

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Filip Vučković



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

Nove tehnologije otiskivanja i reciklaža otisaka

Mentor:

izv.prof. dr. sc. Ivana Bolanča Mirković

Student:

Filip Vučković

Zagreb, 2019.

## SAŽETAK:

U završnom radu posebna pažnja posvećena je tehnikama tiska; elektrofotografija i *inkjet*. Spomenute tehnike spadaju u digitalne tehnike tiska, te će se u spomenutom radu istaknuti funkcionalne i ekološke prednosti digitalnog tiska u odnosu na konvencionalne tehnike. Završni rad također sadrži opisan proces reciklaže papira sa naglaskom na *deinking* flotaciju.

Za eksperimentalni dio rada korišteni su uzorci revija otisnuti na tiskarskom stroju Kodak Prosper 6000C, koji otiskuje *Stream inkjet* tehnologijom te su korištene boje na bazi vode. Nakon otiskivanja uzorci su podvrgnuti procesu ubrzanog starenja u uvjetima povišene temperature i relativne vlažnosti. U eksperimentalnom dijelu rada reciklirani su stareni i nestareni uzorci revija po INGEDE metodi 11, te su napravljeni laboratorijski listovi papira prije i poslije procesa alkalne *deinking* flotacije. Na laboratorijskim listovima karakterizirani određeni su optički parametri prije i nakon postupka *deinking* flotacije. Cilj rada je ispitati utjecaj starenja papira na učinkovitost procesa recikliranja na otiscima revija otisnutih digitalnom tehnikom tiska na tiskarskom stroju Kodak Prosper 6000C.

Ključne riječi: digitalni tisak, reciklaža, *deinking* flotacija, starenje papira.

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Digitalne tehnike tiska .....	2
2.2. Elektrofotografija .....	4
2.2.1. Elektrofotografija sa praškastim tonerima .....	7
2.2.2. Elektrofotografija sa tekućim tonerima .....	10
2.3. <i>Inkjet</i> .....	13
2.3.1. Kontinuirani <i>inkjet</i> .....	14
2.3.2. Kapljasti <i>inkjet</i> .....	16
2.3.3. Vrste bojila .....	20
2.4. CTP tehnologije u usporedbi sa digitalnim tiskom.....	21
2.5. Recikliranje papira .....	23
2.5.1. Proces recikliranja sa naglaskom na <i>deinking</i> flotaciju .....	24
2.5.2. Prednosti i nedostaci procesa reciklaže.....	25
2.5.3. Utjecaj starenja i vlage na proces recikliranja .....	26
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	27
3.1. Materijali i metode.....	27
3.1.1. Tiskovna podloga.....	27
3.1.2. Bojilo.....	27
3.1.3. Postupak ubrzanog starenja .....	27
3.1.4. Metoda <i>deinking</i> flotacije .....	28
3.3. Uređaji .....	29
3.3.1. Dezintegrator .....	29
3.3.2. Homogenizator .....	29
3.3.3. Flotacijska ćelija.....	29
3.3.4. Uređaj za automatsku izradu laboratorijskih listova .....	30
3.3.5. Spektrofotometar .....	32
3.3.6. Komora za ubrzano starenje.....	32
4. REZULTATI.....	33
4.1. Efektivna koncentracija bojila zaostalog u papiru (ERIC).....	33
4.2. ISO svjetlina.....	34
4.3. Bjelina papira .....	35

4.4. CIE $L^*$ .....	36
4.5. CIE $a^*$ .....	37
4.6. CIE $b^*$ .....	38
4.7. Opacitet .....	39
5. ZAKLJUČAK .....	40
6.LITERATURA.....	42
7. POPIS IZVORA SLIKA.....	43

## 1. UVOD

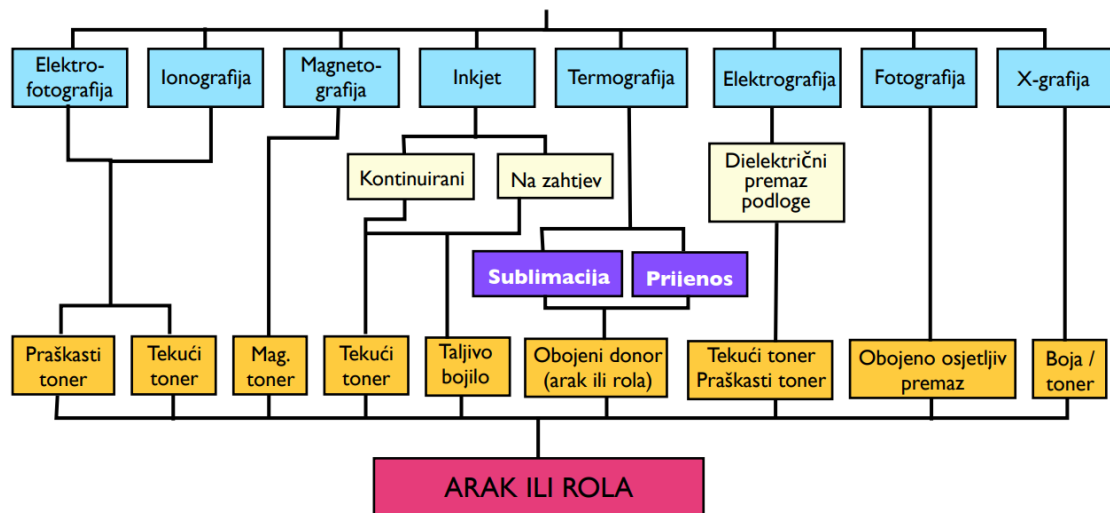
Tiskarstvo je djelatnost koja obuhvaća sve procese izrade tiskanog proizvoda, od grafičkog oblikovanja i pripreme za tisak, do samog otiskivanja i doradnih procesa potrebnih za određeni proizvod. Potreba za prijenosom informacija javlja se sa početkom stvaranja civilizacija, a prvi tekstovi i slike umnožavali su se ručnim prepisivanjem, odnosno precrtavanjem. Počeci tiskarstva vežu se za drvorez koji se pojavljuje u Kini i Japanu, te se smatra prvom tehnikom otiskivanja. Suvremeno tiskarstvo započinje 1440. godine Gutenbergovim izumom pokretnih slova i umnožavanjem knjiga na tiskarskom stroju, a tehnika otiskivanja je visoki tisak nazvana knjigotisak. Razvojem tehnologija razvijale su se i razne tehnike otiskivanja, sa ciljem što kvalitetnijeg otiska na širokoj paleti materijala, a pojavom računala tiskarstvo doživljava svoj najveći uspon. Ovaj završni rad dati će prilog o prednostima novih tehnologija otiskivanja u odnosu na konvencionalne tehnike, te o reciklaži otisaka dobivenih digitalnim tehnikama. Nove tehnologije idu u pravcu povećanja održivosti i postupak reciklaže samo je dodatni doprinos u tom smjeru. Opisati će se princip otiskivanja elektrofotografijom i *inkjet* tiskom, vrste boja koje se koriste, proces reciklaže papira, prednosti i nedostaci reciklaže, te utjecaj starenja i vlage na reciklažu. U eksperimentalnom dijelu ispitivati će se uzorci će se podvrgnuti postupku ubrzanog starenja, te kvaliteta dobivenih recikliranih vlakana nakon postupka kemijske *deinking* flotacije. Opisati će se i prikazati uređaji, te metode korištene u procesu reciklaže, ali i procesu određivanja optičkih karakteristika recikliranih vlakana. Rezultati mjerenja prikazati će se na slikama, te će o njima biti provedena rasprava i zaključak.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Digitalne tehnike tiska

Razvojem digitalnih tehnologija i njihovom implementacijom u grafičku industriju, javlja se pojam digitalni tisak, odnosno niz tehnika tiska usko vezanih uz računalo. Digitalizacija grafičke industrije započela je pojavom softvera za izradu pripreme, ali se s vremenom proširila na sve faze proizvodnje, od tiska i dorade, do isporuke naklade i komunikacije sa klijentima. Računala su omogućila unos, obradu teksta i slike, uz uključivanje tako obrađenih informacija izravno u tisak, ali i pripremu tiskovnih formi, te njihovu izradu putem CTP uređaja u konvencionalnim tehnikama. Informacije o grafičkom proizvodu su u digitalnom obliku, dostupne u svakom trenutku, mogu se modificirati i ponovo otiskivati u kratkom roku, što znači uštedu vremena i novca. Digitalni tisak se prvenstveno odnosi na sve tehnike koje u procesu otiskivanja ne koriste materijalnu, kao u konvencionalnim tehnikama tiska, već virtualnu tiskovnu formu, koja se generira za svako otiskivanje. Velika prednost je mogućnost personalizacije otiska, te jednaka cijena svakog otiska, jer izostaju troškovi izrade tiskovne forme, što čini male naklade povoljnijima, ali je to nedostatak kod većih naklada, jer cijena otiska ne pada porastom naklade, a moguće je i odstupanje u kvaliteti otiska. [1] Takve tehnologije nazivaju se *Computer to Print*, a budući ih karakterizira vrlo mala sila pritiska u dodirnoj zoni tiskovne forme i tiskovne podloge, ili ona u potpunosti izostaje, nazivaju se tehnologijama beskontaktnog tiska, tj. NIP tehnologijama, *Non Impact Printing*. U digitalne tehnike tiska ubrajaju se elektrografija, ionografija, magnetografija, termografija, fotografija, X-grafija, dok su najznačajniji i najrasprostranjeniji predstavnici elektrofotografija i *inkjet* (tintni pisač), što je prikazano na slici 1. Današnje tržište zahtijeva često ažuriranje tiskovnih sadržaja, kvalitetu istih, tisak na nestandardnim materijalima, kratko vrijeme realizacije naklade i ekonomsku isplativost kupcu, u čemu prednosti digitalnog tiska najviše dolaze do izražaja. Nekada su digitalni strojevi zbog svojih kapaciteta i tehnologije bili osuđeni na male naklade, međutim razvojem brzine računala i RIP softvera, novih materijala, te tonera i *inkjet* boja, povećana je kvaliteta i pouzdanost strojeva, istovremeno smanjujući troškove kupca. Dostupni su robusni, industrijski i visokoproduktivni digitalni strojevi, koji dostižu velike

naklade, otisak koji kvalitetom ne zaostaje za konvencionalnim tehnikama tiska, te zbog kvalitete izrade samih strojeva imaju veću trajnost. Napretkom tehnologije relativni troškovi konvencionalnog i digitalnog tiska konstantno se mijenjaju, digitalni tisak odgovara na većinu zahtjeva i pitanje je vremena kada će se i cijenom otiska u potpunosti približiti konvencionalnim tehnikama u velikim nakladama.



Slika 1: Podjela digitalnih tehnika tiska [1\*]

U širem smislu, u digitalne tehnike tiska se ubrajaju također i tehnologije digitalnog ispisa tiskovne forme, odnosno *Computer to Press* sustavi koji su u osnovi konvencionalni tiskarski strojevi opskrbljeni digitalnim uređajima za izradu standardne tiskovne forme unutar samog stroja, čime se skraćuje vrijeme pripreme tiskarskog stroja. Zatim, *Computer to Plate* sustavi u kojima računalo upravlja procesom izrade tiskovne forme, te se njome kasnije otiskuje konvencionalnim tehnikama, čime su izostali svi ekološki nepovoljni procesi izrade klasičnih tiskovnih formi. Takve tehnologije ne rješavaju problem personalizacije otiska, međutim djelomično se rješava brzom izmjenom formi i gradnjom hibridnih strojeva, koji imaju ugrađenu elektrofotografsku tiskovnu jedinicu. [2]



## 2.2. Elektrofotografija

Elektrofotografija je predstavnik *Computer to Print* tehnologije u tehnikama digitalnog tiska, bazirana na fizikalnoj pojavi fotoelektričnog efekta, koji je karakterističan za električki nevodljive ili slabo vodljive kristale i kristalizirane mase, kao što su kristalizirani selen, kristalizirani telur, kuprooksid, talijev sulfid, talijev oksid. Takvi kristali pod utjecajem jačeg intenziteta svjetlosti mijenjaju svoju strukturu, pri čemu se povećava električna provodljivost. Osnova procesa je fotoreceptor, čija je funkcija stvaranje virtualne tiskovne forme koja će se u fazi razvijanja postati vizualno vidljiva, tonerska slika. Specijalna bojila za elektrofotografiju nazivaju se toneri, te su oni uglavnom negativnog električnog potencijala i prihvaćaju se za pozitivne dijelove tiskovne forme. Proces otiskivanja vrlo je složen i izvodi se u šest faza:

1. Nabijanje tiskovne forme: osnovni proces svakog elektrofotografskog otiskivanja, odnosno stvaranje kontroliranog električnog potencijala na fotokonduktorskoj površini. Ovisno je li riječ o direktnoj ili indirektnoj elektrofotografiji, proces nabijanja može biti pozitivski ili negativski. Pozitivsko nabijanje je vrlo često kada nije potrebna visoka kvaliteta reprodukcije, kao u uredskim kopirnim strojevima i DTP laserskim printerima. Pri takvom nabijanju, fotokonduktorski bubanj, površina mu je premazana fotopoluvodičkim slojem čiji se otpor smanjuje laserskim osvjetljavanjem, rotira konstantnom brzinom, pri čemu se izlaže utjecaju korotrona; uređaja za pozitivsko nabijanje, izrađenih od tanke wolframove ili platinaste, pozlaćene žice, direktno spojene na napajanje. Negativsko nabijanje se koristi u elektrofotografskim strojevima II. generacije, koji rade indirektnim načinom otiskivanja, a podrazumijeva stvaranje negativnih nositelja naboja na površini fotokonduktora, premazanog OPC fotopoluvodičem čiji se otpor povećava laserskim osvjetljavanjem. Uređaji za takvo nabijanje zovu se skorotroni, čija je konstrukcija slična korotronske, a razlika je u skorotronske mrežici koja se nalazi na otvorenoj strani kućišta. Također postoji i kombinirano nabijanje, kojim je moguće formirati pozitivne i negativne nosioce naboja na površini fotokonduktora.

