

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Ivana Njirić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ PROMJENE NAPONA NA UZORKE OTISNUTE
PRINCIPOM ELEKTROFOTOGRAFIJE

Mentor:
Izv. prof. dr. sc. Vesna Džimbeg-Malčić

Student:
Ivana Njirić

Zagreb, 2016

Rješenje o odobrenju teme završnog rada

SAŽETAK:

Elektrofotografija je danas najprimjenjeniji proces NIP (*Non Impact Printing*) tehnike otiskivanja, koristi se u postupcima dobivanja probnih otisaka te u jednobojnim i višebojnim digitalnim tiskarskim strojevima. Osnovni princip elektrografije temelji se na fizikalnom fotoelektričnom efektu, koji se događa uslijed osvjetljavanja poluvodičkih ploča, prilikom čega dolazi do stvaranja kontroliranog električnog potencijala na vodljivoj površini te emisije iona iz metalnih rešetaka.

U radu su objašnjena temeljna načela rada elektrografije, s naglaskom na istraživanje utjecaja promjene naboja, odnosno promjene kontroliranog elektrostatskog potencijala, na površini povratnih valjaka (od 0V do -250V). Ispitivanje se vrši na specijalnoj tiskovnoj podlozi za elektrografiju (Splendogel), gramature 160 g/m². Kolorimetrijskim i spektrofotometrijskim mjerenjima a*b* vrijednosti, gustoće obojenja i refleksijskih spektara na otisnutim podlogama praćena je ovisnost kvalitete otisaka o promjeni napona. Konačni rezultati su prikazani u trodimenzionalnom obliku (prostorni gamut reprodukcija) i u dvodimenzionalnom obliku (krivulje reprodukcije, ΔE CIE Lab).

Ključne riječi:

Elektrofotografija, digitalni tisak, fotoelektrični efekt, promjena napona

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO | 2 |
| 2.1. Povijesni pregled elektrofotografije | 2 |
| 2.2. Fotoelektrični efekt | 3 |
| 2.3. Osnovni princip elektrofotografije..... | 8 |
| 2.3.1. Nabijanje fotokonduktora u elektrofotografiji | 10 |
| 2.3.1.1. Pozitivsko nabijanje | 15 |
| 2.3.1.2. Negativsko nabijanje..... | 15 |
| 2.3.1.3. Kombinirano nabijanje | 15 |
| 2.3.2 Osvjetljavanje fotokonduktora | 16 |
| 2.3.3.Obojavanje (razvijanje) tiskovne forme..... | 16 |
| 2.3.4. Transfer tonera | 18 |
| 2.3.5 Fiksiranje tonera | 18 |
| 2.3.6. Čišćenje fotokonduktora u elektrofotografiji | 19 |
| 3. PRAKTIČNI DIO | 20 |
| 3.1. Plan rada i metode mjerenja | 20 |
| 3.2. Korišteni strojevi i uređaji | 21 |
| 3.2.1. HP Indigo TurboStream | 21 |
| 3.2.2. X-Rite SwatchBook | 23 |
| 3.2.3. X-rite DTP 41..... | 24 |
| 3.3. Korišteni materijali | 25 |
| 4. REZULTATI I ANALIZA | 26 |
| 5. ZAKLJUČAK | 29 |
| 6. LITERATURA | 30 |

1. UVOD

Digitalni tisak je današnja realnost, najviše zbog informacija koje su pohranjene u digitalnom obliku te se mogu lako modificirati i ponovo otiskivati. Razvija se u dva smjera: „Computer to Press“ i „Computer to Print“ tehnologiju. „Computer to Press“ tehnologiju karakterizira izrada standardne tiskovne forme u samom tiskarskom stroju, nakon čega slijedi otiskivanje uvijek istog motiva, dok je „Computer to Print“ tehnologija bazirana na latentnoj tiskovnoj formi koja se poslije svakog otiskivanja ponovo izrađuje. „Computer to Print“ tehnologije karakterizira i vrlo mala sila pritiska u zoni dodira tiskovne podloge i tiskovne forme te takve tehnike otiskivanja nazivamo i NIP (Non Impact Printing) tehnike otiskivanja. U NIP tehnike tiska ubrajaju se elektrofotografija, ionografija, magnetofotografija, Ink Jet, termografija, elektrografija, fotografija i „X“ grafija. Najprimjenjeniji proces NIP (Non Impact Printing) tehnike otiskivanja u današnje vrijeme je elektrofotografija. Osnovni princip elektrofotografije temelji se na fizikalnom fotoelektričnom efektu, koji se događa uslijed osvjjetljavanja poluvodičkih ploča, prilikom čega dolazi do stvaranja kontroliranog električnog potencijala na fotokonduktorskoj površini te emisije iona iz metalnih rešetaka. Fotoelektrični efekt imao je važnu ulogu u razvoju suvremene fizike i dokazivanje kvantne prirode svjetlosti.

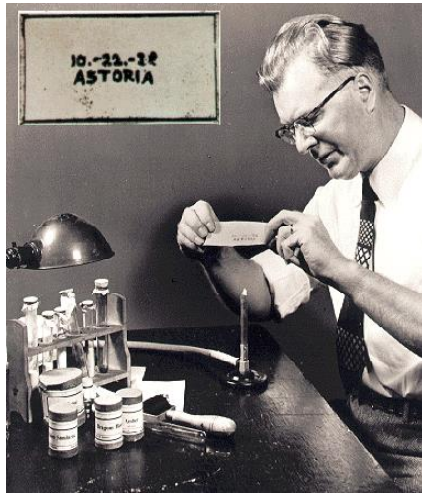
Cilj rada je objasniti temeljna načela rada elektrofotografije, s naglaskom na istraživanje utjecaja nabijanja, odnosno promjene kontroliranog elektrostatskog potencijala na površini fotovodljivog materijala i spektrofotometrijskim mjerenjima $a \cdot b$ vrijednosti, gustoće obojenja i refleksijskih spektara na otisnutim podlogama pratiti ovisnost kvalitete otiska o promjeni napona.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijesni pregled elektrofotografije

Fotonaponski efekt otkrio je 1839. godine Edmond Becquerel (1820.-1891.). Opisao ga je kao proizvodnju električne struje kada se dvije ploče platine ili zlata urone u kiselu, neutralnu ili lužnatu otopinu te izlože sunčevu zračenju. Edmond Becquerel je 1868. godine objavio važan rad pod naslovom "Svjetlost, njezino porijeklo i njezini efekti". Njegovo otkriće u to doba nije pobudilo preveliki interes, ali nije bilo zaboravljeno sve do današnjih dana. Ustanovljena je nagrada koja nosi njegovo ime i dodjeljuje se jedanput godišnje za najistaknutiji doprinos razvoju fotonaponske pretvorbe sunčeve energije. Njegov sin Henry bio je nuklearni fizičar, prvi je francuski nobelovac i njemu u čast nazvana je SI-izvedena jedinica aktivnosti radioaktivne tvari becquerel (Bq).

Kao prvi poznati događaj elektrofotografskog otiska navodi se događaj u hotelu Astoria u Queensu 22. listopada 1938. godine kad su Chester Charlson i Otto Kornei, nakon višegodišnjeg istraživanja, postigli otisak sa suhim (praškastim) bojilom. U eksperimentu je korištena mikroskopska staklena pločica na kojoj je bilo napisano "10.-22.- 38 ASTORIA", odnosno datum eksperimenta (*Slika 1.*). Za formiranje buduće tiskovne forme upotrijebljena je cinkova ploča premazana sa sumporom, koja se u zamračenoj prostoriji trljala pamučnom maramicom. Tako je postignut jednoličan površinski elektrostatički naboj. [1]



*Slika 1. Charlsonov ekperiment i ispis na staklenoj pločici "10.-22.- 38 ASTORIA"
(Izvor : http://www.rochester.edu/pr/Review/V76N1/0403_carlson.html)*

Tek je 1949. godine tvrtka Harold (današnji Xerox) otkupio izvorni patent i nastavio istraživanje na elektrofotografskom suhom otiskivanju. Rezultat istraživanja je prvi automatizirani kopirni elektrofotografski stroj (Xerox 914) predstavljen 1959. godine. Upravo ta platforma je temelj svih današnjih fotokopirnih strojeva. Prvi patentirani višebojni elektrofotografski stroj proizvodi tvrtka Cannon 1973. godine. Primjena elektrofotografskoga digitalnog tiska u grafičkoj industriji počela je 1995. godine. Tvrtke Indigo (današnji HP), Xeikon, Xerox, OCE i Kodak su predvodnici u proizvodnji digitalnih tiskarskih strojeva..

