrijednosti (25% RTV, 50% RTV, 75% RTV i 100% RTV).



Slika 26. Kolorimetrijska razlika u obojenju Durst - EFI

Na slici 26 prikazan je odnos otisaka nastalih na strojevima Durst Rho 1012 i EFI VUTEk GS2000_{LX}. Iz prikazanih vrijednosti, jasno je vidljivo kako će puni ton pretrpjeti najveće kolorne promjene. No, zanimljivo je kako se jedino za žutu separaciju može reći da se ponaša stabilno, odnosno, ona pri svim RTV vrijednostima ima približno jednaku ΔE vrijednost. Također, cijan separacija pokazuje najveće odstupanje na 75% RTV ($\Delta E_{75\%} = 5,26$), a najmanje na 50% ($\Delta E_{50\%} = 0,6$) RTV. Sve kolorne separacije se ne ponašaju identično. Tako u najsvjetlijim tonovima nastaje najveća razlika između magenta i cijan separacije ($\Delta E_{25\%} = 2,42$). Kod crne separacije se uočava da povećanjem RTV vrijednosti raste i razlika u obojenju ($\Delta E_{25\%} = 2,54$; $\Delta E_{50\%} = 2,73$; $\Delta E_{75\%} = 4,84$; $\Delta E_{100\%} = 9,22$). Kod svih separacija se najveće razlike ostvaruju u punom tonu ($\Delta E_{CIJAN} = 3,97$; $\Delta E_{MAGENTA} = 7,63$; $\Delta E_{\text{ŽUTA}} = 2,22$; $\Delta E_{CRNA} = 9,22$), a najmanje se ostvaruju kod RTV vrijednosti od 50% ($\Delta E_{CIJAN} = 0,60$; $\Delta E_{MAGENTA} = 2,41$; $\Delta E_{\text{ŽUTA}} = 2,39$; $\Delta E_{CRNA} = 2,73$).

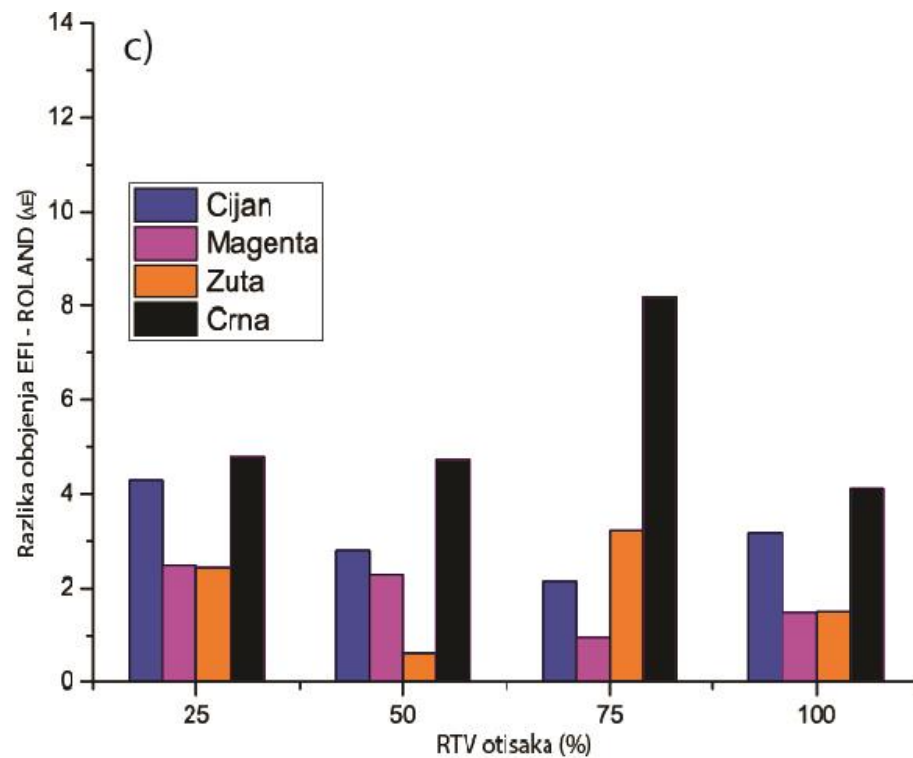


Slika 27. Kolorimetrijska razlika u obojenju Durst - Roland

Na slici 27. prikazan je odnos CMYK otisaka nastalih strojevima Durst Rho 1012 i Roland VersaUV LEC-300. Za razliku od prijašnjeg grafikona, ovdje se može primjetiti znatno odstupanje crne separacije u svim RTV vrijednostima. Pri 100% RTV crna separacija pokazuje najveće odstupanje od $\Delta E = 12,88$. To je logično i za očekivati jer se na puno tonu nalazi najveća količina nanese boje. Cijan i žuta separacija se pri svim RTV vrijednostima ponašaju približno jednako ($\Delta E_{\text{rednjeCIJAN}} = 3,09$; $\Delta E_{\text{rednjeŽUTA}} = 2,70$), dok magenta ne pokazuje nikakve pravilnosti ($\Delta E_{\text{rednjeMAGENTA}} = 4,59$).

Cijan separacija je po svim tonskim područjima konstantna. Postoji mala promjena koja se lako može smanjiti uporabom color managementa, gdje njena minimalna vrijednosti iznosi $\Delta E_{25\%} = 2,76$, a maksimalna vrijednost iznosi $\Delta E_{100\%} = 3,53$.

Kod žute separacije razlika u obojenju lagano raste s povećanjem pokrivenosti površine ($\Delta E_{25\%} = 1,77$; $\Delta E_{50\%} = 2,78$; $\Delta E_{75\%} = 2,77$; $\Delta E_{100\%} = 3,51$). Magenta i crna separacija ponašaju se slično. Najviša odstupanja zabilježena su na 25% RTV, 75% RTV i 100% RTV ($\Delta E_{25\%CIJAN} = 2,76$; $\Delta E_{75\%CIJAN} = 3,30$; $\Delta E_{100\%CIJAN} = 3,53$; $\Delta E_{25\%MAGENTA} = 3,90$; $\Delta E_{75\%MAGENTA} = 3,60$; $\Delta E_{100\%MAGENTA} = 8,29$), a najmanja su zabilježena na 50% RTV ($\Delta E_{50\%CIJAN} = 2,77$; $\Delta E_{50\%MAGENTA} = 2,60$).



