

# Karakteristike recikliranih vlakana otisaka indirektne fotografije

---

Klišanin, Vlado

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:216:333288>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# ZAVRŠNI RAD

Vlado Klišanin



Sveučilište u Zagrebu  
Grafčki fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

KARAKTERISTIKE RECIKLIRANIH VLAKANACA  
OTISAKA INDIREKTNE FOTOGRAFIJE

Mentor:  
Izv. prof. dr. sc. Ivana Bolanča Mirković

Student:  
Vlado Klišanin

Zagreb, 2015

## SAŽETAK

U ovom radu istražit će se karakteristike recikliranih vlaknaca i uspješnost recikliranja otisaka indirektno elektrofotografije na premazanom i nepremazanom papiru. Slikovnom analizom utvrdit će se broj i površina čestica na laboratorijskim listovima prije i poslije flotacije, svrstane prema 26 veličina klasa.

U teorijskom dijelu opisat će se tehnika elektrofotografije koja spada u digitalne tehnike tiska.

U eksperimentalnom dijelu navest će se uređaji kao i kemikalije potrebne za reciklažu papira. Otisci za reciklažu dobiveni su variranjem snage lasera, variranjem napona razvijačkog bubnja, variranjem napona povratnih valjaka i promjenom temperature centralnog cilindra. Također će se detaljno razraditi i tijek postupka reciklaže i mjerenja određenih karakteristika recikliranih uzoraka sa postupkom slikovne analize.

## KLJUČNE RIJEČI

Indirektna elektrofotografija, reciklaža papira, flotacija, slikovna analiza

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆI DIO .....	2
2.1. Elektrofotografija .....	2
2.1.1. Indirektna elektrofotografija .....	3
2.2. Vrste tonera .....	4
2.2.1. Tekući toner .....	5
2.3. Recikliranje papira.....	5
2.3.1. Papir .....	5
2.3.2. Utjecaj proizvodnje papira na okoliš .....	6
2.4. Recikliranje papira.....	7
2.4.1. Postupci recikliranja.....	8
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	11
3.1. Uređaji .....	11
3.2. Kemikalije .....	14
3.3. Proces laboratorijskog recikliranja papira .....	14
3.4. Određivanje optičkih svojstava .....	16
3.5. Slikovna analiza.....	16
4. REZULTATI .....	17
5. RASPRAVA .....	23
6. ZAKLJUČAK.....	25
7. LITERATURA .....	26

## 1. UVOD

Elektrofotografija je digitalna tehnika tiska koja je ujedno i predstavnik Computer to print tehnologije - postupka koji označava prijenos boje na podlogu za štampanje u kojem se koriste elektrostatičke ili elektromagnetne sile, brizganje ili zagrijavanje. Ovaj postupak se u literaturi naziva još i Non Impact printing (u prijevodu: tisak bez kontakta). Osnovna karakteristika elektrofotografije je fotoefekt ili fotoelektrični efekt a koji proces će biti detaljnije razrađen nastavno u ovom radu.

Nadalje, za istaknuti je kako papir kao materijal koji se izrađuje od celuloznih vlakana, spada među najvažnije i najčešće materijale te predstavlja osnovnu sirovinu u grafičkoj industriji.

Proizvodnja papira spada među najvažnije industrijske grane jer papirne proizvode svakodnevno koristimo. Zbog svakodnevnog korištenja papira, nagomilava se papirni otpad i povećava se uništenje šuma, a zbog čega je proces reciklaže papira danas zauzeo visoko mjesto po svojoj važnosti.

Reciklažom papira čuvamo šume, ne dolazi do onečišćenja voda, štede se energija i prirodni resursi i smanjuje se količina otpada na odlagalištima.

Uspješnost reciklaže se prati uglavnom pomoću slikovne analize i spektrofotometra, a što će također biti detaljno prikazano u ovom radu.

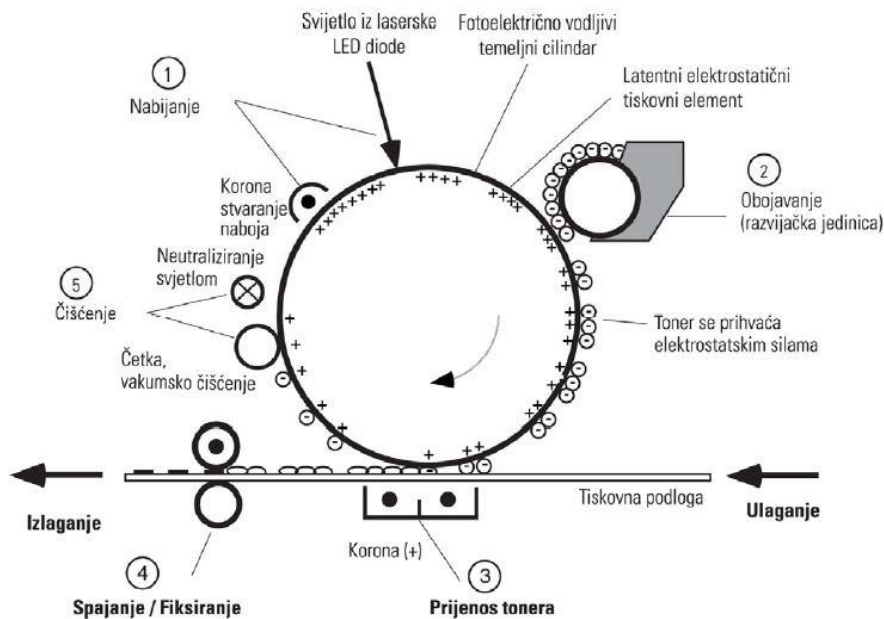
## 2. OPĆI DIO

### 2.1. Elektrofotografija

Tehnika digitalnog tiska zvana elektrofotografija danas je najraširenija tehnika s promijenjivom tiskovnom formom. Elektrofotografija je poznata i pod nazivom kserografija. Ova tehnika također je i predstavnik Computer to print tehnologije kod koje imamo latentnu tiskovnu formu, formu koja se mora ponovno izrađivati nakon svakog otiskivanja. Computer to print tehnologije također nazivamo i NIP (*Non Impact Printing*) tehnika. Karakteristika im je vrlo slaba sila u kontaktu između tiskovne forme i tiskovne podloge. Kod elektrofotografije je značajna karakteristika fotoelektričnog efekta. Fotoelektrični efekt ili fotoefekt je izbijanje iona iz kovine dijelovanjem svjetlosti ili elektromagnetskog (EM) zračenja kratke valne duljine.

Fotoefekt je još 1995. godine analizirao Albert Einstein, iako ga je već 1887.g. uočio Heinrich Herz. Naime, zbog osvjtljavanja poluvodičkih ploča u elektrofotografiji dolazi do fotoefekta. Prvo elektrofotografsko otiskivanje dogodilo se u listopadu 1938. godine. Petnaestak godina poslje napravljen je otisak sa suhim (praškastim) tonerom. Proces otiskivanja obuhvaća šest koraka, a to su: nabijanje tiskovne forme, osvjtljavanje tiskovne forme, obojavanje tonerom, prenošenje tonera na tiskovnu podlogu, fiksiranje tonera na podlozi te čišćenje tiskovne forme od ostataka tekućih (praškastih) tonera. Dobivena virtualna tiskovna forma ima tiskovne i slobodne površine različitog energetskog potencijala te nanošenjem boje na tiskovne površine forma se pretvara u vidljivu i postaje spremna za tisak.