2.2. Fotoelektrični efekt

Princip elektrofotografije zasniva se na fotoelektričnom efektu. Fotoelektričnim efektom je nazvana pojava koja nastaje osvijetljivanjem metala, odnosno kada svjetlost određene valne duljine padne na površinu metalne ploče (npr. cinka ili natrija) uslijed koje dolazi do emisije elektrona iz metalnih rešetaka (*Slika 2.*). Zračenje pobuđenih elektrona prikazujemo valom. Svjetlost manje energije ima manju frekvenciju i veću valnu duljinu, dok svjetlost više energije ima veću frekvenciju i manju valnu duljinu.

Kod fotoelektričnog efekta razlikujemo pojave kada se zračenjem nekog metala povećava broj elektrona koji probijaju potencijalnu barijeru i izlijeću iz površine metala (vanjski fotoelektrični efekt) i kada se zračenjem oslobađaju elektroni iz valentne vrpce i prelaze u vodljivu vrpcu čime se povećava električna vodljivost (unutrašnji fotoelektrični efekt). Vanjski fotoelektrični efekt odnosno pojavu izbijanja elektrona iz metala pod djelovanjem elektromagnetskog zračenja otkrio je, ali ne i objasnio, Heinrich Rudolf Hertz, 1887. godine prilikom izvođenja pokusa za dokazivanje postojanja elektromagnetskih valova. 1899. godine J. J. Thompson i P. Lenard pokusima na vakuumskim cijevima dokazali su da se pri fotoefektu izbacuju negativno nabijene čestice- elektroni. Fotoelektrični efekt u potpunosti je objasnio Albert Einstein 1905. primjenom Planckove hipoteze o kvantima energije. Preko pojave fotoelektričnog efekta dokazao je da svjetlost uz valna posjeduje i čestična svojstva odnosno dualnu prirodu svjetlosti. 1921. godine dobio je Nobelovu nagradu iz fizike. Bazirao se na ideji Maxa Plancka po kojoj atom može primiti i predati energiju samo u određenim iznosima- kvantima.

Energija jednog kvanta svjetlosti (fotona) izražava se jednadžbom:

$$E_f = h\nu = h \cdot c_o / \lambda \quad (1)$$

gdje je: E_f - energija fotona (eV), h – Planckova konstanta ($6,625 \times 10^{-34}$ Js), ν – frekvencija promatranog elektromagnetskog zračenja (Hz=1/s), c_o – brzina svjetlosti (3×10^8 m/s) a λ – valna duljina (μm).

Elektronvolt (eV) je mjerna jedinica za energiju, korištena u atomskoj i molekularnoj fizici. Definirana je kao kinetička energija E_{kin} koju primi elektron kada je ubrzan električnim poljem kroz potencijalnu razliku od 1V (volt) u vakuumu. Po tome 1V (1džul/kulon) pomnožen s elementarnim nabojem (1 e ili $1,60217653 \times 10^{-19}$ C) daje 1 eV ili $1,60217653 \times 10^{-19}$ J odnosno $1 \text{ eV} = 1,60217653 \times 10^{-19} \text{ J}$. [2]

Kombinacijom Planckove hipoteze i činjenice da su nositelji naboja u metalu negativno nabijeni elektroni, Albert Einstein pretpostavlja da je za oslobađanje elektrona iz metala potrebna minimalna energija za izbacivanje elektrona s površine koja je identična za sve elektrone. Naziva je izlaznim radom W_{izl} i ovisi o vrsti korištenog metala. Tom pretpostavkom u potpunosti je objašnjen fotoelektrični efekt.

Ovisnost najveće moguće kinetičke energije elektrona E_{kin} o frekvenciji upadne svjetlosti ν daje Einsteinova jednadžba:

$$E_{kin} = h(\nu - \nu_{gr}) = h\nu - W_{izl} \quad (2)$$

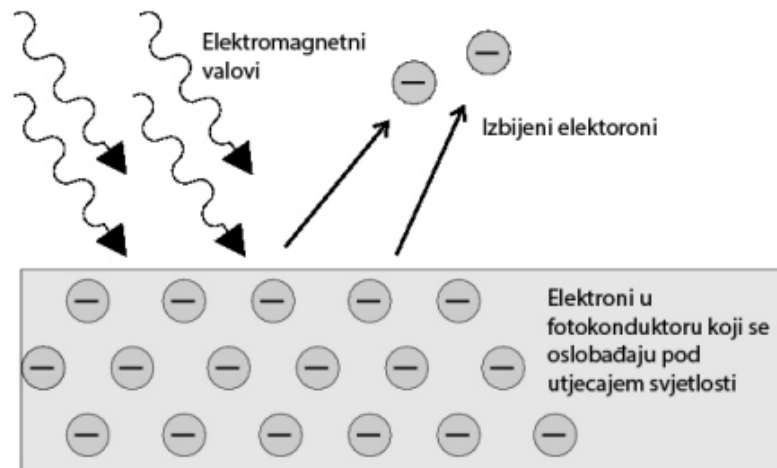
gdje je E_{kin} kinetička energija (eV), h Planckova konstanta, ν_{gr} granična frekvencija ovisna o materijalu, ν – frekvencija ulazne svjetlosti, a W_{izl} izlazni rad (J).

Budući da kinetička energija elektrona mora biti pozitivna, to znači da i frekvencija ulazne svjetlosti ν , mora biti veća od granične frekvencije ν_{gr} , da bi se fotoefekt uopće pojavio. Ukoliko je energija jednog kvanta svjetlosti (fotona) manja od izlaznog rada W_{izl} do fotoelektričnog efekta ne dolazi. Energija fotona E_f nije dovoljno velika da bi raskinula vezu između elektrona i metalne rešetke. Svjetlosno zračenje čija je frekvencija ν , nedovoljno velika, bez obzira na njen intenzitet I , ne može izazvati fotoelektrični efekt te niti jedan foton nema dovoljnu energiju za izbacivanje elektrona iz metala. [3]

Einstein je objasnio fotoelektrični efekt 1905. korpuskularnom teorijom svjetlosti, kvantizirajući elektromagnetsko polje, a Millikan je 1914. eksperimentalno pokazao da postoji granična frekvencija ν_{gr} , ispod koje nema fotoefekta i na taj način potvrdio Einsteinovu teoriju. [4]

Pri fotoelektričnom efektu uočeno je da porast intenziteta svjetlosti I , uzrokuje porast broja fotoelektrona, ali ne i porast njihove maksimalne kinetičke energije $E_{kin\ max}$. Također uočeno je da crvena svjetlost ne uzrokuje izbacivanje elektrona, bez obzira na intenzitet I . Promatrajući plavo svjetlo slabog intenziteta uočeno je da će izbaciti samo nekoliko elektrona, ali će njihova maksimalna kinetička energija $E_{kin\ max\ plave}$ biti veća od maksimalne kinetičke energije $E_{kin\ max\ crvene}$ elektrona izbačenih pod utjecajem crvene

svjetlosti velikog intenziteta I . Te karakteristike fotoelektričnog efekta bile su u kontradikciji s očekivanjima klasične fizike. [4]

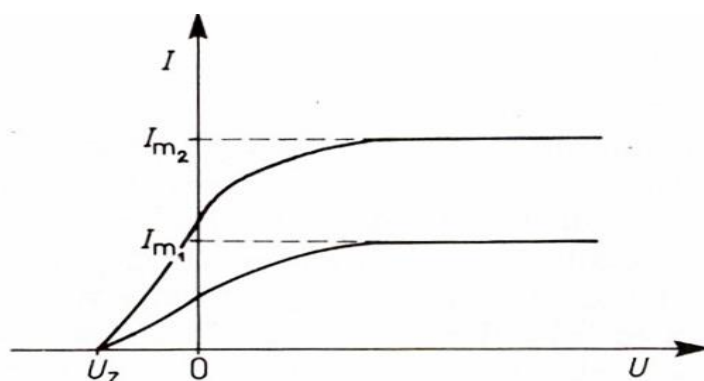


Slika 2. Prikaz fotoelektričnog efekta (Izvor:

http://cnx.org/resources/6e68e387e8b09aea98118d6db0ea846a47e590ea/Photoelectric_effect.png)

Elektroni izbačeni s metalne površine mjere se kao električna struja. Millikan je prvi pokazao da napon zaustavljanja U_z , odnosno maksimalna kinetička energija $E_{kin\ max}$ ovisi samo o frekvenciji svjetlosti ν .