2. Osvjetljavanje tiskovne forme: proces u kojem se motiv projicira na fotokonduktor i pritom se naponi na njemu mijenjaju, najčešće neutraliziraju. Ovisno o izvršenom nabijanju površine fotokonduktora, potrebno je izvršiti odgovarajuće osvjetljavanje, uvjet za pozitivsko osvjetljavanje je prethodno negativski nabijena površina i obrnuto. Pri pozitivskom osvjetljavanju svjetlosti se izlažu budući tiskovni elementi, a intezitet laserskog zračenja moguće je modulirati i time je omogućen različit elektrostatski potencijal tiskovnih elemenata, koji omogućuje različitu gustoću obojenja u fazi razvijanja. Tiskovni elementi formirani na fotokonduktoru su vrlo mali, čime je osigurana dobra rasterska reprodukcija. Osnovu pozitivskih fotokonduktora čini aluminijska podloga na koju je nanosena pozitivno nabijena elektroda, iznad nje nanešen je sloj za akumuliranje naboja, te sloj za transfer naboja, a moguće i zaštitni sloj. Uvjet za negativsko osvjetljavanje je prethodno pozitivski nabijena fotoduktorska površina, čija je ukupna svjetlosna izloženost vrlo velika. Neosvijetljene tiskovne elemente nije moguće nijansirati, pa se takav način osvjetljavanja koristi za jednostavne reprodukcije. Negativski fotokonduktori jednostavnije su konstrukcije, a karakteriziraju ih tri osnovna dijela; pozitivno nabijena vanjska površina, srednji fotoosjetljivi sloj i uzemljena aluminijska podloga. Središnji prijenosni sloj ima presudnu ulogu u procesu stvaranja latentne slike, a ovisno o njegovom kemijskom sastavu razlikujemo dva tipa fotokonduktora; organske, te anorganske koji su u sve manjoj upotrebi, unatoč većoj mehaničkoj otpornosti, zbog temperaturne nestabilnosti koja utječe na neujednačenost boja. Ovisno o tehnologiji korištenoj u fazi neutralizacije fotokonduktorske površine, razlikuju se dva tipa uređaja za osvjetljavanje; ROS princip (*Raster Optical Scanners*), te suvremeni tipovi bazirani na LED tehnologiji.

3. Razvijanje tiskovne forme: proces nanošenja i prihvaćanja tonera na virtualnu tiskovnu formu da bi postala vidljiva tonerska slika. Toneri su uglavnom negativnog elektropotencijala, pa se prihvaćaju za pozitivnije dijelove tiskovne forme, a mogu biti praškasti, u 80% slučajeva i tekući, te je njihovom agregatnom stanju prilagođena konstrukcija elektrofotografskog stroja. (Više o procesu razvijanja u poglavljima 2.2.1. i 2.2.2.)

4. Prenos tonera na tiskovnu podlogu: motiv se prenosi na tiskovnu podlogu direktnim ili indirektnim transferom. Pri direktnom otiskivanju fotokonduktor dolazi u izravni kontakt sa tiskovnom podlogom, a da bi se postiglo prijenos tonera na istu, ugrađuju se transferni uređaji koji generiraju pozitivno nabijene ione, čiji je potencijal uvijek suprotnog predznaka od potencijala korištenog tonera. Po konstrukciji se razlikuju dva tipa transfernih uređaja; transferne korone i transferne valjke. Transfernom koronom omogućen je beskontaktni prijenos tonera, međutim prenaša se samo površinski sloj tonera, te se veći nanos ostvaruje mehaničkim dodiranjem fotokonduktora, tonera i tiskovne podloge, čime jača elektrostatsko polje između tonera i korone. Transferni valjak građen je od metalne vodljive jezgre presvučene električki provodljivom gumom i smješten je uz fotokonduktor, čime je ostvaren kontakt istog sa tiskovnom podlogom. Ujednačenost kvalitete otiskivanja postiže se spajanjem valjka na dodatno napajanje, čime se postiže mogućnost regulacije jačine elektrostatskog polja. Kod indirektnog otiskivanja ne postoji izravan kontakt tiskovne podloge i fotokonduktora, već se otiskivanje vrši pomoću prijenosnog medija, u obliku beskonačnog remena ili navlaka na prijenosnom cilindru. Za uspješnost procesa potrebno je prvo nanijeti toner na površinu prijenosnog medija, zatim i osigurati prijenos sa istog na tiskovnu podlogu.

5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi: proces dodatnog vezanja čestica tonera za tiskovnu podlogu. Pri dodiru tiskovne podloge i čestica tonera dolazi do međusobnog privlačenja elektrostatskim silama, ali i sa međumolekularnim Van der Waalsovima silama. Privlačenje čestica tonera i celuloznih vlaknaca nije ujednačeno, samo se niži slojevi nanesenog tonera mogu kvalitetno vezati za podlogu, pa većina tonera ostaje nestabilna i sklona otiranju. Zbog toga je potrebno dodatno fiksiranje, omogućeno posebnim uređajima, fuzerima. Postoje različiti tipovi jedinica za fuziranje; najčešće fuziraju zračenjem ili tehnikom uprešavanja, dok suvremeni uređaji koriste tehnologiju toplog fuziranja. Hladno fuziranje, ne zagrijava tiskovnu podlogu i omogućuje visoku kvalitetu otiskivanja, nije u upotrebi iz ekoloških razloga. Alternativno fiksiranje vrši se laserom, mikrovalovima, ili vodenom parom, ali njihova efikasnost nije ispitana u dovoljnoj mjeri, pa nisu u komercijalnoj upotrebi.

6. Čišćenje tiskovne forme od ostatka tonera: priprema površine fotokonduktora za novi ciklus otiskivanja. Nakon fiksiranja tonera na tiskovnoj podlozi, na površini fotokonduktora zaostaje napon virtualne tiskovne forme i neprenesene tonerske čestice. Čišćenje se izvodi u dvije faze; brisanjem napona virtualne tiskovne forme, zatim skidanjem ostatka tonera sa fotokonduktora.

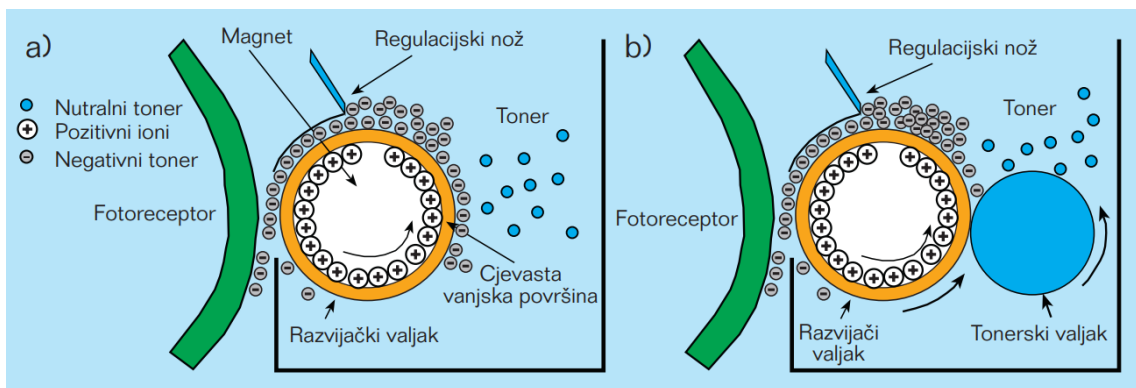
Razlikuju se dva osnovna tipa elektrofotografskog procesa otiskivanja, ovisno o agregatnom stanju tonera koji se koristi u procesu; sa praškastim tonerom (kserografija) i sa tekućim tonerom.

### **2.2.1. Elektrofotografija sa praškastim tonerima**

Elektrofotografija sa praškastim tonerima naziva se još i kserografija, budući su najveći pomaci u tom području napravljeni od tvrtke Xerox. Praškasti toneri većinom se proizvode procesom toplinskog brušenja, pri čemu čestice tonera dobiva nepravilan oblik, a modernija metoda je direktna kemijska sinteza kojom se dobivaju kuglaste čestice ujednačenih promjera. Veličina čestica im je između 6 i 35  $\mu\text{m}$ , a debljina sloja tonera na papiru, poslije fiksiranja je od 5 do 10  $\mu\text{m}$  po boji.

Kserografija se u odnosu na elektrofotografiju sa tekućim tonerima razlikuje u nekim procesima formiranja otiska, među ostalim razlika je u procesu razvijanja tiskovne forme. Sastav tonera utječe na sustav razvijanja, pa postoje jednokomponentni razvijački sustavi koji se primjenjuju kod strojeva koji negativno nabijaju fotokonduktorsku površinu i dvokomponentne razvijačke sustave kod visokoproduktivnih elektrofotografskih strojeva. Jednokomponentno razvijanje se može odvijati na dva načina; razvijačkom jedinicom koja sadrži razvijački valjak sa permanentnim magnetom, te razvijačkom jedinicom koja sadrži razvijački valjak i tonerski valjak, što je prikazano na slici 2. Sustavi su konstrukcijski slični, jer posjeduju toner, razvijački valjak i regulacijski nož, a razlika im je u načinu provođenja trenja kojim se stvara pozitivan naboj na površini razvijačkog valjka. Tako formiran naboj privlači negativno nabijene čestice tonera, a željeni nanos tonera regulira se razmakom regulacijskog noža

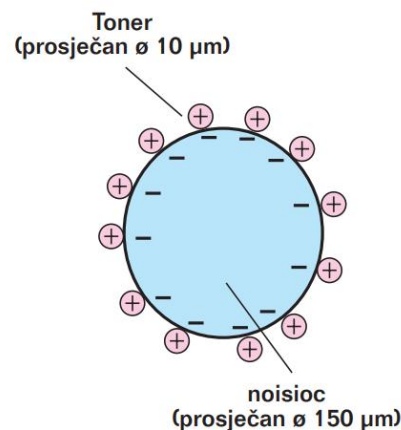
u odnosu na razvijački valjak. Prijelaz čestica tonera, sa razvijačkog valjka na tiskovne elemente virtualne tiskovne forme, omogućen je privlačnim elektrostatskim poljem između čestica tonera i tiskovnih elemenata fotokonduktora. Jednokomponentni toneri sastoje se od poliesterske stiren-akrilne smole (50%) i magnetizirajućeg željeznog pigmenta (50%), a na samom kraju proizvodnog procesa premazuje se električno provodljivim ugljikom. Presudnu ulogu u procesu razvijanja tonera ima termoplastična smola koja se zagrijavanjem brzo tali, odnosno hlađenjem brzo skrućuje.



Slika 2: Principi rada razvijačkih jedinica na bazi jednokomponentnog tonera: a) razvijački valjak s permanentnim magnetom, b) razvijački valjak i tonerski valjak [2\*]

Dvokomponentno razvijanje karakteristično je po dvokomponentnom toneru (Slika 3), poznatom pod nazivom razvijač, koji je smjesa magnetskih nosećih čestica i tonerskih čestica. Nositelji tonera građeni su od magnetizirajućih metala; željezo ili čelik, nepravilnog sfernog oblika i za vrijeme procesa razvijanja sudaraju se sa česticama tonera, te njihovo trenje uzrokuje triboelektrično nabijanje. U početku kserografije, veličina čestica nosioca tonera bila je između 150 i 300  $\mu\text{m}$ , dok se danas kreće oko 120  $\mu\text{m}$ . Proces razvijanja dvokomponentnih tonera je složen i može se odvijati na više načina, ako se proučava konstrukcija razvijačke jedinice. Razvijanje magnetskom četkom bazirano je na statičkim magnetima smještenim unutar valjka, razvijačka jedinica sa dva razvijačka valjka kod visokokvalitetnih strojeva i *TonerJump* jedinica za razvijanje za visoku produkciju u kojoj se konstantno kontrolira potrošnja tonera.

U beskontaktnom razvijanju toner se kreće kroz zrak u kojem djeluje odgovarajući elektrostatski potencijal, održavan dodatnim uređajem za napajanje koji distribuira izmjeničnu struju. Sprječavanje unosa većeg broja čestica nositelja na površinu fotokonduktora odvija se posredstvom posebnog valjka koji je u kontaktu sa razvijачkim, te se neiskorištene čestice sabiru i vraćaju u jedinicu za miješanje. Neiskorištena dvokomponentna mješavina eliminira se pomoću magnetskog valjka za čišćenje i time u potpunosti čisti površinu razvijачkog valjka. Da ne bi došlo do neujednačene koncentracije čestica tonera u razvijачkoj jedinici odvija se bočno razribavanje spiralnim valjkom. Zastupljenost tonera u razvijачu je od 0,5 do 4%, a čestice tonera su vrlo sitne, promjera između 5 i 15  $\mu\text{m}$ . Toner u sebi sadrži; smole, nosioce obojenja, sredstva za kontrolu naboja i dodatke, sa time da su smole najzastupljenije (80-90%), zatim slijede pigmenti (5-15%), sredstva za kontrolu naboja (1-3%) i dodaci. Proizvodnja tonera se odvija u pet faza kako slijedi polimerizacija i/ili polikondenzacija, miješanja komponenata, dezintegracija, klasifikacija čestica i formiranje proizvoda.



Slika 3: Prikaz dvokomponentnog tonera [2\*]

Osim u procesu razvijanja, razlike praškastog i tekućeg tonera postoje u indirektnom transferu tonera na tiskovnu podlogu. Pri indirektnom transferu praškastih tonera koristi se silikonski beskonačni remen, koji je građen od dva sloja; gumiranog platna (osnovni noseći sloj) i silikonskog sloja (površinski sloj debljine 50  $\mu\text{m}$ ). Transfer je moguć ako su adhezijske sile prijenosnog medija

jače od privlačnih elektrostatskih sila fotokonduktora, koje se smanjuju osvjetljavanjem definiranom svjetlošću, a tom prilikom se i toner neutralizira. Kvaliteta transfera, iznad 95%, postiže se većom pritiskom silom između fotokonduktora i transfernog remena, te smanjenjem nanosa tonera na fotokonduktoru. Toner se na silikonskom remenu izlaže temperaturi od 165°C, pri čemu mijenja svoje agregatno stanje u pastu, a da ne dolazi do gubitka topline tiskovna podloga se zagrijava na temperature između 80 i 100°C. Rastaljeni toner se snažnim pritiskom uprešava u podlogu, gdje se fiksira skrućivanjem, a uspješnost prijenosa sa transfernog remena provodi se sa efikasnošću od 99%. Ostaci tonera i papirne prašine sa transfernog remena uklanjaju se u jedinici za čišćenje, te su dobiveni otisci u potpunosti suhi, pa nije potreba dodatna faza fiksiranja.

Neprenesene čestice tonera sa tonerske slike na tiskovnu podlogu ostaju zadržane na površini fotokonduktora djelovanjem slabog elektrostatskog polja, a za lakše otklanjanje koristi se djelovanje svjetlosnih izvora; fluorescentne i neonske lampe, bljeskalice, LED rasvjeta. Tijekom osvjetljavanja dolazi do neutralizacije kompletne površine i nestaje jako elektrostatsko polje, a sličan učinak moguće je postići djelovanjem korotrona napajanog izmjeničnom strujom. Nakon brisanja elektrostatskog polja, čestice tonera mehanički se čiste na tri načina; elastičnim nožem, mekanom ili magnetskom četkom.