Slika 28. Kolorimetrijska razlika u obojenju EFI - Roland

Na zadnjem grafikonu prikazan je odnos otisaka nastalih strojevima EFI VUTEk GS2000_{LX} i Roland VersaUV LEV-300. U ovom odnosu najzanimljivija je crna separacija koja je najveće odstupanje pokazala na 75% RTV ($\Delta E_{75\%} = 8,17$), a ne na 100% RTV ($\Delta E_{100\%} = 4,12$) kako je za očekivati. Magenta i žuta pokazale su najmanja kolorna odstupanja, dok se odstupanja cijan separacije smanjuju povećanjem RTV vrijednosti ($\Delta E_{25\%} = 4,29$; $\Delta E_{50\%} = 2,79$; $\Delta E_{75\%} = 2,15$; $\Delta E_{100\%} = 3,18$).

Rastrirani cijan tonovi najviše će odstupati u svijetlim tonskim područjima te će se povećanjem pokrivenosti površine razlika u obojenju lagano smanjivati ($\Delta E_{25\% - 75\%} = 2,14$). To se pripisuje razlici u tipu rastriranja i produkcijskoj brzini tiska.

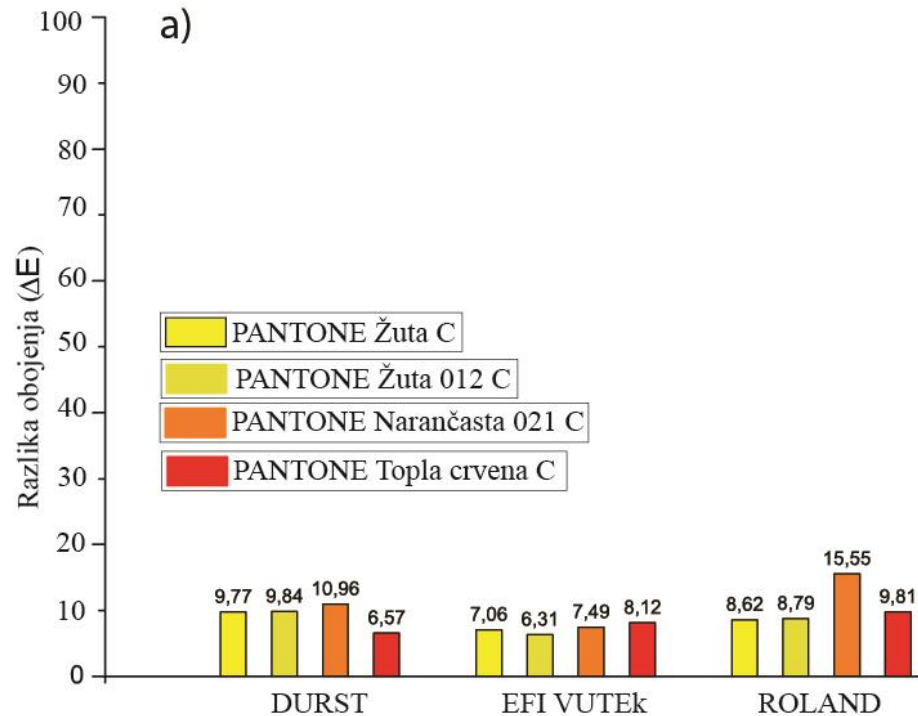
Iz svih konstruiranih grafikona može se zaključiti kako je crna separacija u sva tri slučaja pokazala najveća odstupanja, dok se žuta separacija pokazala najidealnijom i najstabilnijom. Također, zanimljivo ponašanje je pokazala cijan separacija koja je u zadnjem primjeru najveće odstupanje imala pri najmanjoj RTV vrijednosti, a najmanje odstupanje pri najvećoj RTV vrijednosti. Isto tako, može se zaključiti kako se niti jedna separacija ne ponaša u skladu sa očekivanjima. Ovdje tip boje i produkcijska kvaliteta utječu na konačan otisak, ali za to nisu zaslužne one već i drugi parametri (RIP, ispisna glava...). Kombinacija EFI – Roland mnogo je ujednačenija kombinacija što je posljedica istog tipa UV sušenja (sušenje UV LED lampama). Ipak su prisutne neke razlike u akromatskim tonovima (crna).

Najveća promjena nastala je između 75% RTV i 100% RTV i u prosjeku to iznosi $\Delta E = 4,05$. Žuta i magenta separacija će u punom tonu biti gotovo identične te se vizualno ne mijenjaju se ($\Delta E_{\text{ŽUTA/MAGENTA}} = 1,4$).

5.2.2. Kolorimetrijska mjerenja baznih PANTONE tonova

Kako za procesne, tako je i za bazne PANTONE tonove izvršena kolorimetrijska analiza. Ona se izvodila tako da su se otisnuti PANTONE tonovi uspoređivali sa vrijednostima digitalnog kataloga koji je pohranjen u mjernom uređaju X-Rite eXact. Na grafikonima su prikazane razlike u obojenju sortirane za tri kolorne grupe (žuta, magenta, cijan). Te

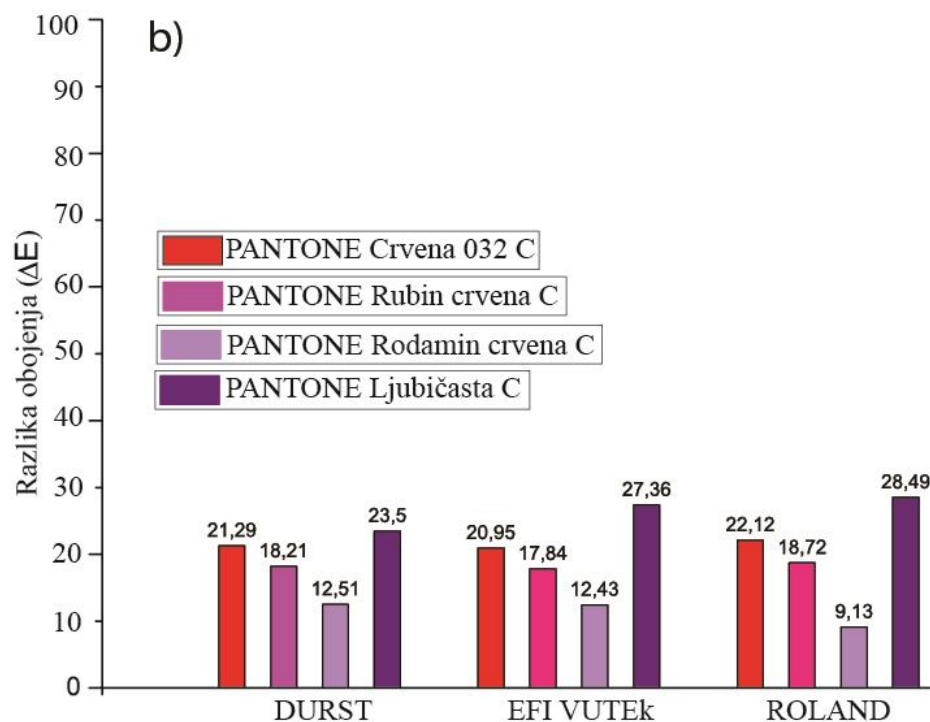
su otisnute boje uspoređivane sa njihovim osnovnim vrijednostima dobivenim iz kataloga PANTONE coated. Na slici 29. prikazana su odstupanja otisnutih PANTONE tonova od njihovih originalnih vrijednosti.