U - I karakteristika (Slika 3.) je krivulja koja pokazuje ovisnost fotostruje o naponu U za konstantnu frekvenciju ($\nu = konst.$), ali za različiti intenzitet izvora I_m elektromagnetnog zračenja koji uzrokuje fotoefekt. [4]



Slika 3. U - I karakteristika (Izvor : 4. Predavanje; Fotoelektrični efekt, izv.prof.dr.sc. Vesna Džimbeg-Malčić)

Što je intenzitet svjetlosti I veći, veći je broj emitiranih elektrona, pa je i fotostruja veća. Smanjivanjem napona U smanjuje se i fotostruja. Kada napon U_0 padne na nulu fotostruja ne iščezne, što znači da fotoelektroni i dalje izlaze iz katode. Ako se na anodu priključi negativan napon U , struja se smanjuje i pada na vrijednost nula pri tzv. naponu zaustavljanja U_z . Mjereći napon zaustavljanja određujemo maksimalnu brzinu v_{max} i kinetičku energiju E_{kin} fotoelektrona:

$$mv_{max}^2/2 = eU_z \quad (3)$$

$$E_{kin} = eU_z \quad (4)$$

gdje je: m - masa elektrona (kg) , v_{max} - maksimalna brzina emitiranih elektrona (m/s) , e - naboj elektrona ($1,602 \times 10^{-19}$ C) a U_z - napon zaustavljanja (V).

Analiza podataka dobivenih fotoelektričnim efektom pokazala je da je energija E izbačenih elektrona proporcionalna s frekvencijom upadne svjetlosti ν . Činjenica da je izbacivanje elektrona iz materijala neovisno o intenzitetu izvora I elektromagnetskog zračenja, ukazuje na to da se radi o interakciji dviju čestica. Jedna čestica (foton) predaje svu svoju energiju drugoj čestici (elektronu). To se dobro uklapalo s Planckovom pretpostavkom o diskretnoj vrijednosti energije.

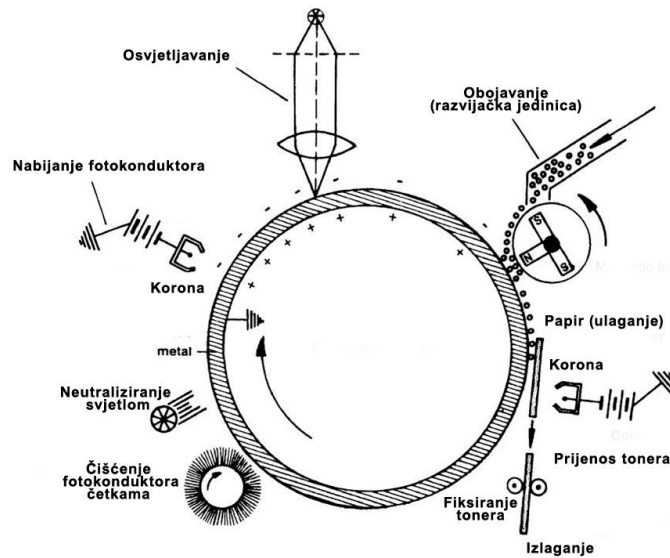
Kinetička energija E_{kin} elektrona ne ovisi o intenzitetu svjetlosti I osvijetljenog metala. Bez obzira na broj fotona, elektron prima energiju samo od jednog fotona. Napon U_z , potreban za zaustavljanje oslobođenog elektrona, nije ovisan o intenzitetu svjetlosti I , već o valnoj duljini λ , energiji fotona E_f i vrsti osvijetljenog materijala.

2.3. Osnovni princip elektrofotografije

Elektrofotografija spada u „Computer to Print“ tehnologije otiskivanja koja ne koristi klasičnu tiskovnu formu već virtualnu i promjenjivu.

Pod utjecajem jačeg intenziteta svjetlosne energije električki ne vodljivi ili slabo vodljivi kristali mijenjaju svoju kristalnu strukturu pri čemu se povećava električna provodljivost. Osnovni princip elektrofotografije temelji se na fizikalnoj pojavi unutarnjeg fotoelektričnog efekta koji je karakterističan za takve kristale. Kristali nanoseni na metalnu podlogu cilindričnog oblika predstavljaju fotoreceptorski bubanj, kao što je prikazano na *Slici 4*.

Proces otiskivanja u elektrofotografiji provodi se u šest osnovnih faza: nabijanje fotokonduktora, osvijetljavanje fotokonduktora, obojenje (razvijanje) tiskovne forme, transfer tonera s fotokonduktora na tiskovnu podlogu, fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi i čišćenje fotokonduktora od ostatka tonera.

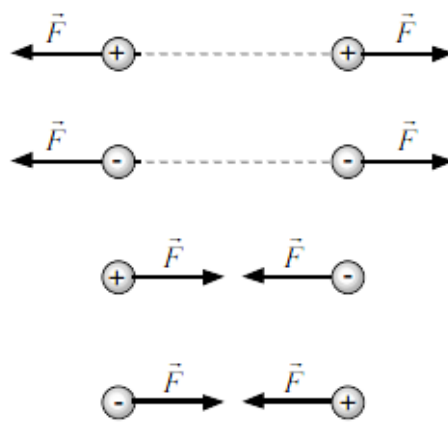


Slika 4. Osnovni princip elektrofotografije (Izvor: <http://what-when-how.com/electronic-properties-of-materials/electrical-properties-of-polymers-ceramics-dielectrics-and-amorphous-materials-part-2/>)

Prva faza procesa otiskivanja je jednolično nabijanje površine fotokonduktora. Takvo nabijanje može biti pozitivno (pomoću korotrona) ili negativno (pomoću skorotrona). Samim time određuje se da li se radi o direktnoj ili indirektnoj elektrofotografiji. Nakon toga, pomoću kontroliranog svjetlosnog izvora (lasera ili LED diode), selektivno osvjetljavamo površinu fotokonduktorskog bubnja definiranom svijetlošću. Dolazi do izbijanja nosioca električnog naboja te takva površina poprima niži potencijal (najčešće nula). Potom slijedi razvijanje, proces nanošenja i prihvatanja tonera na tiskovne elemente, te tiskovna forma postaje vidljiva. Toneri su specijalna bojila koja se koriste za elektrofotografski tisak, u većini slučajeva se koriste dvokomponentni toneri u praškastom obliku. Prihvaćaju za pozitivnije dijelove temeljnog cilindra jer su uglavnom negativnog elektropotencijala.. Transferna korona pomaže pri prijenosu tonera s tiskovne forme na tiskovnu podlogu, ona svojim elektrostatskim silama privlači čestice tonera. Tako dobiven otisak je nestabilan a praškasti toner se lako uklanja. Dovođenjem otiska u kontakt s vrućim valjcima provodi se fiksiranje tonera. Pritom se toner tali, prihvaća za papir i skrućuje. Debljina tonerskog sloja formiranog na tiskovnoj podlozi kreće se između 5 i 10 μm . Nakon izvršenog otiskivanja temeljni cilindar se mehanički i elektrostatski čisti, čime se izvršava priprema za slijedeći ciklus otiskivanja.

2.3.1. Nabijanje fotokonduktora u elektrofotografiji

Kao rezultat trenja javlja se električna interakcija tj. električna sila koja može nadvladati silu gravitacije. Za razliku od sile gravitacije koja je uvijek privlačna, rezultat električne interakcije naelektriziranih tijela može biti privlačna ili odbojna sila F (Slika 5.). Eksperimentalno je utvrđeno da je rezultat interakcije dvaju tijela s istom vrstom elektriziranja (oba pozitivna ili oba negativna) odbojna sila F , dok je rezultat interakcije dvaju tijela s različitom vrstom elektriziranja (jedno tijelo pozitivno, a drugo negativno) privlačna sila F .