### **2.2.2. Elektrofotografija sa tekućim tonerima**

Mnogo rjeđi princip otiskivanja u odnosu na elektrofotografiju sa praškastim tonerima. Najveće pomake u razvoju takvog procesa otiskivanja napravile su tvrtke Mitsubishi i HP Indigo, te ga i danas unapređuju. Tekući toneri sastoje se od tekućeg nosioca u kojemu su raspršeni negativno nabijeni pigmenti, veličine između 1 i 3  $\mu\text{m}$ , a sustave koji koriste tekući toner karakterizira fotokonduktor građen od amornog silikona. Fotokonduktor se nabija negativskim postupkom i osvjetljava laserskim sustavom koji proizvodi više laserskih zraka, te se na tako formiranu virtualnu tiskovnu formu nanosi tekuće bojilo i pritom se koristi permanentno pozitivno nabijen valjak. Tekući toner ili *ElectroInk*, u osnovi je

emulzija tri komponente; monomerne pigmentne paste (5%), lako hlapljivog mineralnog ulja (94%) te agensa za povećanje električne provodljivosti (1%).

U fazi razvijanja potrebno je pigmentne čestice odvojiti od tekućeg nosioca i to se odvija istisnim valjkom, koji reducira količinu tekućeg bojila na fotokonduktoru, čime je stvoren tanki nanos na tiskovnim elementima. Pri takvom transferu tekući nosioci se moraju u potpunosti eliminirati sa površine fotokonduktora, pa je proces potpomognut kontroliranim naponom i toplinom. Direktnim se pritiskom postiže otisak, kvalitetniji u odnosu na ostale elektrofotografske sustave, koji suši penetracijom i evaporacijom. Prvi takvi strojevi imali su samo jedan uređaj za razvijanje satelitske konstrukcije, a zbog učestalih kontaminacija bojila, zamijenjen je BID konstrukcijom (*Binary Ink Developer*) koja sadrži do 7 odvojenih uređaja za nanašanje i razvijanje tonera. Pojedinačne BID jedinice su selektivno pokretljive, te u trenutku razvijanja dolaze u kontakt sa površinom fotokonduktora, a po završetku se vraćaju u početni položaj. Kada se određena jedinica aktivira, prvo izvlači bojilo V elektrodom od -1500 V iz spremnika, a zatim ga dovodi do razvijačkog valjka koji je pod permanentnim naponom od -500 V, čime se ostvaruje jednoliki nanos *ElectroInka* u debljini od 13  $\mu\text{m}$ . U tom trenutku udio pigmenta u bojilu je oko 13%, te se povećava djelovanjem istisnog valjka, koji smanjuje količinu mineralnog ulja na razvijačkom valjku, do krajnjih 24%. Pri kontaktu razvijačkog valjka i fotokonduktora, tiskovni elementi na virtualnoj formi privlače čestice *ElectroInka* i pritom se formira tonerska slika sa debljinom nanosa od 6  $\mu\text{m}$ . Nakon ostvarenog transfera, sav preostali *ElectroInk* na površini razvijačkog valjka je suvišan, a čišćenje se provodi pomoću valjka za čišćenje koji je pod permanentnim naponom od -250 V. Uz to, valjak je konstantno vlažen mineralnim uljem, koje se nanaša spužvastim valjkom, te se zajedno sa otopljenim česticama *ElectroInka* skida poliuretanskim rakelom i vraća nazad u spremnik.

Između praškastog i tekućeg tonera, postoji i razlika u indirektnom transferu tonera na tiskovnu podlogu. Elektrofotografski strojevi koji koriste tekuće bojilo izvode transfer pomoću centralnog ofsetnog cilindra, čiju konstrukciju karakteriziraju dva osnovna dijela; grijač i vanjska površina cilindra spojena sa napajanjem. Na ofsetnom cilindru koji se zagrijava, formira se permanentni

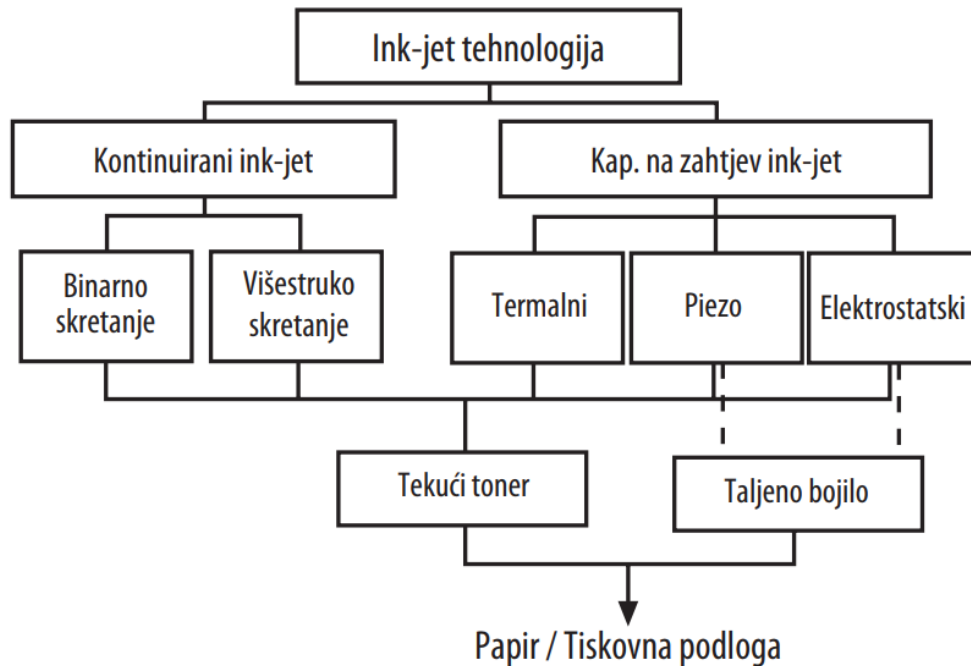


pozitivni napon, koji osigurava dobar transfer sa fotokonduktora na ofsetni cilindar. Na njegovu vanjsku površinu montirana je gumena navlaka koja omogućava; prihvaćanje *ElectroInka* sa fotokonduktora, promjenu viskoziteta *ElectroInka* i transfer *ElectroInka* na tiskovnu podlogu. Gumena navlaka, da bi zadovoljila navede uvjete, mora biti električki provodljiva, otporna na visoke temperature i kompresibilna. Proces prenašanja bojila započinje osvjetljavanjem PTE lampom (*Pre Transfer Erase*), koja neutralizira površinu fotokonduktora, čime se omogućava prijenos negativno nabijenih bojila na pozitivno nabijen prijenosni cilindar. Pri izvođenju prvog transfera, tekući *ElectroInk* je u kontaktu sa zagrijanom gumenom navlakom, te tekući nosilac evaporira i u vrlo kratkom roku bojilo iz tekućeg stanja prelazi u pastozno. Transfer mora biti izveden sa efikasnošću od 99,9%, zbog satelitske konstrukcije sustava, budući se jedna navlaka koristi za tisak svih instaliranih bojila. Ovisno o vrsti tiskovne podloge i stanja ofsetne navlake, udio tekućeg nosioca može se regulirati promjenom temperature ofsetnog cilindra između 125 i 145°C. Pri izvođenju drugog transfera, sa prijenosnog cilindra na tiskovnu podlogu, *ElectroInk* se dovodi u izravni kontakt sa tiskovnom podlogom, te se formira tanki uljni sloj između čestica pigmenata i gumene navlake. Čestice tonera će se uprešati u hladnu tiskovnu podlogu, dok će ostaci uljnog sloja u potpunosti evaporirati.

Čišćenje započinje svjetlosno neutralizacijom, kao i kod praškastih tonera, a pri mehaničkom skidanju koristi se posebno konstruirana jedinica za čišćenje koja se sastoji od; kućišta, mlaznica za nanašanje tekućeg nosioca, spužvastog valjka, valjka za cijedenje i poliuretanskog noža. Zapčinje prskanjem tekućeg nosioca na spužvasti valjak, koji je u izravnom kontaktu sa fotokonduktorom, te ga jednolično vlaži. Ostaci *ElectroInka* se potpuno razrijede dodatkom tekućeg nosioca, te se on zajedno sa otopljenim ostacima *ElectroInka* lako skida sa poliuretanskim nožem. [3]

### 2.3. Inkjet

Uz elektrofotografiju, *inkjet* je najčešći i najrasprostranjeniji sustav *Computer to Print* tehnologije i smatra se pravim beskontaktnim tiskom. Značenje naziva tehnologije govori o načinu ispisa (*ink*-bojilo, *jet*-mlaz); princip je baziran na likvidnom bojilu koje selektivno prolazi kroz niz uskih mlaznica, formirajući kapljice koje udaraju na tiskovnu podlogu, stoga nije potrebna tiskovna forma. Sa obzirom na način na koji se dobiva otisak, *Inkjet* tehnologija razvija se u dva smjera: kontinuirani i kapljasti, odnosno na zahtjev (*Drop On Demand*), što je prikazano na slici 4. Kontinuirani može raditi na dva principa; binarno skretanje i višestruko skretanje kapljica boje, a kapljasti na tri; termalni, piezo i elektrostatski. (Više o principima u poglavljima 2.3.1. i 2.3.2.) Svi principi uglavnom koriste tekuće bojila, dok se kod elektrostatske i piezo tehnologije mogu koristiti i gušća taljiva bojila. Zbog raznovrsnosti tehnologija nastajanja otiska i korištenih vrsta bojila moguće je otiskivati na različite materijale, a mogu se koristiti i podloge osjetljivije na temperaturu, kao PE i PVC folije, jer se ne upotrebljavaju visoke temperature kao u elektrofotografiji. Tisak velikih formata, brzina otiskivanja, fotografska kvaliteta ispisivanja, tisak na raznim oblicima, jednostavna formulacija bojila i kratko vrijeme sušenja, a i ekološka prihvatljivost istih, sve su prednosti *inkjet* tehnologije. Sve spomenute varijable moraju se uzeti u obzir za dosljednu i ujednačenu kvalitetu otiska. Postoje razlike u *inkjet* sustavima velike brzine tiska, koji najčešće rade s jednom bojom i sustava koji postižu visoku kvalitetu otiska, kao kontrolni probni otisak. Pisači manjih formata (A4, A3) koriste se za urede, kućnu uporabu ili stolno izdavaštvo, a često i za tisak visokokvalitetnih fotografija manjeg formata, zahvaljujući digitalnoj fotografiji. Za tisak velikih formata poput plakata, postera i oglasnih panoa koriste se pisači većih dimenzija, najčešće širine otiska 135 cm, međutim postoje i sustavi koji mogu tiskati do 8 metara širine i takvi sustavi omogućuju tisak na materijalima poput tekstila, a pomoću odgovarajućih bojila i na plastične folije za plakate, cerade i slično. [4]



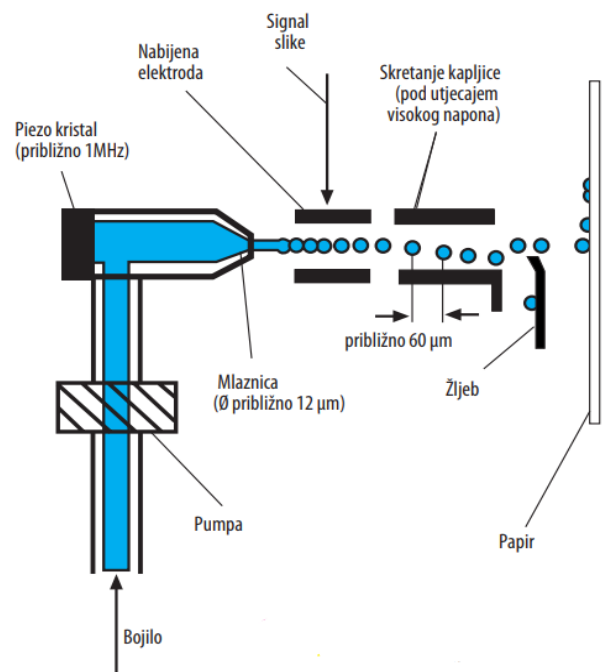
Slika 4: Podjela *inkjet* tehnologije [3\*]

### 2.3.1. Kontinuirani *inkjet*

Kontinuirani *inkjet* je jedna od najfleksibilnijih tehnologija otiskivanja, a otisak nastaje pogađanjem tiskovne podloge sitnim kapljicama brzosušeće tinte. Naziv "kontinuirani" dolazi iz razloga što tinta neprekidno cirkulira kroz mlaznicu prema tiskovnoj podlozi, dok dio skreće u povratnu cijev i vraća se u uređaj, te se time sprječava sušenje tinte na mlaznici i njena blokada. Za ovu tehnologiju razvijene su posebne tinte prilagođene tiskovnoj podlozi i procesu otiskivanja, također i termokromatske tinte koje mijenjaju boju termičkom obradom. Princip otiskivanja (Slika 5) temelji se na stvaranju visokofrekventnog niza kapljica od 1 MHz, stvara se mlaz boje s efektima dinamike visokofrekventnom pobudom piezo oscilatora, koji se kasnije dijeli na kapljice boje. Tekući se pod tlakom tlači kroz mlaznice, a veličina kapljice i interval ispuštanja ovisi o promjeru mlaznice, frekvenciji pobudi, te viskozitetu i površinskoj napetosti boje. Prije odvajanja od mlaza boje, kapljice se elektronički nabijaju pomoću elektrode u skladu sa željenim motivom koji se ispisuje. Nabijene kapljice, uz pomoć reflektora, pod utjecajem visokog napona mijenjaju smjer i ubacuju se u odvodni kanal pomoću žlijeba, a nenabijene

kapljice padaju na površinu tiskovne podloge. Karakteristike kontinuiranog *inkjeta* su: frekvencija kapanja od 1 MHz, volumen kapljica od 4 pl, promjer kapljica od 20  $\mu\text{m}$ , brzina kapljica od 40 m/s.

