

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Aida Peštelić, Iva Štukar**

**Optička i mehanička svojstva metalnih Inkjet otisaka uzrokovanih  
dodatnom termalnom obradom**

**Zagreb, 2015.**

*Ovaj rad je izrađen na Katedri za tiskarske procese pod vodstvom doc. dr. sc. Igora Majnarića i predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2014./2015.*

## **Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu**

<b>UV</b>	ultraljubičasto područje elektromagnetskog spektra
<b>UV ECO</b>	ekološki prihvatljivo tiskarsko bojilo koje suši ultraljubičastim zračenjem
<b><math>\Delta E</math></b>	razlika u obojenju otisaka
<b><math>\Delta L</math></b>	razlika u svjetlini otisaka
<b>CMYK</b>	<i>engl.</i> Osnovne procesne boje koje se koristi u procesu višebojnog otiskivanja (cijan, magenta, žuta i crna)
<b>Cross-Cut test</b>	metoda za određivanje adhezijske sile između bojila i tiskovne podloge
<b>RTV</b>	rastertonska vrijednost otisaka (originala)

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada</b> .....	2
<b>3. Teorijski dio</b> .....	3
3.1. Metal kao tiskovna podloga.....	3
3.2. Ploče za proizvodnju metalne ambalaže .....	4
3.3. Tretiranje metalnih površina.....	5
3.4. Bojila.....	6
3.4.1. Solventna Inkjet bojila.....	6
3.4.2. UV Inkjet bojila.....	7
3.5. Bojila i lakovi za limotisak .....	8
3.6. Tampon i sitotiskarska bojila za metal .....	8
3.6.1. Princip rada limotiskarskog stroja.....	8
3.6.2. Tampon tisak na metal.....	9
3.6.3. Otiskivanje na metal tehnikom sitotiska .....	11
3.6.4. Ink jet strojevi za tisak na metal.....	11
<b>4. Eksperimentalni dio</b> .....	13
4.1. Opis eksperimenta.....	13
4.2. Korišteni materijali .....	16
4.2.1. Tiskovna podloga.....	16
4.2.2. Bojilo .....	16
4.3. Strojevi i uređaji .....	17
4.3.1. Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC-300.....	17
4.3.2. Peć Nabertherm B 180.....	18
4.3.3. Spektrofotometar X-Rite eXact.....	18
4.3.4. Tester BYK 5122 (Cross-Cut Test) .....	19

4.3.5. DinoLite mikroskop.....	20
<b>5. Rezultati i diskusija.....</b>	<b>21</b>
5.1. Rezultati kolorimetrijskih vrijednosti cijan otisaka .....	21
5.2. Rezultati kolorimetrijskih vrijednosti magenta otisaka .....	22
5.3. Rezultati kolorimetrijskih vrijednosti žutih otisaka.....	23
5.4. Rezultati crne i tiskovne podloge premazane s temeljnim lakom.....	25
5.5. Rezultati vizualnih testova dobivenih nakon Cross-cut mehaničkog oštećenja....	26
5.5.1. Rezultati vizualne promjene cijan otisaka .....	28
5.5.2. Rezultati vizualne promjene magenta otisaka .....	30
5.5.3. Rezultati vizualne promjene žutih otisaka .....	31
5.5.4. Rezultati vizualne promjene crnih otisaka.....	32
<b>6. Zaključak .....</b>	<b>33</b>
<b>7. Popis literature .....</b>	<b>35</b>
<b>Sažetak.....</b>	<b>37</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>38</b>

## 1. Uvod

Metalna ambalaža je davne 1817. godine, pronašla svoju primjenu u raznim industrijskim djelatnostima. Razlog tomu očituje se u čitavim nizom kvalitetnih svojstava direktno primjenjivim u prehrambenoj, farmaceutskoj, kemijskoj i petrokemijskoj industriji. Bez nje, nemoguće je zamisliti logistiku gdje se u većini slučajeva primjenjuje u obliku transportne ambalaže. [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 tehnike otiskivanja koje su se pokazale kao odgovarajuće za ovakav tip podloge su limotisak (specijalna verzija litografskog ofseta), sitotisak i tampon tisak. Sve te tehnike nisu savršene te pokazuju određene nedostatke. [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.

S druge strane, otiskivanje na metalne podloge putem tehnika sitotiska, tampon tiska i limotiska nije jeftin proces. Ponajprije se misli na skupu grafičku pripremu, kompliciranu izradu tiskovne forme, ali i na bojilo koje se upotrebljava pri prijenosu otiska. Uz sve navedene činjenice u procesa otiskivanja na metalnu podlogu, logično je zaključiti da je potrebno novo rješenje za otiskivanje na metal. Sukladno promatranim parametrima kao najisplativija tehnologija se nameće Inkjet tehnologija koja rabi tekuća bojila, ne zahtjeva proces izrade tiskovne forme, te se otisak dobiva direktno iz računala. Inkjet se pokazuje kao odličan izbor za male naklade, što se i pokazalo zadnjih godina pri dekorativnom otiskivanju kolornih fotografija na metal. Osim dekorativnog dijela, limeni otisci za prehrambenu industriju moraju zadovoljiti zaštitnu funkciju od kvarenja. Zbog toga se nakon otiskivanja izvode i dodatna oplemenjivanja (lakiranja) u svrhu mikrobiološke i antikorozivne zaštite.

Područje interesa ovog rada bilo je istražiti pripremnju fazu nakon izvršenog tiska metalnih proizvoda, tj. toplinsko djelovanje koje se primjenjuje nakon lakiranja, odnosno limenki prije završnog oblikovanja (mehaničke deformacije).

## 2. Hipoteza, opći i specifični ciljevi rada

Inkjet tehnologija je jedina prava beskontaktna tehnika otiskivanja te je zbog toga i najlogičniji izbor otiskivanja na limenu podlogu. U ovom radu ispitivala se izdržljivost metalnih otisaka otisnutih sa *UV ECO* Inkjet bojilom na toplinske i mehaničke utjecaje. Ovdje je riječ o potpuno novim formulacijama bojila koje su uporabu pronašle prije nekoliko godina za tisak na plastičnim tiskovnim podlogama. Samim time postavlja se pitanje mogu li se ovakva bojila primijeniti na metalu, te kakvo je njihovo vezivanje za tiskarsku podlogu. Otisnuta površina koja se je ispitivala sadržavala je veći broj različito obojenih CMYK polja koja se dodatno razlikuju i po površinskoj pokrivenosti. Samim time riječ je o četiri vrste bojila u kojima su različite formulacije pigmenta ali i njegove koncentracije.

Kako je proizvodnja metalne ambalaže komplicirana, svi funkcionalni slojevi se moraju stabilizirati, odnosno dobro osušiti. Iz tog razloga se metalne ploče nakon otiskivanja izlažu temperaturama većima od 180°C. Iz toga se nameće nužnost ispitivanja otisaka izloženih visokim temperaturama, ali u različitim vremenskim intervalima. Za očekivati je da će duže djelovanje topline uzrokovati veće kolorne promjene. Također, za očekivati je da neće svaki pigment jednako reagirati, te da će se tonovi mijenjati različitom dinamikom. Proces toplinskog sušenja rezultira sa kemijskom promjenom koja se očituje u fizikalno-kemijskim svojstvima nastalih otiska. Kako bi se utvrdila ta svojstva, navedeni otisci su podvrgnuti *Cross-cut testu* koji određuje uspješnost adhezije bojila na metalnoj podlozi.

Samim time nameće se prva hipoteza a to je da će otisnuto UV Inkjet bojilo na mjestima većih nanosa bojila (puni ton, 80% RTV) više mijenjati ton i obojenje djelovanjem visokih temperatura. Samim time dolazimo do druge hipoteze koja se odnosi na mehanička svojstva, odnosno pretpostavlja se da duži period pečenja omogućuje bolju adheziju bojila sa tiskovnom podlogom, te uspješnije odolijevanje mehaničkom stresu ljuštenju.

Cilj ovog istraživanja je precizno utvrđivanje promjene tonova supraktivne sinteze i njihova kolorna devijacija ostvarena uslijed izlaganja visokim temperaturama.

Ispitivanje je provedeno u Zagrebu, na Grafičkom fakultetu, od studenog 2014. godine do travnja 2015. godine.

### 3. Teoretski dio

#### 3.1. Metal kao tiskovna podloga

Metalne ploče kao tiskovne podloge mnogo su kompleksnije u odnosu na druge tiskovne podloge koje se upotrebljavaju u grafičkoj tehnologiji. Metali koji dolaze u obzir za proizvodnju ambalaže jesu čelik, kositar, aluminij i cink. Ipak u upotrebi najzastupljenije su legure čelika, odnosno bijeli lim. [3] Metalne ploče su potpuno neupojne te samim time predstavljaju velik problem pri odabiru pravih komponenata koja se dodaju bojila. Kako bismo saznali što uzrokuje tu neupojnost moramo ući dublje u problematiku površinskih svojstva metala.

Metali se odlikuju izrazito dobrim mehaničkim svojstvima. Kao pozitivne karakteristike ističu se nepropusnost za plinove, tekućine i elektromagnetsko zračenje, otpornost na mikroorganizme, izvrsna mehanička čvrstoća, te dobra termalna provodljivost. Kao takav pogodan je za razne postupke oblikovanja koji učvršćuju molekularnu strukturu samog metala. 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.

S druge strane, metal na tržištu postiže relativno visoku cijenu zbog ekonomskih i vremenskih troškova obrade. Metal se kao tiskovna podloga mora na posebne načine obrađivati kako bi naposljetku dobio tražene karakteristike. On se mora izvaditi iz zemlje u obliku rude, pretvoriti u poluproizvod, toplim i hladnim valjanjem oblikovati u metalne folije koje će još dodatnim premazivanjem i oblikovanjem završiti kao gotov ambalažni proizvod. [2]

**Čelik** kao materijal obiluje izrazito kvalitetnim mehaničkim svojstvima koje su posljedica spajanja željeza sa ugljikom (u različitim omjerima). Izrazito dobro se prerađuje kovanjem, valjanjem, izvlačenjem i drugim obradnim postupcima. 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]

**Kositar** je metal vrlo postojan na zraku, te se zbog svojih svojstava lako oblikuje u tanke listiće (folije). Pogodan je za proizvodnju prehrambene ambalaže jer je netoksičan, 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 „bijelog lima“. [2]

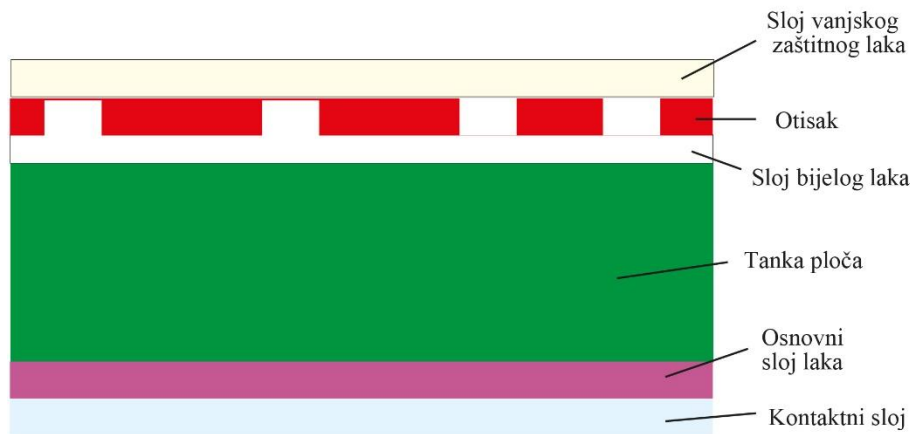
**Bijeli lim** se vrlo često spominje kao idealni ambalažni materijal za prehrambene namirnice. On je, u osnovi, čelični lim presvučen tankim slojem kositra. Najviše se upotrebljava za proizvodnju limenki namijenjenih za očuvanje termički steriliziranih namirnica (duži vremenski rok). Prije pakiranja, potrebno ga je obraditi lakom kako bi mu se još dodatno povećala otpornost na koroziju. [3]

### 3.2. Ploče za proizvodnju metalne ambalaže

Metalne podloge koje se koriste za proizvodnju ambalaže moraju biti točno definirane. Najčešće se u te svrhe upotrebljava limena ploča u obliku arka prosječne debljine od 0,1 do 0,6 mm. Kako bi se obradila takva metalna ploča, najprije ju je potrebno odmastiti (čelične četke od različitih proizvođača). [1]

