

Određivanje utjecaja podloge i IR sušenja na električnu otpornost elektrovodljivih tiskarskih boja

Jerić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:216:892384>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Josip Jerić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko – tehnološki

ZAVRŠNI RAD

ODREĐIVANJE UTJECAJA PODLOGE I IR SUŠENJA NA
ELEKTRIČNU OTPORNOST ELEKTROVODLJIVIH
TISKARSKIH BOJA

Mentor:

doc. dr. sc. Damir Modrić

Student:

Josip Jerić

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Tema završnog rada je određivanje utjecaja podloge na električnu otpornost elektrovođljivih tiskarskih boja. Tiskarske boje se otiskuju na tri različite podloge; reciklirani, premazani i nepremazani papir. Korištena je tehnika sitotiska, sa poluautomatskim strojem kako bi se zadržala konzistentnost otiskivanja. Predložak za otisak se sastoji od linija različitih duljina i širina. Otisci se jedanput suše u IR sušilu, nakon čega se mjeri električna otpornost na otisnutim linijama koristeći multimeter. Nakon toga, otisci se još tri puta suše u IR sušilu, te se ponavlja proces mjerenja otisnutih linija.

U teorijskom dijelu rada su navedeni i opisani materijali koji se koriste u tiskanoj elektronici kao i ideja i upotreba tiskane elektronike. U eksperimentalnom dijelu je opisan postupak otiskivanja te je napravljena statistička analiza izmjerenih vrijednosti kako bi se našla korelacija parametara (podloga, starost boje, broj sušenja, dimenzija linije).

Ustanovljeno je da se električna otpornost smanjuje sa većim brojem IR sušenja. Isto tako, nova boja je pokazala manju električnu otpornost od stare boje. Očekivano, dimenzije utječu na električnu otpornost, kao i različite podloge. Najmanja električna otpornost je na nepremazanome papiru, sa novom bojom, nakon četiri sušenja.

Ključne riječi: tisak elektronike, elektrovođljive boje, električni otpor, IR sušenje, funkcionalni tisak

ABSTRACT

Theme of this bachelor thesis is determining the influence of printing substrate on electrical resistance of conductive printing inks. Conductive inks are printed on three different printing substrates; recycled, coated and uncoated paper. Silkscreen was used as a printing technique, with a semi-automated machine in order to keep the consistency of the prints. Template for print is consisting of lines with variable width and length. Prints are dried once in the IR drier, after which the multimeter is used in order to measure the resistance on the printed lines. After that, the prints are dried three more times in the IR drier, and the measuring is repeated.

In the theoretic part of the thesis, materials that are used in printed electronics industry are listed, as well as the idea and usage of functional printing. In the experimental part of the thesis, printing procedure is explained, as well as statistical analysis of the measured values, in order to find a possible correlation of the parameters (substrate, ink age, number of drying, dimensions).

It is concluded that the electrical resistance decreases with the increase of number of IR drying. Also, new ink has a lower resistance than the old ink. As expected, dimensions influence the resistance, as well as different substrates. Lowest resistance is on the uncoated paper, with the new ink after the four times IR drying.

Keywords: printed electronics, conductive ink, resistance, IR drying, functional print

SADRŽAJ

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Uvod | 1 |
| 2 | Teorijski dio | 2 |
| 2.1 | Funkcionalni tisak i tiskana elektronika..... | 2 |
| 2.2 | Materijali za funkcionalni tisak i tiskanu elektroniku..... | 3 |
| 2.3 | Sitotisak | 5 |
| 2.4 | Tiskarska boja za sitotisak..... | 6 |
| 2.5 | Elektrovodljiva tiskarska boja..... | 7 |
| 2.6 | Sušenje tiskarskih boja | 8 |
| 2.7 | Papir | 10 |
| 2.8 | Električni otpor | 11 |
| 3 | Eksperimentalni dio | 12 |
| 3.1 | Plan rada i metode istraživanja..... | 12 |
| 4 | Rezultati i rasprava | 14 |
| 4.1 | Aritmetičke sredine izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija | 14 |
| 4.2 | Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija | 18 |
| 4.2.1 | Nova boja..... | 18 |
| 4.2.2 | Stara boja | 19 |
| 4.3 | Analiza varijance..... | 20 |
| 4.3.1 | Nova boja..... | 20 |
| 4.3.2 | Stara boja | 24 |
| 5 | Zaključak | 28 |
| 6 | Literatura | 29 |

1 UVOD

Porastom dostupnosti novih tehnologija, funkcionalni tisak je postao sve zanimljiviji smjer razvoja dijela grafičke tehnologije. Tiskarske boje koje provode struju postoje već neko vrijeme, no još uvijek postoji mnogo njihovih mogućih aplikacija u svakodnevnom životu, kao i brzorastuća mogućnost napretka i razvijanja njihovih svojstava.

Funkcionalni tisak obuhvaća široki spektar tiskanih komponenti koje su najčešće dijelovi drugih (grafičkih) proizvoda. Jedna od najčešće korištenih upotreba je ona u tiskanoj elektronici. Tiskana elektronika podrazumijeva tiskanje vodljivih ili optičkih tiskarskih bojila na podlogu, kako bi se stvorio aktivni ili pasivni uređaj. Pri tome ta ista elektrovodljiva boja sadrži vodljive čestice nekog metala, dok je podloga od raznovrsnih materijala; od različitih polimernih i karbonskih filmova do sve češće korištenih podloga na bazi papira i celuloznih vlaknaca. Upotrebom papira kao podloge, otvara se novo pitanje u području ekološke isplativosti; da li je isplativije tiskati na papirne podloge ili na filmove, ukoliko performanse boje budu podjednake.

Cilj rada je definirati promjene u električnom otporu elektrovodljivih tiskarskih boja otisnutih na tri različite vrste papira. Želja je da se utvrdi postoji li neka bitna razlika između starosti boje (korištena je tek otvorena boja i boja kojoj je istekao rok pred pola godine. Isto tako, utvrđuje se razlika u električnoj otpornosti u ovisnosti o podlozi; da li je svejedno koja se podloga koristi ili postoji razlika između premazanog, nepremazanog i recikliranog papira. Osim dimenzija linija, još se utvrđuje i utjecaj IR sušenja na samu električnu otpornost. IR sušenje kao takvo je relativno skup proces, pa se želi utvrditi da li je potrebno ponavljati ga više bude kako bi se električna otpornost smanjila na željene razine.

2 TEORIJSKI DIO

2.1 FUNKCIONALNI TISAK I TISKANA ELEKTRONIKA

Industrijski i funkcionalni tisak se mogu definirati kao tisak koji obuhvaća veoma širok spektar tiskanih komponenti koji su dio drugih proizvoda ili se sastoje od samih gotovih proizvoda. Za potrebe takvog tiska se koriste gotovo sve tehnike tiska koje su u mogućnosti zadovoljiti potrebe većine korisnika, industrije i proizvođača. Funkcionalni tisak uključuje uporabu materijala na koje se može otisnuti takva boja, a da se istovremeno zadrži i određena funkcionalnost. Primjene su razne; osjetljivost na temperaturu, svjetlost, određeni dio elektromagnetskog zračenja, provodljivost električne struje ili topline, i slično. Tako dobiveni proizvodi imaju dodanu funkciju i vrijednost. Danas se najčešće koriste u tehnologijama koje su u naglom razvoju, poput fleksibilne elektronike, prijenosnih uređaja za sport i trening, memorijskih i tankih tranzistora za upotrebu u biotehnologiji i dr. [1]

Jedna od mogućih primjena je u solarnim ćelijama novijih generacija. One bi se mogle temeljiti upravo na ovoj tehnologiji, jer su sama izrada i proizvodnja kao i materijali potrebni za rad višestruko jeftiniji od klasičnih tehnologija izrade solarnih ćelija. [2,3] Najčešće upotrebljavani proizvodi funkcionalnog tiska su bazirani na tiskanoj elektronici. Tiskana elektronika podrazumijeva tiskanje vodljivih ili optičkih tiskarskih boja na podlogu, kako bi se stvorio aktivni ili pasivni uređaj poput pametnih oznaka, animiranih postera, određenih komponenti koji su sastavni dio veće cjeline i slično. [4] Smjer razvoja funkcionalnog tiska je želja da se ostvari što šarolikija aplikacija takvih tiskarskih boja, kako bi se unaprijedili postojeći proizvodi ali i proizveli novi, koji nisu u mogućnosti biti izvedeni sa trenutno postojećim tehnologijama. Područja industrija koje uvelike koriste takve boje su mediji i oglašavanje, industrija naljepnica i pakiranja, industrija tekstila i odjeće, hrane i pića, medicina, sigurnost, uređenje interijera, itd. Unatoč sličnostima sa industrijskim tiskom, tiskana elektronika se i dalje smatra posebnim segmentom funkcionalnog tiska. Tranzistori, poluvodiči, nano čestice, vodljive boje i pigmenti su dio elemenata pomoću kojih se tiskana elektronika može odvojiti kako bi se razlikovala od sfere industrijskog tiska. [5,6]