Elektrofotografiju možemo podijeliti na direktnu i indirektnu te ovisno o tome razlikujemo negativski i pozitivski postupak. Budući da je tema ovoga rada izučavanje karakteristika recikliranih vlakana otisaka indirektno fotografije, nastavno će se pobliže opisati samo proces indirektno fotografije.



Slika 1: Elektrofotografija

### 2.1.1. Indirektna elektrofotografija

Kao prvo, treba naglasiti da je elektrofotografija jedna od vodećih digitalnih tehnika otiskivanja. Značajnu, a možemo reći i presudnu ulogu kod elektrofotografske tehnike otiskivanja imaju karakteristike tiskovne podloge. Proces indirektna elektrofotografije sličan je procesu ionografije jer dielektrički sloj služi kao tiskovna forma, veća je brzina otiskivanja, koristi se za tisak iz role te se ostvaruju niži naponi. Princip indirektna elektrofotografije provodi se u 6 međusobno povezanih faza.

Prvenstveno, kod indirektna elektrofotografije koristimo negativsko nabijanje. Kod njega dolazi do stvaranja negativnih nosioca naboja na površini fotokonduktora. Fotokonduktor je premazan s OPC fotopoluvodićem koji se također negativno nabija. Početni otpor organskog fotokonduktora je nizak, te se on povećava uslijed laserskog osvjetljavanja. Uređaji koji se koriste za negativsko nabijanje zovu se skorotroni.

Nakon negativskog nabijanja slijedi negativsko osvjetljavanje. Osvjetljavanjem se neutraliziraju pozitivno nabijeni ioni, počevši od same površine fotokonduktora.

Obojavanje ili razvijanje je slijedeći korak čiji je zadatak učiniti virtualnu tiskovnu formu vidljivom. Za obojavanje se koriste toneri koji mogu biti praškasti ili



tekući, te ovisno o vrsti razlikujemo elektrofotografiju s praškastim tonerom i elektrofotografiju s tekućim tonerom.

Kod prenošenja tonera, kontakt između tiskovne podloge i fotokonduktora izvodi se putem prijenosnog medija, kao npr. navlaka na prijenosnom cilindru. Kako bi prenošenje tonera bilo dobro, toner se mora staviti na površinu prijenosnog medija. Zatim će se toner s prijenosnog medija odnosno njegove površine prenijeti na tiskovnu podlogu.

Fuziranje ili fiksiranje tonera je zahtjevan proces, kod kojega se u kontaktu moraju naći tiskovna podloga i čestice tonera. Za fuziranje koriste se uređaji zvani fuzeri.

Zadnji korak otiskivanja – čišćenje, vrši se u dvije faze. Prva faza je brisanje napona virtualne tiskovne forme, a druga faza je uklanjanje ostataka tekućih ili praškastih tonera s fotokonduktora.

## 2.2. Vrste tonera

Toneri su specijalna bojila. Konstrukcija elektrofotografskih strojeva je namijenjena za svaku vrstu tonera ovisno o njihovom agregatnom stanju. Crni praškasti toner se koristi za „crno-bijeli“ elektrofotografski tisak. Potrebno je sušenje uz visoku temperaturu i tlak. Tiskovna podloga koja se koristi je otporna na habanje.

Kod elektrofotografskog procesa otiskivanja upotrebljavamo praškaste tonere koji mogu biti jednokomponentni i dvokomponentni. Jednokomponentni toneri u svom sastavu imaju poliestersku stiren akrilnu smolu i magnetizirajući željezni pigment. Na kraju proizvodne faze, slijedi premazivanje s električnki provodljivim ugljikom. Dvokomponentni toneri u svom sastavu sadrže dvije vrste čestica, a to su magnetske noseće i tonerske čestice koje se međusobno sudaraju tijekom razvijanja. Spoj nositelja i tonera naziva se razvijач ili developer. Suhi toneri se proizvode procesom topljenja ili toplinskog brušenja, te čestice imaju nepravilan oblik, i danas modernijom metodom tj., kemijskim putem odnosno procesom polimerizacije, stoga je toner sferičnog oblika.

Također se kod elektrofotografskog procesa upotrebljavaju i tekući toneri, a čija svojstva ću nastavu pobliže opisati.

### 2.2.1. Tekući toner

Tekući toner ili Electroink sadrži pigmente čije čestice imaju zvjezdasti oblik, mineralna ulja definiranih frakcija i agense za povećanje (elektro) vodljivosti. Agensi odnosno polarne molekule su fino rapršene u boji te se sa svojim negativnim polom dodiruju i povezuju sa pigmentima. Prednost tekućih tonera u usporedbi sa praškastim tonerima je ta da tekući toneri zbog veličine čestica koje su male (oko 1-2  $\mu\text{m}$ ) daju bolje otiske od praškastih tonera.

Bez obzira na veliku prednost koja se tiče veličine čestica, tekući toneri koriste se puno manje u odnosu na suhe tonere koji se koriste u čak 80% slučajeva. Suhi toneri su jeftiniji te se zbog toga masovno koriste, te se i tiskare odlučuju na upotrebu printera s suhim tonerima. Također, u usporedbi sa suhim tonerima, tekuće tonere teže je proizvesti.

## 2.3. Recikliranje papira

### 2.3.1. Papir

Smatra se da je papir izumljen 105 godina p.n.e. Tada nije bilo poznato kako se radi papir jer se to čuvalo u tajnosti. Tek nakon dugo godina otkriveno je kako se radi. Prvotno se izrađivao od starih tkanina i krpa, no tek 1719. godine počela je izrada papira od drveta. 1978. godine počela je proizvodnja papira u traci. 1827. godine počinje proizvodnja papira u Hrvatskoj.

Papir spada među najvažnije i najčešće materijale te predstavlja osnovnu sirovinu u grafičkoj industriji. Papir je materijal koji se izrađuje od celuloznih vlaknaca, koja se međusobno isprepliću te nastaje mrežasta struktura kojoj se dodaju punila i keljiva. Osnovne sirovine za proizvodnju papira su drvenjača, celuloza, stari papir i polutvorina koja se dobiva preradom krpa iz industrije tekstila. Jedan list papira sastoji se od više slojeva vlaknaca koji su međusobno isprepleteni. Preradom jednogodišnjih i višegodišnjih biljaka te starog papira i krpa dobivaju se vlakanca za proizvodnju papira. Papiri koji se rabe za razne tiskovne proizvode moraju imati definirane karakteristike kao na primjer bjelina, opacitet i ostale karakteristike koje su

važne za papire. Sve te karakteristike dogovorene su od strane kupaca i industrije papira. Industrijska proizvodnja papira provodi se na papir-stroju.

Papir se može podijeliti prema gramaturi, namjeni, načinu obrade i rabljenim sirovinama.

Prema gramaturi se dijeli na papire, do  $150 \text{ g/m}^2$ , kartone od 150 do  $500 \text{ g/m}^2$  i ljepenke čija gramatura iznosi iznad  $600 \text{ g/m}^2$ .