Slika 29. Kolorimetrijska mjerenja tonova u kojima dominira žuta

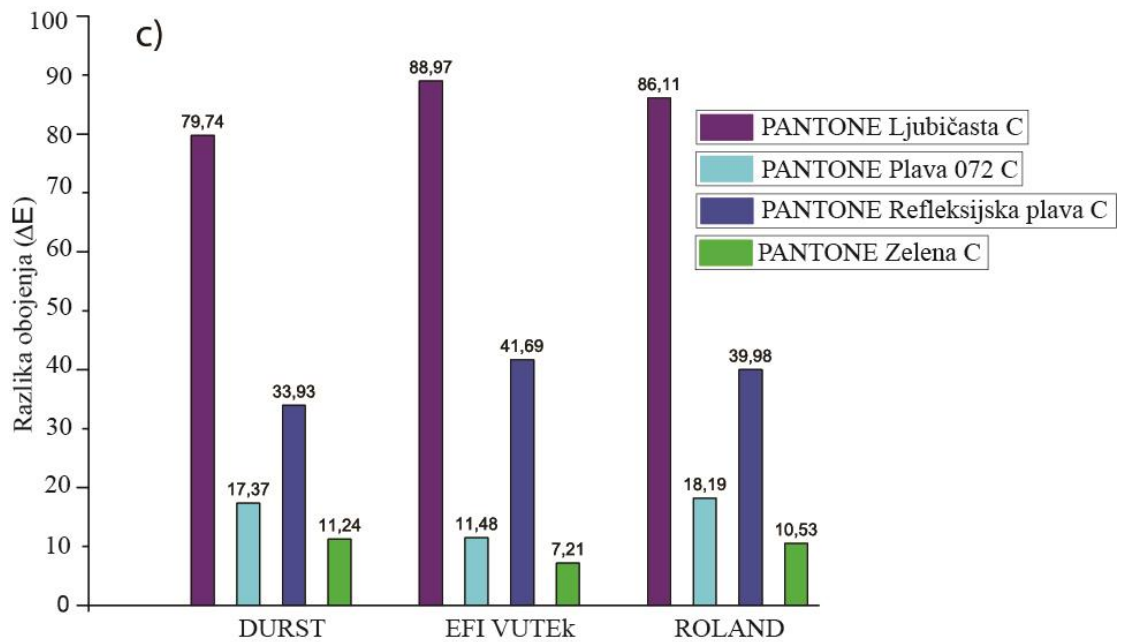
Kod narančasto žutih tonova najbolja se pokazala PANTONE Žuta 012 C, koja je najbolje reproducirana na EFI VUTEK GS2000_{LX}. I kod ostalih strojeva pokazala se je poprilično dobra u usporedbi sa ostalim ispitanim bojama. Najgoru reprodukciju imala je PANTONE Narančasta 021 C. Ona je kod dva stroja pokazala znatna odstupanja ($\Delta E_{DURST} = 10,96$; $\Delta E_{ROLAND} = 15,55$), dok se ipak bolja pokazala na stroju EFI VUTEK GS2000_{LX} ($\Delta E_{EFI} = 7,49$). PANTONE Topla crvena C je na EFI VUTEK GS2000_{LX} imala najlošiju reprodukciju ($\Delta E_{EFI} = 8,12$), što je daleko od dobre reprodukcije (vrijednost prezali vrijednost $\Delta E = 5$).

PANTONE tonovi koji u svom sastavu imaju veći udio žute i magente (PANTONE Narančasta 021 C) ostvarit će i veću kolornu razliku. Posebno je to vidljivo kod Dursta ($\Delta E_{DURST} = 10,96$) i Rolanda LEC - 300 ($\Delta E_{ROLAND} = 15,55$). EFI VUTEK je za žute tonove najbolji ($\Delta E_{EFI} = 7,24$), dok je Roland LEC – 300 najlošiji. ($\Delta E_{ROLAND} = 10,69$).



Slika 30. Kolorimetrijska mjerenja tonova u kojima dominira magenta

Reprodukcije crveno - ljubičastih nijansi prikazanih na slici 30. pokazale su se zahtjevnije za reprodukciju u odnosu na narančasto - žute tonove. Te su sve boje doživjele veće promjene u odnosu na njihovu očekivanu reprodukciju. Najveća odstupanja zabilježena su kod nijanse PANTONE Ljubičasta C ($\Delta E_{\text{srednje}} = 26,45$), te kod PANTONE Crvene 032 C ($\Delta E_{\text{srednje}} = 21,45$). Boja koja je u ovoj grupaciji doživjela najmanje promjene je PANTONE Rodamin crvena C ($\Delta E_{\text{srednje}} = 11,35$). Iako odstupanja nisu pretjerano velika, ona su i dalje puno veća u odnosu na nijanse u kojima dominira žuta. Sve ispitane nijanse pokazale su približno jednako ponašanje otiskivanjem na tri različita stroja ($\Delta E_{\text{DURST}} = 18,87$; $\Delta E_{\text{EFI}} = 19,64$; $\Delta E_{\text{ROLAND}} = 19,61$). Sve te reprodukcije su vrlo slične, no ipak je uočena nešto bolja reprodukcija PANTONE tonova sa strojem EFI VUTEK.