2.2 MATERIJALI ZA FUNKCIONALNI TISAK I TISKANU ELEKTRONIKU

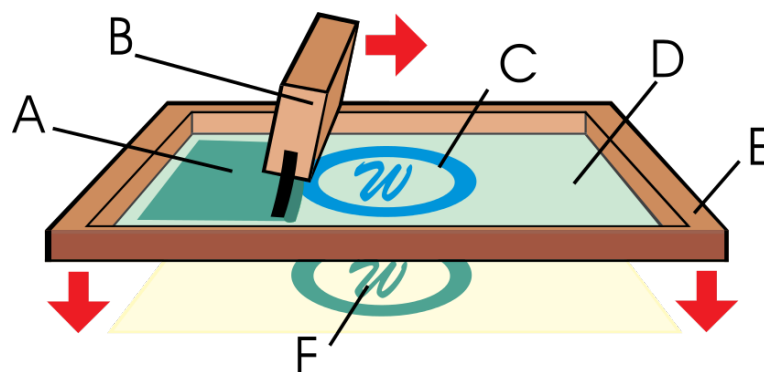
Razvojem novih proizvoda i novih primjena postojećih tehnika tiska i tehnologije, stvara se potreba i za razvojem novih materijala koji se mogu primjenjivati u tim novim pristupima problemu. Tendencija je da se sve više okreće na one materijale koji s jedne strane osiguravaju financijsku isplativost gotovog proizvoda, a s druge strane zadovoljavaju njegovu ekološku prihvatljivost i ostavljaju što manji utjecaj na okoliš. Papir je jedan od materijala koji zadovoljava ta dva uvjeta. Iako metalni [7], te različiti karbonski i polimerni filmovi poput poliamida [8], polianilina [9], polietilen tereftalata [10,11], polimida [12], i polipirola [13] još uvijek čine većinu podloga u tehnologijama tiskane elektronike, uporaba papira uz keramiku [14] kao alternativne podloge u funkcionalnom tisku je sve češća. Duljina upotrebljivosti i fizikalna svojstva papira (poput adhezije, mehaničke čvrstoće i površinskih svojstava) su različite od duljine upotrebljivosti i fizikalnih svojstava karbonskih filmova koji su najčešće korišteni kao podloga. Papir kao podloga trenutno nije prikladan za proizvode kojima se predviđa dulji rok trajanja, no niska cijena i mogućnost reciklaže otvaraju vrata prema široj mogućnosti primjene. Koriste se razni fotopapiri, premazani papiri kao što su poluporozni i bubrivi premazani papiri, te nepremazani papiri. [15]

Često korištene karbonske podloge su takozvane CNT (*carbon nanotubes*) ili karbonske nanocijevi koje posjeduju jedinstvena električna svojstva čime su idealne za različite komponente u tiskanoj elektronici. Takva svojstva mogu biti dodatno poboljšana dodavanjem slojeva čestica silicijevog dioksida, što otvara mogućnost primjene u optoelektronici. [16] Koriste se i kombinirane polimerno-karbonske podloge poput vodljivih polimernih kompozitnih filmova. Te podloge su troškovno prihvatljivije za masovnu industrijsku proizvodnju elektroničkih proizvoda. [17] Za jeftinije proizvode koji su namijenjeni jednokratnoj upotrebi, poput (pametne) ambalaže, papir je potencijalna podloga za funkcionalni tisak. [8] Ambalaža zahtijeva visoku otpornost papira na vlagu uz što niže troškove,

istraživana je primjena 6 vrsta papira (3 vrste ambalažnog i 3 vrste fotopapira). Svi uzorci su prikazali prihvatljivu stabilnost i električnu vodljivost. Iako se UV premazani ambalažni papir pokazao pogodnim za inkjet tisak, nije pokazao tako dobra svojstva kao inkjet fotopapir, no simulacijom starenja na višim temperaturama se pokazao stabilnijim, pa time i prihvatljivijim za tisak elektronike za pametnu ambalažu.[9] Istražena je i mogućnost primjene premazanog papira, preganog papira i fotopapira, koji su odabrani zbog svojih površinskih svojstava. Rezultati ukazuju na mogućnost primjene papira kao prihvatljive podloge za tiskanu elektroniku, no sugerira se oslojavanje papira polimernim materijalima u svrhu zaštite i poboljšanja površinskih svojstava. [18]

2.3 SITOTISAK

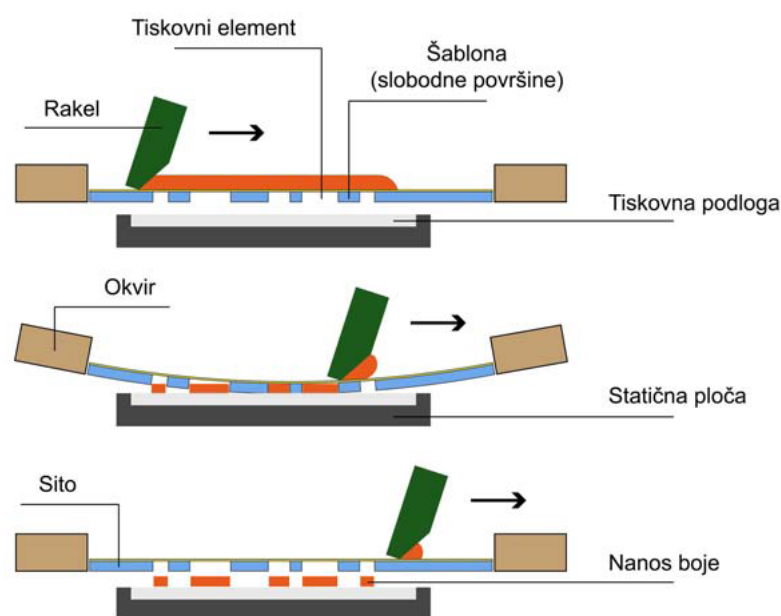
Sitotisak je jedna od najstarijih i najsvestranijih tehnika tiska. Koristi se u raznim svrhama, od umjetničkog tiska pa do tiska velikih formata za industrijske potrebe. Naklade vezane uz sitotisak variraju od jednog otiska pa do serijskog otiskivanja veće naklade. Sitotisak je u prednosti pred drugim tehnikama u mogućnosti otiskivanja na razne podloge. Sitotiskom se može otiskivati na papir, karton, keramiku, tekstil, plastiku. Osim na različite podloge, sitotiskom se može otiskivati i na razne nepravilne oblike; čaše, vaze, upaljače, cilindre, fleksibilne materijale, itd. Ovisno o namjeni tiska i podlozi, razlikuju se svojstva boja koje se koriste za sitotisak. Tiskovna forma za sitotisak se sastoji od sita, okvira na kojemu je sito napeto, te od matrice odnosno fotoosjetljivog materijala koji određuje slobodne i tiskovne površine. Slobodne i tiskovne površine se nalaze u istoj ravnini; slobodne površine predstavlja fotoosjetljivi materijal na površini mrežice kroz koji ne može proći tiskarska boja, dok su tiskovne površine otvori u mrežici kroz koje tiskarska boja može neometano prolaziti. Tiskovnu formu za sitotisak definiraju sljedeći parametri; broj niti po centimetru dužine, širina otvora (širina između sredina dviju susjednih niti), debljina niti te površine otvora. Otisak se radi tako da se na površinu mrežice, s unutrašnje strane okvira, nanese tiskarska boja, te se pomoću rakela i određenog pritiska boja protiskuje kroz otvore na određenu tiskarsku podlogu. [19] Kod strojeva za poluautomatski sitotisak, parametri otiskivanja se definiraju i automatizirani su, što omogućava da se svi otisci rade sa jednakim pritiskom rakela i pod jednakim kutom. Na taj način se standardizira otisak i sprječava se ljudski faktor, koji inače može bitno promijeniti svojstva otisaka koji nastaju kroz istu sitotiskarsku mrežicu.



Slika 1 Prikaz sitotiska [20]

2.4 TISKARSKA BOJA ZA SITOTISAK

Tiskarska boja je disperzna smjesa koja se sastoji od čvrste (pigment) i tekuće faze (vezivo), te raznih dodataka. Pigmenti daju tiskarskoj boji obojenje. Radi se o prirodnim ili umjetno dobivenim obojenim česticama. Osim obojenja, daju i čvrstoću, masu i konzistenciju tiskarskoj boji. Pokritnost je sposobnost pokrivanja podloge te na temelju nje boje dijelimo na pokritne, transparentne i polupokritne. S obzirom da je sitotisak najsvestranija tiskarska tehnika, jedna od osobina boja mora biti mogućnost tiska na različite oblike i vrste tiskovnih podloga. Funkcionalni tisak u sitotisku spada pod posebne procese. Sama kvaliteta otiska, što se vizualnog izgleda tiče, nije ključna prilikom otiskivanja funkcionalnih boja. Bitnije je da se postigne dobra pokritnost površine. Sitotiskarske boje po sastavu mogu biti jednokomponentne i višekomponentne. Kod jednokomponentnih boja se u gustu boju kao dodatak dodaje razrjeđivač, koji može regulirati i viskoznost. Primjenjuju se za tisak na upojne tiskarske podloge, a sušenje se odvija penetracijom, hlapljenjem i oksipolimerizacijom. Dvokomponentne brzосуšeće boje se koriste za tisak na neupojne tiskovne podloge. Sastoje se od boja i katalizatora. Sitotiskarska boja mora zadovoljiti kriterije viskoznosti i pokritnosti. Viskoznost je uvjetovana linijaturom mrežice, brzinom otiskivanja te debljinom nanosa na površini. [21]



Slika 2 Shematski prikaz obojenja tiskovne forme u sitotisku [21]

2.5 ELEKTROVODLJIVA TISKARSKA BOJA

Elektrovodljiva tiskarska boja je tiskarska boja koja ima sposobnost provođenja električne struje. U većini slučajeva se boja veže za podlogu upotrebom sušenja, topljenja ili sličnih procesa. Većinom sadrže provodljive materijale, poput praškastog ili sitnozrnatog srebra ili ugljika, kao i spojeva na bazi ugljika. Osim navedenih, koriste se i polimerni materijali koji imaju sposobnost polimerne vodljivosti. Elektrovodljive tiskarske boje otvaraju mogućnost šarolike upotrebe i primjene električne struje na prije nedostupnim materijalima. U prošlosti se koristilo jetkanje bakra i sličnih materijala i legura, koji više ne zadovoljavaju moderne standarde i potrebe. Boje sa česticama srebra se koriste u tiskanju RFID oznaka, putnim kartama, posebnim karticama koje sadrže informacije o kupcu i slično. Tipkovnice na računalima sadrže otisnute električne krugove koji reagiraju na pritisak tipke, provode električni signal i tako šalju signal prema računalu. U novije vrijeme se tiskaju antene na stražnjim prozorima automobila, koristeći elektrovodljive boje.