Tipovi takvih sustava su *Hertzov* i *Mikrodotov inkjet*. Osim spomenutih postoje i jednobitni kontinuirani *inkjet* kod kojeg postoji nabijeno i nenabijeno stanje te oblik višebitnog *inkjeta*, kod kojeg se kapljice mogu nabijati različitom jačinom naboja. Mlaz boje kod višebitnog *inkjeta* može se reproducirati u šesnaest različitih pozicija, čime se postiže otiskivanje linije debljine 10 mm u jednom prolazu. Postoji mogućnost pisanja po neravnim površinama, budući ne postoji kontakt između glave za pisanje i tiskovne podloge. Dodavanje potrošnog materija ne uzrokuje zastoje procesa otiskivanja, oprema je vrlo pouzdana i nema mehaničkih dijelova koji se troše s vremenom. Brzine pisanja vrlo su velike, mogu se pisati serijski brojevi, datumi, odnosno promjenjivi podaci. Takvo označavanje je relativno niske razlučivosti, oko 300 dpi. U bojilu se koriste organska otapala radi kraćeg vremena sušenja. Uz osiguranje svih uvjeta zaštite na radu, tehnologija je sigurna i zadržati će se na tržištu. [5]



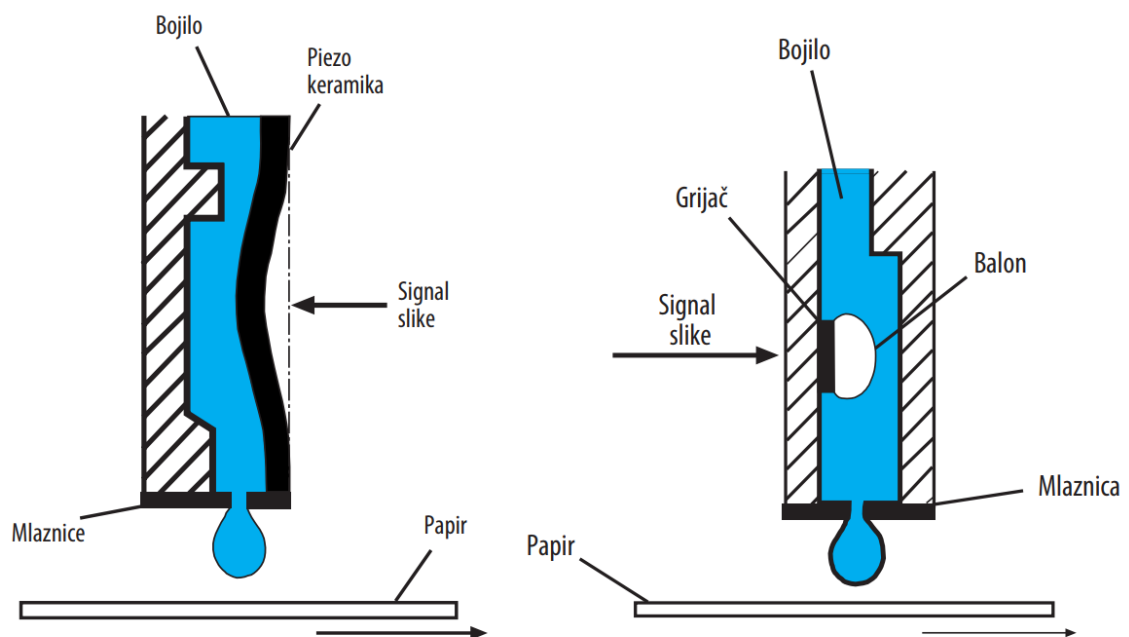
Slika 5: Kontinuirani *inkjet* [3\*]

### 2.3.2. Kapljasti *inkjet*

Sa obzirom da je kontinuirana *inkjet* tehnologija pokrivena patentima, na tržište dolaze alternativna rješenja poput kapljastog *inkjeta* na zahtjev (*Drop On Demand*). To su uglavnom pisači koji su našli mjesto na proizvodnim linijama za označavanje sekundarne ambalaže: kartonskih kutija i vreća. Glave takvih pisača slične su onima koje se koriste u uredskim *inkjet* pisačima, imaju velik broj mlaznica koje tintu istiskuju po potrebi, odnosno na zahtjev. Tehnologija se naziva i visokorezolucijskom (*High Resolution Inkjet*), do 1200 dpi, jer je moguće integrirati mnogo mlaznica na glavu pisača. Tekuće bojilo se izbacuje piezo ili termalnom (*bubble-jet*) tehnologijom, što je prikazano na slici 6. Posebnu skupinu čine pisači koji koriste vrući vosak, koji je pri sobnoj temperaturi u krutom stanju, ali grijanjem prelazi u tekućinu karakteristikama sličnu tekućoj tinti. Takvi pisači se sve više koriste za pisanje logističkih informacija na ambalaži, gdje zamjenjuju papirnu etiketu i termotransfernu tehnologiju. Mana spomenutih pisača je mogućnost pisanja uglavnom po poroznim površinama, pri čemu tiskovna podloga mora biti mirno vođena i pozicionirana, budući je mali razmak između glave pisača i proizvoda koji se otiskuje. Takvi sustavi imaju komore u kojima su smješteni elektronički elementi spojeni sa računalom, koji određuju trenutak formiranja kapljice bojila.

Piezo *inkjet* tehnologija formira kapljicu bojila mehaničkom deformacijom mlazne komora, a omogućena je piezo kristalom; polariziranim materijalom koji mijenja oblik ili volumen unutar električnog polja. Piezo kristal mijenja svoj oblik, a time i volumen mlazne komore, signalom iz računala, a povratkom u prvobitni oblik dolazi do povećanja pritiska u komori i izbacivanjem bojila kroz mlaznicu. Koriste se rijetka bojila dinamičke viskoznosti između 1 i 10 mPa·s, a sastav im je obojena tekućina, fini pigment i organsko otapalo, te se suše penetracijom i hlapljenjem. Ovisno o primijenjenom tipu bojila, formirani nanos bojila na tiskovnoj podlozi obično je oko 0,5  $\mu\text{m}$ . Da bi se postigle kvalitetne reprodukcije, potrebno je koristiti specijalne tiskovne podloge koje imaju veću površinsku upojnost, pa ne dolazi do efekta površinskog mrljanja, a nedostaci otisaka su nedovoljna otpornost na svjetlo, vlagu i temperaturu. Kod piezo *inkjet* tehnologije ne djeluje se na kemijski sastav kapljice, pa se mogu koristiti različiti tipovi bojila.

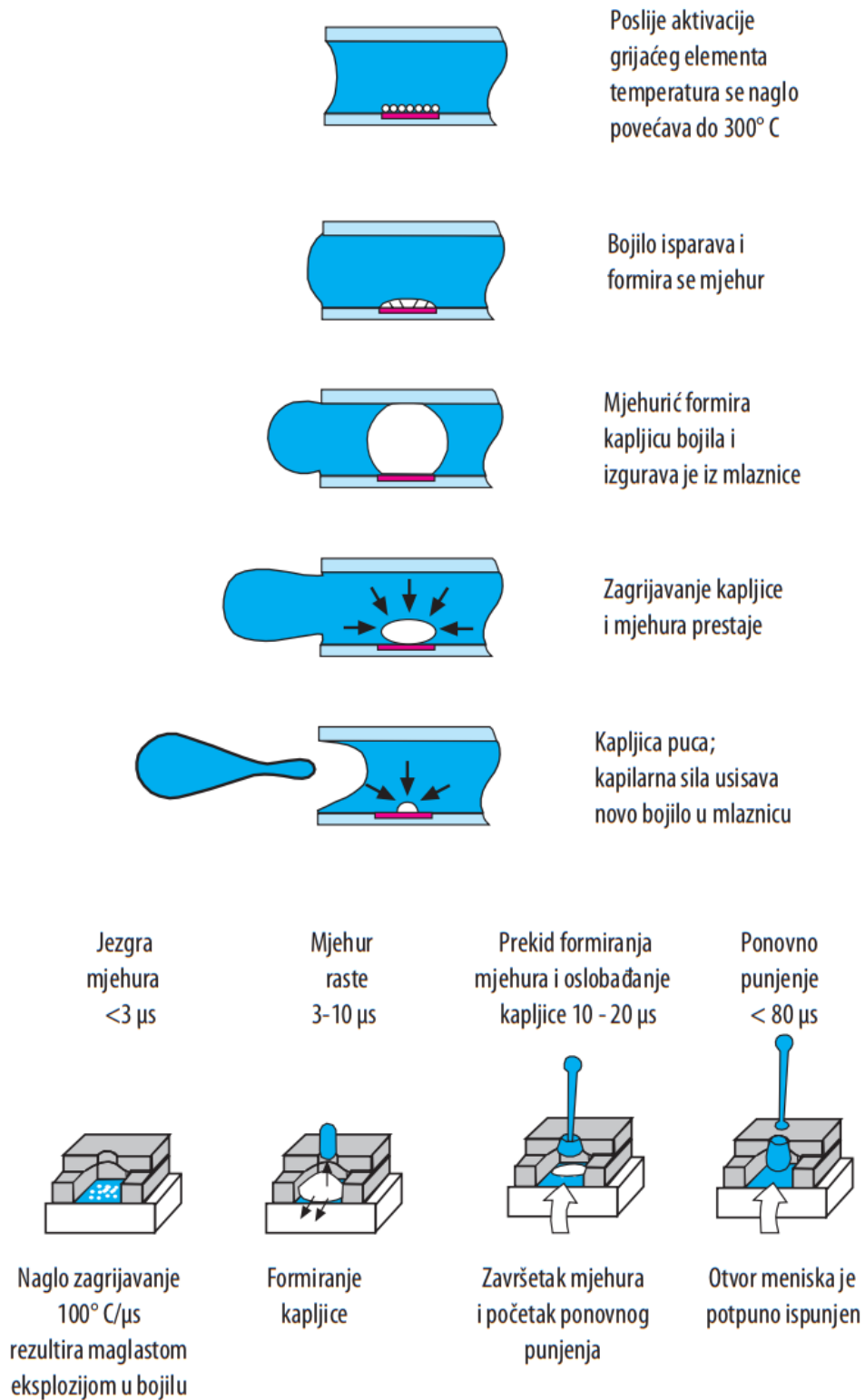
Za neupojne podloge koriste se boje na bazi otapala, solventa, koje imaju mogućnost prijanjanja jer suše samo hlapljenjem, a također postoji i mogućnost primjene brzosušćih UV bojila koje suše trenutno, što rezultira gubitkom visokih rezolucija. Karakteristike takvog principa otiskivanja su: frekvencija kapanja od 10 do 20 kHz, volumen kapljica od 14 pl, dijametar kapljica od 30  $\mu\text{m}$ . Tipovi piezo *inkjeta* su: savijajući, gurajući, istiskajući, te smicajući. [5]



Slika 6: Piezo *inkjet* lijevo i termalni *inkjet* desno [3\*]

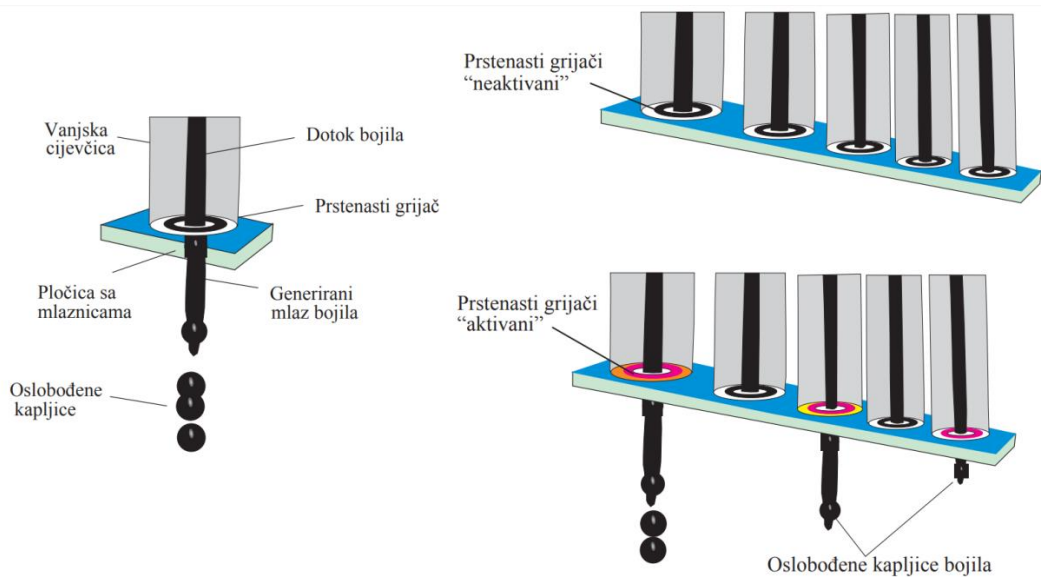
Termalni *inkjet* pisači stvaraju kapljice zagrijavanjem mikrogrijača smještenog unutar mikromkomore, a princip nastajanja kapljice prikazan je na slici 7. Temperatura se povećava do 300°C, te bojilo isparava i formira se plinski mjehur, koji stvara kapljicu bojila i izguruje je iz mlaznice. U tom trenutku zagrijavanje trenutno prestaje, kapljica puca, a kapilarna sila usisava novo bojilo u komoru. Dobivena kapljica ima jednak volumen kao mjehur, odnosno razmjerna je temperaturi mikrogrijača koja može iznositi i 4000 K.

Karakteristike takvog *inkjeta* su: frekvencija kapanja od 5 do 8 kHz, volumen kapljica od 23 pl, dijametar kapljica od 35  $\mu\text{m}$ .