Prema rabljenim sirovinama dijeli se na srednjefine, celulozne, bezdrvne, papire s primjesom krpa, papire iz krpa, slame, staroga papira te iz umjetnih materijala.

Prema načinu obrade dijele se na premazane i nepremazane.

Prema namjeni dijele se na crtače, pisače, uredske, za pisače, prema načinu isporuke, specijalne.

### 2.3.2. Utjecaj proizvodnje papira na okoliš

Za proizvodnju papira mora se voditi računa o tome da sirovine iz izvora te postupci proizvodnje budu povoljni, odnosno da nisu štetni za okoliš. Tijekom proizvodnje papira potrebna je štednja korištene sirovine uključivo i obnovljivu sirovinu drva. Ekologija i ekonomija također su važne odnosno imaju zajedničku ulogu zato što su tijekom proizvodnje papira sirovina i energija najskuplji. Danas se traže mogući načini za povećanje količine vlakana i smanjenje potrošnje vode i energije. Tijekom obrade drva koji spada u kemijski postupak, važno je da se izvodi u zatvorenom prostoru te da se kemikalije i sirovine koriste tako da ne onečišćuju okoliš.

S ekološkog gledišta tijekom proizvodnje potrebno je paziti na potrošnju vode koja se koristi za bijeljenje, kuhanje i ispiranje. Tijekom zadnjih 20-ak godina potrošnja vode se smanjila za više od 50%. Postoje brojni pokazatelji onečišćenja vode kao što su npr. pH, boja, ulja i masti.

U tvornicama celuloze proizvodnja energije je veća nego njena potrošnja zbog iskorištavanja otpada kao izvora energije.

Za okoliš također nisu povoljna fosilna goriva koja se koriste kao energenti zbog njihove ograničene i male količine, ali i stvaranja nusprodukata prilikom izgaranja.

Papir je tijekom proizvodnje podvrgnut postupku bijeljenja kako bi se uklonili tamni ostaci nakon kemijskog postupka obrade. Za bijeljenje je kao agens najbolji elementarni klor, koji štetno utječe na okoliš, a što je otkriveno 1980. godine. Razvojem tehnologije danas se koriste kisik i njegovi spojevi za bijeljenje. Kompleksni spojevi se ne koriste u velikim količinama jer nisu biološki razgradivi. Danas se radi na traganju za novim kompleksnim spojevima koji će se moći biološki razgrađivati kako bi se još više smanjili negativni utjecaji na okoliš.

Tijekom kemijske proizvodnje celuloze dolazi do ispuštanja sumpora, koji je nepovoljan za okoliš zbog vrlo neugodnog mirisa. Neugodnosti koje izaziva sumpor danas su vrlo uspješno smanjene na način da se pročišćava zrak i korištene kemikalije se prerađuju.

Konačno, danas industrije papira, razne tiskare i razni proizvođači papira daju veliku prednost celulozi proizvedenoj na ekološki povoljan način.

#### 2.4. Recikliranje papira

U papirnoj industriji jedna od važnijih sirovina je upravo reciklirani papir. Tiskarski proizvodi su važni izvori sirovina upravo za proizvodnju recikliranih papira. Papir se uglavnom izrađuje od primarnih vlakanaca te ako su ona uključena u postupku reciklaže, tada je moguća reciklaža materijala i upotreba recikliranog papira. Od 2000. godine pa sve do danas, reciklira se više od 80% iskorištenog grafičkog materijala, a to je najčešće papir. Reciklirani papiri najčešće sadržavaju čista i neobrađena vlakna. Novinski papiri i časopisi su oduvijek bili pogodni izvori vlakanaca za reciklažu. Bijelina papira od izrađenog recikliranih vlakanaca se ne može uspoređivati sa bijelinom papira izrađenog od kemijske celuloze zbog prisutnosti 90-98% celuloze visoke bijeline u kemijskoj celulozi. Rezultati reciklaže raznih vrsta papira ovise o mnogim karakteristikama kao što su tiskarske boje, proces starenja, veličina i sastav papira.

Reciklažom papira čuvamo šume, ne dolazi do onečišćenja voda, štedi se energija i prirodni resursi te se smanjuje količina otpada na odlagalištima. Reciklažom papira postiže se smanjanje onečišćenja voda za 35% i manje onečišćenje zraka za 74%.

Papir se ne može reciklirati beskonačno tj., jedan list papira može se reciklirati 6-7 jer njegova vlakanca izgube svoja mehanička svojstva, tj. skraćuju se.

Postoje vrste papira koje se ne mogu, odnosno ne smiju reciklirati, a takvi papiri se smatraju opasnim otpadom te se spaljuju. To su uglavnom onečišćeni papiri iz bolnica, ambulanti, higijenski papiri, papiri koji su bili u kontaktu s kemikalijama i zauljeni papiri.

#### 2.4.1. Postupci recikliranja

Reciklaža papira podrazumijeva razne postupke. Postupci koji se koriste u reciklaži su: prikupljanje i sortiranje starog papira, razvlaknjivanje, grubo i fino prosijavanje, odbojavanje ili deinking flotacija, čišćenje, ispiranje, ugušćivanje i konzerviranje.

Sortiranje papira se događa već tijekom prikupljanja papira, koje je grubo, te se sortiranje mora ponoviti. Zbog raznih štetnih ili neželjenih čestica i elemenata u prikupljenom papiru koji mogu izazvati velika oštećenja strojeva, sortiranje se ponovno vrši ručno odnosno na pokretnoj traci.

Razvlaknjivanjem se izvlače pojedinačna vlakna iz strukture papira te se istovremeno i tiskarska boja odvaja u obliku čestica. Postupak razvlaknjivanja provodi se u uređajima zvanim pulperi (dezintegratori). Uz rotaciju propelera vodi se dodaju i razne kemikalije. Tijekom razvlaknjivanja kao kemikalije koriste se natrijev hidroksid koji uzrokuje bubrenje vlaknaca, vodikov peroksid za ravnotežno nastajanje kromofora iako on služi za bijeljenje, natrijev silikat radi stabilizacije okoliša, kelatinozna sredstva, površinske aktivne tvari i dr.

Pročišćivanjem se uklanjaju razne tvari kao što su metali, glina, smole te ostale neodgovarajuće tvari. Kao uređaji koriste se centrifugalni pročištači te se uz pomoć njih iz suspenzije vade neodgovarajuće tvari. U pulpu se dodaje voda, zatim se ta suspenzija podrgava centrifugalnom čišćenju. Tijekom postupka, čestice koje su veće od vlaknaca kreću se prema vani te se vade iz suspenzije. Pročišćivanjem se mogu ukloniti čestice vidljive golim okom, između 40-4000  $\mu\text{m}$ .

Postupkom prosijavanja se odvajaju nerazvlaknjene čestice odnosno čestice koje se veće od vlaknaca u suspenziji, primjerice razni adhezivi i slično. Kod postupka prosijavanja pulpa prolazi kroz sita te nečistoće ostaju na situ, a vlakanca prolaze kroz sito. Ako se čestice razgrade do iste veličine kao vlakna, one se kasnije mogu naći i u recikliranom papiru. Ipak, kako bi se spriječilo začepljenje sita tj. otvora u situ, danas se prosijavanje vrši pod pritiskom. Prosijavanjem pod pritiskom se iz pulpe uspješno uklanjaju veće čestice.