Razlikuju se elektrovodljive boje s obzirom na čestice koje provode struju (srebro, ugljik), ali i na način sušenja; toplinsko sušenje, UV sušenje, sušenje na zraku. Osim boja koje provode struju, u industriji se koriste i dielektrici [22] koji ne provode električnu struju i služe za odvajanje funkcionalnih dijelova koji bi trebali provoditi električnu struju.

2.6 SUŠENJE TISKARSKIH BOJA

Za kvalitetan otisak je izuzetno važno sušenje boje, neovisno o tehnici tiska i tiskovnoj podlozi. Dobar otisak odlikuje dobra povezanost tiskarske boje sa podlogom na koju se tiska. Otisak bi trebao biti postojan prema otiranju, brisanju i pritisku, što je u direktnoj vezi sa sušenjem boje. Adekvatno sušenje utječe na pravilnost rada strojeva za tisak, jer se boja ne smije sušiti na rakelu ili na površini sitotkarske mrežice tijekom tiska ili u periodima kratkog mirovanja. Pod sušenje se podrazumijevaju svi procesi koji se odvijaju nakon prijenosa boje na tiskovnu podlogu. U konvencionalnim tehnikama tiska, otiskuje se s tekućom bojom na tiskovnu podlogu nakon čega se boja treba osušiti u što kraćem vremenskom roku tj. prijeći iz tekućeg u kruto agregatno stanje. Sušenje otisnutog sloja općenito dijelimo u dvije faze; početno sušenje (prihvaćanje boje, *set*) kojim otisak postaje suh na dodir te završno otvrdnjavanje (*dry*) kojim otisak postaje potpuno suh. Sušenje boja popraćeno je brojnim kemijskim i fizikalnim procesima koji su ovisni o svojstvima veziva. Razlikujemo sušenje koje nastaje oksidacijom (oksiolimerizacijom) veziva, sušenje prodiranjem (upijanjem) veziva u tiskovnu podlogu, sušenje hlapljenjem (isparavanjem) otapala i sušenje taloženjem. To su ujedno četiri glavna mehanizma pomoću kojih se suše tiskarske boje iako se u praksi boje suše kombinacijom navedenih mehanizama. Brzina sušenja ovisna je o svojstvu sušivosti boje (vrsta i sastav veziva), svojstvima upojnosti podloge na koju se tiska (neupojna, slabo upojna, upojna), debljini otisnutog sloja boje, konzistenciji boje, doziranju boje na stroju, vlažnosti i temperaturi (mikroklimi) radioničke atmosfere, visini kupa u kojem je otisnuta naklada izložena sušenju. Temperatura je vrlo važan čimbenik, općenito, viša temperatura pogoduje sušenju iz sljedećih razloga: ubrzava proces polimerizacije, smanjuje viskozitet boje čime pospješuje prodiranje te ubrzava hlapljenje otapala.

Ubrzano odnosno prisilno sušenje je sušenje pod kojim podrazumijevamo sušenje sa UV (ultraljubičastim) valovima, IR (infracrvenim) valovima, EB (elektronskim snopom) te RF (radio valovima). Kada u tisku koristimo boje kojima viskoznost opada s porastom temperature, sloj nanešene boje može se grijati pomoću IR zračenja. Potrebno je pritom uskladiti raspon zračenja sa vezivom koje reagira unutar tog raspona. IR sušionici zrače u tri raspona; kratkovalni (zrak

prodire u papir, 0.8 - 2 μm), srednjevalni (zagrijava se zrak iznad otisnutog sloja, 2-4 μm) te dugovalni (nisu pogodna za sušenja, 4 μm - 1mm). Osim same boje, IR zrake zagrijavaju i slobodne površine na tiskovnoj podlozi, čime se temperatura otisnutog materijala podiže za par desetak $^{\circ}\text{C}$, što pogoduje polimerizaciji. Prednosti IR sušenja su brže prodiranje veziva u podlogu, manja mogućnost kontraotiska u izloženoj nakladi, brže sušenje otisaka te manja potrošnja praškova. Negativne strane su povećanje troškova zbog instalacije samog stroja te veće potrošnje električne energije, zauzimaju dosta prostora te povisuju radnu temperaturu u prostoriji. [23]

2.7 PAPIR

Papir je porozni materijal izrađen od celuloznih vlaknaca i njihovih fragmenata koji se međusobno isprepleću tako da tvore mrežastu strukturu. Osim celuloznih vlaknaca papir najčešće sadrži punila, keljiva i dodatke koji mu mogu poboljšati svojstva

Pod glatkošću neke površine podrazumijevamo približavanje te površine idealnoj ravnini. Devijacija od idealne ravnine je hrapavost. Glatkost ovisi o rasporedu vlaknaca na površini, količini i finoći punila, stupnju mljevenja i načinu glačanja papira. Na površini papira razlikujemo mikro i makro neravnine. Mikro neravnine nastaju zbog nejednolikosti neravnina vlaknaca i čestica punila koje leže na površini lista. Makro neravnine nastaju stvaranjem valova ili nakupljanjem vlaknaca na površini papira. Istraživanja su pokazala da manje gladak, mekši papir daje bolji otisak od papira koji je glađi, ali tvrd.

Sjajno premazani papiri odlikuju se visokim sjajem i glatkom, ravnom površinom. Njihovi premazi se sastoje od finih pigmenata koji im omogućavaju glatku površinu niske abrazivnosti. Mat premazani papiri kao i nepremazani papiri općenito, posjeduju mat površinu malog sjaja. Njihovi premazi se sastoje od grubih čestica pigmenata, nepravilnog oblika koji raspršuju zrake svjetlosti u svim smjerovima. Površina tih papira je znatno abrazivnija, grublje strukture što rezultira jačim otiranjem tiskarske boje koja je u trenutku dodirivanja dviju tiskovnih podloga, jedini sloj između njih. Za vrijeme i nakon procesa tiska otisnuta tiskovna podloga dolazi u kontakt s mnogim površinama, najčešće drugim tiskovnim podlogama prilikom čega je izložena određenom stupnju abrazivnog trošenja. U tom trenutku otpornost tiskarske boje i papira prema otiranju dolazi do izražaja. Površina mat papira zbog svoje nepravilne, grube površine pune izbočina i udubljenja izrazito je sklona oštećenjima [24]

2.8 ELEKTRIČNI OTPOR

Prilikom prolaska struje kroz neki vodič, pojavljuje se otpor. Radi se o recipročnoj vrijednosti električnoj vodljivosti. Električni otpor je fizikalna veličina kojom izražavamo omjer napona i jakosti električne struje;

$$R = \frac{U}{I}$$

Ovisnost je konstantna i izraz $R=U/I$ se naziva Ohmov zakon. Radi se o jednom od temeljnih zakona elektrotehnike. Mjerna jedinica za električni otpor je Ohm Ω ;

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega \text{ (ohm)}$$

Električna vodljivost je recipročna vrijednost otporu;

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

a mjerna jedinica za električnu vodljivost je simens;

$$[G] = \frac{[I]}{[U]} = \frac{A}{V} = \frac{1}{\Omega} = S \text{ (simens)}$$

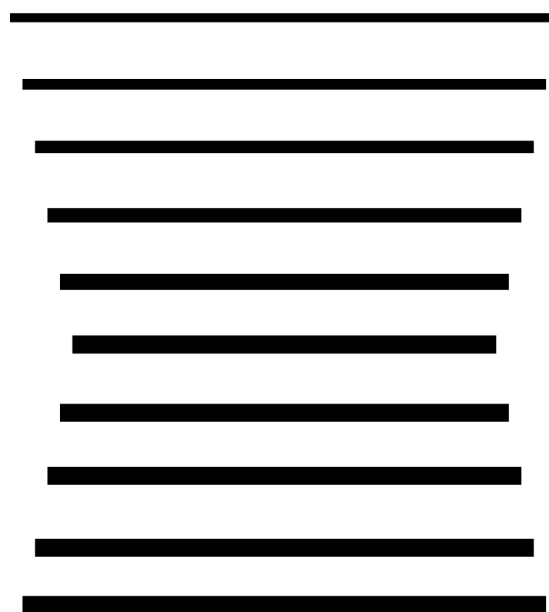
Električni otpor metalnog vodiča je ovisan o temperaturi vodiča. Pritom se za izračunavanje koristi tzv. Temperaturni koeficijent otpora, α , koji se utvrđuje empirijski za svaki pojedini materijal kao kataloški podatak. Otpor kod metala većinom raste porastom temperature. Neki nemetali imaju negativan temperaturni koeficijent električnog otpora.