Slika 31. Kolorimetrijska mjerenja tonova u kojima dominira magenta

Na slici 31. prikazane su kolorne promjene PANTONE ljubičasto-plavih nijansi. Ovdje je uočljivo da devijacija PANTONE Ljubičaste C je najveća odstupanja u odnosu na druge ($\Delta E_{\text{DURST}} = 79,74$; $\Delta E_{\text{EFI}} = 88,97$; $\Delta E_{\text{ROLAND}} = 86,11$). To znači da tip cijan pigmenta apsolutno nije pogodan za primjenu i nikakva promjena u Color managementu ne može kontrolirati ove razlike, već korištenje originalnog ljubičasto plavog pigmenta. To potvrđuje zaključak kako su ljubičaste nijanse najzahtjevnije za otiskivanje jer se najviše razlikuju. Stoga se preporuča njihovo obavezno korištenje, te ne otiskivanje ovakvih nijansi iz CMYK-a. Boja je pokazala isto ponašanje otiskivanjem na sva tri primjenjena stroja.

Na kraju, iz grafikona se može zaključiti da su PANTONE narančasto - žute nijanse prikazane na slici 29. najzahvalnije za tisak, jer su pokazale najmanja odstupanja, dok su ljubičasti PANTONE tonovi pokazali puno veća odstupanja od očekivanih.

5.3. Mehaničko oštećenje otisaka

5.3.1. Deformacija *Cross-cut testom*

Mehanička svojstva otisaka ovise o primjeni različitih formulacija bojila, tiskovnoj podlozi, te pripremnim procesima kojima se ta boja bolje povezuje za odabranu tiskovnu

podlogu (lakiranje i laminacija). Kako bi utvrdili kvalitetu vezivanja boje za tiskovnu podlogu, proveden je *Cross-cut test* kojim se utvrđuje adhezija otisnute boje na tiskovnoj podlozi. Test se izvodi provlačenjem alata koji je sastavljen od šest noževa koji istodobno režu, odnosnu stružu po nanesejoj boji. Nakon toga, uzorci se čiste četkom, te se dodatno čupaju selotejp trakom debljine 5mm.

Kako bi ispitivanje bilo što vjerodostojnije, prethodno su izmjerene debljine nanosa boje na tiskovnu podlogu uređajem Fischer Dualscope FMP40. Za svaku boju mjerenje je provedeno devet puta, nakon čega su izračunate srednje vrijednosti. Iz provedenih mjerenja vidljivo je kako cijan i magenta otisnute Durst i EFI printerom imaju najveće debljine nanosa, ako zanemarimo crnu, koja je otisnuta iz 4 boje, pa je razumljivo da je ta debljina nanosa najveća kod sva tri printera. Debljine nanosa izražene su u μm i prikazane u tablici 12.

Tablica 12. Debljine nanosa bojila na tiskovnu podlogu

| DURST | | | | | | | | | | | SREDNJA VRIJEDNOST |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|---------------------------|
| CIJAN | 12,6 | 13,3 | 9,4 | 9,8 | 10,4 | 12,2 | 8,7 | 9,7 | 10,4 | | 10,72 |
| MAGENTA | 8,9 | 9,9 | 13,6 | 8,6 | 9,7 | 7,7 | 9,9 | 10,8 | 12 | | 10,12 |
| ŽUTA | 7,5 | 7,2 | 10,7 | 13,6 | 7,7 | 7,7 | 5,7 | 10,5 | 7,8 | | 8,7 |
| CRNA | 15,7 | 12,7 | 10,7 | 8,8 | 18,1 | 12,7 | 12,2 | 11,6 | 13,8 | | 14,33 |
| | | | | | | | | | | | |
| EFI | | | | | | | | | | | |
| CIJAN | 9,5 | 10,9 | 10,2 | 10,8 | 10,7 | 10,2 | 10,4 | 11 | 11,1 | | 10,53 |
| MAGENTA | 13,7 | 14 | 13,3 | 13,6 | 15,7 | 15 | 14,1 | 14,5 | 14,2 | | 14,23 |
| ŽUTA | 8,6 | 7,8 | 7,1 | 5,4 | 7,9 | 6,8 | 6,7 | 6,6 | 8,4 | | 7,25 |
| CRNA | 22,4 | 23,6 | 21,1 | 21,7 | 23,5 | 23,3 | 23 | 21,3 | 21,7 | | 22,4 |
| | | | | | | | | | | | |
| ROLAND | | | | | | | | | | | |
| CIJAN | 4,9 | 5 | 5,4 | 5,3 | 4,7 | 5,5 | 4,4 | 5,3 | 5,2 | | 5,07 |
| MAGENTA | 6,5 | 9,2 | 8,4 | 9,4 | 9,4 | 7,4 | 7,1 | 9 | 9,5 | | 8,43 |
| ŽUTA | 8,5 | 8,4 | 9,9 | 7,4 | 9,6 | 8,5 | 8,9 | 9,6 | 10,1 | | 8,98 |
| CRNA | 15,6 | 19,7 | 20,3 | 15,4 | 19,2 | 12,9 | 15,2 | 19,2 | 20,7 | | 15,57 |

Nakon toga uzorci se vizualno ocjenjuju prema unaprijed definiranoj etalonskoj tablici. Da bi rezultat bio što točniji, uzorci su dodatno obrađeni u programu *ImageJ*. Pritom primijenjen točno definiran postupak pretvaranja oštećenja u površinu (slici 32.).

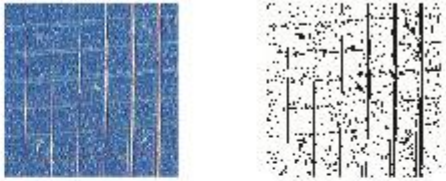

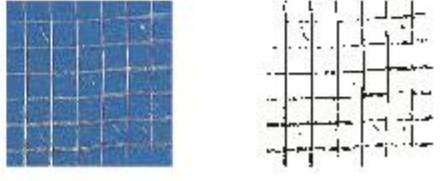

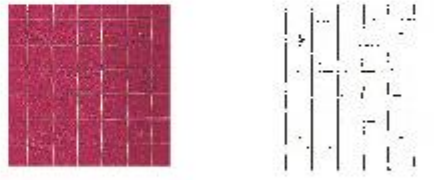
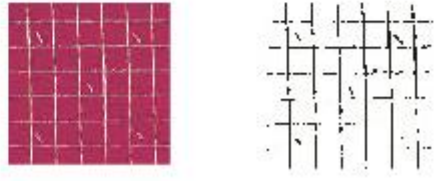

```

run("Set Scale...", "distance=300 known=25.49 pixel=1 unit=mm global");
run("RGB Stack");
run("Stack to Images");
selectWindow("Green");
selectWindow("Blue");
setOption("BlackBackground", false);
run("Make Binary");
selectWindow("Red");
run("Make Binary");
selectWindow("Green");
run("Make Binary");
run("Set Measurements...", "area redirect=None decimal=3");
selectWindow("Blue");
run("Analyze Particles...", "summarize");
selectWindow("Red");
run("Analyze Particles...", "summarize");
selectWindow("Green");
run("Analyze Particles...", "summarize");


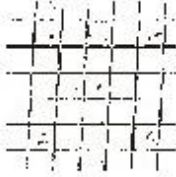









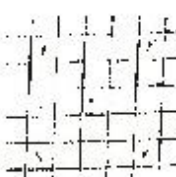
```