Flotacija je postupak odvajanja mješavina. Dok je u mješavini, zrak prelazi u mjehuriće te oni s određenim česticama koje su se na njih prihvatile, odlaze na površinu. Na površini se pojavljuju u obliku pjene te se oni odvajaju. Drugi naziv joj je pjenasta flotacija.

U komercijalne svrhe flotacije se pojavljuje početkom 20. Stoljeća, u Australiji. Postupak flotacije se sastoji od tri faze. Kod kolekcioniranja dodaje se kolektor koji uzrokuje privlačenje čestica koje trebaju isplivati sa hidrofobnom opnom. Nakon kolekcioniranja, slijedi kondicioniranje gdje dodajemo vodeno staklo koje omogućava da u pjenu uđu samo čestice boje. Istovremeno služi i kao dispergator mulja. Posljednja faza je tvorba pjene kod koje se kolekcionirane čestice prijanjaju na mjehuriće zraka. Kondicioniranje, kolekcioniranje i tvorba pjene se uz dodatak određenih tvari, u praksi odvijaju istovremeno.

Aglomeracijska flotacija je oblik flotacije te se koristi kada se čestice ne mogu ukloniti efikasno flotacijom, zbog njihove male veličine. Kod aglomeracijske flotacije u pilpu dodajemo razne mješavine ulja kako bi nastali aglomerati. Ti aglomerati bi se trebali normalno flotirati.

Deinking flotacija je postupak kod kojega se uklanjaju boje sa starih i otisnutih papira. Dobivaju se sekundarne sirovine koje se mogu ponovno koristiti. Deinking procesi zahtjevaju veliki trošak zbog uređaja za pročišćivanje otpadnih voda. Materijali koji se flotiraju deinking postupkom, se moraju u potpunosti riješiti vode. Ipak, deinking flotacijom ne dobivamo potpuno reciklirane papire. Uspješnost flotacije ovisi o ispunjavanju triju uvjeta za pojedinu česticu boje. To su: sudari čestica i mjehurića zraka, prihvaćanje čestica na mjehuriće zraka i uklanjanje mjehurića sa česticom boje. Na uspješnost flotacije utječu mnoge karakteristike a to su: svojstva čestica, svojstva

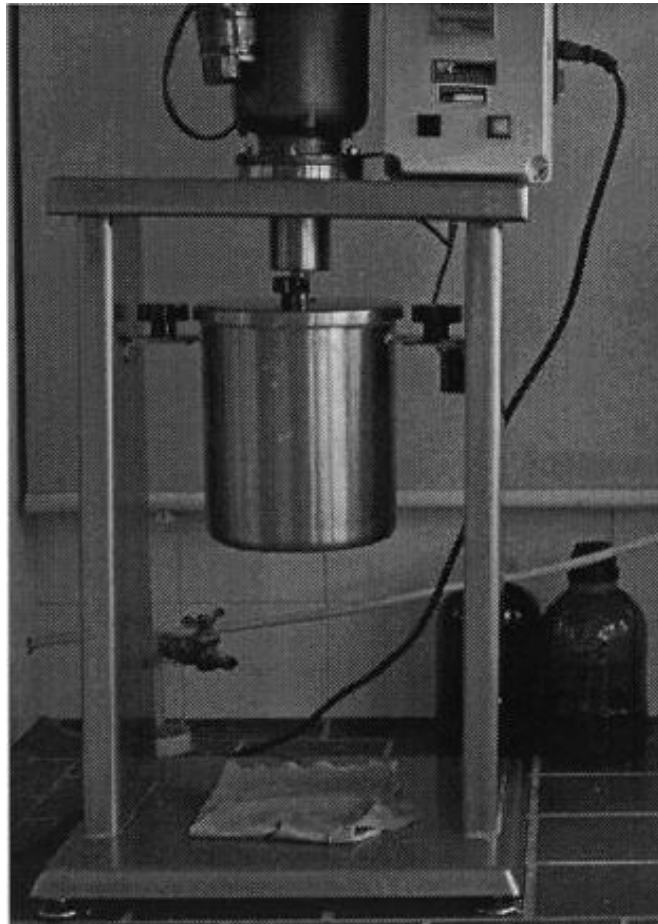
mjehurića, stupanj miješanja i procesni uvjeti. Postupkom slikovne analize se određuje uspješnost flotacije.

Posljednjim postupkom recikliranja papira, ispiranjem se uklanjaju veće čestice, čestice manje od 10 mikrometara te one čestice zaostale prilikom ispiranja boja. Za ispiranje postoje razni uređaji. Što su čestice sitnije i manje, ispiranje je uspješnije. Za ispiranje su potrebne velike količine vode što je nepovoljno za okoliš te je zbog spomenutog razloga postupak ispiranja zabranjeno u nekim zemljama. Korištena voda se mora pročistiti u uređajima za pročišćivanje od dodataka i kemikalija koje se koriste za flotaciju i izradu pulpe.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

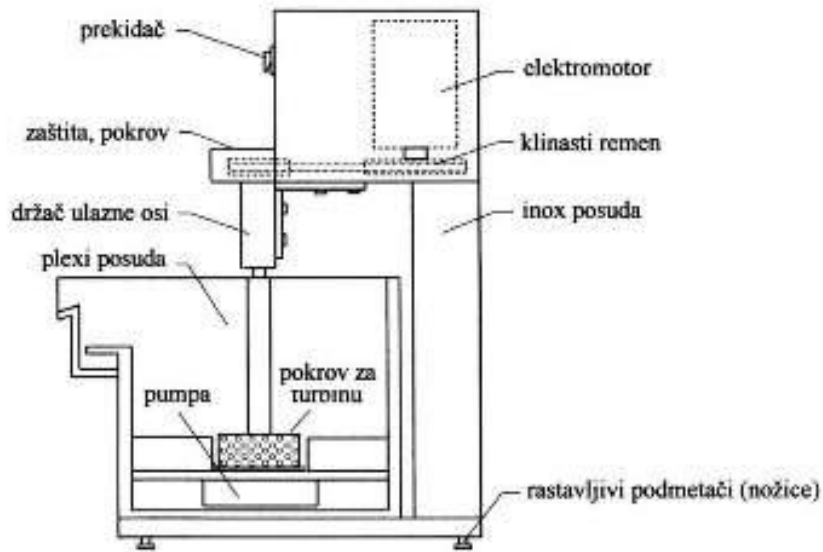
#### 3.1. Uređaji

Tijekom eksperimentalnog rada korišteni su slijedeći uređaji: denzitegrator, flotacijska ćelija, uređaj za automatsko formiranje lista, skener i računalo sa odgovarajućim software-om za potrebe slikovne analize te spektrofotometar.