Nakon toga slijedi priprema koja se izvodi elektrolitičkim oslojavanjem cinka kako bi sve neravnine na površini metala što uspješnije uklonile. Ovaj dio pripreme je bitan zbog stvaranja ujednačene podloge za otiskivanje te kasnijeg dobivanja kvalitetnog otiska. Zaštitnu ulogu kod metalnih ploča imaju posebni lakovi i premazi na bazi poliestera ili epoksi smola. Oni se nanašaju u više slojeva. Pritom ne smiju sadržavati nikakve okuse niti mirise kako bi se izbjegao utjecaj na budući sadržaj konzerve. Završna faza u proizvodnji je rezanje do željenih dimenzija te završno oblikovanje valjanjem ili izvlačenjem. [2]

Krajnja ploča sastoji se od pet glavnih zaštitnih premaza: *osnovni lak (ground)*, *bijeli lak*, *ljepljivi lak (halt)*, *vanjski zaštitni lak (srebrni ili prozirni)* i *unutarnji zaštitni lak*. Osnovne kemijske skupine zaštitnih sredstava su *poliesterske smole*, *poliuretanske smole*, *epoksi-fenolne smole* i *poliakrilatne smole*. Njihovom kombinacijom dobivamo različita zaštitna sredstva. [10]



Slika 1: Presjek ploče bijelog lima

### 3.3. Tretiranje metalnih površina

Nanašanje gustih bojila na metalnu ploču vrlo je komplicirano. Zbog toga je za bolju adheziju bojila nužno metalnu tiskovnu podlogu podlogu pripremiti. To se izvodi *korona tretmanom*, *plazma tretmanom* ili *tretmanom otvorenog plamena*. Ovakvi tretmani koriste se uglavnom na neupojnim podlogama čime se smanjuje površinska napetost, te otklanjaju moguće organske nečistoće.

**Korona tretman** je vidljivo električno pražnjenje koje se pojavljuje kada se visoki napon distribuira kroz elektrodu malog promjera. Pritom je elektroda u velikoj blizini elektrizirane površine. To "pražnjenje" je poznatije kao *korona pražnjenje*, a uzrokuje djelomičnu ionizaciju okolnog zraka čije se molekule koriste za modificiranje izložene 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 tiskarske boje.

**Plazma tretman** također omogućava bolju adheziju tiskarske boje na podlogu. Plazma je plinovito stanje u kojem egzistiraju slobodne pozitivno ili negativno nabijene čestice. Pri ovom tretmanu površina je izložena ioniziranom plinu. Stvara se u zatvorenoj komori na koju djeluju električni naponi (ioni, elektroni, atomi i slobodni radikali).

Treći proces pripreme metala je **proces obrade otvorenim plamenom**. Tijekom procesa paljenja oslobađa se visoka temperatura i dolazi do procesa oksidacije površine, te se na taj

način stvara bolja površina koja omogućava lakšu adheziju tiskarske boje na površinu metala. [4]

### **3.4. Bojila za otiskivanje na metal**

Glavna uloga bojila općenito je prijenos kolorne informacije ljudskom oku. Samim time uspješnost njihovog nanašanja očituje se u količini prenesenih nosioca obojenja (pigmenata) na tiskovnu podlogu. Da bi se to ostvarilo bojila kao materija moraju sadržavati svojstva za transportiranje (prijenos) obojenih nosioca obojenja. Komponente koje će osigurati transport i prihvaćanje pigmenata direktno su ovisne o jedinici za otiskivanje i tipu tiskovne forme. Zbog toga u praksi postoje četiri tipa bojila za tisak na metal.

#### **3.4.1. Solventna Inkjet bojila**

Idealna tiskarska Inkjet boja je ona koja je dovoljno tekuća da bez poteškoća prođe kroz sapnice ispisne glave. Pritom ne smije uzrokovati njihovo začepljenje zasušivanjem ili neprikladnim izborom veličine pigmenata. Zbog tog razloga solventna bojila su pažljivo filtrirana tijekom proizvodnje kako bi se uklonile sve čestice koje bi mogle začepiti uske kanale pisača na kojima se otiskuje. Općenito, Inkjet solventna bojila su bojila niskog viskoziteta (4-30 cP) i sastoje se od pigmenata, veziva, aditiva i lakohlapivih otapala. [6]

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, definiranog izgleda kapljica i vezanje bojila za tiskovnu podlogu. [5] Uz sve navedeno, dodaju se i razni aditivi koji su potrebni kako bi modificirali bitna tekuća svojstva kao što je površinska napetost (mora biti  $>35$  mN/m). U to spadaju i soli koje omogućavaju električnu provodljivost bojila ( $>10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Naposljetku je bitno napomenuti da aditivi čine manje od 1% bojila, no čine važnu razliku između dobrog i lošeg otiska. Najveći udio u solventnom Inkjet bojilu otpada na lakohlapiva otapala. Osim što ovo definira viskoznost, ono 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). [7][8]

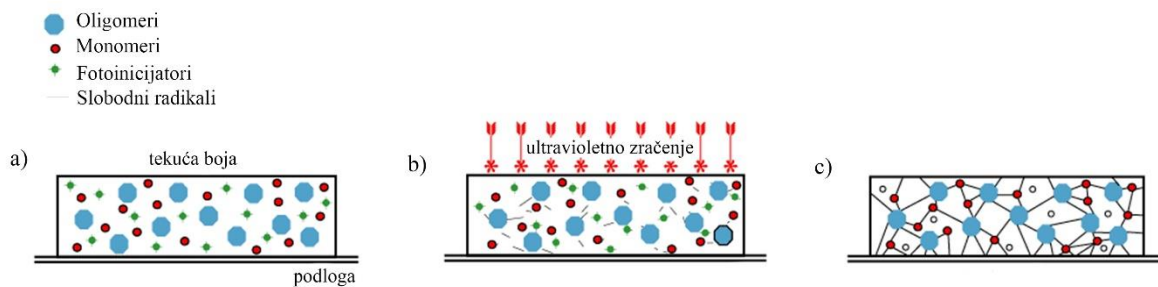
### 3.4.2. UV Inkjet bojila

Zbog jednostavnog procesa, ali i načina korištenja UV tehnologija je doživjela nagli razvitak u posljednjih 20 godina. Sam proces se bazira na kemijskoj reakciji polimerizacije odnosno skrućivanja tekućih komponenata pod utjecajem ultraljubičastog elektromagnetskog zračenja. Kako će se bojilo ponašati uvelike ovisi o sastavu, odnosno udjelu pigmenata, fotoinicijatora, aditiva i veziva.

Proces polimerizacije započinje izlaganjem bojila UV zračenju od 200 do 380 nm. Na taj način fotoinicijatori (nalaze se unutar bojila) se pobuđuju i transformiraju u slobodne radikale. Ti slobodni radikali su atomi ili molekule koji su prihvatili oslobođene elektrone.

Zbog svoje visoke energije upravo su oni odgovorni za uspješno sušenje otisaka jer oni započinju polimerizacijski proces i povezivanje svih komponenti bojila. U ovom slučaju, vezivo je predstavljeno u obliku oligomera ili monomera koje je raspršeno unutar UV bojila. Polimeriziran otisak je u potpunosti ravan i gladak te otporan na otiranje (razina mehaničkog oštećenja je mala).

Tiskovne podloge na koje možemo otisnuti primjenom UV Inkjet tehnologije su: drvo, staklo, karton, metal, tekstil, tapete, keramika, koža, poliester i razne druge neupojne tiskovne podloge. Ova činjenica omogućuje ideju otiskivanja Inkjetom na metalnu ambalažu umjesto limotiska. [9]



*Slika 2: Prikaz kemijske reakcije fotopolimerizacije*

*a) boja prije sušenja; b) UV energija aktivira fotoinicijatore; c) molekule se povezuju slobodnim radikalima*

### **3.5. Bojila i lakovi za limotisak**

Bojila koja se koriste za limotisak su specijalni tip ofsetnog bojila čija je ljepljivost nešto više izražena (viskoznost boje iznosi 40 – 80 Pa s). Samim time sastav ofsetnog i limotiskarskog bojila je u potpunosti isti te sadrži visoki udio organskih pigmenata, veziva u obliku smola, punila i aditive koji pospješuju oksidacijski proces sušenja. Ovakav sastav prvenstveno je zadan zbog primijenjene tekućine za vlaženje. Uz boju, u limotisku je važan naknadni premaz. Odabir premaza za ploče uključuju cijelu studiju o budućoj primjeni metalnih ploča. To podrazumijeva analizu svih unutarnjih i vanjskih čimbenika kojima će se djelovati na sadržaj krajnjeg proizvoda.

### **3.6. Tampon i sitotiskarske boje za metal**

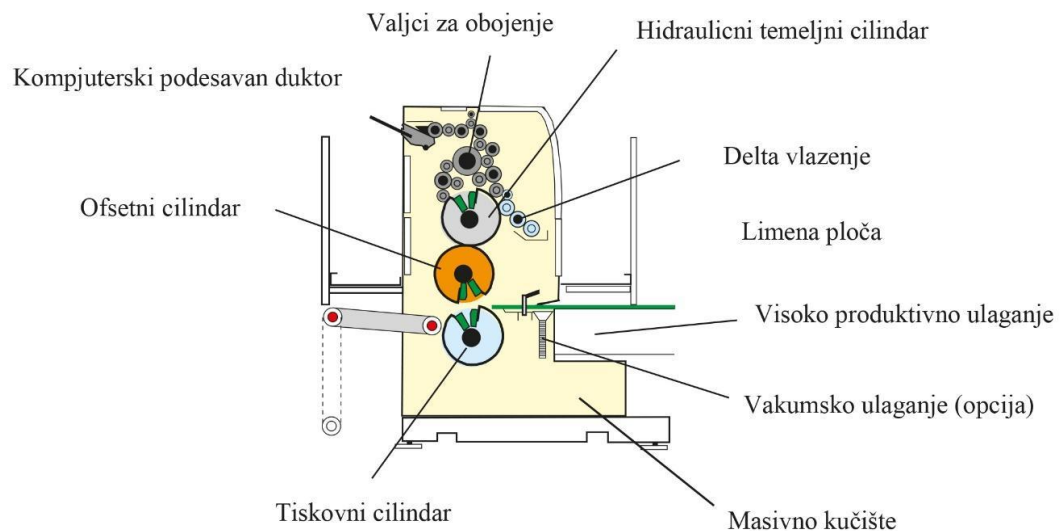
Tehnike tiska koje su trenutno najzastupljenije kod otiskivanja na metalne podloge su *tampon tisak* i *sitotisak*. Kako su sve navedene tehnike otiskivanja konvencionalne tehnike, njihovo zajedničko obilježje je da sadrže tiskovnu formu pomoću koje prenose informaciju na tiskovnu podlogu. Uz to, bojilo kojom prenose tu informaciju je karakterizirano visokim stupnjem konzistencije i pastoznosti kako bi se uspješno svladala površinska napetost metala i omogućio kvalitetan otisak.

Najčešće primjenjivane boje za sitotisak i tampon su dvokomponentne boje. One se prije tiska miješaju u omjeru 80% kolorna osnova + 20% otapala. Njihovim spajanjem započinje proces sušenja koji u potpunosti završava nakon 8 sati. Djelovanjem topline, proces se ubrzava tj. stavljanjem ploče u sušaru (80°C) otisak će trenutno biti suh.

#### **3.6.1. Princip rada limotiskarskog stroja**

Iako limotisak primjenjuje stari princip litografskog ofseta, a današnji limotiskarski strojevi su visoko automatizirani te nešto modificiranije građe. U odnosu na ofsetni tiskarski stroj, limotiskarski strojevi su nešto robusniji, a to je najbolje vidljivo kod dijelova stroja koji ploču transportiraju kroz stroj (uređaj za ulaganje i uređaj za izlaganje). Oni su u mogućnosti tiskati limene arke do osam različitih boja, brzinom otiskivanja do 10.000 ploča na sat. Maksimalan format tiskovne podloge koju stroj može otisnuti je dimenzija 1000x1400 mm, dok minimalni format iznosi 600x810 mm. Otisak se dobiva indirektnim otiskivanjem, tj. sam princip

otiskivanja jednak je ofsetu uz modifikaciju procesa sušenja. [10] Bojila koja se upotrebljavaju u tu svrhu su temeljena na nesušivim vezivima uz određenu količinu sintetičkih smola i sikativa. Debljina nanosa iznosi 2  $\mu\text{m}$ . [12] Sama tiskovna jedinica sadržava sljedeće cjeline: uređaj za obojenje, tiskovna jedinica sa tri cilindra i delta vlaženje (slika 3).