3 EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 PLAN RADA I METODE ISTRAŽIVANJA

Za potrebe ovog rada, izrađena je tiskovna forma za sitotisak sa motivom na kojem se nalaze linije u kombinaciji raznih debljina i širina. Osnovna linija je linija broj 6. Gornjih pet linija se linearno povećava u duljinu dok im se širina smanjuje. Donje četiri linije se jednako linearno povećavaju u duljinu, dok im širina ostaje ista. Linije će se uspoređivati u odnosu na šestu liniju, koja je uzeta kao referentna. Isto tako, postoje po četiri para linija sa jednakom duljinom ali različitim širinama. Cilj je odrediti da li je potrebno mijenjati samo duljinu linija, ili je moguće ostvariti istu provodljivost sa manjim nanosom boje odnosno manjom širinom linije.

| | Debljina linije | Duljina linije |
|----|-----------------|----------------|
| 1 | 5pt | 11cm |
| 2 | 6pt | 10,5 cm |
| 3 | 7pt | 10 cm |
| 4 | 8pt | 9,5 cm |
| 5 | 9pt | 9 cm |
| 6 | 10pt | 8,5 cm |
| 7 | 10pt | 9 cm |
| 8 | 10pt | 9,5 cm |
| 9 | 10pt | 10 cm |
| 10 | 10pt | 10,5 cm |



Slika 3 Dimenzije linija na motivu i izgled motiva

Korištena je sitotiskarska mrežica sa linijaturom 90 linija/cm, dok je promjer niti 48 μm i žute su boje.. Niti su nategnute pod kutem od 0 stupnjeva.

Kao fotoosjetljivi sloj je korištena Fotecoat 1010 diazo emulzija za dvostruko otvrdnjavanje. Emulzija je blijedo-ljubičaste boje i srednje viskoznosti. Vrijeme osvjetljavanja je kratko. Dobiveni sloj je otporan i moguće je tiskati sa većinom tipova tiskarskih boja.

Korištena je tiskarska boja CRSN2442 SunTronic Silver 280 Thermal Drying Silver Conductive Ink. Boja je namijenjena za uporabu sa sitotiskarskom tehnikom tiska. Namijenjena je za tisak na klasične i fleksibilne podloge. Brzo se suši i daje nisku otpornost. Nije potrebno razrjeđivanje, već se koristi direktno kako je dobivena u pakiranju. Pogodna je za korištenje na ručnim, poluautomatskim i automatskim strojevima za sitotisak. Porastom temperature sušenja se smanjuje električna otpornost. Sama električna otpornost boje je ovisna o linijaturi mrežice, debljini emulzije, brzini otiskivanja, tvrdoći rakela, uvjetima sušenja, itd. Ukoliko se skladišti u preporučenim uvjetima, boju je moguće koristiti 6 mjeseci nakon otvaranja. Za potrebe otiskivanja su korištene dvije boje; jednu koja je nedavno otvorena i jednu koja je otvorena prije dvije godine tj. istekao joj je rok skladištenja prije godinu i pol dana.

Kao tiskovne podloge su korištene tri vrste papira; premazani, nepremazani te reciklirani papir.

Svaki otisak se prvo osušio jednom u IR grijaču. Nakon toga su multimetrom izrađena mjerenja električne otpornosti na svim linijama. Nakon toga je još tri puta ponovljeno sušenje u IR grijaču, te su se ponovila mjerenja električne otpornosti na svim linijama koje su otisnute.

4 REZULTATI I RASPRAVA

4.1 ARITMETIČKE SREDINE IZMJERENIH VRIJEDNOSTI ELEKTRIČNE OTPORNOSTI LINIJA

Dobiveni rezultati su upisani u tablice i analizirani su s obzirom na traženu ovisnost koja se računala.

Korišteni su statistički alati kojima je prikazana deskriptivna statistika, a osim toga je korišten i ANOVA test.

Rezultati su podijeljeni u više skupina i podskupina. Prva skupina su rezultati prvih šest linija, druga skupina su rezultati drugih pet linija (šesta linija je zajednička prvoj i drugoj skupini). Svaka skupina je podijeljena još na novu i staru boju, te s obzirom na vrstu podloge (premazani, nepremazani i reciklirani papir) i sušenje (jednokratno i četverokratno).

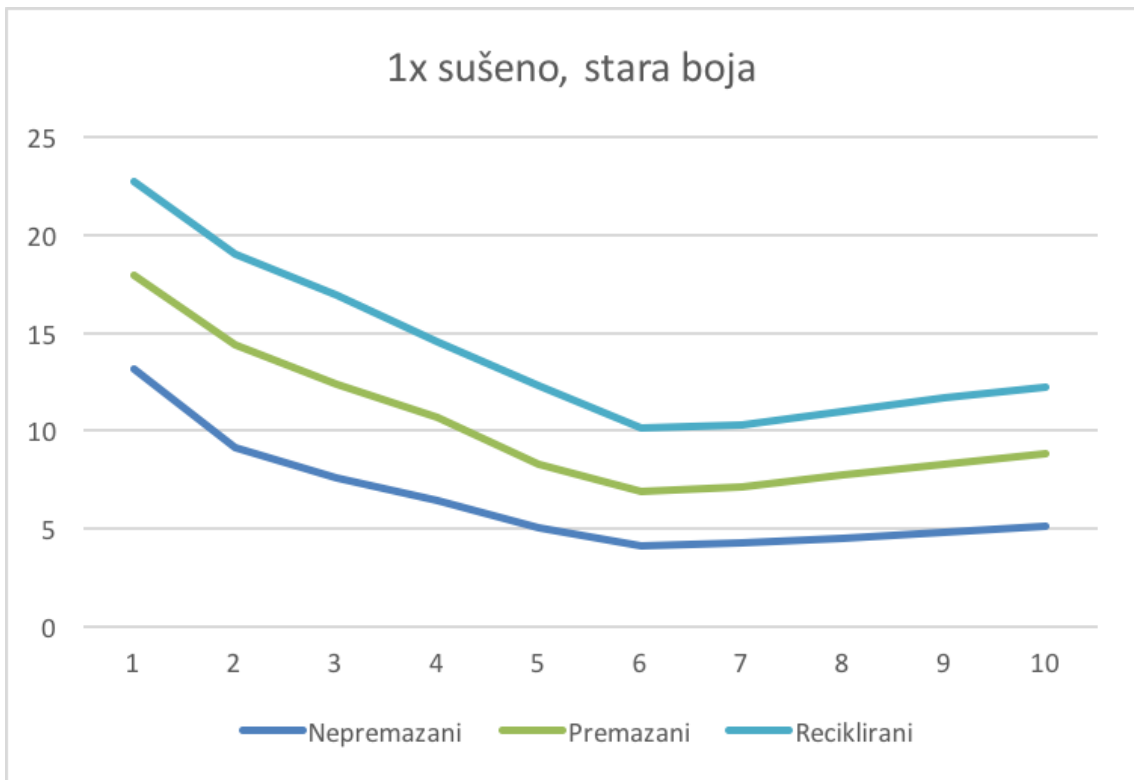
U tablicama su prikazane numeričke vrijednosti električne otpornosti u $m\Omega$. Isti ti rezultati su prikazani u sljedećim grafikonima. Na x osi se nalazi broj linije, dok se na y osi nalazi vrijednost električne otpornosti. Na svakom grafu su prikazane po tri linije; jedna za svaki tip tiskovne podloge.

| Stara boja | 1x sušeno | | | 4x sušeno | | |
|------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | Nepremazani | Premazani | Reciklirani | Nepremazani | Premazani | Reciklirani |
| 1 | 13,16 | 17,92 | 22,74 | 10,12 | 12,82 | 15,8 |
| 2 | 9,14 | 14,42 | 19,02 | 7,16 | 10 | 12,98 |
| 3 | 7,58 | 12,4 | 16,94 | 6,04 | 8,5 | 11 |
| 4 | 6,44 | 10,66 | 14,52 | 5,2 | 7,26 | 9,26 |
| 5 | 5,04 | 8,3 | 12,28 | 4,02 | 5,56 | 7,76 |
| 6 | 4,12 | 6,9 | 10,18 | 3,34 | 4,68 | 6,32 |
| 7 | 4,28 | 7,16 | 10,3 | 3,5 | 4,92 | 6,52 |
| 8 | 4,54 | 7,72 | 11,02 | 3,72 | 5,2 | 6,88 |
| 9 | 4,82 | 8,26 | 11,66 | 3,78 | 5,42 | 7,28 |
| 10 | 5,16 | 8,84 | 12,26 | 4,16 | 5,84 | 7,72 |