Slika 5. Sile kao rezultat interakcije nabijenih tijela

(Izvor: http://www.oss.unist.hr/studiji/it/materijali/II_Dio_ELEKTROSTATIKA.pdf)

Kod opisivanja međudjelovanja u gravitacijskom polju svakom tijelu pridružuje se odgovarajuća masa. Tako i vrstu elektriziranja nekog tijela, pozitivnu ili negativnu, opisujemo pridruživanjem pripadne "električne mase", koju nazivamo električni naboj ili jednostavnije naboj. [5]

Električni naboj je kvantiziran, što znači da je objekt uvijek nabijen cjelobrojnim višekratnikom naboja elektrona :

$$Q = Ne \quad (5)$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (6)$$

Svaki komad materije ili bilo koji njen dio karakteriziraju dva nezavisna, ali fundamentalna svojstva: mase m i naboja. Naboj se označava sa: Q - statički naboj (naboj u stanju mirovanja) i q - dinamički naboj (naboj u stanju gibanja). Jedinica električnog naboja 1C (Kulon) izražena preko temeljnih jedinica SI sustava: $1C=1As$. Razlog pozitivnog ili negativnog elektriziranja nekog tijela je pozitivni ili negativni naboj Q raspoređen po površini ili obujmu toga tijela. Tijelo koje ima jednaku množinu pozitivnog i negativnog naboja naziva se neutralnim tijelom. Za pojednostavljivanje analize odnosa među nabojima uvodi se pojam točkastog naboja. Točkasti naboji su nabijena sitna tijela (kuglice) kojima se dimenzije mogu zanemariti i za koje se može smatrati da je sav naboj Q koncentriran u jednoj točki. U svim procesima u prirodi ukupni naboj Q izoliranog sustava ostaje konstantan, nepromijenjen, za bilo koji proces koji se zbiva unutar izoliranog sustava. Međudjelovanja električnih naboja u stanju mirovanja razlikuju se u odnosu na slučajeve kada se gibaju. Područje koje proučava međudjelovanje električnih naboja u mirovanju je Elektrostatika.

Elektrostatika se temelji na eksperimentalno utvrđenom inverznom kvadratnom zakonu francuskog fizičara Charles Augustin de Coulomba 1785. god. Koristio je poseban uređaj, tzv. torzijsku vagu. Kasnije je uporabom sličnog uređaja Cavendish odredio gravitacijsku konstantu g .

Coulomb je vršio pokuse s nabijenim tijelima, mijenjajući količinu naboja Q_1 i Q_2 na njima i postavljajući ih na različite međusobne udaljenosti r . Došao je do konačnog oblika Coulomb-ovog zakona za elektrostatiku čija je definicija: Elektrostatička sila F_e između dvaju nabijenih tijela (čestica) proporcionalna je umnošku njihovih naboja Q_1 i Q_2 , a obrnuto je proporcionalna kvadratu udaljenosti r^2 među njima.

$$F_e = K * (Q_1 * Q_2) / r^2 \quad (7)$$

gdje je: F_e - elektrostatička sila nabijenih tijela (čestica) (N), K -konstanta proporcionalnosti iznosa (Nm^2/C^2), Q_1 i Q_2 -naboji (C) a r^2 -udaljenost nabijenih čestica (m).

$$K \approx 9 \times 10^9 (Nm^2/C^2) \quad (8)$$

Sila F je odbojna za naboje istog predznaka, a privlačna za naboje suprotnog predznaka, kako je to već prikazano na Slici 5. Za elektrostatičku silu rabi se i naziv Coulombova sila F_{columb} , a slična je po obliku izrazu za gravitacijsku silu F_g , Coulombova sila je, kao i svaka sila, vektorska veličina koja osim apsolutnog iznosa ima i odgovarajući pravac i smjer djelovanja. Pravac djelovanja sile je uzduž spojnice naboja, a smjer ovisi o polaritetu naboja.

Matematički izražen Coulombov zakon glasi:

$$F_{columb.} = K * (Q_1 Q_2) / r^2 * r_0 \quad (9)$$

gdje je: F_{columb} - Coulombova sila (N), K -konstanta proporcionalnosti iznosa (Nm^2/C^2), Q_1 i Q_2 -naboji (C), r^2 -udaljenost nabijenih čestica (m) a r_0 -jedinični vektor (ort).

Za praktične proračune prikladnije je konstantu K prikazati u obliku:

$$K = 1/4\pi\epsilon_0 \quad (10)$$

gdje je ϵ_0 - dielektrična konstanta vakuuma koja predstavlja propustljivost (permitivnost) vakuuma. Iznos joj je:

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ (C}^2/\text{Nm}^2 = \text{As/Vm)} \quad (11)$$

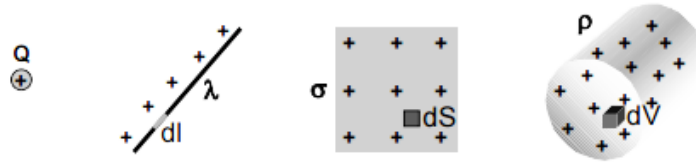
Coulombov zakon možemo tada pisati u obliku:

$$F_{columb.} = 1/4\pi\epsilon_0 * (Q_1 * Q_2) / r^2 * r_0 \quad (12)$$

Ako se naboji ne nalaze u zraku (vakuumu) nego u nekoj materijalnoj sredini potrebno je uvesti apsolutnu dielektričnu konstantu ϵ koja je umnožak relativne ϵ_r i dielektrične konstante vakuuma:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (13)$$

Naboj može biti raspoređen uzduž crte, na površini ili unutar obujma neke nabijene krivulje, plohe odnosno tijela (Slika 6.). Obzirom na raspodjelu u prostoru ona može biti: linijska gustoća naboja λ , plošna gustoća naboja σ i prostorna gustoća naboja ρ .



Slika 6. Primjer različitih raspodjela naboja (Izvor:

http://www.oss.unist.hr/studiji/it/materijali/II_Dio_ELEKTROSTATIKA.pdf)

Ako odabrani diferencijalno mali element obujma dV ($dV \rightarrow 0$) sadrži količinu naboja dQ , prostorna gustoća naboja ρ definirana je sa:

$$\rho = dQ / dV \text{ (As/m}^3\text{)} \quad (14)$$

Ukupni naboj dobije se zbrajanjem svih doprinosa dQ dok se ne obuhvati cijeli naboj Q :

$$Q = \int_0^0 dQ \quad (15)$$

Kako je element naboja $dQ = \rho dV$, ukupni se naboj u prostoru obujma V može izraziti preko prostornog integrala protegnutog po cijelom volumenu V . Vrijedi, dakle:

$$Q = \int_V \rho dV \quad (16)$$

Ako se razmatraju nabijena vodljiva tijela, u elektrostatičkim uvjetima, sav naboj raspoređen je uvijek na njihovoj površini. Potrebno je odrediti dovoljno mali element plohe dS na kojem je gustoća naboja konstantna, a koji sadrži količinu naboja dQ . Plošna gustoća naboja σ definirana je sa:

$$\sigma = dQ / dS \text{ (As/ m}^2\text{)} \quad (17)$$

Budući da je element naboja $dQ=\sigma dS$, ukupni se plošni naboj dobije kao plošni integral po plohi površine S :

$$Q=\int_S \sigma dS \quad (18)$$

Naboj može biti raspoređen po nekoj geometrijskoj crti (krivulji) L . Za odabranu dovoljno malu duljinu dl , na kojoj je jednoliko raspoređena količina naboja dQ , linijska gustoća naboja λ definirana je sa:

$$\lambda =dQ/ dl (As/ m) \quad (19)$$

Sumiranjem elemenata naboja $dQ=\lambda dl$ dobije se ukupni linijski naboj kao linijski integral po krivulji L , tj.:

$$Q=\int_L \lambda dl \quad (20)$$

Elektrostatički naboj Q ravnomjerno je raspoređen po površini bubnja pomoću korona pražnjenja iz Korona jedinice (Korotron), sa izlazom koji je ograničen kontrolnom rešetkom ili zaslonom. Korona je vrsta pražnjenja između elektroda koje imaju veoma malen polumjer zakrivljenosti r , te je u njihovoj blizini električno polje znatno jače nego u ostalom prostoru. U osnovi, pražnjenje korona generira se pomoću uske žice 1/4 do 1/2 inča (6,35 - 12,7 mm), osim iz fotokonduktora. Negativni naboj Q stavlja se na žicu, što će ionizirati prostor između žice i konduktora, tako će se elektroni odbiti i odgurnuti na konduktor. Konduktor je postavljen na vrhu provodljive površine te čuva u sebi potencijal. [4]

Proces nabijanja u elektrofotografiji može biti negativski ili pozitivski, ovisno da li je riječ o direktnoj ili indirektnoj elektrofotografiji.