*Slika 3: Shema litografskog ofseta*

### 3.6.2. Tampon tisak na metal

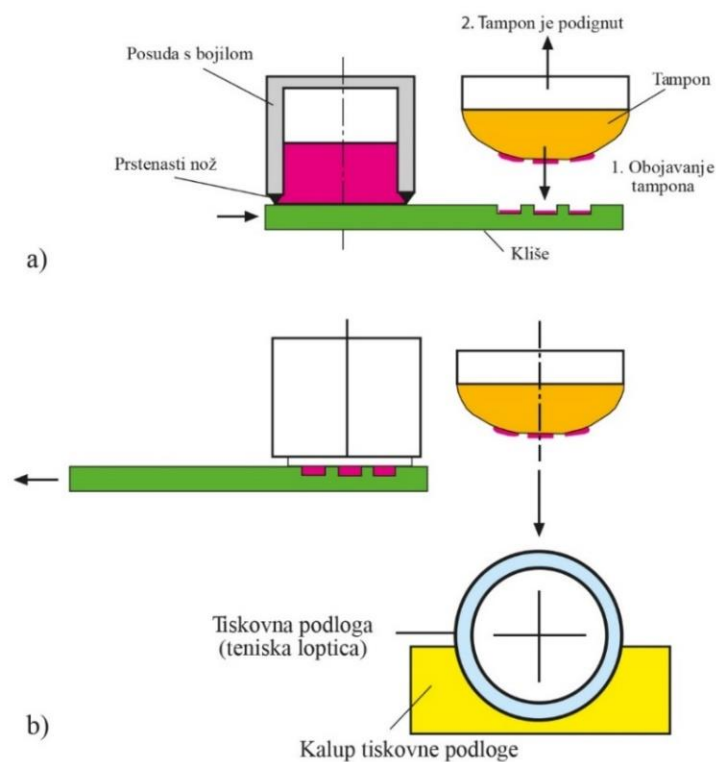
Tampon tisak je indirektna tehnika dubokog tiska koja je nazvana po tamponu koji služi kao posrednik za prijenos bojila sa tiskovne forme na tiskovnu podlogu. Glavno područje navedene tehnike otiskivanja je otiskivanje gotovih metalnih predmeta, koji pri tome mogu biti ravne, zakrivljene ili okrugle površine. Debljina nanosa bojila pritom maksimalno iznosi 6 mikrona.

Tampon za distribuciju bojila mora omogućiti preuzimanje bojila sa tiskovne forme u što većem omjeru. Zbog toga je tampon načinjen od mekane silikonske mase, što mu daje sposobnost priljubivanja uz metalnu površinu. Pritom je sama tvrdoća presudan faktor za kvalitetu otiska. Tvrdoća tampona se odabire prema obliku predmeta, te prema karakteristikama površine i uvijek mora biti 20% veća od same površine otiska. Bojila moraju biti na granici pastoznih i tekućih. Njihove karakteristike su disperzivnost i pigmentiranost, a dodavanjem aditiva u malim

količinama postižu zadovoljavajuću kvalitetu. [14] Kako je mehanizam sušenja isti kako i kod sitotisak u tamponu je moguće koristiti i boju za sitotisak.

Pri otiskivanju na metal, obično se koristi poluautomatski stroj za tampon tisak. On se u ambalaži koristi za otiskivanja različitih kodova na površini metalnih proizvoda. To mogu biti datumi proizvodnje i isteka roka proizvoda, registracijski broj proizvoda i slično. Pritom se obično koristi jedna boja, a prosječna brzina otiskivanja iznosi 1200-3800 otisaka/h. [15]

Da bi jedan otisak nastao, klišeji za tampon morati će imati udubljene tiskovne elemente. Nanašanje boje izvodi se ulaskom klišeja u bojanik koji će obojiti cijelu površinu klišeja. Prolaskom klišeja očistit će se slobodne površine (prstenastim noževima) što rezultira obojenjem samo tiskovnih elemenata. Udarom tampona izvlači se bojilo iz dubokih tiskovnih elemenata, te prijenos na metalnu tiskovnu formu.



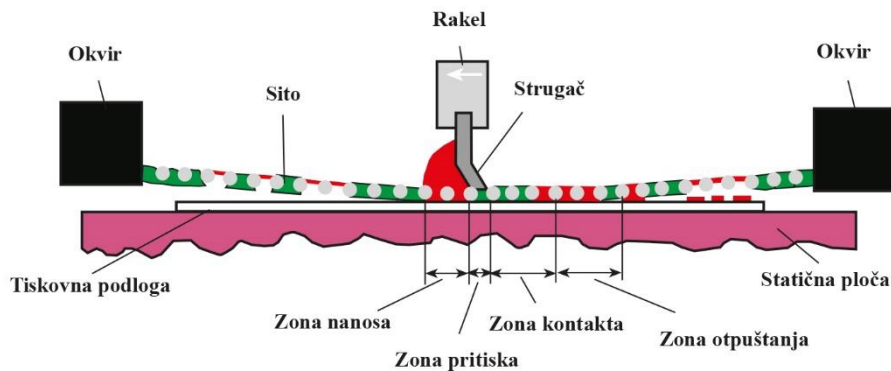
*Slika 4: Proces otiskivanja tampon tehnikom otiskivanja*

*a) Startna pozicija, tampon je iznad klišeja nakon prihvaćanja bojila*

*b) Klišeji se pomiče ispod posude s bojilom koja ga obojava, te je spreman za tisak*

### 3.6.3. Otiskivanje na metal tehnikom sitotiska

Sitotisak je dominantna tehnika tiska u otiskivanju metalne ambalaže. Pri otiskivanju upotrebljava ravnu tiskovnu formu, a najčešće je previđen za tisak malih i vrlo malih metalnih naklada. Tiskovna podloga je smještena ispod tiskovne forme (sita) na točno definiranoj udaljenosti. Nosilac tiskovne forme je mrežica koja je napeta na metalni ili drveni okvir. [11] Metalni otisak nastaje djelovanjem rakel koji protiskuje bojilo kroz otvore na mrežici, pri čemu okvir i tiskovna podloga miruju (slika 5).



Slika 5: Prikaz otiskivanja sitotiskom

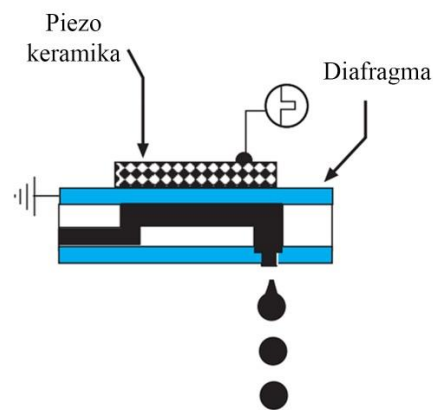
Glavna i najvažnija karakteristika kojom se odlikuje je mogućnost nanosa debelog sloja bojila (30  $\mu\text{m}$ ). Samim time mogu nastati sjajni i trajni otisci. Uz to je jedina tehnika tiska koja nema strogo određene formate.[16] Međutim, u odnosu na Inkjet, sitotisak se pokazuje kao lošija opcija. Zbog prisutnosti mrežice, često dolazi do pojave moire efekta. Također, otiskivanje velikih nanosa bojila uzrokuje sporo sušenje otisaka i neekonomičnu potrošnju bojila te relativne netočnosti pasera u odnosu na druge tehnike otiskivanja. [17][18]

### 3.6.4. Ink jet strojevi za tisak na metal

Inkjet (*engl. ink, tinta i jet, mlaznica*) tehnologija spada u beskontaktni princip otiskivanja informacija. Drugim riječima, ne zahtijeva tiskovnu formu kako bi se bojilo prenijelo sa jednog



mjesta na drugo i ostavilo definirani otisak. Taj otisak nastaje štrcanjem bojila iz uske mlaznice, u rasponu od 1-100 pL, bez ikakve potrebe sa silom pritiska. Jedina sila koja djeluje u Inkjet principu otiskivanja je sila udaranja sitnih kapi o tiskovnu podlogu. [8] Za tisak na metal prvenstveno se koriste piezo Inkjet glave (slika 6). One u sebi sadrže sićušne piezoelektrične kristale odgovorne za nastanak kapljice. Izlaganjem piezo kristala električnom polju oni započinju s promjenom i ponašaju se kao dipol, doživljavaju mehanički stres, koji završava njihovim kretanjem i istiskivanjem bojila iz mikromkomore (slika 6). [31]



*Slika 6: Nastajanje kapljice u piezo Inkjet ispisnoj glavi*

Pri otiskivanju se najčešće koriste plošni (flatbed) Inkjet pisači sa MEMS piezoelektričnom sprej tehnologijom koja bojilo raspršeno u zraku prenosi na željenu tiskovnu podlogu. Pritom se tiskovna podloga može otiskivati u jednom ili dva smjera.

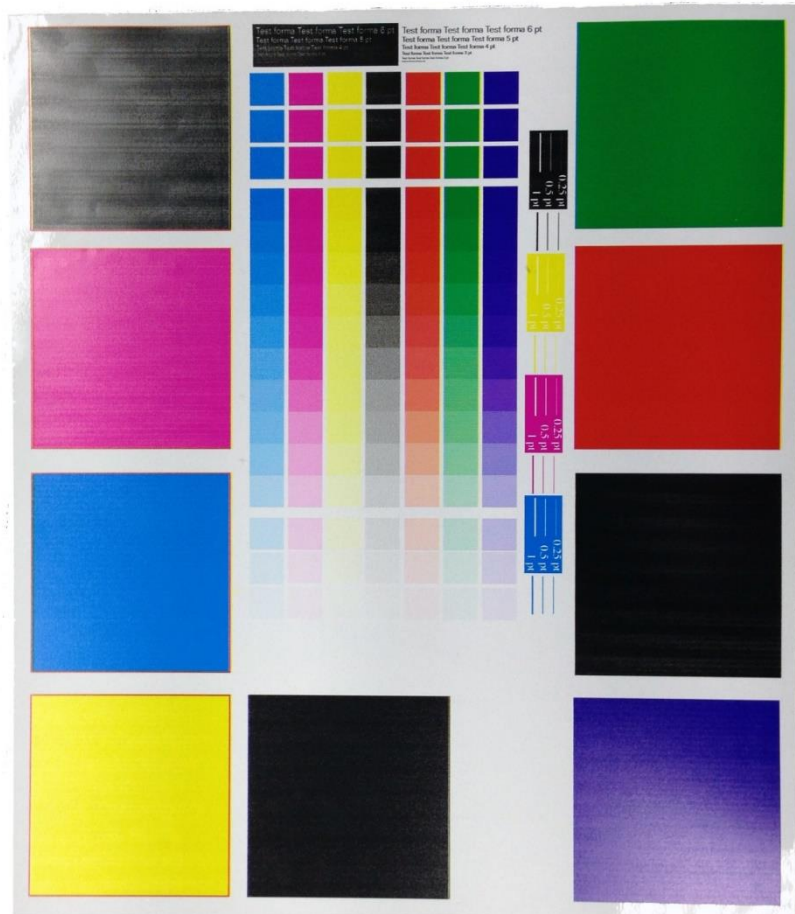
Većina strojeva predviđenih za ovakav tip otiskivanja mogu tiskati osnovne procesne boje (cijan, magenta, žuta i crna), *light* varijante bojila (Lc, Lm), bijelu boju te dodatne lakove završnog ili primarnog (primer) karaktera. Takvi strojevi mogu koristiti i druge vrste bojila od kojih se najčešće koriste sublimacijska bojila, bojila na bazi vode i ECO-UV bojila. Sve navedene tekućine se spremaju u spremnike od 220 mL i kontrolirane su računalom. Kod UV bojila sušenje se obavlja sa UV lampama ili graijačima, ovisno o vrsti bojila. 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.) [19][20][21]

## 4. Eksperimentalni dio

### 4.1. Opis eksperimenta

U prvoj fazi rada, izrađena je tiskovna forma u programu *Adobe Illustrator*. Napravljeni su tiskovni elementi koji su na sebi imali standardni klin (u rasponu od 10% do 100% RTV). Dodatno je otisnuta i velika površina u dimenzijama 5x5 cm (za sve primarne i sekundarne boje). Specijalno izrađena PDF tiskovna forma je obrađena u *RIP-u Roland Versa Work* pri čemu je definiran profil za ispis *Euroscale Coated*.