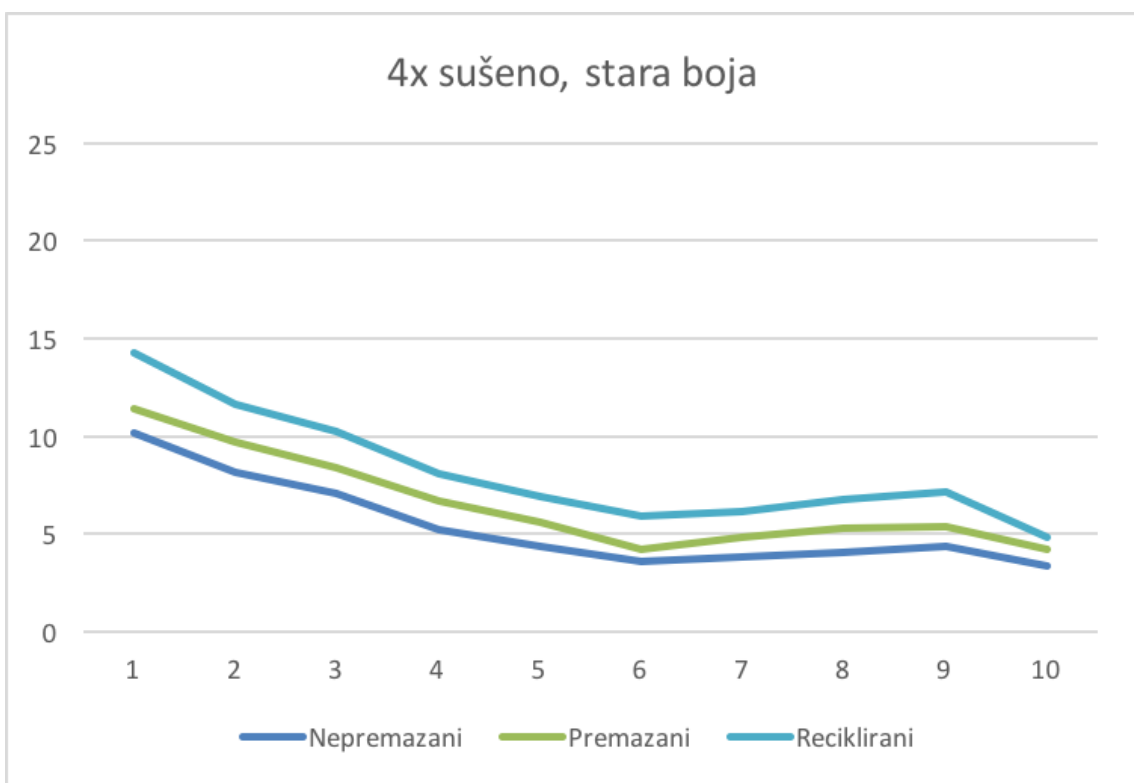
Tablica 1 Aritmetičke sredine izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, stara boja

| Nova boja | 1x sušeno | | | 4x sušeno | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | Nepremazani | Premazani | Reciklirani | Nepremazani | Premazani | Reciklirani |
| 1 | 10,14 | 11,44 | 14,28 | 8,74 | 9,3 | 10,5 |
| 2 | 8,18 | 9,72 | 11,64 | 7,04 | 7,86 | 8,94 |
| 3 | 7,08 | 8,42 | 10,28 | 6,12 | 6,56 | 7,62 |
| 4 | 5,22 | 6,68 | 8,12 | 4,54 | 5,3 | 6,04 |
| 5 | 4,34 | 5,6 | 6,92 | 3,86 | 4,42 | 5,16 |
| 6 | 3,62 | 4,2 | 5,94 | 3,16 | 3,66 | 4,38 |
| 7 | 3,84 | 4,82 | 6,18 | 3,34 | 3,92 | 4,54 |
| 8 | 4,06 | 5,28 | 6,76 | 3,62 | 4,18 | 4,98 |
| 9 | 4,34 | 5,36 | 7,14 | 3,82 | 4,44 | 5,02 |
| 10 | 3,38 | 4,2 | 4,86 | 3,06 | 3,32 | 3,66 |

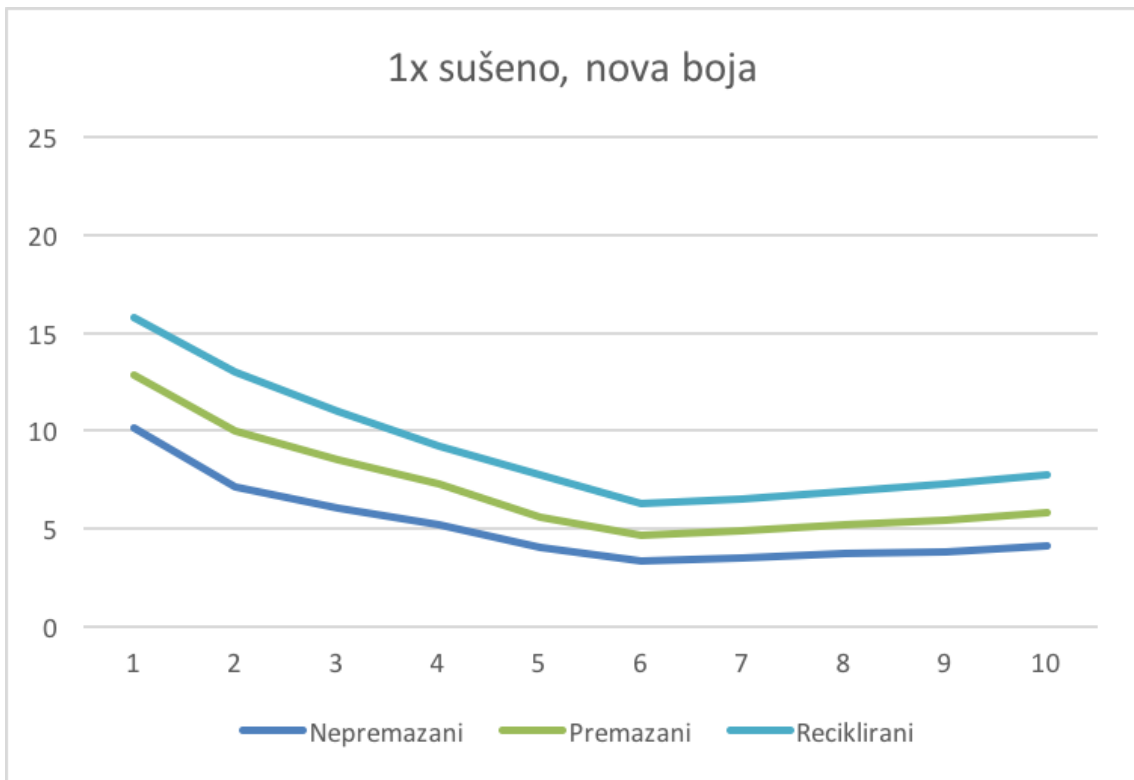
Tablica 2 Aritmetičke sredine izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, nova boja



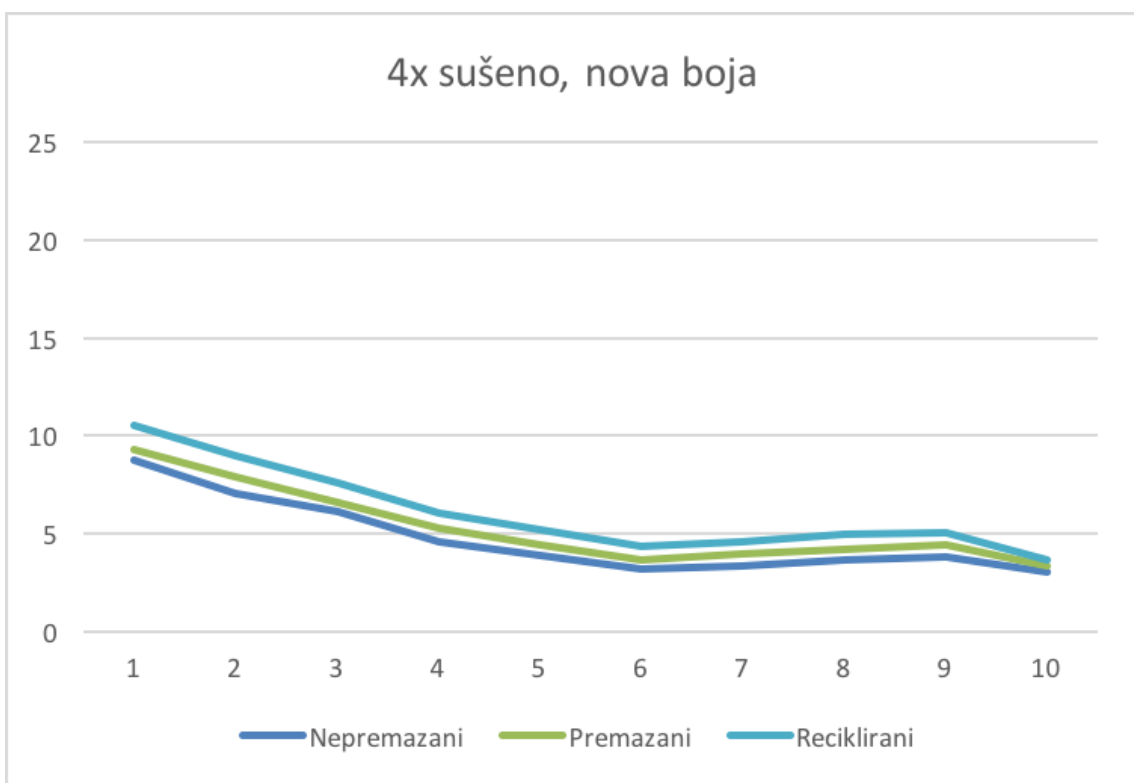
Slika 4 Graf aritmetičkih sredina izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, stara boja, jedanput sušeno



Slika 5 Graf aritmetičkih sredina izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, stara boja, četiri puta sušeno



Slika 6 Graf aritmetičkih sredina izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, nova boja, jedanput sušeno



Slika 7 Graf aritmetičkih sredina izmjerenih vrijednosti električne otpornosti linija, nova boja, četiri puta sušeno

4.2 DESKRIPTIVNA STATISTIKA IZMJERENIH VRIJEDNOSTI ELEKTRIČNE OTPORNOSTI LINIJA

Za potrebe deskriptivne statistike, korištene su samo izmjerene vrijednosti električnog otpora na 7. liniji.