2.3.1.1. Pozitivsko nabijanje

Pozitivsko nabijanje je često u procesu elektrofotografije, te se primjenjuje u kopirnim strojevima, laserskim printerima za stolno izdavaštvo i njihovim kombinacijama. Rotirajući se konstantnom brzinom ($v = konst.$), fotokonduktorski bubanj se izlaže djelovanju korotrona ili dikotrona. Površina fotokonduktora premazana je fotopoluvodičkim slojem karakterističnog specijalnog tamnog otpora R , koji se izvršenim laserskim osvjetljavanjem smanjuje. Pozitivsko nabijanje koristi uređaje korotrone, čiji je osnovni dio tanka pozlaćena volframova ili platinasta žica, direktno spojena s napajanjem.

2.3.1.2. Negativsko nabijanje

Negativsko nabijanje na površini fotokonduktora stvara negativno nabijene nosioce. Koristiti se u elektrofotografskim strojevima koji rade indirektnim načinom otiskivanja. Negativno nabijeni površinski sloj fotokonduktora premazan je s organskim fotopoluvodičem niskog početnog otpora R , koji se laserskim osvjetljavanjem povećava. Uređaji korišteni za negativsko nabijanje nazivaju se skorotroni.

2.3.1.3. Kombinirano nabijanje

Kombinirano nabijanje karakterizira stvaranje pozitivnih i negativnih nosilaca naboja na površini fotokonduktora. Ovisno o jačini izmjeničnog napona U na dikotronske žici, dikotronski štiti će proizvesti pozitivan ili negativan ion. Tako se direktno utječe na izlazni naboj Q sa dikotrona, čime se provodi pozitivno i negativno nabijanje.

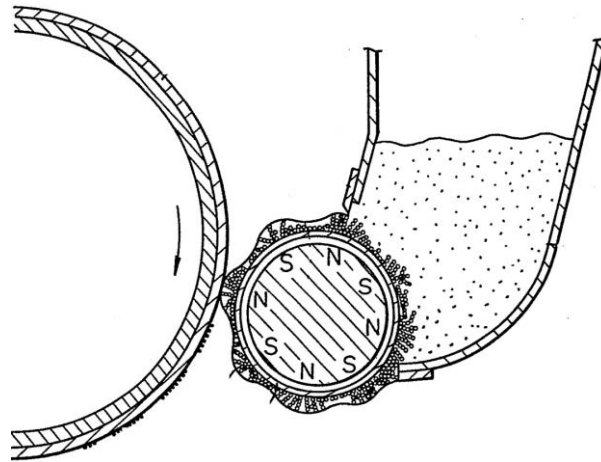
2.3.2. Osvjetljavanje fotokonduktora

Osvjetljavanje je proces u kojem se originalni dokument ili kompjuterski podaci projiciraju na fotokonduktor, provodi se pomoću kontroliranog svjetlosnog izvora (lasera ili LED diode). Pritom se naponi na fotokonduktoru mijenjaju (najčešće neutraliziraju). Ovisno o izvršenom nabijanju fotokonduktorske površine, razlikujemo negativsko osvjetljavanje i pozitivsko osvjetljavanje. Kod elektrofotografskih strojeva koji rade principom negativskog osvjetljavanja, ukupna svjetlosna izloženost fotokonduktorske površine vrlo je velika. Svjetlosti su izložene slobodne površine, a tiskovni elementi su svi istog elektropotencijala te se ne mogu nijansirati. Takav princip osvjetljavanja pogodan za jednostavne grafičke reprodukcije. Pozitivskim osvjetljavanjem, svjetlosti se izlažu budući tiskovni elementi te se njihov različit elektropotencijal može nijansirati. To će kasnije rezultirati sa različitim gustoćama obojenja reprodukcije. Tiskovni elementi formirani na fotokonduktoru su vrlo mali, čime je osigurana dobra rasterska reprodukcija.

2.3.3. Obojavanje (razvijanje) tiskovne forme

Razvijanje je proces nanošenja tonera na latentnu sliku čineći je tako vidljivom. Pri tome se koriste specijalizirano obojeni materijali (toneri), prilagođeni za prenašanje na tiskovnu podlogu. Najčešće su praškastog oblika ali mogu biti i tekućine. Ovisno o agregatnom stanju tonera, prilagođena je i konstrukcija elektrofotografskih strojeva koji se koriste. Polarna nabijenost praškastog tonera određena je veličinom i glatkoćom tonerskih čestica. Naboj Q tonera izražava se tribo jedinicom ($\mu\text{C/g}$) koja pokazuje udio naboja po masi. Optimalan tribo u elektrofotografskim strojevima iznosi $15 \mu\text{C/g}$. Modifikacija naboja tonera u procesu tiska moguća je s dodatkom čestica tonerskih nosilaca. Između fotokonduktora i tonerskih čestica djeluju identična elektrostatska polja, kojima se osigurava točna pozicija tonerske slike. Dvokomponentno razvijanje tonera primjenjuje se u visokoproduktivnim elektrofotografskim strojevima koji posjeduju fotokonduktore koji u fazi nabijanja moraju imati površinski jednoličan naboj.

Proces razvijanja dvokomponentnog tonera je mnogo složeniji i najčešće se koriste slijedeće tri konstrukcije: a) Razvijanje magnetskom četkom, b) Razvijanje s dva razvijачa valjka i c) TriboJump jedinica za razvijanje.



Slika 7. Razvijanje dvokomponentnog tonera magnetskom četkom (Izvor: <http://patentimages.storage.googleapis.com/EP0109860A1/imgf0001.png>.)

Razvijanje magnetskom četkom (*Slika 7.*) bazirano je na statičkim magnetima koji su smješteni u unutrašnjosti valjka. Statički magneti se sa svojim magnetskim polovima međusobno izmjenjuju (N-S, S-N, N-S). Rotacijom valjka nastalo magnetsko polje proširuje se i izvan vanjske površine valjka, privlačeći noseće čestice razvijачa. Na taj se način formira tonerski lanac u razvijачem međuprostoru koji djelomično dolazi u kontakt s fotokonduktorskom površinom. Na ulaznom dijelu smješten je regulacijski nož kojim se podešava količina nanesenog tonera. Ovisno o naponima fotokonduktora (latentna slika), čestice se tonera selektivno prihvaćaju, stvarajući vidljivu tonersku sliku.

U elektrofotografiji otiskivanje s tekućim tonerima mnogo je rjeđe. Osnova takvog procesa je tekući toner koji se sastoji od tekućeg nosioca u kojemu su raspršeni negativno nabijeni pigmenti veličine između 1 i 3 μm . U elektrofotograskim sustavima s tekućim tonerom karakterističan je i fotokonduktor koji je građen od amornog silikona. Fotokonduktor se negativskim postupkom nabija i osvjetljava s laserskim sustavom koji odjednom proizvodi više laserskih zraka.