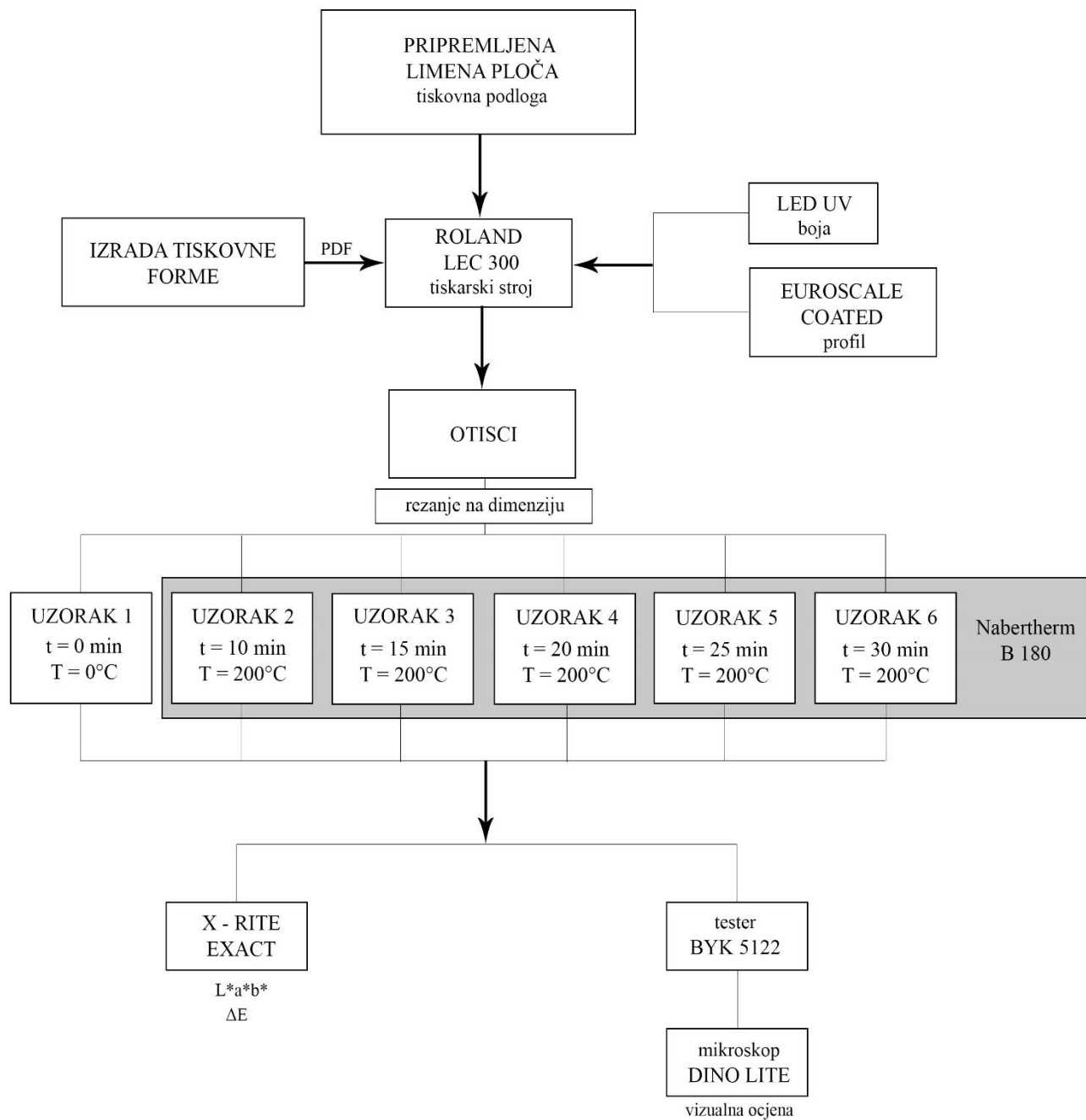
Tako pripremljen file je otisnut u tiskarskom stroju *Roland LEC 300* koji primjenjuje *LED UV* bojilo. Tiskovna podloga bila je polupripremljena čelična ploča debljine 160 µm koja je obrađena sa zaštitnim lakom sa poleđine (10 µm) i bijelim lakom na vršnoj površini (5 µm).



Slika 7: Otisak ECO-UV inkjet bojila na metalnoj podlozi

Otiskivanjem je dobiveno šest različitih uzoraka pri čemu su uzorci od 2 do 6 bili izloženi visokoj temperaturi od 200°C. Ono što je varirano u eksperimentu bio je vremenski period pečenja koji je trajao 0 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min i 30 min. Nakon eksperimentalnog pečenja u peći Nabertherm B 180 uzorci su mjereni kolorimetrijski pomoću uređaja *X-rite eXact* te je za svaki uzorak, za svaku pojedinu boju, na različitim rastertonskim vrijednostima mjerenje ponovljeno pet puta. Iz dobivenih  $L^*a^*b^*$  vrijednosti, izračunata je razlika u obojenju  $\Delta E_{2000}$  na poljima od 40%, 80% i 100% RTV koja su prikazana i grafički. Dvodimenzionalni grafovi generirani su pomoću programa *OriginPro 8*. Dodatno je istražena kvaliteta vezivanja bojila za tiskovnu podlogu. Pritom se primijenio tester *BYK 5122* za *Cross-cut test*. Nakon provedenog testa uzorci su očišćeni i podvrgnuti čupanju selotejp trakom (proizvođača TESA).

Rezultati mehaničkih oštećenja slikani su mikroskopom *Dinolite* čije je povećanje iznosilo 60x, odnosno za precizniju vizualnu procjenu izvršeno je i dodatno digitalno povećanje od 120 odnosno 240x. Analiza otiska izvršena je vizualnom ocjenom čiji su rezultati rangirani ocjenama od 1 do 5.

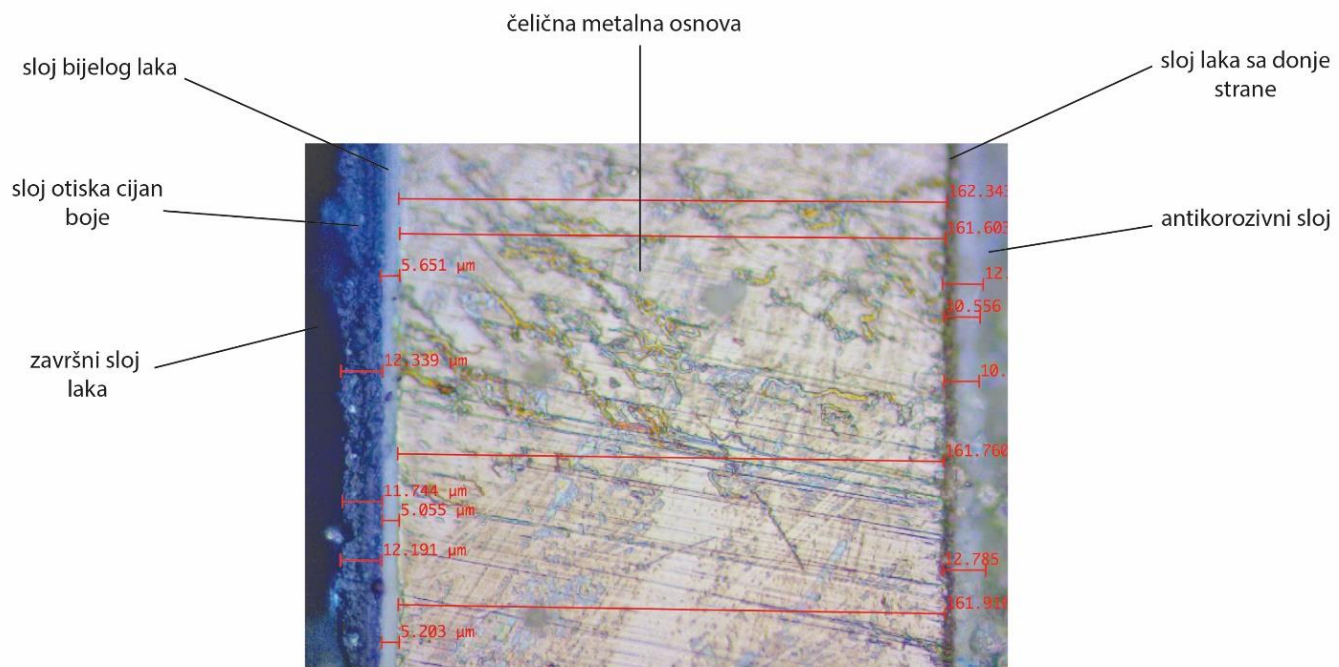


Slika 8: Shema izvršenog eksperimenta

## 4.2. Korišteni materijali

### 4.2.1. Tiskovna podloga

Kao tiskovna podloga korišten je bijeli lim debljine 160  $\mu\text{m}$  sastavljen od tri sloja. 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. [10]



Slika 9: Prikaz metalne ploče za limotisak

### 4.2.2. Bojilo

*ECO-UV* bojilo je posebno formulirano 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.), a visok stupanj elastičnosti dozvoljava mogućnost primjene otisaka na 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 bojila 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%. Bojila su izvorno tekućine viskoznosti od 6 do 8 mPa·s, te je vrlo nestabilno pod utjecajem topline i svjetla. [21]

### 4.3. Strojevi i uređaji

#### 4.3.1. Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC – 300

Za otiskivanje smo primijenili tiskarski stroj *Roland VersaUV LEC-300* koji radi na principu piezo Inkjet tehnologije. Format tiskovne podloge koji stroj prihvaća je 182-762 mm, a maksimalna rezolucija koju može otisnuti je 1440x720 dpi. *Roland VersaUV* pruža i opciju direktnog razrezivanja uzoraka, te općenito ima mogućnost tiska iz role ili na arke. Sadrži pet različitih obojenja (cijan, magenta, žuta, crna i bijela) te ima dodatan lak. *Roland VersaUV* koristi *ECO-UV* bojila. Za potrebe ovog rada otisci su tiskani u četiri boje u rezoluciji od 720 x 720 pt, te automatski sušeni *UV LED* lampama. [22]



Slika 10: Tiskarski stroj Roland VersaUV LEC-300

### 4.3.2. Peć Nabertherm B 180

Za potrebe laboratorijskih mjerenja korištena je peć napajana naponom od -100V do 240V. Utrošena energija koju peć pri radu potroši iznosi 3,5 W, a raspon temperatura koju *Nabertherm B 180* može postići iznosi 30-3000°C. Uz navedene karakteristike postoji i mogućnost reguliranja grijanja, te mogućnost memoriranja zadanih postavki. U ovom radu, pećnicu smo zagrijali na konstantnu temperaturu od 200°C te izlagali otiske u različitim vremenskim intervalima (10, 15, 20, 25 i 30 min). [23]



*Slika 11: Laboratorijska peć Nabertherm B 180*

### 4.3.3. Spektrofotometar X-Rite eXact

*X-Rite eXact* služi za mjerenja vrijednosti boje u tisku i laboratorijima bojila. Ključne značajke spektrofotometra su zaslon u boji osjetljiv na dodir, automatska kalibracija, održavanje 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 mjerenja prijenosa podataka. [24] Za potrebe ovog rada spektrofotometar je postavljen na M0 mod (nedefiniran izvor svjetlosti), [25] sa standardnim promatračem vidnog kuta od 2° i standardnog osvjetljenja D50.