Broj mjerenja je 25 po vrsti papira, što dovodi do toga da smo imali po 75 mjerenja po sušenju.

| | | N |
|---------|-------------|----|
| Sušenje | 1x | 75 |
| | 4x | 75 |
| Podloga | Nepremazani | 50 |
| | Premazani | 50 |
| | Reiklirani | 50 |

Tablica 3 Broj mjerenja

4.2.1 Nova boja

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Podloga | Mean | Std. Deviation | N |
|---------|-------------|--------|----------------|-----|
| 1x | Nepremazani | 3,8400 | ,08165 | 25 |
| | Premazani | 4,8200 | ,30551 | 25 |
| | Reciklirani | 6,1800 | ,18028 | 25 |
| | Total | 4,9467 | ,98795 | 75 |
| 4x | Nepremazani | 3,3400 | ,08165 | 25 |
| | Premazani | 3,9200 | ,15000 | 25 |
| | Reciklirani | 4,5400 | ,11547 | 25 |
| | Total | 3,9333 | ,50707 | 75 |
| Total | Nepremazani | 3,5900 | ,26515 | 50 |
| | Premazani | 4,3700 | ,51319 | 50 |
| | Reciklirani | 5,3600 | ,84177 | 50 |
| | Total | 4,4400 | ,93321 | 150 |

Tablica 4 Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti električne otpornosti otisnutih linija, na tri tipa podloge sa novom bojom, sušeno jednom i četiri puta

Standardna devijacija kod nove boje ukazuje na mala postotna odstupanja otpornosti otisnutih linija od prosjeka otpornosti za sve tri vrste papira i oba vremena sušenja što znači da je varijabilnost malena. Najmanja varijabilnost

uočena je za jednom sušene linije na nepremazanom papiru (2,13%), dok je najveća bila za jednom sušene linije na premazanom papiru (6,34%).

4.2.2 Stara boja

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Podloga | Mean | Std. Deviation | N |
|---------|-------------|---------|----------------|-----|
| 1x | Nepremazani | 4,2800 | ,06455 | 25 |
| | Premazani | 7,1560 | ,37537 | 25 |
| | Reciklirani | 10,3000 | ,15546 | 25 |
| | Total | 7,2453 | 2,48609 | 75 |
| 4x | Nepremazani | 3,5000 | ,08165 | 25 |
| | Premazani | 4,9200 | ,34400 | 25 |
| | Reciklirani | 6,5160 | ,17720 | 25 |
| | Total | 4,9787 | 1,26055 | 75 |
| Total | Nepremazani | 3,8900 | ,40064 | 50 |
| | Premazani | 6,0380 | 1,18423 | 50 |
| | Reciklirani | 8,4080 | 1,91832 | 50 |
| | Total | 6,1120 | 2,26976 | 150 |

Tablica 5 Deskriptivna statistika izmjerenih vrijednosti električne otpornosti otisnutih linija, na tri tipa podloge sa starom bojom, sušeno jednom i četiri puta

Standardna devijacija kod stare boje ukazuje na mala postotna odstupanja otpornosti otisnutih linija od prosjeka otpornosti za sve tri vrste papira i oba vremena sušenja što znači da je varijabilnost malena. Najmanja varijabilnost uočena je za jednom sušene linije na nepremazanom papiru i recikliranom papiru (1,51%), dok je najveća bila za četversotruko sušene linije na premazanom papiru (6,99%).

Iz dobivenih rezultata deskriptivne statistike se može zaključiti da su prikupljeni podaci prikladni za daljnju statističku obradu analize varijance odnosno primjenu ANOVA testa.

4.3 ANALIZA VARIJANCE

4.3.1 Nova boja

4.3.1.1 Vrijeme sušenja

Koristeći izmjerene podatke, dobivena je procijenjena vrijednost električnog otpora u ovisnosti o vremenu sušenja.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|---------|-------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | 4,947 | ,020 | 4,908 | 4,986 |
| 4x | 3,933 | ,020 | 3,894 | 3,972 |

Tablica 6 Procjene iznosa električne otpornosti

U idućem koraku se radila parna usporedba vrijednosti između vrijednosti električnog otpora pri jednom sušenju i pri četiri sušenja. Promatrajući razinu statističke značajnosti p vrijednosti (manja od 0.05), može se zaključiti da je razlika u duljini sušenja signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa podataka nisu jednake. Razlika u električnom otporu linija otisnutih novom bojom pri jednostrukom sušenju je veća za čak 1,013mΩ u odnosu na četverostruko sušenu boju.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| (I) Sušenje | (J) Sušenje | Mean razlika (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Interval pouzdanosti za razliku | |
|----------------|----------------|-----------------------|------------|------|--|----------------|
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | 4x | 1,013 | ,028 | ,000 | ,958 | 1,068 |
| 4x | 1x | -1,013 | ,028 | ,000 | -1,068 | -,958 |

Tablica 7 Parna usporedba

Napravljen je F test kako bi se utvrdila signifikantnost svih nezavisnih varijabli tj. obje vrste sušenja na električni otpor otisnutih linija. Razina statističke značajnosti p vrijednosti ukazuje da je razlika u duljini sušenja signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa nisu jednake.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| | Zbroj kvadrata | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|----------|----------------|-----|-------------|----------|------|---------------------|
| Kontrast | 38,507 | 1 | 38,507 | 1320,229 | ,000 | ,902 |
| Greška | 4,200 | 144 | ,029 | | | |

Tablica 8 Univarijantni test

4.3.1.2 Vrsta podloge

Koristeći izmjerene podatke, dobivena je procijenjena vrijednost električnog otpora u ovisnosti o vrsti podloge.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Podloga | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|-------------|-------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | Donja granica | Gornja granica |
| Nepremazani | 3,590 | ,024 | 3,542 | 3,638 |
| Premazani | 4,370 | ,024 | 4,322 | 4,418 |
| Reciklirani | 5,360 | ,024 | 5,312 | 5,408 |

Tablica 9 Procjene iznosa električne otpornosti

Kao i kod vremena sušenja, promatrajući razinu statističke značajnosti p vrijednosti (manja od 0.05), može se zaključiti da je razlika u vrsti podloge signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa podataka nisu jednake.

Električni otpor linija otisnutih novom bojom na nepremazanom papiru u odnosu na premazani papir je manji za 0,780mΩ, a u odnosu na reciklirani papir za 1,770mΩ. Električni otpor otisnutih linija na premazanom papiru je u odnosu na reciklirani papir manji za 0,990mΩ.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| (I) Podloga | (J) Podloga | Mean razlika (I-J) | Std. Error | Sig. ^a | 95% Interval pouzdanosti za razliku | |
|-------------|-------------|---------------------|------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| Nepremazani | Premazani | -,780 [*] | ,034 | ,000 | -,848 | -,712 |
| | Reciklirani | -1,770 [*] | ,034 | ,000 | -1,838 | -1,702 |
| Premazani | Nepremazani | ,780 [*] | ,034 | ,000 | ,712 | ,848 |
| | Reciklirani | -,990 [*] | ,034 | ,000 | -1,058 | -,922 |
| Reciklirani | Nepremazani | 1,770 [*] | ,034 | ,000 | 1,702 | 1,838 |
| | Premazani | ,990 [*] | ,034 | ,000 | ,922 | 1,058 |

Tablica 10 Parna usporedba

Napravljen je F test kako bi se utvrdila signifikantnost svih nezavisnih varijabli tj. sve tri vrste podloge na električni otpor otisnutih linija. Razina statističke značajnosti p vrijednosti ukazuje da je razlika u vrstama podloge signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa nisu jednake

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| | Zbroj kvadrata | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|----------|----------------|-----|-------------|----------|------|---------------------|
| Kontrast | 78,690 | 2 | 39,345 | 1348,971 | ,000 | ,949 |
| Greška | 4,200 | 144 | ,029 | | | |