2.3.4. Transfer tonera

Tonersku sliku nakon razvijanja potrebno je prenijeti na tiskovnu podlogu. U elektrofotografiji to je moguće provesti direktnim ili indirektnim prijenosom.. Direktni prijenos tonera sa fotokonduktora na tiskovnu podlogu izveden je pomoću elektrostatskih sila koje generira korona smještena ispod tiskovne podloge ili vodljivi prijenosni valjak. Električna provodljivost i električni otpor presudni su čimbenici kvalitete i izvodljivosti otiskivanja. U elektrofotografiji toner se prenosi na površinu papira nabijanjem papira naponski visokom koronom, te što je naboj papira veći prijenos tonera je bolji. Prevelika vlažnost odnosno niski otpor papira uzrokuje rasipanje električnog naboja prije nanosa tonera. Veća električna konstanta uzrokuje veću učinkovitost prijenosa, ali samo do određene granice poslije koje mogu nastati izobličenja otiska uslijed suvišnog ispuštanja naboja. Za indirektni prijenos kod elektrofotografije s praškastim tonerima, koristi se beskonačna traka. Indirektni prijenos tonera na tiskovnu podlogu kod elektrofotografije s tekućim tonerom radi se posredstvom ofsetnog cilindra. Cilindar je spojen s istosmjernim električnim napajanjem i istovremeno se zagrijava pomoću grijača. Iz toga proizlazi da gumena navlaka mora biti električki provodljiva, otporna na visoke temperature i kompresibilna. Prijenos tonera na tiskovnu podlogu mora biti 99,9% učinkovit.

2.3.5. Fiksiranje tonera

Svrha fiksiranja (fuziranja) tonera je stabiliziranje otiska na tiskovnoj podlozi. Kontaktom dolazi do međusobnog privlačenja elektrostatskim silama, ali i međumolekularnim Van der Waalsovima privlačnim silama na površini, koje su uzrok adsorpcije a ona uzrokuje čvrstu vezu, te su nezasićene. Privlačenje čestica tonera i papirnih vlakana nije ujednačeno te samo niži slojevi tonera imaju privilegiju kvalitetnijeg vezivanja. Većina tonera ostaje nestabilna i nije otporna na mehaničko otiranje. Zbog toga je potrebno dodatno fiksirati čestice tonera za tiskovnu podlogu, specijalnim uređajima, fuzerima. Fiksiranje se radi pomoću pritiska i topline no postoji više izvedbi. U upotrebi je fuziranje zagrijanim valjcima i fuziranje zračenjem.

2.3.6. Čišćenje fotokonduktora u elektrofotografiji

U posljednjoj fazi čišćenja potrebno je površinu fotokonduktora ponovno pripremiti za nabijanje kako bi moglo započeti ponovno otiskivanje. Na površini fotokonduktora ostao je napon sa prethodno generirane virtualne tiskovne forme zajedno sa ostacima tonerskih čestica koje se nisu prenijele na tiskovnu podlogu. Zbog toga se provodi proces čišćenja koji se vrši brisanjem napona virtualne tiskovne forme i skidanjem ostataka tonera sa fotokonduktora.

Kod elektrofotografije s praškastim tonerima, brisanje napona virtualne tiskovne forme postiže se osvjetljavanjem fotokonduktorske površine odgovarajućim izvorom svjetlosti pri čemu nestaje jako elektrostatsko polje formirano nabijanjem u prvoj fazi procesa, površina se neutralizira. Zatim se mehanički uklanjaju zaostale čestice tonera s površine fotokonduktora mehaničkim djelovanjem elastičnog noža, čišćenjem uz pomoć mekane četke ili čišćenjem magnetskom četkom.

Čišćenje tekućih tonera započinje svjetlosnom neutralizacijom naboja. Pomoću specijalne jedinice za čišćenje uklanja se zaostali toner posredstvom tekućeg nosioca koji se nanosi na bubanj spužvastim valjkom. Namočeni valjak je u izravnom kontaktu s fotokonduktorom, jednolično ga vlaži te se ostatak tekućeg tonera uklanja pomoću poliuretanskog noža.

3.PRAKTIČNI DIO

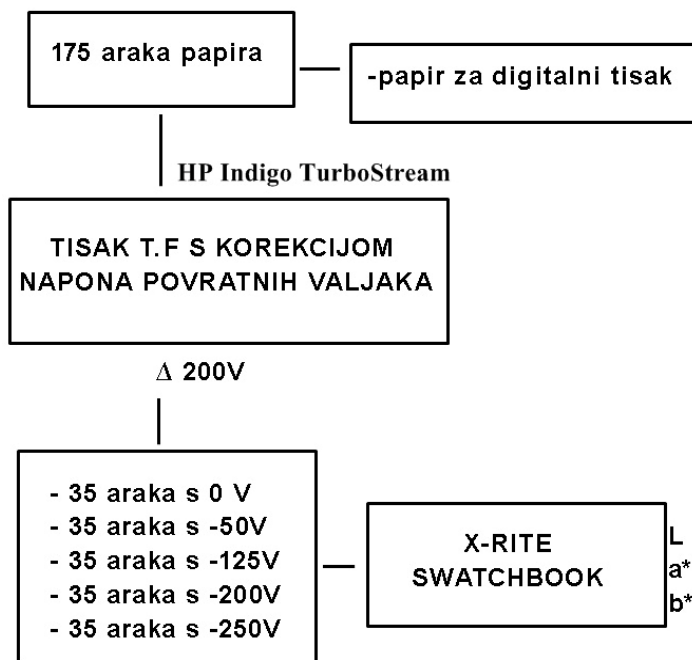
3.1. Plan rada i metode mjerenja

Praktični dio rada započinje odabirom tiskovne forme, pomoću koje su otisnuti uzorci na tiskovnu podlogu. Za otiskivanje eksperimentalnih uzoraka korišten je elektrofotografski tiskarski stroj HP Indigo TurboStream. Nakon izvršene automatske kalibracije tiskarskog stroja slijedilo je eksperimentalno otiskivanje uzoraka na specijalni papir za digitalni tisak (Splendogel), gramature 160 g/m².

Tijekom provođenja eksperimenta, u procesu razvijanja, mijenjano je pet različitih vrijednosti napona na površini povratnih valjaka (0V, 50V, 125V,200V i 250V), dok su svi ostali parametri konstantni (definirani početnom kalibracijom). Svakom promjenom napona (od 0 do -250V) otiskivani su uzorci u nakladi od 35 otisaka.

Nakon otiskivanja su se provele denzitometrijska i spektrofotometrijska analiza vrijednosti otisnutih uzoraka osnovnih boja suptraktivne sinteze (CMYK) i aditivne sinteze (RGB) sa 100% i 50% RTV-a.

Rezultati su prikazani pomoću CIELAB sustava boja. Numeričke vrijednosti u CIELAB sustavu opisane se pomoću akromatske komponente, svjetline L* i dvije kromatske komponente, a* i b* . Svjetlina se mjeri rasponom od 1 do 100 po vertikalnoj osi, gdje 1 označava crni ton, a 100 bijeli ton boje.



Slika 8. Plan eksperimentalnog otiskivanja

3.2. Korišteni strojevi i uređaji

Za potrebe eksperimentalnog dijela rada korišteni su elektrofotografski tiskarski stroj HP Indigo TurboStream, laboratorijski spektrofotometar X-Rite SwatchBook te kolorimetrijski uređaj X-rite DTP 41 .

3.2.1. HP Indigo TurboStream

Ovaj standardno četverbojni stroj, ima mogućnost proširenja za dvije dodatne boje po izboru. Karakterizira ga indirektan način otiskivanja s ispisnom rezolucijom od 812 DPI. Obostrani tisak do maksimalnog formata 320 x 464 mm, omogućen je ugradnjom duplex ladice . Standardna brzina otiskivanja je 60 cm/s, odnosno proizvodna brzina je ovisna o broju separacija na otisku. Otiskuje 4000 jednobojnih otisaka na sat u maksimalnom formatu, odnosno 1000 četverbojnih otisaka na sat.

Nakon izvršene automatske kalibracije stroj je postigao zadovoljavajuće uvjete te je spreman za eksperimentalno otiskivanje .