*Slika 11: Spektrofotometar X-Rite eXact*

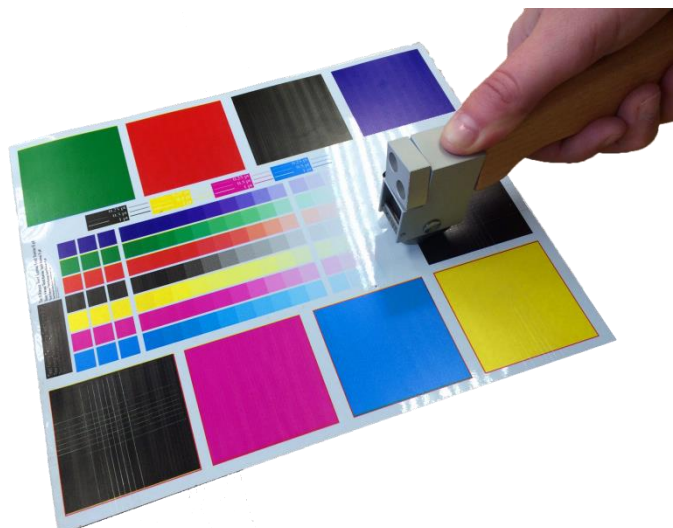
Datoteka izvršenih mjerenja otvorena je u Microsoft Excel-u, gdje su primijenjene  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za cijan, magentu, žutu i crnu (40, 80 i 100% RTV). [22]

#### **4.3.4. Tester BYK 5122 (Cross-Cut Test)**

Ova metoda se primjenjuje za testiranje premaza na krutim tiskovnim podlogama. Test se izvodi tako da šest paralelno poredanih oštih 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 formirajući tako uniforman uzorak.

*Cross-Cut test* oštrice su izrađene 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 procijenjenoj količini 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. [26]





*Slika 12: Princip izvođenja Cross-cut testa*

#### **4.3.5. DinoLite mikroskop**

*DinoLite* je digitalni mikroskop pruža čistu sliku visoke rezolucije. Senzor omogućava prikaz slike s mikroskopa na zaslon računala. Model mikroskopa je ugrađen u čvrsto kućište koje osigurava zaštitu od oštećenja. Softver *DinoCapture 2.0* omogućava spremanje slika i videozapisa, izradu snimki tehnikom „*timelapse*“ i 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 povećani 60x. [27]



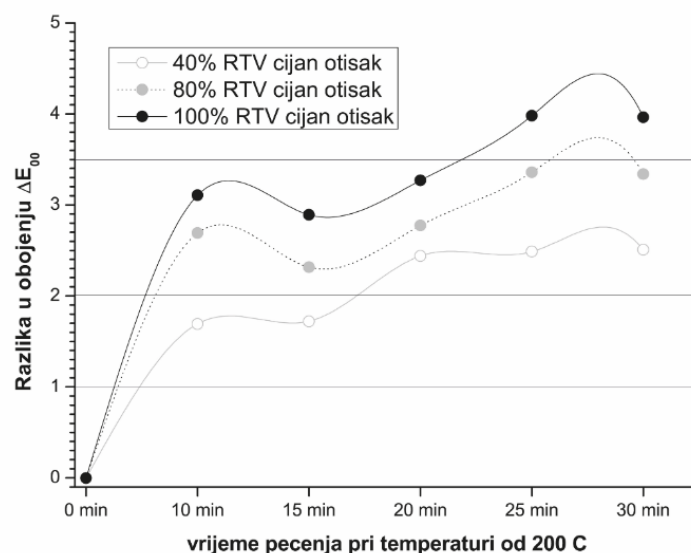
*Slika 13: Digitalni mikroskop DinoLite*

## 5. Rezultati i diskusija

Ako su otisci izloženi različitim klimatskim uvjetima mogu se očekivati neželjene kolorne promjene. To znači da promjena u temperaturi može izazvati kemijske promjene u bojilu pri čemu dolazi i do promjena nosioca obojenja (pigmenta) ili sredstava koja su namijenjena za prijenos obojenih čestica (veziva, otapala, dodaci). Sve devijacije nastale tijekom eksperimentalnog procesa moguće je detektirati spektrofotometrijskim i kolorimetrijskim mjerenjima. Na slikama 14, 15, 16 i 17 prikazane su *CMYK* razlike u obojenju na 40%, 80% i 100% RTV nastale tijekom procesa pečenja metalne tiskovne podloge. Pri tome je izvršeno šest uzastopnih mjerenja u vremenskim periodima od 0 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min i 30 min uz konstantu temperaturu od 200°C.

### 5.1. Razlika kolorimetrijskih vrijednosti cijan otisaka

Tijekom procesa višebojnog tiska prva kolorna separacija (nanašenje na tiskovnu podlogu) je cijan. Razlog tomu možemo pronaći u činjenici da statistički gledano udio cijana je u ilustracijama najveći (nebo, more, trava...). Uz to od svih procesnih bojila cijan je po komponenti  $L^*$  najtamnija. Na slici 14 prikazane su kolorne oscilacije cijan otisaka.



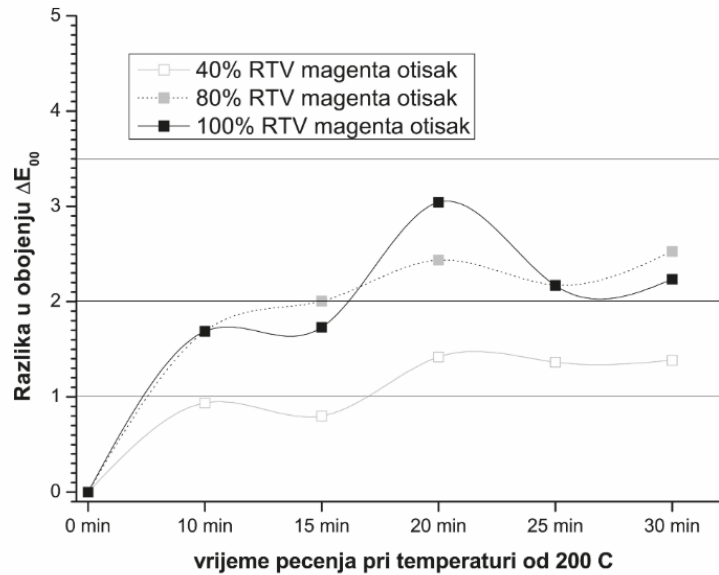
Slika 14: Razlika u obojenju cijan otisaka nastalih pečenjem u vremenskom periodu 0-30 minuta

Kada govorimo o dozvoljenoj toleranciji razlike u obojenju  $\Delta E$ , smatra se da prosječno ljudsko oko ne vidi razliku u obojenju koja je manja od 1. Kolorimetrijska razlika od 1 do 2 se očituje kao vrlo mala razlika, odnosno, optimalna razlika u obojenju. Razlika koja se nalazi u granicama između 2 i 3,5 je umjerena, dok su razlika koje su očite i vidljive golim okom iznad vrijednosti 5. [30]

Eksperimentalnim djelovanjem temperature, najveća kolorna promjena u cijan otisku se detektira u tonovima sa najvećom pokrivenošću. Odnosno, što je veća RTV vrijednost otisaka, to je veća vrijednost razlike u obojenju  $\Delta E$ . Samim time odnos pokrivenosti cijan površina i razlike u obojenju je proporcionalan. Sve kolorne promjene nastale izlaganjem cijana visokoj temperaturi izmjerene na pojedinim točkama dijagrama se mogu svrstati u kategoriju vidljivih promjena. U odnosu na referentni otisak (ne pečen) maksimalnu razliku u obojenju pokazuje puni ton ( $\Delta E_{30\text{min}} = 3,98$ ) dok otisak sa 40% RTV prikazuje minimalnu kolornu devijaciju ( $\Delta E_{15\text{min}} = 2,5$ ). Nakon 25 minuta dolazi do određene stabilizacije otisaka. Zaključno s tim, dovoljno je 15 minuta pečenja da bi cijan postigao svoju promjenu u obojenju u punim i rastriranim tonovima ( $\Delta E_{15\text{min}100\%RTV} = 2,89$ ;  $\Delta E_{15\text{min}80\%RTV} = 2,31$ ;  $\Delta E_{15\text{min}40\%RTV} = 1,72$ ). Samim time tijekom procesa pečenja ostvarene su lagane promjene u obojenju koje su se lagano modificirale ton (puni ton  $\Delta E_{25-15\text{min}} = 1,09$ ; 80% RTV  $\Delta E_{25-15\text{min}} = 1,04$ ; 40% RTV  $\Delta E_{25-15\text{min}} = 0,71$ ). Analizirajući gradacijske vrijednosti tri RTV polja cijana (40, 80 i 100%) unutar 25 minuta pečenja ostvarena je maksimalna kolorna promjena  $\Delta E_{100\% - 40\%RTV} = 1,48$ , dok je najmanja nastala tijekom 20 minuta  $\Delta E_{100\% - 40\%RTV} = 0,84$ .

## **5.2. Razlika kolorimetrijskih vrijednosti magenta otisaka**

Od svih procesnih boja magenta je tonski najtoplija te se bez nje ne mogu ostvariti zasićeni crveni tonovi. Kako je to boja koja jedina ne egzistira u spektru njeno egzistiranje u realnom svijetu je malo. Sukladno tomu, rijetki magentini pigmenti će se potpuno drugačije ponašati od cijan pigmentata. Ipak, djelovanjem temperature nastat će oku vidljiva kolorna promjena (slika 15).



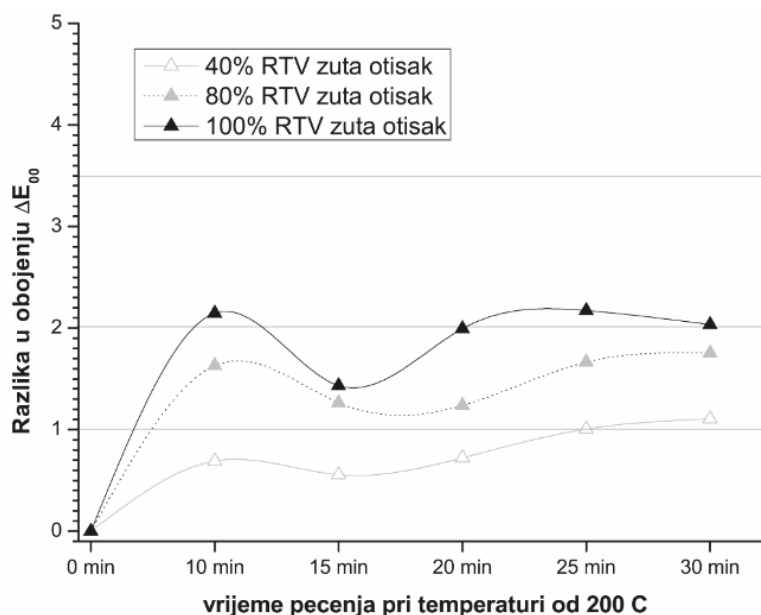
Slika 15: Razlika u obojenju magenta otisaka nastalih pečenjem u vremenskom periodu 0-30 minuta

Otisnuti puni ton magente i rastrirano polje od 80% RTV-a ponašaju se vrlo slično. Njihove vrijednosti su gotovo indentične, a vrijednosti razlike obojenja nakon 10 i 25 minuta pečenja gotovo su jednakog iznosa ( $\Delta E_{10\text{min}} = 1,68$ ;  $\Delta E_{25\text{min}} = 2,17$ ). Samim time tijekom vremenskog perioda od 10 minuta ostvarena je najmanja gradacijska kolorna promjena ( $\Delta E_{100\%RTV} - E_{40\%RTV} = 0,75$ ). Magentni otisak u vremenu pečenja od 20 minuta pokazivati najveće gradacijske oscilacije te one iznose  $\Delta E_{100\%RTV} - E_{40\%RTV} = 1,63$ . Samim time pečenje otisaka u vremenskom periodu od 20 minuta treba izbjegavati jer su promjene vizualno vidljive na svim analiziranim poljima ( $\Delta E_{100\%RTV} = 3,04$ ;  $\Delta E_{80\%RTV} = 2,43$ ;  $\Delta E_{40\%RTV} = 1,41$ ). Karakteristično je da će dulje djelovanje topline od 200°C (više od 25 minuta) prouzročiti strukturalne promjene otisnutog magentnog sloja što je kolorno vidljivo padom razlike obojena na granici od  $\Delta E = 2,00$  (umjerena razlika).