Slika 7: Princip nastajanja kapljice boje kod termalog *inkjeta* [3\*]

Elektrostatski *inkjet* temelji se na konstantnom djelovanju električnog polja između mlaznica i tiskovne podloge, a kapljice tinte nastaju stvaranjem napona. Kapljica se otpušta djelovanjem impulsa, koji usmjerava njezino kretanje kroz električno polje prema tiskovnoj podlozi. Kada električno polje ne djeluje stvara se meniskus, a aktivacijom polja oslobađaju se kapljice, čija veličina ovisi o jakosti struje. Postoji više patentiranih tipova elektrostatskog *inkjeta*, najčešće je to princip sa kontrolom prstenastog grijača, koji smanjuje površinske napetosti bojila formiranjem različitih veličina kapljica. Zatim, po *Taylorovom* efektu kod kojeg je volumen kapljice određen duljinom trajanja kontrolnog signala. Promjer mlaznice je 400  $\mu\text{m}$ , dok je razmak između mlaznica oko 1 mm, a rezolucija otiskivanja 600 dpi. Slijedi *Mist inkjet* koji radi na principu stvaranja sitnih kapljica primjenjujući ultrazvučne valove, a stvorene kapljice su u nano veličinama, usporedive sa stanjem aerosola. Na poslijetku, u ovom radu najzanimljiviji, te najbitniji, protočni (*Stream*) *inkjet* koji je hibridna tehnika. Kombinacija je kontinuiranog *inkjeta* koji distribuira bojilo, te *inkjeta* na zahtjev koji formira kapljicu u procesu (Slika 8). Takvi strojevi (Kodak Versamark i Kodak Prosper, odnosno 32 cm i 50 cm) imaju modularnu glavu, te tiskaju iz role brzinom od 5 m/s, u rezoluciji od 600 dpi. Zbog zasušivanja mlaznice moraju biti mokre, jer neprestano rade. *Stream inkjet* bitan je za ovaj rad, budući se eksperimentalni dio odnosi na recikliranje uzoraka otisnutih upravo na stroju Kodak Prosper 6000C. [5]



Slika 8: Princip rada protočnog *Stream inkjeta* [4\*]



### 2.3.3. Vrste bojila

U navedenim procesima *inkjet* tehnologija koriste se različite bojila, odnosno tinte, a odabir odgovarajuće ovisi o:

- karakteristikama podloge (upojnost i površinska obrađenost),
- uvjetima okoline u kojima će se otisak koristiti (otpornost na svjetlost i UV zračenje, vremenske utjecaje i habanje),
- načinu sušenja koje se koristi tokom tiska

Sa obzirom da bojilo prolazi kroz mlaznice, bitna su sljedeća svojstva: viskoznost i tečljivost, površinska napetost, te optimalna reologija bojila. Idealno bojilo je ono koja je dovoljno tekuća da izlazi iz mlaznica ispisne glave bez da ih začepi, ali da se istovremeno ne sasušuje u njima. Boje u *inkjetu* mogu biti na bazi vode, otapala, ulja postoje i UV sušeće boje. Boje na bazi vode koriste se u kontinuiranom *inkjetu*, ali i većini kućnih i uredskih *Drop On Demand* pisača, dok se boje na bazi otapala najčešće koriste kod pisača velikih formata, popularno zvanih solventni pisači. Osim toga, primjenu imaju kod tiska proizvoda namijenjenih otvorenim prostorima. Takva bojila suše brže nego one na bazi vode, međutim tokom sušenja otpuštaju toksične hlapive organske spojeve (HOS). Bojila na bazi ulja koriste pigmente kao kolorate, a budući nemaju hlapljivih spojeva kao bojila na bazi otapala, brzo suše na poroznim podlogama. Koriste se za kodiranje i označavanje ambalaže i u pisačima velikih formata, također i za vanjsku upotrebu otisnutih proizvoda. Bojila koje suše UV zračenjem su na bazi akrilatnih veziva, koriste pigmente kao kolorate, ne sadrže hlapljive spojeve, izuzetno brzo suše, imaju dobru adheziju i sjaj, te dobru otpornost na svjetlo i toplinu, a koriste se za otiskivanje na neupojne i srednje upojne podloge. Za termalne pisače koriste se termostabilne bojila, ne smiju brzo hlapiti jer se u procesu ispisivanja zagrijavaju, pa postoji mogućnost promjene kemijskih i fizikalnih svojstva. Otisak se treba brzo osušiti, a to se provodi penetracijom i hlapljenjem. Korištenje nekvalitetnih papira može rezultirati širenjem kapljice penetracijom tinte, te negativno utječe na razlučivost otiska i dovodi do izobličenja. Pisači koji koriste piezoelektričnu tehnologiju koriste tinte sa lako hlapljivim otapalom, koje suše minimalnom penetracijom i hlapljenjem. Moguće je koristiti nekvalitetniji papir, na kojem će

otisak biti kvalitetan unatoč poroznoj strukturi papira. *Inkjet* pisači danas uglavnom koriste dvije vrste tinte: na bazi bojila (*dye based*), te pigmentirane tinte na bazi pigmenata. Osnovna razlika je da su tinte na bazi bojila topive u otapalu, dok su pigmentiranih tinta pigmenti su dispergirani u tekućem vezivu. *Dye* tinte su najrasprostranjenije, sadržavaju bojilo, deioniziranu vodu, alkohol koji ubrzava sušenje, te dodatke za potpuno otapanje u otopini. Bojila omogućuju veći gamut na otisku, ne začepuju mlaznice, a u kombinaciji sa vodom kao otapalom su dobro topiva i kao takva skoro pa idealno rješenje za *inkjet* tisak. Negativne strane su lošiji otpornost na svjetlo i vodu, što je posebno primjetno kod magenta bojila, dok su pigmentirane tinte otpornije na svjetlo i plinove, te imaju bolju pokritnost, zbog veličine i oblika čestica. Manji gamut, slab sjaj otiska i začepijvanje mlaznica su glavni problemi pigmentirane tinte. Pigmenti koji se primjenjuju moraju imati promjer čestica manji od 3  $\mu\text{m}$ , te se dispergiraju u vezivima koja sadrže smole, a one vežu pigment uz površinu podloge. Najčešći su u piezoelektričnom *inkjetu*, ali i za otiske za vanjsku upotrebu. Bojila se sastoje od pojedinačnih molekula i imaju mogućnost fokusirati svjetlo na način da dobro reflektiraju boju, pa se boje na otisku čine življe. Budući da se sastoje od pojedinačnih molekula lako ih je uništiti djelovanjem svjetla i plinova. Pigmenti su sa druge strane koncentrirani u malim kristalima, što im omogućava manju izloženost svjetlu i plinovima, ali u isto vrijeme lošije fokusiraju svjetlo i reflektiraju boje. [6]

#### **2.4. CTP tehnologije u usporedbi sa digitalnim tiskom**

Pod pojmom CTP tehnologije u ovom poglavlju rada, podrazumijevaju se *Computer to Press* i *Computer to Plate* tehnologije. Razvijene su zbog potrebe za jednostavnijim i bržim, te ekološki povoljnijim postupcima izrade tiskovnih formi, međutim otisak se i dalje ostvaruje konvencionalnim putem. Zahvaljujući napretku u tehnologiji, eliminiran je ekološki nepovoljan proces izrade filmova, a time i upotreba kemijskih supstanci za razvijanje. Značajno je smanjenje problema zbrinjavanja i recikliranja otpadnih tvari iz fotografskih procesa, jer se ne koriste otopine razvijачa, fiksira i vode. Trajanje grafičke pripreme bitno je

smanjeno, isto kao i mogućnost pojave pogrešaka u međuprocima. CTP tehnologije se razlikuju ovisno o tome je li forma osvijetljena unutar samog stroja kao kod *Computer to Press* ili u zasebnom uređaju kao kod *Computer to Plate*. *Computer to Press* sustavi su tiskarski strojevi sa ugrađenom jedinicom za izradu tiskovne forme, a naziva se još i DI (*Direct Imaging*) tehnologija. Razvijena je u tri generacije, a osnovni princip je elektroerozija, odnosno paljenje površine uslijed djelovanja električnih elektroda. Najznačajniji predstavnik DI tehnologije je bezvodni (suhi) ofset; tehnika plošnog ofsetnog tiska koja ne koristi otopinu za vlaženje, jer je princip otiskivanja baziran isključivo na oleofobnosti i olefilnosti. Pod *Computer to Plate* podrazumijeva se postupak izrade ofsetnih tiskovnih formi, a za ostale tehnike postoje ekvivalenti; *Computer to Cylinder* za bakrotisak, *Computer to Screen* za sitotisak i *Computer to Flex* za fleksotisak. Osvjetljavanje tiskovne forme vrši se u uređaju za ispis (*platesetter*), te se ona naknadno obrađuje za proces otiskivanja.

Takvi sustavi implementirani su u svakoj konvencionalnoj tiskari, te još uvijek prate korak sa nadolazećim digitalnim tehnologijama. Odabir između konvencionalnih ili digitalnih tehnologija ovisi o jednostavnoj činjenici; skuplji pojedinačni otisak bez pripreme stroja ili veliki startni trošak sa cijenom otiska koja pada porastom naklade. U godinama pred nama ofset će dominirati u broju otisnutih araka i potrošene mase papira, ali konstantnim padom naklada profit je sveden na minimum. Digitalne tehnologije proizvode oko 3% ukupnih naklada tiska, ali je to u financijskoj vrijednosti udio od 15%, čime ostvaruju profit pet puta veći u odnosu na konvencionalne tehnologije. Nameće se pitanje da li je digitalni tisak predodređen samo za male naklade, budući novi strojevi dostižu nekoliko milijuna A4 otisaka mjesečno, što je za usporediti sa mogućnosti manjih i srednjih ofsetnih tiskara. Najveći problemi konvencionalnih tiskara su; trošak tiskovnih ploča, zbrinjavanje otpada i vrijeme potrebno za promjenu radnog naloga, a istovremeno značajna prednost digitalnih. Proizvodnja samih strojeva je ekološki prihvatljivija, jer se koriste manje količine sirovina i manji je utrošak energije, te oni zauzimaju manje prostora u tiskarama, što može biti bitan faktor. Potrošnja energije prilikom procesa tiska je značajno manja, neovisno o kojoj je digitalnoj tehnici riječ. Količina otpada u smislu makalature je manja nego u ofsetnim

tiskarama, pa je i zbrinjavanje otpada povoljnije. Količina otpada u smislu kemikalija je također znatno manja, jer nema razvijanja ploča, a i u smislu otpadne ambalaže; mala količina repromaterijala se koristi u odnosu na ofset. Uz lako mjerljive parametre uštede, digitalni tisak ima i prednosti u samom poslovanju tiskare. Smanjivanje skladištenja robe, sirovinama ili otisnutim proizvodima, omogućeno je brzinom rada i izradom na zahtjev i pridonosi ekonomskim benefitima poput likvidnosti, protoka novca, što daje mogućnost posvećivanja klijentima. Osim što se digitalne tehnologije konkuriraju ofsetnom tisku, veliki potencijal pokazuju u industriji ambalaže, te će se rast u tome segmentu sigurno nastaviti. Etikete, valovita ljepenka, karton, krute i fleksibilne plastične podloge, te metalna ambalaža, sve više se otiskuju digitalnim tehnikama, koje su sve konkurentnije fleksografskim tehnikama. Dekorativni tisak u kojeg spada otiskivanje na; keramiku, tekstil, laminate i drvo, zidne obloge i tapete, te staklo, golemi je segment na tržištu kojeg digitalni tisak obuhvaća novim tehnologijama. Osim dekorativnog, koristi se i za funkcionalni ispis, kao što su membranski prekidači, 3D tisak i tisak na elektroniku. Daljnjim razvojem, digitalna tehnologija će zasigurno zavladata svijetom grafičke industrije, a pitanje za neki drugi rad ostaje kako će se konvencionalni tisak nositi sa konkurencijom. [7]

## **2.5. Recikliranje papira**

Recikliranje je proces izdvajanja materijala iz otpada i njegovo ponovno korištenje, a zahvaljujući svojim svojstvima papir je idealan za recikliranje i do nekoliko puta, da se pritom može nesmetano koristiti. Reciklaži papira pristupa se sustavno i organizirano u cijelom svijetu, a nastojanja da se poboljšaju tehnološki procesi recikliranja sve su izraženija. Sekundarna vlakanca, odnosno vlakanca dobivena iz starog papira ili kartona, koriste se za izradu recikliranog papira koji može biti proizveden u cijelosti od sekundarnih vlakanca ili iz mješavine recikliranih i primarnih vlakanca u različitim omjerima. Glavni izvori starog papira su trgovački centri, hotelski kompleksi, bolnice i slično, domaćinstva, te tvornice papira i tiskare. U Europi je postignut dogovor da stopa iskoristivosti sekundarne vlaknaste sirovine dostigne 66% do 2012., što je dostignuto već 2010. Zakoni i propisi obvezuju velike potrošače da zbrinjavaju vlaknasti otpad na visokoj razini, dok je kod domaćinstava to velik izazov. [8]

### 2.5.1. Proces recikliranja sa naglaskom na *deinking* flotaciju

Proces recikliranja započinje sakupljanjem otpadnog i starog papira u centrima za prikupljanje sekundarne vlaknaste sirovine i tamo se vrši prvo sortiranje, kojim se uklanjaju nečistoće poput plastike, metala, tekstila ili drveta. Odvajaju se neotisnuti papiri, a otisnuti se sortiraju na bijeljenu celulozu i drvenjaču, koliko je moguće, najčešće ručno, a u razvijenijim zemljama i automatsko. Sljedeća faza je razvlaknjivanje, čija je svrha odvajanje vlakana iz strukture papira, a vrši se u pulperima, koji imaju propeler, pri tome se također tiskarska boja odvaja od vlakana u obliku sitnih čestica. U vodu se dodaju kemikalije, te uz rotaciju razvlaknuje papir u vlakanca, a prate se konzistencija pulpe, pH vrijednost, temperatura i vrijeme razvlaknjivanja. U starom papiru osim tiskarske boje, postoje nevlaknasta onečišćenja; iz taljivih ljepila, adheziva, veziva premaza, termoplastičnih smola, UV lakova i voskova, koja tvore ljepljive čestice. Slijedi pročišćavanje kojim se uklanjaju; smole, čestice gume, pijesak, metali, glina, polistiren, ljepila, pa i boje, a najmanje čestice koje se mogu odvojiti variraju između 40 i 4000  $\mu\text{m}$ , što je 4 mm. Prosijavanje se vrši prolaskom pulpe kroz sito, čime se uklanjaju sve čestice veće od vlakanaca, a to mogu biti nerazvlaknjeni komadići papira, plosnati komadići plastike, razni adhezivi, ljepljive površine i slično. *Deinking* flotacija najvažniji je proces recikliranja papira, a temelji se na selektivnoj separaciji koji koristi mjehuriće zraka da odstrani čestice boje iz razvlaknjene suspenzije. Flotacijske kemikalije se dodaju u pulpu, te pospješuju flotaciju povećavajući hidrofobnost čestica boje, na površini se stvara pjena koja se uklanja. Efikasnost flotacije ovisi o tri uvjeta; sudar čestice i mjehurića, prihvaćanje čestice na mjehurić, te uklanjanje mjehurića sa česticom boje. Četiri skupine parametara utječu na efikasnost flotacije;

1. svojstva čestica: veličina, broj, oblik, svojstvo površine
2. svojstva mjehurića: veličina, broj, svojstvo površine, dispergiranoost
3. vrijeme i intenzitet flotacije
4. vrsta otpadnog papira, količina pepela, svojstva vlakana, pH suspenzije, temperatura i slično. [8]