Tablica 1. Definirani parametri Indigo Turbo Steam-a nakon kalibracije

| KARAKTERISTIKE | CYAN | MAGENTA | ŽUTA | CRNA |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Denzitometrijske vrijednosti gustoće obojenja | 1,44 | 1,44 | 1,15 | 1,77 |
| Rastertonska vrijednost | 75,60% | 76,90% | 74,40% | 75,20% |
| Napon koronske žice | -5740 V | -5740 V | -5740 V | -5740 V |
| Napon skorotronske mrežice | -790 V | -790 V | -790 V | -790 V |
| Snaga lasera | 10 μ W/mA | 8 μ W/mA | 1 μ W/mA | 7 μ W/mA |
| Napon razvijaačkog bubnja | - 331 V | - 348 V | - 410 V | - 388 V |
| Napon povratnih valjaka | - 81 V | - 48 V | - 210 V | - 38 V |
| Napon squeegee valjka | - 1440 V | - 1440 V | - 1440 V | - 1440 V |
| Napon ofsetnog cilindra | - 520 V | - 520 V | - 520 V | - 520 V |
| Temperatura gume | 130°C | 130°C | 130°C | 130°C |
| Gustoća obojenja bojila | 1,76 | 1,71 | 1,72 | 1,7 |
| Električna provodljivost bojila | 86 pmho/scm | 85 pmho/scm | 89 pmho/scm | 92 pmho/scm |

Tablica 2. Preporučeni parametri za tisak sekundarnih boja na HP Indigo TurboStream

| KARAKTERISTIKE | CRVENA | ZELENA | LJUBIČASTO PLAVA |
|----------------------------|---------|---------|------------------|
| Skorotron | -750 V | -700 V | -800 V |
| Laserska glava | 1 | 7 | 10 |
| Napon razvijaačkog bubnja | -350 V | -300 V | -300 V |
| Napon razvijaačkih valjaka | -20 V | -80 V | -20 V |
| Napon squeegee valjka | -1250 V | -1400 V | -1350 V |
| Temperatura ofsetne. gume | 145°C | 125°C | 145°C |
| Napon ofsetne gume | -700 V | -600 V | -700 V |
| Gustoća bojila | 1,7 | 1,7 | 1,7 |

3.2.2. X-Rite SwatchBook

Spektrofotometrijski laboratorijski uređaj X-rite SwatchBook služi za precizno određivanje obojenja. Pošto nije sposoban za samostalan rad, potrebno ga je spojiti na računalo. Pomoću programa ColorShop 2.6 moguće je izmjeriti kolorimetrijsku vrijednost obojenja. Vrijednost obojenja iskazuje se kao: gustoća obojenja A, gustoća obojenja E, gustoća obojenja M, gustoća obojenja T, RTV obojenja, CIE Lab, CIE XYZ, CIE xyY, CIE LCh, CIE Luv, RGB, vrijednost PANTONE uzoraka, ΔE CIE Lab, spektralne refleksije i spektralne transmisije.

Tablica 3. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite SwatchBook

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

3.2.3. X-rite DTP 41

Da bi funkcionirao ovaj kolorimetrijski uređaj mora biti spojen s računalom. Aplikacijom ColorShop X izračunava i prikazuje denzitometrijske i kolorimetrijske podatke: gustoću obojenja, L^* , a^* , b^* , c^* , H^* , x , y , Y , sivoće, pogreške tona, spektralne refleksije u vidljivom dijelu spektra i rastertonske vrijednosti obojenja. Zbog velike brzine mjerenja pogodan je za mjerenje većeg broja polja, što je iskorišteno za izradu ICC profila. Iz ICC profila, pomoću programa MONACO platinum, moguće je formirati prostorni gamut obojenja.

Tablica 4. Osnovne karakteristike spektrofotometra X-rite DTP 41

| | |
|--------------------------------|---|
| Točnost | $<1\Delta E_{\max}$, <5 prosjek |
| Spektralni senzor | DRS tehnologija, 24 točaka strojno |
| Spektralni opseg mjerenja | 400 - 700 nm |
| Ponovljivost | $0,2 \Delta E_{\max} \pm 0,01 D_{\max}$ |
| Brzina mjerenja | 0,25 s po polju |
| Interno instrumentsko slaganje | 0,3 ΔE |
| Mjerna geometrija | 45%/0° ANSI i ISO standard |
| Izlaz | 31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T, I, A i E) |
| Dimenzije/masa | 8,8 x 18,4 x 11,4 cm / 890 g |
| Izvor svjetlosti | A, C, D ₅₀ , D ₅₅ , D ₆₅ , D ₇₅ , F ₂ , F ₇ , F ₁₁ , F ₁₂ |
| Kut promatranja po CIE | 2°, 10° |
| Mjerni zaslon | 1,8 x 2,5 mm |

3.3.Korišteni materijali

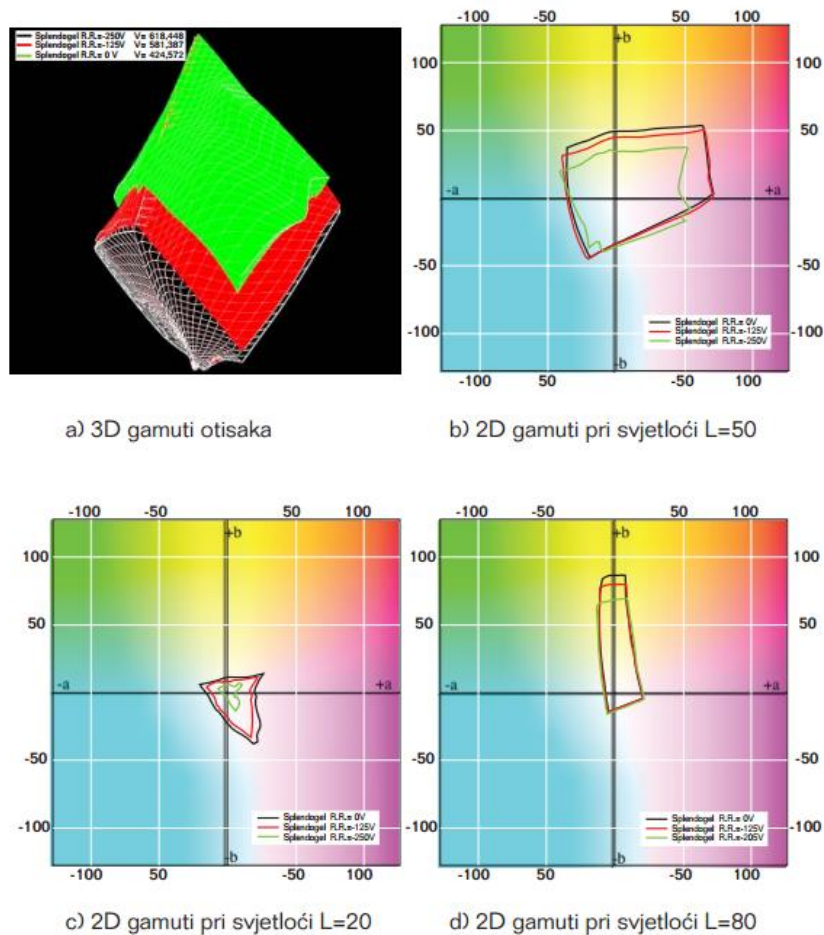
Za postizanje kvalitetnih otisaka ispitivanje se vrši na specijalnoj tiskovnoj podlozi za elektrofotografiju, Splendogel. Papir za digitalni tisak, Splendogel EW Soho, je premazani papir visokog stupnja bjeline. Dimenzijom i površinskim premazivanjem prilagođen je za rad na tiskarskom stroju HP Indigo TurboStream, čime se ostvaruje visoka kvaliteta obostranog otiskivanja.

Tablica 5. Karakteristike papira SPLENDOGEL

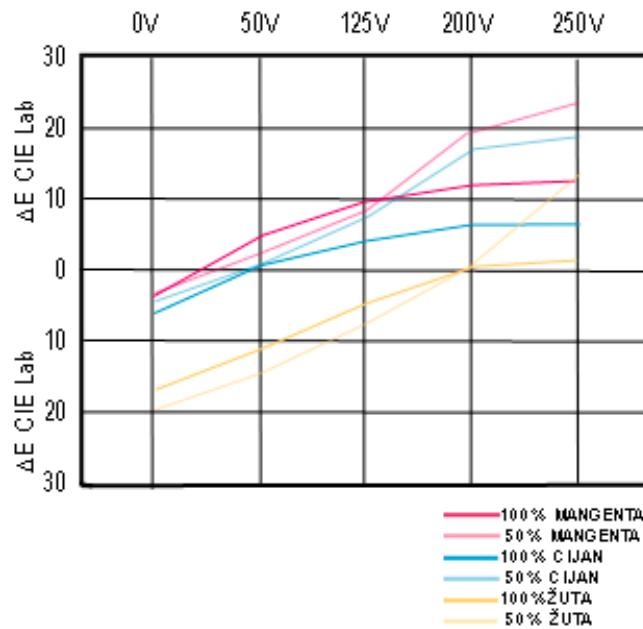
| PARAMETRI | JEDINICA | METODA | VRIJEDNOST | TOLERANCIJE |
|-----------|------------------|----------|------------------------|-------------|
| Gramatura | g/m ² | ISO 536 | 160 g/m ² | ±6% |
| Debljina | mm | ISO 534 | 0,170 mm | ±10% |
| Bjelina | % | ISO 2470 | 93,00% | ±4% |
| Upojnost | g/m ² | Cobb | 38,49 g/m ² | - |
| Glatkoća | ml/min | Bendtsen | 57,5 ml/min | - |