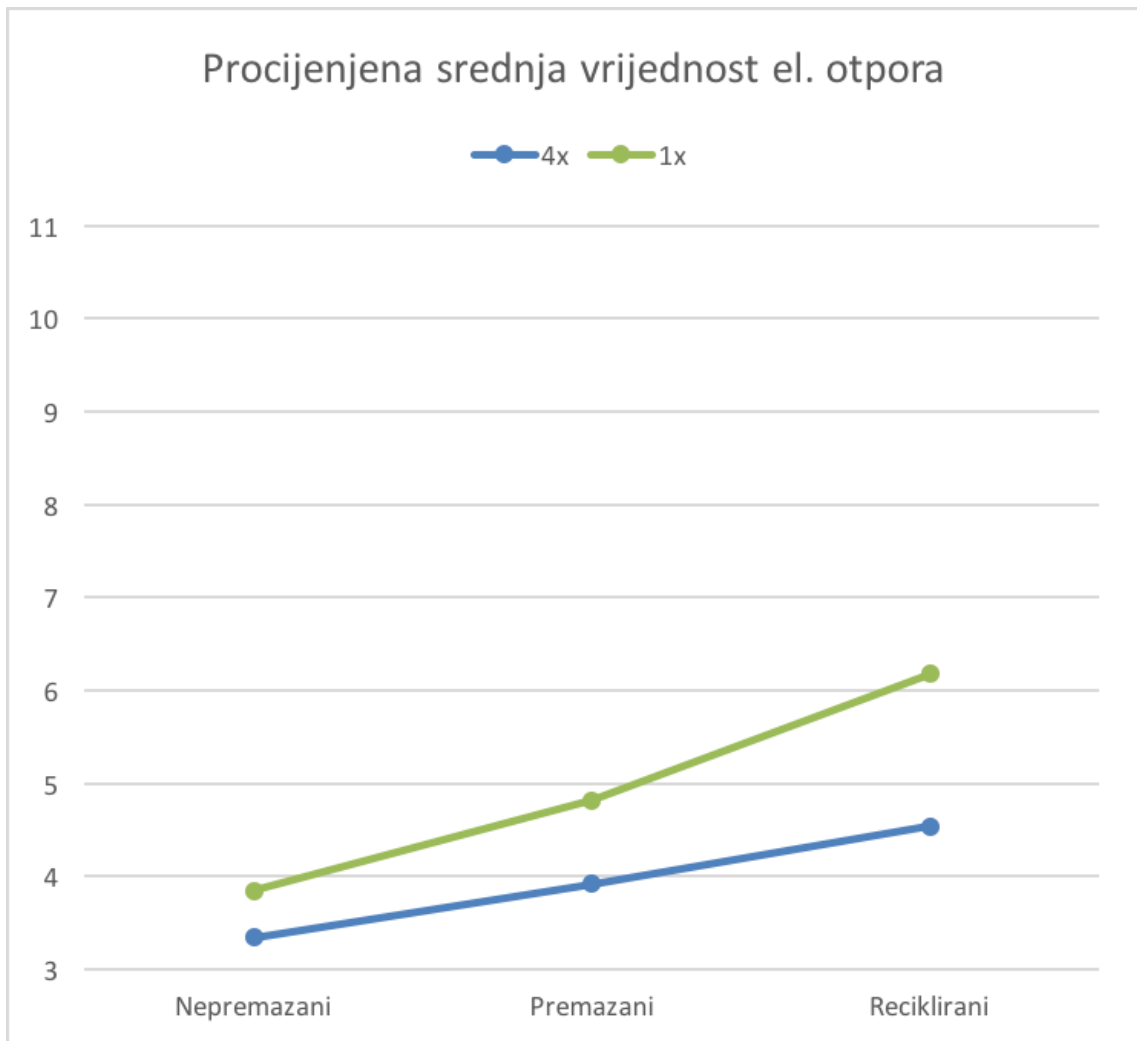
Tablica 11 Univarijantni test

Konačno, napravljena je procjena vrijednosti električnog otpora otisnutih linija, u ovisnosti o broju sušenja i vrsti podloge.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Podloga | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|---------|-------------|-------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | Nepremazani | 3,840 | ,034 | 3,772 | 3,908 |
| | Premazani | 4,820 | ,034 | 4,752 | 4,888 |
| | Reciklirani | 6,180 | ,034 | 6,112 | 6,248 |
| 4x | Nepremazani | 3,340 | ,034 | 3,272 | 3,408 |
| | Premazani | 3,920 | ,034 | 3,852 | 3,988 |
| | Reciklirani | 4,540 | ,034 | 4,472 | 4,608 |

Tablica 12 Broj sušenja * Vrsta podloge



Slika 8 Procijenjena srednja vrijednost električnog otpora

4.3.2 Stara boja

4.3.2.1 Vrijeme sušenja

Koristeći izmjerene podatke, dobivena je procijenjena vrijednost električnog otpora u ovisnosti o vremenu sušenja.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|---------|-------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | 7,245 | ,027 | 7,192 | 7,299 |
| 4x | 4,979 | ,027 | 4,925 | 5,032 |

Tablica 13 Procjene iznosa električne otpornosti

U idućem koraku se radila parna usporedba vrijednosti između vrijednosti električnog otpora pri jednom sušenju i pri četiri sušenja. Promatrajući razinu statističke značajnosti p vrijednosti (manja od 0.05), može se zaključiti da je razlika u duljini sušenja signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa podataka nisu jednake. Razlika u električnom otporu linija otisnutih starom bojom pri jednostrukom sušenju je veća za čak 2,267mΩ u odnosu na četverostruko sušenu boju.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| (I) Sušenje | (J) Sušenje | Mean razlika (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Interval pouzdanosti za razliku | |
|----------------|----------------|-----------------------|------------|------|--|----------------|
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | 4x | 2,267 [*] | ,038 | ,000 | 2,191 | 2,342 |
| 4x | 1x | -2,267 [*] | ,038 | ,000 | -2,342 | -2,191 |

Tablica 14 Parna usporedba

Napravljen je F test kako bi se utvrdila signifikantnost svih nezavisnih varijabli tj. obje vrste sušenja na električni otpor otisnutih linija. Razina statističke značajnosti p vrijednosti ukazuje da je razlika u duljini sušenja signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa nisu jednake.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| | Zbroj kvadrata | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|----------|----------------|-----|-------------|----------|------|---------------------|
| Kontrast | 192,667 | 1 | 192,667 | 3550,005 | ,000 | ,961 |
| Greška | 7,815 | 144 | ,054 | | | |

Tablica 15 Univarijantni test

4.3.2.2 Vrsta podloge

Koristeći izmjerene podatke, dobivena je procijenjena vrijednost električnog otpora u ovisnosti o vrsti podloge.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Podloga | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|-------------|-------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | Donja granica | Gornja granica |
| Nepremazani | 3,890 | ,033 | 3,825 | 3,955 |
| Premazani | 6,038 | ,033 | 5,973 | 6,103 |
| Reciklirani | 8,408 | ,033 | 8,343 | 8,473 |

Tablica 16 Procjene iznosa električne otpornosti

Kao i kod vremena sušenja, promatrajući razinu statističke značajnosti p vrijednosti (manja od 0.05), može se zaključiti da je razlika u vrsti podloge signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa podataka nisu jednake.

Električni otpor linija otisnutih starom bojom na nepremazanom papiru u odnosu na premazani papir je manji za 2,148m Ω , a u odnosu na reciklirani papir za 4,518m Ω . Električni otpor otisnutih linija na premazanom papiru je u odnosu na reciklirani papir manji za 2,370m Ω .

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| (I) Podloga | (J) Podloga | Mean razlika (I-J) | Std. Error | Sig. ^a | 95% Interval pouzdanosti za razliku | |
|-------------|-------------|---------------------|------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | | | | Donja granica | Gornja granica |
| Nepremazani | Premazani | -2,148 [*] | ,047 | ,000 | -2,240 | -2,056 |
| | Reciklirani | -4,518 [*] | ,047 | ,000 | -4,610 | -4,426 |
| Premazani | Nepremazani | 2,148 [*] | ,047 | ,000 | 2,056 | 2,240 |
| | Reciklirani | -2,370 [*] | ,047 | ,000 | -2,462 | -2,278 |
| Reciklirani | Nepremazani | 4,518 [*] | ,047 | ,000 | 4,426 | 4,610 |
| | Premazani | 2,370 [*] | ,047 | ,000 | 2,278 | 2,462 |

Tablica 17 Parna usporedba

Napravljen je F test kako bi se utvrdila signifikantnost svih nezavisnih varijabli tj. sve tri vrste podloge na električni otpor otisnutih linija. Razina statističke značajnosti p vrijednosti ukazuje da je razlika u vrstama podloge signifikantna jer srednje vrijednosti promatranih grupa nisu jednake

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| | Zbroj kvadrata | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|----------|----------------|-----|-------------|----------|------|---------------------|
| Kontrast | 510,719 | 2 | 255,359 | 4705,158 | ,000 | ,985 |
| Greška | 7,815 | 144 | ,054 | | | |