*Slika 2: Denzitegrator*





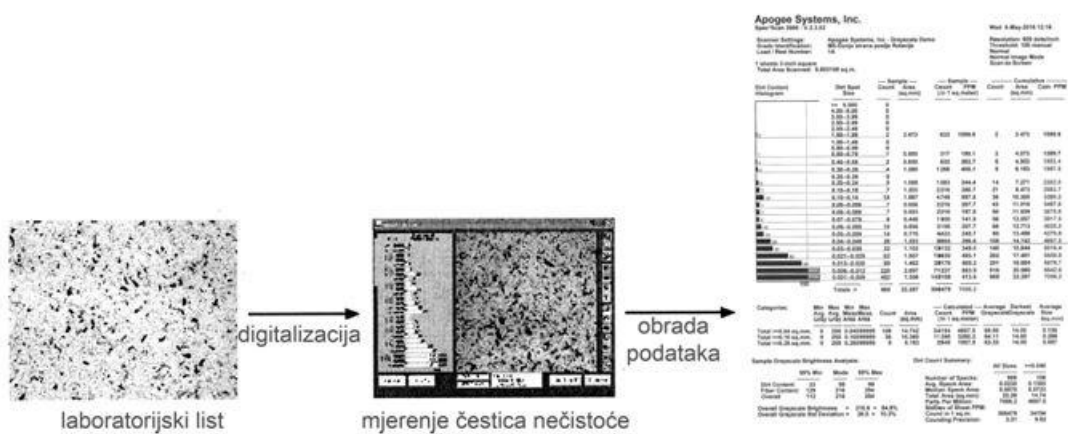
Slika 3: Flotacijska ćelija

Za formiranje listova papira korišten je uređaj Rapid Kotheen Handsheet Former.



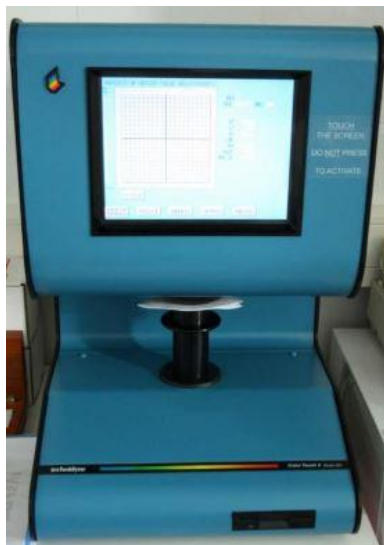
Slika 4: Uređaj za automatsko formiranje listova

Slikovna analiza je napravljena pomoću softwara Apogee Spec\*Scan te scanera Epson Perfection 2400 Photo.



Slika 5: Slikovna analiza

Optička svojstva recikliranih laboratorijskih listova određena su na spektrofotometru Technidyne Color Touch 2 prikazanom na Slici 6.



Slika 6: Spektrofotometar

### 3.2. Kemikalije

Za reciklažu papira koriste se razne kemikalije, ovisno o postupku kao npr., kemikalije za flotaciju, kemikalije za pročišćivanje vode, kemikalije za razvlaknjivanje, kemikalije za ispiranje itd. Kemikalije se moraju pravilno koristiti kako ne bi imale štetan ujecaj na okoliš. Kako bi reciklaža papira bila što uspješnija, moraju biti uravnotežene kemikalije tj., moramo paziti na koncentraciju, temperaturu te ostale uvjete postupka reciklaže. S druge strane, kemikalije doprinose očuvanju okoliša, tako da pomažu prilikom odvodnjavanja otpadnog mulja tijekom prešanja. Postoji mnogo kemikalija koje se koriste tijekom reciklaže papira, a za potrebe pisanja ovog rada korištene su:

- Natrijev hidroksid ( NaOH )
- Natrijev silikat ili vodeno staklo (  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  )
- Vodikov peroksid (  $\text{H}_2\text{O}_2$  )
- Flokutan te
- Aquasec.

### 3.3. Proces laboratorijskog recikliranja papira

Postupak laboratorijskog recikliranja papira prikazan je slici 9. Prije svega potrebno je stari papir usitniti na manje dijelove, u ovom slučaju 2x2 cm. Za provođenje eksperimenta uzeto je 88 g. U posudu sa usitnjenim i izvaganim papirom, dodaje se 2 litre vodovodne vode temperature  $50^{\circ}\text{C}$ . Dobivena smjesa se zatim stavlja u denzitegrator, u koji se dodaju i kemikalije.

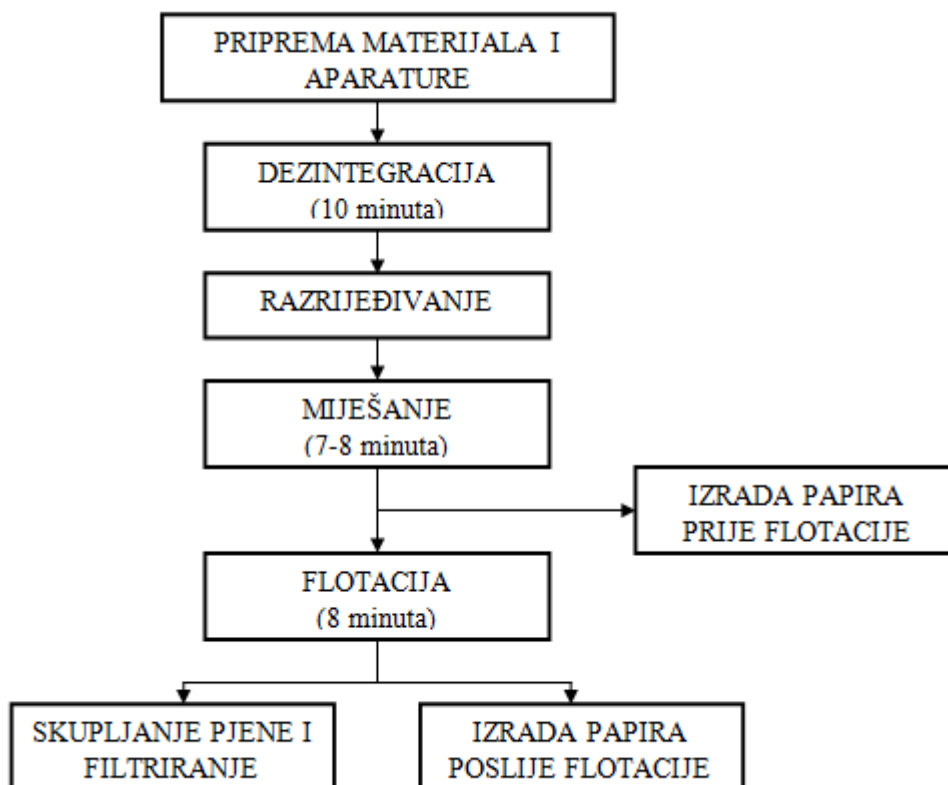
Kemikalije koje stavljamo u denzitegrator su: 0,053 mL Aquasechh-a, 0,51 mL natrij silikata, 1,54 mL 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 1,73 mL 5% NaOH i 0,3 mL 50% Flokutana. Proces koji se odvija u denzitegratoru naziva se denzitegracija koja traje 10 minuta, u ovom slučaju.

Nakon denzitegracije slijedi postupak razrijeđivanja smjese uz 10 litara vode temperature  $30^{\circ}\text{C}$ . Sve skupa se miješa u posudi za miješanje koje traje 7-8 minuta.

Nakon miješanja jedan dio smjese odnosno 1800 ml odlazi u uređaj za automatsko formiranje listova te u njemu dobivamo uzorke prije flotacije. Tijekom rada za dobivanje jednog uzorka u uređaj za dobivanje lista se stavlja 270 ml od odvojenih 1800 ml odvojene smjese. Načinjeni listovi prije flotacije imali su gramaturu 45 g/m<sup>2</sup>.