4. REZULTATI I ANALIZA

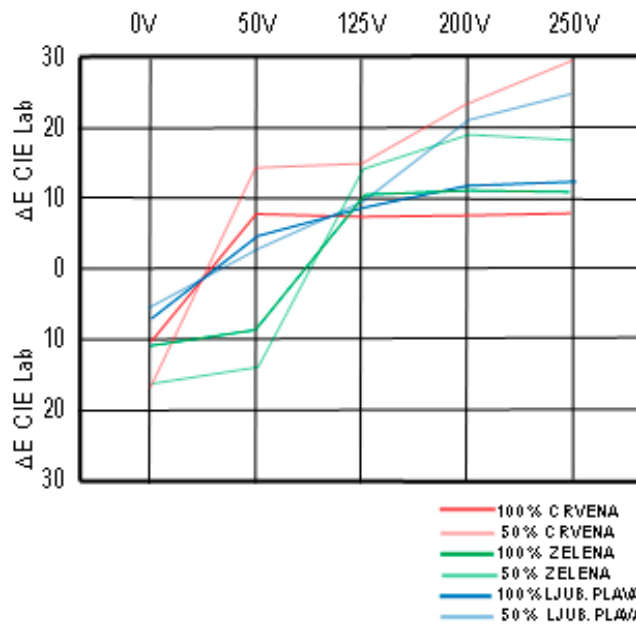
Nakon definiranja plana i metode mjerenja izvršena je praktična izvedba eksperimenta. Otisci dobiveni eksperimentalnim otiskivanjem mjereni su spektrofotometrijskim uređajima. Na temelju dobivenih rezultata konstruirani su grafovi i 3D gamuti reprodukcija punog tona i 50%RTV-a. Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja prikazani su u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom gamutskom obliku (*Slika 9.*). Gamut je konstruiran s 378 izmjerenih $L^*a^*b^*$ polja. Za osnovne procesne boje izračunate su i razlike u obojenju ΔE CIE Lab.



Slika 9. Prikaz Indigo gamuta nastao varijacijom napona povratnih valjaka na Splendogel papiru (Izvor: I. Majnarić; Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.)



Slika 10. ΔE CIE Lab razlike u obojenju Indigo CMY otisaka nastale varijacijom napona povratnih valjaka na Splendogel papiru



Slika 11. ΔE CIE Lab razlike u obojenju Indigo RGB otisaka nastale varijacijom napona povratnih valjaka na Splendogel papiru

Na *Slici 9.* prikazani su gamuti reprodukcija Splendogel otisaka nastalih promjenama napona povratnih valjaka od 0 do -250V. Naponom od -250V ($V=618,448$) postignut je najveći gamut reprodukcije, dok je naponom od 0V ($V=424,572$) postignut najmanji gamut. Pritom je nastao ukupan rast gamuta za 193,876 prostorne jedinice. Promjena napona povratnih valjaka s 0V na -125V rezultira rastom gamuta od 156,815 prostorne jedinice, dok daljnje povećanje napona s -125V na -250V rezultira daljnjim rastom gamuta od 37,06 prostornih jedinica.

U karakterističnim presjecima uočavamo da su tonovi doživjeli najveću promjenu u središnjem i donjem dijelu gamuta. Ukazujući da povećanje napona s 0V na -125V utječe na promjenu magente, crvene, žute i svijetlozelene. Aktivacijom maksimalnog napona (-250V), utječe se na promjenu tonova visoke kromatske vrijednosti na +b koordinati, tj., u sebi sadrže veći postotak žute.

Na *Slikama 10.* i *11.* prikazana je razlika obojenja ΔE CIE Lab, nastala promjenom napona povratnih valjaka. Uslijed variranja napona povratnih valjaka, otisci na Splendogel papiru doživljavaju prosječnu devijaciju obojenja tonova: $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ od 25,29. Srednja devijacija punih tonova $\Delta E_{MAX} - \Delta E_{MIN}$ iznosi 17,85. Promjene su najviše izražene kod zelene ($\Delta E_{100\%}=22,3$), ljubičasto-plave ($\Delta E_{100\%}=19,4$), crvene ($\Delta E_{100\%}=18,3$) i žute ($\Delta E_{100\%}=18,3$). Za otiske najbliže kalibraciji preporučuju se naponi: -200V (žuta), -15V (magenta), -50V (cijan). Za dobar trapping (napust) crvene i zelene boja preporuča se napon od -80V, a za ljubičasto-plavu boju napon od -120V.

5. ZAKLJUČAK

Rezultatima istraživanja provedenog u eksperimentalnom dijelu ovog rada, može se zaključiti da je varijacijom napona moguće uvelike utjecati na reprodukciju otisaka. U fazi razvijanja djelovanjem promjenjivih napona na povratnim valjcima ostvarena je velika razlika u obojenju. Primjenom viših napona, ostvaruje se i veći nanos bojila. Maksimalnim povećanjem napona povratnih valjaka od -250V, ostvaruje se porast gamuta kod Splendogel otisaka od 45%. Početno povećanje napona s 0V na -125V, utječe na 84% rasta gamuta. Daljnje povećavanje napona utječe na porast nanosa bojila, što uzrokuje razlijevanje bojila po slobodnim površinama fotokonduktora.

Promjene u obojenju najviše su vidljive kod zelene boje, zatim slijede ljubičasto-plava, crvena i žuta.

6. LITERATURA

- [1] http://www.rochester.edu/pr/Review/V76N1/0403_carlson.html, 28.05.2015.
- [2] <http://www.babylon-software.com/definition/elektron-volt/> , 28.05.2015.
- [3] Raymond A. Serway; Physics for Scientists & Engineers , 3th Edition, 1990.
- [4] V. Džimbeg-Malčić; Fizika u grafičkoj tehnologiji 2014/2015, predavanja, Zagreb, 2015.,http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/4_Fotoelektricni%20efekt.pdf , 15.07.2015
- [5] Lj. Malešević; Osnove elektrotehnike II dio, ELEKTROSTATIKA, Split, 2004. <http://documents.tips/documents/ii-dio-elektrostatika.html>, 15.07.2015.
- [6] A.T .Fromhold; Quantum mechanics for applied physics and engineering, New York: Academic Press, 1991.
- [7] ^{ab} "Photocopying processes", McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, vol. 13, p. 394, 10th edition, 2007.
- [8] Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999.
- [9] H. Kiphan, H., HandBook of Print Media, Berlin, Springer, 2001 . <http://ecolor.ir/books/Print%20Media.pdf> 14.06. 2015.
- [10] L. B. Schein; Electrophotography and Development Physics, 2th (ed), Laplacian Press, Morgan Hill (CA), 1996.
- [11] I. Majnarić; Studija indirektno elektrofotografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.

Popis formula

(1-6) V. Džimbeg-Malčić; Fizika u grafičkoj tehnologiji 2014/2015, predavanje:

Fotoelektrični efekt, Zagreb, 2015.

(7-20) Lj. Malešević; Osnove elektrotehnike II dio, ELEKTROSTATIKA, Split 2004

Popis tablica

Tablica 1. I. Majnarić; Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.

Tablica 2. I. Majnarić; Studija indirektno elektrografije, doktorska disertacija, Grafički Fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.

Tablica 3. Tehničke karakteristike Spektrofotometra X-rite SwatchBook,

<http://www.xrite.com/>, 16.07.2015.

Tablica 4. Tehničke karakteristike Spectrofotometra X-rite DTP 41 ,

<http://www.xrite.com/>, 16.07.2015.

Tablica 5. Tehničke karakteristike papira Splendogel E.W.,

<http://www.fedrigoni.com/>, 16.07.2015.