Preporučeno vrijeme pečenja otisaka tako iznosi 10 minuta, te se u tom vremenskom periodu očituju najmanje kolorimetrijske razlike izmjerene kolorimerijskim uređajem. Samim time magenta u odnosu na cijan, pokazuje bolja termalna svojstva što se direktno iscrta iz vrijednosti  $\Delta E$  ( $\Delta E_{MAX}$  za cijan 3,97, a za magentu 3,04).

### 5.3. Razlika kolorimetrijskih vrijednosti žutih otisaka

Žuta je najsvjetlija procesna kolorna komponenta u kojoj su nositelji obojenja azo pigmenti. Samim time lako se kontaminira sa drugim bojama što može utjecati na njenu kolornu vrijednost. Zbog toga ju u proizvodnji boja možemo pronaći u najviše oblika (nijansi). Na slici 16 je prikazana kolorna razlika za žutu boju otisnutoj na metalnoj ambalaži nakon djelovanja topline od 200°.



Slika 16: Razlika u obojenju žutih otisaka nastalih pečenjem u vremenskom periodu 0-30 minuta

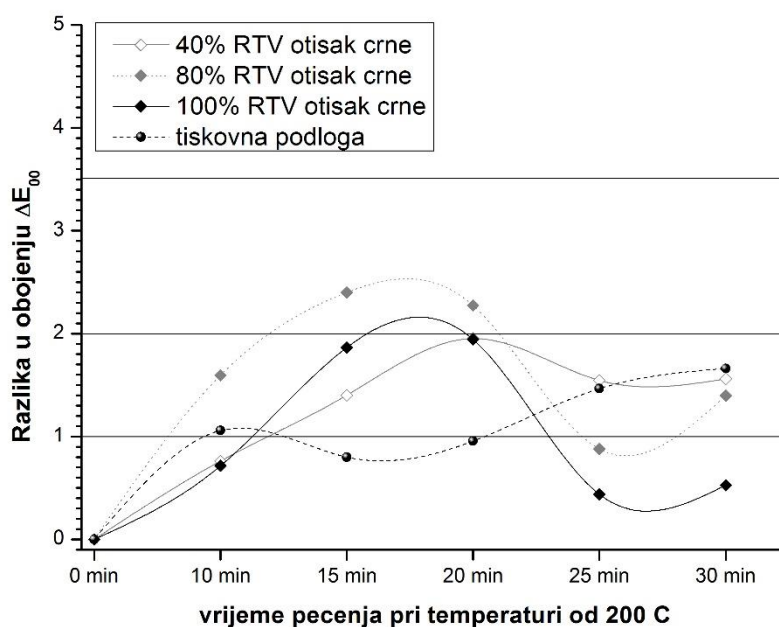
Sve kolorne promjene žute boje jedva su vidljive u punom tonu ( $\Delta E_{10\text{min}} = 2,17$  što spada u umjerenu razliku u tonu). Rastrirane površine su potpuno nevidljive (80% RTV  $\Delta E_{30\text{min}} = 1,63$  i 40% RTV  $\Delta E_{30\text{min}} = 0,69$  pa pripadaju ocjeni za vrlo malu razliku u obojenju, odnosno mogu se detektirati samo spektrofotometrom).

Žuti otisci koji su nastali eksperimentalnim pečenjem su najujednačeniji. Samim time promjene ostvarene u razlici obojenja iznose  $\Delta E_{10\text{min}} = 1,48$ ;  $\Delta E_{15\text{min}} = 0,87$ ). Međutim, te razlike nisu iste za sva rastertonska područja. Najveće su, očekivano, za 100% vrijednost RTV-a ( $\Delta E_{10\text{min}} - E_{15\text{min}} = 0,71$ ), dok su najmanje kod 40% RTV-a ( $\Delta E_{30\text{min}} - E_{10\text{min}} = 0,41$ ). To i dalje potvrđuju tezu proporcionalnosti pokrivenosti površine o razlici u obojenju. Iz dijagrama je zanimljivo uočiti da će tamni tonovi žute boje ostvariti najveću kolornu promjenu u kraćem vremenskom periodu (10 min), dok će najsvjetliji tonovi istu pokazati u duljem vremenskom periodu (30 min). Ipak,

za optimalnu stabilizaciju žute boje preporučljivo je primjeniti toplinu od 200°C i trajanje od 15 minuta pečenja.

#### 5.4. Rezultati crne i tiskovne podloge premazane s temeljnim lakom

Prilikom primjene transparentnih bojila promjena obojenja tiskovne podloge može značajno utjecati na konačne rezultate. Zato se je uz krivulje pokrivne crne pridodana krivulja ovisnosti promjene bijelog laka na vršnoj površini metalne podloge (slika 17). U grafičkoj tehnologiji crna spada u skupinu akromatskih boja, te se nanaša u nešto većim slojevima ostvarujući pritom veliki tiskarski kontrast.



Slika 17: Razlika u obojenju crnih otisaka i tiskovne podloge nastalih pečenjem u vremenskom periodu 0-30 minuta

Metalna tiskovna podloga sa bijelim lakom će tijekom trajanja pečenja pretrpjeti minimalne kolorne promjene. One iznose  $\Delta E_{10\text{min}} = 0,86$ . Produljenjem vremena bjelina se lagano mijenja i dostiže vrijednost  $\Delta E_{15\text{MIN}} = 0,80$  ;  $\Delta E_{30\text{MIN}} = 1,66$ . Iz ovoga je vidljivo da bijelo otisnuta tiskovna podloga neće značajnije utjecati na kromatske promjene reproduciranih tonova. Optimalna temperatura koja će najmanje utjecati na kolorimetrijske vrijednosti tiskovne podloge je 15 minuta pri čemu je ostvarena najmanja kolorna devijacija u odnosu na referentnu

podlogu.

Ponašanje crne je vrlo specifično. Iz krivulja se može očitati da crna ima dvije karakteristične promjene. Prva je da crni puni ton i 80% RTV daju najveću kolornu devijaciju u početku eksperimentalnog pečenja ( $\Delta E_{10\min} = 0,7$ ;  $\Delta E_{20\min} = 1,9$ ) nakon čega razlika u obojenju pada. Ta razlika u konačnici iznosi  $\Delta E_{100\%} = 1,51$ ;  $\Delta E_{80\%} = 1,47$ . Što se tiče promjene na svjetlijim tonskim vrijednostima crne boje (40% RTV), oni se kontinuirano povećavaju do dvadesete minute ( $\Delta E = 1,9$ ) nakon čega se otisak stabilizira i ostaje nepromijenjen. To je jedina boja koja ne potvrđuje hipotezu ovisnosti pokrivenosti površine o razlici u obojenju.

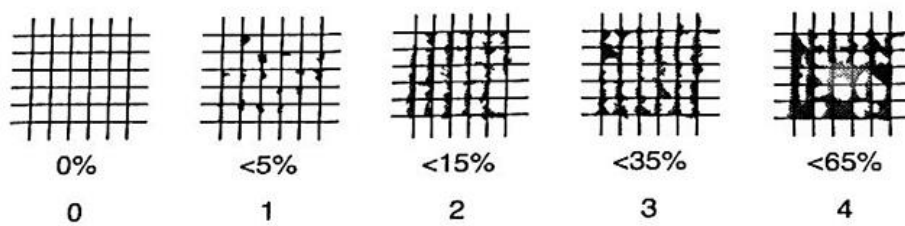
U odnosu na ostale ispisane boje, akromatske gradacijske točke ostvarit će međusobno najveću kolornu devijaciju  $\Delta E_{crna} = 1,51$ . Samim time, njihova uočljivost će biti puno veća u odnosu na cijan  $\Delta E_{cijan} = 1,08$ ; magentu  $\Delta E_{magenta} = 1,36$  i žutu  $\Delta E_{žuta} = 0,71$

Kao optimalno vrijeme pečenja crne boje preporučuje se vremenski period od 10 minuta pri čemu nastaju najmanje, skoro nevidljive, kolorne promjene ( $\Delta E_{10\min} = 0,84$ ).

## **5.5. Rezultati vizualnih testova dobivenih nakon Cross-cut mehaničkog oštećenja**

U grafičkoj industriji ponekad se termalno obrađuje i tiskovna forma za ofsetni tisak. To dovodi do boljih mehaničkih svojstava i veće izdržljivosti. Kako bi utvrdili kolika je adhezija Inkjet tiskarskog bojila na tiskovnu podlogu, proveden je Cross-cut testa. Test se izvodi provlačenjem alata sastavljenog od šest "noževa", gdje su uzorci boja podvrgnuti mehaničkom oštećenju (grebanju). Nakon toga, uzorci su očišćeni četkom, te još dodatno podvrgnuti čupanju selotejp trakom debljine 5 cm.

Gotovi uzorci su mikroskopski povećani 60x gdje su vizualno ocijenjeni prema shemi. Vizualna ocjena temeljena je na količini oštećenja, gdje ocjena 0 predstavlja potpuno savršenu adheziju bez imalo oštećenja, ocjene 1 i 2 predstavljaju optimalno oštećenje otiska, a sva veća oštećenja znači da je adhezija bojila nezadovoljavajuća, te da je potrebno korigirati određene parametre (ocjena 3 i 4). [22]

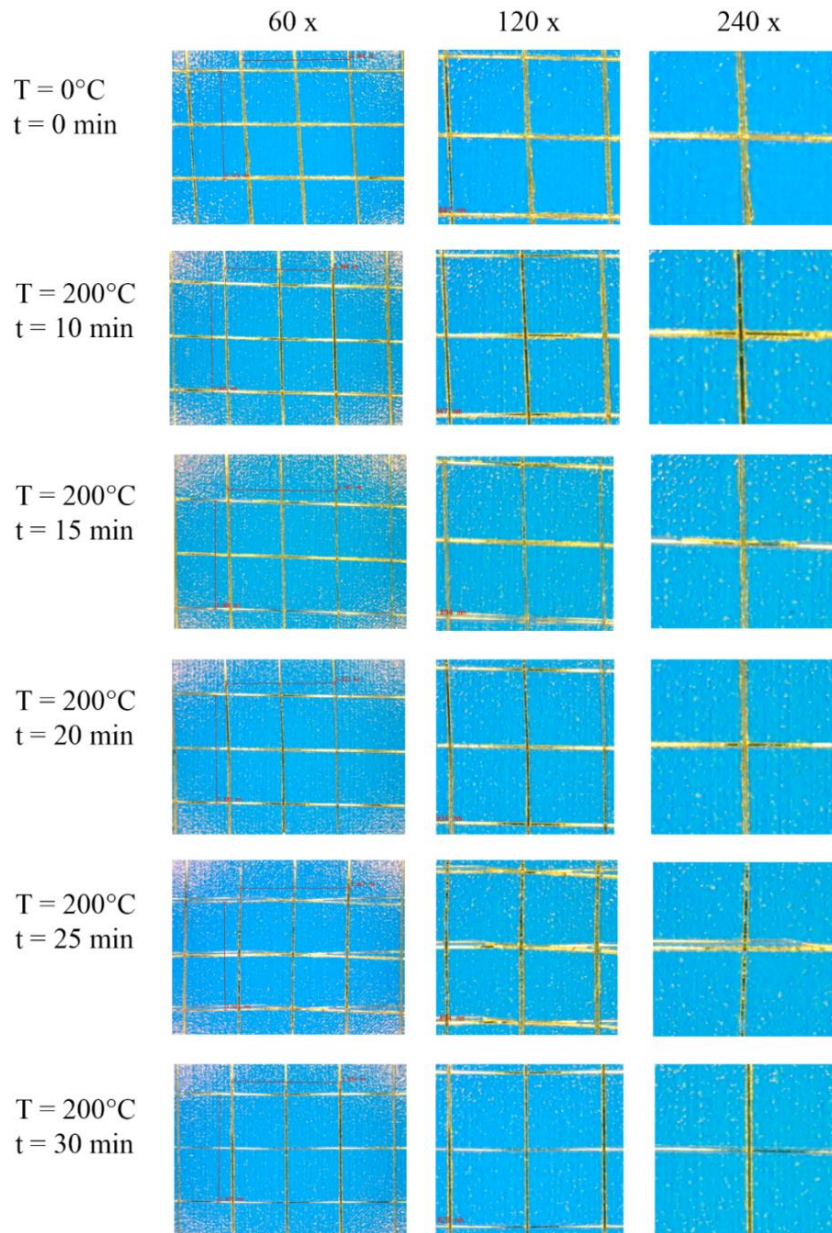


*Slika 18: Princip određivanja kvalitete adhezije bojila nakon Cross-cut testa*



### 5.5.1. Rezultati vizualne procjene cijan otisaka

Na slici 19 je prikazano pet cijan uzoraka koji su izloženi jednakoj temperaturu u različitim vremenskim periodima, te podvrgnuti Cross-cut testu. Nakon testa otisci su slikani DinoLite kamerom uz povećanje od 60x, uz dodatno digitalno povećanje od 120x i 240x. Takve slike dodatno su vizualno procijenjene i analizirane, kako bi se pobliže analizirale mehaničke promjene.