Slika 32. Prikaz programa za dobivanje postotka oštećenja u ImageJ

Svaka separacija međusobno je uspoređena kako bi se dobio uvid u mehaničku otpornost otisaka. Također, prilikom uspoređivanja mehaničke kvalitete otisaka nastalih primjenom različitih tiskarskih strojeva, za svaku separaciju odabran je isti kanal u programu *ImageJ*. Tako se za analizu CMY-a koristio zeleni kanal, a za crnu crveni kanal. Kanali su birani prema stupnju uočljivosti, odnosno kontrasta, te su uzimani oni koji su pokazivali najmanje okolnih nečistoća (refleksija otiska pod svjetlom mikroskopa). Za puni ton, (100% pokrivenosti površine) izmjerena je ukupna površina slike od 168, 997 mm², te se od ukupne površine izračunavala površina oštećenja te njezin postotak pokrivenosti. Na slikama 33. i 34. prikazani su brojčani rezultati oštećenja zajedno sa uvećanim prikazima eksperimentalnih uzoraka.

| | | | površina mm ² | % |
|---------|----------|---|--------------------------|------|
| CIJAN | DURST |  | 31,289 | 18,5 |
| | EFI 8000 |  | 8,591 | 5,08 |
| | ROLAND |  | 20,474 | 12,1 |
| | | | površina mm ² | % |
| MAGENTA | DURST |  | 27,520 | 16,2 |
| | EFI 8000 |  | 8,930 | 5,28 |
| | ROLAND |  | 16,742 | 9,9 |

Slika 33. Mehaničko oštećenje Cross cut testom za cijan i magenta otiske

| | | | površina mm ² | % | |
|------|----------|---|---|--------|------|
| ŽUTA | DURST |  |  | 19,434 | 11,5 |
| | EFI 8000 |  |  | 13,811 | 8,17 |
| | ROLAND |  |  | 20,200 | 11,9 |
| | | | površina mm ² | % | |
| CRNA | DURST |  |  | 23,138 | 13,6 |
| | EFI 8000 |  |  | 15,016 | 8,88 |
| | ROLAND |  |  | 14,309 | 8,46 |

















Slika 34. Mehaničko oštećenje Cross cut testom za žute i crne otiske

Najbolju adheziju Inkjet boje pokazao je stroj EFI VUTEk GS2000_{LX}, dok se u većini slučajeva Durst pokazao kao najnestabilniji zbog ostvarenog oštećenja ($A_{CIJAN} = 18,5\%$; $A_{MAGENTA} = 16,2\%$; $A_{ŽUTA} = 11,5\%$; $A_{CRNA} = 13,6\%$). Iako manje produktivan, Roland se našao u sredini te pokazao bolje prihvaćanje boje za tiskovnu podlogu u odnosu na produktivnije printere ($A_{CIJAN} = 12,1\%$; $A_{MAGENTA} = 9,9\%$; $A_{ŽUTA} = 11,9\%$; $A_{CRNA} = 8,46\%$). Iz izraženih postotaka, mogu im se dodijeliti vizualne ocjene 2 i 3. EFI VUTEk GS2000_{LX} će za gotovo sve boje imati ocjenu 2 (oštećenja do 15%), dok će Durst i Roland pripasti u treću kategoriju sa ocjenom 3 (oštećenja do 35%). Stoga se može zaključiti kako će najbolju otpornost na mehanička oštećenja imati EFI VUTEk GS2000_{LX} (LED UV sušuća boja s inertnom atmosferom).

5.3.2. Otiranje otiska

Ovom metodom dodatno se izvršilo ispitivanje otisnutog (suhog) sloja Inkjet boje na limenoj ploči ostvarujući pritom direktan veliki kontakt sa neotisnutom tiskovnom podlogom. Ispitivanje svakog pojedinog uzorka vršilo se pod pritiskom od 2 psi, odnosno opterećenjem od $0,14 \text{ kg/cm}^2$, uz konstantan broj oscijalnog okretaja (60 okretaja po otisku). Nakon završenog otiska, otisci su vizualno promatrani od strane dvadeset i četiri ispitanika te su uz slike prikazane pripadajuće srednje ocjene (slika 35., 36. i 37.).

Durst Rho 1012

















| Otisak prije | Otisak poslije | Podloga prije | Podloga poslije | Vizualna ocjena |
|---|---|---|---|-----------------|
|  |  |  |  | 0 |
|  |  |  |  | 0,3 |
|  |  |  |  | 1,6 |
|  |  |  |  | 0 |

Slika 35. Slike i rezultati mehaničkog otiranja otisaka nastalih na stroju Durst Rho 1012

Kao što se vidi na slici 35. otisci nakon otiranja prilično zadovoljavajuće izgledaju. Vizualno vidljive promjene ostvarene su na 100% žutoj boji. Ostale tri Inkjet boje ne

















pokazuju nikakve tragove oštećenja, te se stoga mogu ocijeniti ocjenom 0 (definira oštećenje od 0%). Iako su vidljiva oštećenja detektirana u žutoj boji (može se dodijeliti ocjena 1,6) površina oštećenja je izrazito mala (manja od 5% površine).