Preostali dio smjese nakon miješanja odlazi u flotacijsku ćeliju gdje se odvija proces flotacije u trajanju od 8 minuta te se za to vrijeme skuplja pjena. U pjenu se nalaze razne nečistoće koje se uklanjaju pomoću žlice i stavljaju u posebnu posudu. Pročišćena smjesa iz posude odlazi u uređaj za formiranje listova. Time dobivamo uzorke poslije flotacije. I takvi uzorci kao i uzorci prije flotacije su 45 g/m<sup>2</sup>.

Skupljena pjena koja je uklonjena iz flotacijske ćelije tijekom flotacije stavljena je u vakum pumpu, tj. u Buchnerov lijevak. Izdvojen je filter kolač u kojem su zaostale čestice nečistoća te filtrat.



Slika 7: Shematski prikaz reciklaže papira

### 3.4. Određivanje optičkih svojstava

Za mjerenje optičkih svojstava korišten je spektrofotometar. Korišteni su reciklirani uzorci dobiveni prije i poslije flotacije. Optička svojstva koja su mjerena za potrebe ovog rada su: svjetlina, opacitet, ERIC, bjelina papira i  $L^*a^*b$  vrijednosti iz kojih je izračunata razlika u boji ( $\Delta E$ ). Vrijednost  $L$  predstavlja bjelinu, „ $a$ “ predstavlja crvenu ili zelenu boju, a „ $b$ “ vrijednost žutu ili plavu boju.  $\Delta E$  se mjeri iz  $L^*a^*b$  vrijednosti, to je razlika u boji. Na kraju, rezultati su prikazani tablično.

### 3.5. Slikovna analiza

Za potrebe slikovne analize koriste se skener i računalo. Postupak prevođenja slike u digitalni oblik prikazan je na Slici 5. Za svaki uzorak, prije i poslije flotacije, obavljena su po tri mjerenja s gornje i s donje strane. Važno je da skeniranje uzoraka bude pravilno kako im rubovi ne bi ostali vidljivi. Na računalu, nakon skeniranja, je prikazana slika skeniranog dijela uzorka i rezultati prikazani u obliku histograma. Ono što nas za ovaj rad zanima su broj i površina čestica unutar određene kategorije.

#### 4. REZULTATI

Tabela 1. Rezultati slikovne analize laboratorijskih listova načinjenih od vlakana prije i poslije reciklaže otisaka dobivenih variranjem snage lasera u indirektnoj elektrofotografiji

	Snaga lasera 1 $\mu$ W/mA	Snaga lasera 3 $\mu$ W/mA	Snaga lasera 9 $\mu$ W/mA	Snaga lasera 12 $\mu$ W/mA
Broj čestica prije flotacije	736	670	628	643
Broj čestica poslije flotacije	593	513	475	529
Površina čestica prije flotacije mm <sup>2</sup>	88.862	98.699	96.702	120.307
Površina čestica poslije flotacije mm <sup>2</sup>	58.833	51.616	56.403	72.988
Broj čestica $\geq 0.04\text{mm}^2$ prije flotacije	123	149	123	140
Površina čestica $\geq 0.04\text{mm}^2$ prije flotacije	84.556	95.470	93.149	116.861
Broj čestica $\leq 0.04\text{mm}^2$ poslije flotacije	136	118	115	137
Površina čestica $\leq 0.04\text{mm}^2$ poslije flotacije	55,221	48.678	54.370	69.983
Broj čestica $\geq 5.0\text{mm}^2$ prije flotacije	2	3	3	5
Broj čestica $\geq 5\text{mm}^2$ poslije flotacije	1	0	1	1

Tabela 2. Rezultati slikovne analize laboratorijskih listova načinjenih od vlaknaca prije i poslije reciklaže otisaka dobivenih variranjem napona razvijačkog bubnja u indirektnoj elektrofotografiji

	Napon razvijačkog bubnja -200 V	Napon razvijačkog bubnja -280 V	Napon razvijačkog bubnja -350 V	Napon razvijačkog bubnja -430 V	Napon razvijačkog bubnja -500 V
Broj čestica prije flotacije	969	791	704	612	579
Broj čestica poslije flotacije	734	667	583	468	437
Površina čestica prije flotacije mm <sup>2</sup>	50.177	83,267	105.187	92.920	100.382
Površina čestica poslije flotacije mm <sup>2</sup>	40.822	52.022	55.320	44.433	56,482
Broj čestica $\geq 0.04\text{mm}^2$ prije flotacije	180	159	141	120	109
Površina čestica $\geq 0.04\text{mm}^2$ prije flotacije	44.594	78.375	102.138	89.515	97.078
Broj čestica $\leq 0.04\text{mm}^2$ poslije flotacije	132	152	131	82.	93
Površina čestica $\leq 0.04\text{mm}^2$ poslije flotacije	35.378	47.943	52.881	41.712	53.937
Broj čestica $\geq 0.5\text{mm}^2$ prije flotacije	0	2	4	3	5
Broj čestica $\geq 0.5\text{mm}^2$ poslije flotacije	0	0	1	0	1

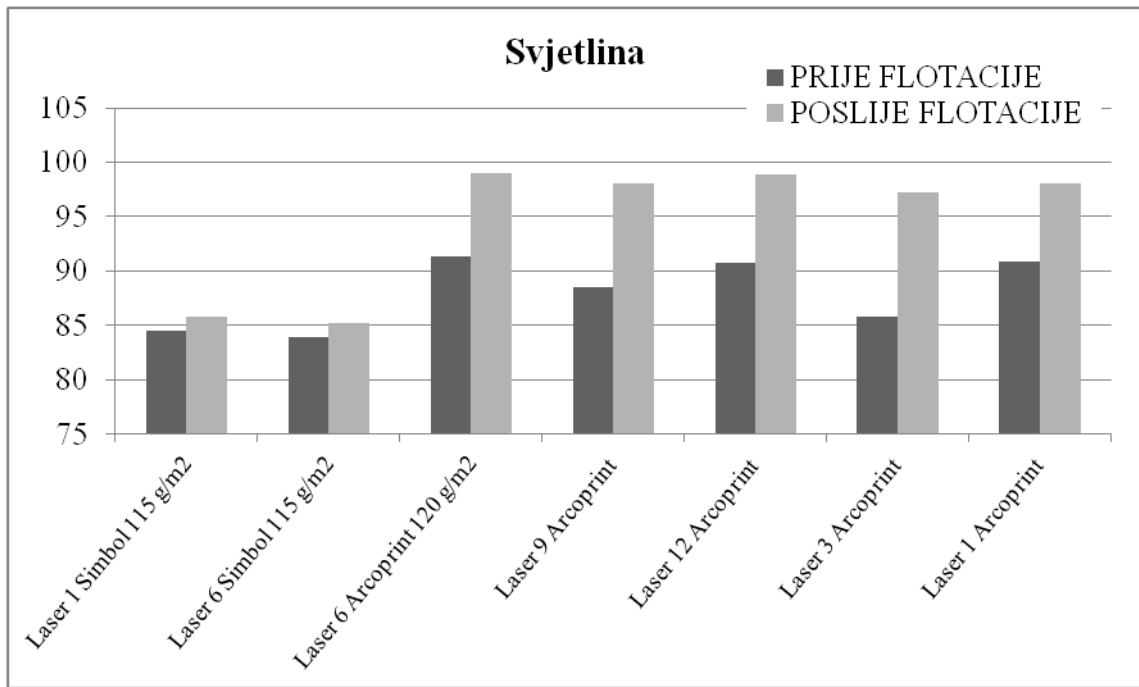
Tabela 3. Rezultati slikovne analize laboratorijskih listova načinjenih od vlaknaca prije i poslije reciklaže otisaka dobivenih variranjem napona povratnih valjaka u indirektnoj elektrofotografiji. Otisci za reciklažu su načinjeni na bezdrvnom nepremazanom papiru.