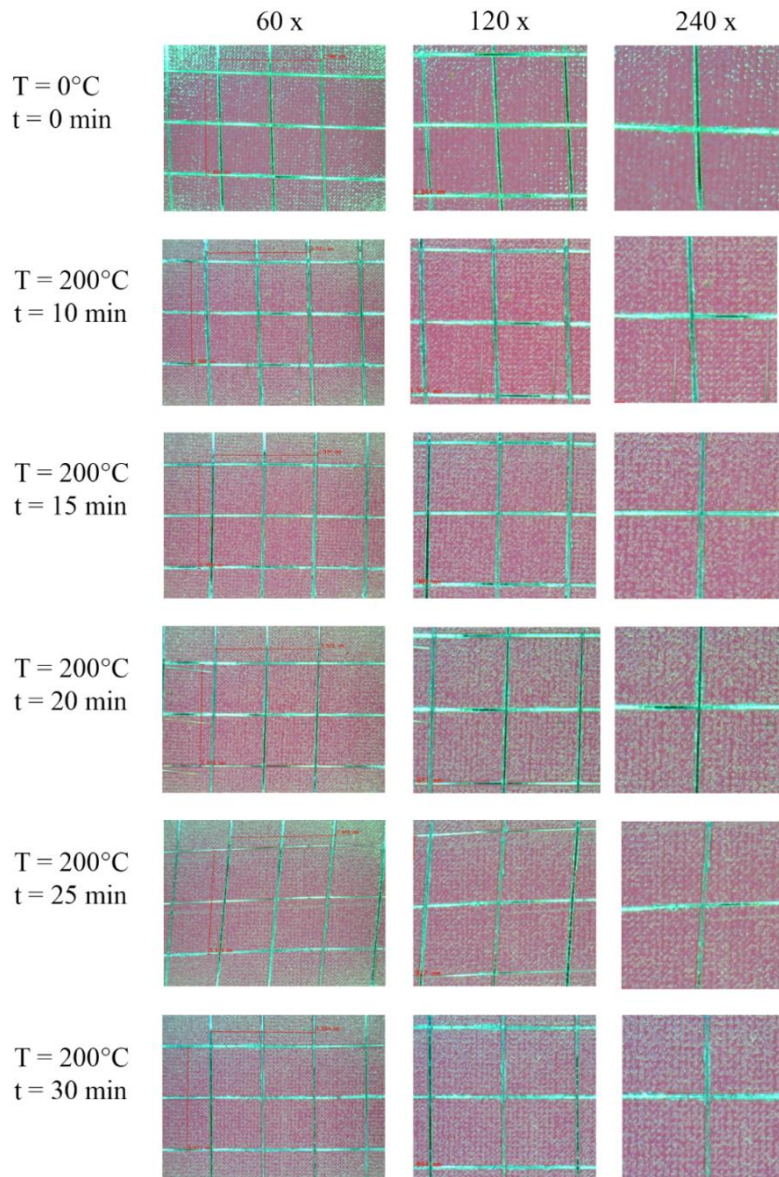


Slika 19: Rezultatne fotografije za određivanje kvalitete adhezije cijan bojila nakon Cross-cut testa

Cijan uzorci izgledaju poprilično ujednačeno i bez oštećenja. Samim time oštećena površina iznosi 0% te je riječ o idealnom prihvaćanju cijan boje. Djelovanje temperature od 200°C neće utjecati na test prihvaćanja bojila te ocjena ostaje 0. Povećanjem prikaza od 240x ipak se primjećuju blaga oštećenja uzorka. Ona su vidljiva kao formirane bijele linije, odnosno bijeli kvadrati. Najlošiji pravokutni oblici ostvareni su nakon pečenja od 20 minuta, posebice linije koje nisu nazubljene. Najbolji pravokutni oblici ostvareni su nakon pečenja od 30 minuta, gdje oštećenja ne postoje.

### 5.5.2. Rezultati vizualne procjene magenta otisaka

Na slici 20 prikazano je pet uzoraka otisnutih magenta bojom koji su, kao i cijan otisci, bili izloženi mehaničkom oštećenju.

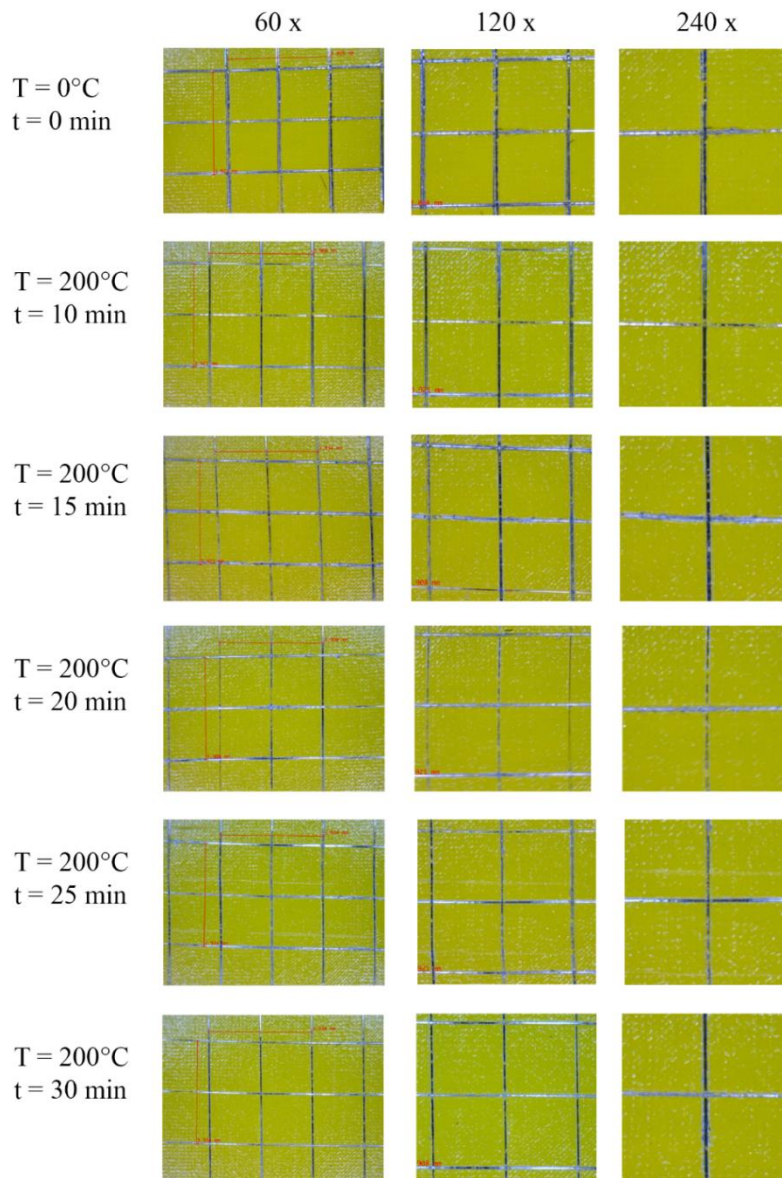


*Slika 20: Rezultatne fotografije za određivanje kvalitete adhezije magenta bojila nakon Cross-cut testa*

Kao i kod cijan otisaka, adhezija magente na metalnu tiskovnu podlogu je izvrsna (ocjena 0). Također i pri velikom povećanju napravljene linije i pravokutnici Cross-cut testom potpuno su ujednačene i bez većih oštećenja. Ipak se ostvaruje dojam da je uzorak pečen 15 minuta bolje nego ostali, pa se to vrijeme pečenja preporučuje za daljnje korištenje. Ipak, izgledom najlošiji pokazao se je otisak pečen 20 minuta.

### 5.5.3. Rezultati vizualne procjene žutih otisaka

Žuti otisci punog tona su također nakon otiskivanja i izračunatih spektrofotometrijskih vrijednosti bili izloženi Cross-cut testu mehaničkog oštećenja. Rezultati su prikazani na slici 21.



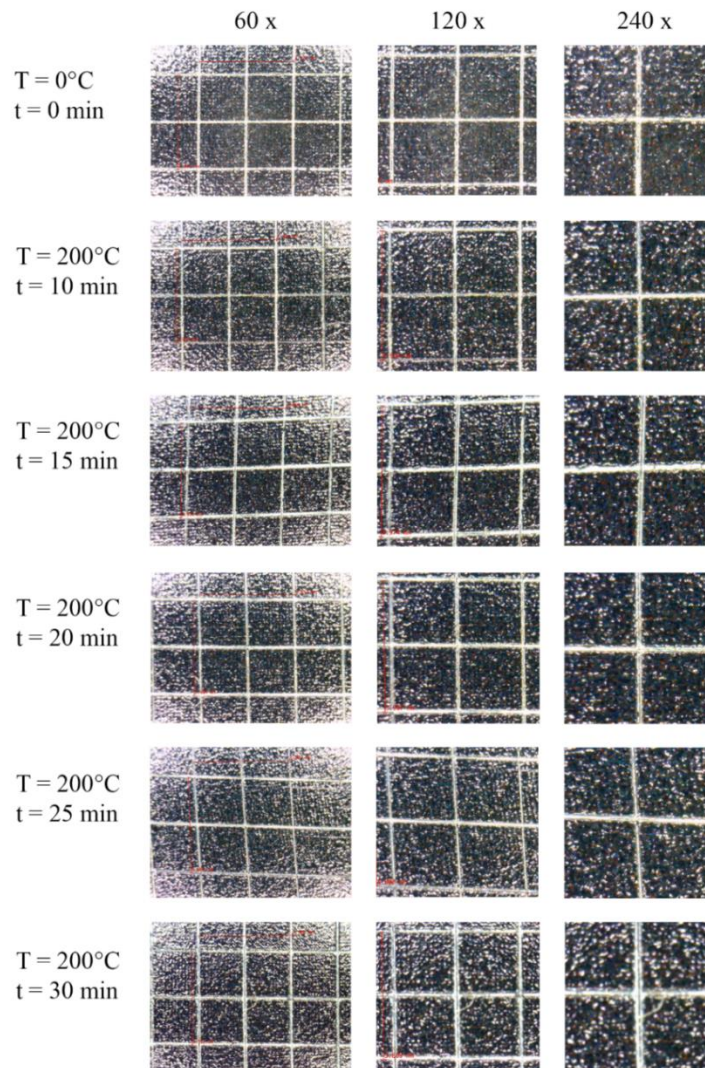
*Slika 21: Rezultatne fotografije za određivanje kvalitete adhezije žutog bojila nakon Cross-cut testa*

Adhezijsko prihvaćanje žutog LED UV Inkjet bojila također je izvrsno pri čemu vrijedi najbolja ocjena 0. Tek pri najvećem povećanju uočena je nešto lošija realizacija linija oštećenja. Najbolji otisak pokazao se onaj pečen 30 minuta, a najlošiji referentni, ne pečeni uzorak. Samim time mehaničkim svojstvima žute boje odgovara pečenje.



#### 5.5.4. Rezultati vizualne procjene crnih otisaka

Na slici 22 je prikazano pet uzoraka crne boje koji su izloženi konstantnoj temperaturi u različitim vremenskim periodima. Kao i u prethodnim slučajevima, uzeta su tri povećanja: 60x, 120x i 240x.