### 2.5.2. Prednosti i nedostaci procesa reciklaže

Nakon procesa reciklaže papir gubi na kvaliteti i izgledu, no svojstva recikliranog papira omogućuju mu daljnju upotrebu u tisku i izradi ambalaže, a i daljnje recikliranje. Zbog promjene na vlaknima i prisutnosti nečistoća koje se nisu u dovoljnoj mjeri uklonile, nešto je tamnije boje, odnosno sivkasto-smeđe, a koristi se u proizvodnji knjiga, udžbenika, časopisa, novina i drugih proizvoda. Agencija za zaštitu okoliša (*Environmental Protection Agency*) dokazala je da recikliranje smanjuje onečišćenje vode za 35%, te zrak za 74% u odnosu na proizvodnju primarnih vlakana. Recikliranje papira daje se sve veća važnost na globalnoj razini, a i u Hrvatskoj, budući je važna stavka kada se govori o štednji energije i vode, te očuvanju okoliša i ljudskog zdravlja. Razvijene države građane potiču naknadama za sakupljeni papir, organizirano se prikuplja i odvaja otpadni papir, čime se značajno štede prirodni resursi i smanjuje količina otpada na deponijima. Procjena je da se u Hrvatskoj godišnje reciklira 200.000 tona papira, a jedna tona spašava 20 stabala, dodatno svaki kilogram recikliranog papira predstavlja četiri kilograma stakleničkih plinova manje u atmosferi. Uz ekološke prednosti, reciklirani papir znatno je jeftiniji; papir bijele klase dobiva se odbojavanjem smeđe klase, tj. ambalažnih i omotnih papira. Što se tiče uštede energije, vode se rasprave o točnim brojkama između 40 i 60%, no implementacijom novih tehnologija u postupak recikliranja u stalnom su porastu. Nedostatci recikliranog papira su sljedeći moguća zaostala onečišćenja koja mogu otežavati tisak, bilo zbog kidanja trake papira, čupanja, prašenja ili nedovoljne dimenzionalne stabilnosti papira. Onečišćenja mogu utjecati i na jakost papira, čestice onemogućavaju međusobno vezanja vlakana što dovodi do pukotina u strukturi lista te do cijepanja trake. Osim spomenutih fizikalnih promjena, recikliranje utječe i na optička svojstva papira; smanjujući svjetlinu i povećavajući opacitet. [9]

### 2.5.3. Utjecaj starenja i vlage na proces recikliranja

Rezultati su pokazali da starenjem uzoraka revija otisnutih *cold-set* bojama u uvjetima relativne vlažnosti između 30 i 70% dolazi do neznatnog utjecaja na vezanje boje na vlakanca pri 60 °C. Ipak, pri 90% relativne vlažnosti, uz trajanje ubrzanog starenja od 25 sati, utječe se na vezanje boje, a osim toga na stvaranje vidljivih čestica, te smanjenje broja mikroskopskih čestica boje poslije razvlaknjivanja. Povišenje temperature tokom ubrzanog starenja pri 30°C , 45°C i 60°C, dolazi do vezanja čestica bojila za vlakanca, dok se broj i površina čestica znatno povećavaju. Povećanjem duljine starenja, pri svim ispitivanim temperaturama, otežava se odvajanje čestice bojila i razbijanje čestica nečistoća. Što se tiče veziva, dokazano je da u kratkom vremenu nakon otiskivanja, bojila na bazi mineralnih ulja teže odvajaju od boja na bazi vegetabilnog ulja, ali su nakon termalnog starenja rezultati poprilično slični. Boje na bazi mineralnih ulja brzo stvaraju otpornost na odvajanje od vlakanca, na što ne utječe utjecaj temperature, ali one na bazi vegetabilnih ulja oksipolimeriziraju i dobro se povezuju sa vlakancima, čime raste broj čestica boje tijekom razvlaknjivanja. [10]

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

U ovom radu ispiti će se kvaliteta recikliranih vlaknaca otisaka revija prije i nakon postupka kemijske *deinking* flotacije. Otisci revija su načinjeni tiskanjem na tiskarskom stroju Kodak Prosper 6000C, koji koristi *Stream inkjet* tehnologiju, te je korišteno bojilo na bazi vode. Tako dobiveni uzorci podvrgnuti su postupku ubrzanog starenja u uvjetima povišene temperature i vlage. Iz nestarenih i starenih uzoraka izrađeni su laboratorijski listovi prije i poslije flotacije, na kojima su izmjerene optičke karakteristike: ERIC, ISO svjetlina, bjelina,  $L^*a^*b^*$  vrijednosti, te opacitet.

#### **3.1. Materijali i metode**

##### **3.1.1. Tiskovna podloga**

U radu je korištena tiskovna podloga namijenjena tisku revija. Takve podloge u sastavu obično sadrže djevičanska vlakna ali i veliki udio sekundarne sirovine.

##### **3.1.2. Bojilo**

U završnom radu u procesu otiskivanja korišteno je bojilo na bazi vode. Takva bojila su ekološki povoljnija jer u svojem sastavu ne sadrže hlapljive organske spojeve. Izostanak takvih spojeva pridonosi boljim uvjetima u radnom prostoru, ali i boljoj kvaliteti atmosfere.

##### **3.1.3. Postupak ubrzanog starenja**

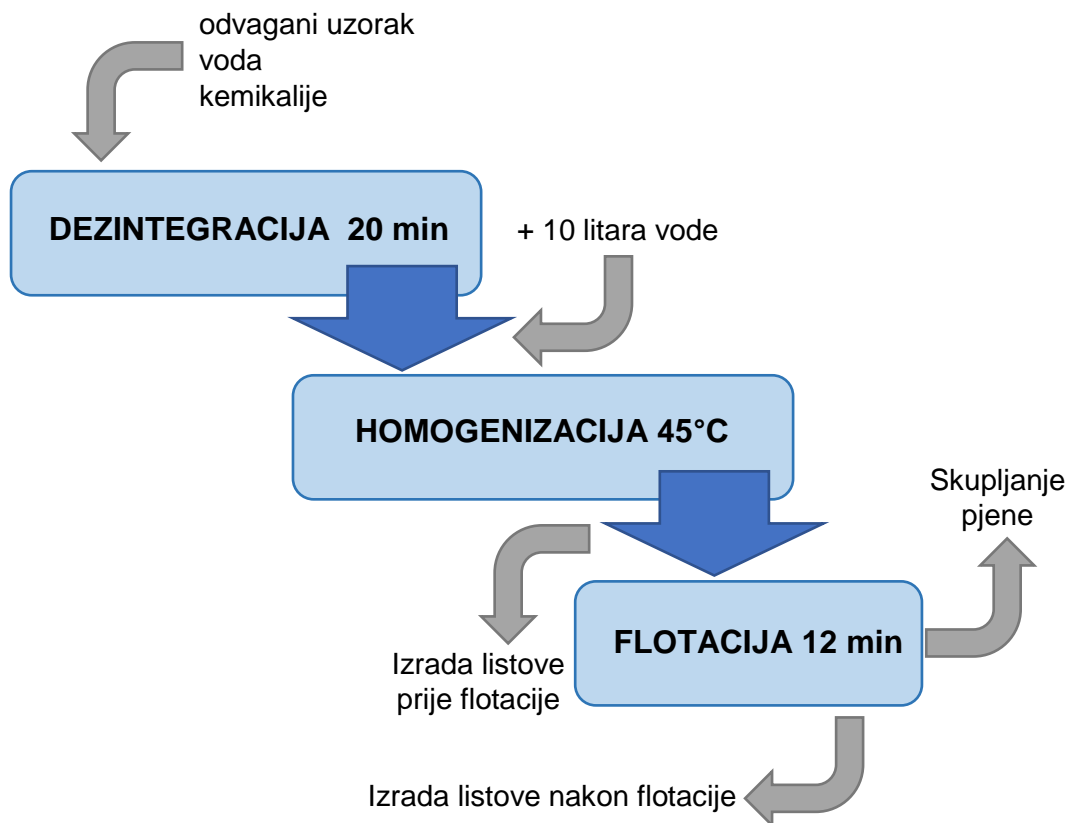
Uzorci su podvrgnuti ubrzanom starenju u uvjetima povišene temperature i vlage u klimatskoj komori. Temperatura procesa ubrzanog starenja je 80°C, uz relativnu vlažnost zraka 65%. Uzorci su bili izloženi spomenutim uvjetima u trajanju od 1, 2, 3, 6 i 12 dana.



### 3.1.4. Metoda *deinking* flotacije

Recikliranje je provedeno uz propisane uvjete prema metodi INGEDE 11 (Slika 9). Prema metodi INGEDE 11 koriste se sljedeće kemikalije:

- natrijev hidroksid NaOH,
- natrijev silikat Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>,
- vodikov peroksid H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,
- oleinska kiselina C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>,
- te po potrebi kalcijev klorid dihidrat CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O za održavanje tvrdoće vode. [12]

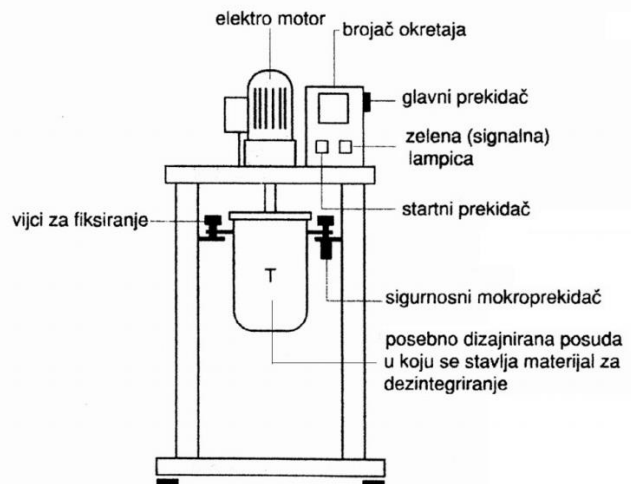


Slika 9: Shematski prikaz toka eksperimenta

### 3.3. Uređaji

#### 3.3.1. Dezintegrator

Uređaj za razvlaknjivanje papira. Prilikom procesa razvlaknjivanja nastaje pulpa, odnosno suspenzija vlaknaca u vodi. Sastoji se od; posude u koju se stavlja uzorak, vijaka koji fiksiraju posudu, elektromotora koji rotira miješalicu, brojača okretaja, signalne lampice, glavnog i startnog prekidača (Slika 10). U ovom radu korišten je "Enrico Toniolo" dezintegrator (Slika 10).



Slika 10: Izgled i shematski prikaz dezintegratora [5\*]

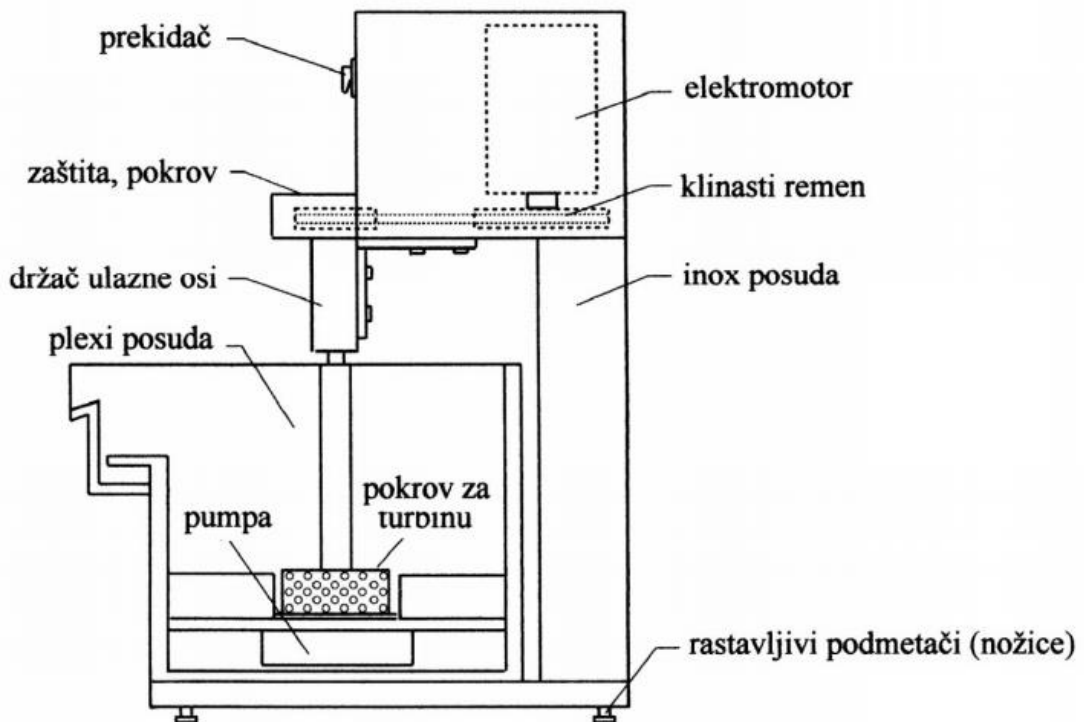
#### 3.3.2. Homogenizator

Uređaj za homogenizaciju pulpe koji sprječava taloženje vlaknaca celuloze, kako bi se mogli izraditi laboratorijski listovi prema ISO standardu. U ovom radu korišten je "Frank, PTI" homogenizator.

#### 3.3.3. Flotacijska ćelija

U flotacijskoj ćeliji odvija postupak flotacije. Flotacijska ćelija uvodi mjehuriće zraka u suspenziju na koje se prihvaćaju hidrofobne čestice boje, te se u obliku pjene uklanjaju.

Dodane kemikalije povećavaju efikasnost flotacije, povećanjem hidrofobnosti čestica. Korištena je laboratorijska flotacijska ćelija (Slika 11).



Slika 11: Shematski prikaz flotacijske ćelije [5\*]

#### 3.3.4. Uređaj za automatsku izradu laboratorijskih listova

Uređaj služi za izradu listova prema ISO standardima, a korišten je "Rapid Köthen Sheet Former, PTI" (Slika 12). Suspenzija pulpe se ulijeva u posudu sa vodom, propuhuje zrakom, te se voda odvodi kroz sito, formirajući laboratorijski list na situ. Vlaga sa lista se upija prislanjanjem upojnog papira, a sa druge strane se stavlja papir nosioc. Tko pripremljen uzorak se stavlja u jedinicu za sušenje kojoj se podešava vrijeme sušenja (Slika 13). Nakon sušenja od lista nosioca i upojnog lista se odvaja gotov uzorak.



Slika 12: Uređaj za automatsku izradu laboratorijskih listova [5\*]



Slika 13 Proces izrade laboratorijskih listova [5\*]

### **3.3.5. Spektrofotometar**

Spektrofotometar je uređaj za mjerenje optičkih karakteristika papirne pulpe i papira. Uređaj mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju u intervalima duž valnih duljina vidljivog spektra. Sastoji se od izvora zračenja, monokromatora i detektora, a radi na principu rastavljanja bijelog svjetla na pojedinačne valne duljine. Monokromator je prizma ili rešetka i može mijenjati valnu duljinu zračenja koje propušta, a ovisno o intenzitetu zračenja koje je uzorak apsorbirao, propustio ili reflektirao pri određenoj valnoj duljini nastaje spektar. Kao rezultat mjerenja dobiva se spektrofotometrijska krivulja, a u ovom završnom radu prikazani su sljedeći parametri; ISO svjetlina, ERIC, kolorimetrijske karakteristike  $L^*a^*b^*$ , CIE bjelina, te opacitet uzorka. Korišteni model spektrofotometra je "Technidyne Color Touch 2".