	Napon povratnih valjaka 0V	Napon povratnih valjaka -50V	Napon povratnih valjaka -125 V	Napon povratnih valjaka - 200V	Napon povratnih valjaka - 250V
Broj čestica prije flotacije	1155	820	767	665	613
Broj čestica poslije flotacije	284	189	132	107	113
Površina čestica prije flotacije mm <sup>2</sup>	6.201	10.131	94.010	107.660	115.283
Površina čestica poslije flotacije mm <sup>2</sup>	5.222	5.131	9.171	10.720	10.282
Broj čestica $\geq 0,04$ mm <sup>2</sup> prije flotacije	215	36	199	138	141
Broj čestica $\geq 0,04$ mm <sup>2</sup> poslije flotacije	21	19	47	45	28

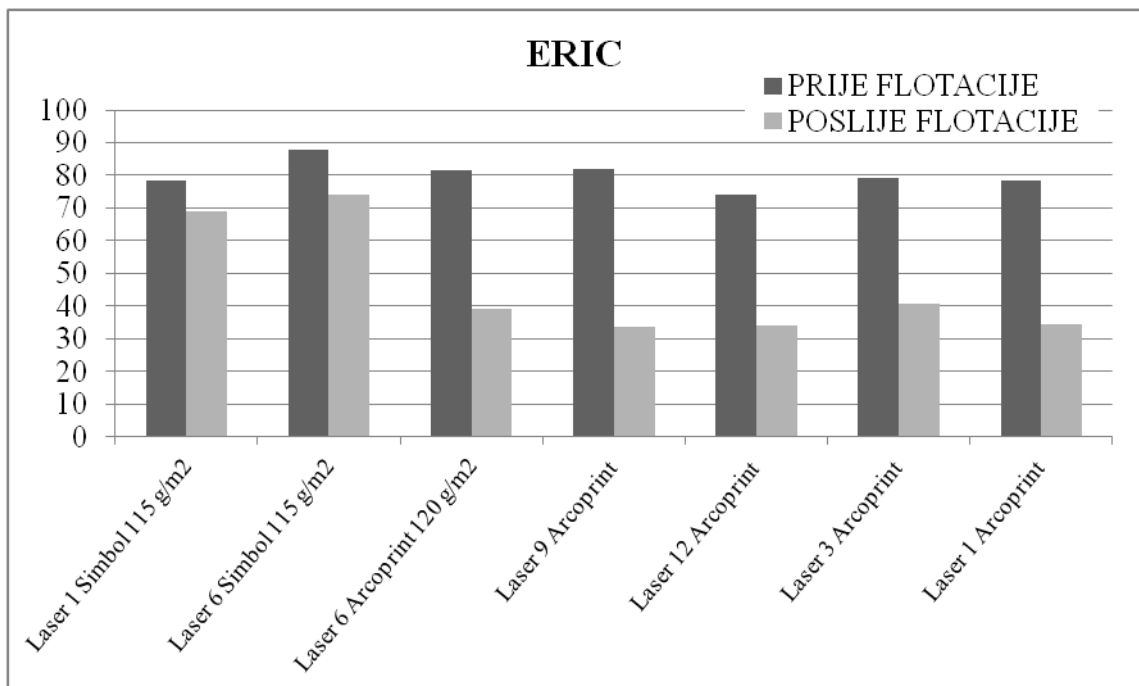


Tabela 4. Rezultati slikovne analize laboratorijskih listova načinjenih od vlaknaca prije i poslije reciklaže otisaka dobivenih variranjem napona povratnih valjaka u indirektnoj elektrofotografiji. Otisci za reciklažu su načinjeni na bezdrvnom papiru premazanom sa premazom SOHO

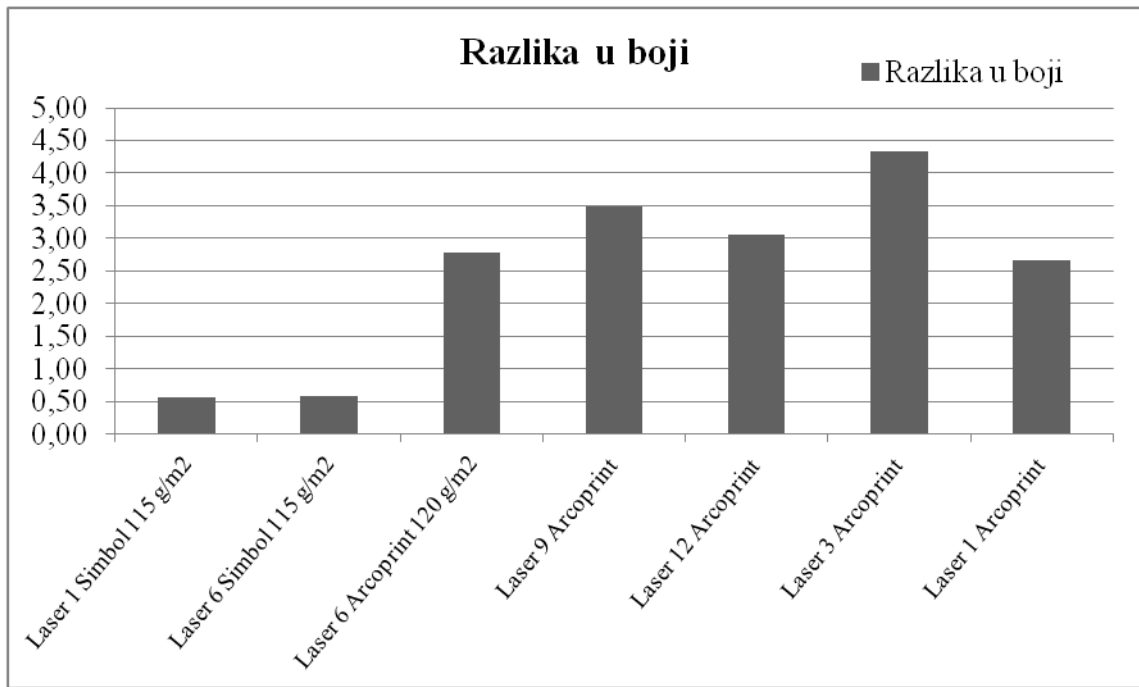
	Napon povratnih valjaka 0V	Napon povratnih valjaka -50V	Napon povratnih valjaka -125 V	Napon povratnih valjaka - 200V	Napon povratnih valjaka - 250V
Broj čestica prije flotacije	766	577	419	576	520
Broj čestica poslije flotacije	481	386	275	344	280
Površina čestica prije flotacije mm <sup>2</sup>	30.991	51.350	84.724	104.924	122.142
Površina čestica poslije flotacije mm <sup>2</sup>	23,382	8.741	19.503	61.431	63.231
Broj čestica $\geq 0,04$ mm <sup>2</sup> prije flotacije	127	104	90	109	119
Broj čestica $\geq 0,04$ mm <sup>2</sup> poslije flotacije	94	81	71	105	28