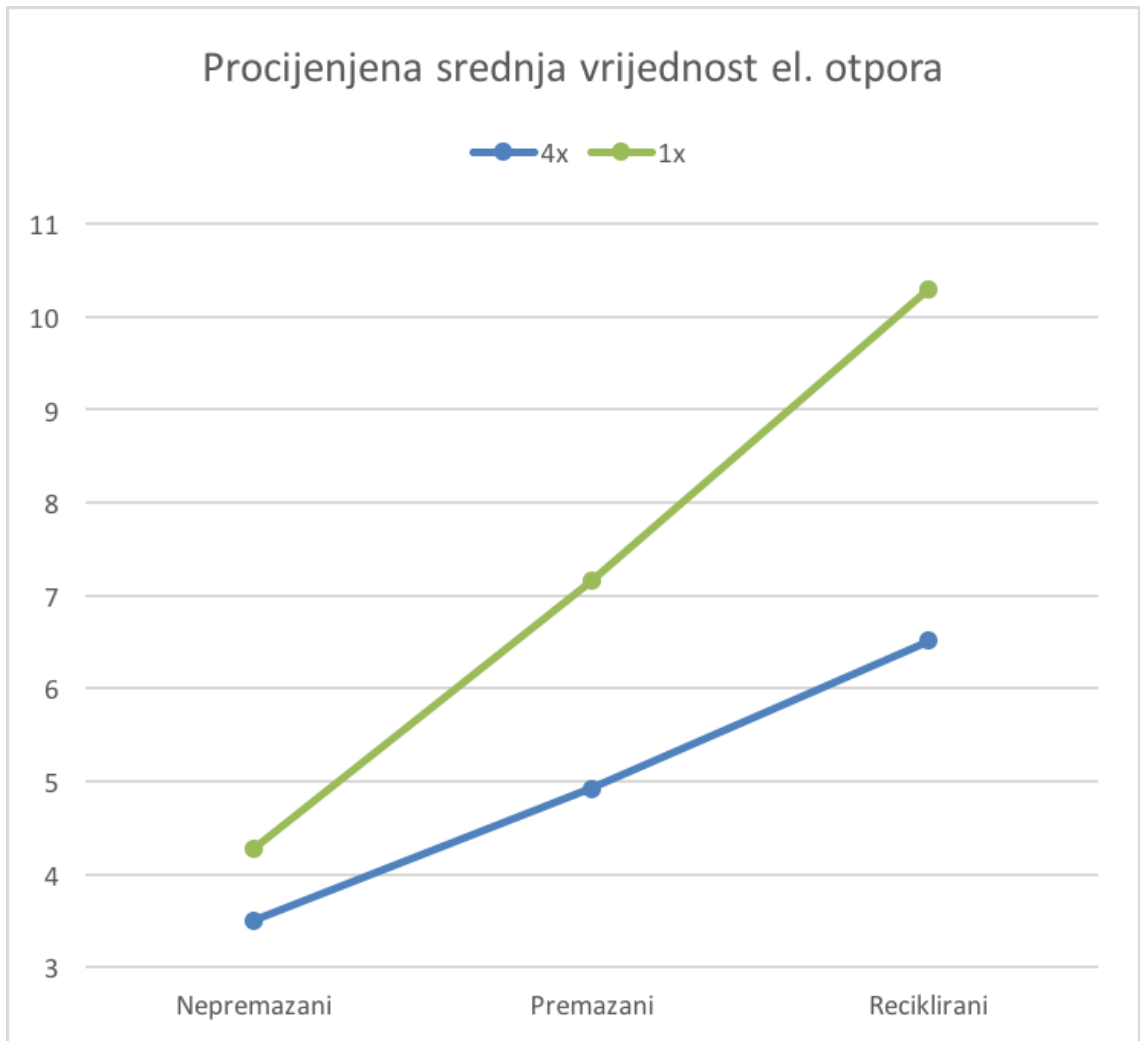
Tablica 18 Univarijantni test

Konačno, napravljena je procjena vrijednosti električnog otpora otisnutih linija, u ovisnosti o broju sušenja i vrsti podloge.

Zavisna varijabla: Električna otpornost

| Sušenje | Podloga | Mean | Std. Error | 95% Interval pouzdanosti | |
|---------|-------------|--------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | | Donja granica | Gornja granica |
| 1x | Nepremazani | 4,280 | ,047 | 4,188 | 4,372 |
| | Premazani | 7,156 | ,047 | 7,064 | 7,248 |
| | Reciklirani | 10,300 | ,047 | 10,208 | 10,392 |
| 4x | Nepremazani | 3,500 | ,047 | 3,408 | 3,592 |
| | Premazani | 4,920 | ,047 | 4,828 | 5,012 |
| | Reciklirani | 6,516 | ,047 | 6,424 | 6,608 |

Tablica 19 Broj sušenja * Vrsta podloge



Slika 9 Procijenjena srednja vrijednost električnog otpora

5 ZAKLJUČAK

Iz deskriptivne analize i analize varijanci možemo zaključiti da postoji signifikantni utjecaj broja sušenja i promjene tiskovne podloge, kao i starosti boje na vrijednost električnog otpora otisnutih linija.

Najoptimalnija svojstva pokazuje nova boja, na nepremazanom papiru, sa četverostrukim sušenjem.

Najveća razlika u električnom otporu je između otisaka na nepremazanom papiru koji je sušen četiri puta i otisaka na recikliranom papiru koji je sušen jednom. Svi statistički pokazatelji signifikantnosti su pokazali da postoji bitna razlika između vrijednosti ovisno o promjeni nekog od parametara. Potrebno je procijeniti da li je promjena otpora za procijenjenu vrijednost dovoljno isplativo ulaganje u povećanje broja IR sušenja, s obzirom da ono po sebi troši znatne količine električne energije te toplinski zagađuje radnu okolinu. Veća razlika prilikom sušenja nastaje kad se koristi starije bojilo, dok kod novijeg bojila nije potrebno povećavati broj IR sušenja, jer je smanjenje otpora zanemarivo.

Očekivano, reciklirani papir je dao najgore rezultate, te je potrebno napraviti analizu koji je optimalni iznos otpora za određenu funkciju elektrovodljive tiskarske boje, te u skladu sa time izabrati papirnatu podlogu koja će biti prikladna. U daljnjim istraživanjima bi se trebalo posvetiti usporedbi papirnate podloge sa ostalim podlogama, kao i na ispitivanje mehaničkih oštećenja otisaka koji bi mogli nastati korištenjem.

6 LITERATURA

- [1] Cui W. et al.; Gold nanoparticle ink suitable for electric-conductive pattern fabrication using ink-jet printing technology; *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 358., No. 1-3; ISSN: 0927-7757; pp: 35 – 41; 2010.
- [2] Lennon A. J. et al.; Forming openings to semiconductor layers of silicon solar cells by inkjet printing; *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 92., No. 11; ISSN: 0927-0248; pp: 1410 – 1415; 2008.
- [3] Lennon A. J.; Ho-Baillie A. W. Y.; Wenham S. R. Direct patterned etching of silicon dioxide and silicon nitride dielectric layers by inkjet printing; *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93., No. 10; ISSN: 0927-0248; pp: 1865 – 1874; 2009.
- [4] Dzik P. et al.; Ink-jet printed planar electrochemical cells; *Applied Catalysis B: Environment, In Press*; ISSN: 0926-3373; pp: xxx – xxx; 2015.
- [5] Sowade E. et al. Inkjet printing of UHF antennas on corrugated cardboards for packaging applications; *Applied Surface Science*, Vol. 332, No. 3; ISSN: 0169-4332 ; pp: 500 – 506.
- [6] Florian C. et al.; Conductive silver ink printing through the laser-induced forward transfer technique; *Applied Surface Science*, Vol. 336, No. 5; ISSN: 0169-4332 ; pp: 304 – 308.
- [7] Triambulo R. E., Cheong H. G., Park J. W., All-solution-processed foldable transparent electrodes of Ag nanowire mesh and metal matrix films for flexible electronics, *Organic Coatings*, Vol. 15(2014), pp. 2685-2695.
- [8] Xie L. et al., Electrical performance and reliability evaluation of inkjet-printed Ag interconnections on paper substrates, *Materials Letters*, Vol. 88(2012), pp. 68-72.
- [9] Morrin A. et al., The fabrication and characterization of inkjet-printed polyaniline nanoparticle films, *Electrochimica Acta*, Vol. 53(2008), pp. 5092-5099.

- [10] Denneulin A. et al., Substrate pre-treatment of flexible material for printed electronics with carbon nanotube based ink, *Applied Surface Science*, Vol. 257(2011), pp. 3645-3651.
- [11] Chen W. D. et al., Fabrication of high-resolution conductive line via inkjet printing of nanopalladium catalyst onto PET substrate, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 205(2011), pp. 4750-4756.
- [12] Yan-Long T., Zhen-Guo Y., Zhi-Dong L., A promising approach to conductive patterns with high efficiency for flexible electronics, *Applied Surface Science*, Vol. 257(2011), pp. 7096-7100.
- [13] Li C. M. et al., Electrochemical thin film deposition of polypyrrole on different substrates, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 198(2005), pp. 474-477.
- [14] Kosmala A. et al., Development of high concentrated aqueous silver nanofluid and inkjet printing on ceramic substrates, *Material Chemistry and Physics*, Vol. 132(2012), pp. 788-795.
- [15] Öhlund T. et al., Paper surfaces for metal nanoparticle inkjet printing, *Applied Surface Science*, Vol. 259(2012), pp. 731-739.
- [16] Chang J. et al., Catalyst-free growth of pyramidal zinc sulfide nanostructure arrays on single walled carbon nanotubes, *Material Letters*, Vol. 65(2011), pp. 801-803.
- [17] Das A. et al., Superoleophobic and conductive carbon nanofiber/fluoropolymer composite films, *Carbon*, Vol. 50(2012), pp. 1346-1354.
- [18] Denneulin A. et al., PEDOT:PSS coating on specialty papers: Process optimization and effects of surface properties on electrical performances, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 63(2008), pp. 87-91
- [19] Gojo M., Mahović S. (2013.) *Osnove tiskovnih formi*, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
- [20] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a8/Silketrykk.svg/828px-Silketrykk.svg.png>
- [21] doc. dr. sc. Sonja Jamnicki, Nastavni materijali iz kolegija Tiskarske boje, *Boje za duboki tisak, boje za sitotisak*

[22] <http://www.tekra.com/products/conductive-inks>

[23] doc. dr. sc. Sonja Jamnicki, Nastavni materijali iz kolegija Tiskarske boje, *Sušenje tiskarskih boja*

[24] Prof. dr. sc. Branka Lozo, Nastavni materijali iz kolegija Papir, *Osnovni sastojci za izradu papira*