### **3.3.6. Komora za ubrzano starenje**

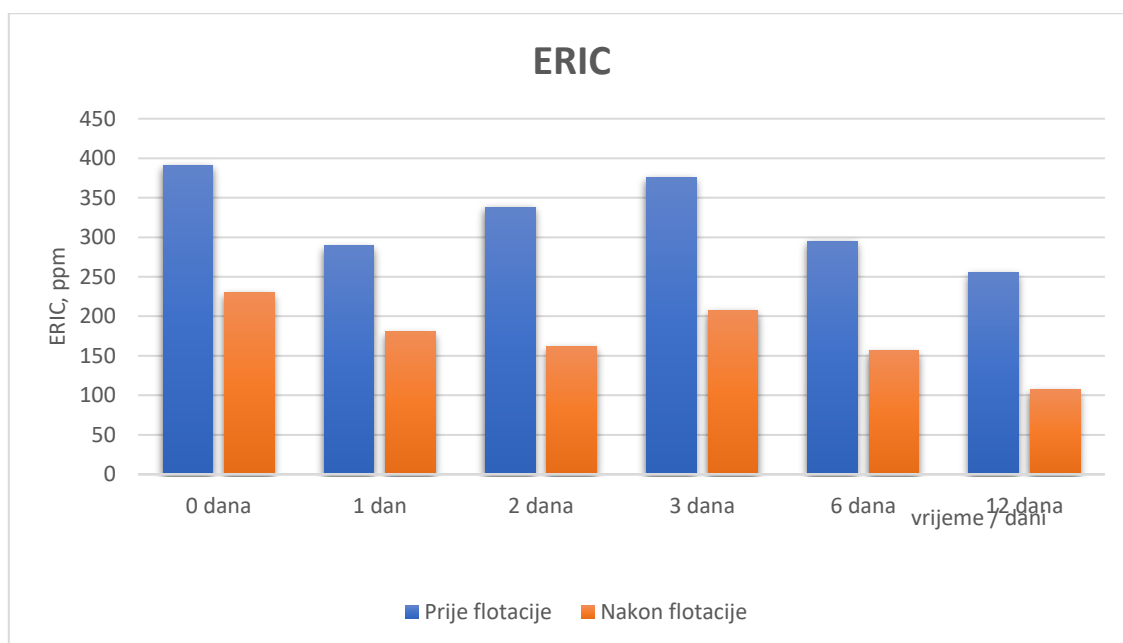
U eksperimentu je korištena klima komore "Kottermann" Tip 2306. U spomenutoj komori mogu se izlagati uzorci velikih formata utjecaju vlage te temperature. U ovom radu korišteni su uvjeti povećane vlage i temperature kako bi se uzorci izložili uvjetima ubrzanog starenja.

## 4. REZULTATI

Rezultati mjerenja optičkih karakteristika recikliranih vlaknaca prije i nakon procesa ubrzanog starenja u komori s utjecajem povećane vlage i temperature prikazani su na slikama 14-20.

### 4.1. Efektivna koncentracija bojila zaostalog u papiru (ERIC)

Efektivna koncentracija bojila zaostalog u papiru (ERIC, *Effective Residual Ink Concentration*) je jedna od mjera uspješnosti *deinking* flotacije. Mjereni su uzorci prije i poslije flotacije, a rezultati su prikazani na slici 14.



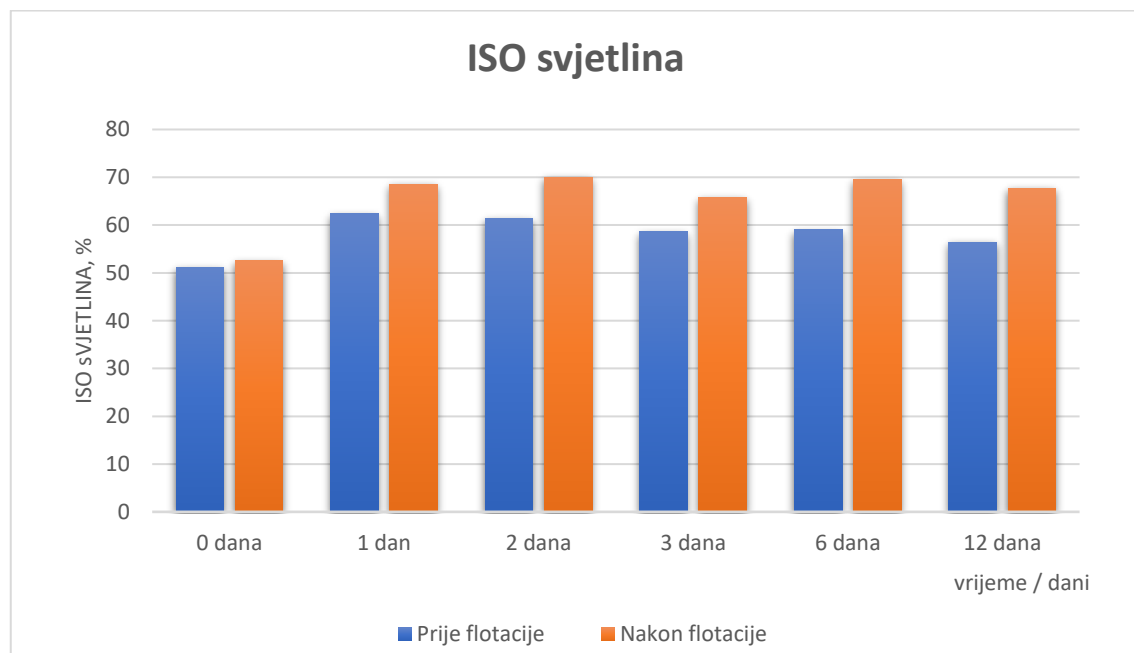
Slika 14: Vrijednost parametra ERIC prije i nakon postupka *deinking* flotacije

Na grafičkom prikazu vidljivo je da su najveće vrijednosti parametra ERIC izmjerene na uzorcima napravljenim od revija koje nisu starene. Koncentracija zaostalih čestica bojila na laboratorijskim listovima prije i poslije flotacije veća je kod uzoraka dobivenih od revija koje nisu starene. Koncentracija čestica na listovima prije flotacije napravljenih od revija nakon 1 dana starenja raste do 6 dana starenja. Može se pretpostaviti da procesom starenjem dolazi do nastanka većih čestica bojila, jer im je koncentracija prije postupka flotacije manja od koncentracije nestarenog uzorka. Uzorak koji je načinjen od revija nakon trećeg

dana starenja ima veću koncentraciju zaostalih čestica bojila prije procesa flotacije od uzorka napravljenog od revija nakon dva dana starenja, ali i veću uspješnost odvajanja čestica nakon postupka *deinking* flotacije. Od šestog dana starenja proces fragmentacije nije toliko izražajan, ali je značajno da je uspješnost odvajanja čestica veća od uzorka koji su načinjeni nakon prva dva dana starenja revija.

#### 4.2. ISO svjetlina

ISO svjetlina je omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla ( $\lambda=457$  nm) sa površine neprozirnog uzorka papira (list papira u snopu) prema stupnju refleksije idealnog reflektirajućeg tijela. Mjerenja su provedena za uzorke prije i poslije flotacije, a rezultati su prikazani na slici 15.



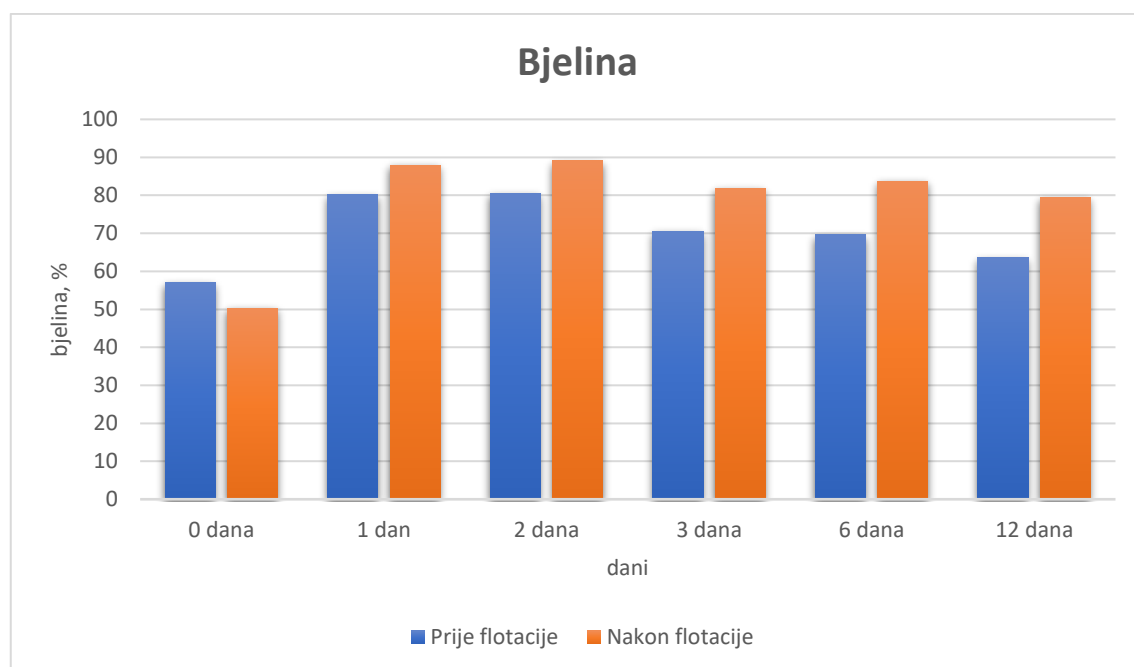
Slika 15: ISO svjetlina prije i nakon postupka procesa *deinking* flotacije

ISO svjetlina ima obrnuto proporcionalne rezultate od onih koji su dobiveni mjerenjem efektivne koncentracije bojila zaostalog na papiru. Veliki broj zaostalih čestica bojila na papiru kod uzoraka napravljenih od nestarenih revija i onih starenih tri dana rezultiralo je manjim vrijednostima ISO svjetline u odnosu na druge ispitivane uzorke.

Promatranjem ISO svjetline vidljivo je da se svim uzorcima povećava svjetlina nakon procesa *deinking* flotacije što znači da je proces odvajanja čestica uspješan.

### 4.3. Bjelina papira

Bjelina papira predstavlja stupanj difuzne refleksije svjetlosti (svih valnih duljina) s površine uzorka kroz cijeli spektar vidljive svjetlosti. Za osvjetljenje uzorka koristi se *iluminant* D65 koji predstavlja vanjsko dnevno svjetlo. Mjereni su uzorci prije i poslije flotacije, a rezultati su prikazani na slici 16.

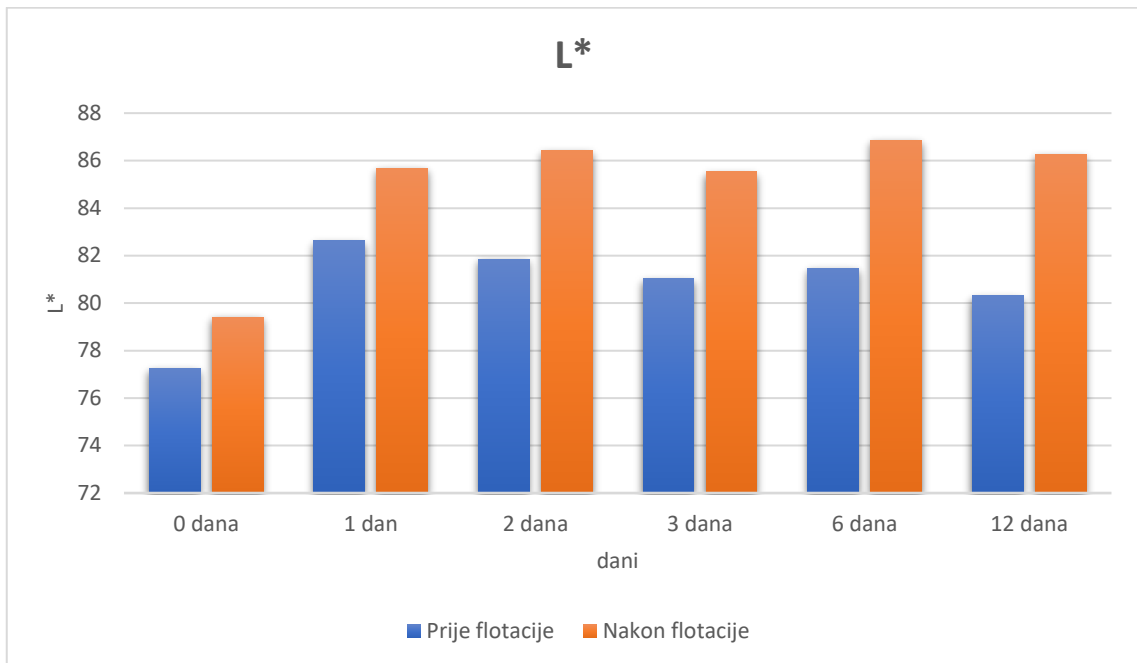


Slika 16: Bjelina prije i nakon flotacije

Iz rezultata prikazanih na slici 16. vidljivo je da se bjelina povećava nakon procesa *deinking* flotacije kod svih mjerenih uzoraka. Najveću bjelinu imaju uzorci napravljeni iz revija nakon dva odnosno tri dana starenja. Iznosi bjeline za spomenute uzorke imaju visoke vrijednosti, što bi moglo značiti da je u papiru bio prisutno bijelilo. Bijelilo daljnjim procesom starenja malo gubi na djelotvornosti jer se bjelina smanjuje.