*Slika 22: Rezultatne fotografije za određivanje kvalitete adhezije crnog bojila nakon Cross-cut testa*

Uzorke crnog Inkjet otiska karakterizira jedan veliki nanos. Samim time je površina vrlo hrpava i prikazana kao mnoštvo bijelih točkica (vrhovi površine čija je refleksija veća od podnožja). Bez obzira na nanos, adhezija crne boje je odlična (vizualna ocjena je 0). Ipak, pod povećanjem od 240x primjećuju se blaga oštećenja otiska uz liniju reza. Ona su najmanja kod uzorka koji

nije izložen djelovanju topline (najbolji crni otisak), a najveća oštećenja su kod uzorka na koji je topila djelovala 30 minuta (najlošiji crni otisak).

## 6. Zaključak

Na pitanje utječe li temperatura na promjenu u obojenju odgovor je pozitivan. Porastom temperature, otisak se mijenja, kako vizualno, tako i fizikalno kemijski. To je potvrđeno ostvarenim  $L^*a^*b^*$  vrijednostima i razlikama u obojenju CIE  $\Delta E_{00}$ .

Neka UV LED Inkjet bojila se više ili manje mijenjaju što ovisi o stabilnosti pigmenata i površinskoj pokrivenosti. Pri obzervaciji očito je da puni tonovi (potpuno prekriveno područje) imaju veću kolornu promjenu u odnosu na rastrirana polja. Samim time, manja pokrivenost metalne površine znači manju razliku u obojenju, što se preporuča dizajnerima pri izradi tiskane metalne ambalaže.

Najmanji stupanj promjene u rastertonskim vrijednostima pokazuje žuta od samo  $\Delta E_{\max-\min}=0,50$ . Najveću prosječnu razliku u obojenju pri izlaganju temperaturi od 200°C je postigao cijan u punom tonu ( $\Delta E_{100\% \text{ RTV}} = 3,98$ ). S druge strane, najmanju vrijednost postiže žuta boja od 40% RTV sa vrijednošću  $\Delta E=0,51$ . Odnosno, žuta je otporna na tonske promjene. Najveću gradacijsku razliku nastalu djelovanjem topline pokazuje crna boja. To u području od 80% RTV iznosi  $\Delta E = 1,39$ . Samim time nameće se zaključak o izbjegavanju korištenja akromatskih boja tijekom toplinske stabilizacije jer će zbog svog nanosa doživjeti neželjene tonske promjene.

Bijelo otisnuta metalna podloga imati će minimalni utjecaj na dobivene rezultate. Njezina prosječna vrijednost od  $\Delta E_{TP}=0,86$  (minimalna kolorna razlika) neće utjecati na krajnji rezultat kolorimetrijskih mjerenja.

Uzimajući u obzir rezultate kolornih promjena kod magente, žute, crne ali i tiskovne podloge ispostavilo se da se najveća kolorna promjena postiže već unutar 10 minuta pečenja, te da se daljnim pečenjem samo neznatno povećava. Zaključno time, vremenski period od 10 minuta pečenja bi se mogao pokazati kao optimalan i preporučiti. Za cijan otiske se optimalna razlika

u obojenju postiže pečenjem od 15 minuta. Tako da se krajnje vrijeme za pečenje metalnih podloga otisnutih Inkjet UV bojilom preporučuje između 10 i 15 minuta (200°C).

Adhezivna svojstva svih UV Inkjet bojila u zoni dodira sa metalnom ambalažom su izvrsna. Ipak crna pokazuje najoptimalnije rezultate djelovanjem oštrica. Najlošije linije oštećenja u ovom slučaju pokazuju žuta i cijan gdje dolazi do povećanog ljuštenja rubova ali i temeljnog bijelog laka.

No zanemarujući laboratorijski uvjetovane visoke temperature, može se pretpostaviti da će otisak nastao LED UV Inkjet tehnologijom na metalnoj podlozi biti postojan na atmosferalije. Međutim, pitanje je kako se takva boja ponaša uslijed mehaničkog savijanja koje je karakteristično za oblikovanje metalne ambalaže. Upravo takva analiza bit će produkt budućih istraživanja.

## 7. Popis literature

- [1] Zbornik radova, Blaž Baromić, 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] [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Inzenjerstvo\\_povrsina2dio.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Inzenjerstvo_povrsina2dio.pdf), 2.4.2015.
- [5] Jakelić M., Postojanost i trajnost ink jet otisaka, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1912.
- [6] Majnarić I., Golob G., Ink jet printing and possibility coating on various materials, Matrib 2014., International conference on materials, tribology, recycling
- [7] Jamnicki S., predavanja iz kolegija Tiskarske boje, predavanje: Boje za ink jet tisak, Grafički fakultet, Zagreb, 2014
- [8] Leach R., Pierce R., The printing ink manual, Springer, 1999.
- [9] UV-Technology, The Practical Guide for all Printing Processes , 2006.
- [10] Majnarić I., predavanja iz kolegija Male tehnike tiska, Grafički fakultet, 2014., Zagreb,
- [11] Bolanča S., Tisak ambalaže, 2013., Zagreb
- [12][http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CD4QFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.skriptarnica.net%2Fskripte%2Fdoc\\_download%2F72-boje-teorija.html&ei=erseVcyIKIPaUaPggMAF&usq=AFQjCNEf8OptlHqTHma16iIG9QJHZIpp-Q&sig2=IXAJXHP83ePTQr8ISvcaBA&bvm=bv.89947451,d.d24](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CD4QFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.skriptarnica.net%2Fskripte%2Fdoc_download%2F72-boje-teorija.html&ei=erseVcyIKIPaUaPggMAF&usq=AFQjCNEf8OptlHqTHma16iIG9QJHZIpp-Q&sig2=IXAJXHP83ePTQr8ISvcaBA&bvm=bv.89947451,d.d24), 9.4.2015.
- [13] <http://metpakmetaloffset.com/en/products.aspx>, 9.4.2015.
- [14] <http://www.destefiko.rs/>, 9.4.2015.
- [15][http://www.alibaba.com/product-detail/Metal-Surface-Printing-Machine-DYJ320\\_1587967054.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Metal-Surface-Printing-Machine-DYJ320_1587967054.html), 9.4.2015.
- [16] Bertić I., Boje za sitotisak, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2003.
- [17] Gotovac M., Kontrola kvalitete u sitotisku, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [18][http://www.alibaba.com/product-detail/Large-Format-Curved-Screen-Printing-Machine\\_333255611.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Large-Format-Curved-Screen-Printing-Machine_333255611.html), 9.4.2015.
- [19][http://www.alibaba.com/product-detail/Digital-metal-surface-printing-machine-Colorful\\_60017419776.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Digital-metal-surface-printing-machine-Colorful_60017419776.html), 9.4.2015.
- [20][http://www.alibaba.com/product-detail/metal-surface-printing-machine-A3-CE\\_739166982.html](http://www.alibaba.com/product-detail/metal-surface-printing-machine-A3-CE_739166982.html), 9.4.2015.



- [21] <http://www.rolanddga.com/products/inks/ecoUV/>
- [22] Puhalo M., Mogućnost primjene Inkjeta pri otiskivanju metalne ambalaže, diplomski rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [23] Specifikacije peći
- [24] X-Rite eXact instrument User Guide
- [25] <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/learning-centre/colour-measurement/colour/iso13655-demystified.html>, 9.4.2015.
- [26] [http://www.chung-tsang.com.tw/upload/userfiles/file/CrossCut\\_Tester.pdf?phpMyAdmin=4\[17\]3FBizCT9f2Tm4%2CgbgmrCNWa0ze](http://www.chung-tsang.com.tw/upload/userfiles/file/CrossCut_Tester.pdf?phpMyAdmin=4[17]3FBizCT9f2Tm4%2CgbgmrCNWa0ze), 9.4.2015.
- [27] <http://www.dino-lite.hr/pro-hr-5-megapixel/>, 9.4.2015.
- [28] Zjakić I., Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, Zagreb, 2014.
- [29] <http://en.wikipedia.org/wiki/Magenta>, 9.4.2015.
- [30] <http://en.wikipedia.org/wiki/Black>, 9.4.2015.
- [31] ] Majnarić I., predavanja iz kolegija Digitalni tisak, Grafički fakultet, 2014., Zagreb

# Optička i mehanička svojstva metalnih Inkjet otisaka uzrokovanih dodatnom termalnom obradom

*Aida Peštelić, Iva Štukar*

## Sažetak

Metalna ambalaža je u najvećem broju slučajeva otiskivana u konvencionalnoj tehnici limotiska. Kako je trenutačni trend svjetsko povećanje industrijske proizvodnje, sustavno se nameće pitanje povećanje kvalitete proizvoda uz simultano smanjenje troškova dobivanja otiska. Današnjom UV Inkjet tehnologijom tiska omogućena je alternativa otiskivanja limenih proizvoda. U ovom radu pokazati će se kolika je uspješnost ostvarivanja otiska na polupripremljenoj čeličnoj ploči koja je za potrebu vizualnog prijenosa informacije otisnuta tehnikom Inkjet. Pritom se je usredotočilo na parametre vezane za optička svojstva otiska i mehaničku otpornost nakon izvršene stabilizacijske toplinske obrade. U radu su upotrijebljavana UV-ECO Inkjet bojila koja trenutno suše pomoću UV LED svjetlosnih izvora. Eksperimentalni uzorci posebno su konstruirani te su sadržavali veći broj različito obojenih kolornih polja (različiti nanosi) uz varijaciju gradacije određenih rastertonskih vrijednosti (različita tonska pokrivenost). Za simulaciju djelovanja topline (proizvodne plinske peći za limotisak) primijenila se laboratorijska peć Nabertherm B 180. Pritom se je primijenila temperatura od 200 °C u vremenskim intervalima od 10, 15, 20, 25 i 30 minuta. Kolorimetrijske razlike uzorka utvrđene su suvremenim tiskarskim kolorimetrom X-rite eXact (CIE L\*a\*b\*, CIE LAB DE). Kolorimetrijski rezultati su pokazali da će toplinska obrada ostvariti najveću razliku u obojenju kod cijan bojila ( $\Delta E = 3,96$ ), dok će se najmanja promjena uočiti kod crne boje ( $\Delta E = 1,9$ ). Za određivanje adhezivnog vezivanja boje na tiskovnoj podlozi primijenjen je Cross-Cut test. Ovaj mehanički test je pokazao da su adhezivna svojstva svih UV LED Inkjet bojila izvrsna. Međutim, male razlike su ipak vidljive. Mikroskopom gledano (Dino Lite) najbolja adhezivnost je kod crnih linija, dok je nešto lošija kod žutih i cijanovih.

**Ključne riječi:** Metalna ambalaža, UV LED Inkjet bojilo, Cross-Cut test, kolorimetrijska razlika, termalna obrada otiska

# Optical and mechanical properties of Inkjet prints on metal surface caused with additional thermal treatment

*Aida Peštelić, Iva Štukar*

## Abstract

Metal packaging is in most cases printed with conventional technique called lithography. Current trend is to increase world's industrial production, so the question of increasing product quality with simultaneously reducing costs is being systematically forced. With UV Inkjet technology an alternative for printing metal products is enabled. In this work it will be shown the success of prints on prepared steel substrate printed with Inkjet technology. Focus was on parameters related to the optical properties of printed samples and mechanical resistance after the stabilization heat treatment. In this work was used UV – ECO Inkjet inks which dries currently using UV – LED light sources. Experimental samples were specially designed and contained a large number of different color fields (different in layers) with a variation in gradation in values of dot (different tone coverage). To simulate the effect of heat (manufacturing gas stoves for lithography) laboratory furnace Nabertherm B 180 was used. Temperature that was applied was 200°C at intervals of 10, 15, 20, 25 and 30 minutes. Colorimetric differences of samples have been established with modern printing colorimeter X-Rite eXact (CIE L\*a\*b\*, CIE LAB DE). Colorimetric results showed that heat treatment will achieve the greatest difference coloration with cyan dyes ( $\Delta E = 3,96$ ), while the smallest change was seen in black ( $\Delta E = 1,9$ ). To determine the adhesive bonding of color on the printing substrate, Cross – cut Test was applied. This mechanical test showed that the adhesive properties of UV – LED Inkjet colorants are excellent. However, small differences are still visible. Viewed with microscope (Dino Lite) best adhesive bonding has lines of black color, while a little worse adhesive bonding have yellow and cyan.

**Keywords:** metal packaging, UV LED Inkjet color, Cross-cut test, colorimetric differences, thermal treatment of prints