EFI VUTEk GS2000_{LX}

| Otisak prije | Otisak poslije | Podloga prije | Podloga poslije | Vizualna ocjena |
|---|---|---|--|-----------------|
|  |  |  |  | 0 |
|  |  |  |  | 0 |
|  |  |  |  | 0,1 |
|  |  |  |  | 0 |

Slika 36. Slike i rezultati mehaničkog otiranja otisaka nastalih na stroju EFI VUTEk GS2000_{LX}

Roland Versa UV LEC-300

| Otisak prije | Otisak poslije | Podloga prije | Podloga poslije | Vizualna ocjena |
|---|---|---|--|-----------------|
|  |  |  |  | 0 |
|  |  |  |  | 2,3 |
|  |  |  |  | 0,5 |
|  |  |  |  | 0 |

Slika 37. Slike i rezultati mehaničkog otiranja otisaka nastalih na stroju Roland VersaUV LEC-300

Kao i kod Dursta, otisci nastali Inkjet strojem EFI VUTEK GS2000_{LX} nisu pokazali nikakve znakove vidljivog oštećenja uslijed mehaničkog otiranja. Svi otisci ocjenjeni su ocjenom 0 te tip pigmenata ne utječe na oštećenja. Limeni proizvodi otisnuti na EFI VUTEK GS2000_{LX} stroju pokazali su se kao najbolji izbor za proizvodnju metalne

galanterije. Takvi eksperimentalni otisci čepova mehanički značajno su najstabilniji, te UV LED Inkjet boja najbolje prijanja na tiskovnu podlogu.

Roland VersaUV LEC-300 pokazao se najlošije testiranim primjerom. Iako CYK separacije imaju ocjenu 0, magenta se je pokazala značajno lošijom. S obzirom da se u procesu ispitivanja najviše otirala, vizualni promatrači su ju ocijenili ocjenom 2 od najlošije 5.

Promatrajući navedene primjere, može se zaključiti kako je EFI VUTEk GS2000_{LX} pokazao najbolja mehanička svojstva otiska, te se preporuča njegovo korištenje. Roland VersaUV LEC-300 sa UV sušećom bojom pokazao je najlošija svojstva, te bi se njegova upotreba trebala ograničiti na otiske koji se neće podvrgavati većim mehaničkim oštećenjima. Dodavanjem inertne dušikove atmosfere poboljšati će se otisnuta površina. Međutim, ovakve otiske trebalo bi izložiti većim mehaničkim oštećenjima (izvlačenju) kako bi se dodatno ispitala mogućnost njegove primjene.

6. Zaključak

Za određivanje kvalitete otisaka provedena su denzitometrijska mjerenja primarnih boja na pet karakterističnih područja. Kod svih kolornih separacija uočena su odstupanja u odnosu na linearnu krivulju. Pri tome, najbolju reprodukciju pokazuje magenta separacija ($\Delta Z_{25\%} = 11,8$; $\Delta Z_{50\%} = 15,8$; $\Delta Z_{75\%} = 12,9$) koja je kod sva tri stroja pokazala ujednačene rezultate, a najlošiju crna separacija koja je doživjela najveća odstupanja u usporedbi između tri korištena printera ($\Delta Z_{25\%} = 13,9$; $\Delta Z_{50\%} = 19,2$; $\Delta Z_{75\%} = 14,6$).

Za preciznije određivanje kolorne promjene provedena su spektrofotometrijska mjerenja. Otisci na limu postižu lošija kolorimetrijska svojstva svih procesnih boja zbog nanašanja bijelog podložnog sloja. Međusobnom komparacijom printera pokazalo se kako su se najveća odstupanja u boji dogodila na punom tonu ($\Delta E_{\text{CIJAN}} = 3,5$; $\Delta E_{\text{MAGENTA}} = 2,3$; $\Delta E_{\text{ŽUTA}} = 5,7$; $\Delta E_{\text{CRNA}} = 8,7$). Izuzetak je usporedba strojeva EFI VUTEk GS2000_{LX} i Roland VersaUV LEC-300 gdje je puni ton u skladu sa ostalim mjerenjima, a crna separacija je najveću promjenu doživjela za 75% RTV vrijednosti ($\Delta E_{75\%} = 8,1$).

Spotne boje pokazale su zadovoljavajuće karakteristike. Jedini ekstremni izuzetak dogodio se pri otiskivanju ljubičasto - plavih PANTONE nijansi, te se njihovo korištenje ne preporučuje ($\Delta E_{\text{LJUBIČASTA}} = 84,94$; $\Delta E_{\text{PLAVA}} = 15,68$; $\Delta E_{\text{REFLEKSIJSKA PLAVA}} = 38,5$; $\Delta E_{\text{ZELENA}} = 9,66$). Ljubičasto – plave nijanse pokazale su jednako ponašanje prilikom otiskivanja na tri različita printera.

Ispitivanje mehaničke kvalitete otisnutih Inkjet boja na metalnu tiskovnu podlogu, pokazala su pozitivna svojstva za sva tri stroja. Mehaničko oštećenje otiska sa Cross-Cut testom određuje adheziju Inkjet bojila na tiskovnu podlogu. Sve procesne boje spadaju u kategoriju 2, te je oštećenje uzorka manje od 15%. Izuzetak su Durst cijan i magenta otisci čije su površine oštećenja veće od 15% (spadaju u kategoriju 3). Stoga se prema mehaničkom oštećenju preporuča korištenje strojeva EFI VUTEk GS2000_{LX} i Roland VersaUV LEC-300, dok bi se Durst Rho 1012 trebao izbjegavati.

Dodatno mehaničko istraživanje bilo je otiranje otisaka. Ono je potvrdilo dobru mehaničku postojanost nanešenih Inkjet bojila na metalnu tiskovnu podlogu. Najveću oštećenu površinu imala je magenta dobivena strojem Roland VersaUV LEC-300 i žuta

boja dobivena strojem Durst Rho 1012. Svi ostali uzorci spadaju u kategoriju 0 gdje prema vizualnoj procjeni nema vidljivih oštećenja.

S time se nameće zaključak da se ovakve formulacije boja mogu primjenjivati na metalnim tiskovnim podlogama. Zahvaljujući svojim mehaničkim i optičkim svojstvima pokazalo se kako se njihova primjena može proširiti i na druge medije, kao što su metalne tiskovne podloge.