Slika 8: Svjetlina



Slika 9: ERIC



Slika 10: Razlika u boji

## 5. RASPRAVA

U tabeli 1 je prikazana efikasnosti reciklaže otisaka u funkciji povećanja snage lasera praćena slikovnom analizom. Prikazan je ukupan broj čestica na laboratorijskom listu izrađenom od vlaknaca prije i poslije flotacije. Iz rezultata je vidljivo da s povećanjem snage lasera u ispitivanom području od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$  do  $12\mu\text{W}/\text{mA}$  smanjuje se broj čestica, dok se površina koju te čestice zauzimaju na laboratorijskom listu povećava. Takav rezultat upućuje na zaključak da se povećanjem snage lasera povećava broj velikih čestica.

Obzirom da je slikovna analiza rađena u 26 klasa veličina od  $0,001-0,005\text{ mm}^2$  pa sve do  $\geq 5\text{ mm}^2$  ta pretpostavka je i dokazana. Rezultati pokazuju da 5 čestica koje nastaju pri snazi lasera od  $12\mu\text{W}/\text{mA}$  od ukupno 736, imaju ukupnu površinu od  $42,492\text{ mm}^2$ . Ukupna površina koju zauzimaju tih 736 čestica iznosi  $88,862\text{ mm}^2$ .

Obzirom da se uspješno flotirati mogu čestice od  $50-150\text{ }\mu\text{m}$ , to je zapreka dobrom uklanjanju čestica i kvalitetnoj sekundarnoj sirovini. Tako flotacijom otiska dobivenog kod napona  $1\mu\text{W}/\text{mA}$  ukupan broj čestica prije flotacije je 736, a poslije flotacije je 593, što znači da se flotacijom odstranilo ukupno 19,5 % čestica. Ukupna površina prekrivena česticama smanjila se od  $88,862\text{ mm}^2$  na  $58,833\text{ mm}^2$  što zapravo predstavlja smanjenje od 33,8%.

Broj čestica  $\geq 0,04\text{ mm}^2$  prije flotacije bio je 123, a nakon flotacije se povećao na 136. Povećanje broja čestica može upućivati na njihovu aglomeraciju, ali i na fragmentaciju, obzirom da se od ukupno dvije čestice  $\geq 5\text{ mm}^2$  prije flotacije, jedna od njih odstranila. Površina koju zauzimaju čestice veličine  $\geq 0,04\text{ mm}^2$  prije flotacije na laboratorijski izrađenom listu bila je prije flotacije  $84,556\text{ mm}^2$  da bi se nakon flotacije smanjila na  $55,221\text{ mm}^2$ , odnosno za 34,7%. Površina koju zauzimaju čestice  $\leq 0,04\text{ mm}^2$  prije flotacije iznosi  $4,306\text{ mm}^2$ .

Takovi rezultati mogu upućivati na optičku nehomogenost laboratorijski izrađenog lista od vlaknaca iz opisanog sustava, zato što su te čestice vidljive golim okom. Za taj list se može očekivati relativno dobra svjetlina, s obzirom na prisutnost čestica  $\leq 0,04\text{ mm}^2$ .

Reciklažom otiska načinjenog indirektnom elektrografijom s tekućim tonerom koristeći snagu lasera od  $3\mu\text{W}/\text{mA}$  pri tisku ukupan broj čestica prije flotacije iznosi 670, što je za 66 čestica manje nego kada je otisak rađen sa snagom lasera od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$ .

Reciklažom spomenutog otiska površina koju zauzimaju čestice na laboratorijskom listu povećala se za  $9.837\text{ mm}^2$  u odnosu na reciklirani otisak načinjen sa snagom lasera od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$ .

U ovom slučaju broj čestica  $\geq 0.04\text{ mm}^2$  povećao se za 26 u odnosu na otisak rađen sa snagom lasera od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$ . Površina koju zauzimaju čestice  $\geq 0.04\text{ mm}^2$  na laboratorijskom listu je veća za  $10.923\text{ mm}^2$  u odnosu na otisak rađen sa snagom lasera od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$ . Broj čestica  $\geq 5\text{ mm}^2$  se povećao, te kod ovog uzorka iznosi 3.

Rezultati koji slijede upućuju na efikasnost procesa reciklaže. Tako tim postupkom se smanjuje ukupni broj čestica za 23.1% što je u odnosu na otisak načinjen snagom lasera od  $1\mu\text{W}/\text{mA}$  povećanje od 3.8 %. Broj čestica  $\geq 0.04\text{ mm}^2$  flotacijom se smanjio se za 31, a sve 3 čestice  $\geq 5\text{ mm}^2$  su uklonjene.

Posebno treba naglasiti dobro uklanjanje čestica  $\geq 0.04\text{ mm}^2$  flotacijom, koje iznosi 49,1 %. Ovo ujedno predstavlja najbolju efikasnost flotacije za ovu seriju otisaka.

## 6. ZAKLJUČAK

Istraživanja efikasnosti reciklaže otisaka indirektna elektrofotografije s tekućim tonerom promatra se u odnosu na ključne faze procesa tiska . Tako rezultati istraživanja ukazuju na opravdanost takvog pristupa.

Rezultati serije u kojoj se promatra utjecaj snage lasera za vrijednosti  $1\mu\text{W}/\text{mA}$ ,  $3\mu\text{W}/\text{mA}$ ,  $9\mu\text{W}/\text{mA}$  i  $12\mu\text{W}/\text{mA}$  pokazuju osnovnu karakteristiku da povećanjem snage lasera dolazi do smanjenja broja čestica na listu načinjenom od vlaknaca iz procesa, te povećanje površine prekrivene česticama. Najbolje odstranjivanje čestica utvrđeno je kod otiska načinjenog pri snazi lasera od  $3\mu\text{W}/\text{mA}$ .

Optička svojstva dobivenih recikliranih listova papira se proučavaju i analiziraju postupkom slikovne analize te uz pomoć spektrofotometra.

## **7. LITERATURA**

1. Bolanča S.; Glavne tehnike tiska, Acta graphica, Zagreb, 1997.
2. Majnarić I.; Studija indirektne elektrografije, Doktorska disertacija, Zagreb 2007
3. Matošević M., Utjecaj ekstremnih nanosa electroinka na gamut kolorne reprodukcije; Diplomski rad, Zagreb, 2009
4. Dujmović T., Održivi grafički dizajn – dizajn za reciklaciju; Diplomski rad, Zagreb, 2011
5. Musić K., Utjecaj obnovljene sirovine u grafičkim bojilima na karakteristike recikliranih vlakanaca; Diplomski rad, Zagreb, 2007
6. <http://www.maturski.org/ZastitaZivotneSredine>, 02.09.2015
7. <http://recikliraj.hr/recikliranje-papira/>; 15.07.2015
8. [http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB\\_toneri.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_toneri.pdf); 17.07.2015