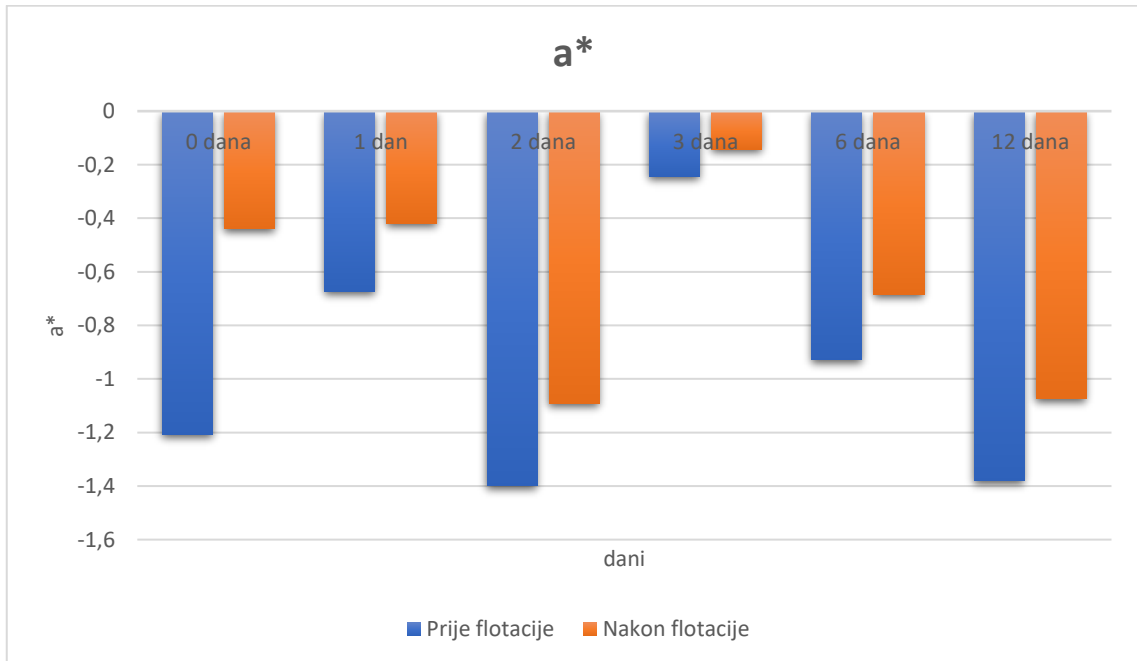
#### 4.4. CIE $L^*$



Slika 17: CIE  $L^*$  prije i nakon flotacije

Nakon procesa flotacije kod svih uzoraka se povećava vrijednost koeficijenta  $L^*$ . Može se uočiti da se uzorcima prije postupka *deinking* flotacije smanjuje vrijednost koeficijenta  $L^*$  s protokom vremena, što znači da dolazi do pomaka ka tamnijim vrijednostima CIE  $L^*a^*b^*$  koordinatnog sustava. Kod uzoraka poslije procesa *deinking* flotacije s protekom vremena starenja dolazi do obrnutog trenda, odnosno do pomaka ka svjetlijim vrijednostima CIE  $L^*a^*b^*$  koordinatnog sustava.

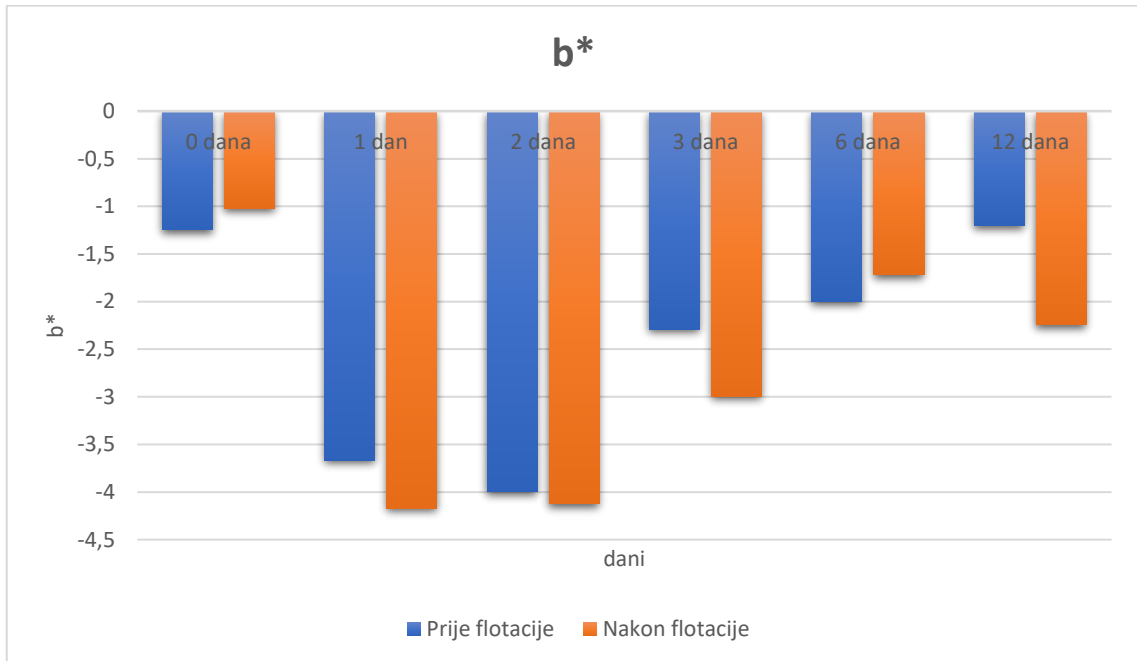
#### 4.5. CIE $a^*$



Slika 18: CIE  $a^*$  prije i nakon flotacije

Na grafičkom prikazu optičkog koeficijenta  $a^*$  vidljivo je da je razlika koeficijenta prije i poslije *deinking* flotacije za uzorke napravljene od starenih revija približno jednaka ali im se mijenja iznos. U slučaju uzoraka napravljenih od nestarenih revija razlika je daleko veća. Nakon procesa *deinkinga* za sve uzorke iznos koeficijenta  $a^*$  se smanjuje odnosno ide prema manje zelenim vrijednostima CIE  $L^*a^*b^*$  sustava.

#### 4.6. CIE $b^*$

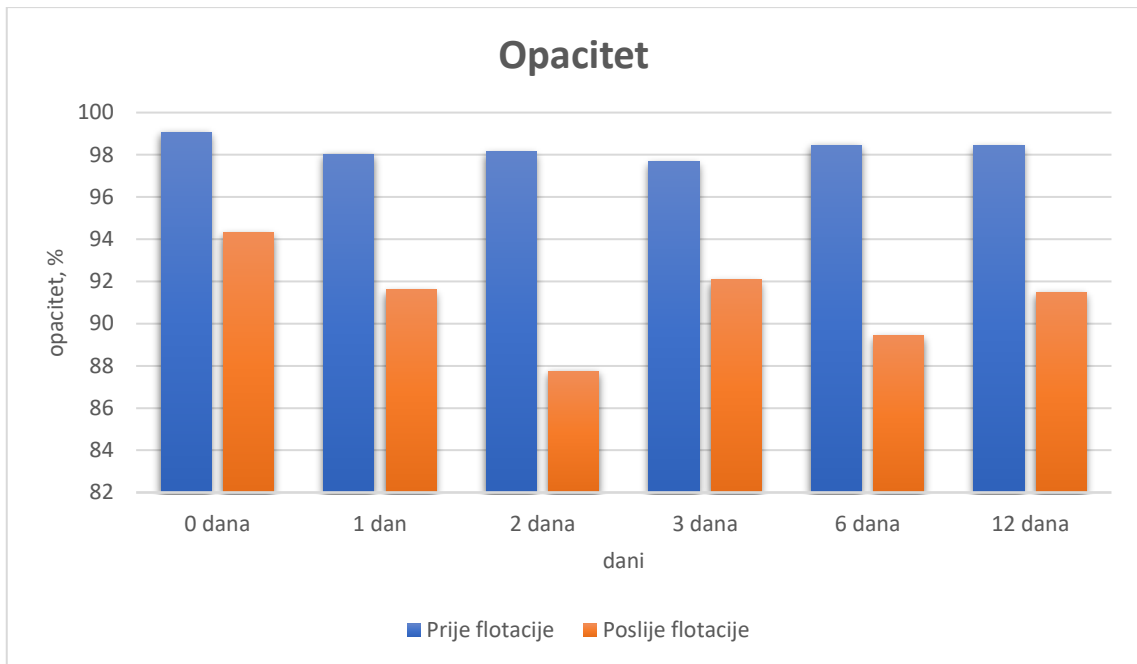


Slika 19: CIE  $b^*$  prije i nakon flotacije

Vrijednosti koeficijenta  $b^*$  uzorke napravljene od starenih revija prije i poslije procesa *deinking* flotacije veće su od nestarenih, znači uzorci laboratorijskih listova su plaviji nakon procesa starenja. To se posebno očituje kod uzoraka napravljenih od revija starenih 1 i 2 dana. Iz grafičkog prikaza je vidljivo da se vrijednost koeficijenta  $b^*$  nakon procesa *deinkinga* povećava.

#### 4.7. Opacitet

Opacitet je mjera za nepropusnost svjetla, tj. odnos stupnja refleksije lista papira iznad crne podloge, u odnosu na list u snopu kroz koji ne može proći svjetlo. Na opacitet najviše utječe prisutnost bojila, premaza, punila ili smanjenje količine vlakanca celuloze. Mjereni su uzorci prije i poslije flotacije, a rezultati su prikazani na slici 20.



Slika 20: Opacitet prije i nakon flotacije

Vrijednost opaciteta je najveća kod nestarenog uzorka prije procesa *deinking* flotacije, kod starenih uzoraka vrijednost blago raste s vremenom starenja. Poslije procesa *deinking* flotacije vrijednost opaciteta je najveća isto za nestareni uzorak, ali kod uzoraka napravljenih od starenih revija najveću vrijednost ima uzorak izlagan 3 dana.

## 5. ZAKLJUČAK

Digitalni se tisak, od njegovog uvođenja u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća za jednostavne jednobojne personalizacije do današnjeg kvalitetnog ispisa u boji, razvio u velikim razmjerima. Elektrofotografija i *inkjet* su se pokazali kao najbolja rješenja, te je u njihov razvoj uloženo i najviše sredstava, a njihove mogućnosti rastu iz dana u dan. Trendovi u grafičkoj industriji, poput visokog stupnja personalizacije otiska, malih naklada, te kratkog vremenskog roka za otiskivanje, pogoduju digitalnim tehnikama. Osim toga, velike prednosti takvih tehnologija su sa ekološkog aspekta; nema nepovoljnih procesa razvijanja filmova i ploča, a samim time ni problema zbrinjavanja i reciklaže otpadnih voda. Sami procesi otiskivanja zahtijevaju manji utrošak energije, a i proizvodnja strojeva je ekološki prihvatljivija. Razvojem svijesti o zagađivanju okoliša, sve se veća važnost pridodaje reciklaži papira u Hrvatskoj i na globalnoj razini. Pristupa joj se sustavno i organizirano, jer je jako važna stavka kada se govori o uštedi energije i vode, te o očuvanju okoliša i ljudskog zdravlja.

U ovom završnom radu, ispitivan je utjecaj starenja i vlage na reciklažu otisaka. Rezultati pokazuju na uzorcima napravljenih od nestarenih revija i revija sfernih 3 najveće vrijednosti ERIC-a. Isti uzorci imaju najmanje vrijednosti ISO svjetline, koeficijenta  $L^*$  te CIE bjeline (Slike 14-17). Nakon dužeg izlaganja starenju, pri temperaturi od 55°C dolazi do smanjenja tendencije stvaranja čestica boje tijekom dezintegracije, što je također potvrđeno u istraživanju Kempainen et al. [13], 2015. Kod ostalih uzoraka (1, 2, 6, 12 dana starenja) dobivene su slične vrijednosti ISO svjetline. CIE bjelina uzoraka opada trajanjem procesa ubrzanog starenja, a vrijednosti bjeline svih uzoraka slijede trend dobivenih vrijednosti ISO svjetline. Najveće vrijednosti dobivene su na uzorcima recikliranih vlakana nakon 1 i 2 dana starenja. Vrijednosti koeficijenta  $a^*$  svih uzoraka nalaze se u blago zelenom području, dok su vrijednosti koeficijenta  $b^*$  u plavom području i slijede trend bjeline. Najmanje vrijednosti opaciteta su kod uzorka izrađenih od revija starenih 2 dana. Kod svih uzoraka prije flotacije, opacitet je približno jednakih vrijednosti, no nakon flotacije vrijednosti opaciteta se smanjuju, što bi značilo da se flotacijom gube punila.

Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da starenje značajno utječe na učinkovitost procesa recikliranja.

## 6. LITERATURA

1. S. Bolanča, K. Golubović (2008.), Tehnologija tiska od Gutenberga do danas, Grafički fakultet, Zagreb
2. D. Vusić, D. Valdec (2007.), Vrhunske tehnologije digitalnog tiska Canon imagePress C1, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin
3. I. Majnarić (2007.), Doktorska disertacija, Studija indirektna elektrofotografije, Grafički fakultet, Zagreb
4. V. Petrović, M. Milković, D. Valdec (2013.), Komparacija karakteristika *inkjet* otisaka dobivenih vodenim, solventnim i UV bojilima, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin
5. I. Majnarić, T. Leskovec (2009.), časopis Croprint, Ink-jet tisak (jučer, danas, sutra), Grafički fakultet, Zagreb
6. S. Jamnicki Hanzer (2017.), Tiskarske boje; predavanje 9: Boje za *inkjet* tisak, Grafički fakultet, Zagreb
7. web: Smithers PIRA, dostupno na <https://www.smitherspira.com>, preuzeto 5.9.2018.
8. B. Lozo (2014.), Papir; Nastavni tekstovi, Grafički fakultet, Zagreb
9. web: Regionalni centar čistog okoliša, dostupno na <http://rcco.hr/recikliranje-papira/>, preuzeto 5.9.2018.
10. M. Vukoje (2018.), Doktorski rad, Utjecaj adhezijskih parametara na materijalno i organsko recikliranje termokromnih otisaka, Grafički fakultet, Zagreb
11. I. Majnarić (2004.), Magistarski rad, Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, Grafički fakultet, Zagreb
12. INGEDE Method 11 January 2018, dostupno na <https://www.ingede.com/ing-indexe/methods/ingede-method-11-2018.pdf>, preuzeto 5.9.2018.

13. K. Kemppainen, H. Upola, M. Körkkö (2015.), *Ink and dirt behavior in repulping after artificial aging of coldset offset-printed newspapers at different temperatures*, Mid Sweden University, Sundsvall (Švedska)

## 7. POPIS IZVORA SLIKA

1\*. I. Majnarić, Digitalni tisak, predavanje 1: Digitalni tisak uvod, preuzeto sa [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/1%20predavanje%20DiT%20uvod.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/1%20predavanje%20DiT%20uvod.pdf), 5.9.2018.

2\*. I. Majnarić, Doktorska disertacija, Studija indirektno elektrofotografije, preuzeto sa [https://bib.irb.hr/datoteka/311227.doktorat\\_gotovo\\_cd.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/311227.doktorat_gotovo_cd.pdf), 5.9.2018.

3\*. I. Majnarić, T. Leskovec, časopis Croprint, Ink-jet tisak (jučer, danas, sutra), preuzeto sa [https://bib.irb.hr/datoteka/430673.ink\\_jet\\_1.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/430673.ink_jet_1.pdf), 5.9.2018.

4\*. I. Majnarić, Digitalni tisak, predavanje 11: *Inkjet* (II. dio), preuzeto sa [http://tisak.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/Predavanje%2011b%20DiT.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Predavanje%2011b%20DiT.pdf), 5.9.2018.

5\*. B. Lozo, Papir; vježba 5: Laboratorijski postupak za izradu papira, proces *deinking* flotacije, formiranje lista, preuzeto sa <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezbe%20Papir/PAPIR%206.%20vjezba.pdf>, 5.9.2018.