7. Literatura

1. Zbornik radova, Blaž Baromić, Horvatić S., Limena ambalaža, str. 20, Senj, 19. -21. lipnja 2003.
2. Vujković I., Galić K., Vereš M., Ambalaža za pakiranje namirnica, Zagreb, 2006.
3. Stričević N., Suvremena ambalaža, Zagreb 1982.-1983.
4. [http://www.sraspopovic.com/Baza%20znanja%20dokumenti/Polj.i%20prehr/I%20razred/ambala za%201.pdf](http://www.sraspopovic.com/Baza%20znanja%20dokumenti/Polj.i%20prehr/I%20razred/ambala%20za%201.pdf)
5. Bates I., Studija specifičnosti parametara reprodukcije fleksografskog tiska, doktorski rad, Grafički fakultet. Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
6. https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Inzenjerstvo_povrsina2dio.pdf, 2.4.201
7. Bolanča S., Tisak ambalaže, 2013., Zagreb
8. Majnarić I., Osnove digitalnog tiska, 2015., Zagreb
9. Jakelić M., Postojanost i trajnost ink jet otisaka, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb,
10. http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=155352
11. Zbornik radova, MATRIB, Pametni materijali, str. 68, Vela Luka, 26. -28. lipnja 2014.
12. Majnarić I., Golob G., Ink jet printing and possibility coating on various materials, Matrib 2014., International conference on materials, tribology, recycling
13. Zjakić I., Milković M., Psihologija boja, 2010., Varaždin
14. Leach R., Pierce R., The printing ink manual, Springer, 1999.
15. UV-Technology, The Practical Guide for all Printing Processes , 2006.
16. http://www.alibaba.com/product-detail/Digital-metal-surface-printing-machine-Colorful_60017419776.html, 9.4.2015.
15. http://www.alibaba.com/product-detail/metal-surface-printing-machine-A3-CE_739166982.html, 9.4.2015.
16. <http://www.rolanddga.com/products/inks/ecoUV/>
17. http://www.chung-tsang.com.tw/upload/userfiles/file/CrossCut_Tester.pdf?phpMyAd_min=4
18. http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje_vjezba%205.pdf

19. Kipphan, H., Handbook of Print media, Springer, 2001.
20. <http://www.rolanddga.com/products/inks/ecoUV/>
21. http://www.durst.it/index.php/large_format_printing/product_large_format_rho-1012-inkjet-drucksystem-fuer-kontinuierliche-produktion
22. <http://www.efi.com/products/inkjet-printing-and-proofing/vutek-superwide-printers/high-volume/versatile-hybrid-flatbed-roll-fed/efi-vutek-gs2000>
23. X-Rite eXact instrument User Guide
24. <http://www.dino-lite.hr/pro-hr-5-megapixel/>, 9.4.2015.
25. <http://www.fischer-technology.com/en/us/home/>

8. Prilozi

Tablica 13. RTV vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod cijan kolorne separacije

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| DURST | 1,11 | 83,3 | 64,9 | 33,7 |
| | 1,15 | 80,8 | 63,4 | 32,8 |
| | 1,10 | 81,6 | 64,0 | 33,7 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,12 | 81,9 | 64,1 | 33,4 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| ROLAND | 1,24 | 83,9 | 67,3 | 40,4 |
| | 1,26 | 83,7 | 66,6 | 39,0 |
| | 1,28 | 83,5 | 66,0 | 39,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,26 | 83,7 | 66,6 | 39,7 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| EFI | 1,15 | 89,5 | 62,4 | 30,6 |
| | 1,17 | 89,9 | 62,7 | 31,2 |
| | 1,19 | 89,5 | 62,4 | 31,4 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,17 | 89,6 | 62,5 | 31,0 |

Tablica 14. RTV vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod magenta kolorne separacije

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| DURST | 1,11 | 89,1 | 65,9 | 40,6 |
| | 1,17 | 87,4 | 66,1 | 40,5 |
| | 1,19 | 88,1 | 64,3 | 40,3 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,15 | 88,2 | 65,4 | 40,4 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| ROLAND | 1,37 | 86,5 | 65,7 | 37,1 |
| | 1,38 | 87,5 | 65,2 | 37,0 |
| | 1,38 | 87,3 | 65,7 | 36,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,37 | 87,1 | 65,5 | 37,0 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| EFI | 1,38 | 88,3 | 66,8 | 32,4 |
| | 1,38 | 88,5 | 66,7 | 33,4 |
| | 1,38 | 88,4 | 66,6 | 33,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,38 | 88,4 | 66,7 | 33,2 |

Tablica 15. RTV vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod žute kolorne separacije

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| DURST | 1,14 | 84,6 | 58,7 | 32,1 |
| | 1,14 | 85,9 | 56,3 | 29,7 |
| | 1,14 | 85,6 | 57,5 | 29,4 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,14 | 85,3 | 57,5 | 30,4 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| ROLAND | 1,54 | 72,7 | 67,1 | 36,6 |
| | 1,56 | 79,0 | 66,7 | 35,8 |
| | 1,55 | 79,5 | 67,0 | 36,5 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,55 | 77,0 | 66,9 | 36,3 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| EFI | 1,28 | 89,3 | 70,2 | 36,9 |
| | 1,30 | 89,2 | 70,3 | 37,7 |
| | 1,30 | 89,0 | 70,4 | 37,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,29 | 89,1 | 70,3 | 37,5 |

Tablica 16. RTV vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod crne kolorne separacije

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| DURST | 1,23 | 91,3 | 71,3 | 39,4 |
| | 1,22 | 91,4 | 71,6 | 39,0 |
| | 1,27 | 90,7 | 70,6 | 39,8 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,24 | 91,1 | 71,1 | 39,4 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| ROLAND | 1,53 | 90,3 | 70,1 | 38,8 |
| | 1,52 | 90,5 | 70,0 | 38,7 |
| | 1,52 | 90,5 | 70,1 | 38,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,52 | 90,4 | 70,0 | 38,7 |

| ORIGINAL RTV | 100% RTV | 75% RTV | 50% RTV | 25% RTV |
|---------------------------|----------|---------|---------|---------|
| EFI | 1,55 | 87,6 | 66,3 | 38,2 |
| | 1,55 | 87,5 | 66,6 | 38,7 |
| | 1,56 | 87,4 | 66,7 | 38,9 |
| | | | | |
| srednja vrijednost | 1,55 | 87,5 | 66,5 | 38,6 |

Tablica 17. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod cijan kolorne separacije

| DURST | L* | a* | b* |
|-------|-------|--------|--------|
| 100% | 53,68 | -23,90 | -41,30 |
| 75% | 63,27 | -15,30 | -30,12 |
| 50% | 72,02 | -13,13 | -19,83 |
| 25% | 80,67 | -6,96 | -8,62 |

| ROLAND | L* | a* | b* |
|--------|-------|--------|--------|
| 100% | 51,70 | -31,00 | -43,04 |
| 75% | 61,42 | -20,78 | -30,97 |
| 50% | 69,43 | -16,24 | -21,44 |
| 25% | 78,07 | -9,14 | -9,78 |

| EFI VUTEK | L* | a* | b* |
|-----------|-------|--------|--------|
| 100% | 54,74 | -32,76 | -40,99 |
| 75% | 61,37 | -25,44 | -33,08 |
| 50% | 72,49 | -13,84 | -19,76 |
| 25% | 81,58 | -5,50 | -8,75 |

Tablica 18. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod magenta kolorne separacije

| DURST | L^* | a^* | b^* |
|-------|-------|-------|-------|
| 100% | 52,95 | 54,61 | -1,13 |
| 75% | 59,10 | 41,89 | -4,37 |
| 50% | 69,52 | 25,11 | -5,17 |
| 25% | 78,24 | 13,37 | -4,43 |

| ROLAND | L^* | a^* | b^* |
|--------|-------|-------|-------|
| 100% | 45,47 | 66,07 | -5,78 |
| 75% | 55,53 | 45,79 | -6,17 |
| 50% | 66,33 | 24,95 | -4,18 |
| 25% | 76,98 | 9,07 | -2,30 |

| EFI VUTEK | L^* | a^* | b^* |
|-----------|-------|-------|-------|
| 100% | 45,72 | 63,40 | -2,65 |
| 75% | 55,49 | 48,28 | -7,45 |
| 50% | 67,35 | 28,34 | -6,83 |
| 25% | 79,86 | 8,74 | -4,07 |

Tablica 19. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod žute kolorne separacije

| DURST | L* | a* | b* |
|-------|-------|-------|-------|
| 100% | 84,76 | -7,09 | 71,14 |
| 75% | 84,42 | -5,49 | 51,90 |
| 50% | 85,51 | -4,58 | 29,77 |
| 25% | 86,79 | -3,20 | 13,90 |

| ROLAND | L* | a* | b* |
|--------|-------|-------|-------|
| 100% | 80,96 | -8,22 | 81,84 |
| 75% | 82,52 | -5,55 | 44,28 |
| 50% | 83,15 | -5,53 | 35,40 |
| 25% | 85,78 | -4,36 | 16,05 |

| EFI VUTEK | L* | a* | b* |
|-----------|-------|-------|-------|
| 100% | 81,91 | -7,05 | 75,97 |
| 75% | 82,11 | -6,83 | 54,64 |
| 50% | 83,35 | -5,91 | 34,22 |
| 25% | 85,23 | -3,73 | 12,17 |

Tablica 20. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012, Roland VersaUV LEC-300 i EFI VUTEK GS2000_{LX} kod crne kolorne separacije

| DURST | L* | a* | b* |
|-------|-------|------|-------|
| 100% | 33,61 | 0,54 | 2,31 |
| 75% | 44,56 | 2,25 | -1,67 |
| 50% | 59,81 | 2,11 | -3,77 |
| 25% | 75,08 | 1,57 | -2,96 |

| ROLAND | L* | a* | b* |
|--------|-------|-------|-------|
| 100% | 19,06 | 1,15 | -5,35 |
| 75% | 37,37 | 2,73 | -5,56 |
| 50% | 56,59 | -1,79 | -3,48 |
| 25% | 72,77 | -3,40 | -2,35 |

| EFI VUTEK | L* | a* | b* |
|-----------|-------|-------|-------|
| 100% | 23,13 | -0,13 | -2,51 |
| 75% | 42,22 | -0,34 | 0,72 |
| 50% | 59,56 | 0,65 | -1,51 |
| 25% | 74,61 | 0,01 | -1,57 |

Tablica 21. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Durst Rho 1012 kod PANTONE nijansi

| PANTONE | L^* | a^* | b^* |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Žuta C | 82,93 | -5,19 | 68,26 |
| Žuta 012 C | 81,51 | -1,99 | 65,98 |
| Narančasta 021 C | 60,43 | 40,50 | 43,28 |
| Topla crvena C | 54,56 | 50,80 | 37,11 |
| Crvena C | 51,72 | 51,34 | -6,42 |
| Rubin crvena C | 46,82 | 35,92 | -17,90 |
| Rodamin crvena C | 48,55 | 44,96 | 3,27 |
| Purpurna C | 33,19 | 17,39 | -33,15 |
| Ljubičasta C | 35,22 | 10,98 | -37,41 |
| Plava 072 C | 35,59 | 9,16 | -37,19 |
| Refleksijska plava C | 46,92 | -15,87 | -44,03 |
| Zelena C | 53,91 | -38,90 | -1,54 |

Tablica 22. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za Roland VersaUV LEC-300 kod PANTONE nijansi

| PANTONE | L^* | a^* | b^* |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Žuta C | 81,25 | -8,49 | 81,96 |
| Žuta 012 C | 80,45 | -6,90 | 80,89 |
| Narančasta 021 C | 59,71 | 23,77 | 58,84 |
| Topla crvena C | 54,48 | 43,62 | 42,76 |
| Crvena C | 50,43 | 55,58 | -8,38 |
| Rubin crvena C | 41,42 | 40,73 | -23,34 |
| Rodamin crvena C | 46,23 | 62,96 | -0,48 |
| Purpurna C | 25,18 | 20,86 | -45,08 |
| Ljubičasta C | 28,01 | 11,36 | -44,23 |
| Plava 072 C | 32,27 | 2,35 | -44,07 |
| Refleksijska plava C | 48,34 | -29,63 | -43,30 |
| Zelena C | 49,77 | -53,96 | -7,11 |

Tablica 23. $L^*a^*b^*$ srednje vrijednosti otisaka za EFI VUTEK GS2000_{LX} kod PANTONE nijansi

| PANTONE | L* | a* | b* |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Žuta C | 83,35 | -4,39 | 80,72 |
| Žuta 012 C | 83,02 | -3,46 | 84,11 |
| Narančasta 021 C | 57,62 | 46,12 | 56,67 |
| Topla crvena C | 52,45 | 55,03 | 47,72 |
| Crvena C | 52,94 | 58,49 | -6,77 |
| Rubin crvena C | 50,27 | 41,43 | -18,72 |
| Rodamin crvena C | 44,82 | 69,37 | 8,70 |
| Purpurna C | 24,16 | 21,60 | -40,09 |
| Ljubičasta C | 24,43 | 15,05 | -44,82 |
| Plava 072 C | 25,01 | 12,17 | -46,32 |
| Refleksijska plava C | 50,41 | -30,44 | -44,05 |
| Zelena C | 57,59 | -49,87 | 2,10 |